

**Universidade Federal do Pará
Campus Universitário Castanhal
Faculdade de Matemática
Licenciatura em Matemática**

Trabalho de Conclusão de Curso

Comunicações ópticas
Suas aplicações e demonstrações

Dayvison Alves da Silva

Castanhal
2025

Comunicações ópticas

Graduação

09/2021 – 09/2025

Defesa 16/09/2024

Universidade Federal do Pará
Campus Universitário Castanhal
Faculdade de Matemática

Dayvison Alves da Silva

silvadavi6804@gmail.com

Licenciando em Matemática
UFPA-Castanhal

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Renato Germano Reis Nunes
Orientador

Prof. Dra. Kátia Liège Nunes Golçalves
Membro da Faculdade

Prof. Dra. Roberta Modesto Braga
Membro da Faculdade

Dedicatória

Dedico este trabalho à Deus e minha
minha família.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus por me conduzir a Virgem Maria ao meu Anjo da guarda e Santos que intercederem por mim durante essa jornada acadêmica. Agradeço pois se seguei ate aqui não foi apenas por minhas próprias forças já teria trancado o curso por isso eu agradeço próprios.

Aos familiares, especialmente minha Mãe (Aurea Maria), meu Pai (Edilson Idelfonso), meus Irmãos (Dayvid Alves da Silva), (Davila Wellem Alves da Silva).

Ao meu orientador Renato Germano por toda contribuição, pois sem suas valiosas sugestões não seria possível esse trabalho.

Aos professores da Faculdade e servidores da UFPA por toda contribuição ao longo dessa caminhada.

Aos amigos da turma pelo companheirismo acadêmico.

Enfim, à todos aqueles que contribuíram de alguma maneira para minha formação.

Epígrafe

“Há beleza do universo começa na simplicidade de suas leis.”

Georges Lemaître

Resumo

A atual pesquisa científica busca abordar estudo de fenômenos e leis da óptica como a reflexão é de Snell-Descartes que usa de conceitos matemáticos, os mostrar seus impactos na de maneira tecnológica, é que desde antes de Cristo como Aristóteles e outros diversos estudiosos se esforçaram tentar deduzir o que era a luz é quando passa por outro meios ou interação com outros matérias isso leva geometria euclidiana é fenômenos que envolvem ela e do que feita como se produzi-la mas em um determinado momento da história houve uma separação com vertentes os entre pesquisadores que defendiam que a luz o modelo corpuscular da luz e outros ondulatório, através dos experimentos de Newton que nomeou - corpuscular não foi criado por Newton - é ondulatório que surgiu depois dos experimentos da fenda simples de Huygens e Fresnel e desse modo nasceram inúmeros experimentos, teorias e princípios que regem tecnologias do mundo como a fibra óptica, telescópios, câmeras fotográficas, controles remoto etc.

Palavras-chaves: leis da reflexão é de Snell-Descartes, modelos corpuscular e ondulatórios, tecnologias .

Abstract

Current scientific research seeks to address the study of phenomena and laws of optics such as reflection and Snell-Descartes' law, which utilize mathematical concepts, showing their technological impacts. Since before Christ, figures like Aristotle and various other scholars have strived to deduce what light is and how it interacts with other mediums or materials, leading to Euclidean geometry and phenomena involving it, as well as how to produce it. However, at a certain point in history, there was a split among researchers, with some defending the corpuscular model of light and others the wave model. Through Newton's experiments, which he called corpuscular (although it was not created by Newton), and the wave model that arose later from Huygens and Fresnel's single-slit experiments, numerous experiments, theories, and principles emerged that govern world technologies such as optical fibers, telescopes, cameras, remote controls, etc.

Keywords: laws of reflection are Snell-Descartes, corpuscular and wave models, technologies.

Lista de Figuras

1.1	Lei da reflexão.	16
1.2	Lei de Snell-Descartes	17
1.3	Espelho plano	19
1.4	Espelho concavo	20
1.5	Espelho convexo	20
1.6	1º: imagem antes do foco,ela e virtual, direita e ampliada	21
1.7	2º: imagem depois do foco, ela e real, invertida e ampliada	21
1.8	3º: imagem depois do foco, ela e real, invertida e reduzida	21
1.9	Lente convexa (convergente)	22
1.10	Lente concava (Divergente)	22
2.1	Experimento do prima	24
3.1	Fenda única	27
3.2	Fenda dupla	28
4.1	tabela 1: hex e binário.	30
4.2	Fibra óptica	31
4.3	Modulação PWM	33
4.4	telescópio	33

Sumário

Introdução	9
Metodologia	11
Justificativa	12
Objetivos	14
0.1 Objetivos específicos	14
1 Prioris	15
1.1 Óptica geométrica	15
1.2 Lei da reflexão	16
1.3 Lei de Snell-Descartes	17
1.4 Espelhos e Equação de Gauss	18
2 Natureza corpuscular da luz	23
3 Fendas	26
3.1 Fenda única	26
4 Testes e Resultados	29
4.1 Sistema de comunicação óptica	29
4.2 Emissor	29
4.3 Meio	30
4.4 Modulação e Multiplexação	31
4.5 Meio	31
4.6 Receptor	32
4.7 Controle Remoto por Infravermelho	32
4.8 Telescópios	33
Considerações Finais	35
Referências	37
Apêndice	39

Introdução

O estudo da luz e dos fenômenos ópticos ocupa posição central na história da Física, tendo impulsionado o desenvolvimento de teorias fundamentais e a criação de tecnologias que transformaram a sociedade. Desde a Antiguidade, pensadores como Aristóteles buscavam compreender a natureza da visão e da propagação da luz. No período moderno, figuras como Isaac Newton e Christiaan Huygens inauguraram um intenso debate sobre a natureza corpuscular e ondulatória da luz, dando origem às duas principais concepções que marcaram a física clássica: o modelo corpuscular, defendido por Newton, e o modelo ondulatório, proposto por Huygens, como descreve ([BAKER, 2011](#)).

Os avanços teóricos se intensificaram a partir do século XVII, quando Newton publicou o *Opticks*, obra na qual descreveu a decomposição da luz branca em cores fundamentais utilizando prismas e formulou leis que explicavam a reflexão e a refração. Paralelamente, Huygens desenvolveu o princípio que leva seu nome, segundo o qual cada ponto de uma frente de onda se comporta como fonte secundária de novas ondas, permitindo explicar fenômenos como a difração e a interferência, conforme destaca ([BAKER, 2011](#)). Esses resultados não apenas resolveram questões conceituais, mas também forneceram bases para a construção de instrumentos ópticos como lentes, espelhos e sistemas formadores de imagem.

Lei da refração A lei de Snell caracteriza o comportamento dos raios luminosos quando eles atravessam a superfície que separa dois meios transparentes em termos da quantidade chamada índice de refração; para uma luz monocromática, o índice de refração n de um meio é definido pelo quociente entre a velocidade c da luz no vácuo e a velocidade v dessa luz no meio ([FASSARELLA, 2007](#)) e a lei da reflexão para um raio de luz que se reflete numa superfície suave, o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, medidos em relação à normal ([FASSARELLA, 2007](#)).

