



**CÉSAR AUGUSTO VASSALO SILVA**

**AS CORES NA NATUREZA: UMA PROPOSTA PARA O  
ENSINO DE ÓPTICA ONDULATÓRIA**

**LAVRAS-MG  
2018**

**CÉSAR AUGUSTO VASSALO SILVA**

**AS CORES NA NATUREZA: UMA PROPOSTA PARA O  
ENSINO DE ÓPTICA ONDULATÓRIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, área de concentração Física na Educação Básica, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Alexandre Bagdonas

Coorientadora

Dra. Helena Libardi

**LAVRAS-MG  
2018**

Silva, César Augusto Vassalo.

As cores na natureza: uma proposta para o ensino de óptica  
ondulatória / César Augusto Vassalo Silva. - 2018.

93 p.: il.

Orientador: Alexandre Bagdonas.

Coorientadora: Helena Libardi.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de  
Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Concepções alternativas. 2. Ensino de física. 3. Ensino médio. I.  
Bagdonas, Alexandre. II. Libardi, Helena. III. As cores na natureza.

**CÉSAR AUGUSTO VASSALO SILVA**

**AS CORES NA NATUREZA: UMA PROPOSTA PARA O  
ENSINO DE ÓPTICA ONDULATÓRIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, área de concentração Física na Educação Básica, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 9 de outubro de 2018

Prof. Dr. Renato Marcon Pugliesi	IFSP
Prof. Dr. Fabio Marineli	UFLA
Prof. Dr. Antônio Marcelo Martins Maciel	UFLA
Prof. Dr. Alexandre Bagdonas Henrique	UFLA

Orientador

Dr. Alexandre Bagdonas

Coorientadora

Dra. Helena Libardi

**LAVRAS-MG  
2018**

**CÉSAR AUGUSTO VASSALO SILVA**

**AS CORES NA NATUREZA: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE ÓPTICA  
ONDULATÓRIA**

**THE COLORS IN NATURE: A PROPOSAL FOR THE OPTICAL WAVE  
TEACHING**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, área de concentração Física na Educação Básica, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Alexandre Bagdonas

Coorientadora

Helena Libardi

**LAVRAS-MG  
2018**

*Aos meus pais, dona Ana e seu Ciro, por todo o apoio e compreensão dados durante todo o mestrado. São eles os maiores e melhores professores que um dia eu pudesse desejar, sendo verdadeiras fontes de fonte de inspiração e confiança o tempo todo.*

*Aos meus irmãos, Isaías e Rodolfo, pelo enorme companheirismo que tiveram ao longo desses anos.*

*À minha vó, Maria (mas simples e carinhosamente Vó), que com sua irreverência e simplicidade ímpares sempre me alegra e me orgulha.*

*Ao marido da minha vó, Sebastião, um exemplo de pessoa calma e paciente, a qual sempre procuro me inspirar sempre.*

*À minha namorada, Naiara, por toda ajuda fornecida e por sempre ter estado ao meu lado durante esses anos de mestrado.*

*Aos meus amigos e minhas amigas que estiveram comigo durante esse tempo e que sempre estiveram prontos para meu auxiliar quando necessário.*

## **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Sociedade Brasileira de Física, à Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciências Exatas (DEX), por terem concedido a oportunidade de realização do Mestrado em Ensino de Física.

Aos professores do Departamento de Ciências Exatas (DEX) por todo o conhecimento compartilhado e também pela convivência harmoniosa durante todo o mestrado.

Ao professor Dr. Alexandre Bagdonas por toda a dedicação e paciência durante a orientação, contribuindo de diversas maneiras para o meu crescimento profissional e acadêmico. À professora Dra. Helena Libardi pela coorientação e pela pré-disposição em sempre ajudar com dúvidas, tanto teóricas quanto experimentais.

Ao professor Antônio Marcelo, em especial, por ter me orientado no TCC na graduação, por ter sido membro da banca de qualificação e por toda ajuda ao longo do mestrado, seja nos ensinamentos nas aulas, seja nas dicas para melhor desenvolvimento das atividades da sequência didática.

Aos meus colegas de classe do mestrado, Cinara, Heleno, Maria Emília (Mita) e Rogério pelos laços de amizade criado que levaremos por toda a vida.

À Escola Estadual Benjamin Guimarães pela oportunidade de realizar o desenvolvimento da sequência didática que deu origem à este trabalho.

Aos meus pais, Ciro e Ana, meus irmãos, Isaías e Rodolfo, e também à Naiara, minha namorada, por estar sempre ao meu lado e me fornecer apoio incondicional em todos os momentos.

Muito obrigado!

*Once you will know my dear  
You don't have to fear  
(You don't have to fear)  
A new beginning  
Always starts at the end  
Once you will know my dear  
You don't have to fear  
Until the end of time  
(Until the end of time)  
Until the end of time  
(Until the end of time)  
Until the end of time  
She goes her own way*

Mother Earth – Within Temptation



## RESUMO

As cores, geralmente, são estudadas somente nas aulas de artes no ensino fundamental, sem levar em consideração os aspectos relacionados à luz, que poderiam ser trabalhados nas aulas de física no ensino médio. Pensando em trabalhar este tema, desenvolvemos uma sequência didática que o aborda junto a outros conceitos de óptica ondulatória. Para isso, durante o processo de ensino-aprendizagem, foram realizadas problematizações, presentes nos roteiros de atividade entregues a cada um dos alunos de uma turma do segundo ano do ensino médio, de uma escola da rede estadual de ensino do estado de Minas Gerais, localizada numa cidade de cerca de 20 mil habitantes, a fim de investigar suas possíveis concepções alternativas sobre cores, além de buscar aguçar as suas curiosidades para buscarem explicações sobre os fenômenos a serem estudados. Os resultados evidenciam que poucos estudantes pensavam em aspectos relacionados à visão para explicação de fenômenos envolvendo as cores na natureza, sendo que, a maioria relacionava apenas a interação luz-objeto como explicação para a percepção das cores.

**Palavras-chave:** concepções alternativas, ensino de física, ensino médio

## ABSTRACT

The study of colors is usually only done in arts classes in elementary school, without taking into consideration aspects related to light, that could be discussed in physics classes. In order to teach about this theme, we developed a didactic sequence which addresses this issue with other concepts of wave optics. For this purpose, during the teaching-learning process, there were problematizations, present in the activity scripts delivered to high school second year students, in a public school, located in a small town of Minas Gerais. We aimed to investigate their alternative conceptions about colors, as well as to what the curiosity to seek explanations about the studied phenomena. The results show that few students thought about aspects related to vision to explain phenomena involving colors in nature, most of which referred only to light-object interaction as an explanation for color perception.

**Keywords:** alternative conceptions, physics teaching, high school

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação de um som produzido por um ruído e por uma música.....	15
Figura 2 - Primeiro acorde de violão tocado na música Construção de Chico Buarque .....	15
Figura 3 - Bandeira do Brasil iluminada com luz branca.....	16
Figura 4 - Bandeira do Brasil iluminada com luz amarela.....	16
Figura 5 - Exemplos de imagens que são utilizadas para detectar daltonismo.....	33
Figura 6 - Lanterna ligada próxima a parede externa de um aquário.....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Artigos encontrados com base na pesquisa por “Cores” .....	21
Tabela 2 - Número de artigos de acordo com a estratégia abordada para se referir às cores.....	21
Tabela 3- Número de estudantes de acordo com cada categoria de concepção alternativa referentes às cores dos objetos.....	36
Tabela 4 - Número de estudantes de acordo com cada categoria de concepção alternativa referentes às cores do arco-íris.....	38
Tabela 5 - Número de estudantes de acordo com cada categoria de concepção alternativa referentes às cores do céu .....	41

## Sumário

<b>1 Apresentação</b> .....	13
<b>2 Introdução</b> .....	15
<b>3 As cores e o ensino de física</b> .....	20
<b>4 Concepções alternativas</b> .....	25
<b>5 Metodologia</b> .....	30
<b>5.1 Metodologia de ensino</b> .....	30
<b>5.2 Metodologia de pesquisa</b> .....	33
<b>6 Resultados e discussões</b> .....	35
<b>6.1 Atividade 1</b> .....	35
<b>6.2 Atividade 2</b> .....	38
<b>6.3 Atividade 3</b> .....	40
<b>6.4 Atividade 4</b> .....	41
<b>7 Considerações finais</b> .....	44
<b>8 Referências Bibliográficas</b> .....	46
<b>Anexo A – Produto Educacional</b> .....	50

## 1 Apresentação

O que ensinar? Como ensinar? Por que ensinar? Sem dúvida são três perguntas simples, mas que não possuem respostas simples. Não há um dia em que eu entre em sala de aula sem me preocupar com essas e outras questões. São vários os desafios da vida profissional que precisam ser superados a cada dia. Às vezes me pergunto se meus alunos querem aprender, mas penso que a questão que devo fazer para mim mesmo é outra: O que eles querem aprender? Será que a física que eu trabalho em sala é interessante para ele, no sentido de, pelo menos, ele saber que não é coisa de outro mundo?

Oriundo da escola pública da pequena Itumirim, Minas Gerais, nunca me identifiquei como um aluno muito estudioso, porém, por outro lado, também não era um aluno desleixado - gostava de ter umas notas boas.

É curioso perceber que, mesmo já tendo em mente fazer um processo seletivo seriado para entrar na UFLA (no triênio 2005 - 2007), nunca tive uma ideia clara de que curso iria fazer e, nem mesmo, a área em que eu iria seguir a partir de 2008, finalizado o ensino médio. Aliás, até pouco antes da época de inscrição para o vestibular, quando tinha que já escolher qual o curso desejado, eu tinha um desejo pelo curso de Psicologia. Mas o tempo passa e as coisas mudam...

Já nessa época eu tinha uma amiga que era apaixonada por física, mais especificamente a parte de astronomia. Ela não morava em Itumirim, minha cidade, mas costumava ir para lá nas férias e sempre nos encontrávamos à tarde na pracinha da cidade para bater papo. Nessa época, a gente começou a conversar bastante sobre astronomia e outros assuntos relacionados à física e, creio eu, a partir destes papos, é que começou a despertar, em mim, o interesse por algo que até então nunca tinha imaginado, embora sempre gostasse de ler os textos em destaques nos livros didáticos de física e também de ler revistas de divulgação científica que meu pai assinava.

Foi assim que, há 11 anos, eu resolvi que iria fazer faculdade de física e, claro, sabia que seria um desafio enorme. Mas, como em todo desafio, quando cumprido, existem recompensas. Após um longo período na UFLA, finalmente consegui me tornar um físico, ou melhor, um professor de física. E como desafios nunca são o bastante, resolvi que queria trabalhar numa sala de aula em escola pública, tentar fazer alguma diferença dentro de sala.

Resolvi também que queria fazer o mestrado em Ensino de Física. Fui aprovado para a turma do primeiro semestre de 2016.

Durante muito tempo, já como Mestrando em Ensino de Física, não sabia exatamente o que iria pesquisar e que assunto dentro da física eu iria utilizar para tal. Acontece que eu sempre fui fã de fotografia e, inclusive, na graduação, tinha vontade de relacionar a física com a fotografia, mas acabou não sendo viável. Então, eu guardava o assunto como uma espécie de carta na manga para caso houvesse viabilidade no mestrado, porém os detalhes técnicos da fotografia poderiam não despertar muito interesse nos estudantes, de modo que preferi trabalhar com o estudo das cores, por acreditar que despertaria mais interesse dos mesmos.

Após muito pensar e conversar com os professores do Mestrado, surgiu a possibilidade de se trabalhar com cores, ao invés de abordar outros conceitos envolvidos na fotografia. Definido o tema, veio o desafio de preparar uma sequência didática para o ensino de cores, o que acabou sendo um dos maiores desafios do curso. Não bastava ser uma sequência boa para o ensino, ela também deveria fornecer dados para a pesquisa, o que tomou horas e mais horas de leitura de artigos para poder definir o formato da pesquisa. Junto ao ensino de cores, decidimos pesquisar concepções alternativas sobre o tema e, como eu sempre achei interessante ouvir o aluno, as suas experiências e conhecimentos cotidianos, concordei que seria o ideal pesquisar tais concepções.

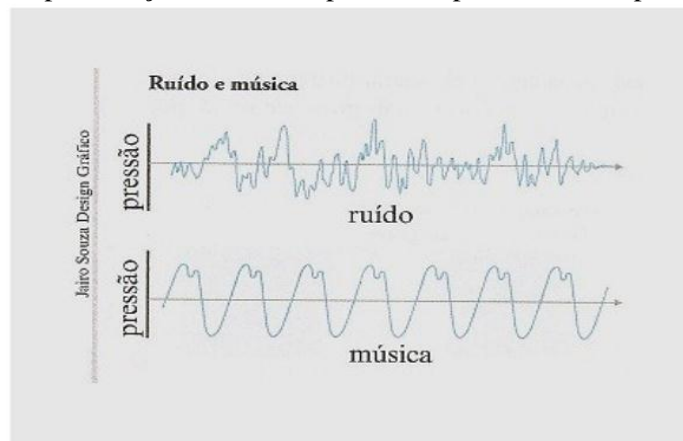
Ao término da construção da sequência didática e já definida a maneira como os dados seriam obtidos, em meados de 2017, desenvolvi as atividades juntos aos meus estudantes, na escola onde trabalho. Nos capítulos seguintes apresentaremos como se deram a construção e investigação desta sequência didática.

## 2 Introdução

Tradicionalmente, os livros didáticos de física do ensino médio pouco exploram os aspectos relacionados às cores, dedicando poucas páginas ao assunto, em sua maioria. Além disso, a abordagem teórica utilizada muitas vezes contém erros conceituais. Uma série de problemas na forma de apresentar a ciência foi apresentada por Renato Pugliese (PUGLIESE, 2011) em sua dissertação de mestrado, na qual é avaliada a proposta curricular do Estado de São Paulo. Como exemplo, apresentamos duas situações apresentadas em sua dissertação de mestrado: uma envolvendo o estudo do som e outra o de cores.

No estudo dos sons, mais especificamente sobre o conceito de ruído, os autores do texto comparam um exemplo gráfico específico entre música e ruído (Figura 1), o que levaria o aluno a ter uma compreensão limitada sobre o que é música e o que é ruído.

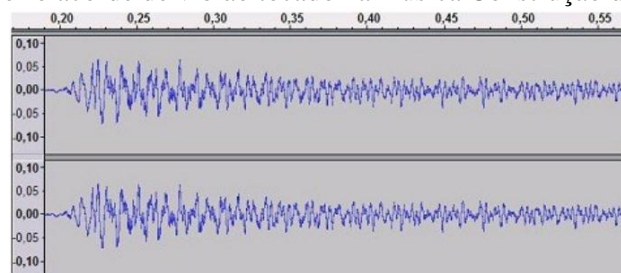
Figura 1 - Representação de um som produzido por um ruído e por uma música.



Fonte: Pugliese (2011)

Nesse caso, de acordo com o autor supracitado, o aluno provavelmente iria identificar um som da música Construção, de Chico Buarque, como ruído, devido à semelhança gráfica com tal som, conforme ilustrado na figura 2.

Figura 2 - Primeiro acorde de violão tocado na música Construção de Chico Buarque.



Fonte: Pugliese (2011)



No caso do estudo das cores, o autor apresenta um exercício proposto no livro didático de Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga (MÁXIMO; ALVARENGA, 2005) onde o aluno deverá supor que a Bandeira do Brasil (Figura 3) seja iluminada com luz amarela em um quarto escuro para, na sequência, responder qual cor seria vista em cada parte da Bandeira (losango, círculo central, a faixa do círculo central e as estrelas, além do retângulo) sob essa fonte de luz.

Figura 3 - Bandeira do Brasil iluminada com luz branca.



Fonte: Pugliese 2011

No final do livro, os autores trazem como resposta correta a essa questão, que o retângulo apresentará a cor preta. O que se percebe na prática, entretanto, ao realizar o experimento, é que o retângulo de fato continua aparentando verde, como mostra a Figura 4. Nesse caso o retângulo iria absorver a luz vermelha e refletir a luz verde, de modo que ele continuaria verde nessa situação. Ao dizer que retângulo irá aparentar preto, os autores desconsideraram que a luz amarela pode ser obtida a partir de uma combinação de luzes verde e vermelho. O retângulo até pode aparecer preto, mas para isso seria necessário que a luz amarela que o estivesse iluminando fosse monocromática.

Figura 4 - Bandeira do Brasil iluminada com luz amarela.



Fonte: Pugliese 2011

Como consequência, se a luz não for monocromática, o aprendizado dos alunos poderia ficar comprometido, tendo em vista que eles poderiam realizar o experimento e não encontrar o resultado previsto pelo livro. Ao não deixar claro que se trata de uma situação teórica idealizada, quando for o caso, ou seja, uma situação que é fisicamente correta, mas que não é

simples de se reproduzir na prática, eles podem acabar desmotivados por não conseguirem entender a física que vivenciam no cotidiano.

Nesse sentido, levar o estudo das cores para a sala de aula de física é poder fazer com que o aluno compreenda, por exemplo, os motivos do céu ser azul durante o dia e vermelho ao nascer e pôr do Sol, como se forma o arco-íris e, também, saber porque que a combinação de duas luzes coloridas não dá o mesmo resultado da mistura de tintas.

O docente pode aproveitar para levar em consideração os conhecimentos prévios que os seus alunos já possuem sobre o tema. Possivelmente, esses conhecimentos não estarão atrelados aos científicos, fazendo com que o professor tenha um maior cuidado no tratamento do tema a fim de que o aluno possa compreender o conhecimento científico.

Uma maneira de introduzir os conteúdos em sala é por meio da problematização. Porém, não entendemos qualquer problematização como a forma de despertar o interesse do estudante pelo assunto. Assumimos a concepção de problematização apresentada por Delizoicov (2001), ao apresentar o que ele define como problematização inicial. De acordo com o autor, a problematização inicial tem de ser elaborada de maneira que ela parta de uma situação de alguma coisa conhecida do cotidiano do aluno, deve fazer com que ele sinta a necessidade de aprender o novo conteúdo que estará contido nas teorias físicas para interpretá-los e, assim, encontrar a resposta à questão, ainda que de forma parcial (caso a problematização necessite também de outros conceitos que virão a ser trabalhados na sequência).

