



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES E HUMANIDADES  
GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA

# **ATIVIDADES EXPERIMENTAIS PARA O ENSINO DE ÓPTICA GEOMÉTRICA**

LUCAS LOURENÇO BARBOSA GONÇALVES

GOIÂNIA – GOIÁS

2022

LUCAS LOURENÇO BARBOSA GONÇALVES

# **ATIVIDADES EXPERIMENTAIS PARA O ENSINO DE ÓPTICA GEOMÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura Plena em Física da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Clóves Gonçalves Rodrigues

GOIÂNIA – GOIÁS

2022

LUCAS LOURENÇO BARBOSA GONÇALVES

ATIVIDADES EXPERIMENTAIS PARA O  
ENSINO DE ÓPTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Formação de Professores e Humanidades da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Licenciatura Plena em Física.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Clóves Gonçalves Rodrigues  
Orientador  
Pontifícia Universidade Católica de Goiás

---

Prof. Me. Clebes André da Silva  
Pontifícia Universidade Católica de Goiás

---

Prof. MsC. Manoel Alves Rodrigues Junior  
Universidade Federal de Goiás

Goiânia - GO  
2022

*Dedico este trabalho a todas as mentes que anseiam por conhecimento, e especialmente a todas as mentes que ainda virão ao mundo e com plena certeza se encantaram com o tamanho conhecimento adquirido até os dias de hoje.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por ter possibilitado essa grande oportunidade em minha vida e estar me abençoando sempre.

A minha namorada, Nathália. Suas palavras de apoio, confiança em mim e sempre me encorajando, tornou possível a minha trajetória até aqui.

A minha família, por sempre estenderem as mãos e não medir esforços em me ajudar.

A todos os professores da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, em especial o professor Edson Vaz de Andrade: todos os seus conhecimentos transmitidos possibilitaram uma expansão em meu horizonte.

Ao meu orientador Clóves Gonçalves Rodrigues, um grande educador e que sempre compartilha seus conhecimentos com todos.

*“A mente que se abre a uma nova ideia  
jamais voltará ao seu tamanho original.”*

**Albert Einstein (1879 - 1955).**

## RESUMO

A utilização da experimentação no ensino de física desempenha um papel importante para se alcançar uma aprendizagem significativa, sendo uma ferramenta didática de ensino capaz de proporcionar a união entre teoria e prática. A experimentação faz com que os alunos não permaneçam somente no mundo da teoria, possibilitando estabelecer a relação entre ambos: teoria-prática. Assim, independente da escola dispor de um laboratório, o professor pode fazer uso de materiais de baixo custo e/ou de materiais recicláveis e de fácil acesso, sempre que houver possibilidade de desenvolver um contexto experimental referente aos conteúdos ministrados na disciplina. Nesta perspectiva, nessa monografia foram propostos experimentos didáticos com materiais de fácil acesso e de baixo custo, atribuindo ênfase aos conceitos estabelecidos da óptica geométrica, tendo como principal objetivo auxiliar professores e estudantes no processo de ensino-aprendizagem.

**Palavras-chave:** Experimentos didáticos. Experimentos de baixo custo. Ensino de Física. Óptica.

## SUMÁRIO

Introdução.....	10
Capítulo1 – Óptica Geométrica.....	13
1.1. Conceitos Iniciais – Fontes de Luz.....	13
1.1.1. Fontes de Luz Primária.....	13
1.1.2. Fontes de Luz Secundária.....	14
1.2. Meios de Propagação da Luz.....	14
1.2.1. Transparentes.....	14
1.2.2. Translúcidos.....	15
1.2.3. Opacos.....	16
1.3. Raios de Luz.....	17
1.4. Feixes de Luz e Pincel de Luz.....	18
1.5. Princípios da Óptica Geométrica.....	19
1.6. Reflexão da Luz.....	21
1.6.1. Reflexão Regular.....	21
1.6.2. Reflexão Difusa.....	22
1.7. Leis da Reflexão da Luz.....	23
1.8. Espelho Plano.....	24
1.8.1 Associação de Espelhos.....	25
1.9. Espelhos Esféricos.....	27
1.9.1. Elementos dos Espelhos Esféricos.....	28
1.9.2. Espelho Côncavo.....	29
1.9.3. Espelho Convexo.....	32
1.10. Equação dos Pontos Conjugados.....	32
1.11. Refração.....	34
1.11.1. Índice de Refração.....	34
1.11.2. Refração da Luz para um Meio Mais Refringente.....	34
1.11.3. Refração da Luz para um Meio Menos Refringente.....	35
1.12. Dioptra Plano.....	35
1.13. Reflexão Interna Total.....	36
1.14. Dispersão da Luz.....	37

1.14.1. O Arco-íris.....	39
1.15. Lentes Esféricas.....	41
1.15.1. Lentes Convergentes.....	42
1.15.2. Lentes Divergentes.....	42
1.15.3. Elementos das Lentes Esféricas.....	43
1.15.4. Construção de Imagens em Lentes Convergentes.....	47
1.15.5. Construção de Imagens em Lentes Divergentes.....	49
1.16. O Olho Humano.....	50
1.16.1. Funcionamento do Olho Humano.....	51
1.16.2. Duração da Imagem na Retina.....	51
1.16.3. Ponto Cego do Olho.....	52
Capítulo 2 – Proposta de Experimentos Didáticos para o Ensino de Óptica Geométrica.....	53
2.1. Experimento 1: Ângulos de Incidência e Reflexão.....	53
2.2. Experimento 2: Ângulos de Incidência e Reflexão 2.....	56
2.3. Experimento 3: Espelhos em Ângulo.....	61
2.4. Experimento 4: Caleidoscópio.....	64
2.5. Experimento 5: Periscópio.....	68
2.6. Experimento 6: Refração da Luz.....	74
2.7. Experimento 7: Refração na Água.....	79
2.8. Experimento 8: Lente Convergente.....	82
2.9. Experimento 9: Ponto Cego do Olho.....	85
2.10. Experimento 10: Duração da Imagem na Retina.....	87
2.11. Experimento 11: Prisma.....	91
Capítulo 3 .....	93
Conclusão.....	93
Bibliografia.....	94

## Introdução

Desde a antiguidade, o homem busca explicar e compreender os fenômenos presentes no mundo, e neste sentido destaca-se a Física. A Física é uma ciência que estuda os fenômenos da natureza, sendo capaz de explicar desde acontecimentos corriqueiros do dia a dia até a compreensão do funcionamento de sistemas biológicos, astronômicos, quânticos, complexos, nanométricos, etc. Assim, a Física abrange uma gama de conteúdos, os quais são indispensáveis para o desenvolvimento científico e humano (MARTINS; RODRIGUES; ANDRADE, 2022).