Todas as três leis são consideradas como consequências de condições de mínimo. Na Antiguidade, a lei de propagação retilínea e a lei da reflexão foram justificadas por Heron de Alexandria (aprox. 10-70 d.C.), a partir da ideia de que o caminho percorrido pela luz é o mais curto possível. No século XVII, a lei da refração foi justificada por Pierre de Fermat (aprox. 1601-1665), a partir do princípio de que a luz sempre percorre o caminho que exija o menor tempo. Pode-se considerar que o princípio proposto por Fermat inclui, como caso

particular, o princípio de Heron, quando todos os fenômenos ocorrem em uma região com índice de refração constante. (MARTINS; SILVA, 2013)

Outrossim, sistemas ópticos é qualquer elemento que interagem diretamente com a luz, e isso foi proporcionado pelo estudo da óptica, os fenômenos desta natureza como propagação da luz os modelos usados como ondulatória e corpuscular. Um sistema de comunicação, como vimos, é uma linha de conexão entre dois pontos, através da qual fazemos com que uma informação se desloque de um dos pontos ao outro. Isto é feito via uma onda portadora, nos casos padrões de comunicação.

O estudo da óptica tem um papel importante atualmente já que é estudada em f, seja pela natureza da luz, de riqueza conceitual fantástica com aplicações em inúmeras tecnologias baseadas no laser (acrônimo para “amplificação da luz por emissão estimulada da radiação”, em inglês), seja por permitir a compreensão de importantes instrumentos de observação, começando pelo olho humano, formado por um sistema óptico adaptativo de alta performance, chegando a microscópios ópticos utilizados em vários campos do conhecimento. Tais instrumentos são baseados na formação de imagens por lentes, tema comumente classificado como pertencente à óptica geométrica.

A formação de imagens por lentes convergentes é um tópico recorrente em vários livros didáticos do ensino médio e tem sido tema de investigações que aprofundam a discussão, como, por exemplo, o estudo de imagens tridimensionais, no campo mais fundamental, e a investigação de descontinuidades de imagens feitas por lupas, no campo da instrumentação (BARROSO et al., 2018).

Metodologia

Assim, foram consultadas obras clássicas e contemporâneas que abordam os fenômenos ópticos e os fundamentos do eletromagnetismo, como Fundamentos de Física: (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016) é (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016), além de materiais de divulgação científica que auxiliam na contextualização histórica, como 50 Ideias de Física que Você Precisa Conhecer de (BAKER, 2011). Para lentes e espelhos (BARROSO et al., 2018) é (BARROSO et al., 2025), (MENEZES et al., 2025) para leis ópticas (MARTINS; SILVA, 2013), (ZILIO, 2009) é (FASSARELLA, 2007) e dentre materiais para fenômenos ópticos como (BARBOSA et al., 2012) é (MARTINS; CELESTINO, 2015) Também foram utilizados textos que apresentam aplicações práticas, como os artigos de (CAVALCANTE; RODRIGUES; BUENO, 2014), que exploram a utilização de sensores e dispositivos eletrônicos para o estudo de fenômenos ópticos.

O procedimento metodológico adotado seguiu as etapas sugeridas por (SEVERINO, 2017): (i) definição do tema e delimitação do problema de estudo; (ii) levantamento bibliográfico em bases de dados e acervos de livros; (iii) leitura exploratória, seletiva e analítica do material coletado; (iv) fichamento e organização das ideias principais; e (v) redação do texto final, estruturando o conteúdo em introdução, revisão teórica, discussão e considerações finais.

Justificativa

A pesquisa se propôs a buscar bibliográfica que descrevem os fenômenos, leis e princípios que mostram o funcionamento das tecnologias baseadas em luz seja ela em formato de onda ou de partícula. A pesquisa baseou-se em conceitos já estabelecidos por cientistas da clássicos e antigos buscaram responder ou descrever acontecimentos da natureza relacionados a luz, isso nos leva a estudiosos como Kepler, Euclides com sua geometria, Newton sua contribuição sobre a natureza corpuscular a, Maxwell unificou os fenômenos elétricos, Huygens com experimento da fenda única Segundo este princípio, devemos imaginar esta propagação da frente de onda constituída por um número muito grande de fontes pontuais, chamadas de fontes secundárias, que emitem ondas esféricas harmônicas secundárias, as quais irão interferir entre si (BARBOSA et al., 2012), que prova que luz é uma onda entre outros mas cada um explica e acrescenta ao tema proposto.

Além do impacto tecnológico, o estudo da óptica desempenha papel pedagógico relevante no ensino de Física, pois proporciona ao estudante o contato com fenômenos visuais de fácil observação e experimentação. A utilização de recursos simples, como câmeras digitais para visualização de radiação infravermelha e microcontroladores como o Arduino para decodificação de sinais, permite conectar teoria e prática, tornando o aprendizado mais dinâmico e significativo, segundo (CAVALCANTE; RODRIGUES; BUENO, 2014), irá se ater a física clássica o impacto social pode ser usado como uma ferramenta que agiliza o estudo como juntar física e matemática uma vez que ele usa recursos matemáticos como semelhança de triângulos que parte da geometria para deduzir fórmulas existentes.

No cenário atual, as tecnologias ópticas desempenham papel estratégico em diversos setores, como telecomunicações, medicina, indústria e entretenimento. As fibras ópticas são responsáveis pela transmissão de grande parte dos dados da internet, enquanto dispositivos emissores e receptores de luz — como LEDs, sensores CCD e sistemas de comunicação infravermelha — são onipresentes em equipamentos eletrônicos, segundo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). Diante desse panorama, torna-se fundamental que a formação de professores e profissionais de ciência contemple não apenas a teoria clássica da óptica, mas

também suas aplicações tecnológicas e seus desdobramentos no cotidiano.

Este trabalho justifica-se, portanto, pela necessidade de integrar fundamentos teóricos, históricos e experimentais da óptica em uma abordagem didática e aplicada, promovendo um aprendizado mais significativo e alinhado com os avanços científicos e tecnológicos do século XXI.

Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral investigar, descrever e demonstrar os principais conceitos da óptica geométrica e ondulatória, relacionando-os com aplicações práticas e tecnologias contemporâneas.

0.1 Objetivos específicos

- Demonstrar Lei da reflexão lei de Snell-Descartes.
- Deduzir formulas e fenômenos nos espelhos e lentes através semelhança de triângulo.
- Revisar os fundamentos históricos e teóricos da óptica, desde os modelos corpuscular.
- Discutir fenômenos de interferência e difração.
- Relacionar os conceitos estudados às aplicações tecnológicas, como fibras ópticas, comunicação via luz e sistemas de controle remoto.
- Explorar possibilidades de experimentação de baixo custo que podem ser utilizadas no ensino de Física, utilizando recursos acessíveis como câmeras digitais e microcontroladores, como sugerem ([CAVALCANTE; RODRIGUES; BUENO, 2014](#)).

