



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARA
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA-FACET
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA

NADIANE PANTOJA GONÇALVES

UM DESENHO DE LUZ:
O Princípio Físico Da Câmera Fotográfica

ABAETETUBA – PARA
2017

NADIANE PANTOJA GONÇALVES

UM DESENHO DE LUZ:
O Princípio Físico Da Câmera Fotográfica

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba, como requisito final para obtenção do Grau de Licenciada em Física, sob a orientação do Prof. Dr. Gabriel Adolfo Cabrera Pasca.

ABAETETUBA – PARA
2017

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

G635d Gonçalves, Nadiane Pantoja.
Um desenho de luz : O Princípio Físico Da Câmera Fotográfica
/ Nadiane Pantoja Gonçalves. — 2017.
77 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Gabriel Adolfo Cabrera Pasca
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba, Curso de
Física, Abaetetuba, 2017.

1. Luz. 2. Fotografia Analógica. 3. Fotografia Digital. I.
Título.

CDD 530

NADIANE PANTOJA GONÇALVES

UM DESENHO DE LUZ:
O Princípio Físico Da Câmera Fotográfica

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado, para obtenção do título de Licenciado em Física pelo corpo docente da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba.

Abaetetuba, de de 2017

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Gabriel G. Pasca Cabrera - Universidade Federal do Para (Orientador)

Prof. M.e. Rodrigo Vaz Pinheiro – Universidade Federal do Para (Examinador)

Prof. Dra. Cleidilane Sena Costa – Universidade Federal do Para
(Examinadora)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu Deus, o Grande *'el shadday*, o Deus-Poderoso que com sua infinita bondade e misericórdia me concedeu essa imensa graça, que de mim mesma seria impossível alcançar. Os livros dos Salmos (são quatro) expressam a bondade do SENHOR em maravilhosos versos, o Salmo 103 diz:

“Bendiga o SENHOR a minha alma! Bendiga o Senhor todo o meu ser! Bendiga o SENHOR a minha alma! Não esqueça nenhuma de suas bênçãos! É ele que perdoa todos os teus pecados e cura todas as tuas doenças, que resgata a sua alma da sepultura e o coroa de bondade e compaixão, que enche de bens a sua existência, de modo que a sua juventude se renova como a águia.”
(SAGRADA, Bíblia N.V.I. Salmos 103. Vers 1-5)

Não há palavras para expressar tão grande amor e misericórdia. Por isso, dedico este trabalho a TI, ó grande Deus.

Dedico também à minha família, especialmente aos meus pais Pedro Gonçalves e Dulcelina Gonçalves que não mediram esforços e incansavelmente me ajudaram a enfrentar os momentos difíceis, nem fizeram poucas as palavras de ânimo quando pensei (inúmeras vezes) em parar. Esta conquista não é só minha, é também, de vocês, por isso dedico a vocês dois, essa honra. Serei eternamente grata.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Deus pelas bênçãos que incondicionalmente foram enviadas até mim, que por sua graça e bondade chegaram e foram recebidas. Como ele mesmo disse: “[...] sem MIM, vocês não podem fazer coisa alguma [...]” (João, cap 15, vers 6. N.V.I). Meus agradecimentos sinceros são ao SENHOR, dono da minha vida.

Agradeço a minha família, meus pais Pedro e Dulce, e meus irmãos Nilda e Natan, que me deram forças nos momentos difíceis com suas palavras de animo e conforto. Peço ao Deus onipotente, que os abençoe incondicionalmente, tornando realidade os sonhos de cada um de vocês, porque nós somos feitos de sonhos.

Agradeço ao professor Gabriel Pasca que pacientemente me ajudou a trilhar o caminho do êxito, para que este trabalho fosse realidade, o que no início era apenas um título. Com orientações, conselhos, correções em meu texto e puxões de orelha, não mediu esforços para que este estivesse tão bom. Ao professor Rodrigo Pinheiro que igualmente acreditou em mim e em minha ideia, também se mostrou sempre disposto e compreensível comigo, me ajudando a enxergar erros e consertar lacunas escondidas. Seus conselhos, orientações e puxões de orelha (rsrs. Necessários!) foram (e continuarão sendo) valiosíssimos em minha vida acadêmica. Aos dois, muito obrigada por tudo.

Agradeço em especial ao professor Marcos Allan que me ajudou a definir que caminho seguir, uma vez que eu estava bastante perdida, obrigada por tudo. Ao meu amigo Maik Caires pelos valiosos conselhos e correções em meu texto, obrigada. Ao LFAC pelas imagens em EDS e pelo MEV para meu trabalho. Agradeço também ao meu amigo Yhury pela ajuda com Téxmaker, valeu!

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para que este trabalho chegasse ao fim com êxito. Deus abençoe a todos, os citados e os que lerão este trabalho de conclusão de curso. Amém.

RESUMO

Neste trabalho estudamos um dos principais conceitos fundamentais da ciência, que é a LUZ, utilizando um instrumento muito popular em nossa sociedade, chamado de CÂMERA FOTOGRÁFICA. O objetivo deste trabalho é apresentar um breve resumo do contexto histórico do seu desenvolvimento, como se deu seu aprimoramento, as relações com os fenômenos físicos da óptica e da física quântica, sendo a luz, um dos principais conceitos que permeiam nosso conhecimento científico moderno, como também as tecnologias utilizadas. Assim, podemos chamá-la de “Coluna Cervical” da ciência. Este conceito é utilizado em diversos níveis da educação, desde a educação básica ao superior. Ao mesmo tempo, compreendemos que a fotografia surge como um contexto importante para o ensino do conceito de luz e suas propriedades. Desta forma, este trabalho apresenta uma discussão conceitual sobre a luz e suas propriedades, além de trazer alguns episódios da história da ciência sobre o desenvolvimento deste campo da Física. Assim, podemos perceber que ela vai e está muito além daquilo que imaginamos, sendo ela, nosso guia de instruções para compreendermos o funcionamento do universo dentro e fora do nosso planeta.

PALAVRAS – CHAVE: Luz. Fotografia Analógica. Fotografia Digital.

ABSTRACT

In this work we study one of the main fundamental concepts of science, which is light, using a very popular instrument in our society, called CAMERA PHOTOGRAPHIC. The objective of this work is to present a brief summary of the historical context of its development, as it has been improved, relations with the physical phenomena of optics and quantum physics, light being one of the main concepts that permeate our modern scientific knowledge, as well as the technologies used. Thus, we can call it the "Cervical spine" of Science. This concept is used at various levels of education, from basic to higher education. At the same time, we understand that photography emerges as an important context for teaching the concept of light and its properties. In this way, this work presents a conceptual discussion about the light and its properties, besides bringing some episodes of the history of the Science on the development of this field of the physics. So we can see that it goes far beyond what we imagined, and that it is our guidebook for understanding the functioning of the universe inside and outside our planet.

KEYWORDS: Light. Analog Photography. Digital Photography.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: cartaz de propaganda da Kodak, onde o slogan usado pela empresa para estimular a venda de máquinas apareceu pela primeira vez. Ele anunciava a câmera Kodak na primeira edição do *The Photographic Herald and Amateur Sportsman*, em novembro de 1889. O slogan (em português), “Você pressiona o botão, nós fazemos o resto” resumiu o sistema de filmagem instantâneo de George Eastman. 18
- Figura 2: retrato de *Ibn al-Haytham* em uma nota de banco iraquiano, comprova o quão ele é importante não só para a comunidade científica, mas também para seu povo, que o venera. 21
- Figura 3: frontispício da tradução latina do Livro de Óptica de *Ibn Al-Haytham* intitulou *Thesaurus da Óptica* (Tesouros da Óptica), *Alhazeni Arabis Libri Septem* (*The Optic Treasure, Seven Arabic Books of Alhazen*) que foi publicado em Basileia, em 1572. 22
- Figura 4: Representação esquemática dessa observação do fenômeno da câmara escura. 24
- Figura 5: criada por *Giovanni Battista Della Porta* (1535-1615) em seu livro de 1558 *Magiae Naturalis*. 25
- Figura 6: Em 1826, Niépce fez a primeira foto do mundo atualmente reconhecida pela história dessa arte, no quintal de sua casa na França chamada de “*View from the Window at Le Gras*”. Feita em placa metálica com impressão de prata de gelatina, medindo 20,3cm por 25,4cm (PERES, et al. 2008). 27
- Figura 7: Segunda versão de “*View from the Window at Le Gras*” 27

Figura 8: imagem (a) Louis Daguerre. Imagem (b) desenho da câmara usada por ele.	28
Figura 9: câmara Mamute, construída para fotografar um trem em movimento (toda a locomotiva) criada em 1900 pelo fotógrafo George Raymond Lawrence, a pedido da <i>Chicago & Alton Railway</i> . Ela foi considerada a maior câmara fotográfica do mundo, e necessitava de 15 pessoas para operá-la.	29
Figura 10: exemplo de filmes fotossensíveis utilizados em câmeras analógicas.	31
Figura 11: Exemplos de imagens de negativos.....	32
Figura 12: Negativo a ser analisado. Nota-se que existem seis pessoas na imagem, entre elas, uma criança pequena, bem no centro, logo abaixo. Essa foi a parte do filme escolhida para ser cortada e analisada.	32
Figura 13: Amostras do filme fotossensível após serem cortadas. Tem-se uma dimensão de seus tamanhos.....	33
Figura 14: Metalizadora acoplada a uma bomba de vácuo.....	34
Figura 15: amostra antes e depois da metalização.....	34
Figura 16: Amostras no porta amostras do microscópio.	35
Figura 17: imagem (a), feita dentro do microscópio. Imagem (b) antes de serem postas no M.E.V.....	35
Figura 18: imagens comparativas dos dois lados do filme. Imagem (a) substrato, imagem (b) filme transversal, imagem (c) lado fotossensível.	37
Figura 19: imagem (a), análise gráfica do substrato do filme; imagem (b), espessura do filme; imagem (c) análise gráfica do lado fotossensível do filme.	38

Figura 20: Representação de cada elemento presente na amostra. Cada cor indica um elemento.	40
Figura 21: representação esquemática dos campos Magnético (em azul) e Elétrico (em vermelho).	43
Figura 22: Representação esquemática do espectro de energia.	44
Figura 23: capa da primeira edição de <i>Opticks</i> (1704), Um Tratado das Reflexões, Refracções, Inflexões e Cores da Luz (imagem a). Na imagem (b) tem-se uma representação em pintura de Newton no momento em que a luz é decomposta por um prisma em suas mãos.....	45
Figura 24: decomposição da luz feita em laboratório. A placa de vidro usada nessa experiência proporciona esse fenômeno, por ser formada de inúmeras grades micrométricas em seu interior, faz com que a luz seja decomposta ao passar por entre elas, refletindo e refratando as cores decompostas na parede do aparato.	46
Figura 25: Fotografias obtidas no campus de Abaetetuba. A imagem (a) mostra a decomposição de a luz solar em diversas cores nitidamente visíveis. A imagem (b) mostra que o raio de Luz é decomposto ao atravessar o canto polido da porta de vidro, é possível ver as cores separadas no chão a frente da porta.	47
Figura 26: A imagem (a) mostra a chama de uma vela, distinguindo os pontos A, B, C. Os círculos concêntricos descritos sobre cada um desses pontos representam as ondas que vêm delas, e deve-se imaginar o mesmo em todos os pontos da superfície e da parte de dentro da chama. A segunda imagem, (b), mostra Christiaan Huygens em uma pintura de <i>Caspar Netscher</i> , exposta no <i>Museum Hofwijck, Voorburg</i>	48

Figura 27: propagação retilínea da luz e uma reflexão total do raio incidente em uma superfície convexo-côncava obtida no campus de Abaetetuba, no laboratório de Física.....	49
Figura 28: A imagem mostra dois raios de luz incidentes sobre uma lente convexo-côncava refletindo-se sobre a superfície. No cruzamento desses raios temos o ponto focal da lente. (a) e (b) são os raios primários, enquanto que (c) e (d) são os raios refletidos. Imagem obtida no laboratório de física do campus de Abaetetuba, UFPA.....	51
Figura 29: Na imagem pode-se ver que os ângulos incidentes e refletidos são iguais em relação a normal. Imagem obtida no laboratório de Física da UFPA, campus de Abaetetuba. Os raios (a) e (b) são incidentes na superfície da lente, enquanto que (a') e (b') são refletidos.....	52
Figura 30: O raio incide do ponto 1, viaja até o espelho (superfície plana E) e é refletido até o ponto 2. Neste caso, a reta normal está entre os raios (na imagem, a normal está na horizontal). Imagem obtida no laboratório de Física campus de Abaetetuba, UFPA.	53
Figura 31: A imagem mostra dois meios, o de incidência (o ar) e o de refração (o vidro que compõe a lente). Dois raios luminosos partem paralelos do meio 1 (ar) em direção ao meio 2 (o vidro da lente), que ao atravessá-lo é desviado de seu caminho original. Os raios (a) e (b) são primários, enquanto que (a') (b') são secundários. Imagem obtida no laboratório de Física da UFPA, campus de Abaetetuba.....	54
Figura 32: representação esquemática da câmara escura de orifício.....	56
Figura 33: representação esquemática dos raios, ângulos, distância (imagem-lente e objeto-lente), objeto e imagem envolvidos na câmara escura.....	57

Figura 34: câmera digital profissional e amadora. Nota-se a evolução da câmera, incluindo o tamanho, que varia da câmera profissional à amadora....	59
Figura 35: A imagem (a) mostra um padrão de interferência para os elétrons. (b) mostra um padrão sendo formado quando 1000 elétrons são detectados.	61
Figura 36: CCD retirado de uma câmera fotográfica digital. O pequeno quadrado no canto esquerdo inferior é o CCD, propriamente dito. A tira na parte superior central da imagem são os conectores que fazem o transporte das informações enviadas e recebidas.	65
Figura 37: é uma vista esquemática do plano de um dispositivo de imagem de linha de acordo com outra forma de realização da invenção.	67
Figura 38: Imagem do primeiro CCD, ele media 100x100 pixels.	69
Figura 39: imagem do protótipo da primeira câmera digital criada em 1975 por Steven Senson, engenheiro elétrico da Kodak.....	70
Figura 40: primeira imagem digital do mundo.	71

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
CAPITULO I: UMA BREVE HISTÓRIA DA FOTOGRAFIA	17
1.1 O QUE SE SABIA SOBRE A LUZ NO PERIODO ENTRE ~300a.C e ~965d.C	18
1.2 A CÂMARA ESCURA.....	23
1.3 PROCESSO QUÍMICO DE FIXAÇÃO DE IMAGENS	25
1.4 CONSIDERAÇÕES EXPERIMENTAIS.....	31
1.4.1 O FILME	31
1.4.2 O NEGATIVO	32
1.4.3 ANÁLISE DE MEV E EDS	33
1.4.4 OS RESULTADOS	35
CAPITULO II: PRINCIPIO FÍSICO DA CAMARA ESCURA	42
2.1 NATUREZA FÍSICA DA LUZ.....	42
2.2 PROPRIEDADES DA LUZ: REFLEXÃO E REFRAÇÃO.....	50
2.2.1 REFLEXÃO.....	50
2.2.2 REFRAÇÃO.....	53
2.3 FORMAÇÃO DE IMAGEM NA CAMARA ESCURA.....	55
CAPITULO III: ERA DIGITAL	59
3.1 A DUALIDADE ONDA-PARTICULA.....	59
3.1.1 COMPRIMENTO DE ONDA DO FOTON	62
3.2 O EFEITO FOTOELÉTRICO.....	62
3.3 CÂMERA FOTOGRÁFICA DIGITAL.....	65
CONCLUSÕES	72
REFERÊNCIAS.....	73

INTRODUÇÃO

Atualmente, vivemos em um mundo completamente cercado de tecnologias, de forma que nos acostumamos com o “aqui e agora” sem questionarmos quais princípios envolvem a funcionalidade daquilo que queremos ou precisamos naquele momento. A comunicação é um dos maiores exemplos desse avanço tecnológico, pois as mensagens são enviadas e recebidas instantaneamente.

O advento da internet trouxe para a população mundial, facilidade e agilidade na hora de comunicar-se, e com a introdução das redes sociais esse fato se tornou ainda mais evidente. Uma das formas de comunicação mais usadas nessas redes é a fotografia. Milhares de imagens são postadas todos os dias, todas comunicam sobre o que mostram e espalham-se instantaneamente mundo a fora, via rede mundial de computadores e ficam a disposição de todos. Analisando esse fenômeno, buscamos descobrir o que é uma fotografia, como é feita e como funciona uma câmera fotográfica, dessa forma, foi desenvolvido o tema do presente trabalho.

A câmera fotográfica é uma das mais populares invenções da humanidade. Uma fotografia é capaz de contar uma história e, muitas vezes, não precisa de legenda para a identificação da imagem. As obras cinematográficas surgiram com o advento da fotografia, pois, a palavra “Cinema” vem do grego: *kivnua* – cinema, que significa “movimento”. Que é a ideia de produzir, a partir de inúmeras fotografias, a impressão de movimento através de um equipamento capaz de projetar sucessivas imagens, chamado inicialmente de cinematógrafo. Essa ideia acabou dando origem à indústria cinematográfica (CAMPOS, 2007).

Álbuns antigos de família resgatam a importância das fotografias, pois elas nos fazem reviver memórias, sensações e momentos ao apenas olhar uma foto. Por outro lado, para a ciência, a fotografia tem imensa importância, pois não seria possível visualizar o “Cosmos” que é, nos dias de hoje, objeto de árduo estudo na procura de entender a origem do universo e seu funcionamento, se não tivéssemos o conhecimento da Luz como a temos hoje. Neste sentido, a utilização de instrumentos de observação, como o telescópio,

por exemplo, trouxe avanços para a ciência como na astronomia, registrando em forma de fotografias as imagens capturadas. Embora inicialmente fosse realizada por amadores, foi o cientista *John Harchel* quem cunhou o termo de *photography* ou *photograph*, no ano de 1839 (PERES & et al, 2008).