O ensino de física e de ciências no ensino médio e no fundamental 2, geralmente é ministrado somente com a apresentação de conceitos teóricos sem a realização de práticas experimentais e de laboratório (ARAUJO, 2022). Em geral, segue o modelo de ensino tradicional, enfatizando a memorização de leis e de cálculos matemáticos, com exercícios teóricos, focando apenas na abstração e resolução de problemas (MOREIRA, 2018). Sem estabelecer relações com o cotidiano dos alunos, tal método de ensino acaba se configurando no que se pode chamar de aulas “monótonas”, gerando falta de interesse por parte dos alunos e se distanciando de uma aprendizagem significativa. Segundo Moreira (2018):

O resultado desse ensino é que os alunos, em vez de desenvolverem uma predisposição para aprender Física, como seria esperado, para uma aprendizagem significativa, geram uma indisposição tão forte que chegam a dizer, metaforicamente, que “odeiam” a Física. (MOREIRA, 2018, p. 73).

No entanto, pode-se optar por diversas maneiras de se ensinar uma determinada disciplina (SANTOS, 2022a, 2022b). Sendo assim, fica evidente a necessidade de estratégias eficientes que possibilitem que o conteúdo ministrado se aproxime da realidade vivenciada pelo aluno, favorecendo a compreensão de conceitos físicos, a reflexão crítica e a dinamização do ensino, tornando-o interessante e divertido, podendo resultar em uma aprendizagem mais efetiva (BORGES, 2022a).

A utilização da experimentação no ensino de física, desempenha um papel importante para se alcançar uma aprendizagem significativa, sendo uma ferramenta didática de ensino capaz de proporcionar a união entre teoria e prática. A experimentação faz com que os alunos não permaneçam somente no mundo da

teoria, mas possibilita estabelecer a relação entre ambos: teoria-prática. Desta forma torna-se possível esta relação harmoniosa entre a teoria e a prática, inserindo nos alunos a capacidade de investigação, de tomada de decisão, de verificação, de manipulação de leis e de possíveis questionamentos. Segundo Guimarães (2009):

No ensino de ciência, a experimentação pode ser uma estratégia eficiente para a criação de problemas reais que permitam a contextualização e o estímulo de questionamento de investigação. Nesta perspectiva, o conteúdo a ser trabalhado caracteriza-se como resposta aos questionamentos feitos pelos educandos durante a interação com o contexto criado. No entanto, essa metodologia não deve ser pautada nas aulas experimentais do tipo “receita de bolo”, em que os aprendizes recebem o roteiro para seguir e devem obter resultados que o professor espera tampouco apetecer que o conhecimento seja constituído pela mera observação. Fazer ciência, no campo científico, não é aleatório. Ao ensinar ciência, no âmbito escolar, deve-se também levar em consideração que toda observação não é feita num vazio conceitual, mas a partir de um corpo teórico que orienta a observação. (GUIMARÃES, 2009, p.198).

Ainda nesta perspectiva, independente da escola dispor de um laboratório, o professor pode fazer uso de materiais de baixo custo e/ou de materiais recicláveis e de fácil acesso, sempre que houver possibilidade de desenvolver um contexto experimental (SANTOS, 2022).

A disciplina de física é composta por uma demasiada gama de conteúdos que ao longo das épocas foram repassados e aprimorados, surgindo novos questionamentos e descobertas. Tudo isto nos remete a importância de se estudar física, não só por proporcionar a compreensão do mundo, mas por todos os avanços tecnológicos obtidos com ela, os quais servem para melhorar a qualidade de vida do ser humano. Uma importante área de estudo da física é a dos fenômenos luminosos.

O estudo dos fenômenos luminosos, denominado de óptica, permitiu grandes avanços como, por exemplo, o de diagnosticar e tratar o câncer. De acordo com Bagnato e Pratavieira (2015):

... o número de aplicações das ciências da vida envolvendo luz é praticamente inesgotável. O tópico é tão importante, que recebe um nome para si: biofotônica. Trata-se da interação da luz com células a fim de podermos diagnosticar doenças ou mesmo tratá-las. (...) a luz interage com a matéria, a excitação eletrônica permite depositar calor no tecido biológico, ou mesmo tornar as moléculas mais reativas, alterando o metabolismo natural, ou ainda podemos coletar a luz reemitida pelo tecido biológico e utilizá-lo como uma impressão digital das biomoléculas ali presentes, fato que pode diagnosticar uma doença, como câncer ou outra. (BAGNATO e PRATAVIEIRA, 2015, p.4206-6.)

A óptica é a área da Física responsável por estudar os fenômenos da interação da luz com a matéria e possui uma vasta aplicabilidade. Algumas dessas aplicações, bastante conhecidas, são: espelhos, óculos, lentes, etc. Neste sentido podemos citar a aplicação destes no auxílio do estudo em outras áreas, como é o caso do microscópio utilizado para estudar micro-organismos e do telescópio usado para a observação de objetos astronômicos.

Este trabalho tem como principal objetivo, trazer à tona a utilidade da óptica no cotidiano, atribuindo ênfase aos conceitos estabelecidos da óptica geométrica. Para tanto, foram propostos experimentos didáticos utilizando materiais de baixo custo e de fácil acesso. A construção e utilização destes aparatos experimentais de baixo custo podem implicar numa melhor compreensão dos conceitos físicos envolvidos no fenômeno.

A monografia está assim organizada. O Capítulo 1 apresenta a teoria básica da óptica geométrica. O Capítulo 2 apresenta uma proposta de experimentos didáticos para o ensino da óptica geométrica. O último Capítulo se reserva aos comentários finais e logo a seguir as referências. Os anexos apresentam dois artigos publicados referente a esta monografia.

# Capítulo 1

## Óptica Geométrica

O estudo da óptica pode ser dividido em *óptica ondulatória*, que se encarrega do estudo do comportamento ondulatório da luz, e na *óptica geométrica* que estuda o comportamento geométrico da luz, isto é, não leva em consideração o comportamento ondulatório da luz, fazendo uso dos princípios da geometria plana.

### 1.1 Conceitos Iniciais: Fontes de Luz

Em nosso cotidiano, os objetos são iluminados pela luz do Sol, e estes refletem a luz até nossos olhos permitindo enxergá-los. Quanto às fontes de luz, os corpos são classificados em dois tipos:

#### 1.1.1. Fontes de Luz Primária

Corpos capazes de emitir luz própria. Exemplos: Uma lâmpada acesa, a chama de uma vela, as estrelas (como o Sol), entre outros.

*Figura 1.1 – Lâmpada acesa.*



Fonte: <https://images.app.goo.gl/pPXBmdPD5fK58oQX8>. Acessado em: 22 de outubro de 2022.

### 1.1.2. Fontes de Luz Secundária

Corpos que não emitem luz própria, ou seja, apenas refletem a luz recebida. Exemplos: a lua é uma fonte de luz secundária, pois reflete a luz que recebe do Sol (BORGES, 2022b), (MARTINS; OSÓRIO; RODRIGUES, 2022). Podemos citar como exemplos, um vaso de planta, um lápis, uma parede, entre muitos outros presentes no dia a dia.