1.1 Óptica geométrica

A óptica geométrica se fundamenta em princípios clássicos que descrevem o comportamento da luz sem considerar sua natureza ondulatória. Entre esses princípios estão: a propagação retilínea da luz em meios homogêneos, a lei da reflexão — que estabelece que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão — e a lei da refração — que define que a razão entre o seno do ângulo de incidência e o seno do ângulo de refração é constante para dois meios transparentes (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). A lei da refração somente foi reconhecida na Europa no século XVII. Ela havia sido descoberta por Abū Sad al-Alā Ibn Sahl no século X, tendo sido depois redescoberta por Thomas Harriot e por Willibrord Snell, e publicada em 1637 por René Descartes. As duas primeiras leis da ótica geométrica eram conhecidas e utilizadas desde a Antiguidade – com uma pequena diferença em relação à sua formulação moderna (MARTINS; SILVA, 2013).

A princípio deve-se considerar que o caminho percorrido por um feixe de luz pode ser o mais curto ou mais longo isso é relativo já que pode ser estacionário usando o princípio de máximo e mínimos da matemática, surgiu com Heron de Alexandria (10-70 d.c) e que pode ser descrito pelo princípio de Fermat que diz que o caminho percorrido pela luz entre dois pontos é aquele que minimiza o tempo de percurso dentre todos os possíveis caminhos que ligam esse pontos (FASSARELLA, 2007).

Assim, assumindo a geometria euclidiana e supondo uma região homogeneia opticamente, a versão moderna do princípio de Heron estabelece que o comprimento do caminho $\int ds$ seguido pelo raio de luz entre dois pontos dados e estacionário, quando comparado aos caminhos próximos. Em notação matemática (MARTINS; SILVA, 2013)

Princípio de Fermat

$$\int_A^B dt = \int_A^B \frac{ds}{v}, n = \frac{c}{v} \quad (1.1)$$

$$\int_A^B dt = \int_A^B \frac{ds n}{c} \quad (1.2)$$

$$\Delta t = \frac{1}{c} \int_A^B \frac{ds n}{c} \quad (1.3)$$

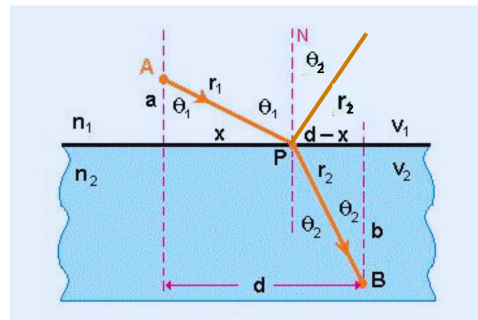
Como c e n são constantes eles saem da integral

$$\Delta t = \frac{n}{c} \int_A^B ds \quad (1.4)$$

se ds é igual a r então a função é reescrita com $v = \frac{c}{n}$ logo, $\Delta t = \frac{r}{v}$. Se a velocidade é constante, com isso o caminho com mínimo de tempo é uma reta

1.2 Lei da reflexão

Figura 1.1: Lei da reflexão.



Fonte: Autor 2025

A lei da reflexão na Figura 1.1 estabelece que $\theta_1 = \theta_2$, isto é, o ângulo de incidência é

igual ao ângulo de reflexão.

$$t(x) = \frac{r_1}{v} + \frac{r_2}{v} \quad (1.5)$$

$$t(x) = \frac{1}{v}(r_1 + r_2) \quad (1.6)$$

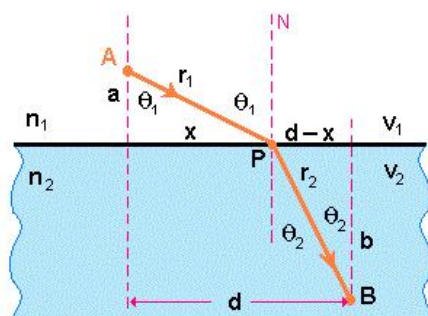
$$t(x) = \frac{1}{v}(\sqrt{a^2 + x^2} + \sqrt{b^2 + (d - x)^2}) \quad (1.7)$$

$$\text{sen}\theta_1 = \text{sen}\theta_2 \quad (1.8)$$

$$\theta_1 = \theta_2 \quad (1.9)$$

1.3 Lei de Snell-Descartes

Figura 1.2: Lei de Snell-Descartes



Fonte:

<https://www.infoescola.com/fisica/principio-de-fermat/> acessado dia 22/07/2025

A lei da refração ou de Snell-Descartes figura 1.2 relaciona os ângulos de incidência e refração aos índices de refração n_1 e n_2 :

$$t(x) = \frac{r_1}{v_1} + \frac{r_2}{v_2} \quad (1.10)$$

lembrando que $n = \frac{c}{v}$

$$t(x) = \frac{1}{c} \left(n_1 \frac{r_1}{v_1} + n_2 \frac{r_2}{v_2} \right) \quad (1.11)$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{c} \left[n_1 (\sqrt{a^2 + x^2} + n_2 \sqrt{b^2 + (d - x)^2}) \right] = 0 \quad (1.12)$$

regra da cadeia

$$\Delta t = \frac{1}{c} \left[n_1 \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} - n_2 \frac{d - x}{\sqrt{b^2 + (d - x)^2}} \right] = 0 \quad (1.13)$$

De acordo com a geometria da Fig. 1.2, as frações da eq. (1.12) correspondem aos senos de θ_1 e θ_2 , de forma que assim obtemos a lei de Snell ([ZILIO, 2009](#)):

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1.14)$$

Essas leis, combinadas ao princípio de Fermat, explicam de forma completa a formação de imagens em espelhos e lentes, permitindo o desenvolvimento de sistemas ópticos complexos, como câmeras, microscópios e fibras ópticas ([HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016](#)).

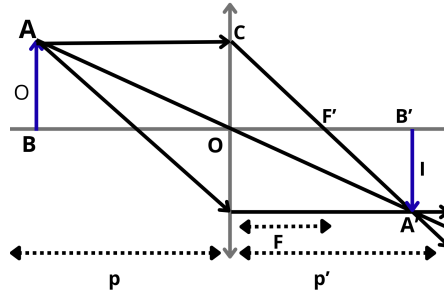
1.4 Espelhos e Equação de Gauss

O ensino de óptica geométrica tem recebido constante atenção de forma a responder aos desafios do ensino de física: carga horária cada vez mais reduzida e uma nova geração de alunos que cresce em meio a novas tecnologias. A influência de experimentos demonstrativos no ensino de óptica geométrica no ensino médio foi investigada, mostrando bom aproveitamento dos alunos para além dos ganhos proporcionados pela ludicidade intrínseca do uso de experimentos ([BARROSO et al., 2018](#)).