Desta forma, é preciso atenção especial para os problemas, pois os mesmos devem fazer sentido para o aluno e também fazer com que ele se sinta desafiado a resolvê-lo, o que se dará através dos novos conhecimentos. Quando o professor faz a problematização em sala, de modo a perceber e entender os conhecimentos prévios dos seus alunos, ele cria condições de mudar as concepções quando necessário, contribuindo para a aprendizagem formal por parte do aluno (BACHELARD, 1977 apud DELIZOICOV, 2001). Ou seja, não se trata apenas de saber que o aluno possui um certo conhecimento, mas sim trabalhá-lo durante o processo de ensino. De acordo com Delizoicov (2001), a problematização serve justamente para aguçar as contradições e localizar as limitações desse conhecimento, quando comparado com o conhecimento científico.

É importante notar que os estudantes chegam à sala de aula já com um vasto conhecimento de mundo. Esses conhecimentos nem sempre coincidem com aquele que é considerado cientificamente correto e, por isso, tais ideias são denominadas concepções alternativas (também chamada de concepções prévias – falaremos mais a respeito no capítulo 4). Nesse aspecto Ricardo ressalta:

O professor, ao estabelecer seus primeiros contatos com as turmas, já possui uma relação com os saberes disciplinares daquilo que pretende ensinar, mas os alunos ainda não têm essa relação. Quando têm são frágeis, porque, embora tragam consigo explicações para os fenômenos da natureza, estas estão associadas ao senso comum. (...) O início dessa relação didática, que se estabelece entre o professor e o aluno diante de um conjunto de saberes a ensinar, é um momento de risco, pois dependendo das escolhas didáticas feitas, aquelas concepções podem se consolidar e se tornarem verdadeiros obstáculos à aprendizagem, sobrevivendo até mesmo aos projetos de ensino subsequentes. (2010, pág. 30)

O presente trabalho consistiu em trabalhar o tema Cores em uma turma de segundo ano do ensino médio. As aulas tiveram uma problematização inicial com a finalidade de se obter concepções alternativas, além de despertar a curiosidade em se obter um novo conhecimento para poder solucionar o problema inicial. A fim de facilitar o aprendizado, as aulas foram ministradas com auxílio de recursos como quadro e giz, experimentos físicos e simulações computacionais.

A proposta de ensino foi desenvolvida em uma turma de 2º ano do ensino médio, em 2017, na numa escola pública localizada na cidade de Bom Sucesso-MG. A escola é constituída de turmas de ensino médio, ensino fundamental, Educação de Jovens e Adultos, além de uma turma de Curso Normal Técnico. As turmas de ensino médio estão todas no período da manhã, constituídas por alunos de diversas realidades sociais. A turma na qual foram desenvolvidas as atividades com coleta de dados para, posteriormente, analisar as respostas para se obter as concepções alternativas, possuía duas aulas de física por semana, com duração de 50 minutos cada. É uma turma na qual os alunos apresentam poucos problemas disciplinares, sendo comum que alguns demonstrassem interesse por assuntos de física que não necessariamente estão sendo trabalhados em sala, tendo sido escolhida pois, dentre as turmas de segundo ano, era a que os alunos tinham maior frequência (em relação às outras turmas da mesma série), além de haver poucos casos de indisciplina. A sequência didática também foi desenvolvida em outras turmas, porém apenas com o objetivo de ensino-aprendizagem, pois não seria viável a análise das respostas de todos os alunos das outras três turmas da mesma série.

Nos próximos capítulos será apresentada uma revisão da literatura sobre cores e o ensino da física, feita a partir de pesquisa sobre o assunto “Cores” em sites de revistas de ensino de física no Brasil. No capítulo 4 é apresentada uma discussão sobre concepções alternativas, comentando os principais aspectos gerais sobre as mesmas, além de discutir algumas sobre as cores. Em seguida, no capítulo 5, é discutida a metodologia de pesquisa utilizada para a investigação de concepções alternativas dos estudantes, e, no capítulo 6 são apresentados e discutidos os resultados desta investigação. Finalizando o trabalho, no capítulo 7, encontram-

se as considerações finais sobre o desenvolvimento da sequência didática em aulas de física do ensino médio. A questão que orientou este trabalho é “Como uma sequência didática pode contribuir para a aprendizagem dos estudantes sobre cores, levando-se em consideração as suas concepções alternativas sobre o assunto? ”.

### 3 As cores e o ensino de física

Iniciamos esta pesquisa realizando uma revisão bibliográfica a partir de uma busca em sites de revistas voltadas para o ensino de ciências e de física no país. Como critério de busca utilizamos as palavras “cor” e “cores”, sendo que poderia aparecer qualquer uma das palavras e em qualquer lugar do artigo. As revistas pesquisadas foram as seguintes: Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC), A Física na Escola, Ciência e Ensino, Investigações em Ensino de Ciências (IENCI), Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Ensaio) e Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia. De acordo com Leal (2017), a partir de uma pesquisa com diversos professores dos cursos de Licenciatura em Física de diversos estados e regiões do país, são essas algumas das revistas sobre Ensino de Física mais utilizadas para pesquisas, preparação de aula e indicação de leitura para os estudantes.

Convém ressaltar que a busca pelos artigos se deu a partir de mecanismos disponibilizados em seus respectivos sites, com exceção da revista A Física na Escola, onde a pesquisa foi feita utilizando mecanismos específicos de busca do buscador Google. Além disso, a busca na RBEF foi limitada a artigos a partir de 2001, devido a limitações no mecanismo de busca da mesma.

Realizada a busca, foram encontrados um total de 95 artigos. Dentre os artigos encontrados inicialmente, foram eliminados os que não estavam escritos em português e os textos que não eram artigos científicos, tais como resenhas e cartas do editor. Posteriormente, a partir da leitura dos resumos e introdução dos artigos, foram selecionados apenas os que abordavam com foco central o tema “cores”. Após essa seleção, restaram 30 artigos, como mostrado na Tabela 1.

Após a seleção de tema, foi identificado o foco do desenvolvimento da pesquisa apresentada, e identificamos 3 focos: Discussão Teórica, Abordagem Histórica e uso de Experimentos. Nem todos os artigos possuíam o objetivo de desenvolver algum tipo de atividade em sala de aula, portanto nem todos apresentam estratégias de ensino ou resultados obtidos no espaço escolar.

A Tabela 2 contém os dados sobre as três principais estratégias didáticas utilizadas pelos autores dos artigos. Ressalta-se que, apesar de diversos artigos sugerirem atividades para serem desenvolvidas em sala de aula do Ensino Médio, apenas 3 tiveram algum tipo de atividade que de fato foram desenvolvidas em sala.

Tabela 1 - Artigos encontrados com base na pesquisa por “Cores”.

<b>REVISTA</b>	<b>TOTAL</b>	<b>TEMA CORES</b>
RBEF	17	10
CBEF	12	6
RBPEC	1	0
CIÊNCIA E EDUCAÇÃO	2	2
FÍSICA NA ESCOLA	61	11
CIÊNCIA & ENSINO	0	0
IENCI	0	0
ALEXANDRIA	0	0
ENSAIO	2	1

Fonte: Próprio autor

Tabela 2 - Número de artigos de acordo com a estratégia abordada para se referir às cores

<b>ESTRATÉGIA</b>	<b>NÚMERO DE ARTIGOS</b>
Discussão teórica	4
Abordagem histórica	9
Experimentos	17

Fonte: Próprio autor

### **Experimentos**

Alguns autores como Santos e Pereira (2013), Silveira e Barthem (2016a, 2016b), Sandoval, José e Sandoval, Julia (1990), Costa et al. (2008), Cavalcante et al. (2016), Camargo et al. (2008) e (2009) trazem propostas experimentais para se discutir a composição de cores.

O artigo de Camargo et al. (2008) propõe experimentos inclusivos para estudantes cegos e de baixa visão, utilizando-se para tanto 7 (sete) artefatos tátil-visuais para o ensino da óptica que se mostram facilitadores tanto para os estudantes não-videntes quanto para os videntes, sendo um dos artefatos para mostrar a dispersão da luz branca no prisma. Por sua vez, o artigo de Camargo et al. (2009) traz uma experiência de um disco de Newton multissensorial para explorar os sentidos da audição, paladar e olfato, além do sentido da visão.

Cavalcante e Tavolaro (2002) apresentam uma maneira de construir um espectrômetro de baixo custo para realizar experimentos sobre o espectro de materiais, que podem ser obtidos facilmente. Com isso, abordam a mistura de luzes coloridas para discutir a composição de cores. De maneira semelhante, porém um pouco mais simples, é proposto por Sandoval, José e Sandoval, Julia (1990) um experimento utilizando um projetor de slides, uma rede de difração e uma fenda para discutir a refletância espectral dos objetos.

Já Costa et al. (2008) propõem um experimento de baixo custo utilizando o que eles denominam de “caixa de cores” (uma caixa que contém, basicamente, três projetores de slides caseiros e suportes com filtros coloridos) para tratar sobre o ensino das misturas de luzes coloridas (sínteses aditiva e subtrativa), bem como experimentos correlatos (tais como sombras coloridas e televisão colorida). Este experimento serviu de inspiração para o experimento proposto na Atividade 1 – As cores dos objetos (Anexo A) que compõe a Sequência Didática que foi desenvolvida com os estudantes do 2º ano do Ensino Médio.

Silveira e Barthem (2016a, 2016b) e Santos e Pereira (2013) optaram por trabalhar com a composição de cores utilizando experimentos com LEDs, com a diferença que as atividades propostas pelos dois primeiros são mais simples de se trabalhar no ensino médio em comparação ao proposto pelos segundos que, inclusive, demandaria, pelo menos, uma revisão do assunto pelo professor para a devida explicação qualitativa do experimento, visto que a teoria possui uma matemática a nível superior que pode acontecer, inclusive, de não ser conhecida pelo professor.

Uma simulação experimental com o objetivo de explicar os mecanismos da visão de cores é proposta por Loreto e Sartori (2008), utilizando-se de mecanismos de baixo custo. Segundo os autores, uma das vantagens dessa abordagem é poder fazer com que o aluno, ao final do experimento, possa também confrontar os resultados encontrados com os resultados teóricos.

### **Abordagem histórica**

A maioria dos autores optam por trazer uma discussão teórica de forma que os professores possam, a partir das leituras, trabalhar o assunto em suas salas de aula no Ensino Médio, como é o caso de Moura e Boss (2015), que fazem uma tradução comentada do texto *On the theory of light and colours* de Thomas Young, texto no qual, segundo os autores, o referido cientista propõe sua teoria sobre luz e cores; Silva e Moura (2008), Moura (2016), Silva e Martins (2003) fazem apontamentos para que o professor possa trabalhar com episódios envolvendo história e natureza da ciência em sala de aula. Já Bach Junior (2016) apresenta o ponto de partida que levou Goethe a formular a sua Teoria das Cores. Embora o autor não cite claramente o Ensino Médio, ele acredita que essa formulação pode ser abordada na educação, inclusive por ser um tema interdisciplinar por envolver não só a física, mas também a fisiologia humana.

### **Discussão teórica**

Nesta categoria agrupamos os trabalhos teóricos (não experimentais), excluindo os que já haviam sido classificados na abordagem histórica.

Objetivando explicar as causas das cores, Scarinci e Marineli (2014) fazem uma abordagem utilizando o modelo ondulatório para entender fenômenos como a reflexão, refração e espalhamento, por exemplo. Além disso, eles também trazem uma abordagem quântica para explicar algumas causas para a cor. Ressalta-se que a motivação dos autores se deu após os mesmos verificarem diversas confusões conceituais na interação da luz com a matéria para a formação de cores, na ocasião em que eles ministraram um curso de especialização. Inclusive, diversas teorias ao longo do artigo estão explicadas após um apontamento das principais dificuldades daqueles professores no assunto.

Buscando explicar o motivo do céu ser azul durante o dia e vermelho ao pôr-do-sol, Rocha et al. (2010) o fazem de maneira conceitual e quantitativa a fim de mostrar a intensidade do espalhamento da luz nas situações de interesse e também trazem uma proposta que pode ser aplicada em sala de aula, utilizando-se um experimento de baixo custo para ilustrar de maneira qualitativa o espalhamento. Esse mesmo experimento foi utilizado na elaboração da Atividade 4 – As cores do céu (Anexo A).

As cores da lua cheia durante um eclipse lunar são alvo da pesquisa de Silveira e Saraiva (2008), desde o aparecimento da lua no horizonte, ainda em tons amarelos, até a lua elevada no céu com tons brancos, antes de começar o eclipse. A abordagem utilizada pelos autores é



teórica, possuindo apenas algumas fotos da lua de forma ilustrativa, porém fornecendo subsídios para que o professor possa discutir o tema em sala de aula.

### **Concepções alternativa sobre cores**

Depois que esta revisão bibliográfica foi finalizada, resolveu-se complementá-la quando foi decidido que investigaríamos concepções alternativas. Para isso, além de buscar em revistas, buscamos também trabalhos de anais de congresso e artigos internacionais sobre concepções alternativas envolvendo cores. Nessa nova pesquisa foram encontrados os trabalhos de Machado (2007) e de Melchior e Pacca (2004, 2005) que investigaram concepções alternativas sobre cores com estudantes do ensino médio no Brasil, além dos trabalhos de Bravo e Pesa (2005) e Galili e Hazan (2000), que contém revisões de pesquisas internacionais<sup>1</sup> sobre este assunto.

No próximo capítulo apresentamos inicialmente alguns estudos sobre concepções alternativas em geral, para em seguida detalhar os estudos sobre concepções alternativas sobre cores.

---

<sup>1</sup> Foram lidos apenas dois trabalhos em língua estrangeira por ser uma leitura mais lenta, devido ao não domínio das línguas inglesas e espanhola. Em específico, o trabalho de Bravo e Pesa (2005) foi utilizado como inspiração para as categorias das concepções alternativas utilizadas neste trabalho.

#### 4 Concepções alternativas

Concepções alternativas são ideias que os estudantes possuem para explicar determinados fenômenos, mas que não estão em perfeito acordo com a explicação cientificamente aceita para o mesmo. Dessa maneira, existe um distanciamento entre o conhecimento empírico do estudante e o conhecimento científico, sendo necessário que não se consider as concepções alternativas como erros que podem ser descartados a fim de serem substituídas pelas teorias cientificamente corretas. É preciso que se leve em consideração as concepções dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem, pois no caso da física, por exemplo, as concepções alternativas revelam mais do que uma dificuldade pontual em relação a um modelo físico, pois elas “têm uma origem que pode ser atribuída a um modelo alternativo (espontâneo ou de senso comum) da teoria física” (GIRCOREANO; PACCA, 2001, p. 26). De acordo com Pacca e Villani (1990), a simples caracterização de considerar um erro tais concepções implica desconsiderar a maior parte do discurso genuíno do estudante, sem ao menos um resgate parcial das especificidades do significado das respostas dos alunos.

Embora muitas vezes as concepções alternativas não correspondam ao que a ciência considera correto hoje, existem casos em que elas estão muito próximas a determinadas concepções que já foram consideradas corretas durante algum tempo (HARRES, 1993).

Trabalhar com as concepções alternativas, portanto, é não desconsiderar os conhecimentos que os estudantes já possuem, tendo em vista que eles já chegam na escola com um conhecimento empírico, que é fruto de suas experiências no cotidiano. Durante a educação escolar o objetivo não é de que o aluno adquira uma nova cultura experimental, mas sim de modificar a cultura experimental, trabalhando eventuais dificuldades já adquiridas pela vida cotidiana (BACHELARD, 1977 apud DELIOICOV, 2011).

É preciso que se saiba as concepções alternativas dos estudantes não apenas por saber que elas existem, mas também para que elas possam ser trabalhadas ao longo do processo de ensino. Todavia, não é fácil modificar as concepções alternativas que os estudantes possuem. Há uma grande resistência em mudá-las quando não são levadas em conta na sala de aula, o que fará com que haja uma alta probabilidade de que os alunos continuem a apresentá-las ao final do processo de ensino-aprendizagem. Podem acontecer também alterações aparentes nas concepções alternativas dos alunos, imediatamente após uma intervenção didática, porém, após certo tempo, os alunos podem voltar a apresentar as mesmas concepções alternativas evidenciadas antes da instrução (DELIZOICOV 2001; SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989, p. 1129). Portanto, o fato de os estudantes resolverem satisfatoriamente questões que exigem o

domínio de conhecimentos científicos, inclusive em soluções numéricas e literais, não é necessariamente um indicativo de superação de concepções alternativas. Ao invés da troca de conceitos alternativos por científicos, pode acabar ocorrendo uma coexistência de ambos até que, a médio e longo prazo, as concepções alternativas, com algumas modificações, prevaleçam devido a um esquecimento das científicas.

O uso de atividades específicas, a interação entre professor e aluno e um bom conhecimento das concepções alternativas esperadas são essenciais para que ocorra uma mudança de concepções (GIRCOREANO; PACCA, 2001). Para isso, é preciso romper com o ensino tradicional, em que o professor é o transmissor de conteúdos e o aluno um receptor. De acordo com Martins e Rafael:

Nessa perspectiva, o professor tentará transmitir o conteúdo para o aluno, mas provavelmente não ocorrerá aprendizagem, já que o aluno será visto como um ser passivo. Então, como suas concepções alternativas não serão levadas em conta, dificilmente ele relacionará o que é apresentado pelo professor com o que já sabia e não fará a mudança conceitual (2007, p. 1).

O professor, tendo em vista que conhece as concepções dos alunos que podem dificultar o aprendizado, deve ficar atento aos modelos que surgem durante as discussões em sala de aula, pois “a tomada de consciência, pelo estudante, de suas concepções desempenha um papel importante no processo de ensino-aprendizagem; é dela que surge a motivação e a oportunidade para (re)elaborar ou (re)construir modelos explicativos (MELCHIOR; PACCA, 2005, p. 3).

Como a própria definição de concepções alternativas sugere, cada área do conhecimento possui suas próprias concepções específicas, que podem estar relacionadas, entre outras coisas, a expectativas, crenças e ideias intuitivas. Em Física, mais especificamente na Mecânica, por exemplo, é comum que vários estudantes apresentem uma “lei” intuitiva que relaciona a velocidade com a força de maneira linear do tipo  $F = \alpha v$ , com  $\alpha$  sendo uma constante. Em um estudo conduzido com alunos ingleses, cerca de 85% dos alunos faziam essa associação. Para eles, uma força para cima atuaria sobre uma pedra lançada verticalmente enquanto ela estivesse subindo, conforme ilustrado a seguir em algumas respostas típicas à essa questão: “Porque ela está se movendo para cima, portanto a força deve estar fazendo ela ir para cima”; “Porque ela está se movendo nesta direção”; “Porque ela precisa de força para lutar contra a gravidade” (ZYLBERSZTAJN, 1983, p. 5).