*Figura 1.2 – Lua Cheia.*



Fonte: <https://www.todamateria.com.br/fases-da-lua/amp/>. Acessado em: 22 de outubro de 2022.

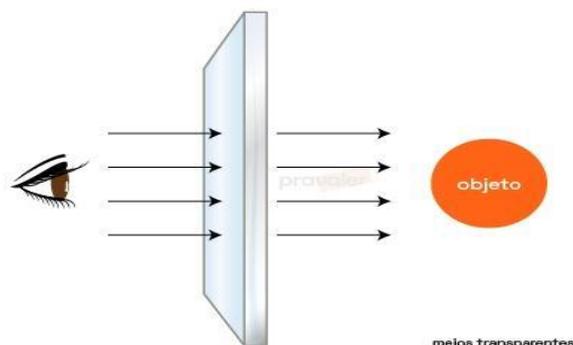
## 1.2 Meios de Propagação da Luz

Este conceito é referente à influência que os objetos considerados transparentes, translúcidos e opacos exercem na trajetória da luz.

### 1.2.1. Transparentes

Objetos nos quais permitem a passagem da luz e descrevem trajetórias bem definidas, Figuras 1.3 e 1.4. Dessa forma possibilita a visualização nítida de um objeto atrás desse corpo. Temos como exemplo um vidro que seja liso, como algumas janelas de vidro, um aquário, entre outros.

Figura 1.3 – Representação de um meio transparente.



Fonte: <https://www.google.com/amp/s/www.pravaler.com.br/luz-fontes-propagacao-e-principais-fenomenos-opticos/%3famp=true>. Acessado em: 22 de outubro de 2022.

Figura 1.4 – Representação de uma janela de vidro transparente.

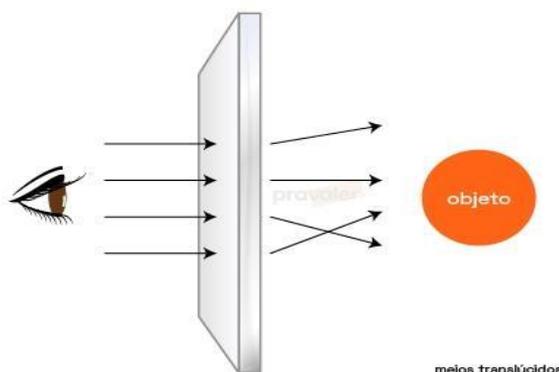


Fonte: <https://images.app.goo.gl/8PFrDsoMmKmwcbcg6>. Acessado em: 22 de outubro de 2022.

### 1.2.2. Translúcidos

Objetos que permitem a passagem da luz, contudo a trajetória da luz é irregular e difusa, ou seja, compromete a nitidez dos objetos posicionados atrás destes corpos, Figuras 1.5 e 1.6. Exemplos: um vidro ondulado, neblina, sacola plástica, entre outros.

Figura 1.5 – Representação de um meio translúcido.



Fonte: <https://www.google.com/amp/s/www.pravaler.com.br/luz-fontes-propagacao-e-principais-fenomenos-opticos/%3famp=true>. Acessado em: 22 de outubro de 2022.

Figura 1.6 – Visualização de uma maçã através de um meio translúcido.

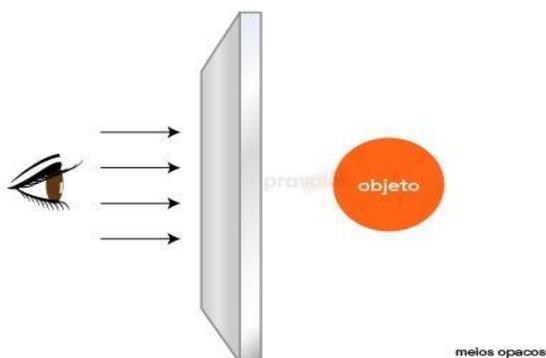


Fonte: <https://bendheim.com/product/translucent-white-fritted-architectural-glass/>. Acessado em: 22 de outubro de 2022.

### 1.2.3. Opacos

São objetos que não permitem a passagem da luz, ou seja, quando incidem sobre estas superfícies parte da luz incidente é refletida e absorvida, Figura 1.7. Quando parte da luz é absorvida pelo corpo, esta é transformada em outros tipos de energia, como a térmica (GONTIJO, 2021). Exemplos: uma porta de madeira, a parede de uma casa, metais, entre outros. A Figura 1.8 mostra dois armários de madeira: um fechado e outro aberto. A porta do armário que está fechado não possibilita a visualização de seu interior e se comporta como um objeto opaco.

Figura 1.7 – Representação de um meio opaco.



Fonte: <https://www.google.com/amp/s/www.pravaler.com.br/luz-fontes-propagacao-e-principais-fenomenos-opticos/%3famp=true>. Acessado em: 22 de outubro de 2022.

Figura 1.8 – Um armário como representação de um objeto opaco.

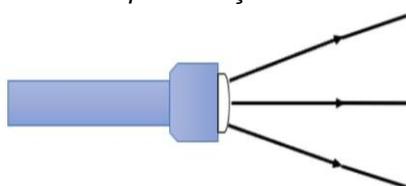


Fonte: <https://www.carrefour.com.br/armario-multiuso-2-portas-e-6-prateleiras-margarida-henn-branco-mp01416005/p>. Acessado em: 25 de outubro de 2022.

### 1.3 Raios de Luz

É uma representação geométrica da luz, indicando a sua direção e sentido de propagação. Raio de luz é uma linha orientada que tem origem na fonte de luz, no caso da Figura 1.9 a lanterna é a fonte de luz e as retas representam os raios de luz.

Figura 1.9 – Representação dos raios de luz.



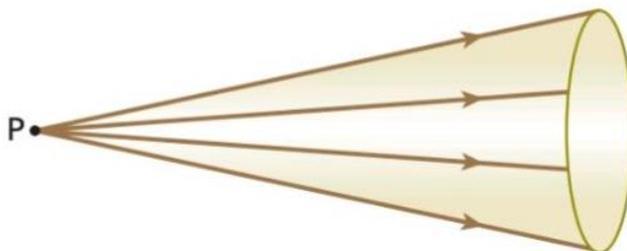
Fonte: O autor.

## 1.4 Feixes de Luz e Pincel de Luz

O feixe de luz é composto de raios de luz provenientes de uma única fonte. A geometria formada pelo feixe de luz é denominada pincel de luz. Dessa forma, se classificam em três representações geométricas, sendo:

- **Cônico divergente:** os raios de luz divergem de um ponto P, Figura 1.10.

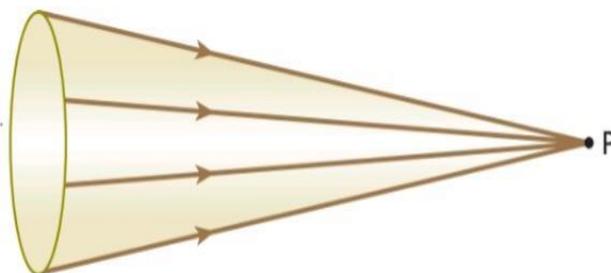
*Figura 1.10 – Representação de um pincel cônico divergente.*



*Fonte: O autor.*

- **Cônico convergente:** os raios de luz convergem para um ponto P, Figura 1.11.