A utilização da geometria euclidiana vai gerar as equações isso com decorrer dos anos conceitos a natureza da luz isso veio a ser tratado durante o séculos seguintes isso não é o cerne da óptica geométrica. Com isso veremos o uso de objetos para determinar de forma

geométrica e utilizando para determinar as equações temos os espelhos, lentes etc. Daí surgem vários instrumentos com fundamentais na óptica, a princípio os espelhos :

Figura 1.3: Espelho plano



FonteElaborado pelo autor (2025)

Começemos pelos espelhos. A equação de Gauss relaciona a distância focal f , a posição do objeto p e a posição da imagem p' em espelhos esféricos. A demonstração pode ser feita a partir de considerações geométricas, como mostrado a seguir:

$$\tan(\Theta_i) = \frac{CO}{CA} = \frac{O}{f} \quad (1.15)$$

$$\tan(\Theta_r) = \frac{CO}{CA} = \frac{I}{f - p'} \quad (1.16)$$

$$\frac{O}{f} = \frac{I}{f - p'} \quad (1.17)$$

$$\frac{-I}{O} = \frac{p' - f}{f} \quad (1.18)$$

como obtivemos:

$$\frac{I}{O} = -\frac{p'}{p} \quad (1.19)$$

por substituição:

$$\frac{p'}{p} = \frac{p' - f}{f} \quad (1.20)$$

dividindo pelos fatores f, p'e p:

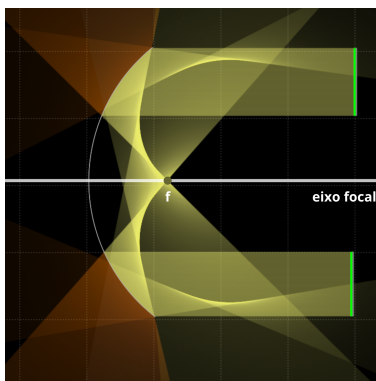
$$f * p' = p * p' + f * p \quad (1.21)$$

teremos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad (1.22)$$

Para os espelhos convexo a imagem vai ser sempre virtual direita e reduzida. se $a > 1$ imagem direita e o espelho e concavo se $a < 1$ a imagem e invertida e o espelho e convexo para o espelho côncavo $f < 0$ para o convexo $f > 0$ Imagens possíveis em espelho côncavo

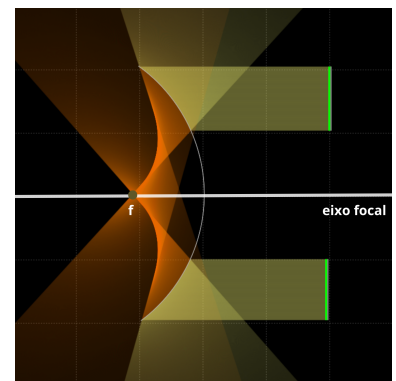
Figura 1.4: Espelho concavo



Fonte:

<https://phydemo.app/ray-optics/pt-BR/> acessado dia 29/08/2025

Figura 1.5: Espelho convexo



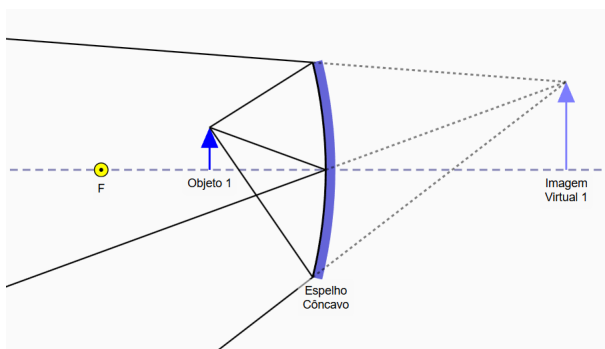
Fonte:

<https://phydemo.app/ray-optics/pt-BR/> acessado dia 29/08/2025

fenômenos com espelho côncavo

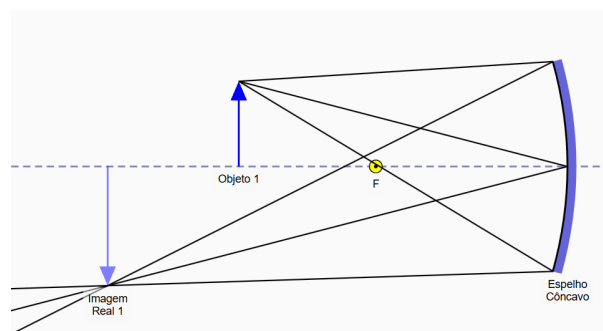
Para os espelhos convexo a imagem vai ser sempre virtual direita e reduzida.

Figura 1.6: 1º: imagem antes do foco, ela é virtual, direita e ampliada



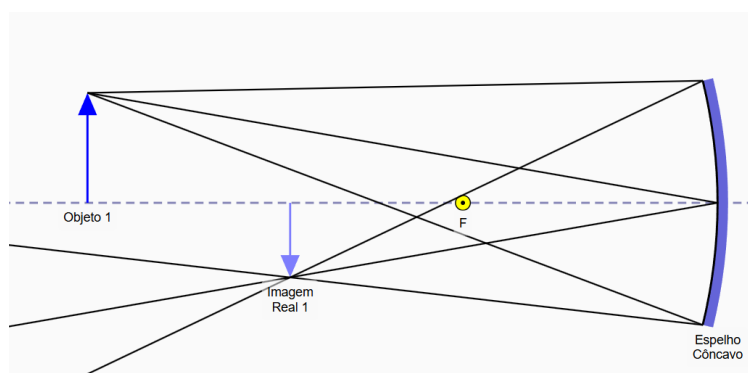
Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt-BR/simulations/geometric-optics>
 acessado dia 28/08/2025

Figura 1.7: 2º: imagem depois do foco, ela é real, invertida e ampliada



Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt-BR/simulations/geometric-optics>
 acessado dia 28/08/2025

Figura 1.8: 3º: imagem depois do foco, ela é real, invertida e reduzida



Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt-BR/simulations/geometric-optics>
 acessado dia 28/08/2025

1.4.1 Lentes

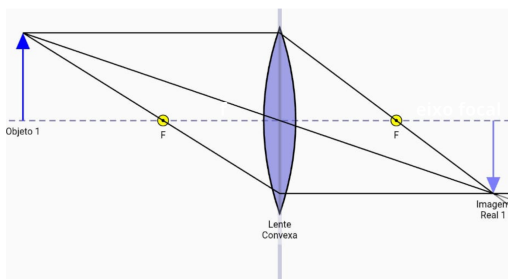
As lentes são os dispositivos ópticos de maior aplicação prática, frequentemente utilizadas em instrumentos ópticos como câmeras fotográficas, microscópios, telescópios, óculos, lupas, entre outros. A construção de lentes para o estudo da óptica pode ser realizada com diversos materiais como, por exemplo, um balão de fundo chato, que é uma vidraria utilizada em laboratórios, preenchido com água, com intuito de simular o comportamento de uma lente líquida esférica biconvexa. Também é possível construí-las com superfícies que podem ser deformadas de uma maneira controlada, permitindo se alterar a sua distância focal, com a mudança de curvatura da lente, através da adição ou subtração de água em seu interior. Para

a confecção deste tipo de lente utilizam-se materiais flexíveis e deformáveis(MENEZES et al., 2025). E levando em conta o fato de que a as lentes e geometria por trás delas utiliza a natureza da luz em quanto matéria assunto e usa a lei de Snell .

Fórmula do fabricante:

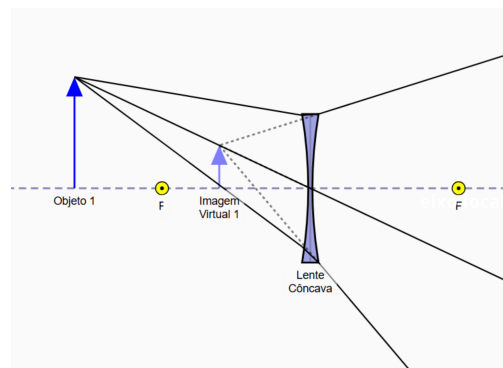
$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} \right) \quad (1.23)$$

Figura 1.9: Lente convexa
(convergente)



Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt-BR/simulations/geometric-optics>
acessado dia 10/09/2025

Figura 1.10: Lente concava
(Divergente)



Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt-BR/simulations/geometric-optics>
acessado dia 06/09/2025

Uma lente convergente forma uma imagem I real e invertida quando objeto O está mais distante da lente que o ponto focal f. A imagem I é invertida e tem a mesma orientação que o objeto O quando O está mais próximo da lente do ponto focal. Uma lente divergente forma uma imagem virtual I, com a mesma orientação que o objeto O, qualquer que seja a sua distância do objeto(HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2011).