Em termos de aplicabilidade em uma única imagem podemos observar sistemas de complexidade desde escala(s) extremamente macroscópica(s) a extremamente microscópica(s). Comprovando assim, a demasiada importância da fotografia não só para o mundo, mas para a ciência e seu desenvolvimento. De fato, a fotografia é uma das mais importantes ferramentas utilizadas e desenvolvidas pelo homem para registrar momentos importantes, não só para registrar, mas também, para estudá-los de maneira mais abrangente.

A Palavra **fotografia** vem literalmente do grego $\phi\omega\varsigma$ [*fós*] ("luz"), e $\gamma\rho\alpha\phi\iota\varsigma$ [*grafis*] ("estilo", "pincel")¹. Juntas significam "desenho da luz". Ainda hoje, o termo *fotografia* está sendo manipulado para caber imagens digitais, mas em sua forma mais elegante, uma fotografia pode ser mais bem descrita como uma imagem razoavelmente estável feita pelo efeito da luz sobre uma substância ou produto químico. (PERES & et al, 2008).

É importante ressaltar que se a luz ou algum outro comprimento de onda invisível de energia não for usado para fazer a imagem final por meios químicos, não pode, por esta definição, ser uma fotografia (PERES & et al, 2008). Mesmo assim, a arte de registrar imagens tem-se expandido devido aos avanços da ciência. Um bom exemplo são as aplicações da mecânica quântica, como por exemplo, os fenômenos fotoelétricos e da dupla fenda, em que a natureza da luz é descrita através do princípio fundamental da dualidade onda partícula. Desta forma, tanto elétrons quanto luz, podem ser utilizados para registrar imagens, obtendo informações de tamanhos e morfologias em escalas microscópicas.

Muitas pessoas são amantes da fotografia, alguns a usam como profissão, outros por paixão. Fotografias são como memórias em papel; atualmente com as novas tendências trazidas pela internet através de redes sociais, as fotografias são muito bem aceitas e compartilhadas por todos. Porém, poucas pessoas conhecem sobre a construção e desenvolvimento da

¹ <https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Fotografia>

câmera fotográfica, qual o princípio físico que explica os fenômenos observados em seu funcionamento, como ela foi construída, como era a primeira câmera fotográfica do mundo, e assim por diante.

No capítulo um deste trabalho discute-se como tudo começou, onde e quando os primeiros indícios dessa arte apareceram, assim como as primeiras tentativas de explicar os fenômenos da luz e uma breve consideração experimental do filme fotossensível usado na câmera analógica. O capítulo seguinte trata de o que é a luz, alguns de seus fenômenos mais importantes, e seu comportamento na natureza. No terceiro e último capítulo, discute-se como a física moderna estuda, observa e explica a luz, qual sua importância para a ciência e seu desenvolvimento, e o que ela é capaz de fazer. Na última parte deste terceiro capítulo, entenderemos a culminância de tudo o que já foi visto ao longo deste trabalho, e assim, compreender como funciona uma câmera digital.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é apresentar um breve resumo do contexto histórico do desenvolvimento da fotografia, seus precursores, suas relações com os fenômenos físicos da óptica e da física quântica.

CAPITULO I: UMA BREVE HISTÓRIA DA FOTOGRAFIA

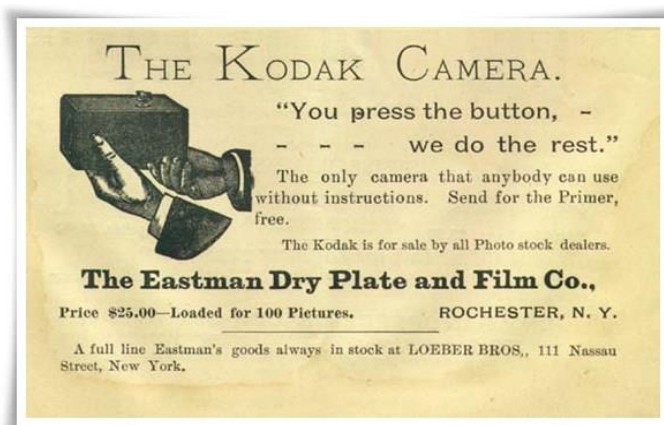
Desde os primórdios da humanidade, o comportamento e a organização da natureza, tem tirado o sossego do ser humano, de forma que este não se conformou em apenas observá-la e mergulhou fundo em seu descobrimento, utilizando a ciência para sua explicação. Partiu do dia em que seus ancestrais deixaram de ser nômades e coletores e passaram á lavradores e cultivadores (SOUSA, 2017). Desde então, não houve descanso até chegarem à conclusão de que tudo é feito de inúmeras partículas, às quais foi dado o nome de átomo. Com isso, entendemos como chegamos ao nível de conhecimento em que estamos, de modo que conhecemos alguns (ainda que poucos) dos segredos mais bem guardados da natureza.

Muito tempo se passou, inúmeras descobertas foram feitas em todos os ramos das ciências. Na Física, uma das mais importantes é a descoberta do átomo (ainda que seu conhecimento exista desde muito antes), que foi descrito em um modelo atômico, desenhado e postulado pelo físico inglês *Joseph John Thomson* (1856-1940), chamado “*pudding de passas*”, a partir daí muitos modelos foram postulados até chegar ao “*modelo planetário*”, mais aceito atualmente. A descoberta e estudo do elétron se deu em 1897 (aproximadamente), como a unidade de carga elementar proposta por *Hermann von Helmholtz* (1821-1894) e *George Johnstone Stoney* (1826-1911) muitos anos antes (MOREIRA, 1997). Tudo isso mostra o quão a ciência avançou e descobriu a natureza, ainda que seja uma pequena parcela.

Dentre os inúmeros fenômenos físicos que existem em todo o universo, nos deteremos em investigar um pouco mais sobre os quais permeiam a descoberta da fotografia. Esta passou por diversas etapas, desde a câmara escura até a digital, que tanto nos fascina hoje, de forma que quase não deixamos de “*clicar*” nas mais diversas ocasiões, pois, em quase todos os momentos, existe sempre uma câmara para registrá-lo, tal como a Kodak, uma grande empresa do ramo fotográfico, estimulava em seu slogan (figura 1):

“You Press the Button, We Do the Rest”
“Você aperta o botão, nós fazemos o resto”

Figura 1: cartaz de propaganda da Kodak, onde o slogan usado pela empresa para estimular a venda de máquinas apareceu pela primeira vez. Ele anunciava a câmera Kodak na primeira edição do *The Photographic Herald and Amateur Sportsman*, em novembro de 1889². O slogan (em português), “Você pressiona o botão, nós fazemos o resto” resumiu o sistema de filmagem instantâneo de George Eastman.



Fonte:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:You_press_the_button_we_do_the_rest\)\(kodak\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:You_press_the_button_we_do_the_rest)(kodak).jpg)

Para entendermos melhor como funciona o mundo da fotografia, precisamos iniciar pelo princípio de tudo, a LUZ. A partir do momento em que os filósofos tentaram explicar os fenômenos da luz, principalmente a visão, as explicações fornecidas neste sentido não foram poucas, sendo muitas delas hoje absurdas aos nossos olhos. Esses, porém, foram passos importantes na construção dos conceitos comprovados que temos hoje.

1.1 O QUE SE SABIA SOBRE A LUZ NO PERÍODO ENTRE ~300a.C e ~965d.C

Tudo começa com a luz. Mas, afinal, o que é a Luz? Desde os tempos mais antigos, o homem tenta explicar esse fenômeno, que é um dos mais belos e ao mesmo tempo, intrigantes, de toda a natureza. Segundo a ciência, o ser humano não sobreviveria em um mundo de escuridão, pois seu corpo necessita da luz solar para se manter vivo. As plantas necessitam de luz solar

² [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:You_press_the_button_we_do_the_rest\)\(kodak\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:You_press_the_button_we_do_the_rest)(kodak).jpg)

para fazer fotossíntese, a lua precisa de luz solar para brilhar durante a noite, e muitos outros fenômenos naturais que necessitam da luz do sol para existir. Assim, vê-se quão é importante termos a luz em nossa vida. Vamos descobrir como o processo de explicação dos fenômenos gerados pela luz teve início.

Na Antiguidade, entre os anos de 500 e 300 a.C muitos filósofos gregos tentaram explicar os fenômenos da luz. Entre eles, Demócrito (460-357 a.C), baseado na ideia atômica da luz, supôs que os olhos recebiam dos objetos uma “película” muito fina, que saía (dos objetos) sendo eles luminosos ou iluminados e permitiam que o cérebro identificasse suas formas e características, uma vez que os olhos estavam em contato com essa “película”. Elas seriam emitidas continuamente e constituíam-se por átomos, mantinham as características dos objetos e espalhavam-se para todos os lados (PONCZEK. & et al, 2002).

Empédocles (~490 a.C - 430 a.C), outro pensador, imaginava que os olhos emitiam uma espécie de “fogo” que ia até os objetos e enviava suas características ao cérebro para que este os identificasse (os objetos), mesmo que estivessem a grandes distâncias, como as estrelas, por exemplo (PONCZEK. & et al, 2002)

Aristóteles (~384-322 a.C) não aceitava essas ideias, pois entendia que esse “fogo” não poderia ser tão longo ao ponto de chegar a grandes distancias, ele explicava que a visão também poderia se comportar como um tipo de “contato”, sendo assim, poder-se-ia ver o objeto mesmo que este estivesse encostado no olho (PONCZEK & et al, 2002). Sabe-se que isso não ocorre, pois para enxergarmos com nitidez é necessário que se tenha uma determinada distância entre o objeto observado e o olho que observa, que para um olho normal é de aproximadamente 25 cm e para visões com algum problema, essa distância varia de acordo com o problema que o olho tenha³. No caso da Miopia, por exemplo, essa distância é menor quanto maior o grau de severidade da doença.

Aristóteles foi a primeira pessoa a admitir a ideia de que deveria existir um meio transparente entre o olho e o objeto permitindo que este fosse observado (PONCZEK & et al, 2002)

³ http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2013/11/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas_12.html?m=1

Outro pensador que tentou explicar os fenômenos da visão foi Platão (428-348 a.C). Ele dizia que a visão existia se o ambiente a volta de um objeto e da pessoa observadora, estivesse iluminado, permitindo que o olho emitisse o “fogo visual”, como ele denominou, interagindo com a iluminação externa e formando raios que eram enviados até os objetos, permitindo assim, que fossem visualizados pelo indivíduo que os observava. Essa hipótese era denominada de “Hipótese de Emissão”, e admitia que os olhos se comportavam como emissores de “tentáculos” para identificar as características dos objetos que eram observados (MARTINS, 2015)

Euclides (~325-265 a.C.) imaginava que o olho enviava um “feixe de raios visuais” que viajava pelo ar em linha reta e se espalhava até encontrar um objeto que estivesse em seu caminho. Cada um desses raios tocava um determinado ponto no objeto, permitindo que pela direção do raio se soubesse a posição do objeto observado.

Heron de Alexandria (~10-70 d.C) e Ptolomeu (~70 d.C) foram os primeiros a analisar essas informações usando a geometria já desenvolvida na época. Assim, o estudo da Reflexão e da Refração, usando espelhos e o estudo dos raios visuais em corpos translúcidos teve início. Porém, todas essas ideias foram derrubadas por *Abu`Ali al-Hasan ibn al-Haytham* (965-1040) ou *Ibn Al-Haytham*, popularmente conhecido como *Alhazen* (também soletrado Alhacen) (DANESHFARD & et al, 2014)

Na literatura ocidental, Alhazen era um árabe, político islâmico, médico, astrônomo, matemático, físico e filósofo (figura 2). Alhazen foi o primeiro pensador a admitir que se enxerga devido à luz e as cores, propôs ainda que os raios luminosos se propagam em linha reta, partem da superfície de cada objeto e são recebidos pelos olhos reproduzindo uma réplica em duas dimensões de suas formas. Para testar suas ideias a cerca da propagação retilínea da luz, Alhazen fez muitos experimentos, entre eles, usou uma tenda (funcionando como uma câmara escura) no deserto durante o dia empegando um pedaço de madeira como régua, assim confirmou tal hipótese (COSMOS: A SPACETIME ODYSSEY, 2014).

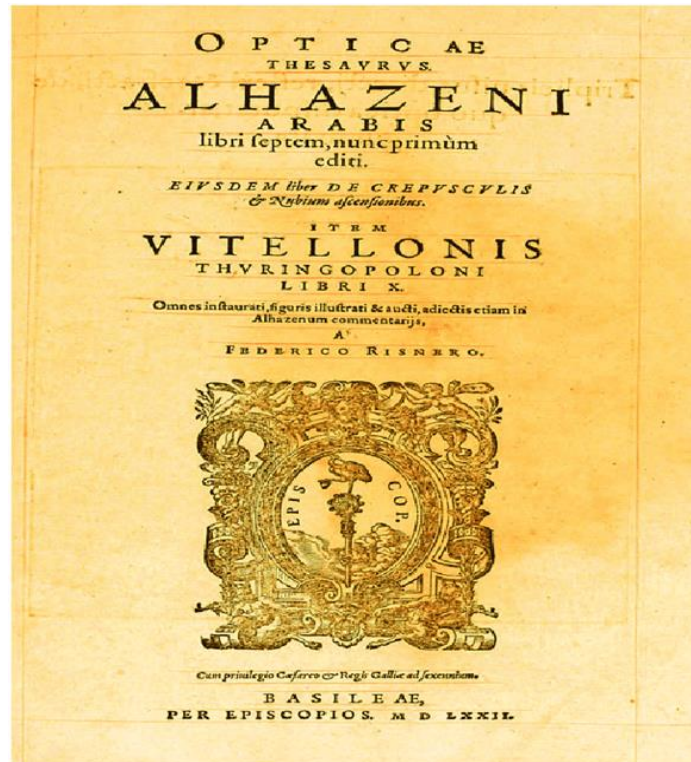
Figura 2: retrato de *Ibn al-Haytham* em uma nota de banco iraquiano, comprova o quão ele é importante não só para a comunidade científica, mas também para seu povo, que o venera.



Fonte: (DANESHFARD & et al, pg 228. 2014

Todos esses pensamentos de Alhazem foram publicados em seu livro denominado Livro de Óptica ou *Kitab al-Manazir* o qual foi traduzido para o latim em 1572 por *Friedrich Risner* (1533-1580). Alhazen foi homenageado no ano de 2005, denominado de “Ano Internacional da Luz”. Suas teorias não são mais aceitas (atualmente), porém, ele foi um dos primeiros contribuintes para as ideias que temos hoje. Alhazen fez sua própria câmara escura e constatou o que sabemos hoje sobre ela. O livro *Kitab al-Manazir* está posicionado logo depois do *Philosophia Naturalis* e *Principia Matemática* de Newton, e é considerado um dos livros mais influentes da física.

Figura 3: frontispício da tradução latina do Livro de Óptica de *Ibn Al-Haytham* intitulou *Thesaurus da Óptica* (Tesouros da Óptica), *Alhazeni Arabis Libri Septem* (*The Optic Treasure, Seven Arabic Books of Alhazen*) que foi publicado em Basileia, em 1572.



Fonte: (DANESHFARD & et al, pg 229. 2014)

Nesse livro, Alhazen defende que cada ponto de um objeto sendo este iluminado ou luminoso, emite luz e cor em todas as direções. Se o olho estiver diante de um objeto visível, havendo apenas uma substância transparente entre eles (olho e objeto), a luz e a cor do objeto, assim como, suas formas atingirão e penetrarão o olho; admite ainda que as cores e a luz causam resultados não satisfatórios ao olho, uma luz muito forte pode causar dores e danos que podem ser irreversíveis. (DANESHFARD & et al, 2014). Assim como, o efeito de luzes brilhantes que atingem o olho por um determinado período de tempo.

Olhando para um lugar escuro após se observar um corpo brilhante, não se pode ver bem durante um período de tempo. Da mesma forma, objetos coloridos também produzem efeito parecido nos olhos. Pois olhando para um objeto colorido por certo tempo e em seguida olhar para um lugar escuro, ainda

enxergamos as cores do objeto em forma de flechas de luz por um determinado tempo (DANESHFARD & et al, 2014). Vale lembrar, que Alhazen não foi o criador da câmara escura, apenas estudou como funciona e desenvolveu experiências com ela. Visto que ela existe desde muito antes.

Alguns dos primeiros registros da descoberta da câmara escura datam do século IV antes de Cristo, na china. Um pensador chamado Mo-Tzu (468 – 376 a.C.) teria sido o primeiro a observar uma imagem formada por um raio de luz no interior de um quarto escuro, o que é considerado um dos primeiros registros escritos da câmara escura da história, e a partir daí, passou á estudar o principio que rege tal comportamento da luz.

1.2 A CÂMARA ESCURA

Para termos o que sabemos hoje sobre a fotografia, foi necessário o estudo e a experimentação da câmara escura, pois ela é o princípio básico para a tecnologia fotográfica que temos hoje. Tudo o que existe nessa tecnologia, teve inicio com seu aprimoramento. Seu funcionamento depende da luz. Uma câmara escura, nada mais é do que uma caixa com um orifício em uma de suas paredes, permitindo a passagem de luz para formar a imagem de um objeto posto na frente do furo, na parede oposta ao furo.

O princípio de propagação da luz permite o bom funcionamento da câmara, pois raios de luz atingem um objeto propício e formam a imagem deste no interior da caixa. Essa imagem será real, invertida e de tamanho dependente de fatores como:

- O tamanho da caixa;
- A distância entre o objeto e a câmara;
- O tamanho do orifício, pois, se o orifício for grande, uma quantidade maior de luz passará e aumentará à imagem;
- Se for pequeno, poucos raios refletirão de poucos pontos do objeto.