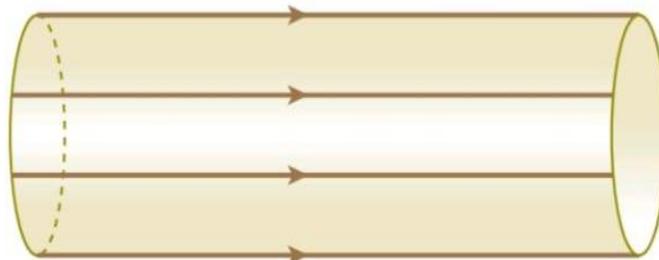
*Figura 1.11 – Representação de um pincel cônico convergente.*



*Fonte: O autor.*

- **Cilíndrico:** os raios de luz são paralelos, Figura 1.12.

*Figura 1.12 – Representação de um pincel cilíndrico.*



*Fonte: O autor.*

## 1.5 Princípios da Óptica Geométrica

### 1º princípio: propagação retilínea da luz

O princípio da propagação retilínea da luz estabelece que, quando a luz se propaga em meios homogêneos, ou seja, que apresentam propriedades iguais em todos os seus pontos, sua trajetória é retilínea. Exemplo: um meio transparente, como o vidro de um aquário, sendo totalmente homogêneo, permite a trajetória retilínea da luz, possibilitando a visualização nítida do seu interior, Figura 1.13.

Figura 1.13 – Aquário.



Fonte: <https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/beautiful-fish-aquariumgoldfish-aquarium-on-background-612339296>. Acessado em: 22 de outubro 2022.

### 2º princípio: independência dos raios de luz

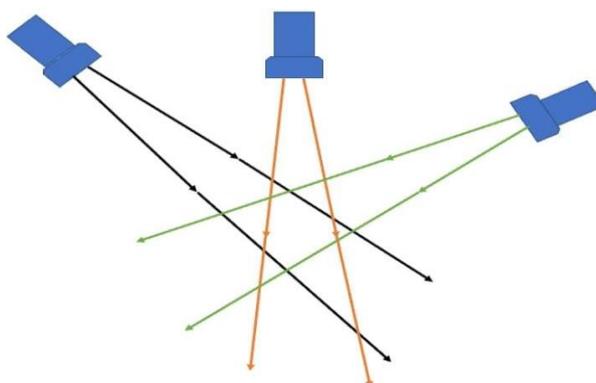
O princípio da independência dos raios de luz afirma que os pincéis de luz, são independentes. Isso significa dizer que, quando vários raios de luz estão sendo emitidos de forma simultânea, porém partindo de fontes diferentes, a trajetória de cada pincel de luz não é afetada pelo cruzamento com outro pincel de luz, ou seja, cada um mantém sua trajetória independente da presença do outro. Um exemplo prático deste princípio são os holofotes utilizados em palco de shows, Figura 1.14. O pincel de luz de cada holofote se cruza e mantém suas trajetórias independentes, Figura 1.15.

Figura 1.14 – Vários holofotes acesos em um show.



Fonte: [https://br.freepik.com/fotos-premium/cena-luz-do-palco-com-holofotes-coloridos-e-fumaca\\_13680550.htm](https://br.freepik.com/fotos-premium/cena-luz-do-palco-com-holofotes-coloridos-e-fumaca_13680550.htm). Acessado em: 22 de outubro de 2022.

Figura 1.15 – Representação dos raios de luz provenientes de holofotes.



Fonte: Os autor.

### 3º princípio: reversibilidade dos raios de luz

O princípio da reversibilidade dos raios de luz afirma que a trajetória percorrida por um raio de luz não sofre modificação se invertemos o seu sentido de propagação, ou seja, se um raio de luz parte de um ponto A até um ponto A', e depois parte de A' até A, possuem a mesma trajetória.

O fato de o motorista dentro do carro enxergar um passageiro no interior do carro através do espelho retrovisor e o passageiro enxergar o motorista da mesma forma, se dá por meio deste princípio dos raios de luz, Figura 1.16.

Figura 1.16 – Motorista visualizando passageiro através do espelho retrovisor.



Fonte: <https://images.app.goo.gl/27Vzk9sacBzzBrmE6>. Acessado em: 22 de outubro de 2022.

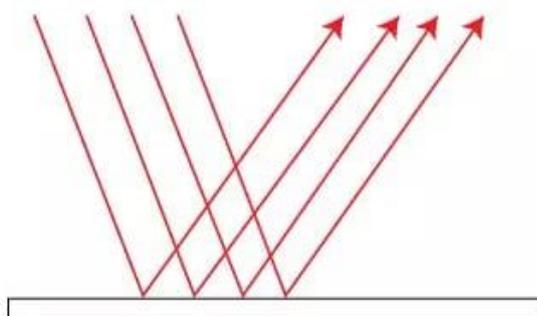
## 1.6 Reflexão da Luz

A reflexão da luz é um fenômeno que ocorre quando raios de luz incidem sobre uma superfície e retornam para o seu meio de origem. O fato de podermos enxergar os objetos ao nosso redor se deve a esse fenômeno. Os raios de luz incidem nos objetos e são refletidos até que cheguem aos olhos. No estudo da reflexão da luz temos dois tipos de reflexão: a regular e difusa.

### 1.6.1. Reflexão Regular

Esse tipo de reflexão faz com que os raios incidentes em uma superfície polida e lisa, sejam refletidos mantendo-se a sua posição paralela um em relação ao outro e numa única direção. Um exemplo prático dessa reflexão é a incidência de luz sobre um espelho, onde permite a formação de imagens nítidas, Figura 1.17.

Figura 1.17 – Representação da reflexão regular.

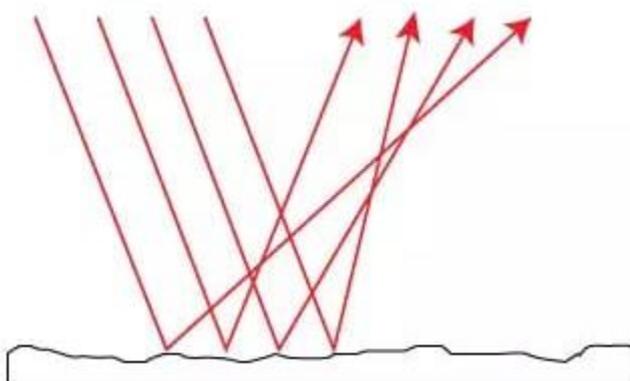


Fonte: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/reflexao-da-luz>. Acessado em: 24 de outubro de 2022.