Natureza corpuscular da luz

O debate sobre a natureza da luz acompanha a história da ciência desde a Antiguidade. No mundo grego, as primeiras teorias sobre a visão consideravam que os olhos emitiam raios que tocavam os objetos, formando a imagem visual. Essa concepção, conhecida como teoria dos raios visuais, foi gradualmente substituída por explicações mais realistas, como as de Alhazen (Ibn al-Haytham), que no século XI utilizou a câmara escura para demonstrar que a luz se propaga em linha reta e que a visão ocorre quando os raios luminosos provenientes dos objetos atingem o olho (Ronan, 1983).

No século XVII, a óptica passou a ser objeto de investigação sistemática na Europa, com estudos sobre reflexão, refração, dispersão e fenômenos cromáticos. Diversos pesquisadores, como Descartes, investigaram o comportamento da luz em prismas, propuseram leis de reflexão e tentaram calcular a velocidade da luz, que na época era considerada infinita por ser aparentemente instantânea. Descartes chegou a interpretar a luz como uma tendência ao movimento, transmitida instantaneamente através de um meio sutil, o éter (BAKER, 2011).

Os primeiros registros claros do interesse de Newton a respeito de óptica (no nosso sentido) datam de 1664. O historiador Alfred Rupert Hall sugeriu que uma parte de seu interesse por óptica, nessa época, pode ter sido devida a Isaac Barrow, professor de Cambridge, com quem Newton começou a ter contato no início de 1664. Nesse ano ele começou a registrar suas leituras e reflexões sobre este e outros assuntos em um caderno de anotações, cuja parte principal intitulou “Algumas questões filosóficas” (*Quaestiones quaedam philosophicae*; manuscrito conservado na Cambridge University Library)(MARTINS; CELESTINO, 2015).

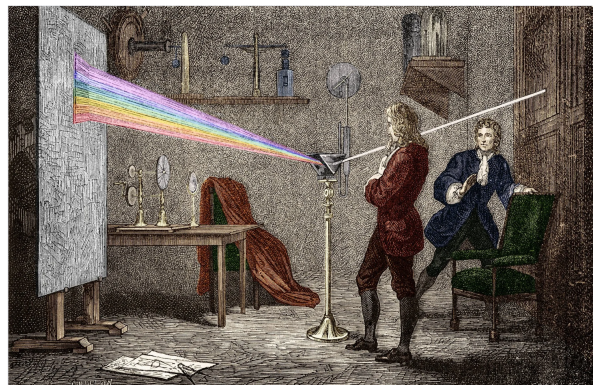
Mostrar que Newton preferia outro tipo de explicação completamente diferente sobre a luz- a hipótese atomista, ou corpuscular. Inicialmente, Newton adotou um ponto de vista corpuscular bastante curioso. Supôs que havia partículas redondas ou glóbulos de luz que se moviam em meio ao éter- em vez de átomos que se movem no espaço vazio, como no caso dos atomistas, Newton fez seus estudos sendo influenciado por esses autores (MARTINS; CELESTINO, 2015).

Em suma a luz se move em linha reta como uma bala de determinado ponto A ao B

o que pode ser provado de forma geométrica e assim podemos afirmar que a luz é composta por matéria, mas isso só é possível se houver interação com objetos o que vários estudiosos provaram como Robert Boyle que influenciou o pensamento de Newton pois ele em um de seus experimentos usou um prisma para decompor a luz ele deixou o prisma em uma sala preta com um feixe de luz passando por um fenda na parede, esta que foi criada a partir dos estudos de Aristóteles para observar eclipses mas nesse ele tinha outro propósito como a produção da "íris" que são as cores esse termo ainda não havia sido empregados.

Isaac Newton, influenciado por pensadores como Robert Boyle, aprofundou-se no estudo da luz ao longo de sua carreira em Cambridge. Utilizando os instrumentos da óptica geométrica — lentes, espelhos e prismas — Newton buscou compreender a natureza da luz. Realizou experimentos (Figura 2.1) em uma sala escura, utilizando uma fenda para permitir a passagem de um feixe de luz solar, que era refratado por um prisma e projetado sobre uma tela branca. Observou que a luz branca se decompunha em um espectro de cores, variando do vermelho ao violeta. Newton interpretou que cada cor correspondia a um tipo de partícula luminosa diferente, com propriedades próprias, especialmente quanto ao índice de refração. Essa interpretação sustentava a ideia de que a luz era composta por corpúsculos emitidos pela fonte luminosa (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Figura 2.1: Experimento do prisma



Fonte: <https://www.custom-images.sciencesource.com/science-source-blog/2022/1/27/isaac-newton-and-understanding-color> acessado dia 08/09/2025

Newton notou que a faixa de luz que mais se distanciava do centro ou branco, pois ele usou um papel em branco para ver seus resultados a luz que mais se distanciava era o violeta e o mais próximo era o vermelho, provando de forma categórica seu modelo corpuscular que dominou a academia até Fresnel apresentar um experimento que contrariava o modelo de Newton e reforçava o de Huygens o que seria o modelo ondulatório.

Em síntese, a teoria corpuscular da luz foi uma etapa fundamental para a compreensão dos fenômenos ópticos, permitindo o desenvolvimento da óptica geométrica e dos instrumen-

tos que hoje utilizamos. Apesar de posteriormente superada em parte pela teoria ondulatória e, no século XX, pela teoria quântica da luz, a concepção de Newton estabeleceu as bases para a descrição matemática de fenômenos como reflexão, refração e formação de imagens — temas centrais para este trabalho.

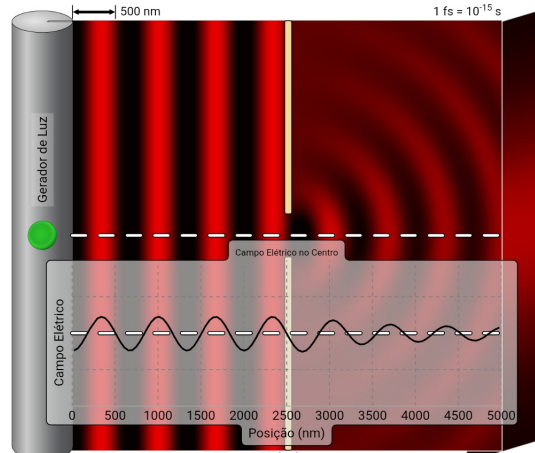
3.1 Fenda única

No início do século XIX, surgiram evidências experimentais que desafiaram a interpretação puramente corpuscular da luz proposta por Newton. Thomas Young, em 1801, realizou o famoso experimento da fenda dupla, demonstrando que a luz apresentava um comportamento característico de ondas. Essa constatação corroborou o princípio ondulatório de Huygens, formulado no século XVII, segundo o qual cada ponto de uma frente de onda se comporta como uma fonte secundária de ondas esféricas. Fresnel, posteriormente, aperfeiçoou o tratamento matemático e forneceu uma explicação mais completa para os fenômenos de difração e interferência (Baker, 2011)