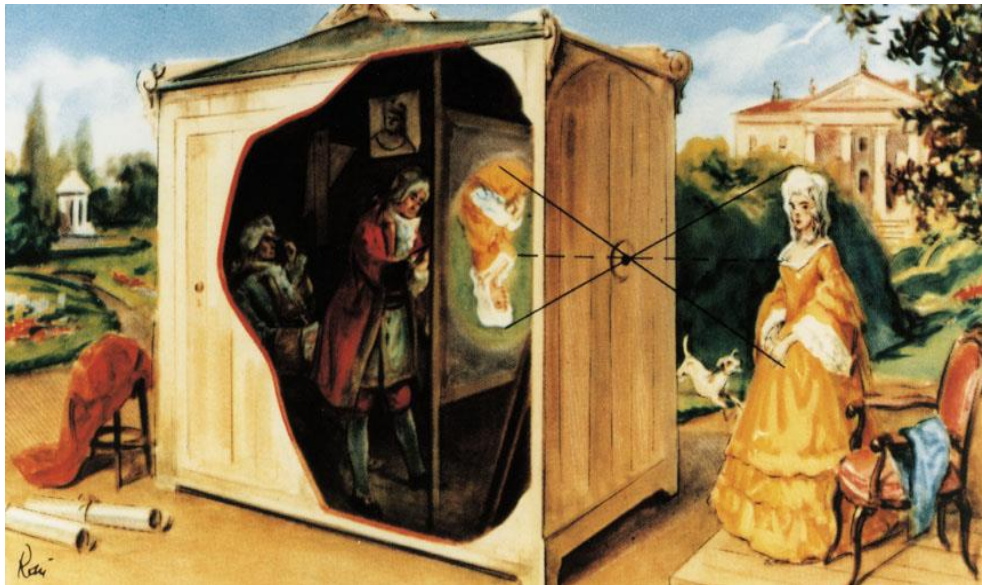
Figura 4: Representação esquemática dessa observação do fenômeno da câmara escura.



Fonte: (COSMOS: A SPACETIME ODYSSEY, 2014)

Não se pode afirmar a origem exata da descoberta da câmara escura, pois, relatos em muitos momentos na história, registram sua existência. Muitos artistas da pintura em várias épocas se aproveitaram dos resultados que a câmara proporcionava para fazerem telas e adquirir moldes para suas artes ao se posicionarem dentro dela, como a imagem 5.

Figura 5: criada por *Giovanni Battista Della Porta* (1535-1615) em seu livro de 1558 *Magiae Naturalis*.



Fonte: <http://oficinagrafica12q.blogspot.com.br/2011/09/modulo-8-fotografia.html>

1.3 PROCESSO QUÍMICO DE FIXAÇÃO DE IMAGENS

O processo químico capaz de registrar uma imagem deu-se a partir do momento que pesquisadores tiveram a ideia de registrar imagens sem a ajuda de tintas, como era feito (ver figura 5). Com as observações feitas com a câmara escura, deu-se uma corrida em busca de um material capaz de capturar essas imagens. A câmara escura proporcionou avanços quanto à formação da imagem no interior da caixa, por isso pode ser considerada uma câmara rudimentar.

Devido a fatores como, a relação entre o tamanho do orifício e a nitidez do objeto se tornou um sério problema para os pesquisadores. Além disso, o tempo de exposição do aparato a luz, fazia com que o material fotossensível escurecesse além do previsto, causando a degradação da imagem, ou seja, fazendo com que ela não fosse aproveitada pelos pesquisadores como uma imagem visível e satisfatória.

Com esse problema, outros métodos foram desenvolvidos para melhorar a imagem. O mais eficaz desses métodos, foi à utilização de uma lente,

colocada no orifício da câmara por *Girolamo Cardano*⁴ (1501-1575) em 1550 que utilizou uma lente biconvexa. Dando importância a refração do vidro, essa lente foi usada, pelo fato de uma lente biconvexa projetar os raios refletidos em um único ponto. Dessa forma, a imagem será mais nítida do que antes, quando não havia a lente na caixa⁵.

A partir desse ponto, muitas pesquisas na procura de fixação de imagem foram e materiais fotossensíveis foram iniciados. “Sensível à luz” é o que significa “fotossensível”, literalmente. Há muitos materiais com essa característica na natureza, alguns demoram muito tempo para se sensibilizarem a luz, enquanto outros, não.

Para que uma imagem seja gravada em um material, este precisa ser altamente fotossensível, pois do contrário não se obterá muito êxito. Por esse motivo, os pesquisadores que se dispuseram a encontrar materiais com essa característica iniciaram seus trabalhos pesquisando sais de prata, que eram materiais já conhecidos na época por sua capacidade de reagir (escurecer) ao interagir com a luz (DANESHFARD & et al, 2014). Esses compostos escurecem rapidamente com a interação da luz na mesma proporção em que são expostos a ela (de acordo com o tempo).

Algumas das primeiras imagens gravadas foram feitas por *Thomas Wedgwood* (1771-1805) que associado com o cientista *Sir Humphrey Davy* (1778-1829), publicou seus resultados e observações no *Journal of the Royal Institution* em 1802. *Wedgwood* e *Davy* produziram imagens de silhuetas de folhas e objetos em papel e couro branco revestido com nitrato de prata. Estes trabalhos foram importantes porque combina tecnologia fotoquímica com a única intenção de fazer imagens com luz. (PERES & et al, 2008).

Alguns anos depois uma acirrada corrida na procura por uma técnica eficiente de fixação de imagens em um determinado material foi iniciada, todos os pesquisadores tinham um mesmo objetivo, encontrar um material fotossensível capaz de registrar imagem de forma fixa. Dentre esses pioneiros podemos citar a sociedade entre *Joseph Nicéphore Niépce* (1765-1833) e *Louis Jacques Mandé Daguerre* (1787-1851), em Paris na França. *Niépce*

⁴ Documentário A Arte e a Ciência da Fotografia

⁵ http://pt.wikipedia.org/wiki/camara_escura

pesquisador e *Daguerre* pintor com um mesmo objetivo. Até esse período, Niépce ainda fazia estudos com um material chamado Betume da Judeia, material inflamável obtido em processos naturais ou na destilação do petróleo⁶.

Figura 6: Em 1826, Niépce fez a primeira foto do mundo atualmente reconhecida pela história dessa arte, no quintal de sua casa na França chamada de "*View from the Window at Le Gras*". Feita em placa metálica com impressão de prata de gelatina, medindo 20,3cm por 25,4cm (PERES, et al. 2008).



Fonte: (PERES, et al. 2008)

Com modernas técnicas de "clareamento", conseguiu-se uma cópia de "*View from the Window at Le Gras*", feita por *Helmut Gernsheim* no *Kodak Research Laboratory* em Harrow, Inglaterra, 20 a 21 de março de 1952. A imagem é mais nítida que a original e pode-se ver um maior número de detalhes.

Figura 7: Segunda versão de "*View from the Window at Le Gras*"



Fonte: (PERES, et al. 2008)

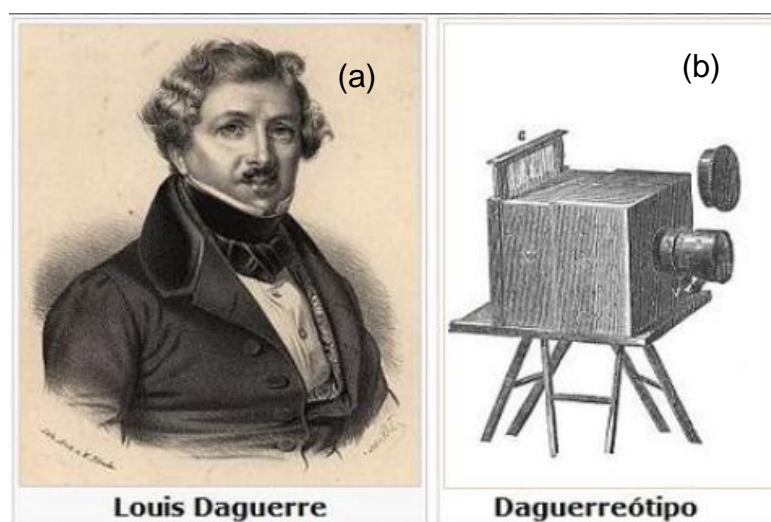
⁶ <http://pt.m.wikipedia.org/wiki/Betume>

Apesar de o tempo de fixação da imagem ser considerado suficiente, ainda era difícil gravar, devido à sensibilidade do betume; o tempo de exposição do modelo fotografado ainda continuava enorme, com tempo estimado em cerca de 10h (PERES, et al. 2008). Além disso, o óleo do betume da Judéia (composto mineral usado para ajudar a fixar a imagem desejada e impedir que evaporasse além do necessário) evaporava devido à exposição à luz, e a chapa ficava inteiramente seca. Essa técnica ficou conhecida como “Heliografia”, ou “escrita do sol”.

Por outro lado, Daguerre, já utilizava a câmara escura em suas pinturas e ambos já estudavam as lentes para aprimorar seus resultados. Após a morte de Niépce, Daguerre continuou suas pesquisas utilizando os estudos e resultados de Niépce. Daguerre passou a estudar os sais de prata e deixou o progresso feito com o betume da Judeia. A partir daí, a prata halógena⁷, passou a ser seu objeto de estudo. As placas eram expostas na câmara escura, sensibilizadas com vapor de iodo, formando um manto de iodeto de prata sensível à luz. (PERES, et al. 2008)

Os resultados obtidos por ele foram tão satisfatórios que em 19 de Agosto de 1839, a academia de ciências de Paris reconheceu o invento e o chamou de “Daguerreótipo”.

Figura 8: imagem (a) Louis Daguerre. Imagem (b) desenho da câmera usada por ele.



Fonte: <http://fotos.sapo.pt/topazio1950/pic/000xh1ea>

⁷ <http://pt.m.wikipedia.org/wiki/Prata>

Outro pesquisador que buscava os mesmos objetivos foi *William Henry Fox Talbot* (1800-1877) que, ao saber que Daguerre havia publicado seu trabalho e que este era relevante na academia de ciências, “apressou-se em publicar seu próprio processo de desenho fotogênico, em um relatório intitulado ‘Algumas contas da arte do desenho fotogênico’” (PERES, et al. 2008).

É importante salientar que nos primeiros anos pós-descobrimto do princípio de formação de imagem, a maioria das pessoas não tinha acesso a uma câmera fotográfica como o temos hoje, devido aos altos custos da produção de uma imagem, de tal forma que apenas os ricos podiam fotografar. Na segunda metade do século XVII, com o avanço que a fotografia obteve, muitas pessoas viam um mercado lucrativo com ela, pois, ainda era bastante caro para fazer uma foto, por esse motivo, as fotos eram guardadas como joias em cofres. “Eram peças únicas, em média, o preço de uma placa, em 1839, era de 25 francos-ouro. Não raro, eram guardadas em estojos, como joias” (BENJAMIN, 1985, p. 93).

Figura 9: câmara Mamute, construída para fotografar um trem em movimento (toda a locomotiva) criada em 1900 pelo fotógrafo George Raymond Lawrence, a pedido da *Chicago & Alton Railway*. Ela foi considerada a maior câmera fotográfica do mundo, e necessitava de 15 pessoas para operá-la.



Fonte: http://obviousmag.org/archives/2010/01/camera_mamute.html

Já no século XIX, ter uma imagem gravada em um material capaz de resistir ao tempo era algo muito desejado pelas pessoas, no entanto, o tempo necessário para se registrar uma imagem se tornou algo negativo para a fotografia, pois para que a imagem fosse nítida eram necessárias algumas horas em frente ao daguerreótipo (PERES, et al. 2008). Por esse motivo, a técnica precisou ser aperfeiçoada, pois o público exigia que o tempo de exposição fosse diminuído de horas para minutos. O aperfeiçoamento se deu da seguinte forma: sensibilização da prata com iodeto de prata e vapor de bromo, de maneira alternada (PERES, et al. 2008).

A partir dessas mudanças muitas outras foram feitas para que a técnica de fixação de imagem fosse bem sucedida e tivesse mais adeptos. Em uma ordem cronológica, essas técnicas foram:

1. Período dos negativos em vidro de colódio úmido e das provas de albumina (1855-1880):
 - Negativos em vidro de albumina; Negativos em vidro de colódio úmido; Positivos diretos de colódio úmido: o Ambrótipo e o Ferrótipo; A impressão dos negativos de colódio: as provas de albumina; O processo de impressão em albumina; A impressão em papel de carvão; A impressão em papel de platina; Negativos em vidro de colódio seco. (PAVÃO, 1997)
2. Período dos negativos em vidro de gelatina e brometo de prata e das provas em papel direto de fabricação industrial (1880-1910). (PAVÃO, 1997)
3. Período dos negativos em película e das provas em papel de revelação (1910-1970):
 - Negativos em película; Película de nitrato de celulose, O papel de impressão de revelação. (PAVÃO, 1997)
4. Período da fotografia a cores cromogénea (1970- hoje):
 - O Autochrome; o processo a cor de rede; o Kodakchrome; acopladores na emulsão ou no revelador; o Ektachrome; processo positivo-negativo; branqueamento de corantes. (PAVÃO, 1997)
5. Fotografia instantânea: processos de difusão. (PAVÃO, 1997)

Dessa forma, a fotografia alcançou o patamar que conhecemos hoje e, como vimos, não foi um processo simples. Cada período exigiu muito esforço dos pesquisadores que se empenharam em descobrir e desenvolver essa técnica que foi tão difundida durante o século XX.

O produto encontrado que ganhou o mercado e a paixão das pessoas pela fotografia por muitos anos foi o filme fotográfico, por esse motivo, faremos uma análise com microscópio eletrônico de varredura para entendermos melhor a morfologia e composição química dele, ou seja, que substância foi encontrada ou desenvolvida para se obter o melhor resultado possível no processo da fotografia.

1.4 CONSIDERAÇÕES EXPERIMENTAIS

1.4.1 O FILME

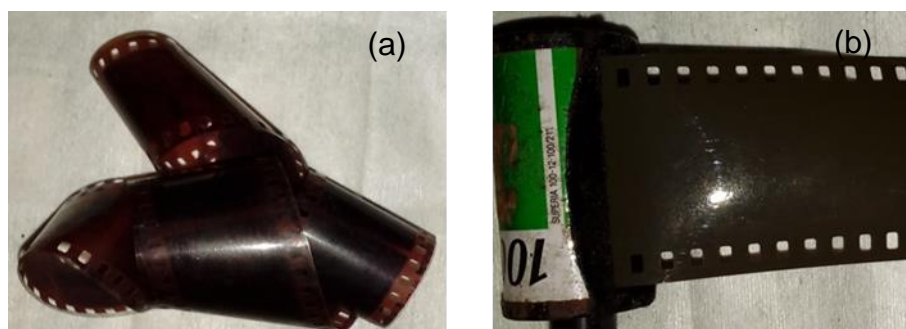
O filme fotossensível fotográfico foi patenteado por *George Eastman* (1854-1932) em 1884. Os primeiros filmes eram feitos com uma base de papel e a partir de 1887 em base de celulóide, que se tornou o material responsável por receber a camada fotossensível do filme.

Abaixo, têm-se imagens de dois filmes, sendo:

- Filme (a): após revelação da fotografia;
- Filme (b): não utilizado para fazer fotos, porém, já exposto á luz.

Figura 1.10:

Figura 10: exemplo de filmes fotossensíveis utilizados em câmeras analógicas.



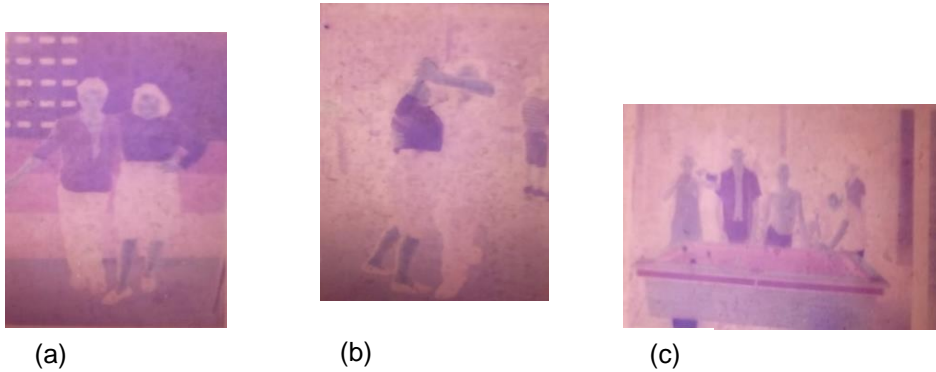
Fonte: própria.

1.4.2 O NEGATIVO

O negativo de uma imagem é a gravura que fica no filme fotossensível, após a luz registra-la. Essa imagem é chamada de Imagem Latente.

Abaixo se tem algumas imagens de negativos do filme após a revelação das fotos. O tempo se encarregou de tirar um pouco da nitidez dos negativos.

Figura 11: Exemplos de imagens de negativos.



Fonte: própria.

O filme que mostra as imagens acima foi analisado por Microscopia Eletrônica de Varredura no LFEC UFPA, campus de Belém. Esta análise tem por objetivo descobrir e identificar a estrutura morfológica e mineral deste material.

Figura 12: Negativo a ser analisado. Nota-se que existem seis pessoas na imagem, entre elas, uma criança pequena, bem no centro, logo abaixo. Essa foi a parte do filme escolhida para ser cortada e analisada.



Fonte: própria

Para essa análise foi realizada a seguinte metodologia: uma pequena parte do filme foi cortada e lavada com álcool por nove minutos no Ultrassom, com o intuito de limpá-lo de impurezas externas.