### 1.6.2. Reflexão Difusa

Ao contrário da reflexão Regular, a reflexão difusa ocorre quando os raios de luz incidem em uma superfície irregular, fazendo com que os raios refletidos se espalhem cada qual seguindo uma direção diferente, Figura 1.18. Um exemplo é a formação da imagem distorcida na superfície da água de um lago em que a água não está completamente parada e lisa, Figura 1.19.

Figura 1.18 – Representação da reflexão difusa.



Fonte: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/reflexao-da-luz>. Acessado em: 24 de outubro de 2022.

Figura 1.19 – Formação da imagem da superfície da água.



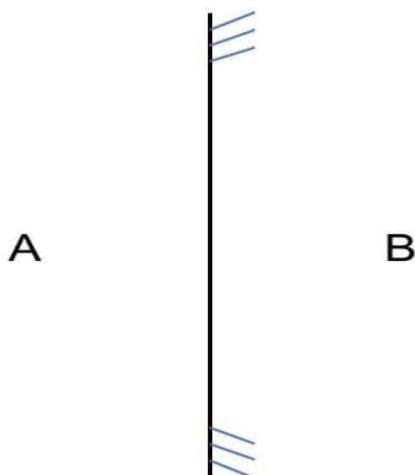
Fonte: <https://images.app.goo.gl/BWBgcQBhryeHDRKS9>. Acessado em 22 de outubro de 2022.

### 1.7 Leis da Reflexão da Luz

Para representar um espelho plano, será utilizado o esquema de acordo como a Figura 1.20, uma reta representando o espelho plano onde seu lado A é a parte

espelhada e o lado B é a parte de trás do espelho onde as bordas da reta possuem a simbologia de traços.

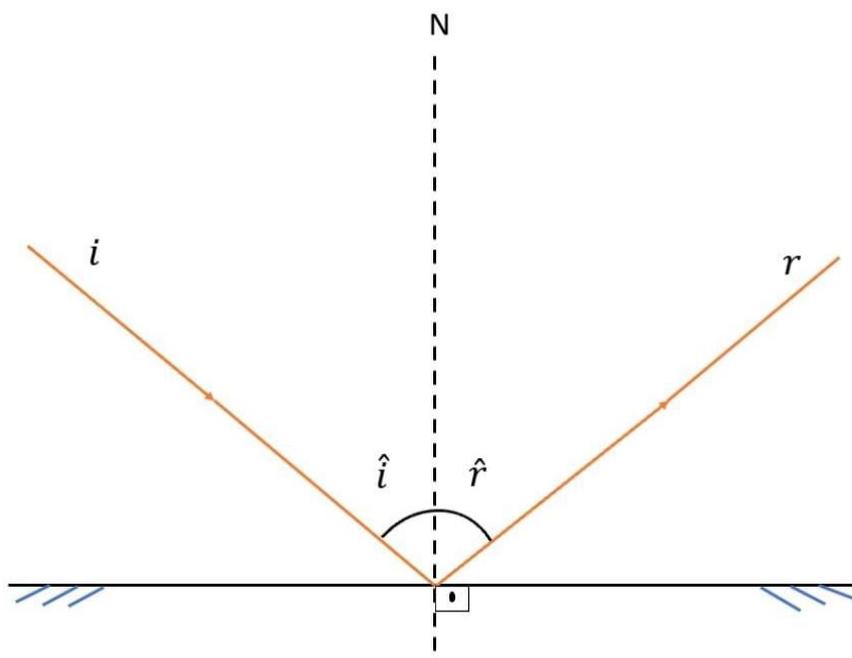
Figura 1.20 – Representação de espelho plano.



Fonte: O autor.

Na Figura 1.21, um espelho está na horizontal com sua parte espelhada para cima. Um raio de luz ( $i$ ) incide sobre o espelho formando um ângulo com a reta normal ( $N$  = reta tracejada na vertical). Este ângulo é chamado de ângulo de incidência ( $\hat{i}$ ). Após incidir no espelho plano será refletido um raio de luz ( $r$ ) que possui um ângulo em relação à reta normal e é chamado de ângulo de reflexão ( $\hat{r}$ ).

Figura 1.21 – Raio incidente e raio refletido no espelho plano.



Fonte: o autor.

Portanto, as leis da reflexão da luz são:

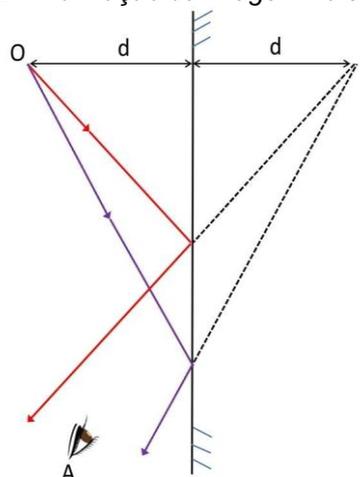
- **1° lei:** o raio incidente ( $i$ ), o raio refletido ( $r$ ), e a reta normal (N), são coplanares, ou seja, pertencem ao mesmo plano. No caso da Figura 1.21, representa o plano da página.
- **2° lei:** o ângulo de incidência ( $i$ ) e o ângulo refletido ( $r$ ) são iguais em relação à normal (N).

## 1.8 Espelho Plano

Um espelho plano é um sistema óptico capaz de refletir os raios de luz incidentes. Geralmente o espelho é constituído de uma lâmina de vidro transparente e um composto de prata metálica que recobre uma de suas faces. Este tipo de espelho é muito utilizado no cotidiano, como em porta de guarda-roupas, armários de banheiro, entre outros.

Ao posicionar um objeto (O) frente ao espelho plano, os raios de luz que partem do objeto (O) sofrem reflexão obedecendo às leis da reflexão da luz. Após serem refletidos, chegam até o olho do observador (A). De acordo com a Figura 1.22, a formação da imagem se dá no ponto (I) e se configura como uma imagem virtual por conta de ser formada pelo prolongamento dos raios de luz refletidos que é representado pelas retas tracejadas. Em relação ao olho do observador (A), a imagem no ponto (I) se comporta como objeto real, ou seja, como se a luz fosse proveniente desse ponto.

Figura 1.22 – Formação da imagem no espelho plano.



Fonte: O autor.

Nos espelhos planos a propriedade de simetria é sempre obedecida. A distância ( $d$ ) entre o objeto e a imagem em relação ao espelho, sempre terá as mesmas dimensões. Por conta disso, ocorrendo um afastamento ou uma aproximação do espelho, essa simetria se mantém para cada caso.

A imagem no espelho plano é reversa, isto é, a imagem corresponde ao avesso do objeto posicionado frente ao espelho. Observando a Figura 1.23, a mão direita da mulher corresponde à mão esquerda da sua imagem no espelho.

*Figura 1.23 – Imagem reversa da mulher no espelho plano.*



Fonte: <https://www.wallpaperflare.com/500px-long-hair-mirror-reflection-giovanni-zacche-women-wallpaper-pgzjp/download/1082x1922>. Acessado em: 22 de outubro de 2022.