Além do referido estudo, outros também obtiveram resultados semelhantes, como um realizado com estudantes franceses, belgas e britânicos, com escolarização variando do último ano do secundário (equivalente ao ensino médio brasileiro) até o primeiro ano universitário (VIENNOT, 1979), além de um estudo realizado no Brasil, baseado no estudo de Viennot

(1979), com estudantes dos antigos 2º e 3º graus (atuais, respectivamente, ensino médio e ensino superior) por um grupo de pesquisa da USP (VILLANI et al., 1982).

Nessa pesquisa detalhamos as principais concepções alternativas sobre luz e cores. Para isso estudamos pesquisas realizadas no Brasil envolvendo o aprendizado sobre cores no ensino médio e superior (apresentadas no capítulo 3) além de algumas pesquisas estrangeiras (BRAVO; PESA, 2005; GALILI; HAZAN, 2000).

Uma das concepções alternativas sobre cores mais comum é a de que as cores dos objetos são uma propriedade intrínseca dos mesmos, ou seja, a cor do objeto não depende da luz que o está iluminando:

Essa concepção, de origem sensorial, decorre das inferências que o sujeito estabelece a partir de dados empíricos recolhidos através dos sentidos. Cotidianamente, vemos os objetos ao nosso redor iluminado pela luz branca (do Sol ou de lâmpadas) e percebemos, geralmente, a mesma cor para o mesmo objeto (MACHADO, 2007, p. 537)

Há também concepções envolvendo mistura de cores. Por exemplo, quando estudantes sabem que uma certa mistura de tintas, como azul mais amarelo, resulta em verde<sup>2</sup>, pensam que o mesmo ocorreria ao misturar luzes azul e amarela. Essas concepções provavelmente estão relacionadas com a aprendizagem sobre tintas nas aulas de artes e também com o fato de não se observar, no cotidiano, a mistura de cor-luz, o que os leva a fazer a analogia com as tintas utilizando-se das regras de subtração de cores, na qual a cor gerada é, em tese, mais escura que as que a originaram (MACHADO, 2007; MELCHIOR; PACCA, 2004; GALILI; HAZAN, 2000).

Uma outra concepção, menos comum, é a de que a mistura de luzes coloridas não resulta em uma nova cor. Por exemplo, ao iluminar um mesmo local com duas cores distintas o aluno pode ter a concepção de que as duas cores não irão se misturar, permanecendo ambas visíveis e distinguíveis (MELCHIOR; PACCA, 2005).

Além das concepções já citadas, há uma relacionada com a sensação visual, de modo que ela seria determinada apenas pela visão. Há alunos que acreditam que “fatores como duração, intensidade (força) da luz ou cor, locais escuros e distância interferem na percepção limitando o número de cores vistas” (MELCHIOR; PACCA, 2004, p. 8).

Para elaborar as categorias de concepções alternativas dos estudantes do ensino médio analisadas neste trabalho utilizamos como principal referência a pesquisa feita por Bettina M.

---

<sup>2</sup> De maneira mais precisa, a tinta verde seria obtida a partir das junções das tintas ciano e amarelo, porém o verde é possível de ser obtido a partir da tinta azul por ela não ser pura, ou seja, perfeitamente azul.

Bravo e Marta A. Pesa (BRAVO; PESA, 2005), professoras universitárias argentinas que tinham como objetivo iniciar uma reconstrução significativa de conceitos relacionados a visão e a percepção das cores de estudantes argentinos. Neste artigo, são apresentadas categorias de concepções alternativas sobre cores, que partiram de uma revisão de pesquisas internacionais sobre este assunto, além de investigações sobre o aprendizado de cores em salas de aula dos referidos estudantes.

No próximo capítulo descrevemos as categorias utilizadas neste trabalho. Antes, porém, apresentamos a seguir as cinco categorias estabelecidas por Bravo e Pesa (2005) que são as seguintes: Modelo intuitivo I, Modelo intuitivo II, Modelo escolar I, Modelo escolar II e Modelo coerente com a ciência escolar.

No **Modelo Intuitivo I** temos que:

Os elementos envolvidos na visão (luz, objetos, olhos) são reconhecidos, mas recebem um papel passivo na medida em que as interações entre eles não são reconhecidas. A cor é considerada como uma propriedade do objeto. Fenômenos perceptivos são explicados em termos de fatos observáveis e baseados em ideias construídas com base em informações fornecidas diretamente pelos sentidos (BRAVO; PESA, 2005, p. 346)

Já o **Modelo Intuitivo II** é tal que um:

Papel passivo é concedido ao sistema visual e a necessidade de luz para afetar o objeto é reconhecida. Nenhum processo ou interação é explícita. Os fenômenos perceptivos são explicados de acordo com fatos observáveis e de ideias construídas de acordo com informações fornecidas diretamente pelos sentidos (BRAVO; PESA, 2005, p.346).

No **Modelo Escolar I**:

As interações entre a luz e a matéria como a causa da percepção são reconhecidas à medida que um papel mais passivo é dado ao sistema visual. Ideias incorretas são usadas do ponto de vista científico (BRAVO; PESA, 2005, p. 346).

Por sua vez, o **Modelo Escolar II** é descrito a seguir:

As interações entre a luz e a matéria como a causa da percepção são reconhecidas à medida que um papel mais passivo é dado ao sistema visual. Ideias coerentes com a proposta da ciência escolar, mas incompletas com relação a ela, são usadas. (BRAVO; PESA, 2005, p. 346).

O modelo mais avançado é o **Coerente com a ciência escolar**, no qual:

A absorção, reflexão e / ou transmissão produzidas pelo objeto da luz incidente são reconhecidas. Assim, a luz refluída e / ou transmitida é o estímulo externo que produz múltiplos processos no sistema receptor que levam à percepção visual. Modelos abstratos foram utilizados para

interpretar e explicar fenômenos perceptivos (BRAVO; PESA, 2005, p. 346).

## **5 Metodologia**

Para realizar o presente trabalho primeiramente foi desenvolvida uma unidade didática com estudantes do segundo ano do ensino médio de uma escola pública da cidade de Bom Sucesso – MG. A unidade era composta de 4 (quatro) roteiros de atividade com a temática de cores na natureza, a saber: as cores dos objetos (atividade 1), as cores do arco-íris (atividade 2), a visão das cores (atividade 3) e as cores do céu (atividade 4), que se encontram disponíveis no Anexo A.

Ao início de cada atividade os estudantes se organizavam em grupos de até 4 integrantes, a fim de que eles pudessem discutir ideias e realizarem tarefas mutuamente. Apesar de estarem em grupos, cada estudante recebeu o seu roteiro de atividade, pois as respostas podiam ser diferentes entre si, principalmente as fornecidas aquelas que foram utilizadas para investigar as concepções alternativas dos estudantes.

A seguir apresentamos brevemente como foram desenvolvidas as atividades em sala de aula. Na sequência explicamos como foi realizada a análise das concepções alternativas dos estudantes.

### **5.1 Metodologia de ensino**

#### **Atividade 1 – As cores dos objetos**

Na primeira atividade, denominada “As cores dos objetos”, foi explicado aos estudantes que a partir daquela aula seriam desenvolvidas atividades que tinham como tema central as cores e que eles iriam sentar em grupo com outros colegas. A questão utilizada para obter as concepções dos estudantes sobre as cores dos objetos foi “o que caracteriza a cor de um objeto?”

Inspirada a partir de uma atividade proposta de Costa et al. (2008) e também de uma atividade proposta pelo Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF) da Universidade de São Paulo no livro Leituras de Física, os estudantes tiveram a oportunidade de verificar a influência da iluminação nas cores dos objetos. Para isso foi utilizado um experimento uma caixa com sete figuras que tinham, sob a luz branca, as cores primárias, secundárias e branco, sendo que cada figura tinha apenas uma dessas cores. Com o experimento os alunos tinham que visualizar o interior da caixa que foi iluminado com luzes vermelha, verde e azul, uma de cada vez, através de uma lâmpada LED em um Protoboard para então determinar, a partir de suas anotações, qual cor eles identificariam nas figuras quando iluminadas por luz branca.

### **Atividade 2 – As cores do arco-íris**

Utilizando como material de apoio a simulação “O desvio da luz” do PhET, além da letra da música “Trem das cores” de autoria de Caetano Veloso e do quadro “A noite estrelada” de Vicent Van Gogh, foram trabalhadas as cores do arco-íris com objetivo de compreender como é formado o arco-íris, bem como quais são as cores que podemos ver ao observá-lo.

Para investigar as concepções dos estudantes sobre as cores do arco-íris foram verificadas as respostas às questões “Vê-se todas as cores em um arco-íris? Justifique” e “Por que você acha que ele tem essas cores?” pois, após já ter sido desenvolvida em sala, foi verificado, inclusive a partir das respostas dos estudantes, que a justificativa para a primeira questão estava diretamente ligada com a resposta à segunda.

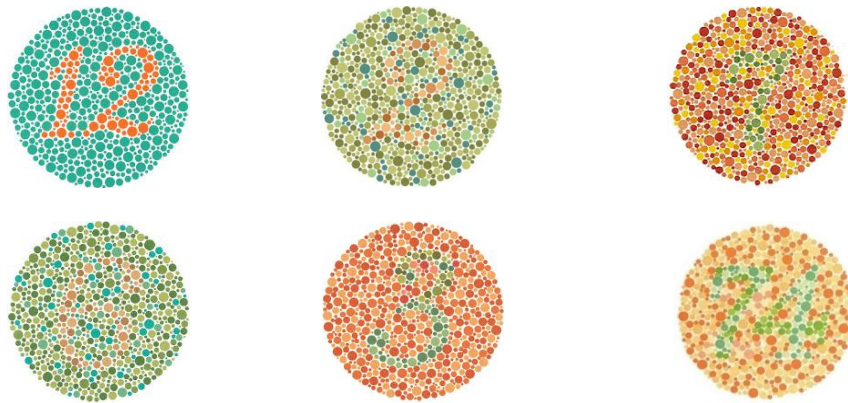
### **Atividade 3 – A visão das cores**

Não investigamos concepções alternativas na atividade 3, mas ela tem papel importante para ressaltar o papel da visão no processo de formação das cores. Como muitas das concepções mais ingênuas ignoram isso, é parte essencial da sequência para problematizar as concepções alternativas e visões mais intuitivas. A atividade 3, portanto, tinha objetivos de ensino-aprendizagem, pois ajudaria no desenvolvimento da sequência, ao mesmo tempo em que poderia favorecer os estudantes a pensarem em aspectos relacionados a visão ao pensarem na cor azul do céu na atividade seguinte e a compreensão do motivo de tal cor.

Especificamente sobre a atividade, os objetivos eram compreender como enxergamos as cores e como o Daltonismo afeta a visão. Para isso os alunos receberam roteiros de atividades impressos em tinta colorida em que era possível visualizar imagens utilizadas em testes de daltonismos, conforme ilustrado na figura 5.



Figura 5 – Exemplos de imagens que são utilizadas para detectar daltonismo.



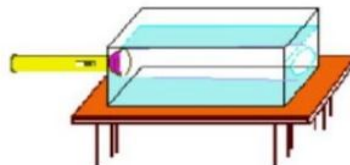
Fonte: Adaptado de Acessibilidade para Daltônicos na Web<sup>3</sup>

#### Atividade 4 – As cores do céu

Fechando a sequência didática, foram investigadas as concepções sobre as cores do céu. A questão utilizada para obter as concepções foi “Por que que o céu é azul?” aproveitando que logo antes havia sido comentado sobre a música “Pais e Filhos” da banda Legião Urbana, na qual consta esta pergunta em sua composição.

Os objetivos da atividade eram compreender as cores do céu durante o dia e ao pôr do sol. Para isso foi realizado um experimento demonstrativo utilizando um aquário com uma mistura de água e leite, iluminado por uma lanterna rente a uma de suas paredes, tal como ilustrado na figura 6. Além disso, haviam questões presentes no roteiro para auxiliar os estudantes na analogia.

Figura 6 - Lanterna ligada próxima a parede externa de um aquário.



Fonte: Ciência à Mão<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Disponível em: <<http://www.daltonicos.com.br/daltonico/index.html>>

Acesso em: 16/11/2018

<sup>4</sup> Disponível em:

<[http://www.cienciaamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmd&cod=pmd2005\\_i1002](http://www.cienciaamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmd&cod=pmd2005_i1002)>

Acesso em: 17/09/2018

## 5.2 Metodologia de pesquisa

Ao investigar as concepções de estudantes argentinos, Bravo e Pesa (2005) empregaram categorias já previamente estabelecidas. Para isso, elaboraram questões objetivas de modo que cada alternativa de resposta representava uma categoria diferente. Por outro lado, as questões que propusemos para investigar as concepções alternativas dos estudantes do segundo ano do ensino médio de uma escola pública da cidade de Bom Sucesso - MG, eram todas abertas, de modo que os estudantes pudessem expressar-se livremente, de acordo com as suas próprias ideias. Deixamos claro aos alunos que eles não precisariam se preocupar se a resposta estava certa ou errada (do ponto de vista do conhecimento científico), pois a avaliação seria realizada a partir da participação dos mesmos em sala de aula. Além disso foi a primeira vez que os estudantes estudaram sobre cores nas aulas de física, apesar dos mesmos já terem estudado o referido tema em aulas de artes quando estavam no nono ano do ensino fundamental.

Em cada atividade desenvolvida foi entregue um roteiro para os estudantes contendo questões para fins de obtenção de dados para posterior análise. As primeiras questões (de cada roteiro<sup>5</sup>) foram elaboradas de maneira a identificar as concepções alternativas que os estudantes possuem sobre o tema, além de problematizar o assunto a ser estudado.

Não se pretendeu com este trabalho a análise de possíveis mudanças de concepções alternativas dos estudantes, tendo sido investigadas, portanto, apenas as concepções alternativas ao início de cada atividade desenvolvida com os estudantes.

Especificamente sobre as concepções alternativas, os dados obtidos foram organizados em diferentes categorias estabelecidas a partir da análise dos materiais fornecidos pelos estudantes. Ressalta-se também que tais categorias foram inspiradas naquelas propostas por Bravo e Pesa (2005) conforme descrito no capítulo anterior. Descrevemos a seguir as categorias utilizadas no presente trabalho:

### **Intuitivo**

- Reconhece a dependência apenas da luz ou do objeto para enxergar as cores – a visão não é citada nem mesmo de maneira indireta.
- A explicação está relacionada a partir dos sentidos devido a observação direta do fenômeno.

### **Escolar básico**

---

<sup>5</sup> Os roteiros podem ser encontrados no Anexo A.

- Há o reconhecimento da necessidade da visão ou de alguma interação entre luz e objeto no processo de descrição das cores.
- Utiliza-se de termos científicos incorretos para a explicação do fenômeno

**Escolar avançado**

- Há o reconhecimento de pelo menos dois dos três elementos para a explicação das cores.
- Utiliza-se de termos científicos e reconhece a interação luz-objeto como parte do processo de enxergar as cores.
- Os termos utilizados estão corretos, porém podem não estar completos.

## 6 Resultados e discussões

Apresentamos aqui alguns exemplos de repostas dos estudantes que foram categorizados nas referidas categorias de concepções alternativas explicadas no capítulo anterior. A presente análise foi realizada a partir das repostas que os estudantes forneceram a questões presentes nos roteiros de atividades entregues para os mesmos em sala de aula.

Uma diferença entre este trabalho e o de Bravo e Pesa (2005) é que as categorias estabelecidas pelas autoras supracitadas foram definidas antes da elaboração da proposta que foi desenvolvida em sala de aula. Como consequência, foram elaboradas questões objetivas de modo que cada alternativa de resposta representasse uma categoria diferente. Neste trabalho, por outro lado, as questões foram elaboradas de modo que os estudantes respondessem livremente, de acordo com o que eles já sabiam previamente, sendo que as categorias aqui citadas foram elaboradas já após a confecção da sequência didática.

As concepções foram obtidas a partir da análise das repostas dos estudantes às referidas questões presentes nos roteiros de atividade, após a definição das categorias do presente trabalho. As concepções alternativas estão listadas a seguir, em ordem de atividade. Os nomes utilizados para exemplificar as concepções são fictícios. Nas repostas que aparecem mais de um estudante como autor é devido ao fato da atividade ter sido desenvolvida em grupo, o que, após uma discussão entre eles, acabaram por optar pela mesma resposta.

### 6.1 Atividade 1

Na primeira atividade, cuja temática era as cores dos objetos, foram investigadas as concepções alternativas referentes ao que caracteriza tais cores. Para isso, os estudantes tiveram que responder à seguinte questão: “O que caracteriza a cor de um objeto?<sup>6</sup>”. A Tabela 3 mostra os resultados obtidos de maneira quantitativa, em acordo com as categorias “Intuitivo”, “Escolar básico” e “Escolar avançado”. Nessa questão houve um aluno que estava presente na sala, porém não forneceu nenhuma hipótese para tentar explicar o que determina as cores dos objetos – essa resposta não foi contabilizada na Tabela 3. Na sequência, há exemplos de cada uma das categorias, separadamente, e os motivos das repostas terem sido classificadas em suas respectivas categorias.

---

<sup>6</sup> De acordo com a teoria científica, a cor de um objeto irá depender da cor do pigmento (como, por exemplo, a tinta na qual um objeto foi pintado), a cor da luz que o ilumina e da interação da luz refletida pelo objeto com o olho do observador.

Tabela 3 - Número de estudantes de acordo com cada categoria de concepção alternativa referentes às cores dos objetos.

MODELO	NÚMERO DE ESTUDANTES
Intuitivo	8
Escolar básico	23
Escolar avançado	5

Fonte: Próprio autor

### **Intuitivo**

*“O simples fato de que você pode usar a característica da cor para falar sobre determinado objeto”* (Ricardo)

A resposta do aluno está relacionada diretamente com a cor (pigmento) do objeto, o que pode ser evidenciado quando ele diz que se pode utilizar a cor de um objeto para distingui-lo de outro, tal como se fosse uma característica própria dele.