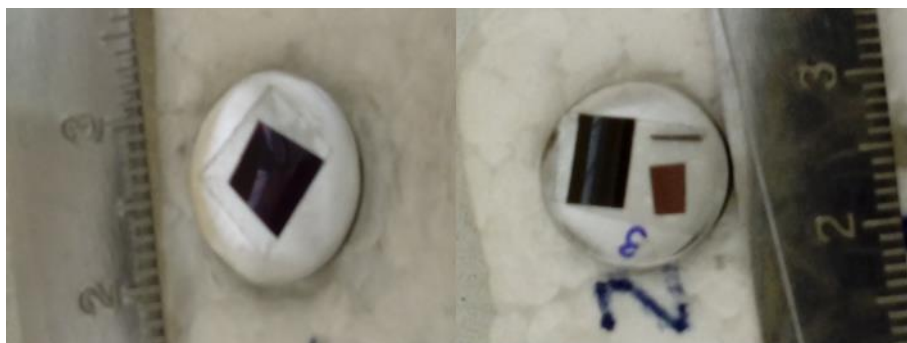
Abaixo, têm-se imagens panorâmicas do substrato da amostra do filme não utilizado para fotografar na imagem (a). Na imagem (b) têm-se três amostras do filme usado para fotos.

Nessa imagem (b), nomeiam-se as amostras da seguinte forma:

- 1, substrato do filme, feito de plástico.
- 2, parte sensibilizada do filme.
- 3, filme perpendicular ao substrato.

Esses materiais foram analisados com o objetivo de identificar as mudanças morfológicas ocorridas após serem expostos à luz e a produtos químicos (revelação da foto).

Figura 13: Amostras do filme fotossensível após serem cortadas. Tem-se uma dimensão de seus tamanhos.



Fonte: própria.

1.4.3 ANÁLISE DE MEV E EDS

Com o desenvolvimento do microscópio, analisar elementos em escalas muito pequenas se tornou fundamental para o entendimento do comportamento da natureza que não vemos. Por esse motivo, buscou-se neste trabalho, trazer um pouco desse “mundo” tão pequeno e de fundamental importância para nós.

Primeiramente, as amostras foram postas em uma Metalizadora, onde foi depositada uma fina camada de ouro na sua superfície. Esta fina camada

permitirá uma melhor condutividade eletrônica na superfície do material, favorecendo uma melhoria nas imagens feitas pelo microscópio.

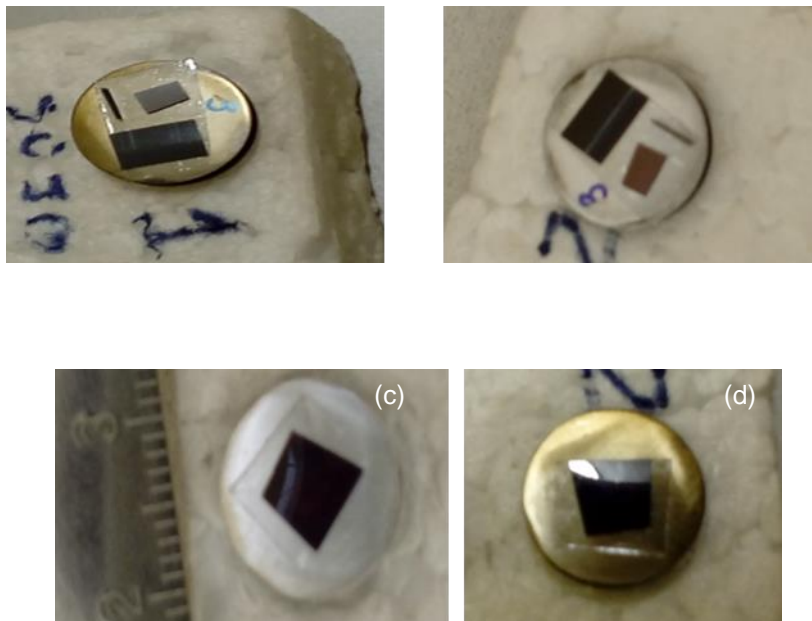
Figura 14: Metalizadora acoplada a uma bomba de vácuo.



Fonte: própria no LFEC UFPA.

Ao saírem da Metalizadora⁸, as amostras ficaram em repouso por algum tempo. É possível notar certa diferença na coloração das amostras. Antes (imagem (a)), elas possuíam uma coloração, e após o processo (imagem (b)), tiveram sua coloração alterada. Ambas as amostras são do filme usado em fotos.

Figura 15: amostra antes e depois da metalização.



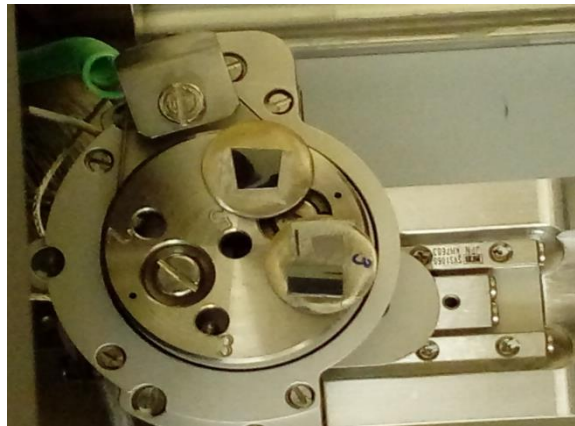
Fonte: própria obtida no LFEC UFPA.

⁸ Máquina a vácuo usada para auxiliar no processo de metalização do material à ser analisado.

Nas imagens (c) e (d), tem-se o filme não usado para fotografar, antes e depois da Metalizadora (respectivamente). Essa amostra também teve sua coloração alterada.

Após todo esse processo, as quatro amostras foram para análise no M.E.V. como mostra a imagem abaixo.

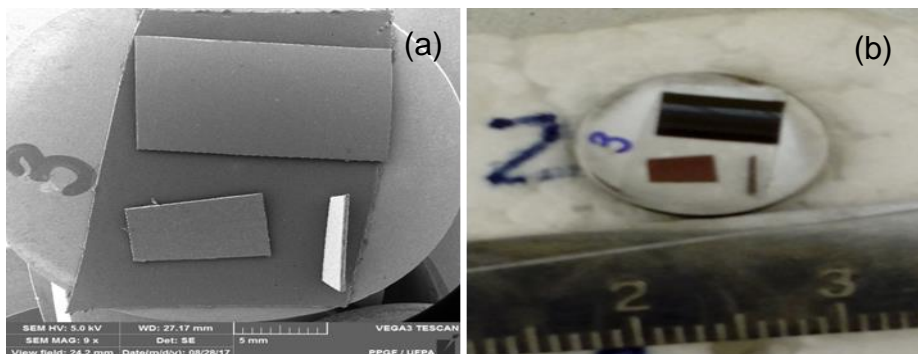
Figura 16: Amostras no porta amostras do microscópio.



Fonte: própria obtida no LFEC UFPA.

Uma imagem panorâmica das amostras foi feita para identificar as dimensões de cada uma. Foram postas juntas para fins de comparação das duas imagens.

Figura 17: imagem (a), feita dentro do microscópio. Imagem (b) antes de serem postas no M.E.V.



Fonte: M.E.V (imagem a). Própria (imagem b).

1.4.4 OS RESULTADOS

Dentro do microscópio, cada amostra foi analisada individualmente para que a análise fosse bem sucedida. Primeira amostra analisada foi o filme já usado em fotos.

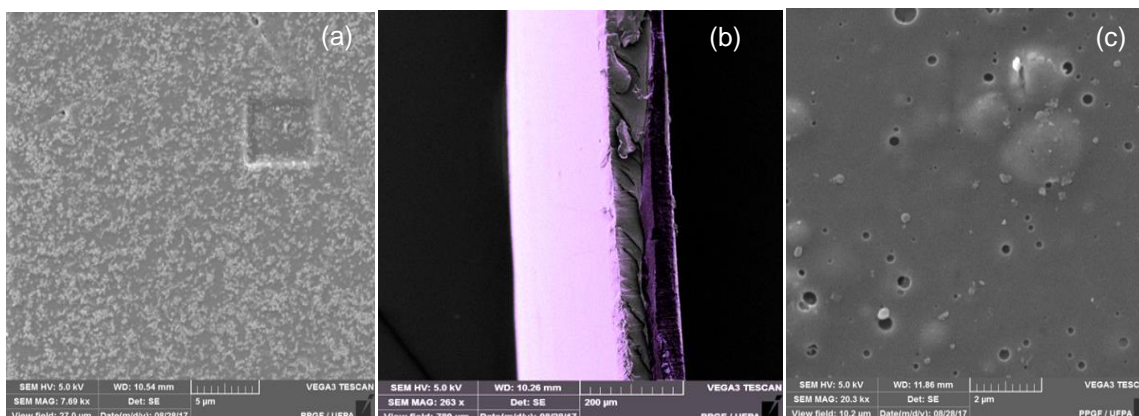
Ao alcançar uma escala reduzida de medida, começa-se a notar diferenças na morfologia do material, causadas pela incidência da luz sobre ele, e pelo processo químico responsável por revelar a foto do negativo.

Na figura 18, tem-se a comparação dos dois lados do filme. A imagem (a) mostra o substrato do filme (lado plástico), ou seja, lado onde é depositado o material fotossensível responsável por registrar a imagem ao interagir com a Luz. Nessa imagem veem-se pontos brancos. Pode-se ver também um pequeno quadrado no canto superior direito da imagem, ele foi causado pelo feixe de elétrons que interagiu nessa região durante a análise. Pois, ao posicionar o feixe de elétrons nesse local, imediatamente essa deformação foi constatada.

Na imagem (b) tem-se o corte transversal do filme sobre o substrato, posto assim com intuito de determinar a espessura do filme. Pode-se notar que esse material é sensível (inclusive) ao corte da tesoura, pois ao ser cortado ele apresentou deformações na forma de rasgos em todo lado esquerdo do próprio filme, enquanto que o lado direito permanece intacto em sua estrutura interna. A coloração da imagem foi feita no programa Fiji-ImageJ para distinguir filme e substrato.

Na imagem (c) temos o material fotossensível, que registra a imagem da foto desejada. Nela podemos ver bolhas formadas, pequenas partes do material foram arrancadas e buracos apareceram (pontos pretos na imagem). Percebemos que o material parece ter sido “fervido” pela luz. Esse lado do filme registra a imagem desejada ao receber a luz incidente. Os dois lados indicam que a luz penetra profundamente o material, e muda sua morfologia. Concluimos nesse caso, que os dois lados do filme são completamente diferentes, possuem morfologias diferentes, inclusive a olho nu.

Figura 18: imagens comparativas dos dois lados do filme. Imagem (a) substrato, imagem (b) filme transversal, imagem (c) lado fotossensível.



Fonte: M.E.V. LFEC UFPA.

Vale lembrar que as imagens (a), (c) e (b) foram feitas nas amostras 1, 2 e 3 respectivamente, explicadas na figura 12.

Na figura 19 temos uma análise em EDS (energy dispersive x-ray detector ou EDX) na amostra do filme. Ela consiste de um auxílio muito importante para análise química, morfológica e mineral dos materiais que compõe a superfície do nosso objeto de estudo, o filme fotossensível. Ao incidir sobre o material, o feixe de elétrons lançado excita os elétrons dos níveis energéticos do material.

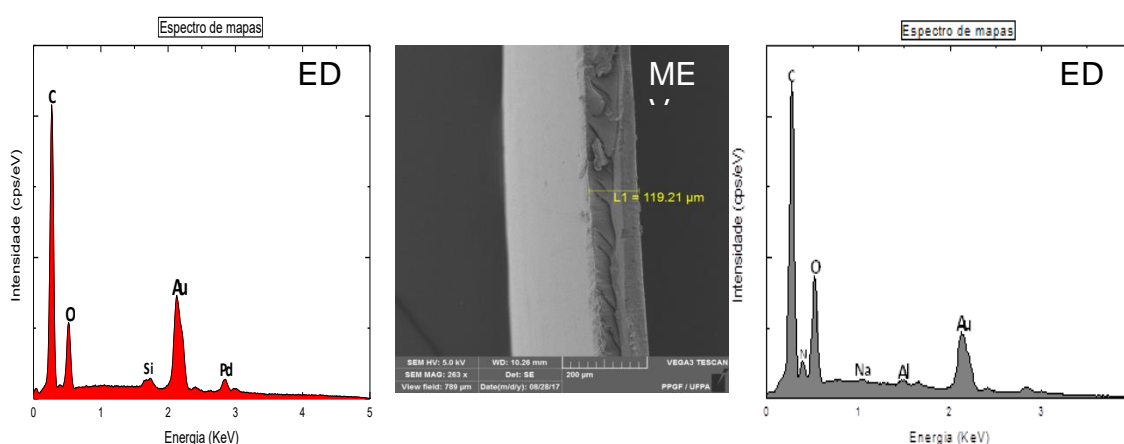
Os elétrons dos níveis mais externos que estão fracamente ligados ao núcleo do átomo são mais facilmente arrancados ao receberem a energia lançada e saltam para outro nível. Ao voltarem para os níveis iniciais, eles liberam a energia recebida, que é emitida em comprimento de onda na faixa dos raios-x.

Na figura 20, tem-se três imagens. A imagem (a) mostra a análise do substrato do filme. Vários compostos aparecem, o mais comum deles é o Carbono. Nele podemos ver que em comparação com a outra análise, há ausência de Nitrogênio, o que indica que o material (onde há ausência) não é fotossensível, logo, concluímos que este é o substrato do filme. Na imagem (b) a escrita em amarelo é a medida exata da espessura do filme igual a

119,21 μm . Nessa escala podemos ver que o filme é formado por dois materiais diferentes.

Na imagem (c) temos a análise do lado fotossensível do filme. Nele vemos que diversos materiais aparecem inclusive o Nitrogênio, isso indica que este é de fato o lado fotossensível. É importante lembrar que o ouro que aparece na análise é devido à metalizadora, ele não faz parte da composição química do filme.

Figura 19: imagem (a), análise gráfica do substrato do filme; imagem (b), espessura do filme; imagem (c) análise gráfica do lado fotossensível do filme.



Fonte: M.E.V. LFEC UFPA.

Os resultados dessas análises forma registrados em tabelas, dado pelo EDS. Cada tabela indica o nível de concentração em porcentagem em massa de cada elemento na amostra, assim como a incerteza no cálculo das quantidades. A concentração em porcentagem é representada por Wt%, e a incerteza é representada por Sigma Wt%. Os elementos descritos nas tabelas são representados pelas letras que os representam na tabela periódica.

Em cada tabela temos que: cada pico no gráfico representa um nível de energia na amostra. Os picos maiores são os níveis de energia mais externos, onde os elétrons são mais facilmente arrancados ao serem excitados quando recebem um pacote de energia. Enquanto que os picos menores são os níveis internos, onde os elétrons são mais fortemente atraídos pelo núcleo do átomo.

Ao receberem um pacote de energia, os elétrons são excitados e saltam de um nível energético para outro, ao perderem essa energia eles

voltam para seus níveis iniciais, esse comportamento permite que a análise seja bem sucedida. Quando o microscópio lança o feixe de elétrons sobre o material, os elétrons já existentes recebem a energia lançada e esse fenômeno da mudança de nível energético pelos elétrons ocorre.

Tabela 1.1: concentração em massa dos elementos químicos na superfície do substrato.

Elemento	Wt%	Sigma Wt%
C	38,07	0,81
O	14,69	0,33
Si	2,57	0,18
Au	44,67	1
Total:	100	

Tabela 1.2: concentração em massa dos elementos químicos na superfície do lado fotossensível. Nota-se a presença do elemento Nitrogênio.

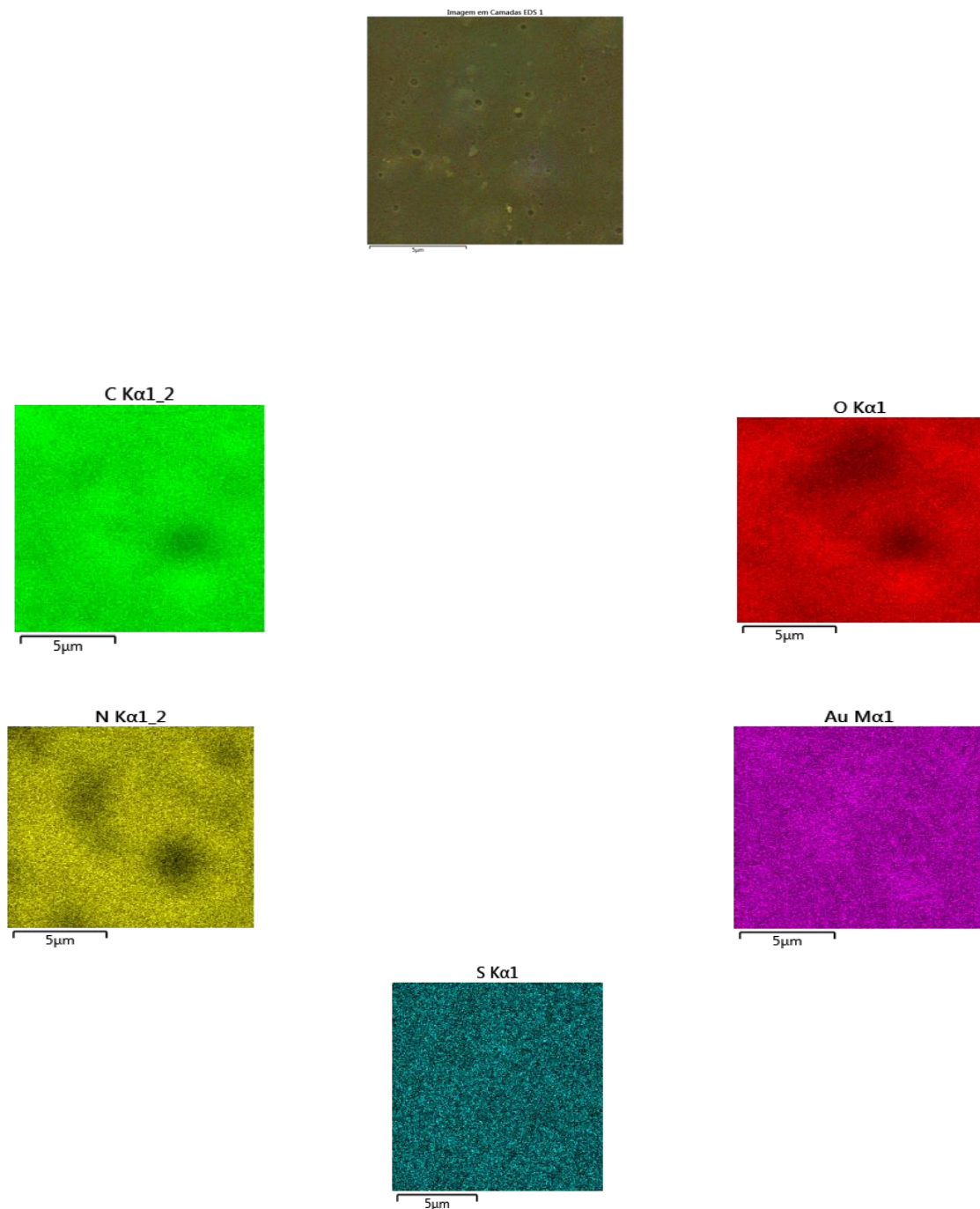
Elemento	Wt%	Sigma Wt%
C	62,84	0,44
N	9,23	0,48
O	25,88	0,3
Na	0,54	0,12
Al	1,51	0,16
Total:	100	

As imagens abaixo são da superfície fotossensível do filme, onde o negativo é gravado. Nelas, vemos que o elemento químico, o Nitrogênio aparece. Ele aparece em amarelo na imagem. Logo em seguida, estão os elementos em imagens separadas. Cada cor representa um material diferente.