Quando uma onda encontra uma superfície de separação (Figura 3.1) entre o meio em que se propaga e um outro meio, ocorrem, independentemente da natureza desta onda, os seguintes fenômenos ondulatórios: reflexão, transmissão, absorção e difração. A difração ocorre devido às bordas que por ventura existam nesta superfície de separação é caracterizada pela mudança na direção de propagação das partes da frente de onda próximas a estas bordas e que não interceptam a região limitada pela superfície em questão. Tal fenômeno é mais evidente à medida que o comprimento de onda aumenta em relação às dimensões de tal região. A compreensão completa da difração esta longe de ser simples, organizadas em ordem crescente de complexidade, podemos encontrar diferentes níveis de abordagem do fenômeno (BARBOSA et al., 2012).

Isso foi dado por Huygens e ampliado publicado por Fresnel que criou um experimento como uma superfície com uma única fenda no centro com um anteparo atrás da superfície de separação o que se observou foi o seguinte padrão:

A intensidade em função do ângulo de observação θ pode ser descrita por:

Figura 3.1: Fenda única

Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt-BR/simulations/wave-interference> acessado 08/09/2025

$$I_N(r, \theta) = I_N(r, 0) \left[\frac{\sin(N\delta/2)}{N \sin(\delta/2)} \right]^2 \quad (3.1)$$

Diferença de fase entre fontes adjacentes

$$\delta = \frac{2\pi d \sin \theta}{\lambda} \quad (3.2)$$

Máximos principais de interferência

$$\sin \theta_{\max} = \frac{n\lambda}{d}, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (3.3)$$

- I_n : intensidade máxima no centro do padrão
- a : distâncias entre as fenda
- λ : comprimento de onda da luz
- θ : ângulo de observação em relação à direção central

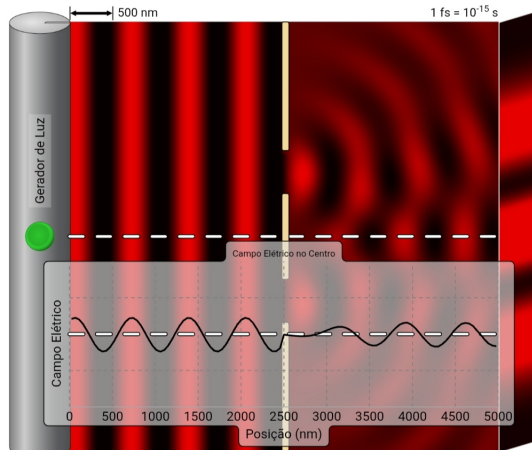
Segundo o princípio de Huygens-Fresnel, cada ponto da frente de onda atua como uma fonte secundária de ondas esféricas. A superposição dessas ondas leva à formação do padrão de difração observado no anteparo. Depois de fazer o experimento da fenda dupla, mas nos dois experimentos se forma o padrão de interferência pelo fato da fenda servir para formar uma frente de onda secundária.

3.1.1 Fenda Dupla

Young ampliou o experimento para duas fendas (Figura 3.2) estreitas e paralelas, iluminadas de forma coerente. O padrão obtido apresenta franjas claras e escuras igualmente espaçadas, resultado da interferência construtiva e destrutiva das ondas provenientes de cada fenda.

A condição para os máximos de interferência é: $d \sin \theta_m = m\lambda$, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Figura 3.2: Fenda dupla



Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt-BR/simulations/wave-interference> acessado 08/09/2025

$$d \sin \theta_n = n\lambda, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Segundo o princípio de Huygens-Fresnel, cada ponto da frente de onda atua como fonte de ondas secundárias. A superposição dessas ondas resulta em interferência construtiva (máximos de intensidade) quando estão em fase, e destrutiva (mínimos de intensidade) quando estão em oposição de fase. Esse fenômeno não pode ser explicado por um modelo puramente corpuscular da luz, constituindo uma das provas mais importantes da sua natureza ondulatória (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

O experimento de Young e o desenvolvimento matemático de Fresnel marcaram a transição para a teoria ondulatória da luz, permitindo explicar fenômenos como difração, interferência e polarização. Esses resultados foram decisivos para o abandono da teoria corpuscular de Newton no século XIX, estabelecendo um novo paradigma para a óptica.

Testes e Resultados

4.1 Sistema de comunicação óptica

Um sistema de comunicação óptica é aquele que tem como portadora dos sinais ondas eletromagnéticas no espectro óptico. Este está contido no intervalo de frequências que vai desde a região do infravermelho longínquo ($100\text{ }\mu\text{m}$), passando pela faixa de luz visível ($0,39$ a $0,77\text{ }\mu\text{m}$), e terminando no domínio do ultravioleta ($0,05\text{ }\mu\text{m}$).

Embora possamos adentrar em muitos detalhes técnicos advindos das especificidades encontradas no âmbito prático, um sistema óptico tem uma amostra básica na nossa vida diária: quando olhamos para alguém entre nós, visualmente, podemos levar e receber informação..

4.2 Emissor

no que se refere ao emissor ele tem uma forma de linguagem uma modulação o qual seria o binário que seria 0 e 1 condições de baixo e alto no 0 temos (bit 0) aproximadamente 0 volts e bit 1 aproximadamente 5 volts podendo assim condensar frase que são traduzidas para binário o que o controle faz quando apertamos um botão, pois cada letra tem um número atribuído a ela, mas também pode ser a comunicação em hexadecimal tabela 1 que um tabela alfanumérico que possui 16 símbolos dentre eles sendo eles.

$S = 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F$

Por exemplo, o número decimal 21 é convertido para hexadecimal dividindo-se por 16: o quociente é 1 e o resto é 5, resultando em $21_{10} = 15_{16}$. Em binário, a representação seria 0001 0101, como mostra a Figura 4.1.

Figura 4.1: tabela 1: hex e binário.

Decimal	Binário	Hexadecimal
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	0A
11	1011	0B
12	1100	0C
13	1101	0D
14	1110	0E
15	1111	0F

fonte : (CAVALCANTE; RODRIGUES; BUENO, 2014)

4.3 Meio

Agora vamos ao meio que pode alterar a quantidade da mensagem e velocidade dela o meio pode ser o ar o vácuo e o que vai ser falado um cabo de óxido de silício dopado com érbio ou fibra óptica o que eles fazem podem mudar causando até interferência.