Quando uma pessoa está observando a imagem de um objeto formado no espelho, nota-se que quanto mais distante o objeto estiver do espelho, menor será a sua imagem, mas esse fator considerado não implica na diminuição do seu tamanho real, o que ocorre é a diminuição do ângulo visual de observação ser cada vez menor.

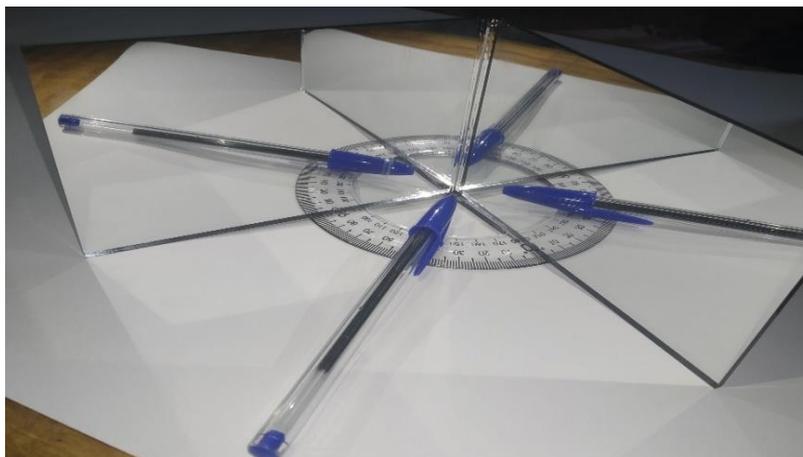
### **1.8.1. Associação de Espelhos Planos**

Quando colocamos dois espelhos associados, com uma de suas extremidades conectadas e possibilitando a variação do ângulo entre estes espelhos, obtemos um número de imagens que pode ser determinado pela relação:

$$n = \frac{360^\circ}{\theta} - 1, \quad (1.1)$$

sendo  $n$  o número de imagens formadas na associação para dois espelhos planos. Se em alguma hipótese o número de imagens não for inteiro, deve ser feito o arredondamento. A Figura 1.24 apresenta a associação de dois espelhos planos com um ângulo de  $90^\circ$  entre si, formando três imagens.

Figura 1.24 – Formação de imagem em uma associação de espelhos.



Fonte: O autor.

Outro caso interessante, é quando se dispõe de dois espelhos planos posicionados paralelamente. Neste caso a imagem formada em um espelho serve de objeto para o outro espelho. Isso implica na formação infinita de imagens. A Figura 1.25 mostra dois espelhos planos colocados em paralelo, e como dito, percebe-se a formação de infinitas imagens.

Figura 1.25 – Formação de imagem em uma associação de espelhos paralelos.



Fonte: <https://tonocosmos.com.br/o-modelo-dos-espelhos-parallelos>. Acessado em: 22 out. 2022.

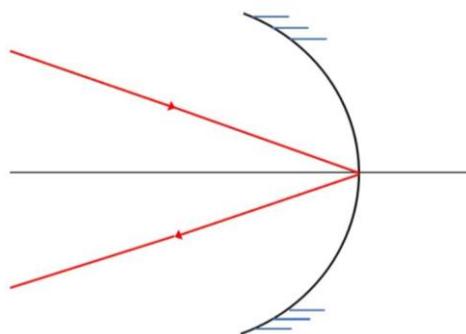
## 1.9 Espelhos Esféricos

Assim como o espelho plano possui inúmeras aplicações, outros tipos de espelhos, como os espelhos esféricos, também são muito úteis. Os espelhos esféricos são mais utilizados quando o objetivo é a produção de imagens ampliadas/reduzidas e um maior alcance do campo visual.

Os espelhos esféricos são obtidos a partir do corte de uma superfície esférica, produzindo a chamada calota esférica, e dependendo da sua construção, pode-se originar um espelho côncavo ou um espelho convexo.

Quando a superfície interior da calota esférica for espelhada, teremos um espelho côncavo, Figura 1.26.

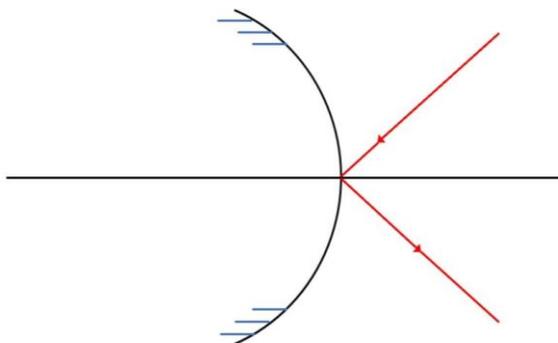
Figura 1.26 – Representação de um espelho esférico côncavo.



Fonte: O autor.

Quando a superfície externa da calota esférica for espelhada, teremos um espelho convexo, Figura 1.27.

Figura 1.27 – Representação de um espelho esférico convexo.



Fonte: O autor.

### 1.9.1. Elementos dos Espelhos Esféricos

É importante aqui definirmos alguns termos técnicos de interesse quando se trata sobre espelhos esféricos. São eles:

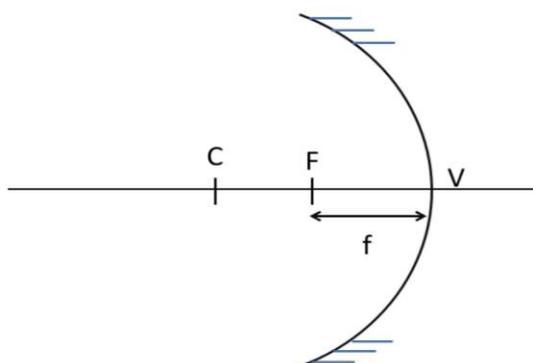
- **Centro de curvatura:** É o centro da superfície esférica que deu origem ao espelho. É representado pela letra  $C$ .
- **Vértice:** É o centro geométrico da calota esférica, representado pela letra  $V$ .
- **Foco principal:** O foco principal de um espelho esférico está no ponto médio entre o centro de curvatura  $C$  e o vértice  $V$ , e é representado pela letra  $F$ .
- **Distância focal:** É a distância entre o foco principal e o vértice do espelho, representado pela letra  $f$ , sendo o seu módulo é dado por:

$$f = \frac{R}{2} \quad (2)$$

Na equação (2) tem-se o raio da esfera que deu origem ao espelho esférico, representado por  $R$ .

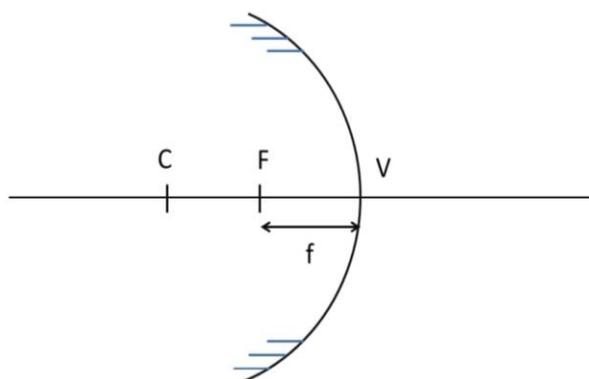
No espelho esférico côncavo, Figura 1.28, a distância focal é positiva e no espelho esférico convexo, Figura 1.29, é negativa.