Cada elemento possui um tipo de átomo, durante o processo de análise o microscópio reconhece os átomos presentes e determina o elemento químico presente na amostra.

Figura 1.20

Figura 20: Representação de cada elemento presente na amostra. Cada cor indica um elemento.



Fonte: M.E.V. LFEC UFPA

Conclui-se, portanto, que depois de muito estudo, o objetivo dos pesquisadores foi alcançado. O material capaz de gravar imagens feitas pela luz foi desenvolvido. A morfologia desse material mostrou-se basicamente simples aos nossos olhos, porém, de grande relevância para a fotografia, visto que por muitos anos essa estrutura morfológica foi o responsável por registrar

momentos felizes (ou não), em papel, pois, muitas vezes, o tempo se encarrega de tirá-los de nós, das nossas memórias. Aí está a importância da fotografia, registrar aquilo que esquecemos, pois elas têm valor sentimental imensurável em nossas vidas.

O filme fotossensível se tornou um artigo de luxo e ainda assim, popular. Porém, nas últimas décadas, seu precioso e merecido lugar lhe fora tirado, com o advento da fotografia digital.

Logo, o filme é de certa forma um artigo de museu, por já não ser usado há bastante tempo, desde a chegada da digitalização. Seu desuso se deu da mesma forma que seu uso, ou seja, na mesma “velocidade” com que ele fez sucesso com os fotógrafos e sociedade em geral, logo deu quase que total lugar ao esquecimento.

CAPITULO II: PRINCIPIO FÍSICO DA CAMARA ESCURA

“E disse Deus: ‘haja luz’, e houve luz” (Gênesis, 1° 3).

Esta é com certeza, uma das mais conhecidas e discutidas frases da Bíblia no mundo todo, principalmente entre a ciência e o criacionismo, sendo motivo de muita discussão e debates. A ciência se utiliza de argumentos, principalmente, da famosa teoria do “big bang”, muito bem aceita no meio científico, para defender sua hipótese, de que o universo teve início a partir de uma grande explosão de uma partícula superinstável (STEINER, 2006) enquanto que a Bíblia afirma a criação do universo sendo Deus o criador de tudo que conhecemos, inclusive a própria luz, independente de qual seja a nossa crença, em uma coisa temos que concordar, em algum momento, a luz teve um início, assim como todo o universo.

2.1 NATUREZA FÍSICA DA LUZ

Mas, afinal, o que é luz? Como se comporta? De que é feita? São perguntas que muitos cientistas já fizeram, e após muito tempo de estudo, obtiveram respostas.

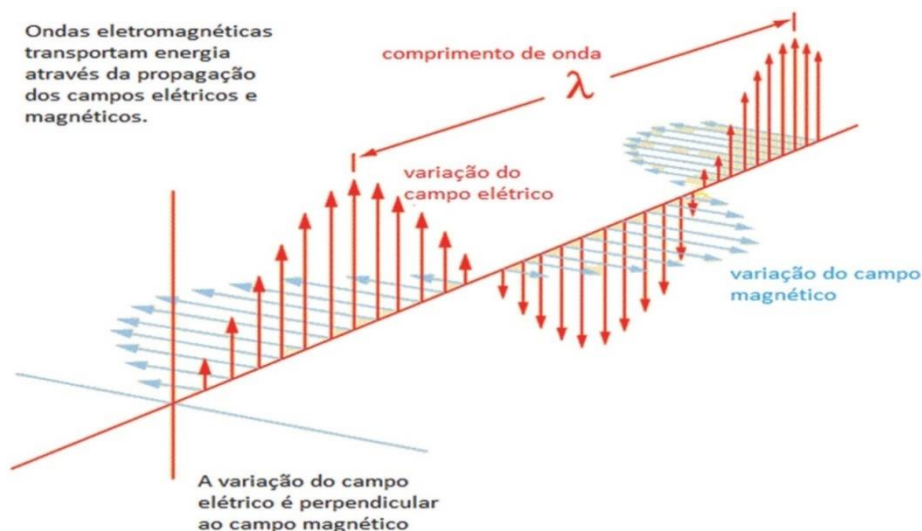
Pode-se resumir que a luz é uma onda eletromagnética que se propaga em um meio homogêneo ou no vácuo a uma velocidade c , que é dada por $3 \times 10^8 \text{m/s}$. Por ser uma onda eletromagnética, a luz não necessita de um meio material para se propagar. Porém, quando propagada em um meio material, sua frequência (f) permanece constante e o que muda é seu comprimento de onda (λ), este fato dá origem à definição do índice refração (η) dos materiais pelo qual a luz se propaga.

Pode-se dizer também, que o entendimento da natureza eletromagnética da luz teve sua origem com *Michael Faraday* (1791-1867) quando em 1831, através da experimentação, descobriu que o campo elétrico tem ligação direta com o campo magnético. Isso significa que o campo elétrico gera o campo magnético e vice-versa. Esses campos são perpendiculares entre si e perpendiculares à propagação da onda (ver figura 21)

Em seguida, a contextualização matemática foi atribuída a *James Clerk Maxwell* (1831-1879), que condensou o conhecimento da época (século XIX) e

os plasmas no livro chamado *A Treatise On Electricity & Magnetism*.

Figura 21: representação esquemática dos campos Magnético (em azul) e Elétrico (em vermelho).

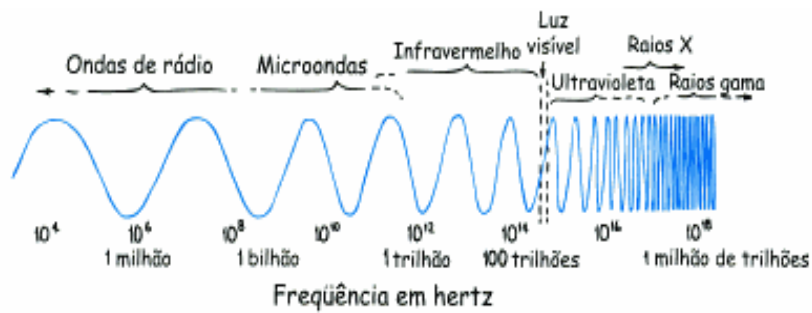


Fonte: <http://www.scielo.br/img/revistas/rbef/v37n4//0102-4744-rbef-37-4-4206-gf02.jpg>

As ondas eletromagnéticas possuem um espectro bastante amplo que vai desde o ultravioleta, que é uma frequência extremamente alta com um comprimento de onda muito curto; passando pelo espectro visível, onde se encontra a gama de cores encontradas na dispersão da luz, que é a faixa visível aos nossos olhos; ao infravermelho, (aproximadamente duas vezes menor que a luz na faixa do ultravioleta) que possui um comprimento de onda muito grande e uma frequência baixa (ver figura 22).

No caso da luz visível, a que os nossos olhos estão adaptados, possui uma frequência que cai dentro de uma faixa particular de frequências, de 4,3 μ m a 7,0 μ m vibrações por Segundo. (HEWITT, pg 441. 2002). A luz de menor frequência é vista como luz vermelha e as frequências mais altas são vistas como luz violeta. Maxwell descobriu que independente da frequência da onda eletromagnética, a sua propagação é à mesma velocidade que a luz. Na imagem abaixo se tem uma representação esquemática que partindo dos Raios Gama e indo para a direita, o comprimento de onda vai aumentando, enquanto que a frequência vai diminuindo.

Figura 22: Representação esquemática do espectro de energia.

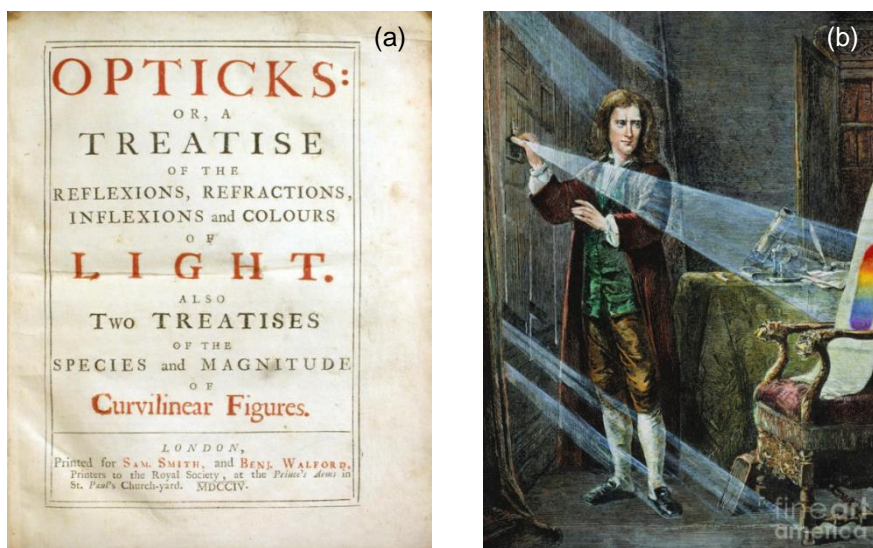


Fonte: (HEWITT, pg 441. 2002)

Atualmente, está bem clara a natureza dual da luz, isto é, ora comportando-se como onda e ora como corpúsculo. De forma simples, diz-se que o comportamento da Luz varia de acordo com as situações em que ela é colocada. *Isaac Newton* (1643-1727) foi um dos principais pesquisadores a respeito da natureza da luz. Seus estudos relacionavam teoria e experimentação científica através do que pôde descrever experiências que o levaram a afirmar, por muito tempo, que a Luz é composta por pequenas partículas as quais chamou de “Corpúsculos”.

Em “Óptica”, livro publicado em 1704, Newton descreveu experiências revolucionárias com a luz, entre elas a “Decomposição da luz” usando um prisma. Isaac Newton mediu o comprimento de onda para cada cor e descobriu que cada cor corresponde a um comprimento de onda bem definido, de forma que tais medições são as mesmas usadas atualmente.

Figura 23: capa da primeira edição de *Opticks* (1704), Um Tratado das Reflexões, Refracções, Inflexões e Cores da Luz (imagem a). Na imagem (b) tem-se uma representação em pintura de Newton no momento em que a luz é decomposta por um prisma em suas mãos.

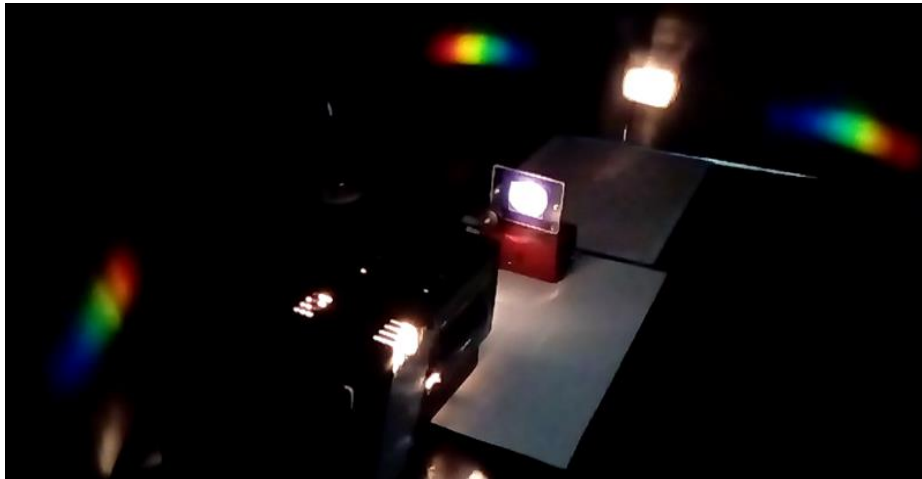


Fonte: imagem (a) <https://no.m.wikipedia.org/wiki/Opticks>

Imagem (b) <https://enciclopediadafisica.wordpress.com/category/optica/>

Essa dispersão está associada ao índice de refração da luz incidente. Isso significa que ao passar de um meio para outro, a luz sofre um desvio na direção de sua propagação. Cada cor do espectro visível corresponde a um comprimento de onda, isso significa que em um prisma, por exemplo, cada comprimento de onda se propaga em uma velocidade diferente. A luz vermelha, por ter o comprimento de onda maior, se propaga mais rápido que as demais. Enquanto que a luz violeta, por ter o comprimento de onda menor, se propaga em menor velocidade que as demais.

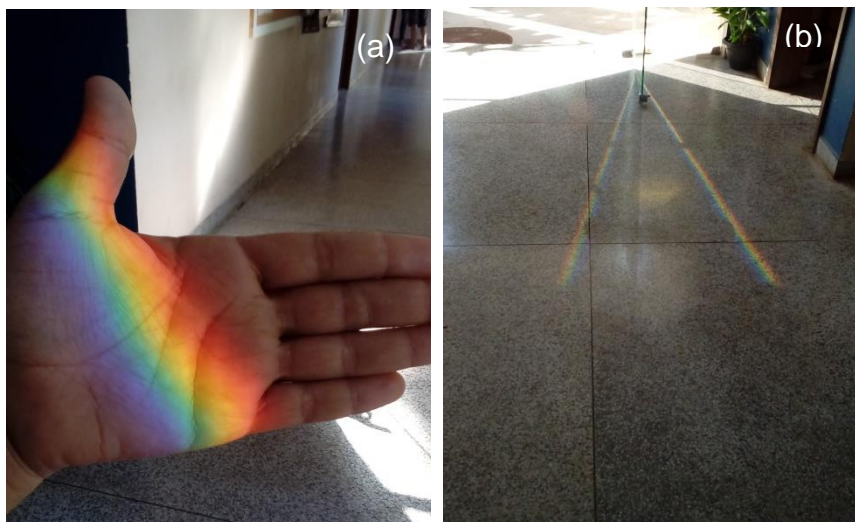
Figura 24: decomposição da luz feita em laboratório. A placa de vidro usada nessa experiência proporciona esse fenômeno, por ser formada de inúmeras grades micrométricas em seu interior, faz com que a luz seja decomposta ao passar por entre elas, refletindo e refratando as cores decompostas na parede do aparato.



Fonte: própria. Laboratório de física da UFPA, campus de Abaetetuba.

O resultado da experiência de Newton foi o espectro visível e colorido que se conhece hoje. Ele descreveu a luz como partícula para explicar o efeito de decomposição do espectro da luz branca. Abaixo apresenta-se o espectro visível observado em diferentes lugares no campus de Abaetetuba. Essa dispersão é devido aos contornos da vidraçaria da porta que funciona como prisma. Assim, foi possível observar com boa nitidez cada uma das cores do espectro visível.

Figura 25: Fotografias obtidas no campus de Abaetetuba. A imagem (a) mostra a decomposição de a luz solar em diversas cores nitidamente visíveis. A imagem (b) mostra que o raio de Luz é decomposto ao atravessar o canto polido da porta de vidro, é possível ver as cores separadas no chão a frente da porta.



Fonte: própria.

No entanto, antes que Isaac Newton descrevesse a luz como partícula, outro cientista a havia descrito como “onda”, sendo este *Christiaan Huygens* (1629-1695) que descreveu matematicamente a luz. Huygens a imaginava como um “[...] movimento vibratório que se espalhava no meio. Segundo Huygens, cada ponto de uma frente de onda comporta-se como fonte puntiforme, gerando ondas secundárias. [...]” (NUSSENZVEIG, 1998. pg 04.).

Em um dos parágrafos do livro de Christiaan Huygens *TREATISE ON LIGHT*, encontram-se enunciados muito interessantes na sua tentativa de diferenciar a luz de outras fontes de matéria.

Sobre a luz, Huygens disse: *“it cannot be by any transport of matter coming to us from this object, in the way in which a shot or an arrow traverses the air”*.

Em português, “Este (referindo-se à luz) não pode ser qualquer transporte de matéria que venha a nós de um objeto, como um tiro ou uma flecha que atravessa o ar” (Huygens, 1690).

O que implica que se a luz é feita de partículas, esta, porém, não pode ser entendida como projéteis.