*“A sua formação na fotossíntese e no processo dos movimentos atômicos é o que faz com que surja sua predominante cor”* (Paulo)

Nota-se que ele usou aspectos relacionados à clorofila, que é a responsável pela predominância da cor verde nas plantas em geral, o que o leva a crer, portanto, que a cor verde seria uma propriedade intrínseca das plantas. Além disso, ele buscou utilizar questões envolvidas no processo de transição de elétrons à nível atômico, porém, em nenhum caso ele citou aspectos relacionados à luz, o que pode ter acontecido pelo fato da forma como estava o enunciado, que não o induzia a fazer tal associação. Dessa forma, tanto em relação à fotossíntese quanto ao movimento atômico, só há relação do objeto em si para a determinação de sua cor.

*“Podemos caracterizar a cor de um objeto pela frequência da luz”* (Laís, Emília, Vanessa e Lara)

As alunas levam em consideração apenas a própria luz, não levando em conta nenhum aspecto da visão e nem mesmo da interação da luz com a matéria, estando, portanto, diretamente relacionada com o que ela acredita observar quando há um objeto sendo iluminado por uma luz monocromática intensa.

### **Escolar básico**

*“Luz, claridade nos ajuda a enxergar as cores” (Rodrigo)*

O aluno reconhece que os olhos fazem parte da descrição das cores que nós enxergamos nos objetos, ainda que não tenha descrito de maneira explícita. Reconhece também que há a interação da luz com os olhos, pois faz-se necessária que se tenha luz para poder haver visualização das cores. Ressalta-se que ele deixa implícito que as cores se referem aos objetos, mas não há nenhuma menção ao processo de interação da luz com o objeto.

*“O que caracteriza a cor de um objeto é a propagação da luz, que quando reflete em determinado objeto passa a ele sua cor” (Tais)*

*“Uns absorvem certas cores específicas e outros não” (Dehon)*

Em ambos os casos, os alunos não levam em consideração a necessidade da interação da visão no processo de caracterização das cores dos objetos, considerando apenas a interação luz-objeto, através da reflexão (no caso da Tais) e da absorção (no caso do Dehon).

*“A movimentação dos átomos dos objetos libera uma luminosidade que é recebida pela nossa retina como a cor” (Tadeu)*

Nesse caso, o aluno provavelmente já deve ter estudado a transição de nível atômico nas aulas de química, onde um elétron de certos compostos químicos ao ser irradiado com radiação eletromagnética de determinada frequência, fará com que um elétron salte de um nível de energia mais baixo para um nível de energia mais alto. Vale destacar que o aluno reconhece que há interação da luz com a retina para que possa haver a percepção da cor, mas ainda assim, não reconhece a necessidade da luz com o objeto (a luz é proveniente diretamente do objeto).

### **Escolar avançado**

*“As relações entre luz e cor [...] essa relação é um processo que leva o cérebro a perceber as cores nos objetos ao nosso redor. Cada superfície absorve certas frequências e reflete outras. Portanto a luz é a interpretação da nossa visão e condicionam as cores que percebemos, e não o objeto por si”.* (Daiane)

Nota-se que a resposta é inclusive significativamente mais longa que as dos demais alunos e, nela, a aluna procura estabelecer relações não somente entre a luz e a matéria, mas

também leva em consideração os aspectos relacionados da interação da luz com a visão e, também, aspectos relacionados com a percepção das cores com o cérebro.

## 6.2 Atividade 2

As cores do arco-íris foram objetos de estudo da segunda atividade. As concepções dos estudantes foram obtidas a partir das questões “*Vê-se todas as cores em um arco-íris? Justifique*”<sup>7</sup>. e “*Por que você acha que ele tem essas cores?*”<sup>8</sup>. Embora fossem duas perguntas separadas, as respostas dos alunos eram complementares, de modo que para obter as concepções foram verificadas ambas questões, pois a segunda acabou mostrando-se redundante com relação à justificativa da primeira questão, de maneira que alguns estudantes, no roteiro de atividades, acabavam justificando a primeira questão respondendo a segunda. As respostas dos estudantes em relação às categorias, de maneira quantitativa, estão mostradas na Tabela 4:

Tabela 4 - Número de estudantes de acordo com cada categoria de concepção alternativa referentes às cores do arco-íris.

MODELO	NÚMERO DE ESTUDANTES
Intuitivo	2
Escolar básico	15
Escolar avançado	8

Fonte: Próprio autor

A seguir são mostrados exemplos de respostas de acordo com as categorias já adaptadas:

### Intuitivo

*“Vê-se as mais fortes porque são cores primárias”* (Isadora)

*“Somente as primárias. Por causa da radiação solar”* (Kátia)

<sup>7</sup> As cores do arco-íris são aquelas compreendidas por luzes com comprimentos de ondas compreendidos entre 400 nm e 750 nm, aproximadamente. Portanto são infinitas as cores que podem ser vistas neste intervalo e os termos “vermelho” e “amarelo” por exemplo, se relacionam com grupos de cores semelhantes delimitados arbitrariamente (MARTINS, 1998).

<sup>8</sup> Uma concepção comum é a de que o arco-íris possui 7 cores. Essa relação foi estabelecida primeiramente por Newton, em analogia com as sete notas musicais. Para isso, inclusive, Newton introduziu, de forma artificial, a cor índigo entre as que poderiam ser vistas no arco-íris para poder chegar as setes cores (TOPPER, 1990).

Segundo o raciocínio da Isadora, o arco-íris só possui as cores que se destacam a olho nu, que seriam as “cores primárias” (“cores fortes”). Percebe-se que ela não cita nenhuma das três variáveis para a explicação das cores do arco-íris – o fato de usar o verbo “ver” está diretamente relacionada com o enunciado da questão. Já para a Kátia, o simples fato de haver radiação solar seria o suficiente para que o arco-íris apresentasse as “cores primárias”, não sendo necessária nem mesmo a interação da luz (radiação) com as gotículas d’água suspensas na atmosfera.

### **Escolar básico**

*“Nem todas as cores são perceptíveis. Pelo efeito da luz do sol quando se choca com as gotículas de chuva”* (Gabrielly)

A aluna reconhece que no arco-íris há mais do que sete cores e também que há necessidade de uma interação entre a luz com as gotículas d’águas suspensas na atmosfera. A visão não é reconhecida como fator para a percepção das cores do arco-íris.

*“Pois com a junção das moléculas de água e luz, só é permitido ver essas cores”* (Cristina)

Apesar de não utilizar os termos científicos tais como reflexão e refração, por exemplo, ela acredita que há a necessidade de interação entre a matéria (moléculas de água) e a luz. Embora cite a visão, está relacionada diretamente com a questão sobre se se vê todas as cores do arco-íris, não estando relacionada, portanto, como parte da explicação para enxergamos o arco-íris.

*“A luz do sol branca bate na água e reflete todas as cores”* (Enzo)

Semelhante à resposta da Cristina, com a diferença de que ele utiliza diretamente o termo reflexão. Por não ter citado nada sobre a visão, não foi classificada como escolar avançado.

*“Devido ao reflexo do sol, são essas cores transmitidas pelos seus raios de luz”* (Paulo)

Novamente é um caso em que temos um reconhecimento da necessidade de interação entre a luz e matéria, porém de maneira imprecisa do ponto de vista do conhecimento científico e de forma que não há nada relacionado à visão.

### **Escolar avançado**



*“Não, pois nossos olhos não possuem uma percepção muito avançada. Não nos deixando enxergar a luz infravermelha e a ultravioleta”* (Valentina, Elisa e Rosimeire)

A resposta das alunas, que fizeram a atividade em grupo, foram no sentido de explicar o motivo de não ser possível ver todas as cores em um arco-íris e, para isso, elas utilizam conceitos de frequência da luz (infravermelho e ultravioleta). Além disso elas citam que há dependência da visão para poder perceber as cores.

*“Porque as luzes dispersam dentro de cada gotícula”* (Tadeu)

*“Somente as primárias e secundárias. Porque as luzes dispersam dentro de cada gotícula e seguem diferentes direções”* (Lara, Laís, Vanessa e Emília)

Ambas as respostas convergem para o fato de que a luz é dispersada dentro das gotículas d'água, com a diferença que as alunas Lara, Laís, Vanessa e Emília complementaram as suas respostas dizendo que a luz, após ser dispersada seguem diferentes direções, o que não foi mencionado pelo aluno Tadeu. Percebe-se que ambas respostas foram consideradas na referida categoria pelo fato de estarem em acordo com a teoria cientificamente aceita, porém incompleta, tendo em vista que em nenhuma delas há aspectos relacionados à visão.

### **6.3 Atividade 3**

Nessa atividade, sobre a visão das cores, não foram investigadas as concepções alternativas dos estudantes, tendo em vista ser esta uma atividade que os estudantes poderiam não ter concepções sobre a visão – o objetivo era que eles citassem mais frequentemente a visão na atividade seguinte. Desta maneira, comentamos aqui alguns relatos obtidos em sala de aula durante o desenvolvimento da atividade.

O objetivo era compreender que os olhos estão diretamente relacionados com o processo de visão das cores, tendo em vista que poderia ocorrer de os estudantes não fazerem essa relação em suas respostas às questões presentes nas atividades anteriores. Além disso, seria interessante trabalhar como a terceira atividade por ser a que precede a que trabalha com as cores do céu, tendo em vista que a sensibilidade à luz azul dos cones presentes na nossa retina ajuda a explicar o motivo de vermos o céu azul.

A aluna Laís pode compartilhar com a turma algumas experiências cotidianas vivenciadas por seu pai, que possui um certo grau de daltonismo. Segundo ela, o daltonismo de seu pai não o impede de, inclusive, possuir carteira de motorista. Apesar dele possuir dificuldade em distinguir o vermelho do marrom e o verde do laranja, o mesmo sabe as posições

dos sinais vermelho, amarelo e verde, de modo que quando percebe que a luz se encontra mais brilhante em determinada posição, ele sabe qual ação tomar. Ainda de acordo com a Laís, as maiores dificuldades de seu pai consistem em comprar roupa (para saber se estão combinando ou não) e também quando as pessoas passam informações utilizando cores (referente a casas ou carros, por exemplo).

Ainda durante o desenvolver da atividade, o aluno Rogério relatou que não estava conseguindo identificar claramente os números nas imagens utilizadas para teste de daltonismo. Ao ser questionado se ele possuía algum grau de daltonismo, o mesmo disse que não sabia, pois nunca tinha feito o teste e no cotidiano não sentia dificuldade em enxergar as cores. Desta maneira, foi sugerido a ele que consultasse então um médico oftalmologista para que este pudesse fornecer o diagnóstico preciso.

#### 6.4 Atividade 4

Na atividade 4 foram investigadas as concepções dos alunos sobre as cores do céu, mais especificamente sobre o fato do céu ser azul durante o dia. A questão que eles responderam para tal foi “*Por que que o céu é azul?*”<sup>9</sup>. Os resultados obtidos estão mostrados numericamente na tabela 5. O baixo número de estudantes que responderam à questão se justifica pelo fato de poucos estudantes terem ido à aula no dia em que a atividade foi desenvolvida.

Tabela 5 - Número de estudantes de acordo com cada categoria de concepção alternativa referentes às cores do céu.

MODELO	NÚMERO DE ESTUDANTES
Intuitivo	6
Escolar básico	6
Escolar avançado	2

Fonte: Próprio autor

<sup>9</sup> A luz do sol incide sobre as partículas presentes na atmosfera e será dispersada em diversos comprimentos de ondas presentes no espectro eletromagnético, de modo que a gente consiga enxergar àquelas que, obviamente, estão na região espectro visível. Após a dispersão, essas luzes se espalham com diversas intensidades, de maneira inversamente proporcional aos seus respectivos comprimentos de onda. Percebemos o céu azul (ao invés de violeta, que possui comprimento de onda menor que o azul) pois parte da luz violeta é refletida de volta para o espaço junto com a radiação ultravioleta devido à camada de ozônio.

## Intuitivo

*“É devido ao reflexo da água da superfície” (Daiane)*

Embora a Daiane tenha utilizado o termo “reflexo” a sua resposta foi classificada como intuitiva por não estar relacionada diretamente com uma interação da luz com a matéria (água). Ao dizer que o céu é azul devido o reflexo da água, ela está utilizando de um pensamento que evidencia que a sua explicação foi dada a partir da observação direta, sem se preocupar com processos que poderiam complementar a explicação.

*“Uma mistura de cores, luzes e reflexos” (Lara)*

De acordo com a Lara, o azul do céu seria resultado direto da interação entre as luzes provindas diretamente do sol e a refletida por partículas presentes na atmosfera. Novamente há o uso do termo “reflexo”, mas que não demonstra estar relacionado com o conceito físico. Como a explicação está diretamente relacionada com os sentidos, a resposta foi categorizada como intuitiva.

## Escolar básico

*“É a junção da luz com as moléculas de ar, poeira e água que formam a coloração azul” (Emília)*

*“É a junção das luzes com o gás da atmosfera” (Vanessa e Laís)*

Nessas respostas, semelhantes entre si, o azul do céu seria obtido a partir da interação entre a luz e matéria. Os termos utilizados não são corretos cientificamente e não há menção em relação à visão.

*“Porque as ondas de luz ao se chocarem com partículas da atmosfera, onde predomina o oxigênio, permitindo prevalecer tal cor” (Lucas)*

Embora a resposta utilize considerações da luz como uma onda não há elementos na explicação para que fosse necessária tal consideração, pois, inclusive, ele recorre à reflexão da luz (utilizando o termo “chocarem”).

*“Porque as luzes que refletem nele nos permite ver que ele é azul” (Samanta)*

A resposta mostra que há o reconhecimento da interação da luz com a matéria (no caso, implicitamente, as partículas presentes na atmosfera) e que ela influencia na percepção da cor

azul. Além disso, ressalta-se que nesse caso há também o reconhecimento da visão para que se possa perceber o céu como azul. Apesar da aluna citar a visão, sua resposta foi classificada como “Escolar básico” por não estar de acordo com a explicação científica para o fenômeno.

### **Escolar avançado**

*“Quando a luz passa através de um prisma, seu espectro é dividido em sete cores monocromáticas, isso que surge um arco-íris de cores. A atmosfera faz o mesmo papel do prisma, atuando onde os raios solares colidem com as moléculas do ar, água e poeira são responsáveis pela dispersão do comprimento de onda azul da luz.” (Tiago, Dehon)*

Nota-se que a resposta contém vários conceitos implícitos como a dispersão e espalhamento da luz que fazem parte da explicação do motivo do céu ser azul durante o dia. Os alunos provavelmente utilizaram a analogia com o prisma por já terem estudado a dispersão da luz anteriormente, na atividade sobre as cores do arco-íris.

## 7 Considerações finais

Os resultados obtidos, a partir da classificação das respostas nas categorias de concepções alternativas, nos levam a crer que a forma como as perguntas foram feitas, em alguns casos, não levava o estudante a, necessariamente, pensar em aspectos relacionados à visão ou em conceitos mais formais da física para poder respondê-las, o que, portanto, pode ter sido determinante para que a maioria das respostas não estivessem com explicações próximas àquelas consideradas corretas pela ciência. É possível perceber, a partir das Tabelas 3, 4 e 5, que de fato a atividade 2, cuja pergunta para obter as concepções sobre cores citava diretamente a visão, foi a que mais estudantes tiveram as suas respostas classificadas no modelo Escolar Avançado, tanto em termos absolutos quanto em termos relativos.

Apesar de ter tido um aumento no número de estudantes com respostas no modelo Escolar Avançado na atividade 2, não foi possível observar, a partir do desenvolvimento da sequência didática nenhum padrão de evolução das concepções alternativas, isto é, não houve estudantes que estavam inicialmente na categoria intuitiva e, posteriormente, as respostas estivessem necessariamente no modelo Escolar (básico ou avançado), sendo que também não foi observado o contrário. Esse fato pode ter ocorrido, entre outros fatores, porque apenas na atividade 1 tivera uma presença considerável de alunos na sala, enquanto que na última atividade apenas 14 alunos (de um total de 39) estiveram presentes. Além disso, a partir de observações feitas em sala de aula, acreditamos que alguns estudantes não tiveram uma percepção das atividades como pertencentes a uma sequência, mas sim como sendo atividades isoladas, o que pode ter contribuído para o resultado.

As respostas da maioria dos alunos, dentre aqueles que participaram de todas as três atividades que foram objetos de investigação, podem ser consideradas inconsistentes, já que apenas as alunas Cristina e Samanta tiveram as suas respostas classificadas na mesma categoria, no caso o modelo Escolar Básico. Chama a atenção também as respostas da Lara que nas atividades 1 e 4 foram classificadas no modelo Intuitivo, enquanto que na atividade 2 foi classificada como Escolar Avançado, o que é uma evidência de como a forma como as perguntas foram feitas não levavam os alunos a pensarem em aspectos relacionados à visão.

Pudemos perceber, em sala de aula, que os experimentos e simulações se mostraram bastante úteis para ajudar os alunos a entenderem as diferenças entre as suas concepções e os conhecimentos científicos, pois eles podiam visualizar que realmente as suas ideias nem sempre coincidem com o que visualizavam, levando-os a ficarem instigados com o fenômeno. Desta forma, o professor, quando for realizar a atividade, pode dedicar-se a explicar o fenômeno,

inclusive aproveitando para questionar os estudantes sobre as eventuais contradições ou limitações acerca do que eles acreditam. De toda maneira, há a sugestão de focar na problematização do conhecimento do aluno e, no processo de explicação do professor sobre o fenômeno, ressaltar a diferença de conceitos como reflexão e refração que são comumente confundidos pelos alunos, o que, conforme dito acima, pode ser visto durante o desenvolvimento da sequência didática.

Acreditamos que a utilização de atividades baseadas na investigação de concepções alternativas se mostrou de grande potencial para a aprendizagem das cores e alguns fenômenos de óptica ondulatória. Um dos fatores que contribuiu para esta percepção foi o fato de ter havido questões no início de cada atividade que, além de fornecerem as concepções discutidas anteriormente, fez com que diversos alunos se mostrassem empolgados e curiosos para se obter respostas às questões problematizadoras, fazendo com que eles se empenhassem nas atividades, inclusive tentando fazer relações com o que observavam nas simulações e experimentos com as questões iniciais dos roteiros.