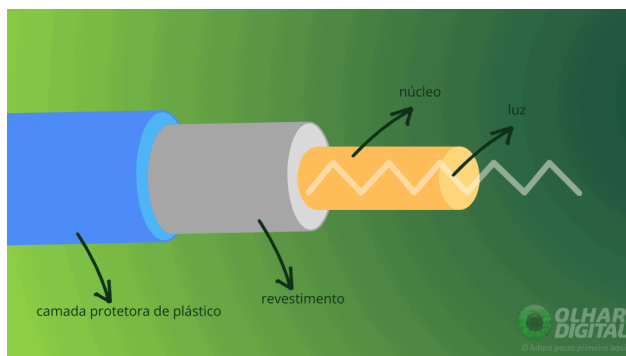
Agora entrando nas tecnologias que usam desses métodos temos a fibra óptica usa pulsos de luz para transmitir informações que foi criada nos anos de 1953 por Narinder Singh Kanpany e foi implementada apenas nos anos sessenta e passou por varias gerações ate chegar ao que e hoje mas muito que foi usado no passado ainda existe hoje como dióxido de silício (SO_2) e um laser que foi modificado o seu funcionamento e baseada na reflexão sendo mais especifico a interna total que e demonstrada da seguinte.

$$n_1 * \text{sen}\theta_1 = n_2 * \text{sen}\theta_2 \quad (4.1)$$

para conseguir o ângulo limite:

$$n_1 * \text{sen}90^\circ = n_2 * \text{sen}\theta_L \rightarrow n_1 = n_2 * \text{sen}\theta_L \rightarrow \text{sen}\theta_L = \frac{n_1}{n_2} \quad (4.2)$$

e assim se encontra o ângulo limite do material que tem um índice de refração usado

Figura 4.2: Fibra óptica

Fonte: <https://olhardigital.com.br/2024/07/30/internet-e-redes-sociais/fibra-optica-o-que-e-e-como-funciona/> acessado 06/09/2025

no cabo de fibra óptica (Figura 4.2) que por não ser feita de nenhum metal tem imunidade eletromagnética esses foi um dos fatores que a colocou na frente de outras máquinas de rádio que sofria de muita interferência. é o cabo de fibra óptica possui um número variado de núcleos ou camadas diferentes para manter o feixe do laser dentro dele deste modo que ele funciona e pode ser monomodo ou multimodo:

4.4 Modulação e Multiplexação

Visto que a comunicação pode ser feita em binário ou hex vai depender da modulação como a fibra óptica e monomodo a modulação e diferente a frase pode ser mandada e demodulada bom o funcionamento e simples cada pulso de luz que significa 1 se existir a ausência e 0 assim e construída uma frase e para enviar várias mensagens se usa multiplexação que divide a frequência, amplitude ou fase.

4.5 Meio

dentro do cabo se usa que seria o emissor um laser que um diodo de GaAlAs(arseneto de gálio e alumínio) nas suas primeira geração que era dopada arsênico que aumentava seu comprimento de onda que poderia se alterada por outas variáveis e seu comprimento de onda ficava entre $0,7 \mu\text{m}$ a $0,8 \mu\text{m}$ com passar das gerações aumentou o ganhos de dados que era 50 mb/s passou para 2 Gb/s podendo chegar a 10 Gb/s com uma perca de dados de 0,2 dB/km mas com uma mudança no laser que passou ser o tipo InGaAsp, o que aumentou a faixa do laser que passou a ser $1,55 \mu\text{m}$ (SILVA, 2016).

Mas a fibra óptica tem suas desvantagens que é a uso de cabos e repetidores a determi-

nadas distâncias na terceira geração era a entre 50 km a 60 km o que mudou com advento dos cabos submarinos que aumentou para 100 km o que conta também com amplificadores que passaram a ser usados desde a quarta geração com sistema que testava o comportamento dos dados em longas distâncias esse e a multiplexação que permitiu o a acesso a vários canais de voz em 1980 eram de 20.000 a 80.000 dependendo do sistema tipo de diodo e usado até hoje inclusive para comprimentos de onda infravermelho (SILVA, 2016).

4.6 Receptor

O receptor irá decodificar a mensagem enviada no que foi modulada e multiplexada ou seja dividida em vários canais então o irá ser feito será uma desmodulação e demultiplexação do frase enviada. Tudo isso através de uma frequência e velocidade que vai varia a depender da faixa luminosa.

4.7 Controle Remoto por Infravermelho

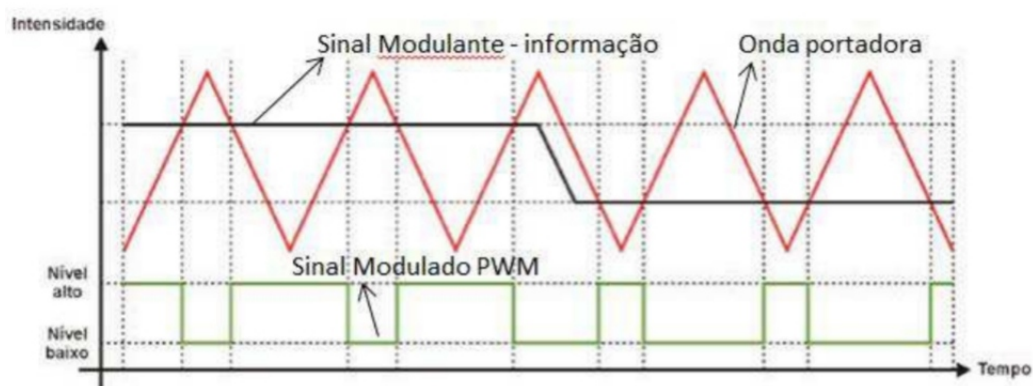
O controle remoto opera do mesmo modo que a fibra ótica com uma mudança no receptor e no comprimento de luz que o infravermelho a modulação dependerá do eletrônico usado mas em suma emite pulsos de luz representa o comandos em binário ou hex.

Nesse modo as cristas da onda representa um e zero o vale assim alguns controles se observam uma luz vermelha no controle piscando ao apertar no botão ou seja são pulsos em binário ou hex enviadas ao receptor que são capturados por uma célula foto elétrica que detecta todas ondas no espectro infravermelho mas a modulação e multiplexação serve para fazer a captura apenas os sinais.

Assim também funciona no controle remoto que usa o modulação do pulso que alargado o demodulador e um e uma célula fotoelétrica a frequência da mensagem e de 33 a 43 Hz para isso serve o modulação e demodulação pois a célula fotoelétrica capta qualquer mensagem.

Portanto a modulação de sinal usada pelo pelo controle remoto e a PWM ou modulação por largura do pulso que aumenta largura do pulso dos sinais dessa maneira assim criando a frase e enviando para o detector irá demodula e demultiplexa dessa forma.

portanto cada botão clicado e um comando como Aumenta o volume em binário e 100000010111110001000011101111 em hexadecimal 40BF609F e assim que controle funciona transforma letras que e números em código partir de modulação que e enviada em formato de pulsos infravermelho.

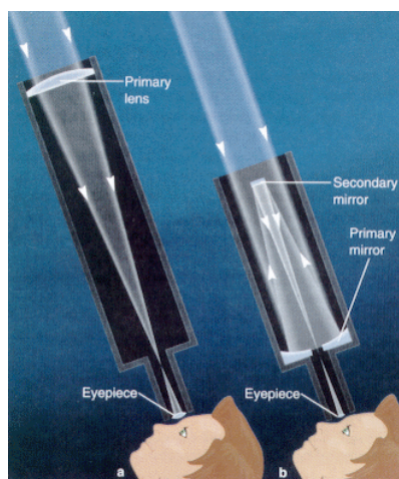
Figura 4.3: Modulação PWM

fonte:

(CAVALCANTE; RODRIGUES; BUENO, 2014)

4.8 Telescópios

Os princípios de reflexão e refração também se aplicam a instrumentos ópticos como telescópios. Telescópios refratores utilizam lentes objetivas para formar imagens, enquanto os refletores usam espelhos côncavos ou parabólicos para concentrar a luz em um ponto focal.