Figura 26: A imagem (a) mostra a chama de uma vela, distinguindo os pontos A, B, C. Os círculos concêntricos descritos sobre cada um desses pontos representam as ondas que vêm delas, e deve-se imaginar o mesmo em todos os pontos da superfície e da parte de dentro da chama. A segunda imagem, (b), mostra Christiaan Huygens em uma pintura de *Caspar Netscher*, exposta no *Museum Hofwijck, Voorburg*.



Fonte: imagem (a) (Huygens, 1690, pg 19).

Imagem (b) https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens

"Segundo Huygens, cada ponto de uma onda comporta-se como fonte puntiforme, gerando ondas secundárias. [...] essas ondas são ondas esféricas com centro na fonte, propagando-se com a velocidade das ondas no meio. [...]" (NUSSENZVEIG, 1998. pg 4). Um ponto que se transforma em uma onda esférica define uma direção no espaço e no tempo, assim como a expansão de qualquer esfera criada assim. Utilizando o conceito de onda Christiaan Huygens numa frase no *TREATISE ON LIGHT* disse:

"I have then shown in what manner one may conceive Light to spread successively, by spherical waves, and how it is possible that this spreading is accomplished with as great a velocity as that which experiments and celestial observations demand."

Em português, isso significa:

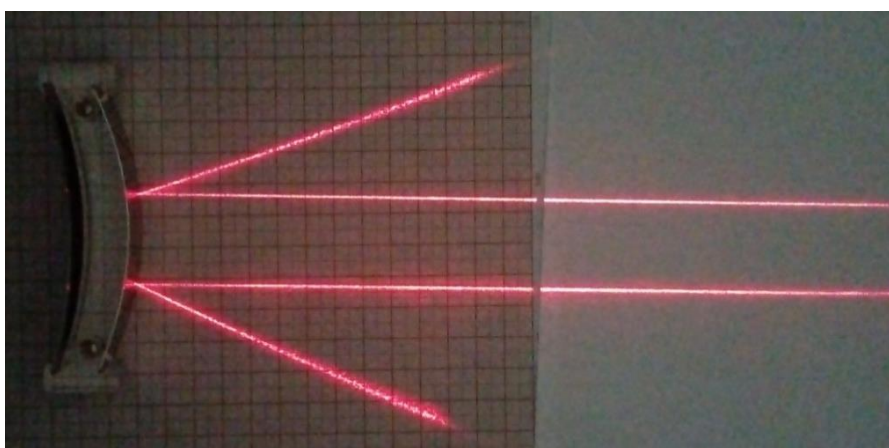
"Eu mostrei então, de que maneira se pode conceber a luz para se espalhar sucessivamente por ondas esféricas, e como é possível que esta propagação seja realizada com uma velocidade tão grande quanto a que experimenta e observações celestiais exigem."

Por outro lado, um dos exemplos que comprovaram o comportamento corpuscular da luz é a experiência que levou *Albert Einstein* (1879-1955) a ganhar o prêmio Nobel de Física em 1921, o Efeito Fotoelétrico (SERWAY & JEWETT. 2005).

Nessa experiência, Einstein comprovou que a luz se comporta como partícula ao ser projetada na frequência do ultravioleta em uma placa metálica. Os elétrons dessa placa recebem a energia desse feixe emitido em forma de “Pacote” de luz e ao receber essa energia ejetam-se da placa. Em síntese, para que o elétron receba essa energia e seja ejetado, é necessário que a luz emitida pela fonte esteja em forma de “pacotes”, chamados de “quanta” de luz, termo introduzido por Max Planck (1858-1947) no ano de 1900. (SERWAY & JEWETT. 2005)

Para compreender o comportamento da luz na câmara fotográfica, precisamos entendê-la como um caminho de corpúsculos, que formam o raio de luz. Como já foi dito, uma das principais características da luz é seu comportamento retilíneo, ou sua propagação em linha reta, inclusive do ponto de vista ondulatório.

Figura 27: propagação retilínea da luz e uma reflexão total do raio incidente em uma superfície convexo-côncava obtida no campus de Abaetetuba, no laboratório de Física.



Fonte: própria

O fato de o raio de luz ser retilíneo, nos leva a outra propriedade, a independência dos raios luminosos, ou seja, dois raios ao se cruzarem não

interferem na trajetória um do outro. Assim, a câmera escura é um excelente exemplo introdutório da aplicação da óptica geométrica. Os diagramas de raios da óptica geométrica permitem-nos visualizar, sem matemática, muitos fenômenos comuns, como sombras, eclipses, imagens formadas por espelhos e lentes. A seguir, descrevem-se brevemente dois destes fenômenos.

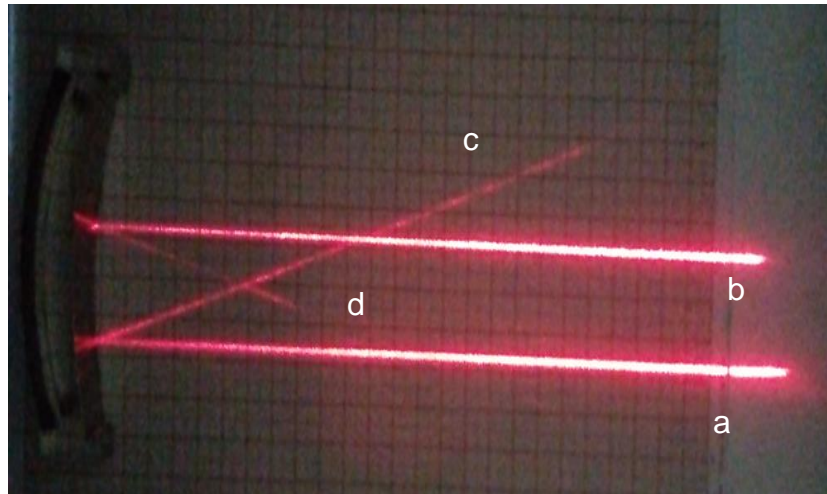
2.2 PROPRIEDADES DA LUZ: REFLEXÃO E REFRAÇÃO

A luz possui diversos fenômenos importantes em sua natureza, que determinam o seu comportamento, alguns deles são: reflexão e refração, propagação retilínea (em um meio ou no vácuo), decomposição, dispersão, absorção, difração e interferência. Apenas refração e reflexão são foco neste trabalho, pois são fundamentais para que a câmara escura seja real, e dessa forma, a câmera fotográfica.

2.2.1 REFLEXÃO

Quando uma onda luminosa atinge uma superfície refletora, parte dela será absorvida e outra parcela será refletida. Se essa superfície for áspera, a onda será refletida em todas as direções. Uma superfície polida é caracterizada quando suas variações são pequenas se comparadas ao comprimento de onda da luz incidente.

Figura 28: A imagem mostra dois raios de luz incidentes sobre uma lente convexo-côncava refletindo-se sobre a superfície. No cruzamento desses raios temos o ponto focal da lente. (a) e (b) são os raios primários, enquanto que (c) e (d) são os raios refletidos. Imagem obtida no laboratório de física do campus de Abaetetuba, UFPA.



Fonte: própria

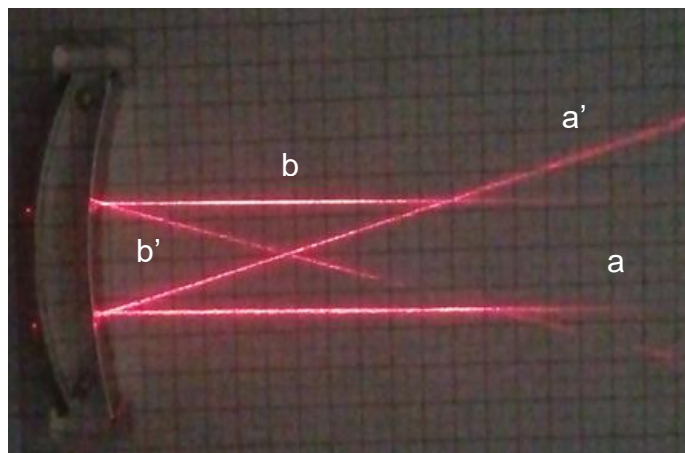
Existem dois tipos de reflexão, que são:

Reflexão Especular: é a reflexão que forma uma imagem nítida, os raios refletidos tem mesmo ângulo que os raios incidentes em relação a normal. Ou seja,

$$\theta_1 = \theta'_1 \quad (2.1)$$

Para que ela aconteça, é necessário que a superfície seja lisa. A imagem abaixo é um excelente exemplo desse tipo de reflexão, pois mostra com clareza essa afirmação. O cruzamento dos raios é o ponto focal da lente.

Figura 29: Na imagem pode-se ver que os ângulos incidentes e refletidos são iguais em relação a normal. Imagem obtida no laboratório de Física da UFPa, campus de Abaetetuba. Os raios (a) e (b) são incidentes na superfície da lente, enquanto que (a') e (b') são refletidos.



Fonte: própria

Reflexão Difusa: Acontece quando a imagem refletida não é nítida. Nesse tipo de reflexão, os ângulos de incidência e reflexão são iguais, porém, a normal varia de uma posição para outra, para que a imagem final seja formada. Duas leis regem a reflexão da luz. São elas:

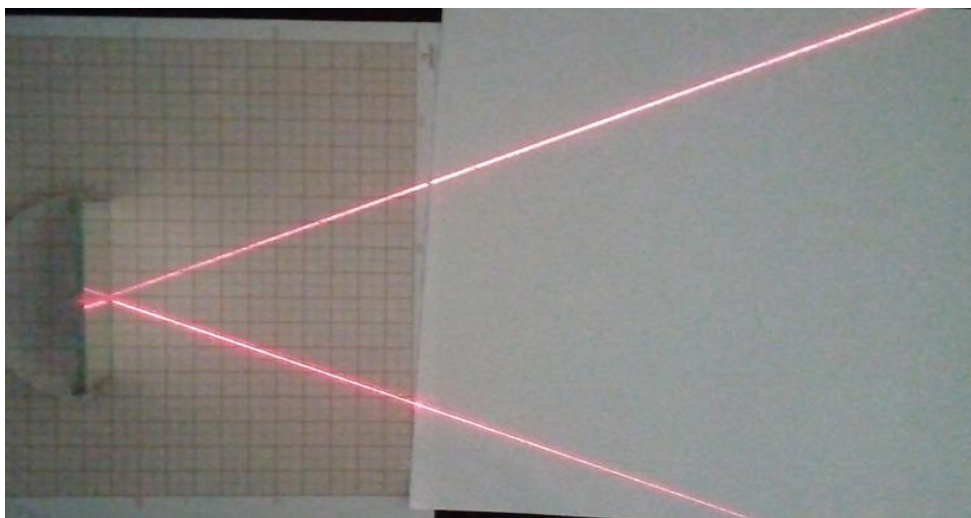
- 1°_O raio de luz refletido e o raio de luz incidente, assim como a reta normal à superfície, pertencem ao mesmo plano, ou seja, são coplanares.
- 2°_O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão do feixe de luz. Ou seja,

$$i=r$$

Em 1650 um francês chamado Pierre Fermat descreveu a lei que determina o caminho percorrido pela luz, ele dizia que “[...] a natureza sempre atua pelo caminho mais curto [...]” (NUSSENZVEIG, 1998. pg 11) Lei essa que veio a ser chamada de Princípio de Fermat. Ela diz que: “[...] de todos os caminhos possíveis para ir de um ponto a outro, a luz segue aquele que é percorrido no tempo mínimo [...]” (NUSSENZVEIG, 1998. pg. 11).

Para que a reflexão seja possível é necessário que a luz escolha o menor caminho possível entre o ponto luminoso e o ponto iluminado, para isso podemos aplicar o princípio de Fermat.

Figura 30: O raio incide do ponto 1, viaja até o espelho (superfície plana E) e é refletido até o ponto 2. Neste caso, a reta normal está entre os raios (na imagem, a normal está na horizontal). Imagem obtida no laboratório de Física campus de Abaetetuba, UFPA.



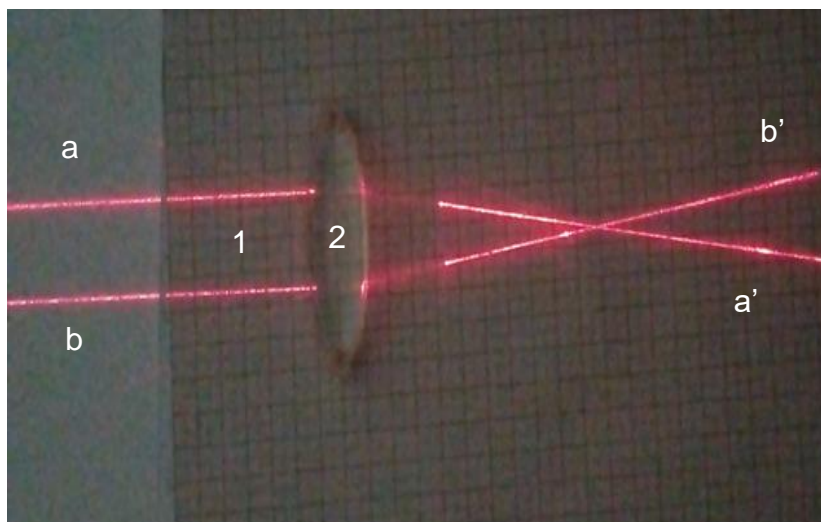
Fonte: própria

A reflexão é um dos principais princípios para a formação da imagem na câmara, escura e fotográfica. Pois os raios refletidos ou emitidos pelo objeto iluminado viajam em todas as direções e incidem na superfície de dentro da câmara onde a imagem é formada. Para que a reflexão seja especular, ou seja, para termos uma imagem nítida e visível no interior da câmara, é necessário que o interior dela seja suficientemente liso.

2.2.2 REFRAÇÃO

A refração da luz tem seu funcionamento parecido com a reflexão, de forma que podem ser estudadas simultaneamente. Porém, a refração é diferenciada pelo fato de estudar o comportamento de um raio luminoso ao atravessar um meio material, como por exemplo, o vidro, que é parte da câmara, que nesta é a lente. Ao atravessar de um meio a outro, a luz não altera sua velocidade c , porém seu comprimento de onda sim.

Figura 31: A imagem mostra dois meios, o de incidência (o ar) e o de refração (o vidro que compõe a lente). Dois raios luminosos partem paralelos do meio 1 (ar) em direção ao meio 2 (o vidro da lente), que ao atravessá-lo é desviado de seu caminho original. Os raios (a) e (b) são primários, enquanto que (a') (b') são secundários. Imagem obtida no laboratório de Física da UFPA, campus de Abaetetuba.



Fonte: própria

Em certo ponto (no ar novamente), os raios se cruzam, onde o ponto focal da lente é formado. Esse desvio na direção de propagação do raio é causado pelo índice de refração do vidro que é diferente do índice de refração do ar.

A relação entre os índices de refração absolutos de cada um dos meios é dada pela seguinte equação:

$$\eta = \frac{c}{v} \quad (2.2)$$

Onde η é o índice de refração absoluto, c é a velocidade da luz no vácuo e v é a velocidade da luz no meio. Partindo dessa definição, notamos que se uma onda atravessar um meio e entrar em outro, sua frequência não muda. Pois o índice de refração é um número adimensional maior ou igual a Um, por que v é menor que c , e η é a unidade para o vácuo. (SERWAY & JEWETT, 2005)

A refração é regida por duas leis. São elas:

- O raio incidente, o raio refratado e a reta normal estão

sobrepostos no mesmo plano.

- Lei de Snell: calcula o desvio dos raios ao mudarem de meio, é expressa pela seguinte relação:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.3)$$

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} \quad (2.4)$$

Onde v é a velocidade da luz no meio.

Em uma superfície refratora, a trajetória do raio de luz é reversível, como no caso da reflexão.

“[...] Quando a luz se propaga de um material no qual sua velocidade é elevada para um material em que sua velocidade é mais baixa, a lei de Snell mostra que o ângulo de refração é menor do que o ângulo de incidência [...]” (SERWAY & JEWETT, 2005. pg 989 e 990.)

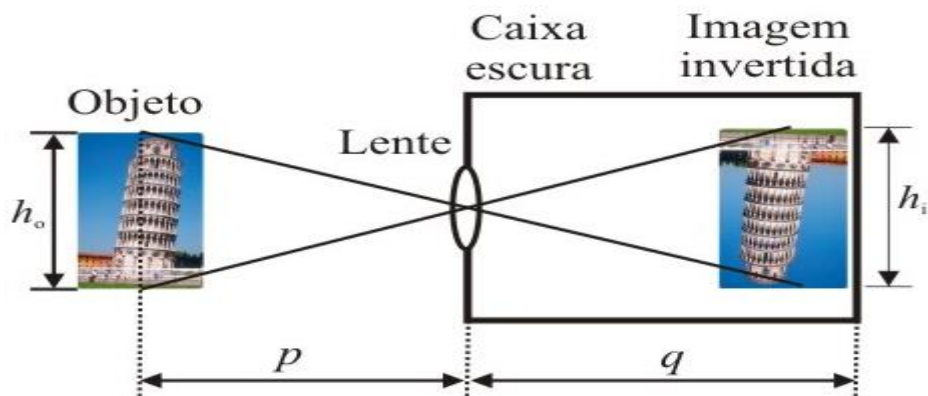
Por esse motivo o raio refratado se desvia para a normal.

Na França, essa lei é chamada de Lei de Descartes (1596-1650) e foi deduzida durante o estudo do comportamento corpuscular da luz em 1637 por René Descartes.

2.3 FORMAÇÃO DE IMAGEM NA CAMARA ESCURA

Os fatos discutidos anteriormente são de suma importância para entendermos o funcionamento da câmara escura, pois eles são os princípios básicos desta. Para se entender como isso ocorre, vejamos, na imagem abaixo um esquema que representa uma câmara escura por dentro. Suas dimensões são perceptíveis.

