CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

AS RELAÇÕES ENTRE CIÊNCIA E ARTE E SUA RELEVÂNCIA PARA A COMPREENSÃO DO CONCEITO FÍSICO DE COR

Nathaly Barboza de Brito

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Orientador:

Profº Dr. José Cláudio de Oliveira Reis

Rio de Janeiro

Julho, 2015

AS RELAÇÕES ENTRE CIÊNCIA E ARTE E SUA RELEVÂNCIA PARA A COMPREENSÃO DO CONCEITO FÍSICO DE COR

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciência, Tecnologia e Educação.

Nathaly Barboza de Brito

Aprovado por:

_____

Presidente, Prof. José Claudio de Oliveira Reis, D. Sc. (Orientador)

_____

Profª Glória Regina Pessôa Campello Queiroz, D. Sc.

_____

Profª Tânia de Oliveira Camel, D. Sc. (FIOCRUZ)

Rio de Janeiro

Julho, 2015

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

B862 Brito, Nathaly Barboza de
As relações entre ciência e arte e sua relevância para a compreensão do conceito físico de cor / Nathaly Barboza de Brito.— 2015.
xi, 92f. + anexo : il. (algumas color.) , tabs. ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2015.
Bibliografia : f.90-92
Orientador : José Cláudio de Oliveira Reis

1. Cor. 2. Física – Estudo e ensino. 3. Arte e ciência. 4. Luz. 5. Luz na arte. I. Reis, José Cláudio de Oliveira (Orient.). II. Título.

CDD 535.6

Agradecimentos

Agradeço a Deus por permitir que eu prosseguisse nos momentos de cansaço durante esta trajetória.

Aos meus pais por todo suporte, carinho e atenção.

Ao meu querido orientador, professor José Cláudio, por todo auxílio e paciência.

Aos meus amigos e familiares por todo incentivo.

RESUMO

AS RELAÇÕES ENTRE CIÊNCIA E ARTE E SUA RELEVÂNCIA PARA A COMPREENSÃO DO CONCEITO FÍSICO DE COR

Nathaly Barboza de Brito

Orientador:

José Claudio de Oliveira Reis

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Ensino do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

A partir de um paralelo entre a Ciência e a Arte, esta dissertação tem o objetivo de trazer uma proposta interdisciplinar capaz de aliar ambas as áreas do conhecimento, permeando-as pelo processo histórico de construção de uma teoria referente à natureza da luz. Sob esta perspectiva o trabalho traz uma revisão bibliográfica acerca do conhecimento construído sobre as propriedades da luz até a segunda metade do século XIX, seguido de uma proposta educacional para o ensino de Física no segundo segmento do Ensino Fundamental. Esta proposta fundamenta-se na ideia de que a relação entre a Ciência e a Arte pode ser relevante para a compreensão do conceito de cor e, consequentemente, de luz. Partindo deste pressuposto, a proposta aplicada em sala de aula baseia-se no ensino da teoria newtoniana para a luz e as cores relacionando-a com as técnicas desenvolvidas pelos pintores do movimento impressionista. Deste modo, os estudantes do nono ano do Ensino Fundamental foram convidados a participar de algumas atividades de cunho interdisciplinar e, por fim, relatar o que haviam compreendido sobre a representação de cor para este movimento artístico através de uma breve produção textual analisada posteriormente com base no referencial de análise de conteúdo. A análise da produção realizada pelos estudantes demonstrou, portanto, a apropriação dos conceitos físicos relacionados à luz para explicar a representação de cor adotada pelo movimento impressionista.

Palavras-chave:

[Ciência]; [Arte]; [Luz]

Rio de Janeiro

Julho, 2015

ABSTRACT

RELATIONS BETWEEN SCIENCE AND ART AND ITS RELEVANCE FOR THE CONCEPT UNDERSTANDING PHYSICAL COLOR

Nathaly Barboza deBrito

Advisor:

José Claudio de Oliveira Reis

Abstract of dissertation submitted to Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Ensino - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master.

From a parallel between science and art, this work aims to bring an interdisciplinary approach able to combine both areas of knowledge, permeating them with the historical process of building a theory about the nature of light. From this perspective the work brings a literature review about knowledge built on the properties of light until the second half of the nineteenth century, followed by an educational proposal for the teaching of Physics in the second segment of elementary school. This proposal is based on the idea that the relationship between the science and art may be relevant to understanding the concept of color and therefore light. On that basis, the proposal applied in the classroom is based on the teaching of Newtonian theory to the light and the colors relating it to the techniques developed by painters of the Impressionist movement. Thus, students from the ninth grade of elementary school were invited to participate in some of interdisciplinary nature activities and finally, reporting what they understood about the representation of color for this artistic movement through a brief textual production later analyzed based the content analysis framework. The analysis of the work done by the students demonstrated , therefore, the appropriation of the physical concepts related to light to explain the color representation adopted by the Impressionist movement .

Keywords:

[Science]; [Art]; [Light]

Rio de Janeiro

Julho, 2015

Sumário

Introdução **1**

I Um panorama geral da relação entre Ciência e Arte **3**

I.1 Ciência e Arte 3

II A Luz: Hipóteses e inquietações **5**

II.1 Concepções Iniciais 5

II.2 Outras contribuições 8

III Luz: Onda ou partícula? **10**

III.1 Hipóteses vibratórias para a luz 10

III.2 Christian Huygens 10

III.3 A teoria Newtoniana: Uma preparação para o cenário do século XIX 14

III.4 A natureza da luz no século XIX 16

IV A luz e o mecanismo da visão **22**

IV.1 Luz e visão 22

V A Teoria das Cores de Goethe e sua crítica a Newton **25**

V.1 Goethe e a construção de sua visão de mundo 25

V.2 A construção de uma Teoria das Cores 29

V.3 Cores Dióptricas de Primeira Classe 35

V.4 Cores Dióptricas de Segunda Classe 35

VI Um breve panorama da França do século XIX **41**

VII Da Luz de Newton à Luz do Impressionismo **52**

VII.1 Nascimento do Movimento Impressionista 52

VII.2 O papel da fotografia no surgimento do movimento impressionista 60

VIII Metodologia de pesquisa 64

VIII.1 Sobre o ambiente de pesquisa 66

VIII.2 Atividades em sala de aula 67

VIII.2.1 Aula 1: Inserção no universo da pintura impressionista 69

VIII.2.2 Aula 2: Conhecendo a teoria newtoniana 70

VIII.2.3 Aula 3: O Impressionismo e a Luz 73

VIII.2.4 Aula 4: Construindo uma câmara escura 76

VIII.2.5 Aula 5: Discussão das atividades e produção textual 77

VIII.3 Coleta de dados 77

VIII.3.1 Seleção do material 79

VIII.3.2 Pré-análise 81

VIII.3.3 Análise e resultados (exploração do material) 84

VIII.4 Discussão dos resultados 85

IX Conclusões 87

Referências Bibliográficas 90

Anexo I 93

Lista de Figuras

FIG. III.1 Representação de Huygens para a reflexão da luz.....12
FIG. III.2 Esquema de reflexão da luz em uma superfície polida..... 13
FIG. III.3 Luz incidente do meio (2) e refratada no meio (1).....15
FIG. III.4 Força atuante na superfície de separação dos meios 16
FIG. IV.1 Esquema de projeção dos raios luminosos na retina..... 23
FIG. IV.2 Região do espectro visível de luz..... 23
FIG. V.1 Escada pintada com amarelo aparentando tonalidades diferenciadas..... 31
FIG. V.2 Círculo cromático.....32
FIG. V.3 Círculos com o mesmo tamanho pintados em cores diferentes..... 34
FIG. V.4 Frederic Church, Twilight in the Wilderness..... 36
FIG.V.5 Emanuel Leutze, Washington Cruzando o Delaware..... 37
FIG. V.6 John Everett Millais, A menina cega..... 37
FIG. V.7 John Constable, A catedral de Salisbury..... 38
FIG. VI.1 Demolição da grande galeria do Louvre, Paris..... 42
FIG. VI.2 Cais de Tournelle.....42
FIG. VI.3 Cais do Sena, em direção a Notre-Dame..... 43
FIG. VI.4 A praça do Châtelet após as reformas de Haussmann.....43
FIG. VI.5 Victor Baltart, Vista Geral do Les Halles central de Paris Narjoux..... 44
FIG. VI.6 Victor Baltart, Pavilhão de Leilão.....45
FIG. VI.7 Vista geral da Nova Ópera, L'univers illustré, Paris.....45
FIG. VI.8 Gustave Courbet, Os quebradores de pedras.....46
FIG. VI.9 James Tissot, Retrato de Mademoiselle.....47
FIG. VI.10 Frédéric Bazille, L'Atelier de Bazille.....48
FIG. VI.11 A Grenouillère - Claude Monet.....49
FIG. VI.12 Terraço do Café à Noite - Vincent van Gogh.....49
FIG. VI.13 Eduard Manet, Almoço na Relva.....51
FIG. VI.14 Eduard Manet, Olympia.....51
FIG. VII.1 Pigmentos- Cores primárias e secundárias.....54
FIG. VII.2 Luz - Cores primárias e secundárias.....55
FIG. VII.3 Claude Monet, Impressão, Sol nascente.....56
FIG. VII.4 Catedral de Rouen sob luminosidades diferentes em dois instantes de tempo.....57
FIG. VII.5 Vincent van Gogh, Campo de Trigo com Ciprestes.....59
FIG. VII.6 Vincent van Gogh, Ponte de Langlois.....59
FIG. VII.7 Ilustração renascentista mostrando a propagação dos raios luminosos em uma câmara escura.....60
FIG. VII.8 Representações aparentemente sem o uso de instrumentos ópticos.....61
FIG. VII.9 Representações aparentemente com o uso de instrumentos ópticos.....62

FIG. VII.10 Utilização da câmara escura para a representação de modelo.....63
FIG. VIII.1 Diagrama proposto por Tripp para descrever o processo de investigação-ação.....65
FIG. VIII.2 Slides utilizados durante as aulas.....69
FIG. VIII.3 Claude Monet, Mulheres no Jardim.....74
FIG. VIII.4 Haystacks (Midday), Wheatstacks (End of Summer), Wheatstacks e Haystacks at the End of Summer.....75
FIG. VIII.5 Representação de um pôr-do-Sol realizada por uma aluna.....76
FIG. VIII.6 Estudante construindo uma câmara escura.....77
FIG. VIII.7 Nuvem de palavras destacando os termos mais utilizados pelos estudantes.....86

Lista de Tabelas

TAB. VIII.1 Representação do Ciclo de pesquisa-ação, segundo Tripp.....65

TAB. VIII.2 Imagens do questionário preliminar.....80

TAB. VIII.3 Frequência das imagens para a primeira questão.....81

TAB. VIII.4 Frequência das imagens para a segunda questão.....82

TAB. VIII.5 Frequência das justificativas utilizadas na questão 1.....82

TAB. VIII.6 Frequência das justificativas utilizadas na questão 2.....83

TAB. VIII.7 Categorização dos conceitos físicos utilizados na produção textual.....84

TAB. VIII.8 Categorização das expressões utilizadas na produção textual que indicavam relação entre luz e cor.....85

INTRODUÇÃO

Esta dissertação tem por objetivo discorrer sobre as relações entre a Ciência e as Artes a partir de um ponto de vista histórico, bem como estas relações podem ser abordadas em sala de aula com o objetivo de gerar discussões capazes de levar o estudante a uma reflexão crítica sobre a construção do conhecimento científico, além de alguns temas referentes à natureza da Ciência. Para este fim, será utilizada a seguinte pergunta de partida para nortear o trabalho a ser realizado: De que forma as relações entre a Ciência e a Arte podem ser relevantes para a compreensão do conceito físico de cor em alunos do nono ano do Ensino Fundamental?

Para delimitar o marco teórico utilizado nesta pesquisa, optou-se por ressaltar os aspectos capazes de relacionar os fenômenos físicos referentes à luz e as cores, com suas interpretações a partir do ponto de vista artístico. Sendo assim, o recorte escolhido irá contemplar mais especificamente os processos que remetem à construção de uma teoria para a natureza da luz ao longo da história da Ciência, remetendo ao debate entre os defensores de uma teoria corpuscular e os defensores das teorias ondulatórias, bem como a relação entre os fenômenos de luz e cor.

O recorte escolhido para as concepções artísticas limitar-se-á à produção do século XIX, levando em consideração a obra literária do poeta e escritor alemão Goethe (1749 – 1832) e a produção dos artistas do Impressionismo. Esta delimitação temporal foi escolhida devido à célebre discussão proposta pelo escritor alemão, com o objetivo de rebater a concepção científica proposta por Isaac Newton ao discorrer sobre os fenômenos de luz e cor em seu livro Óptica.

Com relação ao recorte histórico deste trabalho, o objetivo será fornecer um panorama geral das teorias mais relevantes para a construção dos conceitos referentes à luz, partindo da Grécia antiga até a formulação de uma teoria ondulatória durante a segunda metade do século XIX.

O século XIX traz, no campo da pintura, o movimento artístico que marcaria para sempre a história da Arte. O movimento impressionista, que teve como um de seus precursores o pintor francês Édouard Manet (1832 – 1883), tinha por objetivo romper com a forma de representação proposta pelos movimentos artísticos anteriores, tendo em vista que sua técnica propunha-se a explorar a realidade, retratando-a de maneira, até então, inexplorada.

A escolha do movimento Impressionista como objeto de estudos deve-se à riqueza de pormenores que compõem sua teoria e que podem estabelecer relações com os conceitos científicos referentes à luz e cor.

O trabalho foi dividido em duas partes. A primeira parte refere-se a uma revisão bibliográfica acerca das teorias referentes à propagação e à natureza da luz, construídas com

base na teoria newtoniana. A segunda parte do trabalho está relacionada à proposta realizada em sala de aula juntamente com estudantes do nono ano do Ensino Fundamental. Deste modo, ela tem o objetivo de analisar uma metodologia aplicada no ensino e aprendizagem de tópicos de Óptica referentes à luz e às cores. A relação entre a Ciência e as Artes não será tratada como um artefato pedagógico, com o objetivo de ilustrar teorias Físicas pertinentes ao currículo escolar. O trabalho procurará evidenciar o contexto de construção do conhecimento científico, contexto este, capaz de contemplar áreas aparentemente distintas como a Ciência e a Arte.

A partir da experiência pessoal com o conteúdo de óptica apresentado ao nono ano do Ensino Fundamental, foi possível perceber que existe certa dificuldade na compreensão do conceito de cor por parte dos estudantes, por se tratar de um conceito um pouco abstrato e complexo quando o conteúdo é desvinculado de seu contexto de construção.

Levando em consideração as relações existentes entre a Ciência e as Artes, especialmente as mencionadas anteriormente, assim como o contexto sociocultural que envolve ambos os campos do conhecimento no que diz respeito às quebras de paradigmas que ocorreram simultaneamente, tanto na construção de uma teoria para a natureza da luz, na ciência e a nova forma de representação da realidade proposta pelo movimento Impressionista, acredita-se que esta forma de compreender a construção do conhecimento científico pode levar o estudante a perceber a Física como parte integrante de uma sociedade que se encontra, assim como os paradigmas científicos, em constante mudança e posteriormente à melhor compreensão do conteúdo lecionado.

A proposta apresentada, além de ter o objetivo de incluir aspectos históricos ao conteúdo de Física, também buscou levar à sala de aula uma discussão sobre aspectos referentes à NdC (Natureza da Ciência). A partir das discussões estabelecidas com base no processo de construção do conhecimento científico, a proposta apresentada neste trabalho objetivou levar à pauta das aulas de Física, ainda no Ensino Fundamental, uma análise do processo de construção e consolidação de uma teoria científica, neste caso, exemplificada através da teoria newtoniana para a luz e as cores.

A análise do livro didático adotado pela escola foi um indicador da necessidade de incluir discussões sobre a NdC baseadas em um contexto histórico, tendo em vista que o livro apresenta o conteúdo referente ao conceito físico da luz de maneira segmentada e dissociada do seu contexto histórico, fornecendo ao aluno uma concepção simplista de Ciência.

Capítulo I - Um panorama geral da relação entre Ciência e Arte

I.1 Ciência e Arte

À primeira vista, Ciência e Arte parecem pertencer a esferas distintas do conhecimento e que caminham sempre em desencontro. Artistas e cientistas parecem estar providos de emoções, sentimentos e principalmente visões de mundo muito diferentes. O senso comum costuma diferenciar aqueles que optam pelas ciências ou pelas áreas das humanidades apresentando características referentes ao modo de ver o mundo e se relacionar com ele, geralmente dicotômicas entre si. No entanto, em sua célebre discussão sobre as "Duas Culturas" (1995) o físico inglês Charles. P. Snow discorre sobre sua relação com pessoas das áreas de Ciências e Humanidades, bem como a visão que uns apresentam dos outros, mostrando que as ideias acerca das diferenças entre as áreas não está inserida apenas no senso comum, mas também está enraizada no pensamento destes profissionais. Snow faz a seguinte observação sobre as visões que ele encontrou ao longo de suas relações:

> *"Os não-cientistas têm a impressão arraigada de que superficialmente os cientistas são otimistas, inconscientes da condição humana. Por outro lado, os cientistas acreditam que os literatos são totalmente desprovidos de previsão, peculiarmente indiferentes aos seus semelhantes, num sentido profundo antiintelectuais, ansiosos por restringir a arte e o pensamento ao presente imediato."* (SNOW, 1995, p. 22).

De acordo com as observações feitas pelo autor, durante o decorrer da história, Ciências e Humanidades se separaram a ponto de gerar uma barreira entre as duas áreas. Snow (1995) acreditava que, de fato, existem duas culturas distintas capazes de gerar o distanciamento dos cientistas das humanidades, porém, segundo o próprio autor, esforços capazes de facilitar uma aproximação entre estes dois universos, seriam proveitosos no sentido de possibilitar um diálogo eficaz entre os mesmos e o mundo.

Levando-se em consideração a relação entre a Ciência e a Arte, observá-la através de paradigmas arraigados ao senso comum, capazes de delimitar e padronizar ambas as áreas do conhecimento é realizar uma observação superficial e incapaz de contemplar aspectos que regem as relações comuns a ambas as áreas. As observações realizadas por Snow, embora pertinentes, não são capazes de compreender a complexa relação existente entre os atores envolvidos no processo de construção do conhecimento em ambas as áreas.

Diante de uma observação mais aprofundada a relação entre Ciência e Arte se mostra cada vez mais possível, especialmente se observarmos sob o ponto de vista das relações sociais. Artistas e cientistas estão imersos na mesma sociedade e sujeitos aos seus questionamentos e às suas demandas, no entanto, cada um fará a sua representação de acordo com o seu ponto de vista, ou seja, artistas e cientistas percebem o mundo da mesma forma, mas representam-no com linguagens diferentes (REIS et al., 2006).

Stephen Wilson (2007) ressalta os processos de rupturas pelos quais a Ciência e as Artes passaram simultaneamente ao longo da história. O autor cita os exemplos da relatividade e as geometrias não euclidianas que desafiaram a concepção newtoniana de espaço e tempo, soberana por um longo período, a mecânica quântica capaz de desafiar a materialidade e a possibilidade de uma observação objetiva e o afastamento de um empirismo observacional por parte da Ciência. Paralelamente às mudanças de paradigmas ocorridos na ciência, o autor destaca um fenômeno semelhante no campo das artes citando a ruptura com as regras de perspectiva pela arte moderna, o abandono da concepção convencional do espaço em três dimensões, o cubismo que contestou a ideia de solidez dos objetos e a representação de um único ponto de vista, assim como a exploração dos conceitos relativistas do tempo de Duchamp.

Levando em consideração o paralelo ressaltado por Wilson (2007) entre a quebra de paradigmas ocorridos na Ciência e na Arte, seria possível supor que existe certa influência por parte do conhecimento construído pela ciência sobre a arte, no entanto o autor afirma que isto não é verídico:

> *"Houve uma época em que os estudiosos pensavam que os artistas pudessem ter sido influenciados diretamente pelo conhecimento da pesquisa científica; atualmente, a maioria dos analistas acredita que isso seja improvável. A visão agora preferida enfatiza a influência de um ethos comum da época."* (WILSON, 2007, p. 491).

Nota-se, através da citação de Wilson (2007) que as interações sociais ocorridas são de extrema importância para a construção do conhecimento, tanto nas artes, quanto na Ciência. Em sua designação de *ethos* científico, ou seja, do conjunto de características que definem o trabalho científico, Robert King Merton (1996) aponta o Comunismo como um dos imperativos institucionais que, segundo o autor, fundamentam o trabalho científico. Merton define, portanto, esta característica como sendo um indicativo de que as descobertas da ciência são produto da colaboração social e devem ser atribuídas à comunidade.

Sendo assim, as possíveis relações entre a Ciência e a Arte só podem ser, de fato, observadas através do prisma das relações sociais, relações estas, que permeiam todos os atores presentes no complexo processo social, capaz de conciliar visões de mundo aparentemente distintas.

Capítulo II – A luz: Hipóteses e inquietações

II.1 Concepções iniciais

A luz sempre esteve presente no cotidiano do ser humano. Desde os mais remotos tempos o homem a observa e se inquieta com suas qualidades. Conhecê-la, no entanto, nem sempre foi prioridade para nós, mas desfrutar dela ao nosso favor caracterizava-se como uma necessidade.

Muito tempo antes de nossos antepassados habitarem a Terra, de acordo com a teoria do “Big Bang”, aproximadamente 10 bilhões de anos atrás, o Universo era muito reduzido e sua temperatura muito elevada. Partindo destas condições ocorreu uma grande explosão que daria inicio à expansão de tudo que existia. Ainda no primeiro segundo após o Big Bang, a temperatura começava a baixar para cerca de 10 bilhões de graus e neste ponto o nosso Universo já apresentava algumas partículas e luz. Somente passado um longo tempo da explosão do Big Bang, o Sol, nossa principal fonte de luz na Terra, seria formado através da contração e aglomeração de matéria, cujos átomos colidiam entre si, aumentando a temperatura e tornando-se suficientemente quente para desencadear reações entre seus núcleos (SALVETTI, 2008).

Vestígios no interior de cavernas indicam que o fogo já era utilizado por nossos ancestrais cerca de 500.000 a.C.. Suspeita-se que o homem primitivo tenha tido seus primeiros contatos com o fogo durante as tempestades, quando as árvores eram atingidas por raios. A chama produzida pela combustão da madeira podia ser transportada para dentro das cavernas através de hastes de madeira, fornecendo-lhes calor, luz e proteção, sendo também utilizado posteriormente no cozimento de alimentos. Diante das vantagens conhecidas com a utilização do fogo, surge a necessidade de produzi-lo voluntariamente e prolongar sua duração. Estudos apontam que uma das primeiras formas de produzir o fogo, através do atrito entre pedras ou pedaços de madeira, surgiu somente por volta de 10.000 a.C. (SALVETTI, 2008).

Dominar as técnicas de produção do fogo resultava consequentemente em “dominar” a luz, produzindo maiores períodos de luminosidade em favor de sua própria sobrevivência.

A evolução do ser humano levou em consideração a adaptação à luz solar. O mecanismo da visão do homem primitivo era totalmente adaptado à luz do dia. A escuridão, portanto, representava ao ser humano o medo e a insegurança, além da redução das chances de sobrevivência na disputa com outros animais.

A luz se tornou, e ainda é, um dos maiores pilares de sustentação da sociedade. Em função da luz, hoje temos grandes avanços tecnológicos que permitiram consolidar nossa existência no planeta. Sendo assim, suas características e seu comportamento sempre foram

alvo do interesse da humanidade, como uma tentativa de expandir seus conhecimentos sobre o fenômeno e elucidar questões que surgiam em seu cotidiano.

Durante a Antiguidade grega, alguns filósofos discorreram acerca do fenômeno da luz e da cor. Estes filósofos apresentaram concepções diferentes sobre o que julgavam explicar tal fenômeno.

Correntes filosóficas da época que apoiavam o chamado pensamento racional julgavam que a realidade deveria ser compreendida através da lógica, do pensamento e da razão. Sendo assim, as interpretações da natureza passaram a seguir este princípio e surgiram as primeiras teorias que buscavam explicar racionalmente o fenômeno da luz, entre outros. (FORATO, 2009).

A maioria dos filósofos gregos tratava a luz e a visão como fenômenos relacionados entre si. Diante desta característica, a luz deveria ser de alguma maneira, emitida e absorvida pelo órgão da visão. Algumas concepções davam conta de que os seres vivos possuíam uma chama interna intrínseca aos seus olhos. Esta chama teria a finalidade de fornecer informações sobre o mundo externo através do tato. Ou seja, a luz emanada dos olhos dos seres vivos sairia através da forma de raios luminosos, tateava os objetos e retornava aos olhos, fornecendo informações sobre a forma, cor e textura dos corpos. Quanto maior fosse a chama presente nos olhos, maior seria a possibilidade de enxergar com pouca luminosidade. A captação das imagens seria realizada pela alma, repassando ao cérebro somente as imagens julgadas como corretas (SALVETTI, 2008).

O tato aparentemente estava relacionado intimamente com a visão, pois somente através do toque, seríamos capazes de captar as informações relativas aos objetos. Muitas das teorias propostas consideravam que os raios luminosos seriam responsáveis por tatear os objetos, fornecendo-nos informações acerca deles. Como a ideia de Pitágoras (c582 – 500 a. C.) de que a luz consistiria em raios tateadores que partiam do olho e ao interceptarem um objeto, poderiam obter informações acerca dele.

Os filósofos atomistas buscaram a compreensão para o fenômeno da luz com base em suas teorias de um mundo formado por “minúsculas partículas eternas e indivisíveis”. Estas partículas indivisíveis combinadas seriam formadoras da matéria (FORATO, 2009).

Leucipo (entre 490 e 460 - 420 a.c), Demócrito (cerca de 460 a.C. - 370 a.C.) e Epicuro (341 - 270 a.C.) defendiam ideias semelhantes. Segundo suas afirmações, as sensações visuais eram influenciadas pela textura do corpo, alterando a cor apresentada aos olhos (DURÃO, 2006). Estes filósofos acreditavam que os corpos eram formados por pequenos corpúsculos, denominados *eidola* por Leucipo e que tais corpúsculos seriam captados pelos órgãos dos sentidos do corpo humano transmitindo informações sobre a cor, o tamanho, ou o formato do corpo observado. Ainda de acordo com os atomistas, Epicuro buscou explicar a

falta do desgaste dos corpos diante desta emissão de pequenos corpúsculos acrescentando que os mesmos seriam substituídos por outros corpúsculos idênticos. Assim que estes minúsculos corpos atingissem os olhos do observador, este seria capaz de enxergar o objeto. Desta mesma maneira seríamos capazes de pensar sobre um objeto, pois suas informações ficariam impressas em nossa mente (FORATO, 2009).

Em sua teoria, Epicuro critica a ideia de Empédocles que imaginava o sentido da visão como um raio que sairia dos olhos do observador, atingiria o objeto e retornava trazendo informações sobre ele, e de Aristóteles que afirmava que o sentido da visão estaria fortemente ligado ao meio em que o objeto e o observador estariam imersos. No entanto a teoria de Epicuro e dos Atomistas, não era suficiente para responder questões levantadas na época, como por exemplo: Como as *eidola* passariam umas pelas outras sem interferência? Como um objeto muito grande encolheria o suficiente para caber nos olhos do observador? Como as almas do observador e do objeto fariam contato entre si? (FORATO, 2009).

Aristóteles contrapôs-se à maioria das ideias apresentadas anteriormente e que acreditavam que a visão partiria diretamente do olho para o objeto, em sua concepção, se estas ideias estivessem corretas, seria possível enxergar em uma situação de completa escuridão, já que a visão dependeria exclusivamente dos olhos. Contrapondo-se a seus antecessores, Aristóteles fundamenta sua teoria no meio material existente entre o observador e o objeto.