Figura 1.28 – Características dos espelhos esféricos côncavos.



Fonte: O autor.

Figura 1.29 – Características dos espelhos esféricos convexos.



Fonte: O autor.

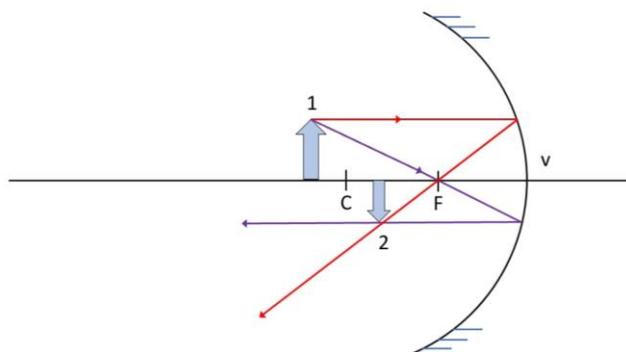
### 1.9.2. Espelho Côncavo

No espelho côncavo a construção da imagem depende da posição do objeto em relação ao espelho, dessa forma, admite cinco configurações.

**1º caso:** objeto posicionado antes do centro de curvatura.

O objeto (1) antes do centro de curvatura, após traçar dois raios de luz, o primeiro em vermelho segue paralelo com o eixo principal, após incidir no espelho é refletido e passa pelo foco principal do espelho. O segundo raio de luz em roxo segue direto para o foco e após se refletir no espelho, se cruza com o primeiro raio de luz refletido, formando um ponto de cruzamento, o qual representa a formação de uma imagem real (2), invertida e menor que o objeto, Figura 1.30.

Figura 1.30 – Objeto antes do centro de curvatura.

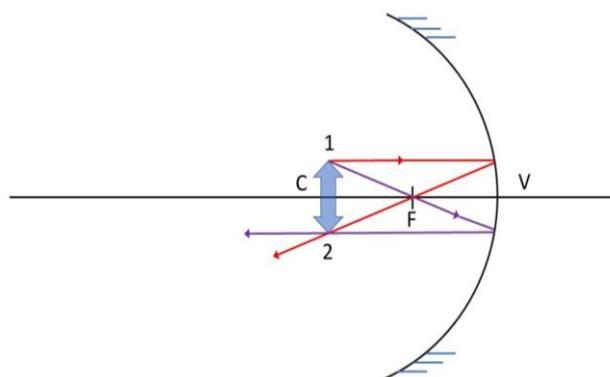


Fonte: O autor.

**2º caso:** objeto posicionado no centro de curvatura.

O objeto (1) no centro de curvatura, o primeiro raio de luz em vermelho é projetado paralelamente com o eixo principal e refletido passando pelo foco. O segundo raio de luz roxo passa diretamente pelo foco sendo refletido pelo espelho, cruza com o primeiro raio de luz. Nesta situação a formação da imagem é real (2), invertida e do mesmo tamanho do objeto, Figura 1.31.

*Figura 1.31 – Objeto no centro de curvatura.*

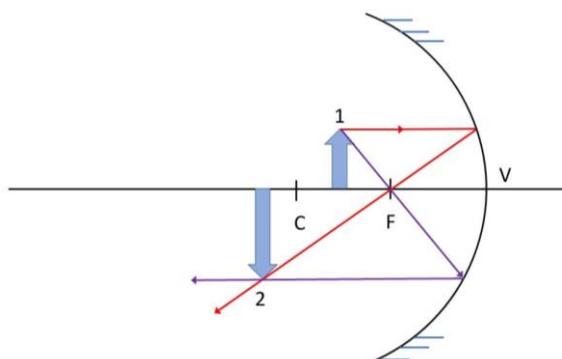


*Fonte: O autor.*

**3º caso:** objeto posicionado entre o centro de curvatura e o foco principal.

Objeto (1) entre o centro de curvatura e o foco. O raio de luz vermelho paralelo ao eixo principal é refletido e passa pelo foco, o segundo raio de luz em roxo passa pelo foco e é refletido se cruzando com o primeiro raio de luz. Neste caso temos uma imagem real (2), invertida e maior que o objeto, Figura 1.32.

*Figura 1.32 – Objeto entre o centro de curvatura e o foco.*

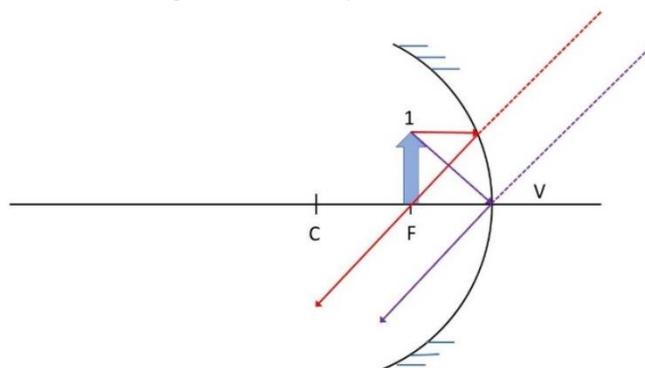


*Fonte: O autor.*

**4° caso:** objeto posicionado sobre o foco principal.

O objeto (1) no foco principal. Neste caso, teremos o raio de luz vermelho paralelo ao eixo principal e passando pelo foco. O raio de luz roxo passa diretamente pelo vértice e é refletido, mas neste caso os raios de luz não se cruzam em momento algum, gerando assim uma imagem produzida no infinito, ou seja, imagem imprópria, Figura 1.33.

Figura 1.33 – Objeto no foco.

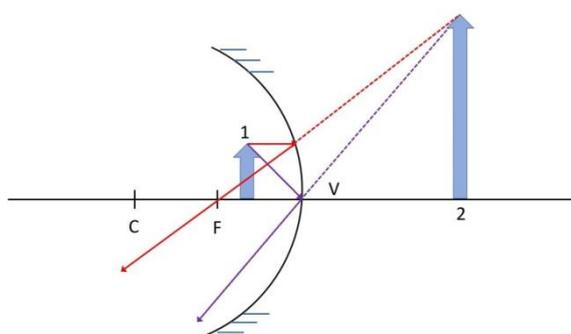


Fonte: O autor.

**5° caso:** objeto entre o foco principal e o vértice.

O objeto (1) entre o foco principal e o vértice. O raio de luz vermelho paralelo ao eixo principal é refletido pelo espelho e passa pelo foco principal. O segundo raio de luz em roxo incide diretamente no vértice e é refletido. Neste caso temos o prolongamento dos raios de luz refletidos, formando uma imagem virtual (2), direita e maior que o objeto, Figura 1.34.

Figura 1.34 – Objeto entre o foco e o vértice.