Figura 32: representação esquemática da câmara escura de orifício.



Fonte: <http://www.obaricentrodamente.com/2011/10/marematica-da-fotografia.html>

A propagação retilínea e a independência dos raios, quando cruzados na lente, garantem que a imagem seja formada com nitidez. Para calcularmos o tamanho da imagem formada usamos a seguinte relação:

$$\frac{h_0}{h_i} = \frac{p}{q} \quad (2.5)$$

onde:

h_0 é a altura do objeto;

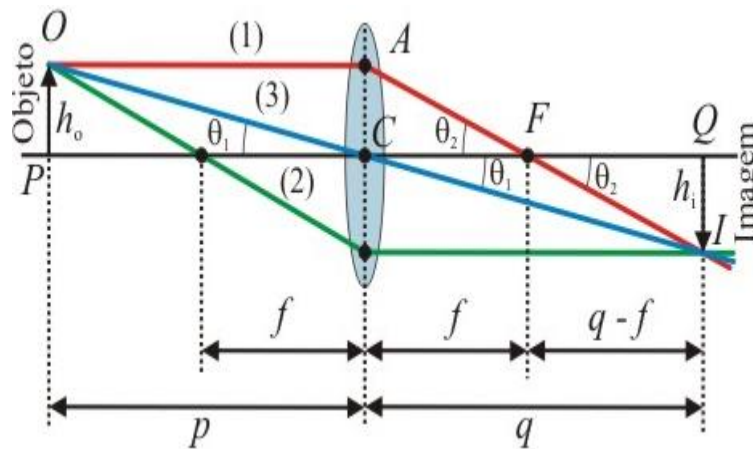
h_i é a altura da imagem;

p é a distancia do objeto ao orifício;

q é a distancia da imagem ao orifício;

A imagem 33 diz que a relação entre as dimensões do objeto h_0 e as dimensões da h_i imagem são iguais à relação entre as dimensões da distancia entre o objeto e o orifício na caixa p e a distancia entre o buraco e a imagem q formada no interior dela.

Figura 33: representação esquemática dos raios, ângulos, distância (imagem-lente e objeto-lente), objeto e imagem envolvidos na câmara escura.



Fonte: <http://www.obaricentrodamente.com/2011/10/marematica-da-fotografia.html>

Analisando-se os triângulos OPC e QIC mostrados na figura, obtemos os valores das tangentes de θ_1 .

$$\tan \theta_1 = \frac{OP}{PC} = \frac{h_o}{p} \quad (2.6)$$

$$\tan \theta_1 = \frac{QI}{QC} = \frac{h_i}{q} \quad (2.7)$$

Igualando-se as duas equações, obtém-se:

$$\frac{h_o}{h_i} = \frac{p}{q} \quad (2.8)$$

Dessa forma, conclui-se que: a imagem formada no interior da caixa será invertida e mesmo tamanho em relação ao objeto; o tamanho da imagem projetada depende do tamanho da caixa, ou seja, para termos uma imagem grande devemos ter uma caixa grande; O tamanho da imagem também dependerá da distancia entre o objeto e a câmara, ou seja, se a distancia for pequena teremos uma imagem pequena. Do contrario, seria necessário que os raios de luz percorressem um caminho mais longo para formar a imagem, dessa forma, ela seria maior.

Se o orifício for grande, uma quantidade maior de luz passará e aumentará à imagem, esta perderá nitidez e definição. Pois cada ponto do

objeto refletirá luz por diferentes pontos. O excesso de raios incide em diferentes pontos do papel, fazendo com que a imagem seja, imprecisa e muitas vezes indistinguível por causa da sobreposição dos raios. Por outro lado, se o furo for pequeno, então temos poucos raios refletindo de poucos pontos do objeto, isso permite que os raios entrem na câmara e formem uma imagem precisa.

CAPITULO III: ERA DIGITAL

Atualmente, a fotografia é uma das formas de arte mais populares, se não a mais popular, ainda que no sentido de arte visual. Qualquer pessoa pode ter acesso á uma câmara fotográfica, pois na era digital, ficou mais fácil para qualquer pessoa guardar suas fotos, enquanto que na era analógica, precisava-se do filme fotográfico para tal.

A fotografia passou de analógica à digital, com a introdução da física quântica que impulsionou o desenvolvimento da física do estado sólido, o que levou a uma maior qualidade nas fotos, com maior nitidez nas cores, e com a introdução dos pixels, os contornos ficaram mais evidentes, porém, a “fotografia digital” ainda luta para se encaixar no termo *fotografia*, uma vez que de acordo com o termo original, ela não se encaixa.

Figura 34: câmara digital profissional e amadora. Nota-se a evolução da câmara, incluindo o tamanho, que varia da câmara profissional à amadora.



Fonte: <http://hypescience.com/wp-content/uploads/2009/12/cameras-1.jpg>

3.1 A DUALIDADE ONDA-PARTICULA

A partir do momento que o comportamento ondulatório da luz foi explicado por Christiaan Huygens, uma porta foi aberta para que outros fenômenos da natureza fossem descobertos, como por exemplo, o comportamento ondulatório dos elétrons. Estes apresentam comportamento ondulatório e corpuscular, assim como a luz. Quando analisamos o processo de emissão e absorção de energia, o comportamento corpuscular é predominante, porém, quando analisamos a propagação de energia pelo

espaço, o comportamento ondulatório é predominante.

Qualquer fenômeno pode ser descrito por uma função de onda. A função de onda da luz é o campo eletromagnético unidimensional, dado por:

$$\vec{E}(x,t)$$

Para o elétron esta função de onda é

$$\Psi(x,t)$$

e representa a solução de uma equação de onda:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (3.1)$$

Logo, a equação de onda para a matéria é dada por:

$$\Psi(x,t) = A \cos(kx - \omega t) \quad (3.2)$$

Nessa equação, a amplitude Ψ em qualquer ponto da propagação estará relacionada com a probabilidade do elétron ser encontrado. No caso de ondas luminosas a grandeza $|\Psi(x,t)|^2$ é proporcional a probabilidade de um elétron ser encontrado em uma determinada região do espaço. Em uma dimensão,

$$|\Psi(x,t)|^2 dx \quad (3.3)$$

é a probabilidade de encontrar um elétron no intervalo dx . Logo, a probabilidade:

$$P(x) dx = |\Psi(x,T)|^2 dx \quad (3.4)$$

Significa dizer que para “prevermos” onde o elétron está em um instante no futuro, devemos observar a propagação da função de onda, usando métodos iguais aos da teoria clássica, porém, são diferentes conceitualmente.

A função de onda de um elétron é modificada quando este interage com outra partícula. Nesse caso, essa interação pode ser descrita pela teoria corpuscular.

O experimento mais famoso que explica essa dualidade é o experimento de Tomas Young, chamado de Experimento com dupla fenda. Esse experimento foi feito em três momentos, com ondas clássicas, partículas clássicas e elétrons. (SERWAY & JEWETT. 2005).

Consideremos um feixe de elétrons monoenergéticos emitindo um feixe sobre o anteparo com duas fendas. Imaginemos que a largura de cada fenda é

pequena se comparada ao comprimento de onda do elétron, desprezando os máximos e mínimos da difração. Um detector é posto a uma distância muito maior que d . d é a distância entre as fendas. Ao se fazer a coleta de elétrons por certo tempo, “[...] encontra-se um típico padrão de interferência de ondas em termos da contagem de elétrons por minuto [...]”. (SERWAY & JEWETT, 2005. pg 1117).

Esse padrão formado é diferente de uma simples soma das intensidades, quando fechamos uma das fendas, P_1 e P_2 não é correspondente a $P_{1,2}$. Sendo assim, as funções de onda ψ_1 da fenda Um e ψ_2 da fenda Dois terão probabilidade igual a:

$$P_1 = |\psi_1|^2$$

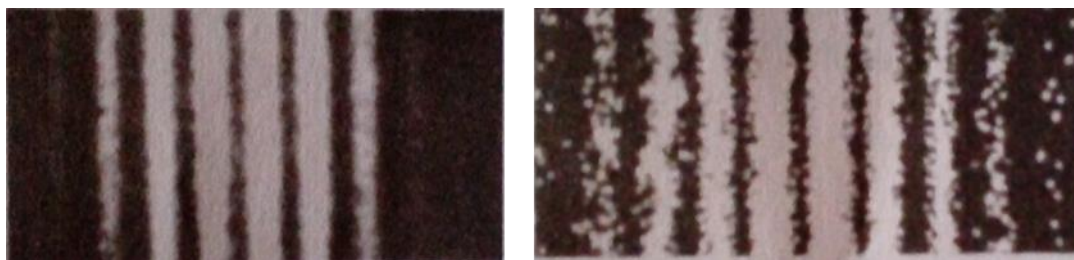
$$P_2 = |\psi_2|^2$$

Sendo:

$$P_{1,2} = P_1 + P_2 = |\psi_1|^2 + |\psi_2|^2 = |\psi_1 + \psi_2|^2 \quad (3.5)$$

$$P_{1,2} = |\psi_1 + \psi_2|^2 dx_{1,2} \quad (3.6)$$

Figura 35: A imagem (a) mostra um padrão de interferência para os elétrons. (b) mostra um padrão sendo formado quando 1000 elétrons são detectados.



Fonte: (SERWAY & JEWETT, 2005, pg 1117).

Dessa forma,

“[...] a natureza dual do elétron é mostrada claramente nessa experiência: os elétrons são detectados como partículas em certo ponto em algum instante de tempo, mas a probabilidade de chegada a esse ponto é determinada pela intensidade de duas ondas que interferem. [...]” (SERWAY & JEWETT, 2005, pg 1117).

A esse comportamento chama-se Dualismo Onda-Partícula, também

conhecido como Princípio de Complementariedade de Bohr, que diz que os aspectos corpusculares e ondulatórios são complementares.

3.1.1 COMPRIMENTO DE ONDA DO FOTON

No caso do fóton, vamos considerá-lo se propagando em uma velocidade angular ω , onde sua energia será dada por:

$$\epsilon = \hbar\omega, \quad (3.7)$$

Onde:

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \quad (3.8)$$

ω = frequência da onda

h é $6,63 \times 10^{-37}$ js

Manipulando-se a equação (3.7), podemos escrevê-la da seguinte forma:

$$\omega = 2\pi\nu \quad (3.9)$$

Logo,
$$\epsilon_f = \hbar \omega = \frac{h}{2\pi} \times (2\pi\nu) = h\nu_f, \quad (3.10)$$

Onde ν é a frequência do fóton

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (3.11)$$

sendo λ é o comprimento de onda e

c a constante de velocidade da luz dada por 3×10^8 m/s.

Fazendo-se substituições, temos:

$$\epsilon = \frac{hc}{\lambda} \quad (3.12)$$

Que ao ser manipulada, dá-nos o comprimento de onda do fóton, dado por:

$$\lambda = \frac{hc}{\epsilon} \quad (3.13)$$

3.2 O EFEITO FOTOELÉTRICO

O Efeito Fotoelétrico é o fenômeno físico que deu a *Albert Einstein* (1879-1955) o prêmio Nobel de Física em 1921. Porém, o texto da pesquisa foi publicado em 1905 na revista alemã *Annalen der Physik*, ou *Anais de Física*,

em português. Somente 16 anos após a publicação do artigo para a comunidade científica da época, Einstein recebeu o prêmio. No entanto, o descobrimento do efeito fotoelétrico é atribuído a Heinrich Hertz. (SERWAY & JEWETT, 2005).

Em 1887, Heinrich Hertz demonstrou a validade da teoria de Maxwell na produção de ondas eletromagnéticas, produzindo uma descarga oscilante fazendo uma faísca saltar entre dois eletrodos, para que essas ondas fossem geradas. Uma antena ressonante foi usada para detectar as ondas produzidas e essa detecção foi feita por outra faísca entre os eletrodos

“[...] Ele observou que a faísca de detecção saltava com mais dificuldade quando os eletrodos da antena receptora não estavam expostos à luz UV proveniente da faísca primária na antena emissora, isto é, quando um anteparo era colocado entre as duas placas para bloquear a luz incidente [...]” (NUSSENZVEIG, 1998. pg 249)

Dessa forma, Hertz estava descobrindo o EFEITO FOTOELÉTRICO, uma das primeiras evidências da quantização da luz. Em síntese, a luz se comporta como partícula ao ser projetada na frequência do ultravioleta em uma placa metálica. Os elétrons dessa placa recebem a energia desse feixe emitido em forma de “Pacote” de luz e ao receber essa energia ejetam-se da placa. Os elétrons emitidos são chamados fotoelétrons. Esses elétrons não são em nada diferentes de outros elétrons, tem esse nome apenas devido participarem do fenômeno. (SERWAY & JEWETT, 2005).

Esse efeito possui algumas características consideradas principais. São elas:

- A energia cinética do elétron emitido é

$$K_{\max} = q \cdot \Delta\varphi \quad (3.14)$$

A energia incidente depende apenas da frequência do espectro incidente.

- Entre a incidência da radiação e a emissão dos elétrons não existe intervalo de tempo como previa a teoria clássica. Pois assim que a placa recebe a radiação emitida, os elétrons são ejetados imediatamente.

A teoria clássica previa que esse elétron seria ejetado de acordo com a

intensidade da radiação incidente sobre a placa, e somente após algum tempo, esse elétron poderia ser arrancado da mesma. Esse tempo seria necessário para que a energia cinética do elétron aumentasse de acordo com a intensidade da radiação incidente até chegar a um valor suficiente para que a placa expulsasse o elétron. Porém, os experimentos de Einstein e a teoria quântica provaram o contrário. (SERWAY & JEWETT, 2005).

Einstein propôs que um determinado pacote de energia quantizada estaria relacionada com a frequência ν_f do fóton incidente, assim:

$$E_f = h\nu_f \quad (3.15)$$

Dessa forma, podemos aplicar o princípio da conservação da energia no sistema todo, notamos que:

$$K = E_f - \varphi \quad (3.16)$$

Onde: φ é a função trabalho do sistema

K é a energia cinética.

Manipulando essa equação, concluímos que:

$$E_f = K + \varphi \quad (3.17)$$

“A energia cinética do fóton incidente é totalmente absorvida na superfície do metal, é igual a energia cinética K do fotoelétron ejetado, e o trabalho necessário para superar os campos atrativos dos átomos e as perdas de energia causadas pelas colisões internas do elétron.” (REIS, M. A. 2016. Notas de aulas)

Assim concluímos que o efeito fotoelétrico encaixa-se perfeitamente às experiências observadas, da seguinte forma:

- Dobrar a intensidade da luz quando é alcançada a função trabalho, apenas dobra o número de elétrons incidentes sobre a superfície do catodo, duplicando a corrente fotoelétrica, isso, porém, não muda a frequência do fóton. (SERWAY & JEWETT, 2005).
- Um fóton de frequência ν_0 tem a energia necessária para ejetar os fotoelétrons. Isto é, $\omega_0 = h\nu_0$. Caso a frequência seja menor que ν_0 não impotará a intensidade da radiação emitida, por que o elétron não será ejetado. (SERWAY & JEWETT, 2005).
- A Luz absorvida pelo catodo emitirá instantaneamente um fotoelétron.

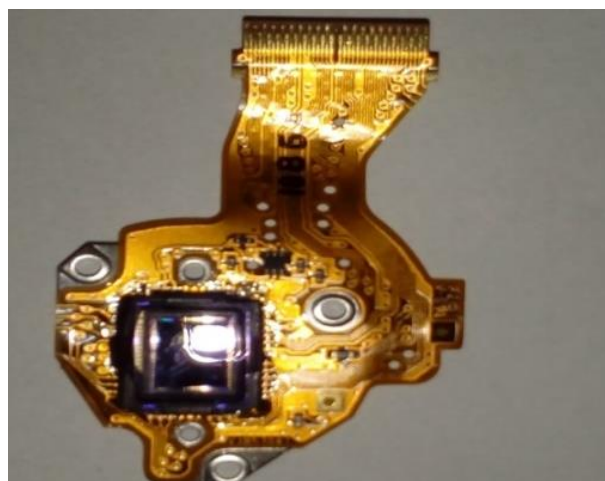
Para isso basta que um fóton com energia hV_0 seja absorvido por um átomo do material. (SERWAY & JEWETT, 2005).

Esse efeito acontece na câmera fotográfica digital, para que os elétrons sejam ejetados do dispositivo é necessário que a luz incida sobre eles, para que os sinais binários sejam enviados para o receptor na placa mãe da câmera.

3.3 CÂMERA FOTOGRÁFICA DIGITAL

Com o conhecimento físico dos semicondutores (materiais que possuem propriedades dos condutores e isolantes), foi possível desenvolver dispositivos cada vez mais sensíveis à luz, um deles, é o *Charge-Coupled Devices*, ou, Dispositivo de Carga Acoplada em português, ou CCD como é mais conhecido. Esse dispositivo tem fundamental importância no desenvolvimento da câmera fotográfica digital, pois ele é responsável por transformar os fótons recebidos da imagem fotografada em sinais binários para o registro dentro da câmera.

Figura 36: CCD retirado de uma câmera fotográfica digital. O pequeno quadrado no canto esquerdo inferior é o CCD, propriamente dito. A tira na parte superior central da imagem são os conectores que fazem o transporte das informações enviadas e recebidas.



Fonte: própria

Consiste em armazenar carga em poços potenciais criados na superfície de um semicondutor e mover a carga (representando informações) sobre a

superfície movendo os mínimos de potencial. (W. S. BOYLE, G. E. SMITH. 1970.)