Aristóteles supunha que a luz seria uma qualidade dos corpos transparentes. A transparência de um meio, como o ar, permitira que um corpo fosse visualizado. Segundo ele, os objetos alterariam o meio em que se encontram e este meio por sua vez, transmitiria ao observador as características do objeto. Ou seja, a luz não seria algo material, mas uma característica ou estado de transparência do meio (SALVETTI, 2009).

A cor de um objeto atuaria neste meio transparente alterando-o e alterando também a maneira como a cor seria percebida pelo observador. De acordo com seu pensamento, luz e sombra se relacionariam proporcionalmente gerando a sensação de cada cor: “o vermelho, a mais pura das cores, seria uma mistura de luz e uma pequena porção de sombra, ampliando-se a quantidade de sombra para obter verde e o violeta, a mais escura; as outras resultavam da combinação das três cores simples e primárias: o vermelho, o verde e o violeta” (DURÃO, 2006).

Desta forma, Aristóteles não concebia a luz da mesma maneira que os atomistas, ou seja, a luz como corpúsculos. Aristóteles também não se preocupou em estudar o caráter fisiológico ou matemático da luz (BERNARDO, 1998, citado em FORATO, 2009).

II.2 Outras contribuições

Euclides (330-270 a.C), ligado à escola de Pitágoras, demonstrou em 300 a.C leis da reflexão baseadas em noções de raios luminosos e propagação retilínea. Seguindo os ensinamentos de Platão, Euclides teve grande importância no desenvolvimento da óptica, compreendendo questões referentes à lei da reflexão e às propriedades dos espelhos. Ainda que concebesse a luz como uma propriedade inerente aos olhos, Euclides descreveu em seu livro, contendo doze postulados sobre a óptica, que “os raios emitidos pelo olho, viajam em linha reta”, além de supor que a velocidade da luz era muito alta, pois ao fecharmos os olhos os objetos ao nosso redor desaparecem instantaneamente, da mesma forma que reaparecem de imediato (SALVETTI, 2008).

Para Plínio o Antigo, a prata teria propriedades reflexivas, pois o ar era rejeitado e retornava aos olhos do observador (GIBERT, 1982).

Além destes, outros filósofos dedicaram suas teorias à compreensão do fenômeno da luz e da visão, assim como “Alcméon de Crotona (c. 535 a. C.), os pitagóricos, Zenão (384-322 a.C.), Euclides (c. 330-c. 270 a.C.), Herão de Alexandria (c. 10-75), Cláudio Ptolomeu (127-148) e Galeno (130-199). Alguns enfatizaram aspectos fisiológicos, outros físicos, outros matemáticos.” (FORATO, 2009).

Até que os primeiros aparelhos ópticos, lunetas, microscópios e telescópios fossem utilizados, este era (basicamente) o conhecimento construído acerca do fenômeno da luz (GIBERT, 1982).

Já nos fins do século XVI, surgem as primeiras lunetas e os estudos acerca do fenômeno da luz voltam a ser significativos. Kepler (1571-1630) supunha a velocidade da luz como infinita, mas tinha conhecimento sobre leis da refração e reflexão, mesmo que incorretas, sobre o funcionamento de lentes convergentes e divergentes e também acerca da visão invertida sobre a retina. A explicação de Kepler para este fenômeno era de natureza subjetiva: “Embora a imagem do objeto esteja efetivamente traçada, no fundo do olho, numa posição invertida, a *alma* deve naturalmente e sem o socorro de qualquer experiência, endireitá-la” (GIBERT, 1982).

Ao início do século XVII e com base nos trabalhos anteriores, desenvolvem-se trabalhos notáveis buscando compreender a natureza da luz e seu comportamento na mudança de meio, com destaque para os trabalhos de René Descartes e Snell. Deve-se a ele o enunciado da lei de refração (sen i = n sen r, sendo i= ângulo de incidência da luz, n= a razão entre o índice de refração do meio 2 e do meio 1 e r= ângulo de refração da luz), além de sua aplicação concreta para a compreensão do fenômeno do arco-íris (GIBERT, 1982).

Descartes impulsionaria novamente as pesquisas de sua época no ramo da óptica. A publicação de seu trabalho contendo a lei de refração serviria como base para as pesquisas de Hooke, Huygens e Newton (SABRA, 1981, citado em FORATO, 2009).

A existência de vácuo não era concebida na teoria de Descartes. Assim, sob o ponto de vista cartesiano, o Universo seria permeado por um *plenum*, que mais tarde seria chamado de éter, matéria sutil que preencheria os espaços entre as partículas conhecidas e seria capaz de transmitir forças e outros efeitos nos materiais nele imersos. As partículas que compunham o *plenum* estariam permanentemente em movimento no céu formando imensos vórtices que explicariam tanto o movimento dos planetas em torno do Sol, como a queda dos corpos próximos à superfície da Terra (MARTINS, 1998; WHITTAKER, 1987, citado em FORATO, 2009).

A luz, na teoria de Descartes, seria dada por pressão e propagada através do éter, pelo espaço. Partículas do éter se movimentariam ao redor do centro do vórtice e seriam empurradas para fora devido à “força centrífuga”. A pressão exercida por essas particulas umas sobre as outras era transmitida instantaneamente por todo o espaço e seria justamente esta pressão que formaria a luz (WHITTAKER, 1987, citado em FORATO, 2009).

A teoria cartesiana levava à conclusão de que a luz encontraria *menor* resistência ao passar de um meio *menos* denso para um meio *mais* denso (GIBERT, 1982). Em sua concepção, Descartes adota um caráter mecânico e corpuscular para a propagação da luz.

Capítulo III – Luz: Onda ou partícula?

III.1 Hipóteses vibratórias para a luz

O fenômeno da difração, observado no ano de 1665 por Grimaldi (1618-1663), constituiu um passo adiante na construção do conhecimento acerca do fenômeno da luz. O fenômeno foi visualizado a partir da observação da sombra projetada na câmara escura de um objeto muito fino como uma agulha, quando a luz penetrava na câmara através de um pequeno orifício. Grimaldi observou, em vez de uma sombra muito fina, como era de se esperar devido à propagação retilínea da luz, uma sombra real bastante mais larga; observou ainda riscas claras e escuras, afirmando que “um corpo luminoso pode tornar-se obscuro quando se acrescente luz à luz que recebe” (GIBERT, 1982).

Tal experimento leva a uma concepção *vibratória* da luz, fazendo Grimaldi concluir que as cores observadas quando a luz branca atravessa um prisma seria devido à alteração na velocidade do movimento vibratório e que essas diferenças de cor são “produzidas pelas vibrações de um fluido que atua sobre o olho com velocidades diferentes, assim como a diversidade dos sons é devida a vibrações do ar de rapidez desigual” (GIBERT, 1982).

Posteriormente, em 1675, Hooke apresenta à Royal Society um trabalho relacionado ao problema das cores mencionado por Grimaldi, onde afirma: “O movimento da luz, quando é produzido num meio homogêneo, propaga-se por impulsos ou ondas simples e de forma constante, perpendiculares à linha de propagação”. A afirmação de Hooke contém a importante característica de transversalidade da luz, que passa despercebida por seus contemporâneos e continuadores (GIBERT, 1982).

III.2 Christian Huygens

No ano de 1678, Christian Huygens apresenta à Academia Real de Ciências da França, seu trabalho denominado “O Tratado da Luz”. O Tratado tinha como objetivo expor suas observações sobre o que ocorre nos fenômenos de reflexão e refração da luz na calcita, além de uma discussão sobre o peso de um corpo.

Apesar de estabelecer uma teoria para a propagação da luz a partir de um modelo ondulatório, Huygens é Influenciado pelos modelos mecânicos, tão consolidados e difundidos pelos principais estudiosos da época. Huygens fundamenta sua concepção de luz nestes moldes e procura dar uma explicação mecânica às suas propriedades. Desta forma, Huygens supunha que a luz se propagava através de uma perturbação mecânica que ocorria devido do choque entre corpúsculos (SILVA, 2007), ou seja, a teoria de Huygens não exclui uma matéria corpuscular para que ocorra a propagação da luz.

Algumas questões próprias do comportamento da luz e que já eram conhecidas à época de Huygens, assim como a alta velocidade da luz ou o fato de que dois feixes de luz ao

incidirem um sobre o outro não desviam seus trajetos ao se encontrarem, ou ainda a propagação da luz em diferentes direções a partir de uma fonte luminosa, por exemplo, não poderiam ser explicados satisfatoriamente pelas teorias estritamente corpusculares apresentadas anteriormente.

A interpretação de Huygens de acordo com sua teoria para a relação entre a luz e a visão é de que ao visualizarmos um objeto, a sensação causada se deve aos impulsos que alguma forma de matéria pode causar sobre os nervos da base do olho (HUYGENS, 1992). Esta conjectura favorece a teoria de Huygens que une uma concepção corpuscular e ondulatória para elucidar o comportamento da luz.

Apesar da influência mecanicista, Huygens procurou afirmar o caráter ondulatório presente em sua teoria utilizando-se de uma analogia com ondas sonoras que se propagam no ar.

No entanto, a analogia com o som direcionava à necessidade de que a luz se propagasse em um meio material. Assim como o som se propaga no ar, a luz deveria propagar-se através de um meio, deste modo, Huygens apropria-se da ideia de uma *"matéria etérea"* proposta anteriormente por Boyle (1627-1691) e Torricelli (1605-1647) ao explicar a propagação da luz mesmo após a retirada do ar (KRAPAS; QUEIROZ; UZÊDA, 2011).

Huygens afirmava que a luz se propagava através da matéria e em ondas esféricas:

> *"O som se propaga em torno do local em que é produzido, por um movimento que passa sucessivamente de uma parte a outra do ar, e que a extensão desse movimento se faz com igual velocidade por todos os lados, formando-se como ondas esféricas que se alargam permanentemente e vêm tocar nosso ouvido. Ora, não há qualquer dúvida que a luz venha também de corpos luminosos até nós por meio de algum movimento impresso à matéria entre os dois, pois já vimos que isso não pode ocorrer pelo transporte de um corpo que passaria de um a outro."* (HUYGENS, 1992, pág. 53).

Huygens utiliza-se da chamada "matéria etérea" para explicar o mesmo fenômeno observado por Boyle e Torricelli. Segundo ele, a luz pode se propagar em meios em que o som não se propaga, pois ao retirar-se o ar de um local, nele resta a matéria etérea. Neste local então seria impossível ouvir o som se propagando, no entanto continuaria sendo possível enxergar (SILVA, 2007).

De acordo com seu pensamento, a matéria etérea seria formada de minúsculos corpos, no qual o ar atmosférico, composto de fragmentos maiores sujeitos à expansão e compressão, estaria imerso. Sendo assim, a propagação das ondas sonoras se devia à expansão e ao choque entre as partículas maiores de ar (SILVA, 2007). Deste modo, Huygens enuncia o seguinte princípio (PRINCÍPIO DE HUYGENS): "cada ponto do éter atingido pela excitação luminosa pode ser considerado como o centro de uma nova onda esférica" (GIBERT, 1982).

Este modelo proposto por Huygens foi capaz de explicar uma série de propriedades referentes à luz, tais como a grande velocidade da luz, a propagação retilínea, a reflexão e a refração da luz.

A reflexão da luz era concebida levando-se em consideração o princípio de Huygens. Neste caso, cada uma das frentes de onda da luz que atinge uma superfície perfeitamente plana e polida é refletida com o ângulo igual ao de incidência.

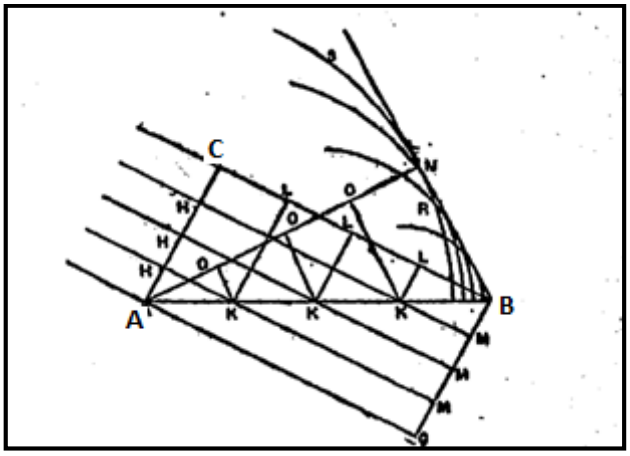


Figura III.1: Representação de Huygens para a reflexão da luz

Huygens explicava em seu tratado que quando uma onda AC se propaga em direção à superfície polida B, em tempos diferentes e considerando intervalos de tempos iguais, a frente de onda que atinge o ponto A, formará uma esfera de raio NA, assim como as ondas particulares formarão em K (três, dois e um intervalos de tempos antes), esferas de raios menores. A igualdade dos ângulos de incidência e reflexão é concluída a partir da manipulação geométrica dos raios (KRAPAS; QUEIROZ; UZÊDA, 2011).

A refração, no entanto, era interpretada a partir de uma variação de velocidade sofrida pela onda ao atravessar de um meio para outro, neste caso, a onda refratada aproxima-se da reta normal. Na figura anterior, Huygens mostra a maneira como um pulso de luz evolui ao ultrapassar a barreira entre dois meios em quatro instantes diferentes de tempo, separados pelo mesmo intervalo. É possível ver que sua frente de onda AC quando atinge a superfície em B tem sua onda particular formada em A, quatro intervalos de tempo antes, evoluída para uma esfera de raio AN no interior do material, cujas suas ondas particulares formadas em K (três, dois e um intervalos de tempo antes) evoluem para esferas de raio menor, de modo que todas as esferas tenham uma tangente comum BN, que por sua vez, representa a onda refratada (KRAPAS; QUEIROZ; UZÊDA, 2011).

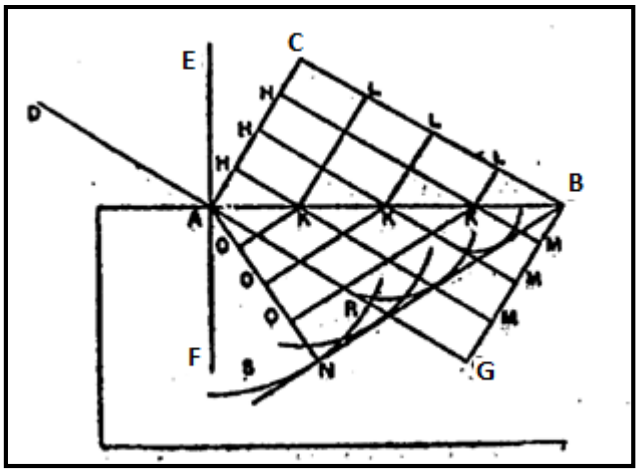


Figura III.2: Representação de Huygens para a reflexão da luz

O fenômeno da dupla refração (quando se observa um objeto através de um cristal de espato da Islândia, obtém-se uma imagem dupla) foi explicado por Huygens admitindo que ao raio “extraordinário” corresponde uma onda elipsoidal, que se sobrepõe à onda esférica a qual corresponde o raio “ordinário”. Aqui nota-se a concepção de *polarização da luz,* fenômeno que pela primeira vez exige a hipótese de *transversalidade das vibrações* (GIBERT, 1982).

A explicação para a grande velocidade da luz também é buscada na teoria mecanicista vigente na época. Huygens propõe então, outra analogia para explicar esta e outras propriedades. Segundo seu raciocínio, bastaria imaginar uma enorme fila com um grande número de esferas dispostas organizadamente em que a primeira da fila fosse atingida por outra esfera. Deste modo, o movimento seria rapidamente transmitido às demais esferas, fazendo com que a última se afaste da fila, no entanto não haveria movimento nas demais esferas (SILVA, 2007).

Porém, este pensamento mecanicista direciona as analogias de Huygens para uma importante conclusão com relação à velocidade da luz. Analogamente ao que ocorre com as ondas provocadas por uma pedra jogada na água, Huygens propõe que a propagação da luz possui velocidade finita, ao contrário do que era proposto anteriormente por Descartes (SILVA, 2007).

Huygens explicava a propagação da luz por meio de ondas esférica, recorrendo novamente ao choque entre corpúsculos de éter. Segundo ele, os minúsculos corpúsculos de éter estariam dispostos desordenadamente e comunicariam seu movimento uns aos outros, não somente em linha reta, mas a toda a vizinhança. Deste modo, a frente de onda seria uma contribuição de cada uma dessas ondas geradas (SILVA, 2007).

Percebe-se que a teoria de Huygens não pode ser considerada exclusivamente ondulatória, mas uma união entre propostas corpusculares e ondulatórias com o objetivo de elucidar problemas não solucionados por teorias anteriores.

III.3 A teoria Newtoniana: Uma preparação para o cenário do século XIX

A teoria de Isaac Newton (1643 - 1727) para o fenômeno das cores foi de fato reconhecida durante o século XVIII, um período em que a teoria mecanicista vigorava fortemente. Neste período, a ciência mecanicista formava uma nova racionalidade que visava romper definitivamente com o pensamento teológico (BRAGA; GUERRA; REIS, 2007). No ano de 1704, Newton publica seu livro "Óptica", no qual relata seus estudos anteriores acerca do fenômeno da luz.

O impacto da publicação do "Óptica", em 1704, na comunidade científica da época praticamente se iguala ao impacto causado por sua publicação anterior, Princípios Matemáticos da Filosofia Natural, ou Principia, publicado em 1687. Sua teoria exerceu enorme influência sobre os estudos de óptica desenvolvidos no início do século XVIII em toda a Europa. Formado de três livros, o Livro I e as Questões do Livro III foram as partes da obra que mais chamaram atenção (SILVA; MOURA, 2007).

Diante da concepção corpuscular proposta por Newton, as cores seriam constituídas de acordo com a mistura dos corpúsculos de luz. Na teoria newtoniana, existem corpúsculos correspondentes às cores amarela, verde, vermelho, dentre outras, sendo assim, estes corpúsculos seriam capazes de se misturar formando, por sua vez, outras cores. A decomposição da luz ao passar por um prisma se daria através da separação dos corpúsculos referentes às respectivas cores, caso estas estivessem misturadas (SALVETTI, 2008).

A partir de experimentos envolvendo luz branca que era refratada através de um prisma para uma parede, Newton buscou estudar a composição da luz, chegando a algumas conclusões:

> *"As cores não são qualificações da luz, derivadas das refrações ou reflexões dos corpos naturais (como se acredita geralmente); são propriedades originais e inatas que diferem em raios diferentes. Alguns raios tendem a representar uma cor vermelha e nenhuma outra, outros uma cor amarela e nenhuma outra, outros uma cor verde e nenhuma outra, e assim por diante. Não há apenas raios próprios e particulares às cores mais dominantes, e sim todas as suas graduações intermediárias."* (NEWTON, 2002, pág.17)

Através da decomposição da luz branca, Newton relaciona as cores visíveis na parede, a partir de seu experimento com o prisma, com a luz branca. Em seu experimento, houve também a tentativa de decompor cada feixe de luz que saía pelo outro lado do prisma, no entanto as cores permaneciam iguais. Newton concluiu então que a luz branca era formada pela mistura das cores que eram visualizadas na parede e as cores visualizadas não seriam formadas por nenhuma outra.

Em decorrência de suas observações, Newton passa a atribuir à luz um caráter mecânico e corpuscular. No entanto, a este caráter corpuscular, seria necessário sobrepor um movimento oscilatório no éter. Na concepção de Newton "a propagação retilínea da luz só

podia explicar-se pela hipótese de corpúsculos deslocando-se em uma grande velocidade ao longo de retas", considerando assim, impossível derivar a propagação retilínea a partir da hipótese vibracional, pois deste modo não seria possível explicar a sombra geométrica (FORATO, 2009).

Baseado na concepção corpuscular e mecanicista a qual Newton estava inserido, alguns fenômenos ópticos conhecidos foram explicados por ele utilizando conceitos particulares aplicados às partículas, tais como massa e força. Desta maneira, Newton procurou demonstrar que sua teoria seria capaz de explicar estes fenômenos, fornecendo assim, credibilidade à mesma.

O fenômeno da reflexão da luz em uma superfície polida, por exemplo, foi interpretado por Newton através de uma analogia ao movimento observado após a colisão elástica de bolas em uma parede rígida. Quando as bolas atingem a parede, as mesmas são desviadas com um ângulo de reflexão igual ao de incidência (SALVETTI, 2008).

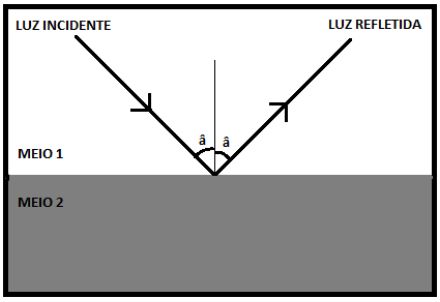


Figura III.3: Esquema de reflexão da luz em uma superfície polida

Os conceitos referentes à teoria mecanicista estavam tão presentes na interpretação newtoniana para a natureza da luz, que o fenômeno da refração foi explicado através da existência de uma força de atração capaz de atuar sobre os corpúsculos de luz, existentes em sua teoria.

De acordo com Newton, na ausência de forças externas os corpúsculos de luz teriam uma trajetória retilínea, no entanto, ao passar de um meio para outro, o desvio observado na trajetória da luz incidente para a luz refratada, seria devido à presença de uma força presente na superfície de separação entre os dois meios e capaz de exercer influência sobre esses corpúsculos. Esta força, no entanto, atuaria no sentido de aproximar a luz da reta normal à superfície de separação dos meios quando o meio (1) for o ar e o meio (2) for o vidro, e atuaria no sentido de afastar a luz da reta normal, quando a luz for incidente do meio (2) para o meio (1), analogamente, quando a luz incidente tivesse a mesma direção da reta normal à superfície, não haveria forças atuando na superfície de separação dos meios (SALVETTI, 2008).

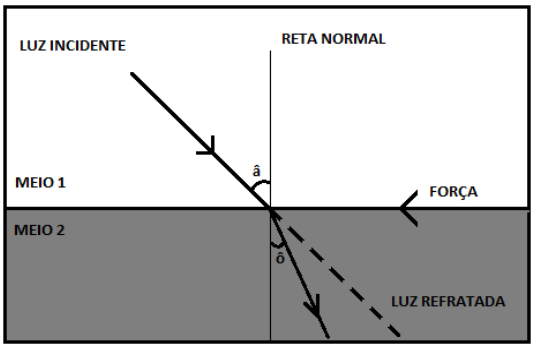


Figura III.4: Força atuante na superfície de separação dos meios

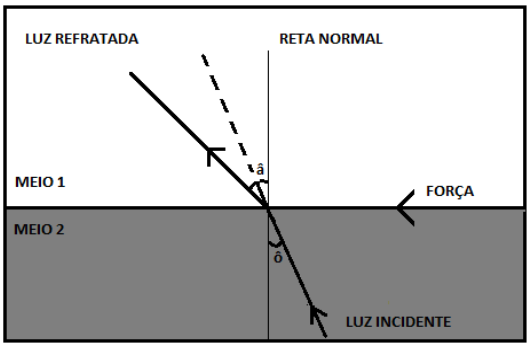


Figura III.4: Luz incidente do meio (2) e refratada no meio (1)

As publicações de Newton relatando seus estudos acerca do fenômeno da luz geraram muitas críticas por parte da comunidade científica da época. A crítica principal ao trabalho de Newton, sustentada por Robert Hooke (1635 – 1703), vinha de sua concepção de luz como uma substância material. Na interpretação de Hooke, a luz era constituída por pulsos de pequena amplitude que se propagavam num meio. Ainda de acordo com Hooke, a luz era formada por duas cores básicas (vermelho e azul), sendo assim, as cores intermediárias seriam distorções dos pulsos de luz das cores iniciais.

III.4 A natureza da luz no século XIX

O século XVIII, para a óptica, foi marcado pela consolidação da teoria Newtoniana para os fenômenos referentes à luz e às cores. Neste período, as teorias mecanicistas vigoravam fortemente, dando suporte à concepção de Newton que passou a atribuir à luz um caráter mecânico e corpuscular.

A teoria de Newton que anteriormente fora criticada por Robert Hooke, volta a ser colocada à prova ainda durante o século XVIII. Os problemas com a teoria newtoniana citados em algumas publicações da época seriam devido à determinação da massa e volume das partículas de luz, com a influência da gravitação no movimento dos raios de luz, com as explicações sobre a inflexão (que atualmente é conhecido como refração) e com a ideia de força de curto alcance entre a luz e os corpos (SILVA; MOURA, 2008), já que estas partículas de luz deveriam estar sujeitas às propriedades corpusculares conhecidas. Diante destes

questionamentos à teoria newtoniana, teorias que interpretavam a luz de modo vibracional passaram a se firmar na comunidade científica da segunda metade do século XVIII.

O fim do século XVIII leva consigo o caráter irrefutável da teoria corpuscular e mecanicista para a natureza da luz, cedendo cada vez mais espaço às teorias ondulatórias. Ao fim desse século o abalo da credibilidade da teoria newtoniana fez com que surgissem novos trabalhos que defendiam a teoria vibracional, dentre eles destacam-se os trabalhos de Thomas Young (1773-1829) e posteriormente a teoria ondulatória de Augustin Fresnel (1788-1827). O século XIX é marcado, para a óptica, pela ascensão das teorias ondulatórias para a natureza da luz e dos trabalhos de cientistas que passaram a corroborar com esta concepção.

Thomas Young, no ano de 1804, demonstrou que a luz ao difratar-se através de um pequeno orifício e novamente por outros dois, seria capaz de interferir construtiva e destrutivamente em um anteparo colocado mais a frente. Tal fenômeno somente seria interpretável ao considerar-se a luz como uma onda. De acordo com Young o tratamento ondulatório para a luz também seria de grande relevância para explicar fenômenos relacionados às cores (YOUNG, 1802). Baseando-se em sua concepção ondulatória para a propagação da luz, Young interpreta sua observação através da ideia de que a luz seria um "fenômeno periódico" produzido através de vibrações do éter e capaz de interferir mutuamente, reforçando-se ou enfraquecendo-se (ROSA, 2012).

O experimento de Young contribuiu positivamente para a teoria ondulatória, no entanto, a teoria corpuscular ainda dominava o cenário científico presente na época, fazendo com que os trabalhos que buscavam a solução de problemas em vigor através de uma concepção ondulatória fossem fortemente rejeitados a princípio. Deste modo, ainda foram necessários novos trabalhos que corroborassem com a teoria de Young.

Young também interpretava o fenômeno de aberração da luz[1], que causa um movimento aparente na observação de estrelas, através da teoria ondulatória, no entanto, a explicação para este efeito não era possível unicamente através desta teoria, sendo uma hipótese adicional necessária. Para Thomas Young seria necessário supor o éter totalmente imóvel no espaço e não influenciado pelo movimento da Terra (PIETROCOLA, 1993).

Étienne Malus (1775-1812), um engenheiro militar francês, acreditava que a luz era composta de uma mistura de calórico e oxigênio. Esta concepção baseava-se especialmente no fato de que é possível observar a propagação da luz em decorrência da combustão dos corpos (DARRIGOL, 2012).

[1] A aberração da luz (também conhecida como aberração astronômica ou aberração estelar) é um fenômeno astronômico que produz um movimento aparente de objetos celestes nas proximidades de suas locações, dependendo da velocidade do observador.

Em Paris, no ano de 1810, Malus ao olhar através de um prisma de calcário para a luz do sol refletida a partir das janelas do palácio de Luxemburgo, observou que um feixe de luz refletida a partir de vidro com um ângulo de 56º, ou de água de um ângulo de 53º, era totalmente polarizado, tendo o seu plano de polarização paralelo ou coincidente com a o plano da reflexão (BREWSTER, 1854). Mais tarde fizera incidir a luz de uma vela sobre uma superfície d'água e observou a luz refletida sob um ângulo de 36º mais uma vez através de um cristal de dupla refração e notou que a luz refletida estava polarizada. O experimento foi repetido com um espelho e obteve o mesmo resultado (SILVA, 2007). Malus propõe que a dupla refração não seria a única maneira de polarizar a luz, de modo que a luz refletida também apresentaria tal propriedade.