Para uma próxima oportunidade pretendemos desenvolver as atividades a fim de investigar possíveis mudanças de concepções sobre os referidos temas, não apenas em relação à evolução ao longo delas, mas também nas próprias atividades em si, ao final de cada uma.

Os experimentos da Caixa de Cores e o do aquário (descritos no capítulo 5) foram realizados por estudantes que fizeram as atividades em sala de aula, com integrantes da comunidade escolar, em duas oportunidades: uma na feira de ciências da escola e outra na praça da cidade no dia conhecido como Virada Educação, que ocorre simultaneamente em todo o estado de Minas Gerais, tendo sido, na própria visão dos estudantes, um sucesso.

A partir de feedbacks informais, alguns estudantes relataram que acertaram a questão sobre cores numa prova de um processo de avaliação seriada de uma universidade da região graças às atividades que foram desenvolvidas em sala de aula.

Fatos assim nos mostram que, de fato, a física pode ser interessante, divertida e, claro, compreendida de modo formal, embora muitas vezes os estudantes possam ter outra percepção, a depender da forma como ela é trabalhada em sala de aula.

## 8 Referências Bibliográficas

- BACH JUNIOR, J. As cores fisiológicas na ciência de Goethe: educação e fenomenologia. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 22, n. 1, p.117-128, mar. 2016.
- BACHELARD, G. **O racionalismo aplicado**. Rio de Janeiro: Zahar 1977
- BRAVO, B.; BRAUNMÜLLER, M.; ROCHA, A. La propuesta didáctica y el conocimiento de los alumnos. In: XIV Reunión Nacional de Educación en Física. San Carlos de Bariloche. **Anais**. San Carlos de Bariloche. 2005
- BRAVO, B. M.; PESA, M. A. Concepções de alunos (14 – 15 Anos) de educação general básica sobre la naturaleza y percepción del color. **Investigação em Ensino de Ciências**, Porto Alegre V.10, n.3. 2005.
- BRAVO, B.; PESA, M.; POZO, J. I. Concepções acerca de la visión y percepción del color. Diseño y evaluación de un Test de respuestas múltiples. In: XIV Reunión Nacional de Educación en Física. San Carlos de Bariloche. **Anais**. San Carlos de Bariloche. 2005
- CAMARGO, E. P. et al. Disco de Newton multissensorial. **Física na Escola**, [s.l.], v. 10, n. 2, p.36-37, 2009.
- CAMARGO, E. P. et al. Como ensinar óptica para alunos cegos e com baixa visão? **Física na Escola**, [s.l.], v. 9, n. 1, p.20-25, 2008.
- CAVALCANTE, M. A. et al. Estudo das cores com o Arduino Scratch e Tracker. **Física na Escola**, [s.l.], v. 14, n. 1, p.27-33, 2016.
- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.. Uma caixinha para estudos de espectros. **Física na Escola**, [s.l.], v. 3, n. 2, p.40-42, 2002.
- COSTA, G. G. G. et al. Caixa de cores para o estudo de mistura de luzes colorida. **Física na Escola**, [s.l.], v. 9, n. 2, p.25-28, 2008.
- DELIZOICOV, D. Problemas e problematizações. In: PIETROCOLA, M. (Org.). **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora UFSC, p. 135-150, 2001.
- GALILI, I.; HAZAN, A. Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. **International Journal Of Science Education**, [s.l.], v. 22, n. 1, p.57-88, 2000.
- GIRCOREANO, J. P.; PACCA, J. L. de A. O ensino da óptica na perspectiva de compreender a luz e a visão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n.1: p. 26-40, abr. 2001.
- GRAF. Física 2 – Física Térmica e Óptica. EDUSP. Versão Preliminar, 1998.

HARRES, J. B. S. Um teste para detectar concepções alternativas sobre tópicos introdutórios de ótica geométrica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 10, n. 3, p.220-234, dez. 1993.

LEAL, K. P. **História da ciência, religião e interculturalidade no ensino de física. Por que não?** 2017. 131 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

LORETO, É. L. da S.; SARTORI, P. H. dos S. Simulação da visão das cores: decodificando a transdução quântica-elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s.l.], v. 25, n. 2, p.266-286, maio 2008.

MACHADO, J. Análise de uma sequência didática proposta a partir das concepções de estudantes do ensino médio sobre luz e cores. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis. **Anais**, Florianópolis, 2007.

MARTINS, A. F. P.; RAFAEL, F. J. Uma investigação sobre as concepções alternativas de alunos do ensino médio em relação aos conceitos de calor e temperatura. In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física. São Luís. **Anais**, São Luís, 2007.

MARTINS, R. de A. Como distorcer a física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica 1 – Física Clássica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, [s.l.], v. 15, n. 3, p. 243–264, dez. 1998.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Física**: volume 2. 1º Ed. São Paulo: Scipione, 2005.

MELCHIOR, S. C. L.; PACCA, J. L. de A. Concepções de cor e luz: a relação com as formas de pensar a visão e a interação da luz com a matéria. In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física. Jaboticatuba. **Anais**, Jaboticatuba 2004.

MELCHIOR, S. C. L.; PACCA, J. L. de A. Experimentos sobre a cor: conflitos com as concepções alternativas. In: XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física. Rio de Janeiro. **Anais**, Rio de Janeiro, 2005.

MOURA, B. A. Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 1, p.111-141, 2016.

MOURA, B. A.; BOSS, S. L. B.. Thomas Young e o resgate da teoria ondulatória da luz: Uma tradução comentada de sua Teoria Sobre Luz e Cores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 4, p.4203-1, dez. 2015.

MUECHEN, C.; DELIZOICOV, D. A construção de um processo didático- pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v.14, n. 3, p. 199-215, set-dez 2012

PACCA, J. L. A.; VILLANI, A. Categorias de análise nas pesquisas sobre conceitos alternativos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo: v.12, n.1, p.123-138, dez. 1990.



PUGLIESE, R. M. **Consumindo a física na escola básica: A sociedade do espetáculo e as novas propostas curriculares.** 2011. 138 p. Dissertação (Mestrado Curso de Ensino de Ciências: Modalidade Física), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

ROCHA, M.N. et al. O azul do céu e o vermelho do pôr-do-sol. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 32, n.3, p.3501-35013, 2010.

SANDOVAL, J. D.; SANDOVAL, J. J. S de. A sensação de cor: um problema da Física? Algumas experiências para sala de aula. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 7, n. 3, p.183-195, dez. 1990.

SANTOS, L. F.; PEREIRA, C. J. Composição de cores através da calibração radiométrica e fotométrica de LED's. In: **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo: v.35, n.4, p.2314-2314-8, 2013

SCARINCI, A. L.; MARINELI, F. O modelo ondulatório da luz como ferramenta para explicar as causas da cor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 36, n. 1, p.1309e1-1309e14, 2014.

SILVA, C. C.; MARTINS, R.A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. **Ciência&Educação**, Bauru, v. 9, n.1, p.53-65, 2003.

SILVA, C. C.; MOURA, B. A. A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 30, n. 1, p.1602e1-1602e10, 2008.

SILVEIRA, M V; BARTHEM, R B. Disco de Newton com LEDs. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 38, n. 4, p. e4502-1 - e4502-9, dez. 2016b

SILVEIRA, M.V.; BARTHEM, R.B. Ensino da visão cromática através de aparato com LED's coloridos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 38, n. 3, , p. e3502-e3502-6, set. 2016a.

SILVEIRA, F. L. da; MOREIRA, M. A.; AXT, R.. Validação de um teste para verificar se os alunos possuem concepções científicas sobre corrente elétrica em um circuito simples. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 41, n. 11, p.1129-1133, nov. 1989.

SILVEIRA, F. L.; SARAIVA, M. F. O. As cores da lua cheia. **Física na Escola**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 20-24, 2008.

TOPPER, D. Newton on the number of colours in the spectrum. **Studies in History and Philosophy of Science**, [s.l.] v. 21, n. 2, p.269-279, jun. 1990.

VIENNOT, L. Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics. **International Journal of Science Education**, v.2, ed.1 p.205-222, 1979.

VILLANI, A. et al. Analisando o ensino de física: contribuições de pesquisa com enfoques diferentes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 04, n. 1, p.23-51, 1982.

ZYLBERSZTAJN, A. Concepções espontâneas em física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino. **Revista de Ensino de Física**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 3-16, 1983.

## **Anexo A – Produto Educacional**

Apresentamos aqui o produto educacional no qual constam as atividades desenvolvidas com os estudantes em sala de aula. Neste produto são encontrados também um resumo estruturado das referidas atividades, bem como orientações gerais para os professores, além de um material de estudo suplementar sobre cores, caso o professor queira saber mais sobre o assunto. Ressaltamos que essa é uma versão preliminar do produto educacional. A versão definitiva poderá ser consultada posteriormente no site do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) a partir do link a seguir: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/>.

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Nacional Profissional

Sociedade Brasileira de Física

CADERNO DO PROFESSOR DE FÍSICA

**AS CORES NA NATUREZA:** Uma proposta  
para o ensino de óptica ondulatória.

César Augusto Vassalo Silva

Alexandre Bagdonas

Helena Libardi

LAVRAS – MG

2018

**César Augusto Vassalo Silva**

**Alexandre Bagdonas**

**Helena Libardi**

**AS CORES NA NATUREZA: Uma proposta  
para ensino de óptica ondulatória**

Unidade Didática desenvolvida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física, no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal de Lavras, fazendo parte da dissertação de mestrado de mesmo nome.

LAVRAS – MG

2018

**Ficha catalográfica**

Silva, César Augusto Vassalo.

As cores na natureza : uma proposta para o ensino de óptica  
ondulatória / César Augusto Vassalo Silva. - 2018.

39 p. : il.

Orientador(a): Alexandre Bagdonas.

Coorientador(a): Helena Libardi.

Produto Educacional (Unidade Didática), do Curso de Mestrado  
Profissional, do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, da  
Universidade Federal de Lavras..

Bibliografia.

1. Ensino de física. 2. Ensino médio. 3. Concepções alternativas. I.  
Bagdonas, Alexandre. II. Libardi, Helena. III. As cores na natureza.

## AGRADECIMENTOS

À Escola Estadual Benjamim Guimarães por permitir a realização de todas as atividades com os alunos em sala de aula.

Aos estudantes do Ensino Médio que participaram das atividades, colaborando e se empenhando durante o desenvolvimento das mesmas.

A todos os professores da UFLA que contribuíram com suas sugestões para a confecção deste material e, em especial, ao Alexandre e à Helena pelas orientações e ao Antônio Marcelo, o Queridinho, por ter fornecido tantas dicas preciosas!

MUITO OBRIGADO!!!

## Sumário

---

1	Introdução	54
2	Estrutura das atividades	56
3	Roteiro de atividades	58
	<b>3.1 Atividade 1 – As cores dos objetos</b>	59
	3.2 Atividade 2 - As cores do arco-íris	63
	3.3 Atividade 3 - A visão das cores	68
	3.4 Atividade 4 - As cores do céu	72
4	Orientações gerais	76
	4.1 Atividade 1 - As cores dos objetos	76
	4.1.1 Gabarito da Atividade 1	77
	<b>4.2 Atividade 2 - As cores do arco-íris</b>	79
	4.2.1 Gabarito da Atividade 2	80
	4.3 Atividade 3 - A visão das cores	81
	4.3.1 Gabarito da Atividade 3	81
	4.4 Atividade 4 - As cores do céu	82
	4.4.1 Gabarito da Atividade 4	82
5	Material de apoio - Cores	84
6	Referências	93



## 1 Introdução

Sabemos que a física é uma forma de nos ajudar a entender a natureza em termos da energia, matéria e suas relações. A natureza é bela! Portanto, a física também possui uma beleza associada. A física é bela!

Mas não basta a física ser bela, é preciso que o seu estudo também seja belo. É preciso que os estudantes percebam não só a importância, mas também a beleza da física e, de fato, como ela está relacionada com a natureza, com o mundo!

Uma queixa bastante comum entre os estudantes do Ensino Médio é que a Física é difícil e que eles não conseguem compreendê-la. Cria-se, portanto, um obstáculo à aprendizagem, principalmente entre aqueles que não pretendem seguir carreira acadêmica após o término do ensino médio. Como fazer para superar esse obstáculo? Como fazer com que a física seja atraente para ele e para todos os seus colegas? Conceitos como reflexão e refração da luz, para que servem? Este tipo de pergunta é comum para estudantes que, no primeiro momento, não veem sentido em estudar estes e outros assuntos ligados à física...

Pensando nesses questionamentos, foram propostas atividades que deram origem ao presente material sobre cores, assunto que é, por vezes, negligenciado por livros didáticos e acabam não sendo tratados em sala de aula do ensino médio. Normalmente o assunto acaba ficando restrito às aulas de artes no último ano do ensino fundamental, sendo o estudo focado nas cores de tinta, que possuem características distintas das cores de luz, principalmente no que se refere à mistura das cores, fornecendo resultados que não são condizentes ao da mistura de luzes.

Nessa sequência, o professor poderá focar o estudo da óptica ondulatória em aspectos relacionados a cores presentes na natureza, mostrando ao estudante que apesar de parecer difícil, a física também tem uma beleza associada. Com este material podemos trabalhar conceitos de óptica ondulatória a partir de cores que estão presentes em nossa volta desde sempre e que continuarão presentes, seja para identificar o nosso time de futebol favorito ou para simplesmente embelezar o horizonte com o arco-íris após uma chuva de verão.

Com as atividades presentes neste material o professor poderá também investigar possíveis concepções alternativas que seus estudantes possuem sobre cores na natureza e assim procurar relacioná-las com àquelas que são consideradas corretas do ponto de vista do conhecimento científico. Ou seja, o professor poderá confrontar as ideias dos estudantes, quando estas não forem coerentes com as científicas, inclusive através de exemplos, de modo

a fazer com que o estudante compreenda que as suas ideias não são coerentes com o modelo científico. Convém ressaltar que tais concepções são difíceis de serem superadas e, em alguns casos, pode acontecer, inclusive, passado algum tempo da instrução escolar, as concepções alternativas que eles já possuíam, conviverem (ou, até mesmo, superarem) os conhecimentos obtidos em sala de aula.

## 2 Estrutura das atividades

Apresentamos a seguir um quadro que contém, de forma resumida, as estruturas referentes a cada atividade. Na primeira coluna está descrito qual é a atividade em questão, enquanto que na segunda estão contidos os objetivos de aprendizagem das mesmas. Na sequência temos os conteúdos que serão trabalhados nas atividades. Na parte de metodologia há uma breve descrição da proposta para o desenvolvimento na sala de aula e, por último, são apresentados os recursos que serão utilizados.

<b>Atividade</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Conteúdo</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Recursos didáticos</b>
<b>Atividade 1</b> As cores dos objetos	Compreender como se caracteriza as cores dos objetos.  Compreender a cor como uma associação a um determinado comprimento de onda.	Luz  Cores  Espectro Eletromagnético	Audição da música “Trem das Cores” de Caetano Veloso.  Discussão sobre o que caracteriza a cor de um objeto.  Realização do experimento da caixa de cores.	Roteiro de atividades, música e caixa de cores.
<b>Atividade 2</b> As cores do arco-íris	Compreender os conceitos de reflexão, refração e dispersão.  Compreender como o arco-íris é formado.  Identificar quais são as cores que se vê em um arco-íris.	Reflexão.  Dispersão.  Refração.	Discussão sobre quantas cores se vê em um arco-íris.  Comparar o arco-íris real com representações artísticas.  Investigação sobre como o arco-íris é formado utilizando-se simulação computacional.	Quadro e giz, projetor de slides, roteiro de atividades.

<p><b>Atividade 3</b> A visão das cores</p>	<p>Entender que o Daltonismo é uma doença que afeta a visão.</p> <p>Compreender como enxergamos as cores.</p>	<p>Daltonismo.</p> <p>Mecanismos da visão.</p>	<p>Discussão sobre as formas de diferenciar os objetos.</p> <p>Discussão sobre daltonismo.</p>	<p>Roteiro de atividade, projetor de slides, quadro e giz.</p>
<p><b>Atividade 4</b> As cores do céu</p>	<p>Compreender o motivo do céu ser azul durante o dia.</p> <p>Compreender o motivo do céu ser vermelho ao pôr do sol.</p>	<p>Dispersão da luz.</p> <p>Espalhamento da luz.</p> <p>Mecanismos da visão.</p>	<p>Elaboração de hipóteses para o motivo do céu ser azul.</p> <p>Realização do experimento demonstrativo sobre o espalhamento da luz.</p> <p>Elaboração de respostas para as questões presentes no roteiro.</p> <p>Discussão sobre as cores do céu.</p>	<p>Roteiro de atividade, aquário, lanterna<sup>10</sup>, leite, colher.</p>

<sup>10</sup> Pode ser inclusive a lanterna do celular, desde que sua luz seja branca.

### **3 Roteiro de atividades**

Caro professor,

Esta sequência didática é constituída de 4 atividades que podem ser utilizadas para trabalhar conceitos de óptica ondulatória ao mesmo tempo em que se estuda as cores, tema que por vezes é deixado de trabalhar nas aulas de física no Ensino Médio. Aliás, a própria experiência docente nos mostra que o ensino da óptica muitas vezes é “restrito” à óptica geométrica, não sendo discutidos nem mesmo outros fenômenos que podem ser explicados a partir do modelo ondulatório da luz.

A seguir são apresentados os roteiros de atividades que foram desenvolvidos em sala de aula com os alunos. No capítulo 4 encontram-se algumas orientações para cada uma das atividades, incluindo um “gabarito”, onde são apresentadas as respostas corretas do ponto de vista científico.

### 3.1 Atividade 1 – As cores dos objetos

Desde crianças estamos acostumados a vivenciar as cores. Quem nunca perguntou para o colega “Qual a sua cor favorita?”. Se vão pintar a casa, qual cor escolher e por que essa cor? Quais as cores do seu time? Não é raro ter cores associadas a sentimentos: amor, paixão, tristeza, alegria, esperança, paz e tantos outros.

Não apenas para nós seres humanos, mas também para as plantas e os animais, as cores possuem grande importância. Algumas plantas possuem cores que são atraentes para os insetos polinizadores, enquanto no reino animal as cores de um animal ajuda desde a fuga de um predador à atração de uma fêmea para o cortejo.

A partir de agora vamos começar a estudar o fenômeno das cores, procurando entender como ocorrem algumas cores na natureza. A seguir há a letra da música *Trem das Cores* de Caetano Veloso, vamos ler com atenção!