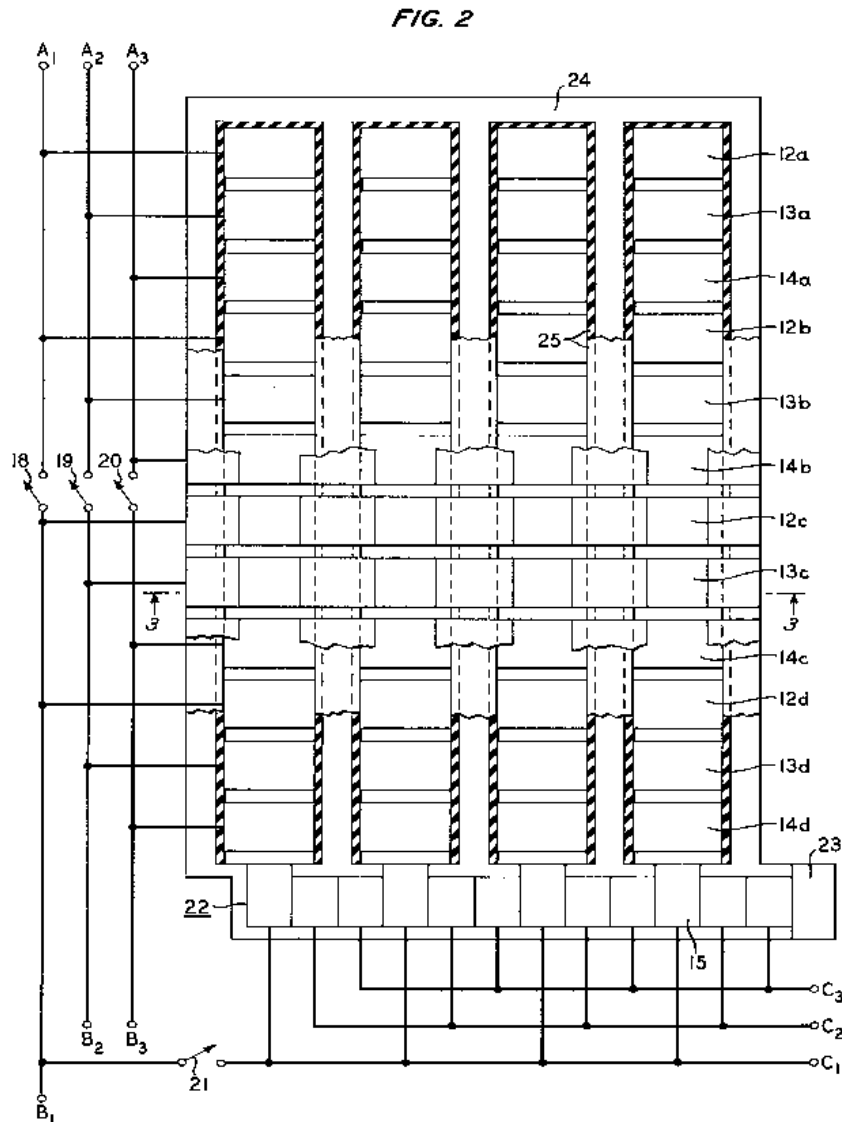
O Dispositivo de Carga Acoplada é um detector desenvolvido por Willard Boyle e George Smith, do *Bell Labs* em 1969. É usado em todos os tipos de câmeras digitais, é a memória da câmera. Sua eficiência é dez vezes maior que o filme fotossensível. Tem o “poder” de transformar fótons em elétrons. É dividido em pequenas partes que são chamadas de Pixel, que vem do inglês “*Picture element*”, cuja função é qualificar a imagem, ou seja, quanto maior o número de pixel por unidade de área, mais qualidade e definição a imagem possui.

Quando os fótons incidentes e os átomos do silício do CCD interagem, os elétrons gerados por essa interação são guardados em um poço potencial e depois são transferidos por um circuito de carga acoplada, passando por registradores e saindo por um amplificador. (W. S. BOYLE, G. E. SMITH. 1970.)

A fabricação do CCD foi possível após a construção de circuitos integrados. O dispositivo pode, portanto, ser considerado dividido em duas porções. Analisando a figura 37, observa-se que os primeiros seis eletrodos formam uma coluna da matriz de detecção de área, enquanto os últimos sete eletrodos formam uma coluna da área de armazenamento e matriz de leitura. Na porção de detecção, os eléctrodos 12a e 12b são acoplados ao caminho de condução A1, os eléctrodos 13a e 13b são acoplados ao percurso A2 e os eléctrodos 14a e 14b são acoplados ao percurso A3 para definir um sistema acoplado de carga trifásico.

Do mesmo modo, cada terceiro eletrodo da porção de armazenamento e leitura é acoplado a um dos caminhos de condução B1, B2 ou B3 com a exceção do eletrodo 15 que é acoplado ao caminho de condução C1. Os pulsos de relógio são fornecidos a cada um desses caminhos de condução, a fim de polarizar sequencialmente os eletrodos. São proporcionados meios para permitir que os eletrodos correspondentes das duas porções (por exemplo, 12a, 12b, 12c e 12d) sejam pulsados simultaneamente em certos pontos no tempo.

Figura 37: é uma vista esquemática do plano de um dispositivo de imagem de linha de acordo com outra forma de realização da invenção.



Fonte: <http://www.google.tl/patents/US4085456>

Em um semiconductor, as cargas se espalham pelas bordas do material, quando dois deles são colocados juntos em um dispositivo CCD, pois as cargas neutralizam umas as outras e criam uma região sem cargas livres nos dois lados da borda. Ao aplicar uma voltagem no material tipo n, este se esvazia de cargas livres antes de exposto á luz. Os portadores vazios se acumulam na base do detector. Assim, os elétrons aparecem apenas com a

exposição à luz. Em cima da base é colocado um isolante, dióxido de silício, e acima dele, eletrodos para que ele se torne condutor.

Ao ser atingido por um fóton, o átomo do silício cria um elétron e um portador de carga vazio, devido à ausência do elétron na estrutura cristalina do material, dentro de um fotodiodo. O elétron livre é encontrado e armazenado na camada de depleção, enquanto o portador vazio é colocado na camada tipo p. de silício. Os fotodiodos são isolados eletricamente um por um, de seus vizinhos por um canal de parada, que é formado por íons de boro por meio de uma máscara na camada p. Ao passar pelas camadas finas de eletrodos e isolantes, a luz é absorvida pela camada p e pela camada n. Nesse momento ocorre o efeito fotoelétrico, onde o elétron é ejetado da placa. Ele é deslocado para a região com menor potencial, perto do núcleo da camada n.

Assim que os elétrons são tirados nos fotodiodos da matriz, um potencial é aplicado nas camadas dos eletrodos de poli silício com a intenção em mudar o potencial eletrostático do substrato de silício. Este situado diretamente abaixo da camada de eletrodos torna-se um poço potencial apropriado para coletar os elétrons gerados pela radiação incidente. As portas ajudam os elétrons a serem confinados dentro do poço, formando zonas de potencial mais alto, chamadas de barreiras, as quais cercam o poço. Após a exposição, as cargas são tiradas de dentro do detector, para que cada pixel seja lido individualmente.

Elas são levadas para a zona de registro do CCD, que é a última coluna de pixels, e a partir daí, uma de cada vez são enviadas para transistor de efeito de campo, que cria uma saída analógica, com a voltagem adequada para a carga acumulada em cada pixel. Então, este sinal analógico passa pelo conversor analógico-digital capaz de transformar a carga em um número que pode ser gravado em um computador (W. S. BOYLE, G. E. SMITH. 1970).

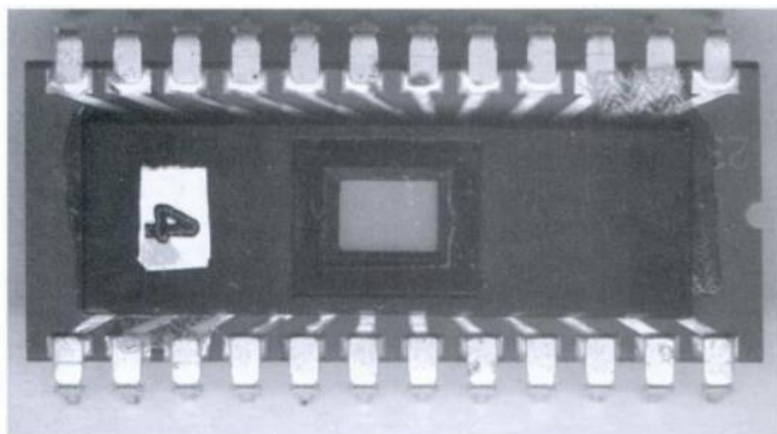
Muitos detectores são produzidos em uma pastilha, em seguida são cortados com uma serra de diamante, avaliados e empacotados em um envoltório de um polímero ou cerâmica, com uma passagem para a luz, feita de quartzo ou vidro, para que a matriz de fotodiodos seja iluminada na superfície do CCD. O CCD mais comum tem um conjunto de caminhos que subdividem cada pixel em três poços potenciais orientados em linha reta. Cada poço de um fotodiodo é capaz de guardar uma determinada quantidade de elétrons, o que origina a capacidade máxima do CCD. Após determinado tempo de interação,

os poços ficam cheios de elétrons produzidos na camada de depleção do substrato de silício.

A medida da carga armazenada é feita por meio de uma combinação de passagens seriais e paralelas da carga acumulada a um único nó de saída na borda do detector. Para que a informação seja analisada, é necessário que os sinais elétricos passem pelo conversor digital-analógico. Este tem a capacidade de 16 bits, fundamental para definir o nível de saturação do sensor. A eficiência quântica do detector é a razão entre o número de fótons que atingem o detector e o número de fótons detectados. Para que um detector seja considerado ideal, é necessário que ele tenha eficiência em 100%, ou seja, todos os elétrons incidentes sejam detectados. Enquanto que na época das placas, o máximo conseguido era de 10% quando sensibilizadas com diversos materiais químicos.

Os primeiros dispositivos tinham 100x100 pixels, somente 98% de eficiência na transferência de carga por pixel. Atualmente, essa eficiência chega a 99,9999%, com detecção de até 500 mil elétrons, o que corresponde a 14,5 magnitudes. No caso da placa fotográfica, esse fator chegava a 7,05.

Figura 38: Imagem do primeiro CCD, ele media 100x100 pixels.



Fonte: (JANESICK, pg 9, 2001)

Toda essa integração de Luz e materiais desenvolvidos para controlar os elétrons, faz com que atualmente, todos os dias, a cada instante,

alguém em algum lugar no mundo esteja fazendo um click com uma câmera, permitindo assim, a interação da luz e elétrons, para que se possam armazenar as imagens de luz e elétrons não mais em papel, e sim em um mundo virtual que dia após dia está se expandindo.

A primeira câmera digital foi construída por um engenheiro da Kodak, pesava cerca de quatro quilos e armazenava as imagens em uma fita cassete. A partir daí, essas imagens eram enviadas para um computador que transformava o código em imagem digital.

Figura 39: imagem do protótipo da primeira câmera digital criada em 1975 por Steven Sanson, engenheiro elétrico da Kodak.



Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Steven_Sanson

A primeira imagem digital não foi feita pela primeira câmera digital. E sim, em 1957, cerca de vinte anos antes, por *Russell Kirsch*, no *National Bureau of Standards*, atualmente chamado de *National Institute Of Standards Technology*. A imagem registrou o rosto de um bebe filho de Russell. Essa imagem media 5x5 cm. Para que essa imagem fosse real, foi necessária a construção de um escâner com tambor rotativo, assim, a foto foi escaneada e possuía 176 pixels e foi feita em preto e branco.

Figura 40: **primeira imagem digital do mundo.**



Fonte: http://idgnow.uol.com.br/galerias/imagem_digital

“converter uma imagem para o formato digital significa transferir os elementos que a compõem para elementos representativos de cada pequeno fragmento original. O menor elemento da imagem, o *pixel*, é identificado segundo sua identidade de nível de cinza e as cores correspondentes. Identificados, estes elementos são armazenados por códigos que podem ser reconhecidos pelo dispositivo de visualização e apresentados novamente por um dispositivo de visualização, como um monitor de vídeo ou impressora.” (BALAN, W, C. pg 3. 2009)

Assim, conclui-se que a fotografia avançou de forma surpreendente, mostrando que não há limites para a tecnologia. Ela passou por equipamentos rudimentares, como a câmara escura, que usava materiais sequer imaginados por muitos, até chegar ao nível conhecido atualmente. Fazer desenhos com luz tornou-se uma linda realidade. Porém, a partir do momento em que elétrons passaram à ser manipulados, eles passaram a fazer esse trabalho, transformando luz em elétrons.

CONCLUSÕES

Neste trabalho mostrou-se que a Luz pode ser entendida e estudada de uma maneira diferente da convencional, como ela pode ser o centro de situações e tecnologias que em alguns casos não temos ideia de como funcionam, ou que ela é a base fundamental para que se obtenha algo, como a Fotografia. A luz, sendo tema principal deste trabalho trouxe uma nova visão de mundo e do mundo, onde chegou-se em termos de Humanidade, e pode levar-nos à imaginar ou desejar onde gostar-se-ia de chegar. Em termos de Física como ciência, a Luz é um dos mais importantes fenômenos, pois muito do que conhecemos gira em torno dela ou de seus efeitos sobre a natureza.

Sobre a história da fotografia, descobriu-se que muito antes do que imaginamos, já havia quem procurasse registrar imagens de forma permanente, e foi assim que tudo começou. Expôs-se também que o estudo da Óptica teve início com a tentativa dos filósofos gregos em explicar a visão, assim como, à tentativa de explicar o que é a luz. Em seguida, a luz é colocada como a base do que conhecemos como fotografia hoje e como a Física Moderna a explica.

A Luz, atualmente estudada como um fenômeno “moderno”, ou da Física Moderna, pode ser abordado utilizando-se a fotografia como tema central, devido ao fato de esta ser algo que está em nosso cotidiano, que não vê barreira social, econômica ou cultural, pois, está nos mais diversos momentos em todos os lugares do mundo, sem compromisso, sem cor, raça, sexo ou religião. Assim, podemos perceber que a Física vai e está muito além de tudo aquilo que imaginamos, sendo ela, nosso guia de instruções para compreendermos o funcionamento do universo dentro e fora do nosso planeta, macroscópico ou microscópico.

Devemos continuar navegando no mar da Física e da Luz, que em alguns casos ainda desconhecido, para que as próximas gerações tenham o conhecimento que não tivemos, para que façam aquilo que não fizemos para o bem de todos.

REFERÊNCIAS

[1] BALAN, W.C. **Apostila instrucional**. 2009

[2] BÍBLIA, A.T. Gênesis. Português. **Bíblia sagrada**. Nova Versão Internacional. Tradução de Maria Eugênia da Silva Fernandes. Rio de Janeiro: Central Gospel, 2000. cap. 1, vers. 3.

[3] BENJAMIN, Walter. Pequena história da fotografia: **Magia e técnica, arte e política**: ensaios sobre literatura e história da cultura. São Paulo, Brasiliense, 1985.

[4] CAMPOS JR, L.C. **Cinema, História e Literatura: Possibilidades de Diálogo**. São Paulo, pg 03. 2007.

[5] COSMOS: A SPACETIME ODYSSEY. Direção de Brannon Braga, Bill Pope e Ann Druyan. Produção de Livia Hanich e Steven Holtzman. Estados Unidos da América. Cosmos Studios e Fuzzy Door Productions. 2014. 2 eposódios.

[6] DANESHFARD, B. BEHNAM, B. DALFARDI, NEZHAD, GS. **Ibn al-Haytham (965–1039 AD), The Original Portrayal Of The Modern Theory Of Vision**. *Journal of Medical Biography*. Vol 24, Issue 2, pp. 227 – 231 First published date: April-15-2014. Acesso em 27 de Outubro de 2017.

[7] GONÇALVES, N. P. **Notas de Aula do curso de Física Moderna I**. Professor Marcos Allan Reis, Abaetetuba 2016.

[8] HEWITT, P. G. **Física Conceitual**, 9ª edição. Bookmam, São Paulo, pg 442. 2002.

[9] HUYNGENS, C. **Treatise On Light**. Leynden, pg 19. 1690.

[10] JANESICK, J. R. **Scientific Charge-Coupled Devices**. Spie Press. Bellingham, EUA, pg 9. 2001.

[11] LUZZI, F. O. **Óptica da Fotografia**. MPEC/UFOP. Sabará, 2017

[12] MARTÍNS. R. A. **A Óptica de Abn al-Haytham - 1000 anos de luz**. Anais da 67ª reunião anual da sbpc- São Carlos- SP- Julho/2015.

[13] NUSSENZVEIG. H, M. **Curso de Física Básica**. v4. Editora Blucher, São Paulo, pg 249. 1998.

[14] PAVÃO, L. **Conservação de Coleções de Fotografia**. Dinalivro, Lisboa 1997.

[15] PERES, R. M, et al. **The Concise Focal Encyclopedia of Photography**. Focal Press. London 2008.

[16] PONCZEK, R. I. L et al. **Origem e Evolução das Ideias da Física**, Edufba, pg 212 e 2013. 2002.

[17] SERWAY, R. JEWETT, J. W. JR. **Princípios de Física –Óptica e Física Moderna**. v4. Apêndice E, pg A.37. São Paulo, Cengage Learning, 2005.

[18] SOUSA, Rainer Gonçalves. "**Nomadismo**"; *Brasil Escola*. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/historiag/nomadismo.htm>>. Acesso em 27 de outubro de 2017.

[19] STEINER, J.E. **Origem do Universo e do Homem**. Estud. Av. v.20 n.58 São Paulo set./dez. 2006.

[20] TBAKHI A, AMR SS. **Ibn Al-Haytham: Father of modern optics**. *Annals of Saudi Medicine* 2007; 27: 464–467.

[21] BOYLE W. S, SMITH G. E. **Charge Coupled Semiconductor Devices**. *Bell Syst. Tech. J.* 49 (4): 587–593. US4085456 A. April 1970. Acesso em: 30 de Outubro de 2017.