Influenciado pela concepção mecanicista de propagação da luz, Malus concebe, assim como Newton, que as moléculas de luz possuem uma assimetria transversal, que ele descreveu através dos eixos moleculares a, b, c. Malus assume ainda, que a orientação dos eixos transversais b e c depende da direção que as forças de repulsão exercem sobre a matéria (DARRIGOL, 2012). A proposição de Malus pôde ser considerada como uma anomalia na concepção ondulatória, no entanto, Thomas Young propôs posteriormente que esta concepção também poderia explicar a observação feita por Malus.

Em relação ao experimento de Malus, Young acreditou que a transversalidade talvez não pudesse ser explicada através da teoria ondulatória, no entanto, posteriormente, baseando-se em uma analogia com ondas mecânicas provocadas na água ou em uma corda estirada, concluiu que a teoria ondulatória deveria contemplar também vibrações transversais (MASON, 1986), propagando-se em direção do raio, com a mesma velocidade (SILVA, 2007). A transversalidade da luz havia figurado anteriormente na teoria de Hooke, ainda que tenha passado despercebida.

Dominique-François Arago (1786-1853), um jovem de vinte e três anos na época de sua eleição para o departamento de astronomia na Academia de Ciência da França, também estava preocupado com a resolução do problema da aberração. Tal problemática colocava à prova os defensores de uma teoria corpuscular, pois, de acordo com as observações realizadas, a velocidade da luz apresentava-se constante, fato este que iria contra a concepção corpuscular para a propagação da luz. Tendo em vista tal concepção, seria possível supor que, assim como fora proposto anteriormente por Newton, a velocidade de propagação dos corpúsculos de luz no espaço deveria depender das dimensões e da distância dos corpos emissores (PIETROCOLA, 1993), ou seja, a velocidade da luz seria incapaz de manter-se constante.

Os estudos de Arago, juntamente com Biot (1774-1862), um engenheiro graduado na École Polytechnique de Paris, apontaram que a velocidade da luz era, de fato, constante,

independentemente dos corpos dos quais emana. No entanto, Arago ainda buscava uma explicação para este fato que pudesse ser absorvida satisfatoriamente pela teoria corpuscular. De acordo com Arago, a constância na aberração podia ser fruto de uma compensação entre a variação da velocidade da luz e a forma dos desvios produzidos na refração, esta interpretação valia-se do fato de que o movimento da Terra poderia ser composto com a velocidade da luz para produzir variações na velocidade relativa medida num prisma terrestre. Porém, após a realização de experimentos, Arago depara-se com a mesma conclusão que já havia sido proposta anteriormente, que a luz se propaga com uma velocidade constante. Esta conclusão trouxe problemas à visão corpuscular, pois aparentemente negava as consequências diretas da teoria corpuscular aplicáveis ao caso (PIETROCOLA, 1993).

Augustin Fresnel (1788-1827), um engenheiro francês cujo interesse inicialmente estava centrado no estudo da formação das sombras, procurou romper com os conceitos mecanicistas difundidos na França do início do século XIX. Em contraposição à ideia de Malus, Fresnel não acreditava que a combustão do carbono poderia não implicar na emissão de calórico, deste modo, em sua concepção a luz deveria ser consequência de um processo de vibração do calórico e não o próprio calórico em si, como acreditava Malus (DARRIGOL, 2012).

A contraposição de Fresnel à teoria newtoniana baseava-se no fato de que se esta fosse verdadeira, o Sol deveria emitir diversas partículas de luz com velocidades distintas (BRAGA; GUERRA; REIS, 2005). No entanto, Fresnel ainda se preocupava com a necessidade de explicar o fenômeno da aberração das estrelas através da teoria ondulatória.

No ano de 1819, a Academia de Ciência da França, que era predominantemente dominada pelo pensamento de Newton, lança um concurso que põe à prova os defensores da teoria ondulatória. Neste concurso, os concorrentes deveriam escrever trabalhos sobre o fenômeno da difração (SILVA, 2007). Fresnel, que durante muito tempo submeteu artigos que defendiam a teoria ondulatória, teve seu trabalho premiado em março de 1819. Neste artigo Fresnel descrevia uma série de experimentos que corroboravam com a concepção ondulatória de propagação da luz (CROSLAND, 2002).

Fresnel firma seus estudos com base na teoria de Young, vislumbrando que a mesma poderia explicar os efeitos conhecidos da luz. Diante de suas concepções, Fresnel buscou também conciliar a interpretação de Young para o fenômeno da aberração ao resultado experimental demonstrado por Arago, no qual o movimento orbital terrestre seria irrelevante para as medidas de refração. Para este fim, em carta à Arago, Fresnel expõe sua teoria que resguarda a imobilidade do éter no espaço, para isto, era necessário supor que uma pequena parte deste éter era arrastado pelos corpos transparentes em movimento com a Terra. Sendo assim, os dois fenômenos poderiam ser interpretados pela teoria ondulatória. Tal proposição

ficou conhecida como hipótese de arrastamento parcial do éter luminoso (PIETROCOLA, 1993).

A teoria de Fresnel ainda não havia sido bem aceita na comunidade científica da época. Membros como Arago, contestavam o comportamento ondulatório da luz, pois se esta apresentasse tal comportamento, deveria comportar-se como o som, ou seja, não seria possível bloqueá-la por um anteparo. Fresnel se defendia supondo que som e luz atuariam em meios diferentes, o primeiro causaria vibrações no ar, ao passo que a luz seria dada através de vibrações do calórico. Futuramente, Fresnel substituiria o calórico pelo éter em seus trabalhos (BRAGA; GUERRA; REIS, 2005). Além disso, Fresnel acreditava que a obtenção de um padrão de franjas devido à superposição de ondas emitidas por uma fonte luminosa, seria um fator relevante contra a teoria corpuscular (DARRIGOL, 2012).

Um novo ponto a favor da teoria ondulatória surge a partir dos experimentos de Foucault (1926–1894) que determinam a velocidade da luz para meios diferentes, mostrando que a velocidade seria menor para meios mais densos, contrariando as expectativas dos defensores da teoria corpuscular (SILVA, 2007). As teorias vibracionais ganham credibilidade ao passo que se mostram mais consistentes na explicação e na quantificação de fenômenos como os “anéis de Newton”, a polarização e a difração da luz (SILVA; MOURA, 2008).

Ao mesmo tempo em que a óptica e os estudos sobre a luz se desenvolviam durante a primeira metade do século XIX, desenvolviam-se paralelamente outros ramos da Física, a eletricidade e o magnetismo.

Graças às contribuições de Coulomb, com sua analogia entre a interação elétrica e a lei da Gravitação Universal de Newton, Oersted, que relacionou o movimento de uma carga a um campo magnético e Faraday, ao relacionar a variação de um campo magnético ao surgimento de um campo elétrico, dentre outras, a eletricidade e o magnetismo se desenvolveram consideravelmente ao longo do século XIX.

Já na segunda metade do século XIX James Clerk Maxwell reuniu as equações decorrentes da eletricidade e do magnetismo. Esta síntese lhe permitiu analisar tais equações e por simetria, perceber que faltava um termo em uma delas (SILVA,2007).

Através da análise das equações, Maxwell foi capaz de demonstrar que os campos elétricos e magnéticos são capazes de satisfazê-las. Estes campos se propagavam com a velocidade da luz.

Diante desta observação, Maxwell postulou que a luz é constituída por ondas eletromagnéticas, deixando para seu sucessor, Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) no ano de 1888 a prova experimental deste fato (PERKOWITZ, 1998).

O trabalho realizado por Maxwell foi de grande importância para o desenvolvimento da Física e para a posterior compreensão de aspectos relativos às propriedades da luz.

No decorrer do século XIX foi possível observar grandes debates na óptica, em relação ao que ocorrera no século anterior, dominado pelo pensamento newtoniano para a propagação da luz. As contestações sofridas pela teoria corpuscular, aliadas aos experimentos realizados durante o século XIX, serviram para corroborar e fortalecer a teoria ondulatória, mesmo que, ainda assim, não a confirmassem definitivamente.

Capítulo IV – A luz e o mecanismo da visão

IV.1 Luz e visão

Ao falarmos da luz e seu comportamento enquanto fenômeno físico precisamos distingui-la muito bem dos processos biológicos que envolvem o sentido da visão. Como foi dito anteriormente, diversas correntes teóricas já buscaram explicações para o fenômeno físico a partir do órgão responsável por nos fazer enxergar o mundo ao nosso redor.

Ao longo do processo de atividades e pesquisa ocorrido em sala de aula com os estudantes, surgiram diversas dúvidas ou questionamentos acerca da relação entre a visão e a luz. Partindo destes questionamentos, julgou-se necessário incluir aqui uma breve discussão sobre a forma como a luz atua em nossos olhos.

Durante anos de evolução os nossos olhos se tornaram adaptados à luz. Deste modo, os sensores presentes no olho humano absorvem a luz refletida pelos objetos para o posterior processamento das informações recebidas.

O processo evolutivo sofrido pelo olho humano tornou este complexo órgão a representação de um elevado grau de aperfeiçoamento da matéria, no que diz respeito à captação de energia luminosa. A acuidade visual decorre de uma longa batalha seletiva com o objetivo de adaptar-se ao meio ambiente, acumulando ao longo deste processo, diversas modificações necessárias à sobrevivência. Somente este refinado órgão dos sentidos é capaz de perceber distâncias, formas e localização dos objetos (PEDROSA, 2009).

Os sensores localizam-se na retina e são os mecanismos responsáveis pela absorção da luz, além destes, temos ainda os processadores, mecanismos que avaliam as informações recebidas pela luz absorvida. Este processo inicia-se na retina e segue até o cérebro. A formação de imagens ocorre devido à passagem da luz através do sistema composto principalmente pela córnea e o cristalino. Ao atravessar este meio, a luz refrata-se em direção à retina. A imagem formada nestas condições apresenta-se invertida. O processo de focalização das imagens é de responsabilidade de dois conjuntos de músculos que se contraem e relaxam com o objetivo de ajustar a espessura da lente e adequando a focalização dos objetos na retina, a lente se tornará, então, mais espessa para focalizar objetos mais próximos e mais delgada para objetos mais distante (SALVETTI, 2008).

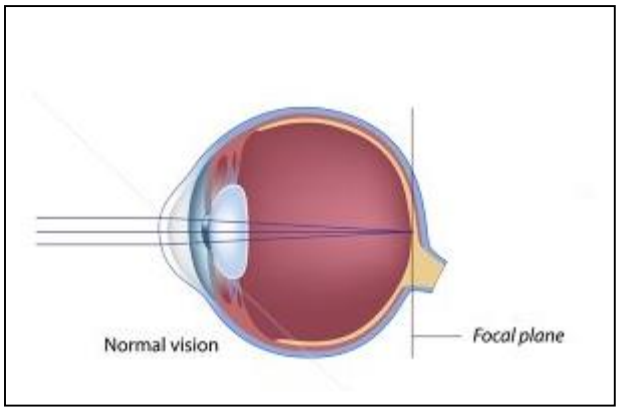


Figura IV.1 - Esquema de projeção dos raios luminosos na retina (Disponível em: <http://www.shutterstock.com/>, acesso em maio de 2014)

A íris regula a intensidade luminosa, aumentando e diminuindo o tamanho da pupila, que por sua vez pode variar entre dois e oito milímetros. Esta ação é responsável por modificar a profundidade do campo de visão, ou seja, pela focalização de objetos em diferentes distâncias simultaneamente. Ao atingir a retina, a luz é absorvida, sensibilizando as células e sendo posteriormente processada principalmente no córtex cerebral, resultando, portanto, em uma sensação associada a cada estímulo luminoso traduzido em impulsos nervosos (SALVETTI, 2008).

Diante do espectro luminoso proveniente da luz branca, o ser humano é capaz de enxergar apenas na faixa conhecida como espectro visível. A incapacidade dos seres humanos de enxergar fora desta estreita faixa ocorre devido às células presentes na retina. Deste modo, apenas as frequências de luz incluídas no espectro visível são capazes de impressionar o nosso sistema de visão. Estas células são chamadas de cones e bastonetes. Os cones são células sensíveis à luz próxima à faixa do amarelo e de grande intensidade luminosa, os bastonetes são as células mais sensíveis na região do verde e de baixa intensidade luminosa. Cada uma das cores sensibilizará o sistema da visão de uma forma diferenciada provocando uma sensação distinta para cada uma delas. A partir das cores primárias na forma de luz conseguimos produzir todas as tonalidades, sensibilizando de modo diferente o nosso sistema de visão. Estas cores primárias são definidas como aquelas cuja adição de duas delas não resulta a terceira (SALVETTI, 2008).

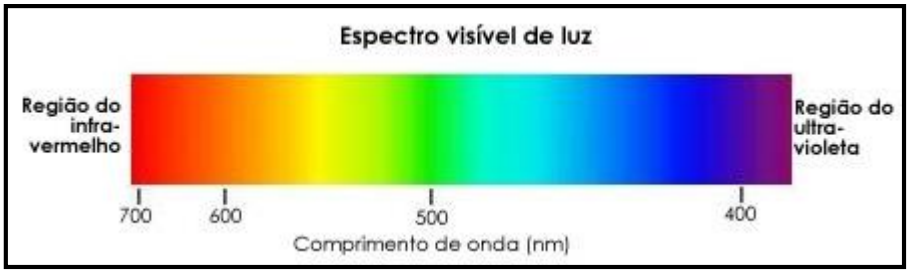


Figura IV.2: Região do espectro visível de luz

Apesar de estar adaptado à luminosidade, o olho humano não é capaz de resistir à exposição direta da luz solar. O fato de não enxergarmos fora desta estreita faixa se deve ao processo de seleção natural sofrido pelo homem e se enquadra como um mecanismo de defesa. Nossos olhos nos impedem de enxergar abaixo de 400mμ, esta característica evolutiva é capaz de evitar os efeitos nocivos das radiações de ondas curtas sob a retina. Os raios ultravioletas com comprimentos de onda próximo dos 250mμ são capazes de cegar, caso fiquemos um prolongado período de tempo sob sua ação. Este mecanismo de defesa se deve ao cristalino, que absorve os raios provenientes destas faixas e impede que estes cheguem até a retina. Ou seja, o cristalino além de auxiliar na projeção de imagens sobre a retina, também funciona como um filtro que auxilia e protege os olhos (PEDROSA, 2009).

Capítulo V – A Teoria das Cores de Goethe e sua crítica a Newton:

V.1 Goethe e a construção de sua visão de mundo

Um dos críticos da teoria de Isaac Newton foi o escritor e poeta alemão Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832). Em seu livro “Teoria das Cores”, de 1810, Goethe contrapõe-se à visão de Newton sobre o fenômeno da luz e das cores. Esta contraposição, no entanto, não baseava-se na defesa de um modelo ondulatório para a luz. Goethe buscou demonstrar em sua teoria, alguns aspectos subjetivos que a teoria de Newton não contemplava.

Goethe nasceu em Frankfurt, Alemanha, em 28 de agosto de 1749. Apesar de ter se formado em direito, Goethe foi um escritor com grandes incursões pela ciência durante sua vida, em áreas como a Física e a Biologia. Passou a se dedicar à literatura, sua grande paixão, produzindo romances, peças de teatro, poemas e tratados nas áreas de literatura e ciências. O artista dialoga tanto com ideias discutidas no campo da estética literária, quanto das ciências e da filosofia. Seus escritos são capazes de se relacionar com a produção intelectual de seu tempo.

O poeta alemão reuniu em si a criatividade poética e a pesquisa científica, utilizando-se da arte para a compreensão do mundo, da mesma forma que é realizado, ainda que com maior rigor, pela ciência. Para o poeta, arte e ciência teriam uma relação muito íntima. Tendo dito que lhe agradava “o parentesco tão próximo entre arte poética e a ciência natural comparativa, por submeterem-se ambas ao mesmo juízo”. Em seu pensamento a arte perecia tão objetiva quanto a ciência, deste modo, a visão artística de Goethe encontrava-se complementada pela visão cientifica (STEINER, 1984).

Para que seja possível compreender o contexto de criação da Teoria das Cores, bem como as concepções pessoais que nortearam a sua construção, é importante conhecer o meio social e as ideias que eram disseminadas à época de Goethe.

Goethe iniciou seus estudos literários no período de 1768 – 1870, com dezenove anos, em Frankfurt, enquanto recuperava-se de uma provável tuberculose. Na casa de seu pai, o jovem poeta se dedicou à leitura de diversas obras, aproveitando- se de uma biblioteca com mais de cinco mil volumes. Dentre suas leituras encontrava-se uma diversidade de escritos que perpassavam por filósofos gregos, literatura nórdica, escritos sobre história da arte, literatura e ciência. Além desta leitura, alguns nomes de tradição mística, ou que de alguma forma embutiam o misticismo em suas obras, foram alvo da curiosidade do jovem enfermo, tais como Giordano Bruno (1548 – 1600), Paracelso (1493 – 1541) e Agrippa de Nettesheim (1486 – 1535) (MOURA, 2011).

O contato com o conhecimento produzido na Idade Média forneceu ao poeta uma postura ambivalente com relação à interpretação dos fenômenos da natureza. Ao mesmo tempo em que adotava uma visão materialista e investigativa, também era capaz de interpretar a natureza como uma expressão viva da criação. Através de Giordano Bruno, Goethe adquiriu uma ideia de universo infinito, baseada na noção copernicana do sistema celeste (MOURA, 2011).

A passagem do século XVIII para o XIX levou à propagação das ideias iluministas e consequentemente a um distanciamento da metafísica e dos conceitos religiosos, especialmente na Europa.

No entanto, Kestler (2006) aponta que o Iluminismo não se apresentava como um ideal homogeneamente difundido. Desta forma, conviviam as mais diversas tendências, até mesmo aquelas fundamentadas em ideais religiosos.

Contemporâneas a Goethe, duas tendências para investigação de fenômenos da natureza e ligadas às crenças religiosas eram difundidas, a emanentista e a imanentista. Estas tendências diferenciam-se através de suas ideias defendidas com relação à compreensão de mundo, sendo que a emanentista partia do princípio de que o mundo como um todo seria uma espécie de reflexo ou assinatura de Deus, enquanto os defensores da tendência imanentista acreditavam que o mundo por si só era divino na total autonomia de suas leis, não dependendo de um todo. Esta visão estaria voltada para um tipo de investigação baseada na harmonia dos fenômenos da natureza, fundamentava-se nos conceitos filosóficos de Spinoza (1632-1677) e Giordano Bruno (1548-1600). Goethe, portanto, baseia seu ideal de investigação da natureza na concepção imanentista (KESTLER, 2006).

Partindo deste contexto, Goethe assume uma postura analítica e ao mesmo tempo filosófica com relação à natureza. Neste sentido, o poeta julga que os fenômenos, em toda sua magnitude, não podem ser conhecidos por completo, mas cabe ao homem tentar conhecê-lo através de suas partes.

O homem como sujeito ativo e que encontra-se no meio dos efeitos causados pelos fenômenos não deve deixar de questionar-se acerca dos mesmos. Na concepção de Goethe, este seria o caminho para que o homem, um ser finito e limitado, fosse capaz de chegar o mais próximo possível da perfeição, ou seja, através da busca pelo conhecimento da natureza (infinita) (GUIDOTTI, 2011).

Sendo assim, Goethe considerava que o conhecimento profundo da natureza, bem como dos fenômenos que a formam, constitui uma grande vantagem ao artista, de modo que sua arte será capaz de captar as minúcias da natureza e descrevê-la em sua totalidade.

A reprodução artística da natureza, segundo Goethe, não deveria limitar-se à reprodução fiel do real. Representar a natureza, portanto, deveria implicar no seu conhecimento e na sua compreensão enquanto matriz geradora e producente (MOURA, 2011).

Na busca pela elucidação dos fenômenos, Goethe afirma que por mais que todas as ideias e concepções envolvidas pareçam complexas, todas elas podem ser esquematizadas e simplificadas através de esboços e desenhos precisos, o invisível não era contemplado em suas teorias. No entanto, o poeta considerava o fenômeno em si como um veículo para a sua própria compreensão através de suas partes. Se não é possível conhecer o todo (fenômeno), é possível obter uma espécie de dedução através de suas partes. Nesse sentido, a percepção da natureza deveria ser como ela própria, dinâmica e capaz de acompanhar seu contínuo devir (GUIDOTTI, 2011).

Além de concepções filosóficas, a troca de ideias com os mais diversos membros da comunidade científica da época também contribuiu para construir o conhecimento e a visão de mundo de Goethe.

Ainda durante seu período como estudante de direito (1765-1768), o poeta passou a interessar-se também pela investigação científica através do conhecimento dos estudos de Carolus Linnaeus (Lineu) (1707-1778) sobre plantas, a História da Natureza do conde de Buffon (1707-1788), entre outros. Durante toda sua vida, Goethe manteve correspondência com importantes cientistas de sua época, como o botânico Karl Friedrich Phillipp von Martius (1794-1868), que integrou a comitiva da arquiduquesa austríaca Leopoldina em sua vinda para o Brasil, e o naturalista Alexander Humboldt (1759-1859). Posteriormente, Goethe ainda incursiona pelos ramos da mineralogia e geologia, com importantes trabalhos na área, sendo eleito presidente da Sociedade Mineralógica de Jena na Alemanha. (KESTLER, 2006).

Sob influência de seus estudos na área de anatomia humana, osteologia e zoologia, Goethe apoia o princípio de que existe um forte parentesco entre os homens e os animais, o que era negado veementemente por importantes filósofos da época, como Immanuel Kant (1724-1804). Partindo desta concepção o poeta chega a algumas ideias evolucionistas diante de seus estudos sobre o osso intermaxilar, comum ao homem e aos demais vertebrados. Em sua interpretação, a natureza havia criado todos os seres vivos segundo um modelo fundamental de organização (KESTLER, 2006).

Os estudos de Goethe sobre botânica também partem do princípio da existência de um modelo fundamental construído pela natureza. Sendo assim, o poeta busca encontrar na variedade das formas vegetais, uma forma primordial. De acordo com este fundamento, Goethe baseia o princípio de metamorfose, que seria equivalente a uma transição entre as formas que as plantas vão adquirindo durante seu crescimento, ou seja, as plantas seriam capazes de produzir uma parte através da outra (KESTLER, 2006).

Podemos perceber através das ideias construídas por Goethe que a mobilidade entre as formas da natureza é um conceito muito pertinente para elucidar alguns fatos que o poeta observa ao seu redor. Sendo assim, é possível compreender que na concepção goetheana a natureza adota a transição ou metamorfose para mover-se entre os mias diversos estágios de um fenômeno.

Além disso, através da ideia de metamorfose, é possível também compreender a concepção que Goethe insere em sua teoria de que as cores seriam derivadas de um processo de transição entre o claro e o escuro.

Outra característica subjetiva que permeia as concepções de Goethe são as leis de polaridade e de intensificação. Neste caso, o conceito de polaridade pertence à matéria e o da intensificação ao espírito e ambos atuariam conjuntamente, sendo assim, é possível compreender que para Goethe os contrários como luz e sombra não constituem dualidades antagônicas, mas o anverso e o reverso de uma mesma unidade polarizada (KESTLER, 2006).

Ao analisarmos a Teoria das Cores sob a perspectiva das concepções pessoais às quais Goethe estaria imerso, podemos compreender o quão improvável poderia lhe parecer a teoria newtoniana para a luz, pois a mesma não se insere nesta visão de mundo.

O pensamento científico à época de Goethe estava fortemente baseado em pilares que rejeitam quaisquer paradigmas metafísicos para a interpretação de fenômenos da natureza e é nesta concepção que o pensamento newtoniano se insere. Goethe, em contrapartida, privilegia conceitos capazes de contemplar fatores metafísicos e subjetivos como as sensações causadas ao sentido da visão diante do fenômeno da luz, fundamentando sua teoria na transição das formas e nas analogias entre os fenômenos, construindo os mesmo através das leis de polaridade.

Os processos experimentais realizados pelo poeta, ainda que sujeitos ao rigor científico, rejeitavam a instrumentalização e o uso de aparatos, com o objetivo de que seus leitores pudessem realizá-los e experimentar as sensações por eles causadas. Em sua concepção, os aparelhos utilizados em experimentos também poderiam falsificar a imagem do mundo. Estes aparelhos e os consequentes cálculos matemáticos eram responsáveis por violentar a natureza (KESTLER, 2006).

As cores passaram a figurar na obra de Goethe quando este buscou conhecer melhor a escolha das cores na pintura. Em sua pesquisa com pintores não encontrou respostas satisfatórias, pois os mesmos sabiam apenas como aplicá-las e misturá-las, mas não se utilizavam de uma teoria que pudesse ser repassada. Daí então surge a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre as cores (STEINER, 1984).

Obviamente outros artistas da época tiveram a necessidade de centralizar seus esforços em um estudo aprofundado das cores, no entanto, a peculiaridade de Goethe fica por conta de sua insatisfação com uma teoria que não pudesse ser descrita cuidadosamente e traduzida em conceitos. Tal insatisfação pode ser compreendida pelo espírito científico característico deste poeta.

V.2 A construção de uma Teoria das Cores

Seu interesse por uma teoria para as cores baseada em um cuidadoso sistema de regras intensifica-se no período de 1790 a 1791.

Partindo das concepções filosóficas e referenciais que nortearam a visão de mundo adotada por Goethe é possível fazer uma leitura mais aproximada da concepção científica adotada pelo poeta ao construir sua crítica à teoria newtoniana.

Ao analisarmos a “Teoria das Cores”, um estudo publicado por Goethe em 1810, percebemos que a chave para a compreensão dos fenômenos cromáticos encontra-se na subjetividade do sentido da visão, representada pelo olho humano. Essa maneira de interpretar os fenômenos não poderia ser diferente, tendo em vista que para o poeta o homem e a natureza estavam intrinsecamente ligados, uma vez que a natureza se revela aos nossos sentidos e sobre ela, e com base em nossas sensações, realizamos nossas observações e tiramos nossas conclusões. Ou seja, a chave para a solução dos mistérios que envolvem a natureza, encontra-se no próprio homem. Sendo assim, o sujeito e o objeto fazem parte da mesma construção.

Partindo destes princípios podemos entender melhor em que se baseia sua divergência com Newton. A teoria goethiana busca sintetizar cor e luz como um fenômeno único capaz de se revelar aos nossos olhos e por eles ser interpretado, ao passo que Newton compreende que as cores derivam da luz.

A leitura de Goethe acerca dos fenômenos ópticos o levou a uma conclusão repleta de inspiração poética, ao mesmo tempo em que centrava-se em suas concepções filosóficas. A luz deveria, portanto, ser observada a partir de sua completude que contemplava a luz e as cores em sua unidade.

Ao aprofundar-se na teoria newtoniana das cores, o espírito crítico do autor se mostra insatisfeito com a insuficiência de seu conteúdo. No entanto, Goethe se mostra concordante com alguns aspectos da mesma.

Goethe aceita plenamente o fato de que as cores estão ligadas à luz, no entanto ao associá-las, mantém sua característica poética afirmando que “*as cores são ações e paixões da luz*” (GOETHE, 1993, p. 35).

O poeta critica a teoria de Newton com base em suas peculiaridades artísticas e filosóficas, procurando criar sua própria teoria baseada fundamentalmente nas sensações. Esta peculiaridade na forma de observar a natureza norteia toda a teoria de Goethe, de modo que até mesmo os experimentos realizados levando em consideração uma rigorosa metodologia, baseada em argumentações científicas, têm sua interpretação fortemente vinculada a um caráter subjetivo.

Sua crítica à teoria newtoniana fundamenta-se na visão mecanicista de Newton para o fenômeno da luz, na qual, segundo ele, os "fenômenos inoportunos" à mesma eram "ligados e constrangidos artificialmente". A discordância fundamental entre as teorias se dava no ponto em que Goethe não acreditava que a luz poderia ser composta por cores mais escuras que ela própria, como afirmava Newton.