#### **Trem das Cores** **Caetano Veloso**

A franja na encosta cor de laranja, capim rosa chá  
 O mel desses olhos luz, mel de cor ímpar  
 O ouro ainda não bem verde da serra, a prata do trem  
 A lua e a estrela, anel de turquesa  
 Os átomos todos dançam, madrugada, reluz neblina  
 Crianças cor de romã entram no vagão  
 O oliva da nuvem chumbo ficando pra trás da manhã  
 E a seda azul do papel que envolve a maçã  
 As casas tão verde e rosa que vão passando ao nos ver passar  
 Os dois lados da janela  
 E aquela num tom de azul quase inexistente, azul que não há  
 Azul que é pura memória de algum lugar  
 Teu cabelo preto, explícito objeto, castanhos lábios  
 Ou pra ser exato, lábios cor de açai  
 E aqui, trem das cores, sábios projetos: Tocar na central  
 E o céu de um azul celeste celestial

Pensando na letra da música, responda:

1. O que caracteriza a cor de um objeto?

.....

.....

.....

.....

.....

Preencha o Quadro 1, com as cores que você acredita que irá ver , quando a figura colorida estiver iluminada com luzes de cores primárias: vermelha, verde e azul. Note que as cores *ciano*, *magenta* e *amarelo* são chamadas de cores secundárias, pois são formadas pela composição das luzes vermelho, verde e azul, da seguinte maneira:

**Azul + Verde = Ciano**   **Azul + Vermelho = Magenta**   **Verde + Vermelho = Amarelo**

**QUADRO 1**

<b>COR DA FIGURA</b>	<b>LUZ VERMELHA</b>	<b>LUZ VERDE</b>	<b>LUZ AZUL</b>
Branca			
Vermelha			
Verde			
Azul			
Ciano			
Magenta			
Amarela			

Agora, vamos discutir com os outros grupos as respostas que vocês forneceram. Cada grupo irá explicar os resultados que identificaram para uma das cores das figuras.

Considerando as discussões sobre a causa das cores e sobre o preenchimento do Quadro 1, responda:

2. Imagine que coloquemos um papel celofane amarelo sobre uma folha de papel branco. Por que podemos ver como amarela a folha nessa situação?

- a. ( ) Porque o papel celofane é amarelo.
- b. ( ) Porque o papel celofane adiciona cor na luz.
- c. ( ) Porque da luz refletida pela folha, o papel celofane transmite uma parte da luz que eu percebo como amarela quando chega em meus olhos.
- d. ( ) Porque o papel celofane transmite o amarelo da luz que reflete na folha.
- e. ( ) Porque de todas as cores refletidas pela folha, o papel celofane absorve o amarelo.
- f. ( ) Porque o papel transmite vermelho e verde e meu olho percebe como amarelo.

Vamos agora visualizar o interior da caixa que será iluminada por uma lâmpada LED. Esta lâmpada pode fornecer as cores vermelha, verde e azul. A partir das anotações dos integrantes de seu grupo que visualizaram o interior da caixa, você e seus colegas de grupos dirão qual é a cor da figura.

QUADRO 2

<b>Figura</b>	<b>Luz vermelha</b>	<b>Luz verde</b>	<b>Luz azul</b>	<b>Cor da figura</b>
Seta				
Triângulo				
Coração				
Losango				
Círculo				
Estrela				
Cruz				



3. Como vocês chegaram às cores das figuras?

.....  
.....  
.....  
.....

4. Compare as tabelas 1 e 2. Como você explica as diferenças encontradas?

.....  
.....  
.....  
.....

5. Considere uma camisa que é vermelha quando iluminada por luz branca. Em quais outras situações podemos perceber outras camisas como sendo vermelha?

.....  
.....  
.....  
.....

### 3.2 Atividade 2 - As cores do arco-íris

Quando olhamos para o céu durante um dia sem muitas nuvens, facilmente notamos o quão brilhante é o Sol, a nossa principal fonte de luz. Em dias de verão é muito comum que ocorram pancadas de chuva durante o dia e, instantes após, já com o Sol aparente, apareça um arco-íris no horizonte. A seguir há duas questões sobre o arco-íris, responda-as antes de prosseguirmos.

1. Vê-se todas as cores em um arco-íris?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

2. Por que você acha que ele tem essas cores?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

A partir de agora, vamos procurar entender um pouco mais sobre o arco-íris. O seu professor irá entregar a letra da música “Trem das Cores” de Caetano Veloso e, também, irá projetar a imagem do quadro “A Noite Estrelada”, ilustrada na Figura 1 a seguir, de autoria do pintor holandês Vicent van Gogh.

Figura 1 - Imagem do quadro “A Noite Estrelada”



Fonte: Gogh (1889)<sup>11</sup>

3. Considerando o quadro e a música, você mudaria de alguma forma a sua resposta à questão número 1? Explique.

.....

.....

.....

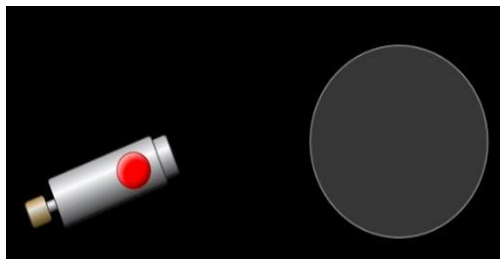
.....

.....

Continuando a nossa aula de hoje, vamos realizar algumas simulações utilizando prismas através do simulador PhET<sup>1</sup>. Porém antes de iniciar a simulação, vamos aproveitar para mexer no simulador livremente, de modo a nos familiarizarmos com suas ferramentas.

Inicialmente iremos ligar a lanterna de modo que a luz irá incidir sobre o prisma e, na sequência, irá sair do outro lado. A Figura 2 ilustra a situação da lanterna próxima ao prisma.

Figura 2 - Lanterna desligada próximo a um prisma.



Fonte: PhET Simulações Interativas<sup>12</sup>

<sup>11</sup> GOGH, V. van. The starry night. 1889. Disponível em: <<https://www.moma.org/collection/works/79802>> . Acesso em: 17/09/2018.

<sup>12</sup> Disponível em: <[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations)> Acesso em: 17/09/2018

4. O que você espera observar após a luz sair do prisma?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Agora que já estamos mais familiarizados com o simulador, podemos avançar em nossos estudos.

Primeiramente, quando iniciar o aplicativo, clique na opção “Prisma” e, na sequência, clique no terceiro ícone da lanterna, no lado direito da tela. Clique em um prisma circular e o arraste para próximo a lanterna, como na Figura 2.

Agora estamos prontos para começar a simulação.

5. O que você observou após ligar a lanterna?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

6. Que relação com o arco-íris você consegue imaginar?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Continuando a nossa atividade vamos agora realizar uma nova configuração na nossa simulação, de modo a fazer a luz incidir sobre dois novos prismas, conforme a Figura 3. Antes de ligarmos a lanterna, responda:

7. O que você espera que aconteça após a luz passar pelo terceiro prisma?

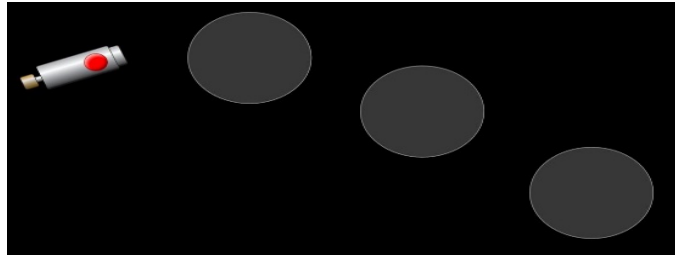
.....

.....

.....

.....

Figura 3 - Configuração de lanterna e três prismas.



Fonte: PhET Simulações Interativas<sup>13</sup>

8. Após colocado os prismas adicionais, quantas cores você identificou?

.....

.....

.....

.....

9. Há alguma relação com o arco-íris nessa situação? Explique.

.....

.....

.....

.....

10. Por que logo após a luz deixar o prisma, ainda a vemos branca?

.....

.....

.....

<sup>13</sup> Disponível em: <[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations)>  
Acesso em: 17/09/2018

.....  
.....

11. Faça um resumo explicando como se forma o arco-íris. Caso desejar, inclua desenhos para ilustrar.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

### 3.3 Atividade 3 - A visão das cores

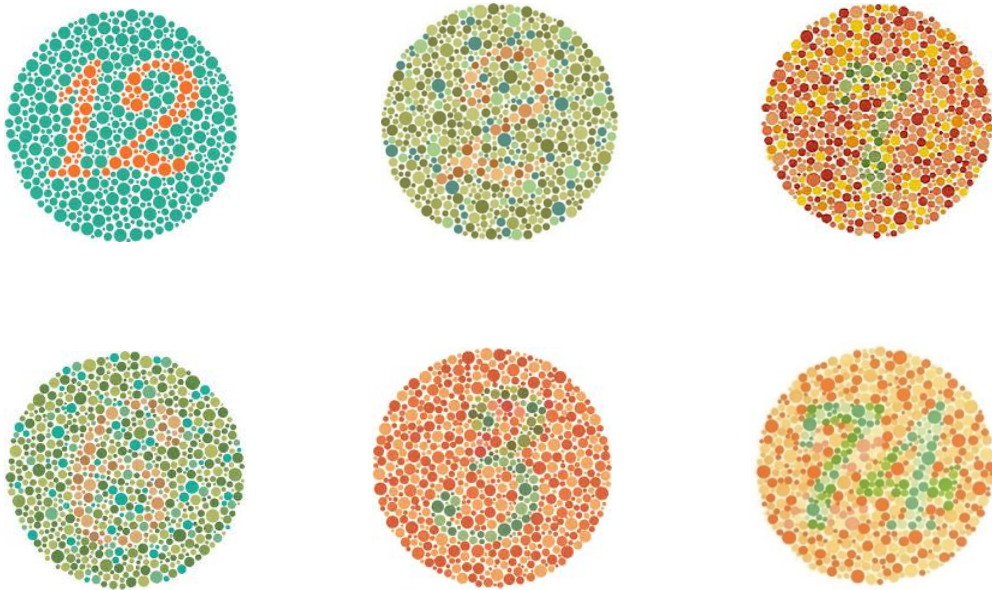
A visão é um tema que desde a antiguidade foi de interesse em estudos de vários tipos de profissionais, entre médicos, poetas e cientistas, por exemplo. Sabemos que para enxergarmos é necessário que haja luz e que distingamos os objetos, visualmente, através de suas formas e cores.

Pense no que já discutimos nas atividades anteriores. Na Caixa de Cores tivemos a oportunidade de verificar que a iluminação do ambiente, isto é, a cor da luz influencia na cor de um objeto: se iluminarmos um suculento melão amarelo com a luz verde o veremos de maneira diferente do que se o iluminarmos com luz vermelha. Olhando para um belo arco-íris depois de uma chuva de verão, veremos as muitas cores que ele possui.

Todos esses fatos listados levam em consideração uma boa quantidade de luz. Mas se eu estiver em um ambiente escuro, por exemplo, no quarto em casa com a luz apagada, eu continuo sendo capaz de distinguir uma maçã de uma uva e a laranja de um chocolate, por exemplo. Evidentemente que ainda há luz neste ambiente, apesar de ser em baixa intensidade, mas, mesmo assim, eu não consigo mais distinguir as cores de cada um desses alimentos. Isso me leva a uma questão: **Como enxergamos as cores?** Como de costume, responda-a para podermos debater na sequência.

Pense mais uma vez. Você já imaginou olhar para as folhas das árvores, em plena primavera, e enxergá-las todas em tons de marrons, ou olhar para um semáforo ligado e não distinguir as cores? Pois essa é a realidade de muitas pessoas que são daltônicas. O daltonismo é uma doença hereditária que faz com que as pessoas não consigam enxergar certos tons de cores. Observe as figuras seguintes. Elas são utilizadas em testes para saber se uma pessoa é ou não daltônica.

Figura 1 - Exemplos de imagens utilizadas em exames Testes de Daltonismo.



Fonte: Adaptado de Acessibilidade para Daltônicos na Web<sup>14</sup>

**Atenção!** Caso você não tenha conseguido distinguir os números nas figuras acima, não se desespere! Procure o seu médico oftalmologista, pois somente ele poderá dar um diagnóstico definitivo.

Continuando, vamos agora responder algumas questões sobre como vemos as cores em algumas situações e, para tal, vamos considerar a visão de uma pessoa comum.

1. Em um espetáculo há um cenário branco. Projeta-se, em um mesmo lugar, um feixe de luz vermelha e outro, de luz verde.

a) No lugar onde os feixes se sobrepõem, observa-se:

( ) branco

( ) amarelo

( ) marrom

---

<sup>14</sup> Disponível em: <<http://www.daltonicos.com.br/daltonico/index.html>>  
Acesso em: 17/09/2018



- ( ) não sei
- ( ) verde e vermelho
- ( ) outra cor : .....

**b) Onde você imagina que esta cor se produz?**

- ( ) no espaço onde os feixes de luz se encontram
- ( ) no olho do espectador (sobre a retina)
- ( ) no cenário
- ( ) no cérebro do espectador.

Faça um comentário ou um esquema justificando a resposta.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**2. Dois feixes de luz laser, um vermelho e o outro verde, se cruzam no espaço. A cor de cada feixe é a mesma antes e depois de se cruzarem?**

- ( ) sim
- ( ) não
- ( ) não sei.

Justifique a resposta

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

3. Por que você enxerga como vermelha uma maçã suculenta?

a. ( ) Porque a maçã, dentre todas as cores da luz branca, é iluminada principalmente pela luz vermelha.

b. ( ) Porque a maçã é naturalmente vermelha.

c. ( ) Porque a maçã absorve parte da luz que a ilumina e reflete a vermelha.

d. ( ) Porque a maçã absorve o vermelho da luz que a ilumina.

e. ( ) Porque a maçã absorve parte da luz e reflete uma parte da luz, que ao chegar nos meus olhos, enxergo como vermelha.

### 3.4 Atividade 4 - As cores do céu

Desde a antiguidade o homem sempre se interessou pelo céu, seja olhando para as estrelas durante a noite ou simplesmente admirando as nuvens brancas que se destacam em meio ao azul do céu, inclusive trabalhando com a imaginação. E esse mesmo azul também foi motivo de curiosidade pelo homem que tentava entender o motivo do céu ter essa cor. Vejamos um trecho da música Pais e Filhos, de Renato Russo, do Legião Urbana:

*Me diz por que que o céu é azul?*

*Explica a grande fúria do mundo*

*São meus filhos*

*Que tomam conta de mim*

Não vamos nos preocupar aqui em buscar explicações para a grande fúria do mundo, porém a grande dúvida, a pergunta que não quer calar: ***Por que que o céu é azul?*** Será sim nosso alvo. E para começar, claro, você deve elaborar uma possível resposta para essa questão:

.....

.....

.....

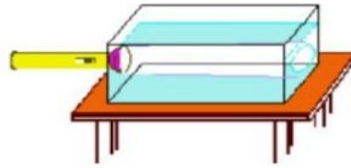
.....

.....

Passemos agora para um breve experimento que irá nos ajudar a entender o motivo do céu ser azul durante o dia e vermelho durante o amanhecer e também ao pôr do Sol.

Neste experimento vamos utilizar um aquário transparente cheio d'água, no qual colocaremos um pouco de leite e misturar até obtermos uma mistura homogênea. Após a mistura estar pronta, vamos posicionar uma lanterna à meia altura no lado externo de uma das paredes, tal como na figura:

Figura 1 - Lanterna ligada próxima a parede externa de um aquário.



Fonte: Ciência à Mão<sup>15</sup>

Antes de ligar a lanterna, diga o que você acha que irá observar quando ela estiver ligada (sempre de acordo com a Figura 1) em cada uma das seguintes situações:

1. Ao olhar em uma das paredes laterais do aquário.

.....

.....

.....

.....

.....

2. Ao olhar na parede oposta à lanterna.

.....

.....

.....

.....

.....

Agora, com a lanterna ligada, responda as questões 3 e 4 dizendo o que você de fato observou.

Lanterna Ligada:

3. Ao olhar em uma das paredes laterais do aquário.

.....

.....

.....

<sup>15</sup> Disponível em:

<[http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmd&cod=\\_pmd2005\\_i1002](http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmd&cod=_pmd2005_i1002)>

Acesso em: 17/09/2018

.....  
.....

4. Ao olhar na parede oposta à lanterna.

.....  
.....  
.....  
.....

5. Qual o papel do leite no experimento?

.....  
.....  
.....  
.....

Vamos pensar em relação ao céu:

7. Em um dia claro, em que posição o Sol se encontra no céu a maior parte do tempo?

.....  
.....  
.....  
.....

8. Ainda em dias claros, em que posição o Sol se encontra no céu durante o pôr do sol?

.....  
.....  
.....  
.....

9. Considere as suas respostas das questões 3 a 8. Tente elaborar uma hipótese do porquê do céu ser azul durante o dia e vermelho durante o pôr do Sol.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Terminou de responder? Discuta em voz baixa com seus colegas a sua resposta e veja se vocês concordam entre si.

Para finalizar a nossa aula, responda as questões abaixo:

10. A que cores de luz nossos olhos são mais sensíveis?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

11. Por que o céu não é violeta?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

12. Por que o céu aparece vermelho ao pôr do Sol mas não ao meio dia?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

## 4 Orientações gerais

Caro professor,

Apresentamos neste capítulo algumas orientações para se trabalhar com os alunos as quatro atividades que compõem esta sequência didática, além de respostas e comentários sobre as questões presentes nos roteiros de atividade do aluno, inclusive em questões que o aluno deve responder de forma pessoal, mas que, ainda assim, há respostas corretas do ponto de vista científico. Convém lembrar que é esperado que os alunos possuam respostas que divergem do conhecimento científico, por isso a importância de a avaliação das atividades não estar atrelada ao fato das respostas estarem ou não coerentes com a ciência.

### 4.1 Atividade 1 - As cores dos objetos

Atividade que abre a sequência e que explora o porquê das cores dos objetos foi inspirada a partir de uma atividade proposta por Costa et al. (2008) e de uma atividade proposta pelo Grupo de Reelaboração do Ensino de Física da Universidade de São Paulo no livro *Leituras de Física*. A sugestão é que se inicie explicando como serão trabalhadas as próximas aulas (até o término da sequência) e que os estudantes formem grupos de 4 ou 5 integrantes, a depender das características da turma.