Figura 4.4: telescópio

Fonte: (MARTIOLI, 2009)

No telescópio refrator, a luz passa por uma lente objetiva que diminui o tamanho da imagem para ser observado já no telescópio refletor os utiliza-se um espelho côncavo - que pode ser parabólico, esférico ou hiperbólico- pode fazer com que os raios luminosos se concentram em um único ponto focal

Quanto maior o espelho secundário melhor será o funcionamento do sistema. O processo

ocorre da seguinte forma a legenda no tubo do telescópio muita das vezes de metálico e incide sobre o espelho primário (geralmente um plano ou ligeiramente curvado), é refletida em direção ao espelho ao espelho secundário e por fim, forma a imagem que será observada pelo usuário.

Esse sistema também envolve o conceito difração já que os espelhos primários são separados o que influencia a qualidade da imagem formada.

Considerações Finais

O presente trabalho teve como objetivo investigar os fundamentos teóricos e práticos da óptica, desde os modelos clássicos — corpuscular e ondulatório — até suas aplicações contemporâneas, como a comunicação por fibra óptica e os sistemas de controle remoto. Através de uma abordagem bibliográfica, buscou-se articular conceitos históricos, leis fundamentais e experimentos consagrados, evidenciando a evolução da compreensão sobre a natureza da luz.

E portanto proporcionar ao leitor um amplo entendimento dos estudos e de como a óptica evoluiu com o passar dos anos deu origem a outros campos da física como a área da quântica que tem como uns dos objetos de estudo os fótons, que usa como base outras obras de outros pesquisadores, na ondulatória teve a continuação de Fresnel junto de Huygens e anos depois Young, na geometria vale frisar Snell, Descartes e Fermat que mostrou que a trajetória efetuada pela luz entre dois pontos e uma linha reta.

A luz pode ser interpretada de duas maneiras, corpuscular e ondulatório uma vez que provadas ambas as natureza sera do pesquisador a decisão de qual modelo usar, se for estudos geométricos o modelo e corpuscular já a geometria está apoiada nelas.

Contudo durante a pesquisa notou-se que as demonstrações uso de geometria assunto que é ensinado nas escolas isso seria interessante para futuras pesquisas em sala de aula para mostrar aos alunos como funciona um espelho côncavo e convexo e assim tornar mais acessível o conhecimento a eles sanado a ausência de tal.

Na etapa final, foram exploradas aplicações práticas da óptica na comunicação moderna, com destaque para o uso de fibras ópticas, que proporcionam altas taxas de transmissão de dados, baixa atenuação e imunidade a interferências eletromagnéticas. Também foi abordado o funcionamento de sistemas de modulação por largura de pulso e de dispositivos emissores e receptores de infravermelho, estabelecendo um paralelo com a tecnologia de telecomunicações.

Os resultados obtidos demonstram que o estudo da óptica vai muito além da descrição teórica dos fenômenos luminosos: trata-se de um campo de conhecimento essencial para o avanço tecnológico. As leis que regem a propagação, reflexão e refração da luz permitem o desenvolvimento de dispositivos que impactam diretamente a sociedade, como sensores, câmeras digitais, lasers, fibras ópticas e telescópios.

Portanto, este trabalho buscou não apenas apresentar uma revisão teórica consistente,mas

também destacar a relevância pedagógica e tecnológica do estudo da luz, reforçando seu papel como um dos pilares da Física e um elemento central para o desenvolvimento científico e industrial no século XXI.

Referências

- BAKER, J. *50 ideias de Física que precisa mesmo de saber*. Lisboa: Leya S.A., D. Quixote, 2011. 9, 11, 23
- BARBOSA, V. C. et al. Uma visualização do princípio de huygens-fresnel na obtenção de um padrão de difração. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 3, p. 3301, out. 2012. Acesso em: 09 set. 2025. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/q8qdG4h5jzQ6vHbWfW95JLC/?format=pdf&lang=pt>>. 11, 12, 26
- BARROSO, F. F. et al. *Formação de imagens na óptica geométrica por meio do método gráfico de Pierre Lucie*. 2018. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 40, no. 2, e2501 (2018). Publicado online em 04 de setembro de 2017; acesso via SciELO. 10, 11, 18
- BARROSO, F. F. et al. *Formação de Imagens na Óptica*. 2025. Apostila teórica sobre espelhos, lentes e construção de imagens. 11
- CAVALCANTE, M. A.; RODRIGUES, T. T. T.; BUENO, D. A. Controle remoto: observando códigos com o arduíno (parte 2 de 2). *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 31, n. 3, p. 614–641, 2014. Artigo técnico sobre decodificação de sinais infravermelhos com Arduino. 11, 12, 14, 30, 33
- FASSARELLA, L. *Lei de Snell generalizada*. 2007. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 29, no. 2, pp. 215–224. E-pub: 17 Set 2007. 9, 11, 15
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física - Óptica e Física Moderna, Volume 4*. 9. ed. São Paulo, Brasil: LTC, 2011. Tradução e revisão técnica: Ronaldo Sérgio de Biasi. 22
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física, Vol. 3: Eletromagnetismo*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. ISBN 9788521630079. 11, 12, 15, 18, 24, 28
- MARTINS, R. Andrade de; CELESTINO, C. S. As pesquisas de newton sobre a luz: Uma visão histórica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 4, p. 4202–1–4202–32, 2015. Acesso em: 09 set. 2025. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/JY8NCgHBqbPp3XDBxwgJMSt/?format=pdf&lang=pt>>. 11, 23
- MARTINS, R. d. A.; SILVA, A. P. B. d. Princípios da óptica geométrica e suas exceções: Heron e a reflexão em espelhos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, n. 1, p. 1–9, 2013. Acesso em: 09 set. 2025. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/dyfst8RZ8P7hBfKfw86MH6C/?format=pdf&lang=pt>>. 10, 11, 15

MARTIOLI, E. *Apostila do Curso de Construção de Telescópios*. 2009. Material didático para oficinas de astronomia voltadas ao público geral. 33

MENEZES, V. M. d. et al. *Estudo de Lentes Esféricas Biconvexas*. 2025. Relatório experimental sobre comportamento de lentes esféricas em sistemas ópticos. 11, 22

SEVERINO, A. J. *Metodologia do Trabalho Científico*. São Paulo: Cortez Editora, 2017. E-book, ISBN 978-85-249-2520-7. 11

SILVA, E. *1 – Sistemas de Comunicação Óptica*. 2016. PDF uploaded to Academia.edu (approximately 27 pages). Available via Academia.edu. 31, 32

ZILIO, S. C. *Óptica Moderna: Fundamentos e Aplicações*. 2009. Livro eletrônico, Universidade de São Paulo, Instituto de Física de São Carlos. ISBN 978-85-88533-42-4. Disponível em: <<http://fotonica.ifsc.usp.br/ebook/book1/Optica-Moderna.pdf>>. 11, 18

Apêndice