A teoria goetheana fundamenta-se no conceito de que a luz deve estar intimamente relacionada à visão. Apesar de sua forte crítica à teoria mecanicista, o próprio Goethe parece estar sob sua influência ao afirmar que luz e cores emergem quando os olhos sofrem um "*choque mecânico*" (GOETHE, 1993, p. 45) mediante a exposição à luz externa. Sendo assim, de acordo com a sua teoria, não enxergamos o mundo ao nosso redor a partir da atuação da luz sobre os corpos, mas principalmente através de sua ação sobre o olho humano (GONÇALVES, 2008).

A formação das cores em sua teoria não leva em consideração a decomposição da luz branca conforme a teoria de Newton, mas a presença de luz e sombra além de sua mistura para a formação das cores primárias:

> *"(...) luz e sombra, claro e escuro ou, para utilizar uma fórmula mais geral, luz e não-luz são requeridos para a produção da cor. Na luz surge para nós, em primeiro lugar, uma cor que chamamos amarelo, e outra, na escuridão, que designamos azul. Quando essas duas se misturam no seu estado mais puro, de modo que ambas se mantenham em perfeito equilíbrio, surge uma terceira cor que chamamos de verde."* (GOETHE, 1993, p. 47)

A teoria sobre a mistura de luz e sombra para a formação das cores, proposta por Goethe é muito semelhante às teorias propostas pelos antecessores de Newton que supunham que a luz era transformada ao passar por superfícies transparentes, como um prisma ou uma superfície colorida, sendo causada pela mistura da luz com a escuridão, de modo que pareceria colorida aos olhos.

Para corroborar sua ideia de mistura de luz e sombra, Goethe realizou alguns experimentos para compreender e demonstrar a atuação sobre o olho humano do que chama de *Cores Fisiológicas.* De acordo com sua interpretação estas cores devem ser chamadas de fisiológicas, pois estão relacionadas ao olho humano saudável e podem ser consideradas necessárias à visão (GOETHE, 1993).

Um de seus experimentos consiste em uma pequena placa negra com um orifício de 3 polegadas, capaz de ser aberto e fechado e permitindo que a luz do Sol passe por ele e incida sobre uma superfície branca, projetando-se sobre esta superfície um círculo luminoso. Deste modo, a pessoa deveria olhar para este círculo iluminado e em seguida fechar o orifício e voltar o seu olhar para uma região sem iluminação. Esta sequência deveria realizar um efeito sob o olho do espectador, de modo que este enxergaria inicialmente uma imagem circular a sua frente, inicialmente sem cor, e pouco a pouco este se tornaria amarelo com uma borda púrpura ao seu redor. Esta borda iria, em seguida, se alargando e penetrando no círculo que se tornaria totalmente púrpura. Depois disso, a borda do círculo passaria a apresentar uma coloração azulada, penetrando no círculo até que o mesmo se tornasse totalmente azul. Por fim uma borda escura apareceria, tomando conta de toda extensão do círculo até que o mesmo se tornasse totalmente sem cor (GONÇALVES, 2008).

É possível perceber, que através desse experimento, Goethe interpreta que as diferentes cores observadas, surgiram em decorrência da mistura de luz e sombra colocadas como desencadeadoras do fenômeno.

Goethe explica o processo da visão através da sobreposição de luz e não luz (escuridão) sobre a retina. De acordo com sua concepção, a retina ao encontrar-se submetida à luz ou à escuridão, encontra-se sob dois estados antagônicos.

Para demonstrar tal fenômeno, Goethe realiza um experimento muito simples utilizando-se de substâncias químicas. Tal experimento consiste em pintar cada degrau de uma escada branca com uma solução de azul de sulfato de cobre ou com uma solução amarela de dicromato de potássio. Ao observar do alto tal escada, nota-se que cada degrau inferior parece apresentar um tom mais forte de azul ou amarelo. Com este experimento Goethe buscou demonstrar que as cores não podem surgir a partir da decomposição da luz, mas da mistura que surge diante do claro e escuro (GONÇALVES, 2008).



Figura V.1: Escada pintada com amarelo aparentando tonalidades diferenciadas
(Disponível em <http://www.seilnacht.com/Lexikon/goethe2.htm>, acesso em julho de 2014)

Quando nos encontramos de olhos abertos em um local sem qualquer iluminação, a retina encontra-se em seu estado natural, longe de qualquer forma de excitação sob a luz. Ao

contrário, quando estamos em um lugar totalmente iluminado, nossos olhos são ofuscados pela luz e se tornam por certo tempo, incapazes de distinguir objetos iluminados (GOETHE, 1993).

Deste modo, o poeta interpreta que a mistura desses dois estados sobre a retina, seria capaz de dar origem a toda diversidade cromática.

> *"Naquilo que denominamos ver, a retina se encontra simultaneamente em estados diferentes e até opostos. A máxima claridade não ofuscante atua ao lado da escuridão total. Percebemos ao mesmo tempo todos os graus intermediários do claro-escuro e todas as determinações cromáticas."* (GOETHE, 1993, p.55).

Goethe atribuiu à saúde e à natureza dos olhos o tempo de permanência da impressão causada ao observar uma luz muito intensa. Neste caso, o tempo dependeria do restabelecimento da retina, ao passar do claro para o escuro. Este tempo também estaria relacionado à energia da fonte luminosa observada, de modo que o Sol é a fonte que deixaria sua impressão na retina por mais tempo. Outros corpos perdurariam por mais ou menos tempo de acordo com a sua luminosidade (GOETHE, 1993).

Em sua teoria, as imagens coloridas também poderiam causar efeito semelhante ao das luzes ofuscantes. No entanto, nesse caso, a imagem resultante após a observação de determinada cor, seria visualizada na cor complementar da primeira, de acordo com o círculo cromático que conhecemos.



Figura V.2: Círculo cromático (Disponível em <www.koratelier.com.br>, acesso em maio de 2014)

Goethe relata que em um passeio no dia 19 de junho do ano de 1799, já ao anoitecer, ao observar um jardim de papoulas orientais na cor vermelha, foi possível enxergar próximo às flores algo como uma chama na cor verde-azulada.

O poeta explica este fenômeno como sendo de cunho fisiológico. De acordo com sua análise, o crepúsculo seria o motivo pelo qual o olho estaria totalmente relaxado e sensível. Deste modo, a cor vermelha intensa da papoula seria capaz de evocar sua imagem complementar gerada sob o olho humano (GOETHE, 1993).

O autor complementa a narrativa de sua experiência dizendo ser capaz de reproduzi-la e fornecendo o caminho para quem desejar realizá-lo:

> *"Se alguém quiser fazer essa experiência na natureza, será preciso que, andando pelo jardim, se exercite a olhar firmemente para as flores coloridas e, logo em seguida, para o caminho de areia, e assim verá a este salpicado de manchas da cor complementar. Essa experiência também pode ser bem sucedida sob um céu nublado e até mesmo num dia ensolarado, pois os raios de sol, ao intensificar a cor das flores, as tornam capazes de produzir a cor complementar numa intensidade suficiente para ser notada sob a luz ofuscante. As peônias produzem assim, um belo verde, as calêndulas, um vivo espectro azul."* (GOETHE, 1993, p. 89)

A *"Teoria das Cores"* ressalta que os efeitos das cores complementares também podem ocorrer simultaneamente sobre a retina. Sendo assim, se uma imagem colorida se imprime em uma parte da retina, imediatamente a parte restante produz a cor correspondente de acordo com sua cor complementar. Para a visualização de tal fenômeno, Goethe propõe novamente um experimento. De acordo com o poeta, ao observarmos um pedaço de papel amarelo sobre uma superfície branca, a parte restante da retina não solicitada pela cor amarela é capaz de produzir imediatamente o violeta, sua cor complementar, sobre a superfície branca. Do mesmo modo, se alguns pedaços de papel branco forem dispostos sobre uma superfície amarela, seríamos capazes de observá-los como se estivessem revestidos por um tom violeta (GOETHE, 1993).

Todos estes fenômenos cromáticos descritos por Goethe são explicados em sua teoria como uma propriedade intrínseca do olho humano, de modo que este órgão é capaz de evocar determinadas cores a partir do momento em que é estimulado. Tal comportamento se justificaria através da busca por uma harmonia na totalidade das cores.

> *"Esses fenômenos são da mais alta importância, na medida em que nos indicam que as leis da visão constituem uma preparação necessária para se considerarem futuramente as cores. Neles o olho almeja uma totalidade contendo em si mesmo o círculo cromático. Azul e vermelho encontram-se no violeta, complementar ao amarelo. No laranja, correspondente ao azul, encontram-se o amarelo e o vermelho (...)."* (GOETHE, 1993, p. 69)

A sensação que as cores podem causar, fazendo com que determinados objetos pareçam menores ou maiores, também foi um dos pontos contemplados pela *Teoria das Cores* de Goethe. Para demonstrar tal efeito, Goethe usou a ideia de dois círculos do mesmo tamanho, um deles na cor branca sobre um fundo preto e outro preto sobre um fundo branco.

De acordo com sua conclusão, esses círculos quando observados simultaneamente, passam a impressão de que possuem tamanhos diferentes. Temos a impressão, ao observá-los, de que o círculo preto sobre o fundo branco é aproximadamente um quinto menor que o outro, sendo assim, se a imagem preta for aumentada nessa proporção, eles parecerão iguais (GOETHE, 1993).

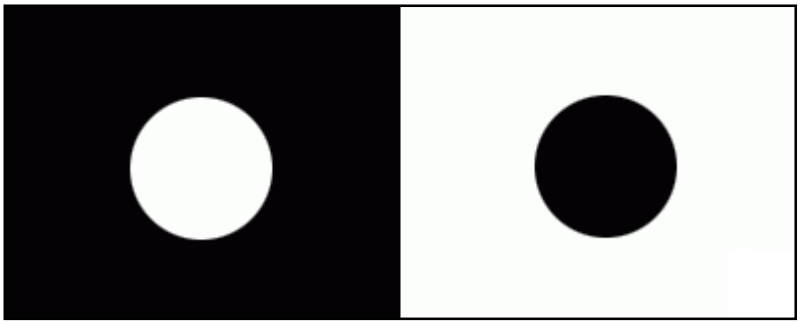


Figura V.3: Círculos com o mesmo tamanho pintados em cores diferentes

Goethe ressalta que esta propriedade das cores teve aplicações na astronomia ao levar o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546 - 1601) à conclusão de que a lua em conjunção com o Sol, a lua nova (mais escura), parece um quinto menor do que em oposição, a lua cheia (mais clara) (GOETHE, 1993).

A teoria goethiana classifica as cores através da forma como elas ocorrem, portanto, como vimos anteriormente, as *cores fisiológicas* são aquelas produzidas na retina, através de propriedades natas do olho humano. Outra categoria descrita em sua teoria, e relevante para este trabalho, é a categoria das *cores físicas.*

As *cores físicas* são definidas por Goethe como sendo aquelas que têm sua origem através dos meios materiais incolores, podendo estes ser transparentes, turvos e translúcidos, ou ainda, completamente opacos. Estas cores, por sua vez, são produzidas no olho humano através de causas externas, ou seja, são produzidas fora do olho e são refletidas nele (GOETHE, 1993).

Este tipo de cor possui a característica de ser difícil de fixar, recebendo também alguns nomes como *colores aparentes, fluxi, fugitivi, phantastic, falsi* ou *variantes.* Estão diretamente relacionadas às cores fisiológicas, pois para as cores fisiológicas o fenômeno ocorre internamente, no olho, já as cores físicas podem ser estimuladas no olho através do meio em que se encontra, de modo que o fenômeno possa ser visto fora de nós (GOETHE, 1993).

Analisando a proposição de Goethe sobre as cores físicas, podemos compreender que para estas, o olho humano não possui atuação própria, apenas é o sujeito responsável pela recepção e interpretação de um fenômeno externo a si mesmo.

Os meios incolores recebem especial atenção na categoria das cores físicas por serem responsáveis por criar diferentes condições para a luz.

Goethe classifica três formas segundo as quais a luz pode ser condicionada pelo meio:

- Fenômenos catóptricos: Ocorrem quando a luz é refletida a partir da superfície de um meio;
- Fenômenos parópticos: Ocorrem quando a luz é refletida na borda de um meio;

- Fenômenos dióptricos: Ocorrem quando a luz atravessa um meio material transparente ou translúcido.

Em sua *"Doutrina das Cores"* Goethe procura discorrer especialmente sobre as cores provenientes dos fenômenos dióptricos.

A influência do meio era de essencial importância na teoria do artista. Goethe classifica esse tipo de cor, dependente do meio, como *cores dióptricas*. As cores *dióptricas* dependeriam de um meio incolor, de tal forma que luz e escuridão atuassem sobre o olho ou sobre superfícies postas diante dele. Este tipo de concepção assemelha-se à ideia proposta por Aristóteles de que a luz estaria associada ao meio material existente entre o observador e o objeto.

As cores dióptricas são classificadas em *Cores dióptricas de Primeira Classe* e *Cores dióptricas de Segunda Classe.*

V.3 Cores Dióptricas de Primeira Classe

O espaço seria uma propriedade inteiramente transparente, que seria o primeiro grau de turvação do meio. O branco seria a turvação completa. Do transparente ao branco opaco, as graduações seriam infinitas. Ao exemplificar os casos onde este tipo de fenômeno ocorre, Goethe cita as cores atmosféricas:

> *"O Sol, visto através de uma certa quantidade de vapores, apresenta um disco amarelo. (...) Na névoa, o Sol, com todas as nuvens que o circundam, parece vermelho rubi (...). O vermelho da aurora e do crepúsculo surge pelo mesmo motivo. Brilhando através de uma intensa massa de vapores, o sol se anuncia através de um vermelho. À medida que desponta, o brilho se torna cada vez mais claro e amarelo. Se a escuridão do espaço infinito é vista através de vapores atmosféricos iluminados pela luz do dia, surge a cor azul. Durante o dia, o céu visto do alto das montanhas, é azul-real, pois apenas vapores esparsos pairam diante do escuro espaço infinito. Ao se descer em direção ao vale, o azul se torna mais claro, até que finalmente, em certas regiões e devido a vapores crescentes, ele se converte num azul tirante a branco."* (GOETHE, 1993, p. 89)

V.4 Cores Dióptricas de Segunda Classe

Para caracterizar este tipo de cor, Goethe assume uma postura bastante subjetiva, com a finalidade de centralizar tal fenômeno no ser humano e em sua própria interpretação.

A relação entre o homem e o fenômeno é colocada como ponto central deste tipo de cor. Para que as condições externas fossem fielmente conhecidas pelo indivíduo, seria necessário que o mesmo apresentasse uma perfeita saúde de seus sentidos.

Nesta categoria das cores dióptricas, Goethe inclui também o fenômeno da refração:

> *"Objetos vistos através de meios mais ou menos opacos não aparecem para nós no lugar que deveriam estar pelas leis da perspectiva. Nisso residem os fenômenos dióptricos de segunda classe."* (GOETHE, 1993, p. 92)

Para este fenômeno Goethe apresenta o que ele chama de aspectos objetivos e subjetivos que são demonstrados através de dois experimentos.

O experimento de cunho objetivo relata um recipiente cúbico vazio cujo um feixe de luz o atinge na diagonal. Em seguida Goethe indica que seja colocada água lentamente no recipiente e o observador poderá perceber que o raio luminoso aparentemente se deslocará em relação à sua trajetória inicial (GOETHE, 1993).

A experiência subjetiva descrita pelo poeta será responsável por demonstrar a sensação causada no olho humano pelo fenômeno físico da refração. Para isto o observador deverá colocar o olho na posição do Sol, sendo capaz de ver sobre a borda do recipiente e na diagonal, a parede interna, sem, no entanto, ver o fundo do recipiente. Ao verter água sobre o recipiente, o observador será capaz de ver o fundo do mesmo. Este fenômeno é nomeado por Goethe como elevação (GOETHE, 1993).

Analisando estes experimentos e a forma como o poeta os interpreta, percebemos um importante ponto de sua teoria que é a consideração das impressões subjetivas no que se refere aos fenômenos físicos, colocando o homem como agente participante dos mesmos.

A representação da luz ao passar pelos vapores atmosféricos foi uma temática recorrente no movimento artístico denominado Romantismo, do início do século XIX. Além da utilização subjetiva da luz, o romantismo tem como característica interessante, a forma com que os artistas passam a retratar a percepção que o espectador tem ao observar a luz em diferentes meios.

Devido à tentativa de reproduzir a natureza, as obras do período romântico frequentemente retratavam os fenômenos ópticos que levavam em consideração a atmosfera, como a luz do sol vista entre nuvens, ao entardecer ou ao amanhecer.



Figura V.4: Frederic Church, Twilight in the Wilderness, 1860 - Cleveland Museum of Art, Ohio



Figura V.5: Emanuel Leutze, Washington Cruzando o Delaware, 1851 - Metropolitan Museum of Art, New York City

Esta nova maneira de retratar a luz, como nas telas reproduzidas nas figuras 11 e 12, mostra que os artistas passaram a se preocupar com a forma com que a luz é vista ao passar pela atmosfera, ainda que não compreendessem os reais motivos pelo qual ela é alterada.

Dentre os fenômenos ópticos envolvendo a atmosfera, o arco-íris foi muito retratado pelos artistas do período romântico, como pode ser observado nas telas representadas nas figuras 13 e 14.



Figura V.6: John Everett Millais, A menina cega, 1856 - Birmingham Museum and Art Gallery, Birmingham



Figura V.7: John Constable, A catedral de Salisbury, 1831 - National Museum Wales, Cardiff

John Constable (1776 - 1837) foi um dos precursores da tentativa de reproduzir os efeitos da luz ao passar pela atmosfera, buscando estudos sobre o tema. No entanto, sua concentração sobre o estudo das nuvens pode demonstrar que o mesmo estaria imerso em uma concepção para as cores atmosféricas semelhante a de Goethe, visto que para este as cores percebidas pelo observador seriam fruto da alteração luz, que ao entrar em contato com o ar atmosférico (corpo turvo) seria modificada.

De acordo com a concepção científica atual, Goethe agiu acertadamente ao atribuir as cores do céu ao ar atmosférico, no entanto, equivocou-se ao interpretá-lo como um corpo turvo com certo nível de obscuridade, ou seja, sombras, que poderiam se misturar com a luz alterando a maneira como a vemos. Atualmente sabe-se que as cores visualizadas no céu são decorrência da decomposição da luz branca proveniente do sol. Esta conclusão não seria possível a Goethe, pois o mesmo não acreditava nesta propriedade.

Por último Goethe designa mais uma forma de cor, a das Cores Químicas. Sobre este tipo de cor podemos interpretá-las como as cores inerentes aos objetos, sendo definidas na Teoria das Cores como:

> *"(...) as cores estimuladas em certos corpos, mais ou menos fixas, que neles se intensificam, deles podem ser extraídas e transmitidas a outros corpos, às quais, por esta razão, atribuímos uma certa qualidade imanente. Em geral, caracterizam-se pela durabilidade."* (GOETHE, 1993, p.101)

Para o surgimento das cores químicas, Goethe recorre novamente à relação entre o branco e o negro, de modo que as demais cores surgiriam a partir destas. O branco, como dito anteriormente, seria a turvação pura e completa, já o preto não surgiria de maneira tão primordial, este seria encontrado na natureza através da combustão de materiais orgânicos e do carvão. As cores seriam, portanto, estimuladas no preto e no branco. Por exemplo, o amarelo surgiria através do escurecimento do branco e o preto, ao clarear-se, se tornaria azul.

As cores também poderiam ser intensificadas desde o mais leve amarelo ao mais intenso tom de vermelho (GOETHE, 1993).

A luz, ou a ausência dela, também poderia ser responsável pela intensificação da cor. Isto poderia ocorrer, por exemplo, ao depositar um líquido amarelo puro em um recipiente de porcelana branco, é possível observar que quanto mais próximo do fundo, o líquido parecerá mais avermelhado, em contrapartida, quando colocamos um recipiente contendo um líquido azul escuro exposto à luz do Sol, o mesmo é capaz de apresentar uma coloração violeta. É possível perceber que os fenômenos de absorção e reflexão da luz são interpretados, neste caso, como uma mistura entre a luz ou a escuridão e o material. Sendo assim, as cores possuem certa mobilidade e podem se alterar a partir de sua interação com os fatores externos.

Uma interessante observação acerca da relação entre a luz e as cores químicas na teoria de Goethe é a analogia que o poeta realiza entre a luz, o ar e a água no que diz respeito à interação destes com uma superfície colorida. De acordo com a sua interpretação, a ação da luz sobre os materiais coloridos seria similar àquela que ocorre com o ar e a água, sendo assim, a luz atuaria sobre a superfície material, desgastando-a e consequentemente, deixando-a mais clara aos nossos olhos.

É possível perceber que Goethe não faz menção à possibilidade da luz branca ser composta por outros feixes, pois esse tipo de mistura, em sua concepção, não seria capaz de constituir a luz branca.

Mesmo não concordando com o fato de que as cores seriam decorrentes da decomposição da luz, Goethe realiza experimentos utilizando prismas e corrobora com a existência das três cores-luz primarias:

> *"Nos dois extremos opostos (do prisma) aparece em ângulo agudo um fenômeno contrário que, conforme avança pelo espaço, vai aumentando em virtude do referido ângulo. Assim, na direção em que se desloca a imagem luminosa, projeta-se até a obscuridade um limbo violeta, enquanto sobre o contorno se mantém uma borda azul mais estreita. Do outro lado se projeta até a claridade um limbo amarelo, e uma borda vermelho amarelada mantém-se sobre o contorno."* (GOETHE, citado em PEDROSA, 2009, p. 67).

No entanto, os experimentos realizados com o prisma pelo próprio Goethe não serviram para convencer-lhe de que a luz poderia ser decomposta em cores mais escuras do que a própria luz, pois este fato não se enquadrava em sua concepção prévia ao experimento. Em defesa de sua teoria da mistura de luz e sombra, o poeta acrescenta que *"No entanto, há de ter-se presente o movimento do escuro até o claro, e do claro até o escuro"* (GOETHE, citado em PEDROSA, 2009, p. 67).

Para compreender os esforços de Goethe ao explicar o fenômeno prismático utilizando a ideia da mistura de luz e não-luz, é necessário entender que a luz era compreendida por

Goethe como um *"fenômeno primordial"*, neste sentido, supunha que não deveria atribuir-lhe nada por trás nem além dele, sendo assim, a luz como a vemos não deveria ser decomposta em partes, este tratamento resultaria em "*erros notáveis"*. Ao compreender desta forma, Goethe atribui ao fenômeno da luz um caráter essencialmente filosófico:

> *"Que o investigador da natureza deixe o fenômeno primordial em sua eterna quietude e magnificência que o filósofo possa acolhê-lo em seu próprio âmbito, e descobrirão que não se trata de casos particulares, rubricas gerais, opiniões e hipóteses, mas de um nobre material, um fenômeno primordial básico, legado para trabalhos e estudos futuros."* (GOETHE, 1993, p. 91)

Na teoria goetheana, no entanto, não há negação do fenômeno físico, porém o fenômeno como compreendido pela ciência nada tem a ver com a sensação que o mesmo causa, e esta sensação por sua vez não é contemplada nas teorias cientificas. É neste ponto que o poeta constitui sua teoria.

A luz na teoria de Goethe seria, portanto, "*uma sensação comum a todas as cores"* (STEINER, 1984, p. 169). Somente compreendendo sua própria definição do fenômeno é que podemos compreender sua teoria. Diante da concepção sensorial de luz, nem mesmo a mudança do paradigma corpuscular, atribuído aos mecanicistas, para o ondulatório, foi capaz de fazer com que Goethe sentisse a necessidade de alterar sua teoria, pois esta também poderia ser conciliada com suas concepções a respeito da essência da cor (STEINER, 1984). A teoria goethiana foi considerada uma das primeiras manifestações contrárias ao pensamento mecanicista no início do século XIX (GOETHE, 1993).

É possível compreender, portanto, que as teorias de Goethe e Newton possuem uma relação, não necessariamente antagônica, mas de certo modo complementar, tendo em vista que a teoria goethiana contempla aspectos que não são compreendidos pela teoria de Newton, como a interpretação das cores a partir das sensações causadas. Devemos levar em consideração que estas teorias partem de visões de mundo completamente distintas, baseadas em suas próprias filosofias e derivadas da necessidade pessoal de ambos.

Capítulo VI – Um breve panorama da França do século XIX

O recorte teórico desta pesquisa leva em consideração o movimento Impressionista, cujas raízes se fundaram na França durante a segunda metade do século XIX; algumas teorias para a natureza da luz, construídas ao longo do século XIX e a obra do poeta alemão Wolfgang von Goethe, também do mesmo período. Deste modo, as considerações aqui apresentadas limitar-se-ão à Europa durante o período em questão e em especial, à França.

O século XIX foi um século de grandes mudanças para a sociedade europeia como um todo. O furor científico iniciado ainda no século XVIII, o Século das Luzes, com sua busca pelo conhecimento e pela razão, vigorava nos ideais difundidos entre a sociedade europeia do século XIX. Desta vez, a ciência viria acompanhada do desenvolvimento tecnológico e industrial. Neste momento, a tendência de compreender a Ciência como um caminho para o progresso, passa a figurar fortemente na necessidade de modernização da sociedade europeia do século XIX, que tinha como objetivo acompanhar as mudanças ocorridas no processo da Revolução Industrial, como ressalta Émile Zola (1989)[2]:

> *"(...) O vento sopra a favor das ciências; somos levados, mesmo contra a vontade ao estudo exato dos fatos e das coisas. Assim, todas as fortes individualidades que se revelam, afirmam-se no sentido da verdade. O movimento da época é com certeza realista, ou antes, positivista. Dessa maneira sou forçado a admirar homens que parecem ter algum parentesco entre si, o parentesco da hora em que vivem."* (ZOLA, 1989, p. 45)

Neste período, a vida urbana crescia vigorosamente, de tal modo que o processo de urbanização europeu ampliou-se rapidamente a partir da segunda metade do século, atraindo novos moradores para as grandes cidades, como Londres e Paris, passando assim, a abrigar uma enorme quantidade de moradores para a época (HOBSBAWM, 2006).

A superlotação, portanto acarretou diversos problemas relacionados à saúde da população. Em Paris, por volta de 1850, a cidade abrigava, na região central, uma grande quantidade de casebres de madeiras e tijolos. Suas ruas, até então, estreitas, escuras, fétidas e sem saneamento eram um grande foco de doenças e epidemias capazes de afetar toda a população, do mesmo modo que eram consideradas possíveis palcos de revoltas e distúrbios capazes de perturbar a tranquilidade das autoridades locais. Este setor da sociedade só viria a conhecer melhorias significativas ao final do século XIX (MARTHIEU, 2012).

Em uma tentativa de sanear e modernizar Paris, livrando-se consequentemente dos males que rondavam a cidade, Napoleão III (1808 – 1873) revitalizou ruas e avenidas, ampliando-as de acordo com o modelo visto em Londres durante seu exílio. Algumas construções, como a grande galeria do Louvre, tiveram que ser demolidas, como mostra a figura 15 e outras remodeladas, como nas figuras 16, 17 e 18. Nascia, portanto, uma nova

[2] Émile Zola (1840-1902) foi um escritor francês, considerado criador, representante mais expressivo da escola literária naturalista além de uma importante figura libertária da França e autor de periódicos que acompanhavam o contexto artístico da época.

Paris, mais bonita, mais moderna e repleta de amplas avenidas livres de doenças, pronta para abrigar o crescente processo de industrialização e modernização pelo qual passava toda Europa (MARTHIEU, 2012).