Organizada a sala e já introduzida a sequência e o tema, o professor pode colocar música “Trem das Cores” de Caetano Veloso<sup>16</sup> para os estudantes ouvirem, caso haja disponibilidade de aparelho de som, ou na ausência, apenas ler a letra da música com a classe e depois discuti-la com a turma, ressaltando as formas como o Caetano descreve as mais diversas cores. Em sequência, é dado um tempo para os estudantes debaterem a questão-problema sobre o que caracteriza as cores dos objetos para então discutir com toda a classe.

Terminada a discussão, o professor orienta os estudantes para o preenchimento da Tabela 1, do roteiro de atividades, podendo dar o exemplo sobre o que acontece quando a figura é branca e é iluminada, individualmente, pelas luzes vermelha, verde e azul, explicando que essas são as cores de luz que são consideradas primárias devido serem aquelas às quais os cones, células presentes na retina, são mais sensíveis. É interessante também explicar como são formadas as cores secundárias, a partir das primárias, e levar exemplos visuais das cores ciano e magenta, que muitas vezes os estudantes desconhecem por nomes.

---

<sup>16</sup> A letra da música “Trem das Cores” está disponível na seção 3.1.

No próximo momento, o professor orienta os estudantes para visualizarem o interior da Caixa de Cores, sendo um de cada grupo por vez e esse estudante deverá anotar as cores que visualizou para depois levar os resultados para o grupo e, assim, ajudar na discussão para chegar a cor da figura sob a luz branca. É interessante esclarecer aos estudantes que algumas figuras não estarão visíveis, a depender da luz que a estiver iluminando, ou não conseguirá identificar claramente algumas, podendo enxergar tons mais escuros, acinzentados ou amarronzados, sendo que nesse caso, a cor da figura (sob essa luz) pode ser considerada preta.

Tendo visualizado a caixa sob as luzes das três cores primárias e já concluído o preenchimento da Tabela 2, discute-se com a sala os aspectos experimentais (como o fato de não ser possível visualizar todas as figuras) e, claro, sobre o que caracteriza as cores dos objetos.

#### **4.1.1 Gabarito da Atividade 1**

Questão 1: Resposta pessoal. É esperado que a maioria dos alunos forneçam respostas intuitivas relacionadas tanto à tinta quanto à conceitos físicos. A cor de um objeto irá depender da cor do pigmento (como, por exemplo, a tinta na qual um objeto foi pintado), a cor da luz que o ilumina e da interação da luz refletida pelo objeto com o olho do observador.

Quadro 1: A resposta é pessoal por se tratar de cores que eles acreditam que verão. Ainda assim há uma resposta para cada figura iluminada por uma das luzes, conforme o quadro 3 a seguir:



**Quadro 3:** Gabarito do Quadro 1.

<b>COR DA FIGURA</b>	<b>LUZ VERMELHA</b>	<b>LUZ VERDE</b>	<b>LUZ AZUL</b>
<b>Branca</b>	Vermelha	Verde	Azul
<b>Vermelha</b>	Vermelha	Preta	Preta
<b>Verde</b>	Preta	Verde	Preta
<b>Azul</b>	Preta	Preta	Azul
<b>Ciano</b>	Preta	Verde	Azul
<b>Magenta</b>	Vermelha	Preta	Azul
<b>Amarela</b>	Vermelha	Verde	Preta

Tais cores podem ser obtidas a partir da síntese aditiva de cores<sup>17</sup>. As figuras que são de cores secundárias (formadas a partir da junção de duas cores primárias) refletirão as luzes de cores primárias que as formam – por exemplo, uma figura amarela irá ser vista quando iluminada pela luz vermelha (aparentando ser vermelha) e pela luz verde (aparentando ser verde).

Questão 2: Alternativa c). O celofane sendo amarelo, sob luz branca, irá transmitir comprimentos de onda da luz que ao chegar nos olhos, faz com que se perceba como amarelo. Esses comprimentos não são apenas àqueles relacionados ao verde e vermelho.

Quadro 2: As respostas ao quadro 2 dependem da cor escolhida para cada figura. A cor vista será tal como no quadro 1, por exemplo, se a figura for branca, será possível ver claramente vermelha, verde e azul quando o LED estiver acesso, respectivamente, com essas luzes.

Questão 3: Resposta pessoal. Os alunos podem responder pensando na caixa e na relação de luzes coloridas que é explicada antes do Quadro 1.

<sup>17</sup> Para mais informações sobre a síntese aditiva, confira a seção 5.3.

Questão 4: Resposta pessoal. Questão para os alunos voltarem ao Quadro 1 e notarem as diferenças entre o que eles achavam inicialmente e o que de fato foi visualizado.

Questão 5: Pode-se perceber uma camisa como vermelha quando ela for vermelha e estiver sendo iluminada por uma luz vermelha, magenta ou amarela. Se a camisa for magenta, será percebida como vermelha se estiver sendo iluminada pela luz vermelha ou amarela. Já na situação em que a camisa for amarela, podemos percebê-la como vermelha se a iluminarmos com luz vermelha ou magenta.

#### **4.2 Atividade 2 - As cores do arco-íris**

Esta atividade se inicia com a discussão das questões: Vê-se todas as cores em um arco-íris? Por que você acha que ele tem essas cores? Continuando, o professor pode entregar a letra da música “Trem das Cores” novamente para os estudantes para que a leiam, além de projetar a imagem do quadro “A noite estrelada” de Vicent van Gogh para que os estudantes possam observar as diferenças de brilho e saturação<sup>18</sup> do azul e também do amarelo, cores que se destacam na pintura. Tais ações são sugeridas para que o estudante possa comparar as suas respostas iniciais e ver se eles mudam a resposta sobre o número de cores que possui um arco-íris, uma vez que é comum acreditar que há (somente) 7 cores<sup>19</sup>.

Para auxiliar na explicação sobre a formação do arco-íris e sobre as suas cores, utiliza-se a simulação “Desvio da Luz”<sup>20</sup>, que pode ser tanto apenas expositiva, quanto interativa. Caso haja disponibilidade do uso de informática na escola, é interessante deixar os estudantes explorarem as ferramentas disponíveis, tais como a lanterna, os prismas, o tipo de objeto e o ambiente. Após esse tempo segue-se o roteiro, discutindo as questões com os estudantes. A última questão pode ser deixada para os estudantes como tarefa de casa, caso não haja tempo hábil para tal em sala de aula, ou até mesmo como uma forma de estimular a autonomia dos estudantes em estudar em casa.

---

<sup>18</sup> Estes conceitos estão explicados na seção 5.2.

<sup>19</sup> Uma concepção comum é a de que o arco-íris possui 7 cores. Essa relação foi estabelecida primeiramente por Newton, em analogia com as sete notas musicais. Para isso, inclusive, Newton introduziu, de forma artificial, a cor índigo entre as que poderiam ser vistas no arco-íris para poder chegar as setes cores (TOPPER, 1990). Hoje sabe-se que as cores do arco-íris são aquelas compreendidas por luzes com comprimentos de ondas entre 400 nm e 750 nm, aproximadamente. Portanto são infinitas as cores que podem ser vistas neste intervalo e, conseqüentemente, em um arco-íris.

<sup>20</sup> A simulação “Desvio da Luz” está disponível em <https://phet.colorado.edu/>

#### 4.2.1 Gabarito da Atividade 2

Questões 1 e 2: Respostas pessoais. O aluno responderá de acordo com as suas próprias ideias e/ou experiências diárias. Logo essa questão é útil para investigar as possíveis concepções dos alunos sobre as cores do arco-íris.

Questão 3: Resposta pessoal. O professor pode fazer apontamentos sobre os tons de cores citados na música do Caetano Veloso e os diferentes tons de azul e amarelo no quadro do van Gogh como objetivo de fazer os alunos a repensarem suas respostas.

Questão 4: Resposta pessoal. Após a luz sair do prisma ela irá se decompor em luzes de diversas cores.

Questão 5: Nessa questão o professor verifica se o aluno respondeu que a luz branca irá se decompor em luzes de diversas cores, ainda que com outras palavras para explicar o fenômeno observado.

Questão 6: Resposta pessoal. A relação é a que a luz irá se dispersar em vários raios de luz monocromáticas.

Questão 7: Resposta pessoal. Após a luz passar pelo terceiro prisma ficará mais nítida a dispersão, pois haverá maior separação entre os raios de luz.

Questão 8: Resposta pessoal. Essa questão possui o objetivo de fazer o aluno pensar sobre a quantidade de cores vistas no arco-íris.

Questão 9: Tal como no arco-íris, há os fenômenos da reflexão, refração e, principalmente da dispersão da luz.

Questão 10: Embora já tenha sofrido a dispersão, os raios de luz ainda não se espalharam, estando muito próximos uns dos outros, fazendo com que haja a percepção de luz branca.

Questão 11: Resposta pessoal. Os elementos que devem estar presentes no resumo são: gotículas d'água, incidência da luz solar (nas gotículas), refração, dispersão e espalhamento da luz.

### 4.3 Atividade 3 - A visão das cores

A terceira atividade tem como objetivo que o aluno compreenda que os olhos possuem influência direta na forma como vemos as cores. Para tal há uma pequena introdução para o professor poder falar sobre o daltonismo após a discussão inicial sobre a questão-problema “Como enxergamos as cores?”.

Caso não disponha de recursos para a impressão de roteiros coloridos, pode-se utilizar um projetor de slides para projetar as figuras que estão no roteiro, que são aquelas comumente utilizadas por oftalmologistas para fazer testes de daltonismo em adultos e crianças. Se acontecer de algum estudante possuir dificuldade em identificar os números nas figuras, deve-se conscientizá-lo de que somente um oftalmologista pode fornecer o diagnóstico de daltonismo e, portanto, que ele deverá consultar um médico para tal. Evidentemente que uma impressão em preto e branco não terá eficácia para o proposto, por isso a necessidade de se ter as imagens coloridas.

#### 4.3.1 Gabarito da Atividade 3

Questão inicial “Como enxergamos as cores?”: Resposta pessoal. Pensando em um objeto qualquer, para enxergar as suas cores é preciso de uma fonte de luz iluminando-o. A luz é refletida pelo objeto e chega até os olhos. Ao incidir sobre a retina, ela estimula os cones, que são células responsáveis por distinguir as cores.

Questão 1:

- a) Amarelo. Pelo princípio da adição de luzes coloridas, temos que a cor resultante é amarela.
- b) No cérebro do espectador. No local onde os feixes se encontram, continuam tendo as cores verde e vermelho (princípio da superposição de ondas). Essas luzes chegariam até a retina do espectador e depois, devido a interações que ali acontecem, são enviados sinais para o cérebro que irá interpretar como amarelo.

Questão 2: Sim, os feixes são independentes uns dos outros. Pelo princípio da superposição de ondas, após o cruzamento dos feixes, eles continuam seus caminhos normalmente.

Questão 3: Alternativa e).

#### 4.4 Atividade 4 - As cores do céu

Nesta quarta e última atividade, pode se trabalhar com conceito de espalhamento da luz, além de relembrar o conceito dispersão, trabalhado na atividade 2. Para o melhor desenvolvimento da atividade, recomenda-se a utilização de um recipiente vidro transparente, tal como um aquário retangular, onde será colocada a água e, posteriormente, o leite para obter as cores azul e laranja-avermelhada, tais como em um dia ensolarado e ao pôr do sol, respectivamente.

Antes da realização do experimento em si, como de costume, faz-se a contextualização sobre o tema, incluindo a leitura do trecho da música “Pais e Filhos” do Legião Urbana, para estimular os estudantes a se perguntarem o porquê do céu ser azul.

Em seguida, os estudantes podem seguir o roteiro do experimento em grupos. Para que todos possam vê-lo, numa turma grande, os grupos podem se alternar entre a visualização do experimento e a resposta às questões propostas. Finalmente, o professor formaliza as explicações sobre o motivo do céu ser azul durante o dia e vermelho ao pôr do sol, para que assim os estudantes estejam aptos a finalizar o roteiro com as questões 6 a 8.

##### 4.4.1 Gabarito da Atividade 4

Questão inicial “Por que que o céu é azul?”: Resposta pessoal. A luz do sol incide sobre as partículas presentes na atmosfera e será dispersada em diversos comprimentos de ondas presentes no espectro eletromagnético, de modo que a gente consiga enxergar àquelas que, obviamente, estão na região espectro visível (aproximadamente, comprimentos de onda entre 400 e 750 nm). Após a dispersão, essas luzes são as que se espalham com maior intensidade, como é o caso da luz azul. Percebemos o céu azul e não violeta (cuja luz possui comprimento de onda menor do que a do azul) pois parte da luz violeta é refletida de volta para o espaço junto com a radiação ultravioleta devido à camada de ozônio.

Questão 1: Resposta pessoal. É possível observar que a luz ficará com uma coloração em tons de azul.

Questão 2: Resposta pessoal. A luz fica com uma coloração laranja-avermelhada.

Questão 3: Resposta pessoal. Neste momento, apenas analogia sol-lanterna e as cores azul do céu diurno e laranja-avermelhado do pôr do sol.

Questões 4 e 5: Vide orientações nas questões 1 e 2, respectivamente.

Questão 6: O leite faz o papel das partículas de gás e poeira na atmosfera.

Questão 7: Durante o dia, o sol encontra-se em posições elevadas no céu.

Questão 8: Em dias claros é possível observar que o sol está em posição baixa, próximo à linha do horizonte, ao pôr do sol.

Questão 9: Resposta pessoal. Questão para que os alunos possam formular suas hipóteses de acordo com o que ele já visualizou e respondeu até então.

Questão 10: Os nossos olhos são mais sensíveis às cores azul, verde e vermelha, que são luzes que possuem comprimentos de onda curtos, médios e longos que interagem com os cones presentes na retina.

Questão 11: Vide orientação na Questão 1.

Questão 12: Ao pôr do sol, a distância entre a luz solar, no instante em que ela atinge a Terra, até o olho do espectador é maior que nos outros momentos. Assim, os demais comprimentos de onda já foram espalhados, sobrando os de maior comprimento, que se espalham com menor intensidade.

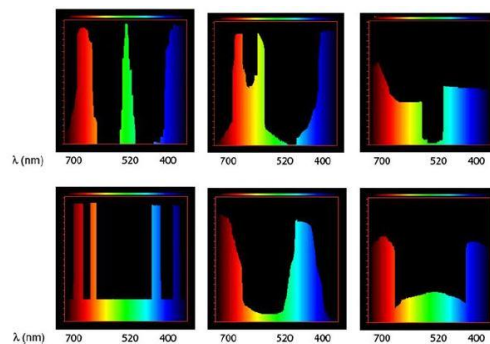
## 5 Material de apoio - Cores

A experiência docente nos mostra que o tema “Cores” é raramente trabalhado nas aulas de física no ensino médio. Aliás, o tema também não é comum de ser visto no ensino superior, nos cursos de licenciatura de física. Pensando em possíveis dificuldades que o professor possa ter durante a abordagem do tema em sala de aula, tendo em vista, inclusive, possíveis dúvidas, questionamentos e curiosidades que os alunos possam ter, preparamos este material de apoio onde é discutido diversos conceitos ligados ao tema e que não costumam ser tratados nos livros didáticos (do ensino médio) e nem nos livros textos de física básica (ensino superior). Apresentamos alguns destes conceitos a seguir.

### 5.1 As cores e a visão

Quando se fala sobre cores é preciso entender a complexidade que envolve o assunto, visto que a cor pode estar tanto relacionada a uma característica do objeto, ao comprimento de onda da luz ou à sensação visual que depende da interação olho-cérebro (SCARINCI; MARINELI, 2014). Perceber um objeto com a cor amarela, por exemplo, não implica necessariamente que o objeto está emitindo luz amarela, pois ele pode estar emitindo luzes vermelha (com comprimento de onda  $\lambda = 700$  nm) e verde ( $\lambda = 520$  nm) que resulta em tal percepção quando alcançam os nossos olhos. A Figura 1 ilustra diferentes formas como nós podemos perceber a cor roxa através de diferentes espectros de emissão, fato conhecido como metamerismo.

Figura 1 - Metamerismo: diferentes espectros de emissão que geram a mesma percepção visual de cor, no caso a cor roxa



Fonte: Scarinci e Marineli (2014)

As cores que nós humanos somos capazes de enxergar são aquelas que estão relacionadas a luzes com comprimento de onda que vão de 400 nm a 700 nm, na região do espectro eletromagnético denominado de “espectro visível”. Esses valores são aproximados, uma vez que podem variar consideravelmente de pessoa para pessoa:

Alguns estudos apontam estes limites entre 380 nm (ultravioleta próximo ou UV A) e 760 nm (infravermelho próximo ou IV A). Outros, baseados em níveis de intensidade luminosa, demonstram, em investigações específicas, valores entre 312 nm (ultravioleta médio ou UV B) e 1.050 nm (infravermelho próximo ou IV A) (WALD, 1969, citado por LORETO; SARTORI, 2008).

Outro fato a se considerar é o de se associar as cores a determinados comprimentos de onda. Ao se fazer essa associação, considera-se, implicitamente, a luz se propagando no vácuo, pois a luz é uma onda eletromagnética e, como tal, ela se propaga com velocidade  $c = \lambda f$ . Ao mudar de meio ela sofre uma refração e passa a se propagar com velocidade  $v = c/n$ , onde  $n$  é o índice de refração do meio. Como a frequência de onda não muda quando a onda muda o meio de propagação, então o comprimento de onda irá diminuir por um fator  $n$ . Portanto dizer, por exemplo, que a cor vermelha possui comprimento de onda de 700 nm é afirmar que ela possui esse comprimento no vácuo, onde o índice de refração é  $n = 1$ .