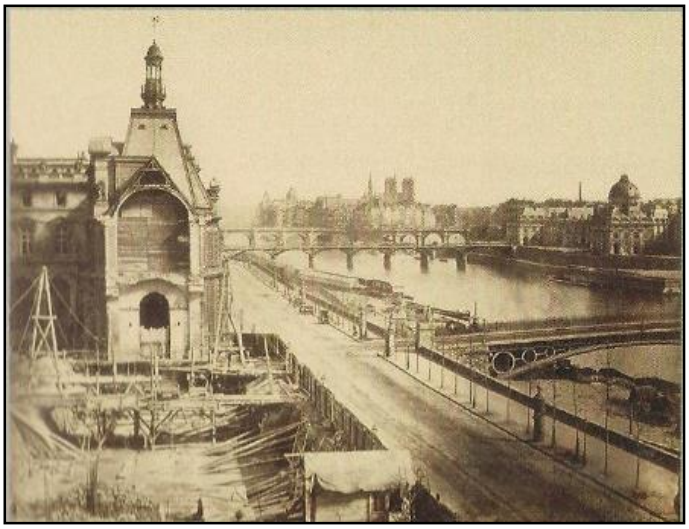


Figura VI.1: Demolição da grande galeria do Louvre, Paris – 1865, Musée d'Orsay, Paris

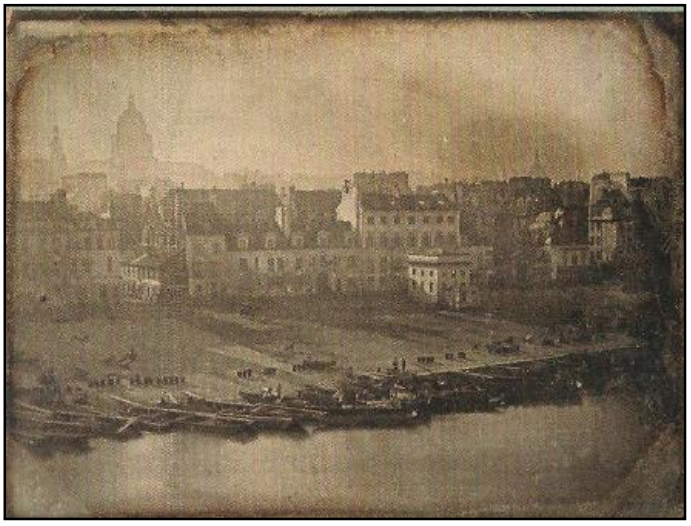


Figura VI.2: Cais de Tournelle – Paris (1843-1845) Musée d'Orsay, Paris

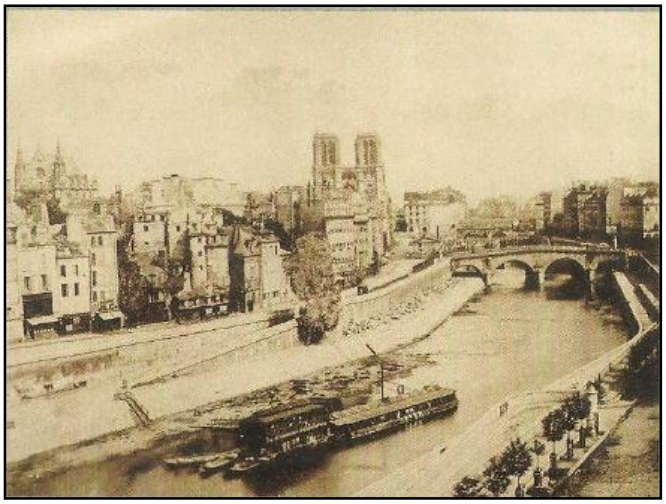


Figura V.3: Cais do Sena, em direção a Notre-Dame – Paris (1852) – Musée d'Orsay, Paris



Figura VI.4 - A praça do Châtelet após as reformas de Haussmann – Paris (1905) – Arquivos fotográficos.

Paralelamente a este crescimento urbano, a industrialização da sociedade europeia tornou-se significativa durante este período, destacando-se as companhias de estradas de ferro, responsáveis pela instalação de milhares de quilômetros de trilhos que interligavam importantes cidades, além de transportar bens de consumo. O período conhecido como "Segunda Revolução Industrial" dava à sociedade europeia como um todo, ares de modernidade. Grandes desenvolvimentos nas mais diversas áreas industriais forneciam à Europa bens de consumo e novas tecnologias, como o motor de combustão, que futuramente levaria à produção de automóveis em larga escala (HOBSBAWM, 2010).

Ao longo do século XIX a economia europeia deixou de ser essencialmente agrícola e passou a centralizar-se também nas indústrias. Nas nações desenvolvidas industrialmente, este desenvolvimento passou a estar ligado ao desenvolvimento científico. Estas nações,

especialmente a Inglaterra e a França, passaram a estar à frente também no que diz respeito ao desenvolvimento científico (BRAGA; GUERRA; REIS, 2005).

Levando em consideração a delimitação Marxista da sociedade europeia, era possível considerar que esta dividia-se essencialmente em duas classes: Aqueles que detinham os processos relativos à produção, considerados por Marx como a burguesia, e os excluídos que estavam à margem da sociedade, o proletariado (MURGUIA, 1999).

Diante de um cenário favorável em toda Europa, e especialmente em Paris que passava por mudanças como as observadas nas imagens 19, 20 e 21, o crescimento da burguesia se torna um dos fenômenos de destaque deste período. Hobsbawm (2006) destaca que a busca por uma imagem que passasse uma impressão adequada sobre as posses e os costumes, era o grande objetivo da recém instaurada burguesia europeia. De fato, a busca por riqueza e status passava por objetos de decoração refinados, bens adquiridos e objetos que demonstrassem o bom gosto e a personalidade burguesa.

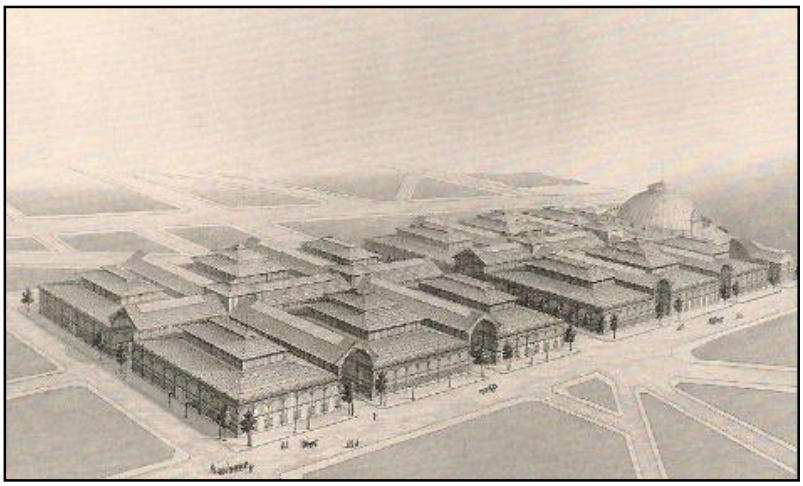


Figura VI.5: Victor Baltart, Vista Geral do Les Halles central de Paris - Monuments élevés par la ville , Félix Narjoux, 1850 – 1880



Figura VI.6: Victor Baltart, Pavilhão de Leilão - Monuments élevés par la ville, Félix Narjoux, 1850 – 1880



Figura VI.7: Vista geral da Nova Ópera, L’univers illustré, Paris, 1875

O crescimento de uma burguesia abastada e sedenta por novos e opulentos bens, que fossem capazes de refletir o momento que vivia a sociedade europeia, bem como a grande evolução urbana do período, teve consequências tanto na vida dos artistas, quanto na demanda da nova classe de colecionadores.

Apesar do domínio de posses financeiras, a nova burguesia ainda não poderia ser considerada um modelo de bom gosto artístico. Sendo assim, Murguia (1999) destaca a fala de Flaubert (1821-1880), um escritor francês, ao classificar a burguesia como “ignorante” e “rude”, que não possuía a capacidade de apreciar a verdadeira arte.

Diante da realidade europeia vigente naquele momento, em que o capitalismo fluía livremente e enraizava-se cada dia mais na sociedade, a produção artística também era vista como mercadoria. O ofício artístico, por sua vez, era considerado um negócio, cujo artista

deveria ser capaz de administrá-lo competentemente, com o objetivo de não cair em falência (MURGUIA, 1999).

A falta de critério desta burguesia desprovida de um arcabouço cultural que lhe conferisse a capacidade de julgar adequadamente a arte foi amplamente criticada por Zola (1989), de modo que este autor pauta um de seus artigos, publicado no ano de 1868, em uma dura crítica aos burgueses. Este artigo gira em torno de um livro da época, escrito por Etienne Baudry e ilustrado pelo pintor francês Gustave Courbet (1819- 1877). O livro em questão agride duramente a burguesia, que é classificada por Zola como “vagabunda” e “ociosa”, que vivia às custas do trabalho do proletariado.

Zola (1989) relaciona o estilo de arte, previsível e entediante, apresentado até então, ao (mau) gosto burguês. Em sua crítica Zola reproduz o discurso de Courbet ao definir o talento de um artista que seria apreciado pelo público e pela crítica artística da época. De acordo com Courbet, quem quisesse pintar segundo a academia, deveria seguir um padrão branco e rosado, para o agrado daqueles que gostam de geléias. Sobre isto Courbet é taxativo:

> *“Vocês gostariam de fazer uma Vênus como a do Sr. X..., não é? Pois bem, pintem com mel uma boneca sobre suas telas, depois coloquem farinha em uma esponja e, levemente, borrifem sobre a boneca.”* (ZOLA, 1989, p. 134).

O que Courbet buscava ressaltar em seu discurso sobre o momento artístico em que viviam, era o ideal de perfeição, ainda muito situado no ideal grego, propagado nas telas de então. Sua arte, portanto, procurava contrapor a tendência da época, como mostra a imagem abaixo.

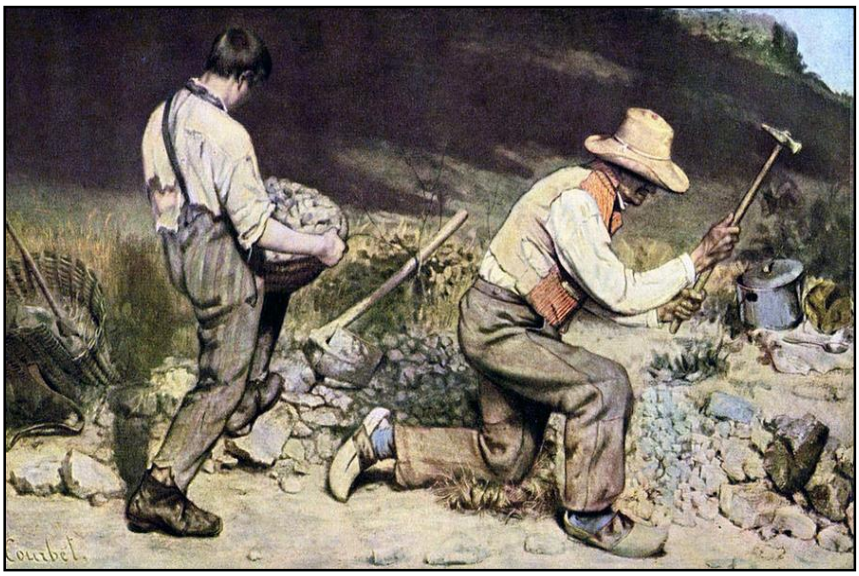


Figura VI.8: Gustave Courbet, Os quebradores de pedras, 1849 – Destruído durante a II Guerra Mundial

Em uma sociedade onde as diversidades e as transformações emergem rapidamente ao mesmo tempo em que se tornam mais complexas, cada membro da classe burguesa traça

uma batalha para se destacar e ser reconhecido. A arte se apresentava como uma forma de perpetuar a imagem e o status de seus membros através da representação individualizada.



Figura VI.9: James Tissot, Retrato de Mademoiselle, 1865 –Musée d'Orsay, Paris

Zola (1989) destaca que a arte neste momento estava sob uma aura de apatia e baseado nisto, Courbet sugere que se fechem todos os museus de Paris, pois ninguém mais os frequenta. Para que houvesse, de fato, uma revolução artística, Zola (1989) sugere aos que ele chama de "artistas do futuro", que os mesmos retratem em suas obras o cotidiano parisiense, em vez de reproduzir o ideal de deuses gregos e figuras bíblicas.

Os novos ares parisienses e as transformações pelas quais a sociedade da segunda metade do século passava, repercutiram na vida de artistas que se deslocaram para Paris em busca de inspiração e novas oportunidades de exercer seu ofício.

Estes artistas que iam até Paris com o intuito de aperfeiçoar sua pintura, geralmente complementavam sua formação nos ateliês de pintores já instalados. Pierre- Auguste Renoir (1841- 1919), por exemplo, frequentou o ateliê de Charles Gleyre (1806- 1874) por mais de dois anos e lá conheceu Frédéric Bazille, Claude Monet e Alfred Sisley (LOBSTEIN, 2012). Bazille também procurava receber os artistas em seu ateliê com o objetivo de compartilhar novos conhecimentos e técnicas, como ressalta a figura abaixo. De fato, a vida movimentada nos ateliês parisienses deu um novo frescor à arte do momento. O intercâmbio entre os artistas serviu para renovar técnicas e visões de mundo, que serviriam para fundamentar o novo movimento que estaria por vir.



Figura VI.10: Frédéric Bazille, L'Atelier de Bazille, 1870 –Musée d'Orsay, Paris

A interação entre os artistas foi, de fato, um dos diferenciais neste movimento. A troca de ideias, concepções artísticas e visões de mundo, serviu para que uma nova metodologia artística fosse criada a partir das concepções de cada um deles. No entanto, esta nova concepção era capaz de abrigar suas especificidades individuais.

O momento artístico esteve fortemente relacionado ao momento político, social e científico que a sociedade francesa vivia. As reformas estruturais na cidade de Paris proporcionaram maior fluidez no deslocamento dos seus habitantes, ao mesmo tempo em que atraiam visitantes, que traziam em sua bagagem novas ideias e experiências de vida.

A partir das reestruturações realizadas na cidade, a vida social de Paris tornou-se uma forte característica local. Os pintores e artistas em geral, imersos neste contexto, estavam muito mais próximos neste momento. Exercendo um importante papel na socialização destes artistas e, consequentemente, do conhecimento construído por cada um deles, surgem os cafés parisienses, uma ótima oportunidade para dialogar e construir novas concepções. Com o objetivo de atrair a clientela, os cafés da cidade colocavam à disposição de seus frequentadores jornais de grande circulação na época, em torno dos quais nasciam grandes debates e muitas vezes inspiração (LOBSTEIN, 2012).

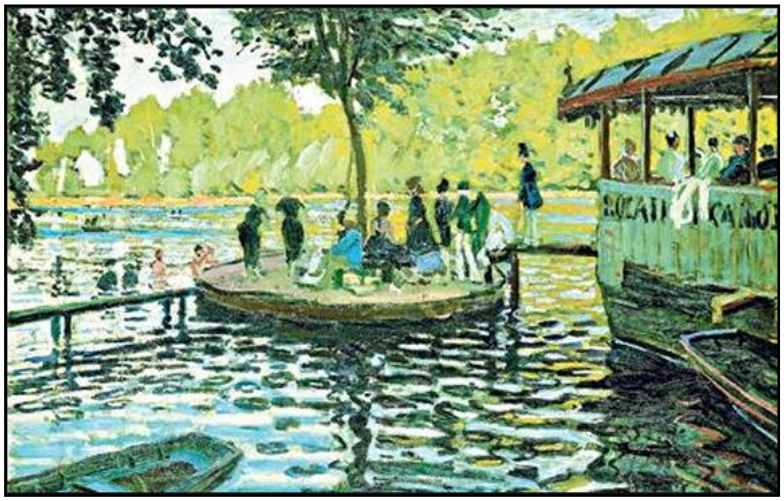


Figura VI.11: A Grenouillère - Claude Monet, 1869 - Metropolitan Museum of Art, New York

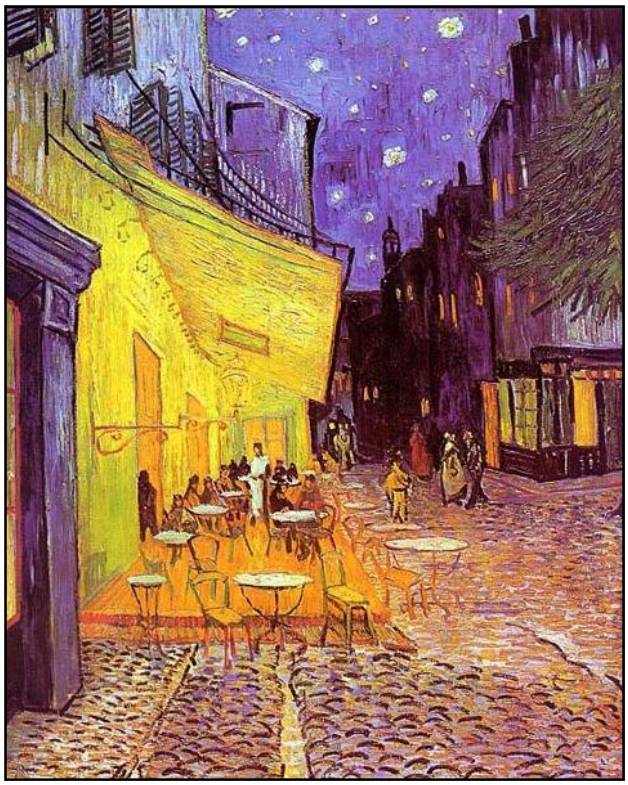


Figura VI.12: Terraço do Café à Noite - Vincent van Gogh, 1888 - Kröller-Müller Museum, Otterlo, Holanda

O cenário artístico presente na Europa do século XIX era de ruptura e insegurança para os artistas da época. Neste período perdeu-se a estabilidade que os artistas de períodos anteriores possuíam ao pintar para a realeza ou para mecenas que financiavam a arte. Para estes artistas sempre haveria retratos a pintar e pessoas para encomendar seus quadros, expondo-os em suas casas. O artista podia trabalhar de acordo com normas mais ou menos estabelecidas de antemão, fornecendo os artigos que o freguês esperava (GOMBRICH, 1999).

Neste sentido, Gombrich (1999) afirma que surgira um distanciamento durante o século XIX entre aqueles artistas cujo temperamento ou convicções lhes permitiam obedecer às convenções e satisfazer a demanda do público e aqueles que se orgulhavam de seu isolamento autodeterminado. Tal situação fora agravada pela Revolução Industrial e o declínio do artesanato, a ascensão de uma nova classe média que frequentemente carecia de tradição, e a produção de bens vulgares e pretensiosos mascarados de "Arte", tinham acarretado a deterioração do gosto do público. Sobre este fato Zola (1989) comenta:

> *"De um lado temos os sucessos da moda, sucesso de salões e facções; temos artistas que criam uma pequena especialidade, que exploram um dos gostos passageiros do público (...). De outro lado, ao contrário, temos um homem que enfrenta diretamente a natureza, tendo colocado em questão a arte na sua totalidade, buscando criar a partir de si próprio, sem nada esconder de sua personalidade."* (ZOLA, 1989, p. 39).

Gombrich (1999) ressalta a uniformidade do estilo artístico que precede o Impressionismo. No entanto, este autor ressalta que com o decorrer do tempo o espaço dedicado ao artista individual aumentou e com isto, as formas disponíveis de demonstrar sua personalidade também cresceram.

De fato o momento artístico que precede a revolução proposta pelo Impressionismo era repleto de uma uniformidade de técnicas apreendidas ao longo do tempo nas academias de arte. Zola (1989), em um de seus artigos, critica tais artistas conformistas que tornavam sua arte previsível e calculista. Em contrapartida, o escritor ressalta sua admiração aos artistas capazes de demonstrar sua individualidade através de suas obras.

Eduard Manet (1832 – 1883), um dos artistas precursores do movimento Impressionista teve suas obras recusadas nos salões de arte franceses devido ao seu estilo que se diferenciava dos artistas prestigiados do momento.

Em um relato de 1866, Zola (1989) destaca o forte isolamento imposto a Manet pela crítica da época, ao classificar sua condição como "pária" devido ao seu comportamento "impopular" e "grotesco".

O estilo artístico de Manet se destacava dos demais no sentido que sua preferência era por retratar suas figuras com vivacidade, representando a natureza com suas formas reais. Sua técnica se constituía através da justaposição de tons, destacando vigorosamente os objetos uns dos outros, resultando em uma pintura sólida e forte, capaz de captar o mundo ao seu redor de forma única (ZOLA, 1989).

Como exemplo à forte rejeição sofrida por Manet neste período, Zola (1989) cita a objeção dos críticos da época a duas telas reconhecidas atualmente. De acordo com Zola (1989) a obra *Almoço na Relva,* exposta no Salão dos Recusados, era uma obra prima que fornecia um horizonte repleto de luz e ar, incapaz de ser reproduzido por outros artistas. Da mesma forma, a obra *Olympia*, também recusada, apresentava para os críticos o que Zola

(1989) chamava ironicamente de um "*grave defeito", pois* a mulher retratada era considerada extremamente real, assemelhando-se às mulheres comuns da época, não ostentando uma face rosada e apresentável ao público.



Figura VI.13: Eduard Manet, Almoço na Relva, 1863 –Musée d'Orsay, Paris

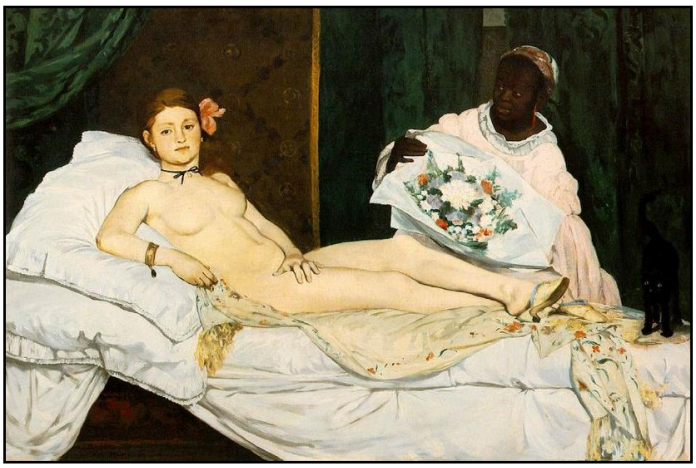


Figura VI.14: Eduard Manet, Olympia, 1863 –Musée d'Orsay, Paris

A sorte de Manet começa a mudar algum tempo depois e sua arte começa a ser lentamente reconhecida, o que Zola (1989) considera como uma habituação por parte do público ao estilo de Manet:

> *"No ano passado por ocasião da exposição particular do artista, li em vários jornais elogios a respeito de um grande número de suas obras. A reação necessária, fatal, que eu anunciava em 1866, cumpre-se lentamente: o público se habitua, os críticos acalmam-se e concordam em abrir os olhos. O sucesso chega."* (ZOLA, 1989, p. 103)

Com a evolução da industrialização europeia surge uma nova classe, a burguesia. É justamente em meio a esta nova classe, que surge na França o Movimento Impressionista (MURGUIA, 1999).

Capítulo VII – Da Luz de Newton à Luz do Impressionismo

VII.1 Nascimento do Movimento Impressionista

O Impressionismo nascia na França do século XIX submetido a este cenário de revolução, não apenas no que diz respeito à economia, mas também na ciência. No campo das artes também houve uma mudança de paradigma no conceito de representação da realidade. Movimentos artísticos anteriores davam conta desta representação como uma retratação fiel. O Movimento Impressionista buscou exatamente a renovação deste conceito.

Ao longo do século XIX a temática da luz foi muito estudada pelos cientistas da época. Aspectos relevantes relacionados à sua natureza e suas formas de interação com a matéria foram descritos pela teoria clássica, assim como os artistas da época puderam expressar sua interpretação para estes fenômenos através de seus pigmentos.

A revolução artística iniciada por Eduard Manet e seus companheiros de pintura concluiu que toda a pretensão da arte tradicional de ter criado o modo de representar a natureza, tal como a vemos, se baseava numa concepção errônea. Para este novo estilo que surgira a partir dos ideais inspirados por Manet, os pintores de então faziam seus modelos posar em seus estúdios onde a luz cai através da janela, utilizando a lenta transição da luz para a sombra para dar a impressão de volume e solidez (GOMBRICH, 1999).

A interação entre os efeitos causados pela luz e sombra, era a base dos estudos nas academias de arte francesas. Inicialmente seus estudos eram feitos através da observação de estátuas de gesso, sombreando cuidadosamente sua representação, com o objetivo de obter diferentes densidades. O público, até então, havia se habituado a apreciar esta forma de representação incapaz de contemplar as graduações de luz que são observadas ao ar livre. Sendo assim, os objetos retirados das condições artificiais do estúdio do artista não parecem tão redondos nem tão modelados quanto os moldes em gesso de uma escultura antiga. As partes que estão iluminadas parecem muito mais brilhantes do que no estúdio, e até as sombras não são uniformemente cinzentas ou negras, porque os reflexos de luz dos objetos circundantes afetam a cor dessas partes não-iluminadas. De acordo com Gombrich (1999) ao confiarmos em nossos olhos, e não em nossas ideias preconcebidas sobre como as coisas devem parecer, baseadas nas regras acadêmicas, faremos as mais excitantes descobertas.

Antes do Movimento Impressionista era como se a realidade fosse vista pelo espectador através do seu reflexo em um lago, de modo que para os impressionistas era como se uma pedra fosse atirada neste lago e a realidade representada através do reflexo criado nas pequenas ondas geradas pela pedra.

A mudança na representação da realidade para os Impressionistas assemelha-se à mudança da concepção corpuscular para a ondulatória na ciência. A luz, assim como a realidade, de repente sofre uma alteração na forma como é interpretada.

A intenção do Movimento Impressionista era representar a natureza levando em consideração cada tipo de luminosidade do dia, além de ressaltar as mutações cromáticas que esta luminosidade poderia causar (MURGUIA, 1999).

Para os impressionistas, esta nova representação era, de fato, mais realista do que as anteriores. Para estes, uma representação deveria ser tão real, de modo que até a atmosfera fosse representada. Este efeito seria obtido somente se as cores fossem decompostas para que o espectador voltasse a compô-las ao observar a obra (BALZI, 1992). Os impressionistas concentraram suas pesquisas em um modo de representar o instante através da luz utilizando a composição e decomposição das cores.

Diferenciando-se das tendências anteriores, o Impressionismo passa a ignorar a luz branca (resultado da mistura de cor-luz) e dá lugar às cores que, ao serem somadas, dariam origem a este feixe (FRANCASTEL, 1988, citado em MURGUIA, 1999).

A relação dos pintores com as cores não poderia ser mais estreita, estabelecendo até mesmo uma relação de posse. Ao imaginarmos um pintor, imediatamente nos remetemos às paletas de cores utilizadas, assim como relacionamos um músico aos seus instrumentos. Os artistas do século XIX expressaram suas opiniões sobre as pesquisas científicas da época sobre este tema, que até então lhes parecia de domínio exclusivo deles. Alguns deles criticavam o fato de que no lugar das descobertas científicas, os grandes mestres da pintura seriam aqueles com maior propriedade para instruir novos artistas acerca dos mistérios da cor. Em seu livro *A ciência da pintura* de 1891, o pintor francês Jean- Georges Vibert (1840- 1902) criticou severamente os cientistas que diziam ter descoberto a verdade acerca da cor (BALL, 2003).

Alguns pintores impressionistas e pós-impressionistas como George Seurat (1859-1891) e Paul Signac (1863- 1935) almejavam e defendiam um uso estritamente científico da cor na pintura, no entanto, o próprio Signac admitiu que o resultado para este tipo de uso poderia ser cinzento e descolorido (BALL, 2003).

As descobertas de Newton acerca da decomposição da luz branca ainda não estavam muito bem esclarecidas no que diz respeito à disparidade entre a mistura de cores na forma de luz e na forma de pigmentos. Como Goethe ressaltou em sua *Teoria das Cores,* não parecia sensato afirmar que feixes de luzes coloridas, aos se juntarem, fossem capazes de produzir luz branca, mais clara que os feixes geradores.

O físico e matemático britânico James Clerk Maxwell (1831-1879) dissipou, ao menos para a comunidade científica, a aparente contraditoriedade entre luz e pigmento.

Maxwell concluiu que a mistura de luz não é igual à de pigmentos. Ao combinarmos raios luminosos de diferentes longitudes, estamos, na verdade, sintetizando cores através da soma de diversos componentes capazes de estimular a retina do olho para criar a sensação de determinada cor. Este tipo de combinação é chamado de mistura **aditiva**, pois atua através do somatório dos comprimentos de onda dos respectivos raios luminosos. Em 1860, Maxwell projetou um instrumento que permitia a síntese dos raios de três longitudes diferentes, referente às cores vermelha verde e azul em diversas proporções (BALL, 2003).

Em contrapartida, Maxwell concluiu que a mistura de pigmentos pode ser considerada **subtrativa**, pois subtrai comprimentos de onda pertencentes à luz branca. Isto significa que os pigmentos, por si só, não são as fontes da luz que provocam a sensação de uma cor, mas sim os meios que atuam sobre uma fonte de iluminação. Por exemplo, um pigmento vermelho subtrai os raios azuis e verdes, assim como grande parte dos amarelos. Sendo assim, uma mistura de vermelho e amarelo refletirá apenas a estreita faixa do espectro luminoso correspondente ao alaranjado (BALL, 2003).

Utilizando-se de teorias científicas de decomposição da luz, os artistas buscaram representá-la. Partindo da ideia de que as cores primárias na forma de pigmento, ao serem misturadas dariam origem às cores primárias de luz, os artistas poderiam representar, de fato, a luminosidade desejada naquele momento.

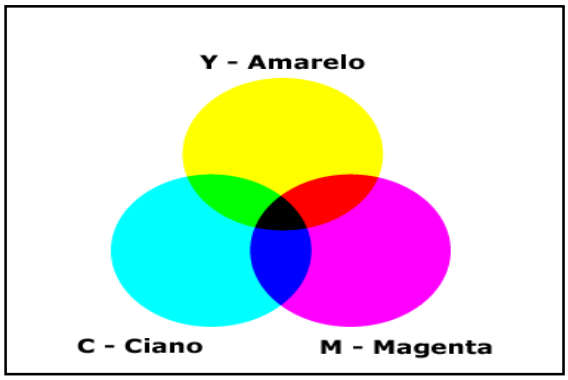


Figura VII.1: Pigmentos- Cores primárias e secundárias (Disponível em: <http://sellerink.com.br/blog/tag/cores-secundarias/>, acesso em maio de 2014)

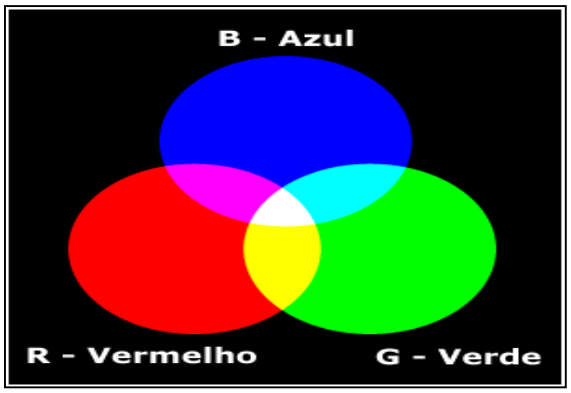


Figura VII.2: Luz - Cores primárias e secundárias (Disponível em: <http://sellerink.com.br/blog/tag/cores-secundarias/>)

Através da “tradução” da luz para o pigmento, o Movimento Impressionista conseguiu dar maior realidade às suas criações, levando em consideração cada nuance de luminosidade que diferenciava-se de acordo com o instante de tempo, embora para o espectador aquela não parecesse uma representação fidedigna do real.

Emile Zola (1989) reproduz as palavras de Duranty, um crítico de arte, ao narrar com muita fidelidade o surgimento do movimento impressionista, bem como a sua relação com a luz e as cores. De acordo com Duranty, os impressionistas trouxeram consigo toda uma série de concepções originais. Com relação às cores, este movimento trouxe uma verdadeira descoberta que não encontra precedentes na arte que o antecede. Duranty afirma que sua grande descoberta consiste no fato de notar que a luz viva é capaz de descolorir os tons, assim como a luz solar tem a tendência de levar todos os objetos à unidade da irradiação das cores observadas no prisma, através de um raio incolor que é a luz, o que fornecia aos impressionistas a característica única de decompor e recompor a luz do dia em uma cena.

Zola (1989) destaca a origem do termo “Impressionismo” que se dá através da forma fiel com que os artistas deste movimento procuravam reproduzir a impressão causada pelo objeto observado.

A obra de Claude Monet (1840-1926), um dos grandes nomes da pintura impressionista, passa a ter características marcantes do movimento a partir de 1860. Com a evolução deste estilo, Monet se inspirou cada vez mais nas paisagens marinhas repletas de luz, texturas e pinceladas soltas, dando preferência à pintura a céu aberto, ou *en plein air* (NEWALL, 2011).

A demonstração da inovação proposta pelo Impressionismo pode ser observada na tela de Monet *Impressão, Sol nascente.* Nesta representação é possível observar a característica peculiar da representação impressionista para a luz, ao retratar a luminosidade proveniente do Sol no momento em que atravessa o nevoeiro e interage com a água, provocando reflexos nas pequenas ondas.

Muitas das obras de Monet passam a representar os reflexos fugazes da luz e as sombras sobre a água. *Impressão, Sol nascente* capta o momento em que o Sol começa a ganhar tons alaranjados ao interagir com o ar (NEWALL, 2011).



Figura VII.3: Claude Monet, Impressão, Sol nascente - 1872, Museu Marmottan, Paris

Zola (1989) destaca a forma como Monet representa a água:

> "*Ele é um dos únicos que sabe pintar a água sem transparências estúpidas, sem reflexos mentirosos. Para ele a água é viva, profunda e, sobretudo, verdadeira. Ela muralha em torno dos barcos em pequenas ondas esverdeadas cortadas por clarões brancos (...), apresenta tons pálidos e mortiços, iluminados por claridades agudas."* (ZOLA, 1989, p. 114).

A compreensão das cores para os artistas impressionistas era de grande importância. As relações entre as cores estudas pelo químico francês Michel-Eugène Chevreul (1754-1845) foram especialmente importantes para este movimento artístico no sentido de fornecer informações sobre a complementaridade e a harmonia visual entre as cores. A paleta utilizada por Monet se concentrava quase que exclusivamente na relação complementar entre o azul e o laranja (NEWALL,2011).

Em 1893, Claude Monet retratou a Catedral de Rouen sob várias luminosidades diferentes durante um longo período de tempo. Sua intenção era mostrar como a cor observada poderia ser alterada de acordo com a luz incidente.



Figura VII.4: Claude Monet, Catedral de Rouen sob luminosidades diferentes em dois instantes de tempo – 1893, National Gallery of Art, Washington D.C.

Perkowitz (1998) cita a obra de Vincent van Gogh (1853-1890) para ilustrar a influência da relação entre a luz e os pigmentos na cor final observada em uma tela.

Van Gogh tinha como característica de pintura a utilização de cores fortes, brilhantes e expressivas. Perkowitz (1998) destaca que estas características que tornam a obra do pintor brilhante e vívida através de sua pincelada espessa e capaz de congelar a essência da cor, trazem consigo, além da expressão artística, uma compreensão científica da luz e da matéria.

Uma das telas do pintor, o autorretrato dedicado a Paul Gauguin (1848-1903) do ano de 1888, foi exaustivamente analisada devido a um processo de restauração. Através desta análise foram detectados um grande número de pigmentos utilizados na tela. Esta, assim como diversas obras de Van Gogh, eram iluminadas por diversos tons de amarelo, como o amarelo cromo e o amarelo cádmio (PERKOWITZ, 1998).

O amarelo cádmio é um composto químico derivado do Cádmio (sulfureto de cádmio), cuja beleza e a fixação da cor foram determinantes para que se tornasse um pigmento muito utilizado pelos artistas. Esta cor, no entanto, é capaz de modificar-se na direção do laranja e do vermelho através da adição de mercúrio ou selênio, assim como pode alterar a tonalidade do amarelo através da adição de zinco. Isto se torna possível, pois como sabemos hoje, o produto destas misturas é da família dos semicondutores (PERKOWITZ, 1998).

Estes semicondutores atuam através da absorção da luz, que por sua vez, é capaz de liberar os elétrons do material de suas órbitas, passando a vagar através do sólido. Quando

isto ocorre, o material conduz melhor a eletricidade. O sulfureto de Cádmio absorve a luz violeta e azul, fazendo com que sua cor varie do amarelo ao laranja, dependendo da sua preparação (BALL, 2003).

A preparação das tintas influenciava muito nas cores resultantes na tela, como os artistas podiam observar empiricamente. Desde a composição do pigmento até o aglutinante (material com a finalidade de unir e dar textura aos pigmentos) utilizado, o resultado final poderia variar se tornando diferente do almejado.

Em nosso cotidiano muitas vezes observamos que as cores de algum material podem ser alteradas. Por exemplo, quando molhamos os cabelos e percebemos que imediatamente adquiriram uma coloração mais escura, ou um tecido que parece ter uma coloração diferente quando úmido. Isso ocorre devido à mudança de meio pelo qual a luz passa durante seu percurso. Esta alteração provoca uma variação na velocidade com que a luz se propaga, sendo menor na água do que no ar e está relacionada ao índice de refração da substância.

Esta propriedade capaz de alterar a velocidade de propagação da luz está diretamente relacionada ao preparo dos pigmentos utilizados na pintura. Este efeito pode mudar a característica dos pigmentos. Por mais que se vejam vívidos e brilhantes na forma de pó, ao serem misturados com aglutinantes como o azeite de linhaça, perdem grande parte de suas características iniciais. Antes do século XV os principais meios aglutinantes eram a água ou a gema de ovo. Assim que os artistas passaram a utilizar óleos, que possuem índices de refração mais altos, muitos de seus mais preciosos pigmentos não lhes pareciam mais tão atraentes. O azul ultramarino passou a ser mais escuro, o vermelhão mais opaco e o branco de argila quase transparente. Outras mudanças, no entanto, se tornaram favoráveis aos artistas, alguns tons adquiriam efeitos de transparência capazes de fornecer às telas grande riqueza pictórica (BALL, 2003).

Apesar de ignorar tais questões científicas, os artistas manipulavam luz e pigmentos de modo a reproduzir a realidade ao espectador. Van Gogh, por exemplo, pintou uma variedade de efeitos naturais amplificados pelo uso de texturas capazes de retratar a luz de diferentes maneiras. Seu quadro “Campo de trigo com ciprestes” de 1889 apresenta uma variedade do azul celeste representado em suas nuvens circulares e uma iluminada vegetação em tons de verde. Em “Ponte de Arles” de 1888, Van Gogh adiciona água e materiais artificiais em sua representação. Na tela, o pintor retrata uma ponte móvel entre rochedos e uma mulher cruzando para o outro lado. O canal abaixo reflete parte da cena juntamente com o céu azul de nuvens brancas (PERKOWITZ, 1998).

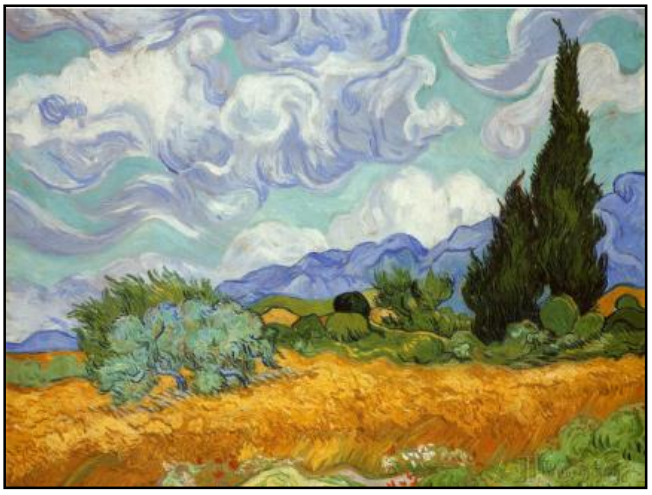


Figura VII.5: Vincent van Gogh, Campo de Trigo com Ciprestes – 1889, National Gallery, Londres



Figura VII.6: Vincent van Gogh, Ponte de Langlois – 1888, Wallraf-Richartz Museum, Alemanha

Van Gogh viu esta cena ao redor da ponte através da luz refletida, ou seja, da maneira como vemos todas as coisas ao nosso redor. As luzes refletidas na madeira da ponte, nas pedras e na moça sobre a ponte, formam a imagem vista diretamente pelo pintor. Já a imagem observada na água, representa a dupla reflexão da luz, ou seja, a luz refletida nos elementos da cena atinge a superfície da água primeiramente, para, em seguida, partindo da fronteira entre o ar e a água, atingir os olhos do artista (PERKOWITZ, 1998).

A geometria que descreve a reflexão dos raios luminosos é sempre a mesma, baseada na geometria euclidiana. No entanto, a imagem representada por van Gogh apresenta um fator complicador. A superfície da água no canal não é completamente plana, mas apresenta ondulações que tornam o processo de reflexão um pouco diferente. Cada raio incidente segue as leis da reflexão, no entanto, como cada um provém de uma parte diferente da superfície ondulada, cada um emergirá até os olhos do espectador em uma direção própria. Deste modo, o pintor poderia ver os raios refletidos através da reflexão ocorrida na parte frontal das

ondulações, mas não na parte posterior das pequenas ondas. O resultado é uma reflexão distorcida e incompleta da cena (PERKOWITZ, 1998).

VII.2 O papel da fotografia no surgimento do movimento impressionista

A humanidade sempre buscou perpetuar as imagens presentes em seu cotidiano. Desde os primórdios, nossos ancestrais, através de seus desenhos primitivos, retratavam cenas de caçadas, adoração a deuses ou as constelações observadas no céu.

A necessidade de retratar as cenas do dia-a-dia, bem como a imagens de pessoas, esteve presente em todos os movimentos artísticos, até o século XIX, cada um a sua maneira e respeitando o estilo artístico no qual estavam engajados. Os artistas, um a um, deram sua interpretação ao mundo e à sociedade no qual estavam inseridos.

Um dos mecanismos utilizados na tentativa de perpetuar o instante de tempo vivido foi a câmara escura. A câmara escura consiste em uma caixa preta totalmente vedada à luz com um pequeno orifício ou uma lente em um dos seus lados. A luz refletida de um objeto para o qual a câmara é apontada projeta-se para dentro da caixa e a imagem dele se forma na parede oposta à do orifício. Ao colocar-se na parede oposta, ao invés de uma superfície opaca, uma translúcida, como um vidro, a imagem formada será visível do lado de fora da câmara, ainda que invertida.

Este instrumento rapidamente se popularizou entre alguns artistas da época. A propriedade de retransmitir a realidade através da luz era de grande interesse aos artistas, por este motivo se tornou muito apreciada.

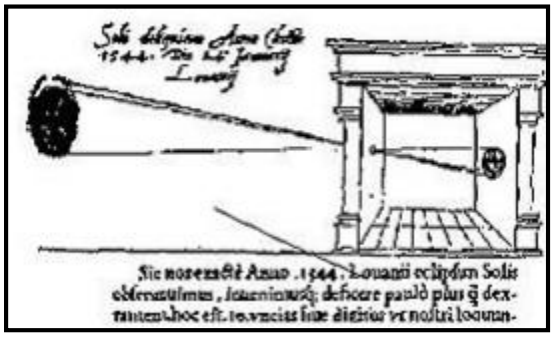


Figura VII.7: Autor desconhecido, Ilustração renascentista mostrando a propagação dos raios luminosos em uma câmara escura

Giovanni Battista della Porta (1535–1615) contribuiu para a evolução e divulgação da câmara escura. Construía câmaras escuras em miniatura que eram utilizadas por pessoas que não sabiam desenhar. Os pintores e desenhistas eram os principais consumidores desta nova tecnologia (GIBERT, 1982).

Alguns artistas e historiadores, como David Hockney (2001), vêem a relação entre a evolução dos instrumentos ópticos e o desenvolvimento artístico com mais proximidade. Para

este historiador, a mudança na retratação das imagens pelos artistas, com uma riqueza de detalhes muito maior, estaria diretamente ligada a estes instrumentos.

De acordo com estes estudos, o caminho ao encontro a um naturalismo percorrido pela arte, se deve especialmente à utilização de instrumentos ópticos. Estes instrumentos, em especial a câmara escura, favoreceriam que a imagem fosse retratada com maior fidelidade. No entanto, esta teoria não é completamente confirmada.

Consta na história da arte que possivelmente Vermeer teria se utilizado de uma câmara escura para criar suas representações no século XVII, no entanto, os estudos realizados por HOCKNEY (2001) mostram que instrumentos similares podem ter sido utilizados ainda no século XV. Mas o uso deste tipo de instrumento só ficou mais perceptível a partir do século seguinte.

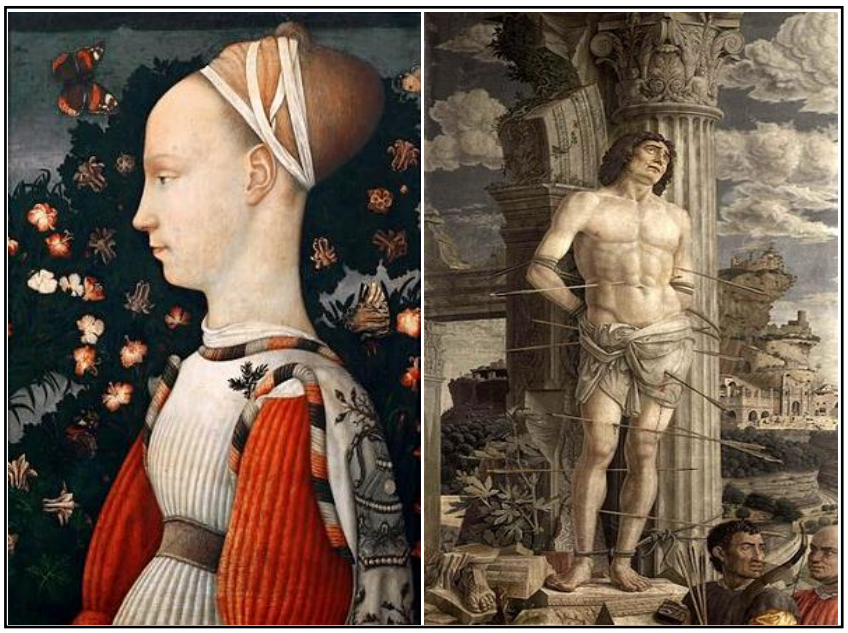


Figura VII.8: Da esquerda para a direita: Pisanello, Portrait of a Princess – 1449, Louvre, Paris. Andrea Mantegna, St. Sebastian – 1480, Louvre, Paris; aparentemente sem o uso de instrumentos ópticos



Figura VII.9: Da esquerda para a direita: Giorgione, The Impassioned Singer – 1510, Galleria Borghese, Roma. Antonis Mor (1557), Antony van Dyck, Mary I of England – Data desconhecida, Museo del Prado, Madrid. Aparentemente foram utilizados instrumentos ópticos.

Percebe-se que a representação passa a ser muito mais fiel, levando em consideração pequenos detalhes que antes eram ignorados.

No caso de uma pintura feita utilizando uma câmara escura, o modelo deveria ficar em um ambiente muito bem iluminado, enquanto o artista se encontrava dentro de seu ateliê, que por sua vez estaria sem iluminação. Os raios de luz provenientes do topo e da base do objeto passam através de um pequeno orifício, no qual poderia haver uma lente, e quando superpostos formam a imagem invertida do objeto.

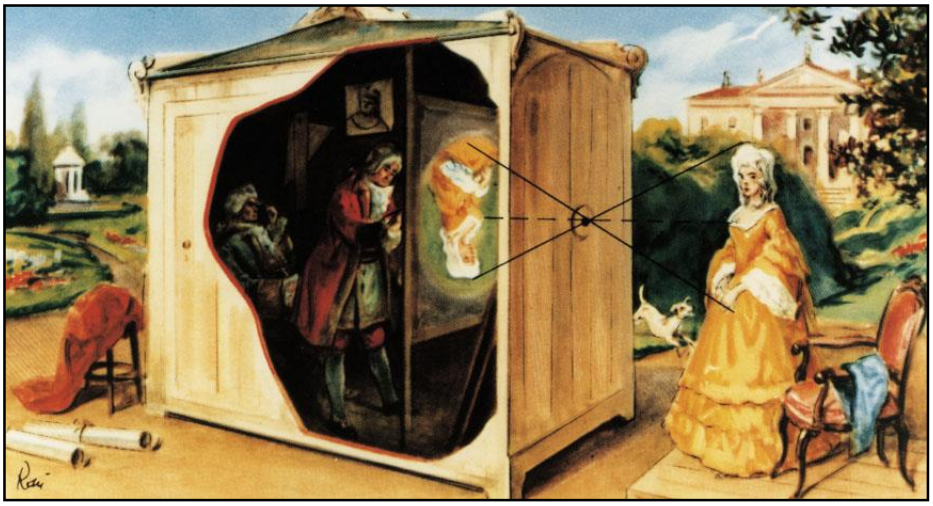


Figura VII.10: Utilização da câmara escura para a representação de modelo.

É necessário ressaltar que a utilização da câmara escura pelos artistas se tratava apenas de um novo mecanismo fruto da evolução de instrumentos ópticos para aperfeiçoar a sua técnica, já que ao início da utilização dessa nova técnica (por volta do século XV) nem mesmo a ciência dominava os estudos sobre as leis da óptica. Podemos considerar que os primeiros estudos efetivos deste tipo se iniciam com Descartes no século XVII. Não é possível, portanto, afirmar que os artistas tinham conhecimento científico baseado em uma teoria constituída.

Em decorrência do desenvolvimento e popularização desta forma de reprodução da realidade, surge uma nova necessidade: a fixação das imagens obtidas através da luz. Assim, com o auxílio da química, Niepce (1765 – 1833) consegue fixá-las por volta de 1826 e tem sua técnica aprimorada por Daguerre com ótimos resultados para época. É criado então o “daguerreotipo”, antepassado da fotografia (GIBERT, 1982).

Mais tarde, aproximadamente em 1839, com o auxílio do físico inglês Talbot (1800 – 1877), o uso de fotografia sobre o papel tornou-se generalizado através do uso de iodo e bromo em vez do cloro utilizado anteriormente. Esta mudança na matéria prima tornou possível reduzir o tempo de exposição necessário para a resolução da fotografia consideravelmente (GIBERT, 1982).

A difusão desta nova técnica de representação, ainda na Europa do século XIX, causou grande comoção entre os artistas da época. Os pintores de então, ainda muito marcados pelo naturalismo, viam a fotografia como uma maneira de ofuscar a arte, de modo que a qualidade técnica por ela apresentada, tornava os pincéis e telas obsoletos.

Nota-se que o desenvolvimento da fotografia se deu no mesmo período em que o Movimento Impressionista modificava a maneira com a qual a representação de mundo poderia ocorrer. A representação fiel, como um espelho, agora caberia aos fotógrafos e não mais aos pintores. Este fator também foi considerável para a ruptura com a forma de representação anterior.

Capítulo VIII – Metodologia de pesquisa

A presente pesquisa tem por objetivo investigar a relevância de uma abordagem histórica, capaz de relacionar-se com o contexto artístico e cultural da época em questão, no ensino e aprendizagem de aspectos concernentes ao conceito físico de cor. Para este fim foi utilizado o caso da relação entre as teorias científicas presentes no século XIX para a natureza da luz e a construção do movimento artístico nascido no mesmo período, o Impressionismo.

Para a investigação do conhecimento construído pelos estudantes durante o processo, através da análise dos dados obtidos, foram utilizados referenciais de análise de conteúdo capazes de fornecer uma visão acerca do material dissertativo produzido através de questões aplicadas aos alunos.

A pergunta de partida “De que forma as relações entre a Ciência e a Arte podem ser relevantes para a compreensão do conceito físico de cor em alunos do nono ano do Ensino Fundamental?" foi norteadora em todo o processo de pesquisa. A partir da pergunta, foi realizada previamente a pesquisa para a obtenção de referencial teórico de suporte à investigação, como aconselham Quivy e Van Campenhoudt (1998).

Após o período de obtenção do material teórico e a escolha da turma que serviu como objeto da pesquisa, a metodologia escolhida implicou em uma observação participante (BOGDAN, BIKLEN; 1994), levando-se em consideração o fato de que a autora da pesquisa atua como professora da turma em questão.

Este tipo de observação atuante na qual o professor se propõe a pesquisar e refletir sobre sua própria prática, partindo de uma problemática encontrada em seu cotidiano escolar, pode ser caracterizado como um processo de Pesquisa-ação (LEWIN, 1946). Lewin (1946) define esta metodologia de pesquisa atuante como uma pesquisa comparativa sobre as condições e os efeitos de várias formas de ação social e de investigação que conduzam a uma ação social “que usa” uma espiral de etapas, cada uma das quais é composta por um círculo de planejamento, ação e averiguação de fatos sobre o resultado da ação.

Em uma discussão sobre a metodologia da pesquisa-ação, David Tripp (2005) destaca que esta é apenas um dos inúmeros tipos de investigação-ação. Para Tripp (2005) a investigação-ação pode ser considerada um termo genérico para definir “qualquer processo que siga um ciclo no qual se aprimora a prática pela oscilação sistemática entre agir no campo da prática e investigar a respeito dela”. Sendo assim, a investigação-ação deve seguir etapas determinadas onde planeja-se, implementa-se, descreve-se e avalia-se um processo capaz de melhorar a sua prática, aprendendo mais no decorrer do processo, seja a respeito da própria prática ou a respeito da investigação.

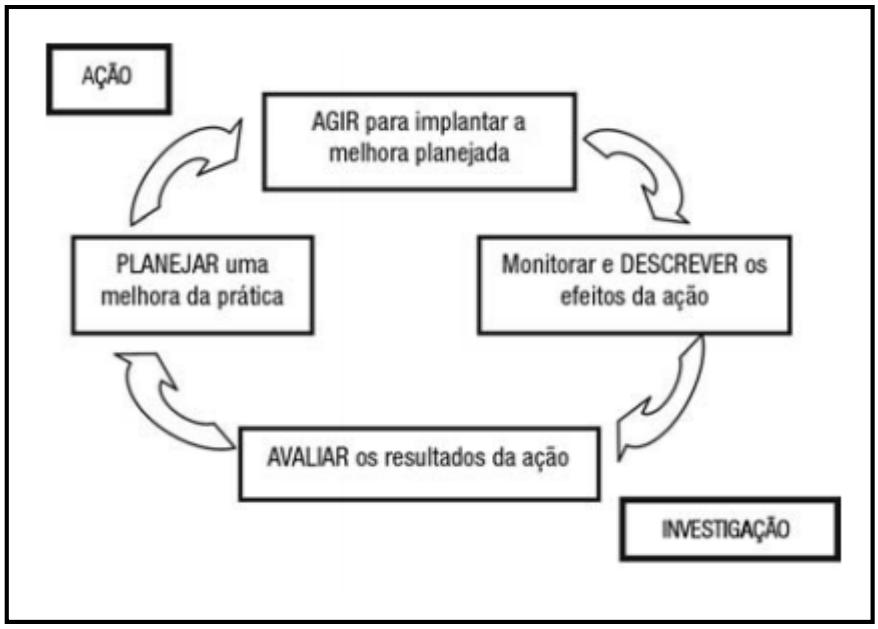


Figura VIII.1: Diagrama proposto por Tripp (2005) para descrever o processo de investigação-ação

Sendo um dos tipos de investigação-ação, a pesquisa-ação é definida por Tripp (2005) como “uma forma de investigação que utiliza técnicas de pesquisa consagradas para melhorar a prática”, deste modo, a pesquisa-ação deve contemplar ação tanto nas áreas da prática quanto da pesquisa, apresentando, portanto, características tanto da prática rotineira quanto da pesquisa científica.