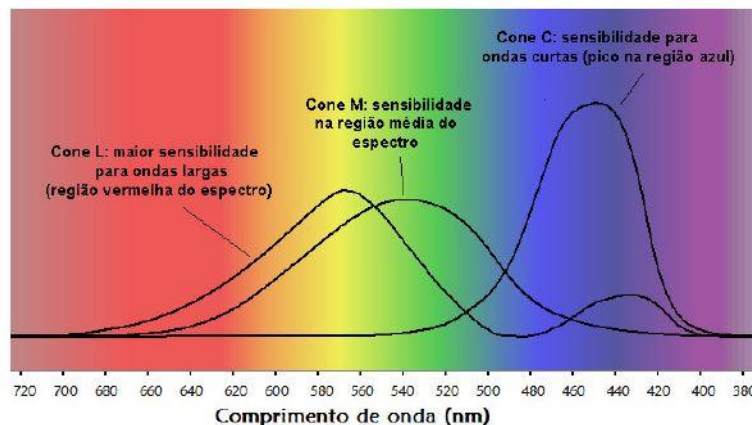
Apesar de o comprimento de onda da luz se alterar de acordo com o meio em que ela se propaga, não se configura erro afirmar que as cores estão relacionadas aos comprimentos de onda, uma vez que, por exemplo, mesmo debaixo d’água, continuamos enxergando normalmente os objetos vermelhos como sendo vermelhos. Esse fato ocorre porque quando a luz chega aos nossos olhos, ao alcançar a retina, ela está no humor vítreo, uma substância gelatinosa e transparente presente no interior dos olhos e que possui índice de refração  $n = 1,33$  (SILVA, 2007), ou seja, o comprimento de onda que os nossos olhos detectam, na verdade, são os comprimentos de onda da luz no humor vítreo.

Por outro lado, embora sempre possamos associar as regiões do espectro visível a cores, o contrário nem sempre é verdadeiro. As regiões do espectro entre 560 e 580 nm são convencionalmente conhecidas como luz amarela e, segundo Scarinci e Marineli (2014), diz-se então que o amarelo é uma cor espectral “porque existe algum comprimento de onda puro que, chegando ao olho, é visto com essa cor”. De acordo com os autores supracitados, existem cores que não possuem uma luz associada, como é o caso do marrom, roxo e cinza, por ocorrerem necessariamente de emissões múltiplas e, assim, não são cores espectrais.



Quando a luz incide sobre a retina, ela estimula as células responsáveis por distinguir as cores. Essas células são denominadas cones e nós temos três tipos deles, cada uma mais sensível a uma dada região do espectro (SCARINCI; MARINELI, 2014). É comum diferenciar os cones com as letras L, M e C de modo que os cones L são mais sensíveis aos comprimentos de onda na região do vermelho (pois são os mais “largos”, ou seja, que possuem maior sensibilidade para comprimentos de ondas grandes); os cones M são mais sensíveis à luzes verdes (comprimentos de ondas médios) e os cones C seriam mais sensíveis à luzes azuis (menores comprimentos de ondas) (SILVEIRA; BARTHEM, 2016a e 2016b). A figura 2 mostra como se dá a relação entre a sensibilidade dos cones com relação ao comprimento de onda da luz, ilustrando também que não é adequado associar os cones às luzes vermelha, verde e azul, pois, por exemplo, o cone L que é comumente associada à cor vermelha possui uma sensibilidade também na região entre o azul e o violeta.

Figura 2 - Sensibilidade dos Cones L, M e C no espectro visível.



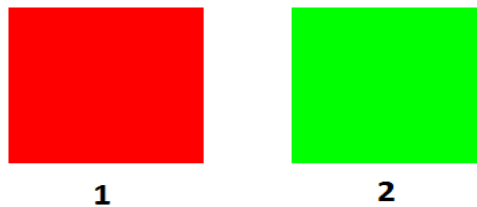
Fonte: Scarinci e Marineli (2014)

Quando um feixe luminoso atinge a retina ele irá causar uma transformação química em substâncias presentes nos cones, ativando-as (algumas substâncias não são alteradas para determinadas frequências e, então, dizemos que elas não são ativadas), de acordo com o comprimento de onda e do cone, conforme ilustrado na Figura 2. A informação que vai para o cérebro não é de qual comprimento de onda chegou até a retina, mas sim de quantas substâncias foram ativadas (SCARINCI; MARINELI, 2014).

## 5.2 Classificação das cores

Como distinguimos as cores, ou melhor, como classificamos os diversos tipos de cores? Vejamos um exemplo:

Figura 3 - Exemplo de cores com matizes diferentes.



Fonte: Próprio autor

O que faz com que o vermelho seja diferente do verde? O leitor mais atento pode ficar tentado a dizer que é devido aos diferentes comprimentos de ondas (ou ainda por terem frequências distintas), mas há cores que não possuem um comprimento de onda associado a elas. Para isso definimos uma propriedade chamada matiz, que é o que define a cor predominante de um feixe luminoso emitido ou refletido por um objeto (SCARINCI; MARINELI, 2014).

Existem cores que possuem o mesmo matiz, mas ainda assim são diferentes umas das outras. Esse fato está ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Exemplo de cores com mesmo matiz, mas com diferentes saturações.



Fonte: Próprio autor

Todas as cores ilustradas na Figura 4 possuem exatamente o mesmo matiz e, assim, podemos dizer que são todas vermelhas. O que torna possível distinguir umas das outras? O que muda de uma cor para outra no exemplo mostrado na Figura 4 é o que denominamos de saturação. Quanto maior a saturação de uma cor, mais vívida ela é; por outro lado, quanto menos saturação possuir, mais acinzentada ela será. Na Figura 4, portanto, vemos que quanto mais à esquerda, mais saturado estará o vermelho.

A intensidade de uma cor é medida pelo seu brilho (ou luminosidade). Assim, se um objeto emite luz vermelha em baixa intensidade, teremos como resultado um vermelho escuro.

Figura 5 - Exemplo de cor vermelha com diferentes brilhos. Quanto mais à direita, mais brilho (luminosidade) ela terá.



Fonte: Próprio autor

Embora geralmente damos nomes às cores a partir de seus matizes, existem suas exceções, conforme comentam L’Astorina et al.

No fundo, nomes de cores também são conceitos, e portanto gerados em ambientes culturais específicos, influenciados por combinações particulares de brilho, croma e matiz que sejam frequentes naquela cultura. Assim, podemos citar rosa e vermelho como cores que têm o mesmo matiz mas diferem apenas em croma, ou laranja e bege como cores que diferem apenas em luminosidade (2012, p. 39).

### 5.3 Cores primárias e secundárias

Historicamente sempre se tentaram estabelecer três cores primárias que quando somadas entre si resultam em todas as outras cores, sendo que a soma das três resultaria na cor branca. Tradicionalmente essas cores eram o amarelo, vermelho e azul, incluindo as propostas por Isaac Newton.

A partir de avanços nos estudos sobre como enxergamos as cores, a partir do século XIX, quando se descobriu que nossos olhos enxergavam as cores a partir dos cones, surgiu a motivação para o sistema RGB (L’ASTORINA et al., 2012). Esse sistema foi estabelecido em 1931 pela Comissão Internacional de Iluminação - CIE (Commission Internationale de l’Eclairage) de modo que as cores primárias seriam aquelas que tivessem os comprimentos de onda com valores de 700 nm para o vermelho (R), 546,1 nm para o verde (G) 435,8 nm para o azul (B), respectivamente (SOUTO, 2000).

Podemos representar o padrão RGB de forma vetorial da seguinte maneira:

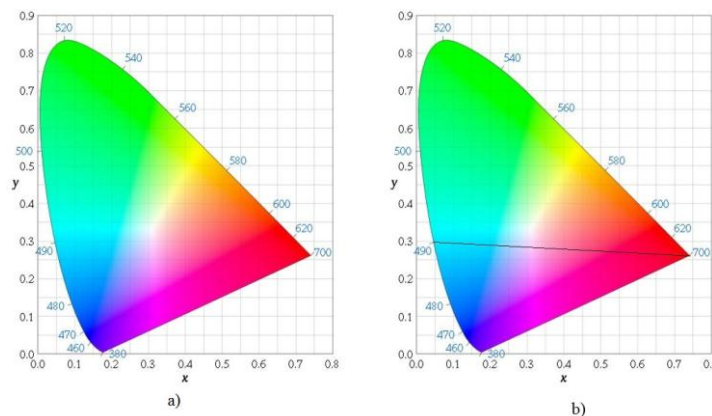
$$\mathbf{L} = a_R\mathbf{R} + a_G\mathbf{G} + a_B\mathbf{B}$$

Onde  $a_R$ ,  $a_G$  e  $a_B$  são quantidades que variam de 0 a 1 e expressam respectivamente a quantidade de luz vermelha, verde e azul contidas no feixe. Essa é a forma como os computadores trabalham, porém ao invés dos valores variarem de 0 a 1, variam de 0 a  $2^8 = 256$ , que é a quantidade de posições diferentes que um byte consegue armazenar. Utilizando essa representação o vermelho seria representado pelo vetor (1, 0, 0), o verde (0, 1, 0), o azul (0, 0, 1), enquanto que o branco seria (1, 1, 1) e o preto (0, 0, 0), por exemplo (L'ASTORINA et al., 2012).

O diagrama cromático mostrado na figura 6 a) ilustra como podemos enxergar as cores a partir da combinação das três cores primárias, levando-se em consideração o fluxo total luminoso captado pelos três tipos de cones C, M e L, que é uma versão em 2D adaptada da versão 3D proposta pela CIE em 1931. Se quisermos saber quais as possíveis cores formadas pela mistura de duas outras, basta traçar uma reta ligando essas duas cores – os resultados possíveis serão aqueles que estão sobre a reta. Podemos ver um exemplo deste fato na figura 6 b), onde as possíveis cores formadas pela soma do vermelho ( $\lambda = 700$  nm) e o ciano ( $\lambda = 490$  nm) estão sobre a reta que liga essas duas cores, a depender da intensidade de cada uma.

Pelo diagrama podemos observar também que a luz branca pode ser obtida pela junção das três cores primárias (vermelho, verde e azul), no caso específico em que elas possuem a mesma intensidade. Na verdade, todas as cores que podem ser geradas a partir do padrão RGB estão dentro da área do triângulo formado por essas cores, conforme ilustrado na figura 7.

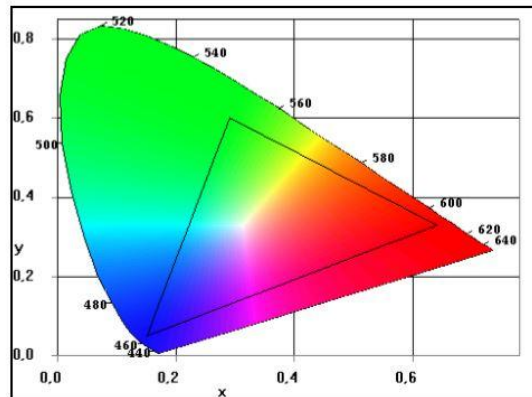
Figura 6 - Versão adaptada do mapa de cores da CIE; a) os números em azul representam os comprimentos de onda de luz (em nanômetros); b) as cores sobre a reta que liga as cores vermelho e ciano são formadas pela junção dessas cores



Fonte: L'Astorina et al. (2012)

O mapa de cores nos permite ilustrar o problema da geração de cores com as cores primárias: se todas as cores possíveis que podem ser geradas pela junção de outras três estão contidas dentro do triângulo cujos vértices são as próprias cores, deveria haver um triângulo cuja área abrangesse todas as possíveis cores.

Figura 7 - Diagrama de cromaticidade. As possíveis cores formadas através do padrão RGB estão contidas no triângulo



Fonte: Souto (2000)

Pelo diagrama de acromaticidade, porém, é possível notar que não há como três cores serem as responsáveis por gerarem todas as outras e, nesse sentido, não faz sentido dizer que existem cores primárias que formam todas as outras, já que é impossível obter um triângulo cujos vértices estejam dentro da superfície e cuja área compreenda todas as cores.

Embora mesmo não sendo capaz de gerar todas as cores, o sistema RGB é eficiente em representar as cores já que há uma grande quantidade de cores que podem ser geradas a partir dessas cores, algo que pode ser evidenciado também pelo fato das TVs e dos monitores de computadores se basearem nesse padrão. Outro padrão comum é o chamado padrão CMY (do inglês, Cian, Magenta e Yellow) que relaciona, respectivamente o Ciano, o Magenta e o Amarelo, que muitas vezes são chamadas de cores primárias de tintas, por serem essas as cores utilizadas para se fazer impressão colorida. Na verdade, estes padrões são apenas dois possíveis; podemos fazer infinitas misturas de cores, uma vez que “o olho humano identifica alguns padrões de cores, a partir de seus sensores, e o sistema nervoso interpreta como sensação de branco, de azul, de lilás ou de qualquer outra cor” (PUGLIESE, 2011, p. 80).

A mistura de luzes de duas das três cores do padrão RGB produzirá uma terceira cor que será uma das cores do padrão CMY. Essa mistura é também chamada de soma de cores e temos os seguintes resultados para soma entre as cores primárias:

**vermelho + verde = amarelo**

**verde + azul = ciano**

**vermelho + azul = magenta**

**verde + vermelho + azul = branco**

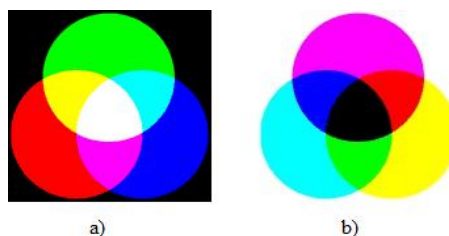
Dizemos que a cor formada pela soma de duas cores primárias é complementar à que não foi somada, como é o caso das cores amarela e azul. A soma de duas cores complementares resulta na cor branca, como o caso do amarelo (verde + vermelho) com o azul – esse é o chamado processo aditivo (ou síntese aditiva) de cores. Outro processo comum é o chamado processo subtrativo (ou síntese subtrativa) de cores que consiste em utilizar as cores secundárias para formar as cores primárias.

As cores secundárias são úteis para explicar as cores de objetos que não são fontes de luz, pois nesse caso as cores são produzidas por absorção. Então para um objeto de cor vermelha sob a presença de luz branca irá absorver as cores verde e azul, refletindo somente o espectro restante que terá frequência na faixa da luz vermelha (SCARINCI; MARINELI, 2014). Nesse caso dizemos então que subtraímos o ciano da luz branca de modo que obtemos a cor vermelha e, por isso, dizemos que as cores secundárias são cores primárias de subtração. Portanto, conforme mostrado na figura 8 b), se subtrairmos as cores ciano, amarelo e magenta da luz branca obteremos a cor preta, que nada mais é do que a ausência de luz.

A mistura de pigmentos coloridos, por outro lado, não produz o mesmo efeito visualizado na mistura de tintas. Na prática ao misturar as tintas de cores primárias não iremos obter tinta preta, mas sim uma cor que varia desde cinza até tons de marrons.

Para explicar isso, precisamos pensar em como ocorrem as absorções no nível molecular. Se tivermos um único pigmento que absorva toda a luz visível, veremos a cor preta. Porém, em uma mistura de pigmentos, cada pigmento absorve parte das cores e reemite as demais. Em tese, as frequências reemitidas serão absorvidas por outros pigmentos, diferentes dos primeiros, que se encontram nas adjacências. (SCARINCI; MARINELI, 2014, p. 1309-5)

Figura 8 - Sínteses (a) aditivas e (b) subtrativas das cores



Fonte: Cambridge in Colour<sup>21</sup>

Como sempre haverá espaço entre as moléculas e nem toda luz reemitida por uma molécula será absorvida pelas moléculas adjacentes, o resultado real não será preto (NASSAU, 2001, citado por SCARINCI; MARINELI, 2014,).

Conforme pode ser visto acima, há muito mais para se discutir sobre cores do que simplesmente associá-las a determinados comprimentos de ondas, como acontece por vezes nos livros didáticos que trabalham com o assunto. Podemos citar como exemplo mais comum a mistura de cores, na qual há diferenças significativas entre a mistura de luzes coloridas (síntese aditiva) e de tintas coloridas (síntese subtrativa). Outro exemplo se trata do metamerismo, no qual a mesma cor (sensação) pode ser obtida a partir de diferentes combinações de comprimentos de onda da luz como pode ser visto no exemplo ilustrado na figura 1.

---

<sup>21</sup> Disponível em: <http://www.cambridgeincolour.com/pt-br/tutoriais/color-perception.htm>.  
Acesso em: 08/09/2018

## 6 Referências

COSTA, G. G. G. et al. Caixa de cores para o estudo de mistura de luzes colorida. **Física na Escola**, [s.l.], v. 9, n. 2, p.25-28, 2008.

GREF. Física 2 – Física Térmica e Óptica. EDUSP. Versão Preliminar, 1998.

L'ASTORINA, B. et al. **Curso de astronomia geral**: volume iv: astrofísica. 2012. Disponível em: < <http://ccd-oba.blogspot.com.br/2012/10/apostilas-iota.html>>. Acesso em: 13 set. 2018.

LORETO, É. L. da S.; SARTORI, P. H. dos S. Simulação da visão das cores: decodificando a transdução quântica-elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s.l.], v. 25, n. 2, p.111-141, 8 maio 2008.

MARTINS, R. de A. Como distorcer a física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica 1 – Física Clássica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, [s.l.], v. 15, n. 3, p. 243 – 264, dez. 1998.

NASSAU, K. **The Physics and Chemistry of Color: The Fifteen Causes of Color**. J. Wiley, New York, 2001.

PUGLIESE, R. M. **Consumindo a física na escola básica: A sociedade do espetáculo e as novas propostas curriculares**. 2011. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino de Ciências: Modalidade Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SCARINCI, A. L.; MARINELI, F. O modelo ondulatório da luz como ferramenta para explicar as causas da cor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 36, n. 1, p.1309e1-1309e14, 2014.

SILVA, M. F. F. da. Esclarecendo o significado de “cor” em física. **Revista Física na Escola**, [s.l.], v.8, n.1, p.25-26, 2007.

SILVEIRA, M.V.; BARTHEM, R.B.. Ensino da visão cromática através de aparato com LED's coloridos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 38, n. 3, , p. e3502-e3502-6, set. 2016a.

SILVEIRA, M V; BARTHEM, R B. Disco de Newton com LEDs. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 38, n. 4, p. e4502-1 - e4502-9, dez. 2016b

SOUTO, R. P. **Segmentação de imagem multiespectral utilizando-se o atributo matiz**. 2003. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.

TOPPER, D. Newton on the number of colours in the spectrum. **Studies in History and Philosophy of Science**, [s.l.] v. 21, n. 2, p.269-279, jun. 1990.

WALD, G. Life and Light. (Chemical and Biological Effects of Light). In: **Lasers and Light Readings from Scientific American**. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1969. cap. 10, p. 101-113.