Tripp (2005) diferencia, portanto, a pesquisa-ação de outras formas de investigação-ação devido ao uso das técnicas de pesquisa que a primeira utiliza para produzir a descrição dos efeitos da mudança na prática durante o ciclo de investigação-ação.

Tabela VIII.1: Representação do ciclo de pesquisa-ação, segundo Tripp (2005)

Representação do ciclo de pesquisa-ação		
	Ação realizada no campo da	
Sequência da ação	Prática	Investigação
Planejamento	De uma mudança na prática	Da avaliação dos resultados da
Implementação	Da mudança na prática	Da produção de dados
Avaliação		a) Da mudança da prática b) Do processo de investigação ação

No que diz respeito à relação mútua entre a prática e a pesquisa, Tripp (2005) ressalta que esta relação não apenas se compromete com a prática de modo a melhorá-la, mas através dela também se ganha em uma melhor compreensão da prática rotineira por meio de sua melhoria, de modo que a melhoria é o meio, o contexto e a finalidade da compreensão.

Outros autores definem o processo de pesquisa-ação como:

> *"É uma pesquisa eminentemente pedagógica, dentro da perspectiva de ser o exercício pedagógico, configurado como uma ação que cientificiza a prática educativa, a partir de princípios éticos que visualizam a contínua formação e emancipação de todos os sujeitos da prática.*" (FRANCO, 2005, p. 489)

> *"Uma pesquisa pode ser qualificada de pesquisa-ação quando houver realmente uma ação por parte das pessoas implicadas no processo investigativo, visto partir de um projeto de ação social ou da solução de problemas coletivos e estar centrada no agir participativo e na ideologia de ação coletiva."* (BALDISSERA, 2001, p. 6)

Estar inserido no ambiente de uma sala de aula conduz o professor a uma série de questionamentos e reflexões sobre suas atitudes. Refletir acerca do seu cotidiano requer por parte do professor um reconhecimento profundo das suas estratégias e dos processos capazes de construir o conhecimento científico, demolindo visões deturpadas da ciência, ao mesmo tempo em que leva o aluno a se tornar um sujeito participativo e independente. Portanto, não basta apenas refletir sobre a ação, é necessário que o professor seja pesquisador de sua prática, para melhor compreende-la e deste modo, esteja apto a interferir nela.

Na pesquisa realizada neste trabalho, utilizou-se como referencial teórico a definição de Tripp (2005) que se apoia na ideia de Lewin (1946), acerca da metodologia de pesquisa-ação. Este referencial foi escolhido com base nas etapas metodológicas do trabalho de pesquisa apontadas anteriormente, pois acredita-se que esta metodologia alia-se satisfatoriamente com os objetivos do professor reflexivo (SCHÖN, 1983) que é capaz, a partir de uma problemática de seu cotidiano, de analisar criticamente, refletir e propor uma melhoria de sua prática.

Esta concepção não apenas corrobora com o ideal do professor como sujeito ativo e reflexivo em sua práxis, mas, assim como ressalta Pimenta (2005), é capaz de contribuir com os processos de construção identitária de professores, compreendendo que o exercício da docência não se reduz à aplicação de modelos previamente estabelecidos, mas que, ao contrário, é construído na prática dos sujeitos professores historicamente situados e capazes de atuar positivamente em seu cotidiano.

VIII.1 Sobre o ambiente de pesquisa

A pesquisa em questão foi realizada durante as aulas de Física de estudantes do nono ano do Ensino Fundamental de uma escola da rede privada de ensino, situada no município de Magé, na Baixada Fluminense, durante o ano letivo de 2014. A escola em que as atividades foram realizadas atende predominantemente alunos de classe média moradores da região.

No ano de 2014 houve uma redução da carga horária da disciplina de Física para o nono ano do Ensino Fundamental com relação ao ano anterior, passando a contar com apenas 1 (um) tempo de aula com duração de 50 (cinqüenta) minutos por semana. Esta redução na carga horária, consequentemente, levou a uma redução das aulas disponíveis para a realização das atividades dedicadas ao tema, devido à necessidade de cumprir o conteúdo previsto.

O motivo de escolher uma turma de nono ano do Ensino Fundamental para a pesquisa baseia-se no pouco contato que estes estudantes tiveram com o ensino de Física e na escassez de pesquisas deste cunho voltadas a esta série inicial. Além disso, acredita-se que este período de transição do Ensino Fundamental para o Ensino Médio no qual estes estudantes se encontram, seja um momento crucial para reflexão acerca da imagem da Ciência e dos processos de construção do conhecimento científico.

Antes mesmo de iniciar as atividades em sala de aula, foi possível observar através da fala dos estudantes que ainda que os mesmos não tivessem experiências anteriores com a disciplina de Física, muitos deles apresentavam algumas concepções deformadas de ciência, como apontam Pérez *et al.* (2001), destacando-se a visão rígida e exata da produção do conhecimento científico, apoiada pela concepção de um único método científico e pela visão dogmática, fragmentada e ahistórica da ciência, fomentando a ideia de uma ciência elitista e socialmente neutra. Partindo desta observação, as atividades realizadas, bem como as discussões propostas ocorridas, não apenas durante o período da pesquisa, mas ao longo de todo ano letivo, foram direcionadas para que, além de construir nos estudantes o conhecimento do conteúdo, também fosse capaz de desmistificar as concepções de ciência enraizadas ao longo dos anos.

Em atividades anteriores aplicadas em sala de aula, foi possível observar que a forma de expressão escrita dos estudantes era bastante homogênea e considerada satisfatória, deste modo, a produção textual foi escolhida como uma das formas de obtenção de dados durante a pesquisa.

VIII.2 Atividades em sala de aula

Em sala de aula, o objetivo era que os alunos compreendessem o conceito físico de cor, envolvendo os efeitos de interação da luz com a matéria, reflexão e absorção dos raios luminosos, a partir do ponto de vista artístico. Porém, acredita-se ser sensato afirmar, que o ensino de Física não deve estar limitado apenas ao conteúdo programático, da mesma forma que não deve deixá-lo de lado. Durante todo o processo gerador da pesquisa, teve-se em mente que o conteúdo não era o único pilar de sustentação da metodologia a ser aplicada, mas um pano de fundo capaz de articular-se com a construção de uma ideia de Ciência inserida em

um contexto cultural e social, que se articula com o momento histórico em que seus sujeitos estão inseridos.

O conteúdo programático de Física desta série envolve um panorama geral dos conceitos físicos relativos à mecânica, eletricidade e óptica. Inserido no conteúdo de óptica, o tema referente à luz e as cores foi escolhido para a abordagem interdisciplinar relacionando a Física e a Arte, por conter elementos pertinentes a ambas.

O projeto realizado em sala de aula com os estudantes do nono está relacionado ao tema de Física “A luz”, que trata dos seguintes tópicos, de acordo com o livro didático adotado pela escola:

- As fontes de luz;

- O espectro eletromagnético;

- A propagação da luz;

- Luz e sombra;

- As cores da luz;

- Composição das cores (Luz);

- As cores dos objetos;

- Reflexão e Refração da luz;

A partir dos temas contidos no currículo da disciplina e ao longo do conteúdo, estes temas foram tratados a partir da perspectiva da relação entre a Ciência e Arte. Para este fim, foram abordados aspectos históricos referentes à construção de uma teoria para a Luz e a Cor, relacionando estes pontos com a produção artística do período escolhido (século XIX), como foi ressaltado anteriormente.

A contextualização em sala de aula ocorreu através da pintura impressionista, movimento este que foi capaz de utilizar teorias científicas de decomposição da luz, com o objetivo de melhor representá-la.

Ao realizar uma análise do conteúdo presente no livro didático da turma, foi possível observar que a temática da luz nele contida encontra-se baseada na teoria newtoniana para o fenômeno das cores, no entanto, esta não é em momento algum citada pelo livro. Questões como a decomposição da luz branca ao passar por um prisma, ou o processo de decomposição da luz são abordadas de maneira compartimentada, acumulativa e dissociada do contexto histórico ao qual estavam relacionadas.

Partindo dessa observação, a teoria newtoniana foi escolhida para relacionar-se com o contexto artístico do século XIX, representado aqui pelo movimento impressionista.

Levando-se em consideração que o movimento impressionista e a teoria newtoniana para a constituição da luz não fazem parte diretamente do mesmo contexto histórico, ainda que a teoria de Newton tenha se perpetuado ao longo dos séculos, a cronologia dos fatos foi ressaltada durante as discussões. Deste modo ambos foram relacionados através das ideias contidas na teoria proposta por Isaac Newton e que é capaz de dar suporte à concepção artística de representação da luz.

As atividades e as discussões do projeto de pesquisa tiveram duração de cinco aulas ao longo do bimestre.

Toda a construção do conhecimento em sala de aula iniciou-se através da explanação teórica dos conceitos físicos presentes no conteúdo programático e incluído no livro didático, relacionando-os com a metodologia adotada para a representação impressionista.

VIII.2.1 Aula 1: Inserção no universo da pintura impressionista

A primeira aula dedicou-se a levar o estudante a um conhecimento preliminar sobre o movimento impressionista, bem como algumas de suas características principais, como a pintura ao ar livre e a valorização dos efeitos de luz e cor a partir da sua interação com a matéria. Nesta aula não foi abordada a questão da decomposição da luz branca, nem sua transposição para pigmentos utilizada pelos pintores do movimento.

Abaixo seguem alguns slides utilizados em aula para gerar a discussão acerca do movimento impressionista e algumas de suas principais características.



Figura VIII.2: Alguns slides utilizados durante as aulas

Foram observadas obras de arte que ressaltem aspectos concernentes aos temas da disciplina citados anteriormente, sempre buscando desenvolver uma discussão ao redor do tema.

Sobre a utilização de representações artísticas no Ensino de Ciências, Galili (2013) apresenta sua reflexão. O autor considera que a utilização de imagens é subaproveitada durante as aulas e estas, no entanto, podem exercer um importante papel, uma vez aliadas à forma analítica, verbal e lógica do conteúdo, podem ser capazes de promover uma simbiose

entre as duas funções cognitivas necessárias à construção do conhecimento científico, unindo o raciocínio lógico ao abstrato.

O uso de imagens e representações artísticas em sala de aula pode apresentar-se tentador ao professor sob o ponto de vista de que estas lhe parecem um excelente artefato pedagógico a ser utilizado para ilustrar leis e teorias físicas. No entanto, esta perspectiva estabelece uma relação frágil e superficial entre a Arte e a Ciência, onde estes campos do conhecimento apenas sobrepõem suas contribuições e não refletem a verdadeira relação que demonstra a Ciência como parte de um contexto social.

Ainda sobre este tipo de abordagem, Galili (2013) atenta que o uso de representações artísticas deve ao mesmo tempo relacionar-se com o conteúdo científico e produzir uma reflexão filosófica durante o processo de ensino-aprendizagem de Ciências.

Levando em conta as considerações de Galili (2013) apresentadas acima, as atividades em sala de aula durante todo o período foram permeadas por discussões relevantes para que, além da compreensão do conteúdo, o estudante fosse capaz de refletir sobre a ciência.

Nesta aula foi aplicado o questionário 1, com o objetivo de investigar as concepções que os estudantes possuíam acerca das cores em forma de luz e pigmento.

Ao final da primeira aula, os alunos foram instigados a pesquisar mais sobre o movimento impressionista, bem como sobre outras características que não foram abordadas em aula, as técnicas referentes às cores, seus principais representantes e as concepções artísticas destes pintores.

VIII.2.2 Aula 2: Conhecendo a teoria Newtoniana

A segunda aula teve o papel de ressaltar a principal característica das técnicas impressionistas, que é a tradução da luz em pigmentos. Para a compreensão desta técnica, é necessário compreender a heterogeneidade da luz branca, a diferença entre cores puras ou compostas, bem como seu processo de decomposição.

Neste sentido, a teoria newtoniana forneceu ao trabalho em sala de aula, o subsídio necessário para a compreensão das técnicas aplicadas pelos pintores.

Partindo do contexto de construção da teoria newtoniana, o trabalho e as discussões em aula buscaram privilegiar o papel que a compreensão global do trabalho científico pode apresentar para a internalização de alguns pontos importantes acerca da Natureza da Ciência (NdC).

Silva e Martins (2003) citam Pumfrey (1991) em sua proposta que destaca alguns pontos que, a partir do uso significativo da História da Ciência, podem contribuir com a construção de uma visão mais adequada da Ciência:

1. Uma observação significativa não é possível sem uma expectativa pré-existente.

2. A natureza não fornece evidências simples o suficiente que permitam interpretações sem ambiguidade.

3. Teorias científicas não são induções, mas sim hipóteses que vão necessariamente além das observações.

4. Teorias científicas não podem ser provadas.

5. O conhecimento científico não é estático e convergente, mas sim mutável e sem fim.

6. Uma formação prévia dentro de um mesmo paradigma é uma componente essencial para que haja acordo entre os cientistas.

7. O pensamento científico não se constrói sem influência de fatores sociais, morais, espirituais e culturais.

8. Os cientistas não constroem deduções incontestáveis, mas sim julgamentos complexos e especializados.

9. O desacordo é sempre possível.

Para que estes pontos fossem contemplados durante o processo, a História da Ciência apresentada deveria fornecer ao aluno uma visão completa dos acontecimentos, buscando não incorrer na superficialidade muitas vezes apresentada na maioria dos livros didáticos. Sendo assim, é válido ressaltar alguns aspectos que Silva e Martins (2003) apontam como cruciais no debate da teoria de Newton e que foram levados à pauta em sala de aula:

- O processo de experimentação não precede a teoria

Ao contrário do que muitos livros didáticos transparecem através de seu conteúdo, a clássica observação experimental de Newton com os prismas não precedeu a teoria. Suas observações e conclusões estavam arraigadas de concepções prévias e do paradigma mecanicista no qual estava inserido.

Ao realizar o experimento com a luz solar advinda de um orifício, passando por um prisma, na posição de mínimo desvio que era previamente conhecida, e projetada na parede de seu quarto, Newton esperava que o padrão de imagem obtido na parede fosse circular. No entanto, suas observações frustraram sua expectativa, sendo observada uma imagem alongada e com diversas cores (SILVA, MARTINS; 2003). Ou seja, seu conhecimento acerca das teorias ópticas em vigor naquela época amparava suas expectativas sobre o experimento.

- A conclusão acerca da heterogeneidade da luz não decorreu da observação de um único experimento, nem tampouco é trivial

Após observar a forma alongada produzida por diferentes cores decorrente de seu experimento, Newton não concluiu diretamente a heterogeneidade da luz. Tanto Newton quanto seus contemporâneos sugeriram várias explicações para o efeito. Em seu próprio artigo de 1672, algumas possibilidades foram colocadas à prova, tais como a espessura do prisma, o tamanho do orifício na janela, ou até mesmo a localização do prisma (SILVA, MARTINS; 2003).

Ao analisarmos as circunstâncias, percebemos que nem mesmo Newton pode concluir facilmente, através de mera observação, o fato de a luz branca ser formada de outras cores. O senso comum, e até mesmo os cientistas da época, tinham a luz branca como a forma mais simples da luz, sendo, portanto, todas as outras formadas a partir dela. Sendo assim, Newton apresentou outros experimentos que pudessem esclarecer o fato.

- Não há um experimento crucial, pois sempre é possível existir mais de uma interpretação

Dentre os experimentos apresentados por Newton, um deles é considerado como "crucial" pela maioria dos livros didáticos.

Ainda que a forma alongada observada apresentasse diversas cores, a ideia predominante, inclusive de Newton, era que as cores fossem decorrentes de transformação causada pelo prisma.

O experimento "crucial" de Newton fazia com que um feixe de luz atravessasse um primeiro prisma e atingisse um pequeno orifício, onde apenas um dos feixes passaria adiante e consequentemente atingiria um segundo prisma (SILVA, MARTINS; 2003).

Caso a ideia de que o prisma fosse capaz de alterar o feixe de luz incidente estivesse correta, a cor observada a partir do segundo prisma não seria a mesma que o atingiu inicialmente, no entanto, isso não foi observado.

Uma utilização simplista da História da Ciência em sala de aula poderia demonstrar o caso da heterogeneidade da luz como encerrado a partir deste experimento chamado de crucial, levando o estudante a imaginar que apenas um experimento bem feito e bem analisado fosse capaz de demolir quaisquer dúvidas sobre uma teoria.

Ainda em seu artigo de 1672, Newton demonstrou que os feixes de luz colorida provenientes de um prisma quando são novamente reunidos através de uma lente convergente, voltam a se apresentar na forma de luz branca. Este experimento, porém, assim como o "experimento crucial" ainda deram margem para interpretações diferenciadas. Hooke, por exemplo, acreditava que a luz branca proveniente do Sol fosse a forma mais simples e suas diferentes modificações na forma das cores, poderiam se combinar pela compensação mútua de suas diferenças e produzir outro tipo de luz branca (SILVA, MARTINS; 2003).

Exaurindo-se os experimentos e as argumentações práticas, Newton passa a defender sua teoria através de argumentações epistemológicas, considerando que as cores espectrais são imutáveis e que os corpos coloridos não são capazes de modificar a luz que recebem, atuando somente como filtros capazes de permitir a reflexão de algumas cores e absorvendo outras.

Diante destes pontos abordados, alguns questionamentos foram levantados durante a discussão em sala de aula:

- A afirmação “O cientista deve ir ao laboratório de ‘mente vazia’, ou seja, ele deve livrar-se de julgamentos prévios acerca do experimento” pode ser considerada verídica no cotidiano do trabalho científico?

- Por que não foi possível um consenso acerca da heterogeneidade da luz, mesmo diante dos experimentos apresentados?

- A observação da natureza é simples de modo a não deixar margem para interpretações?

- As concepções pessoais de cada cientista, assim como as teorias as quais eles estavam imersos podem ter influenciado a interpretação dos experimentos?

VIII.2.3 Aula 3: O impressionismo e a luz

Partindo das pesquisas realizadas pelos alunos sobre o movimento impressionista citadas na primeira aula, algumas relações foram traçadas entre a teoria de decomposição da luz e as técnicas utilizadas pelos pintores. Novamente algumas pinturas foram mostradas para ressaltar a importância da luz para este movimento.

O objetivo era que os estudantes compreendessem que a cor não é uma característica intrínseca de um corpo, mas que pode variar aos olhos do espectador de acordo com a interação entre a luz e a matéria. Ao retratar cenas do cotidiano, especialmente paisagens ao ar livre, o objetivo dos pintores impressionistas era captar as nuances de cor que se diversificavam a partir de fenômenos de reflexão e absorção da luz.

A decomposição da luz constituiu-se em uma grande parte da técnica impressionista, de modo que sua representação foi traduzida em pigmentos para que fosse possível obter uma representação fiel da realidade. Como uma característica marcante deste movimento, é possível ressaltar também a ideia de decompor a cena em minúsculas partes, através do efeito de pequenas pinceladas desconectadas que deveriam fornecer ao espectador da obra uma visão do todo quando observada de longe.

Claude Monet foi um grande pesquisador da interação entre a luz solar e a matéria para compor suas representações. Seu quadro *Mulheres no Jardim* marca o início desta fase, que

privilegiava os efeitos de reflexão da luz no ambiente, em sua pintura. A partir daí, Monet percebe que a pintura ao ar livre lhe permite recriar os efeitos da luz do Sol na natureza (PEREIRA, 2004).

O quadro de Monet foi um dos escolhidos para a observação em sala de aula. Foi pedido que os alunos observassem e refletissem sobre a forma de interação da luz do Sol com a cena retratada e qual seriam as possíveis diferenças nas tonalidades das cores se elas fossem retratadas em um ambiente interno.



Figura VIII.3: Claude Monet, Mulheres no Jardim – 1866, Museu de Orsay, Paris.

Uma das observações feitas durante as discussões foi acerca da variação da luz solar ao longo do dia e de que forma isto alteraria a representação de uma cena. Os estudantes foram convidados a observar algumas sequências de representações da mesma cena ao longo de diversas horas do dia realizadas por Claude Monet.

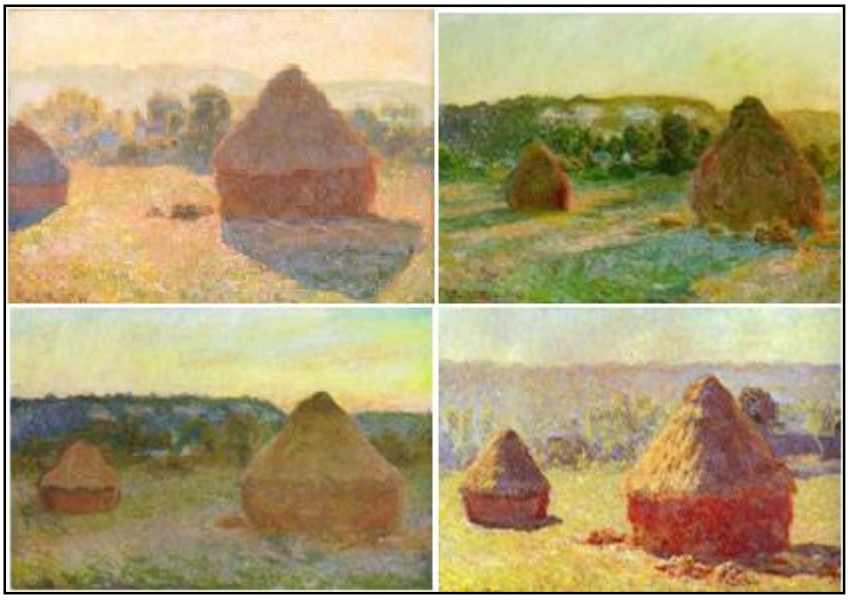


Figura VIII.4: Claude Monet, 1890 – 1891. Da esquerda para a direita: Haystacks (Midday) - National Gallery of Australia, Wheatstacks (End of Summer) - Art Institute of Chicago, Wheatstacks - Art Institute of Chicago, Haystacks at the End of Summer - Musée d'Orsay

Partindo da observação das telas acima e de outras apresentadas em aula, como a série de pinturas da Catedral de Rouen e dos Jardins de Monet, alguns pontos relacionados à técnica impressionista foram colocados em discussão:

- Qual o motivo de enxergarmos determinadas cores dependendo da luz incidente?

- Qual o papel da luz nas obras impressionistas?

- O tipo de representação do movimento impressionista seria possível sem que houvesse um estudo aprofundado sobre a forma como enxergamos as cores?

- Qual a motivação que os pintores impressionistas tinham para retratar diversas vezes a mesma cena em diversos instantes de tempo?

Ao final, partindo das discussões realizadas e diante do conhecimento das técnicas utilizadas pelos artistas, os alunos foram levados a produzir sua própria representação impressionista.



Figura VIII.5: Representação de um pôr-do-Sol realizada por uma aluna

VIII.2.4 Aula 4 – Construindo uma câmara escura

Ao longo das atividades e das discussões em sala de aula, o papel da visão sempre foi levado à pauta pelos estudantes. A grande preocupação era compreender de que maneira os processos físicos estariam relacionados aos biológicos para que assim pudéssemos enxergar.

Uma das atividades escolhidas para ilustrar este processo foi a construção de uma câmara. A luz refletida de um objeto para o qual a câmara é apontada projeta-se para dentro da caixa e a imagem dele se forma na parede oposta à do orifício.

A montagem foi realizada em sala de aula utilizando materiais de baixo custo (ver apêndice A) e através da sua utilização os estudantes puderam observar como ocorre a formação de imagem através da reflexão dos raios luminosos.

Partindo do princípio dos processos de reflexão da luz e da propagação retilínea dos raios refletidos, observa-se que ao colocarmos um objeto que esteja iluminado diante de um pequeno orifício de uma câmara escura, a imagem que será obtida ao fundo da caixa será invertida. Este fato só se dará, pois, ao entrar pelo orifício da caixa o feixe luminoso continuará seu caminho, na mesma direção que entrou, formando assim a imagem do objeto invertida. Podemos realizar uma analogia do funcionamento deste experimento ao mecanismo da visão, da seguinte forma: o orifício da caixa seria a pupila e o papel vegetal nossa retina. Contudo, nota-se uma pequena diferença, a presença do nervo óptico, que transmite as imagens captadas pela retina ao cérebro, que faz a interpretação destas e as posiciona de forma correta, algo que não se observa na câmara escura.



Figura VIII.6: Estudante construindo uma câmara escura

VIII.2.5 Aula 5 – Discussão das atividades e produção textual

A quinta aula foi dedicada apenas à discussão de todo o processo relatado anteriormente e à produção textual em que os estudantes deveriam se posicionar sobre o que compreenderam acerca da relação dos pintores impressionistas com as cores.

Durante a discussão foi dada aos alunos a oportunidade de relatar acerca do que foi absorvido, a forma como o conteúdo foi trabalhado e a relevância do que foi apreendido.

É válido ressaltar que durante as discussões uma fala unânime foi apresentada pelos estudantes ao se surpreenderem com a existência de uma proximidade entre a Física e a Arte, pois de acordo com a concepção dos estudantes e do senso comum, estas áreas aparentemente não apresentam características similares para que possam estabelecer uma relação. De acordo com o discurso dos alunos, por mais que estes não tivessem experiências anteriores com a disciplina de Física, sempre lhes foi passado que a Física era uma espécie de variação “mais complicada” da matemática, baseada unicamente na repetição de fórmulas.

Aproveitando a discussão, e com um pouco mais de conhecimento adquirido sobre a Física, os estudantes foram levados a refletir se a natureza e os fenômenos que a evolvem seguem um “comportamento” que possa ser explicado de maneira fragmentada como convencionamos fazer através do ensino das disciplinas escolares, chegando à conclusão de que a compreensão do mundo envolve conhecimentos extremamente complexos e que não podem ser contemplados através da contribuição de disciplinas isoladas.

VIII.3 Coleta de dados

A pesquisa desenvolvida em sala de aula com o objetivo de investigar “de que forma as relações entre a Ciência e a Arte podem ser relevantes para a compreensão do conceito físico de cor em alunos do nono ano do Ensino Fundamental” ocorreu através da aplicação de um questionário e de uma pequena produção textual desenvolvida pelos estudantes.

O primeiro questionário apresentava duas questões mistas (objetivas e discursivas) que visavam relacionar os conceitos de luz, cor e pigmento. Tal questionário foi aplicado logo após a sequência de explanações teóricas acerca do tema.

O segundo questionário era constituído de apenas uma questão aberta na qual o aluno deveria discorrer sobre o conceito de cor adotado pelos pintores impressionistas.

Para a realização da pesquisa supracitada, optou-se por uma análise quantitativa, apenas para o caso do primeiro questionário, e qualitativa, pois de acordo com Bogdan & Biklen (1994) este tipo de análise contém maior riqueza em pormenores descritivos, tendo por objetivo investigar os fenômenos em toda sua complexidade e em seu contexto natural, pois o recolhimento de dados é realizado através do contato aprofundado com os indivíduos em seu próprio ambiente.

Durante este período de observação em sala de aula, o investigador observou as visões de mundo dos estudantes, acerca da relação entre a Ciência e a Arte, além das concepções que os alunos possuem sobre temas que se referem à NdC, como a compreensão do trabalho científico, da construção deste tipo de conhecimento e o processo de construção e aceitação de uma teoria científica.

Passado o período de investigação em sala de aula, a análise dos dados foi realizada através de referenciais teóricos de análise de conteúdo, tais como Bardin (1979) e Moraes (1999), pois de acordo com Moraes (1999) este tipo de análise destina-se a descrever e interpretar o conteúdo de toda classe de documentos e textos. Deste modo, esta análise conduz a descrições sistemáticas, qualitativas ou quantitativas, ajuda a reinterpretar as mensagens e a atingir uma compreensão de seus significados num nível que vai além de uma leitura comum. Os dados obtidos nesta investigação, cujo caráter é qualitativo, foram submetidos a uma análise de conteúdo, consistindo em uma simples categorização que, segundo Bardin (2004):

> *“É uma operação de classificação de elementos constitutivos de um conjunto, por diferenciação e, seguidamente, por reagrupamento segundo o gênero (analogia), com os critérios previamente definidos. As categorias são rubricas ou classes, que reúnem um grupo de elementos (unidades de registro, no caso da análise de conteúdo) sob um título genérico, agrupamento esse efetuado em razão dos caracteres comuns destes elementos.”* (BARDIN, 2004, p. 111)

A abordagem de análise de conteúdo terá por objetivo explicar e sistematizar o conteúdo da mensagem e o significado desse conteúdo, tendo como referência sua origem (quem a emitiu). Nesse processo, são identificadas as frequências ou ausências de itens, ou

seja, ocorre uma categorização dos elementos para que a partir disto se obtenha uma ordem, buscando-se com isso a apreensão das significações inerentes ao objeto de estudo.

As categorias a serem criadas emergirão de acordo com a análise dos dados obtidos, no entanto, de acordo com Moraes (1999) estas categorias devem caracterizar-se a partir de seis questões: 1) Quem fala? 2) Para dizer o que? 3) A quem? 4) De que modo? 5) Com que finalidade? 6) Com que resultados? Utilizando esta definição podemos categorizar os objetivos da análise de conteúdo de acordo com a orientação que toma em relação a estas seis questões.

A interpretação dos dados será dada através de uma comparação entre o que foi observado em sala de aula e os resultados obtidos com a proposta de uma produção textual. Esta comparação terá por objetivo acompanhar a construção do conhecimento dos alunos acerca do tema.

VIII.3.1 Seleção do material

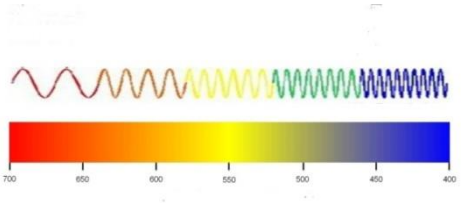
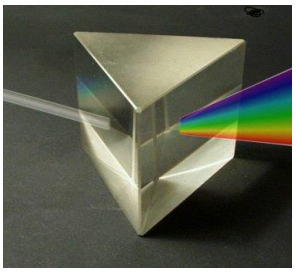
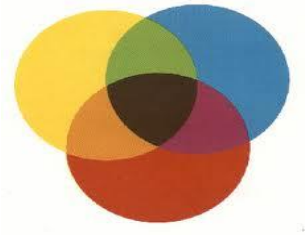
Preparação das informações: Como ponto de partida, foram utilizadas as respostas obtidas nos questionários aplicados em sala de aula para 16 estudantes que compunham a turma de nono ano do Ensino Fundamental. São eles:

Questionário 1:

Neste questionário pede-se que os estudantes respondam duas questões a partir da observação de algumas imagens. O objetivo deste questionário é que o estudante relacione as imagens apresentadas com os conceitos referentes de luz e cor. Conforme é descrito a seguir:

Observe as imagens dispostas na tabela a seguir:

Tabela VIII.2: Imagens do questionário preliminar

a) 	b) 
c) 	d) 
e) 	f) 
g) 	h) 

Questões propostas no questionário:

1- Se você fosse representar o conceito de cor, qual (quais) das imagens acima você utilizaria? Justifique sua resposta.

2- Se você fosse representar o conceito de luz, qual (quais) das imagens acima você utilizaria? Justifique a sua resposta.

Questionário 2:

Ao final das atividades em sala de aula, os estudantes foram levados a responder uma questão que tinha o objetivo de investigar o conhecimento construído durante este período acerca do tema referente à luz e às cores.

Questão proposta:

Qual era a ideia de cor apresentada pelos artistas Impressionistas?

VIII.3.2 Pré-análise

Questionário 1:

A análise do questionário 1 é constituída a partir da análise quantitativa e qualitativa do mesmo. Através da análise quantitativa do questionário 1, obteve-se o seguinte padrão de respostas:

Primeira questão:

Tabela VIII.3: Frequência das imagens para a primeira questão

Alternativa	Frequência
A	12
B	9
C	2
D	1
E	5
F	0
G	12
H	13

Segunda questão:

Tabela VIII.4: Frequência das imagens para a primeira questão

Alternativa	Frequência
A	0
B	3
C	11
D	12
E	6
F	12
G	3
H	1

O primeiro questionário aplicado em sala de aula tinha como objetivo de pesquisa, realizar uma sondagem prévia acerca das concepções dos estudantes sobre a relação entre luz e cor.

Na primeira questão, os estudantes deveriam selecionar dentre as imagens apresentadas, aquelas que melhor representariam a ideia de cor e justificar a sua escolha. Realizada a análise de conteúdo do que fora dito pelos estudantes para justificar sua resposta, foi possível observar que a maioria dos respondentes relacionava diretamente a cor aos pigmentos químicos, sendo assim, a luz incidente não possuiria nenhuma função para as cores que observamos. De acordo com o padrão das respostas, foi possível separá-las em duas categorias de acordo com a ideia apresentada.

Tabela VIII.5: Frequência das justificativas utilizadas na questão 1

Questão 1	
Categoria	Frequência
Relação direta entre cor e pigmento	8
Independência entre luz e cor	4

Alguns estudantes não apresentaram ideias claras para justificar sua resposta, tornando impossível categorização.

A análise de conteúdo tem por objetivo analisar as frequências e ausências apresentadas em um discurso. Sendo assim, foi possível notar na fala dos estudantes a ausência de uma relação entre cor e luz, tendo em vista que nenhum deles citou esta relação em sua resposta.

A segunda questão pedia que os estudantes relacionassem as imagens mais adequadas, de acordo com seu julgamento, ao fenômeno da luz. Nesta questão, o padrão das respostas foi capaz de demonstrar que os alunos associavam esse fenômeno diretamente à luminosidade e à luz branca. As respostas foram categorizadas segundo a tabela abaixo.

Tabela VIII.6: Frequência das justificativas utilizadas na questão 2

Questão 2	
Categoria	Frequência
Luz branca	7
Luz e radiação	2
Luz enquanto luminosidade	4

Questionário 2:

Ao discorrer sobre o tema proposto na questão, o estudante deveria ser capaz de relacionar o conceito de cor presente nas ideias impressionistas e os conceitos físicos que descrevem este fenômeno.

Através de um levantamento das respostas obtidas nos 16 questionários aplicados, foi possível observar que 13 dos estudantes utilizaram conceitos físicos tais como "*reflexão"* e *"absorção"* para explicar a ideia de cor utilizada pelos artistas impressionistas, como pode ser observado nos trechos a seguir: *"Uma Igreja pintada de branco pode refletir para os nossos olhos uma cor diferente a cada hora do dia, dependendo da luz."* (Aluno 1). *"Estes artistas usavam a reflexão das cores, as sombras e as luzes como forma de arte."* (Aluno 2)

A partir da compreensão dos fenômenos físicos, os estudantes foram capazes de relacionar e compreender alguns pontos principais que envolvem o estilo de pintura Impressionista, tais como a pintura ao ar livre e as variações de luminosidade que ocorrem ao longo do dia, como é possível identificar nos seguintes trechos: *"Os pintores impressionistas pintavam em diferentes horas do dia para que a mesma paisagem pudesse ter cores diferenciadas entre si, de acordo com a luminosidade incidida sobre ela."* (Aluno 1). *"Se o Sol bater em uma casa às 17:30h, a luz solar refletida será de uma cor diferente das 8:00h (...)"* (Aluno 3).

Ao analisar atentamente o discurso apresentado pelos estudantes para construir sua ideia, foi possível observar a ausência do conceito de decomposição da luz branca, conceito este, utilizado pelos impressionistas para traduzir a luz refletida pela cena a ser retratada para suas telas. Este conceito foi abordado por apenas dois dos dezesseis estudantes, ainda assim, de maneira superficial: *"Os artistas pintavam ao ar livre (...), pois a luz do Sol, para os físicos, representa todas as cores (...) e uma paisagem pode absorver as cores que ela não tem e refletir as cores que ela já possui."* (Aluno 4).

Entretanto, a relação entre luz e cor foi ressaltada por oito dos estudantes ao tentar explicitar a relevância da luz solar na pintura: *"Os artistas procuravam pintar ao ar livre, buscando retratar em suas pinturas as diferentes cores e sombras que os raios solares produziam."* (Aluno 2).

Esta fala pode indicar que apesar da complexidade existente no processo de tradução da decomposição da luz branca em pigmentos não ter sido citada pela maioria dos estudantes, a relação entre a luz incidente em um objeto (paisagem) e a cor observada, foi, de fato, compreendida.

VIII.3.3 Análise e resultados (exploração do material):

Ao longo do processo de análise do material produzido pelos dezesseis estudantes do nono ano, foi possível observar que alguns padrões de discurso emergiram em suas falas.

A maioria dos estudantes buscou construir seus discursos nos conceitos relativos à disciplina de Física, de acordo com as discussões realizadas durante as explanações teóricas e as construções práticas. Observando este padrão, foi possível criar a categoria referente à utilização dos conceitos físicos.

Tabela VIII.7: Categorização dos conceitos físicos utilizados na produção textual

Categoria – Conceitos Físicos	Frequência
Decomposição da luz branca	2
Absorção da luz	5
Reflexão da luz	9

A técnica amplamente difundida pelos impressionistas, da pintura *em plein air,* que tinha por objetivo representar os complexos efeitos produzidos pela luz do Sol, foi citada por grande parte dos estudantes.

Tabela VIII.8: Categorização das expressões utilizadas na produção textual que indicavam relação entre luz e a cor

Categoria – Relação entre luz e cor	Frequência
Pintura impressionista e o ar livre	7
Variação da luz solar ao longo do dia	11

VIII.4 Discussão dos resultados

A análise dos dados obtidos mostrou que o conhecimento acerca dos fenômenos físicos relacionados às cores pôde ser construído ao longo deste período.

Se levarmos em consideração o questionário de sondagem aplicado após a primeira aula, percebemos que os estudantes confundem a cor em forma de luz e pigmento, bem como os efeitos da interação da luz com a matéria. A cor na forma de pigmento aparentemente estava mais clara na compreensão dos alunos, uma vez que se relaciona diretamente com seu cotidiano durante as aulas de Artes na escola.

Quando os estudantes foram questionados sobre a imagem que melhor representava o conceito de cor (questão 1), é possível perceber através do padrão de escolha das imagens A, G e H, que o conceito de cor estava relacionado aos pigmentos.

Para a maioria dos respondentes a cor e os pigmentos estavam diretamente (unicamente) relacionados, de modo que, para estes alunos a luz e as cores eram independentes entre si. É possível observar através do padrão das respostas atribuídas para justificar a escolhas das imagens relacionadas à cor (questão 1) que os estudantes relacionavam a cor diretamente aos pigmentos, deste modo, para aqueles que responderam segundo este padrão não haveria relação entre a luz incidente e as cores que observamos.

A segunda questão, que pede para que o aluno escolha imagens que melhor represente a luz, aponta para uma concepção de luz que se relaciona apenas à luz branca ou com o seu processo de decomposição. Isto pode ser observado pela maior escolha das alternativas C, D e F. A alternativa B, por exemplo, que representa a faixa do espectro visível, foi escolhida por apenas 3 dos estudantes.

A justificativa das escolhas referentes a esta questão demonstra que de fato, para a maioria destes estudantes, a luz restringe-se à luz branca.

Após a realização das atividades e discussões conduzidas em sala de aula, a produção textual dos estudantes demonstrou que houve a construção do conhecimento relativo a alguns

aspectos pertinentes ao fenômeno da luz. De acordo com a fala dos estudantes, a relação entre a luz e as cores pôde ser compreendida através do contexto do Impressionismo. Esta relação fica clara quando a maioria dos estudantes cita em sua produção textual a técnica de pintura ao ar livre. A maioria dos estudantes foi capaz de explicar conceitos referentes à técnica impressionista através de conceitos físicos como a reflexão, absorção e a decomposição da luz branca.

Com o objetivo de reunir em uma única imagem os termos mais utilizados pelos estudantes em suas produções textuais, optou-se por uma “nuvem de palavras”. As palavras em maior destaque demonstram aquelas que foram mais citadas com maior frequência na fala dos estudantes. Esta análise foi realizada por um site de livre acesso na internet (http://www.wordle.net/) que é capaz de reunir os termos que aparecem com maior frequência ao longo de um texto e produzir uma “nuvem de palavras” conforme a imagem a seguir.



Figura VIII.7: Nuvem de palavras destacando os termos mais utilizados pelos estudantes

Capítulo IX – Conclusões

Ao discutirmos a teoria newtoniana, buscamos fornecer ao aluno uma visão do trabalho científico realizado por Newton ao propor sua teoria para a decomposição da luz branca, ao mesmo tempo em que nos contrapomos à visão simplista adotada pela maioria dos livros didáticos.

Como foi ressaltado no trabalho, foi necessário cuidado ao tratar dois períodos históricos distintos como o período da construção da teoria newtoniana e a segunda metade do século XIX com o Movimento Impressionista. No entanto, além das pesquisas realizadas pelos estudantes com o objetivo de melhor compreender os momentos históricos relacionados, foi possível também discutir o processo de consolidação da teoria construída por Newton, fazendo com que esta fosse discutida ainda no século XIX.

Embora a discussão de aspectos referentes à NdC não fosse o foco principal da questão norteadora deste trabalho, a discussão destes temas constituiu uma importante parcela das discussões relacionadas ao tema central, uma vez que durante conversas preliminares, os estudantes apresentaram visões ingênuas acerca do trabalho científico.

Ao serem questionados acerca das motivações de Newton para seus estudos, tanto na área da mecânica, quanto da óptica, muitos dos estudantes apresentaram concepções simplistas, acreditando que estes estudos estavam relacionados a um hobby ou mera distração em uma época em que não havia opções de lazer, sendo fruto de uma mente brilhante e inspirada. Esta visão demonstra que estes estudantes não consideravam os cientistas como parte integrante da sociedade, não estando envolvidos, portanto, em seus problemas e na resolução dos mesmos. Esta concepção reproduz a ideia construída e difundida pelo senso comum.

Algumas personalidades científicas históricas, como Isaac Newton, exercem no imaginário popular a visão de que a ciência, assim como a sua compreensão, são apenas do domínio de gênios abençoados com um conhecimento acima do normal. No entanto, HESSEN (1931) mostra em seu trabalho, que até mesmo o conhecimento científico produzido por Isaac Newton estava sujeito ao contexto vivido pela sociedade da época. Segundo HESSEN (1931), a produção de Newton estava imersa em um contexto social que envolvia a desintegração do sistema feudal, a emergência do desenvolvimento do capital mercantil, as relações marítimas internacionais e a indústria pesada. Tais fatores fizeram com que os esforços de Newton estivessem centrados na resolução de problemas pertinentes a este contexto.

Uma grande dificuldade encontrada para a execução das atividades de pesquisa, como foi mencionado anteriormente, esteve relacionada à inflexibilidade do cronograma escolar. Esta rigidez conferida ao conteúdo impossibilitou que o tema fosse tratado com maior profundidade,

incluindo outras perspectivas como a de Goethe ou até mesmo ampliar o olhar sobre as diferentes teorias acerca da natureza da luz.

Diante deste grande limitador, que já era previamente conhecido, as atividades realizadas buscaram relacionar-se ao máximo com o conteúdo programático contido no livro didático adotado pela escola. Deste modo, o trabalho realizado buscou demonstrar que apesar da dificuldade de ruptura com o planejamento escolar, que muitas vezes é citada pelos professores como um fato desmotivador para a implementação de aulas que busquem uma reflexão sobre o conteúdo, é possível aliar-se ao currículo para, ainda assim, realizar uma prática diferenciada em sala de aula, capaz de direcionar o aluno a uma compreensão mais ampla da ciência.

A maioria dos estudantes se mostrou surpresa com a aproximação proposta entre a Física e a Arte. Foi possível perceber que a estranheza estava relacionada ao pouco conhecimento (ou a um conhecimento superficial) que os estudantes possuíam destas áreas do conhecimento.

ZANETIC (2004) compreende que a importância de se fazer essa relação é fundamental para o estudante/cidadão, pois através dela é possível analisar algumas implicações da ciência no aspecto social, cultural, ecológico e global. Conhecendo essas implicações, segundo o autor, é possível adotar posturas éticas e políticas, cada vez mais necessárias, quanto ao uso das modernas tecnologias que o avanço da ciência possibilita.

Observar desta maneira nos permite não apenas realizar interconexões entre campos do conhecimento distintos, mas nos permite ampliar o olhar para além do que está meramente exposto, permite-nos perceber que tanto a produção do conhecimento científico quanto a produção artística são frutos de uma cultura e de uma sociedade com valores e crenças estabelecidos. Desta forma, é possível compreender também que a ciência, assim como a arte, trabalha através da ruptura de modelos e conceitos prévios, não está pronta, nem estagnada. Neste sentido, os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1997) indicam que a Física deve ser percebida enquanto construção histórica, como atividade social humana que emerge da cultura e leva à compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, com a sucessão de modelos ao longo dos tempos, como o modelo geocêntrico, substituído pelo heliocêntrico, a teoria do calórico pelo conceito de calor como energia, ou a sucessão dos vários modelos explicativos para a luz. Deste modo, o surgimento de teorias físicas mantém uma relação complexa com o contexto social em que ocorreram.

Podemos perceber que a relação proposta entre o Impressionismo e a Física relacionada à luz é capaz de construir um conhecimento concreto sobre este conteúdo. Porém, esta relação vai muito além do conteúdo disciplinar. A partir do momento em que se contextualiza o conhecimento através da arte e do período histórico em que se insere, ela é

capaz de fornecer ao aluno uma visão ampla e desfragmentada do conhecimento, mostrando que este se constrói a partir de um contexto social complexo.

Esta abordagem, segundo a fala de alguns estudantes durante as discussões acerca das atividades, aproximou a disciplina de Física de seu cotidiano, tornando-a mais humana e contrariando a imagem difundida pelo senso comum.

É possível acrescentar em favor da relação entre a Ciência e a Arte que esta perspectiva proporciona ao aluno um contato com a pintura e o mundo artístico diferente daquela existente durante as aulas de Artes, pois oferece uma nova interpretação para o trabalho artístico baseada na compreensão de alguns fenômenos físicos que constituem o mundo ao nosso redor e estão inseridos na representação artística.

Toda discussão apresentada neste trabalho busca oferecer ao professor uma perspectiva diferenciada para a disciplina de Física, mostrando que a partir de um novo olhar sobre os temas contidos no currículo educacional, é possível oferecer em sala de aula uma visão interdisciplinar baseada na História da Ciência e na relação que a disciplina é capaz de estabelecer com outras áreas do conhecimento. Tal perspectiva pode levar o aluno ainda em seus primeiros contatos com a Física a compreender a Ciência como uma parte ativa da sociedade que se articula com os saberes por ela construídos através da participação dos atores imersos neste complexo contexto.

Referências Bibliográficas

BRAGA, M., GUERRA, A., REIS, J. C.; *Breve História da Ciência Moderna*, v. 3. Rio de Janeiro: Ed. Zahar. 2007.

BRAGA, M; GUERRA, A.; REIS, J. C.; *Breve História da Ciência Moderna*, v. 4. Rio de Janeiro: Ed. Zahar. 2007.

BALDISSERA, A. "Pesquisa-ação: Uma metodologia do 'conhecer' e do 'agir' coletivo", *Sociedade em Debate*, v. 7, n. 2, pp. 5-25, ago. 2001.

BALL, Philip. La invención del color. Turner, 2003

BALZI, Juan J. *O Impressionismo*. São Paulo: Ática, 1992.

BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 1979.

BOGDAN, Robert C. et al. *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos.* Porto Alegra: Porto Editora, 1994.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais - Ciências da Natureza e suas Tecnologias*. Brasília: MEC, 1997.

BREWSTER, D; BACHE, A. D. *Treatise on optics*. Philadelphia: Blanchard and Lea, 1854.

CARVALHO, S. H. M.; ZANETIC, J.; "Ciência e Arte, Razão e Imaginação: Complementos necessários à compreensão da Física Moderna". In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, pp.1-17, Jaboticatubas, Out. 2004.

DARRIGOL, O. *A History of Optics: From Greek Antiquity to the Nineteenth Century*. Oxford: University Press, 2012.

DEYLLOT, M. E. C.; ZANETIC, J.; "Ler palavras, conceitos e o mundo: o desafio de entrelaçar duas culturas". In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, pp.1-15, Jaboticatubas, Out. 2004.

DURÃO, M. J.. "O Diáfano e o μέλας", *Cadernos da Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa*. V.6, pp. 144-147. Ago. 2006;

FORATO, T. C. M. *A Natureza da Ciência como Saber Escolar: Um Estudo do Caso A Partir da História da Luz.* Tese de D. Sc., Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil, 2009.

FRANCO, M. A. S.; "Pedagogia da pesquisa-ação". *Educação e pesquisa*, v. 31, n. 3, pp. 483-502, Set. 2005.

GALILI, I. "On the Power of Fine Arts Pictorial Imagery in Science Education". *Science & Education*, v. 22, n. 8, pp. 1911-1938, Jul. 2013.

GIBERT, A.; *Origens Históricas da Física Moderna: Introdução Abreviada*. Porto: Orlando & Ca. Lda., 1982;

GOETHE, J. W. *Doutrina das Cores*. São Paulo: Nova Alexandria, 1993.

GOMBRICH, E. H.; *A história da arte*. 16ª ed. Rio de Janeiro:Livros Técnicos e Científicos Editora, 1999.

GONÇALVES, M. C. F.; "Hegel leitor de Goethe: Entre a física da luz e o colorido da arte", *Revista Eletrônica de Estudos Hegelianos*. v. 5, n.8, pp. 37-56, Jun. 2008.

GUIDOTTI, M.; "Imbricações entre Goethe e Kant: arte, natureza e sublime", *Pandaemonium Germanicum*, n. 17, pp. 118-131, Jul. 2011.

HESSEN, B.; "As raízes sócio-econômicas dos Principia de Newton". In: GAMA, Ruy (org.) Ciência *e técnica: antologia de textos históricos*. São Paulo: T. A. Queiroz, 1992.

HOBSBAWM, E. J.; *A era das revoluções*. 4ª ed. São Paulo: Paz e terra, 2006.

HOBSBAWM, E. J.; A era dos Impérios. 13º edição. São Paulo: Paz e terra, 2010.

HOCKNEY, D.; *Conhecimento Secreto*. São Paulo: Cosac & Naify, 2001.

HUYGENS, C.; Traité de la Lumiére. Paris: Ed. Dunod. 1992.

KESTLER, I. M. F.; "Johann Wolfgang von Goethe: art and nature, poetry and science", *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, v. 13, supp, p. 39-54, Out. 2006.

KRAPAS, S.; QUEIROZ, G. R. P. C.; UZÊDA, D.; "O tratado sobre a luz de Huygens: comentários", *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, n. 1, pp. 123-151, 2011.

LEWIN, K.; "Action research and minority problems", *Journal of social issues*, v. 2, n. 4, pp. 34-46, 1946.

MARTHIEU, C.; *Impressionismo Paris e Modernidade*. Madrid: Fundación Mapfre, 2012.

MASON, S. F.; *Historia de las Ciencias 4: La Ciencia Del Siglo XIX*. Madrid: Alianza Editorial, 1986.

MASSARANI, L. et al. "Um olhar sobre ciência e arte no Brasil: Uma análise do Simpósio 2006". In: Memórias do Simpósio Ciência e Arte, pp. 15-21, Rio de Janeiro, Out. 2006.

MERTON, R. K.; SZTOMPKA, P.; *On social structure and science*. Chicago: University of Chicago Press. 1996.

MORAES, R.; "Análise de conteúdo", *Revista Educação*, v. 22, n. 37, pp. 7-32, Mar. 1999.

MOURA, M.; "Da magia à Kant: Considerações sobre a relação de Goethe com a Filosofia", *Matraga*, v. 18, n. 29, pp. 112-137, Jul. 2011.

MURGUIA, E. I.; "Cenário Histórico do Movimento Impressionista". *Impulso*,v.1, n. 24, pp. 25-42, Abr. 1999.

NEWALL, D.; *Segredos do Impressionismo*. São Paulo: Publifolha, 2011.

NEWTON, I.; *Óptica*. São Paulo: EDUSP, 2002.

PEDROSA, I.; *Da cor à cor inexistente*. São Paulo: Senac, 2009.

PEREIRA, F.; "A Luz: Do Renascentismo à Televisão". *Comunicação & Inovação*, v. 5, n. 9, pp. 61-67, 2004.

PÉREZ, D. G.; et al. "Para uma imagem não deformada do trabalho científico", *Ciência & Educação*, v. 7, n. 2, pp. 125-153, 2001.

PERKOWITZ, S.; et al. *Empire of Light:: A History of Discovery in Science and Art*. New Yoork: Joseph Henry Press, 1998.

PIETROCOLA, M.; “Fresnel e o arrastamento parcial do éter: a influência do movimento da terra sobre a propagação da luz”, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 10, n. 2, pp. 157-172, Ago. 1993.

PIMENTA, S. G.; “Professor-pesquisador: mitos e possibilidades”, *Revista Contrapontos*, v. 5, n. 1, pp. 9-22, Jun. 2009.

QUIVY, R.; VAN CAMPENHOUDT, L.; *Manual de investigação em ciências sociais*. Lisboa: Gradiva, 1998.

REIS, J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M.; “Ciência e arte: relações improváveis?”, *História, Ciência e Saúde- Manguinhos,* v. 13, supl., pp. 71-87, Out. 2006.

ROSA, C. A. P.; *História da ciência: o pensamento científico e a ciência no século XIX*. 2ª ed. Brasília: FUNAG, 2012.

SALVETI, A. R.; *A História da Luz*. 2ª ed. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

SCHÖN, D.; *The reflective practitioner*. New York: Basic Books, 1983.

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*, v. 9, n. 1, pp. 53-65, Set. 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*, v. 30, n. 1, 1602, Out. 2008.

SILVA, F. W. O.; “A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos”, *Revista Brasileira de Ensino de Fısica*, v. 29, n. 1, p. 149-159, Out. 2007.

SNOW, C. P.; *As Duas Culturas: e Uma Segunda Leitura.* São Paulo: Edusp, 1995.

STEINER, R.; *A obra científica de Goethe*. São Paulo: ed. São Paulo. 1984.

TRIPP, D.; “Action research: a methodological introduction”, *Educação e pesquisa*, v. 31, n. 3, pp. 443-466, Mai. 2005.

WILSON, M. S.; *Arte, ciência e tecnologia: passado, presente e desafios.* São Paulo: Unesp, 2007.

YOUNG, T.; *The Bakerian lecture: On the theory of light and colours*. London: Royal Society of London, 1802.

ZOLA, É.; *A batalha do impressionismo*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1989.

Anexo I

Montagem de uma câmara escura usando materiais recicláveis.

A câmara escura pode ser construída com os seguintes materiais:

- Caixa de sapatos;

- Tesoura e ou Estilete;

- Cola;

- Papel Vegetal;

- Fita Crepe;

- Papel Cartão;

- Tinta preta.

1° Passo- Corte um retângulo de 4 cm por 9 cm em uma das laterais menores da caixa de sapato.

2° Passo - Corte um pedaço de papel-cartão do mesmo tamanho da lateral da caixa com um retângulo vazado com as mesmas dimensões. Cole sobre este retângulo um pedaço de papel vegetal. Esse será o anteparo sobre o qual a figura será projetada. Coloque o anteparo dentro da caixa.

4° Passo - A tampa deve ser bem vedada para não entrar luz.

5° Passo - O interior da caixa deve ser totalmente pintado de preto fosco para evitar brilhos que ofusquem a imagem projetada na tela.