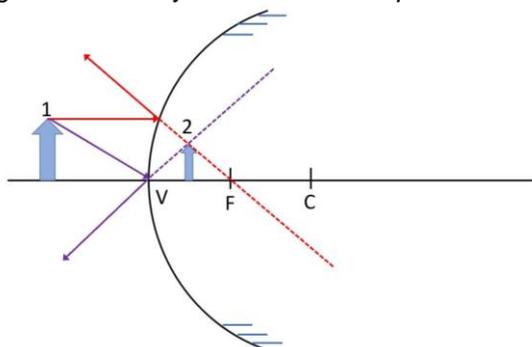
Fonte: O autor.

### 1.9.3. Espelho Convexo

O espelho convexo possibilita apenas a formação de imagens virtuais, direita e menor que o objeto.

Objeto (1) posicionado frente ao espelho convexo. O raio de luz vermelho paralelo ao eixo principal incide no espelho e é refletido. Em seguida, o raio de luz roxo incide diretamente no vértice e é refletido. Neste caso, o prolongamento do raio de luz vermelho refletido passará pelo foco, enquanto o raio roxo refletido será prolongado até cruzar com o primeiro raio de luz prolongado. Neste ponto de cruzamento dos prolongamentos dos raios refletidos, ocorrerá a formação de uma imagem virtual (2), direita e menor que o objeto.

Figura 1.35 – Objeto frente a um espelho convexo.



Fonte: O autor.

### 1.10 Equação dos Pontos Conjugados

Costuma-se chamar de equação dos pontos conjugados a relação entre a posição do objeto  $p$ , a posição da imagem  $p'$  e a distância focal do espelho  $f$ . Essa equação é:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad (3)$$

Essa equação implica na utilização de um sistema de referência que tem como objetivo atribuir o sinal positivo ao que for real, e negativo ao que for virtual. A região à frente do espelho corresponde a valores positivos, é onde se localizam objetos e imagens reais.

A região atrás do espelho corresponde a valores negativos, onde se localizam objetos e imagens virtuais. Como já foi visto, a distância focal do espelho esférico côncavo é positiva e, no espelho esférico convexo é negativa.

## 1.11 Refração

A refração da luz é um fenômeno por meio do qual a luz incidente sobre uma superfície passando a se propagar em outro meio. Conseqüentemente a sua velocidade de propagação irá mudar. Este fenômeno consegue explicar a profundidade aparente dentro de uma piscina, o arco-íris, entre outros fenômenos.

### 1.11.1. Índice de Refração

O índice de refração é uma grandeza adimensional característico de cada meio material em que a luz se propaga, estabelecendo uma proporção entre a velocidade de propagação da luz no meio,  $v$ , e a velocidade de propagação da luz no vácuo,  $c$ . Desse modo, o índice de refração  $n$  é definido como a razão entre a velocidade da luz no vácuo  $c$  e a velocidade da luz no meio  $v$ , isto é:

$$n = c/v \quad (4)$$

Observe que num caso em que um raio de luz sofre refração de um meio A para um meio B, se a velocidade da luz no meio A for maior que a velocidade no meio B, o índice de refração do meio A é menor. Logo dizemos que ele é menos refringente. O meio B possui velocidade de propagação da luz menor que A, logo tem índice de refração maior, então dizemos que ele é mais refringente. Este é o caso da luz refratada do ar para a água.

Assim como na reflexão da luz, a refração da luz também possui duas leis:

- **1° lei:** O raio incidente, o raio refratado e a reta normal à superfície de separação são coplanares.
- **2° lei:** Para cada raio de luz refratado, vale a lei de Snell-Descartes.

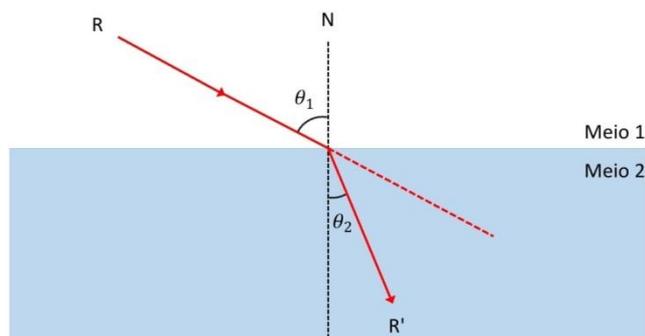
$$\sin \theta_1 \times n_1 = \sin \theta_2 \times n_2 \quad (5)$$

### 1.11.2 Refração da Luz para um meio mais refringente

Neste caso, a relação entre o índice de refração do meio 1 e meio 2 é a seguinte  $n_2 > n_1$ , segundo a Lei de Snell-Descartes, os ângulos formados em relação à reta normal serão  $\theta_2 < \theta_1$ .

Observando a Figura 1.36, o raio de luz  $R$  incidente formando um ângulo  $\theta_1$  é refratado do meio 1 para o meio 2. O raio de luz refratado é representado por  $R'$ . Neste caso devido ao meio 2 possuir índice de refração maior, o raio irá se aproximar da reta normal à superfície, formando um ângulo  $\theta_2$ . A reta tracejada indica a trajetória retilínea do raio incidente caso não sofresse refração.

Figura 1.36 – Refração para meio mais refringente.



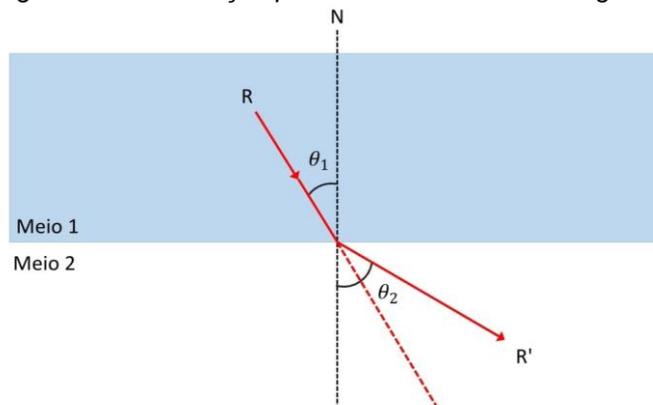
Fonte: O autor.

### 1.11.3. Refração da luz para um meio menos refringente

Neste caso, a relação entre o índice de refração do meio 1 e do meio 2 é a seguinte:  $n_2 < n_1$ . Segundo a Lei de Snell-Descartes, os ângulos formados em relação à reta normal será  $\theta_2 > \theta_1$ .

Observando a Figura 1.37, o raio de luz  $R$  incidente formando um ângulo  $\theta_1$  é refratada do meio 1 para o meio 2. O raio de luz  $R'$  é o raio refratado. Neste caso devido ao meio 2 possuir índice de refração menor, o raio irá se distanciar da reta normal à superfície formando um ângulo  $\theta_2$ . A reta tracejada indica a trajetória retilínea do raio incidente caso não sofresse refração.

Figura 1.37 – Refração para um meio menos refringente.



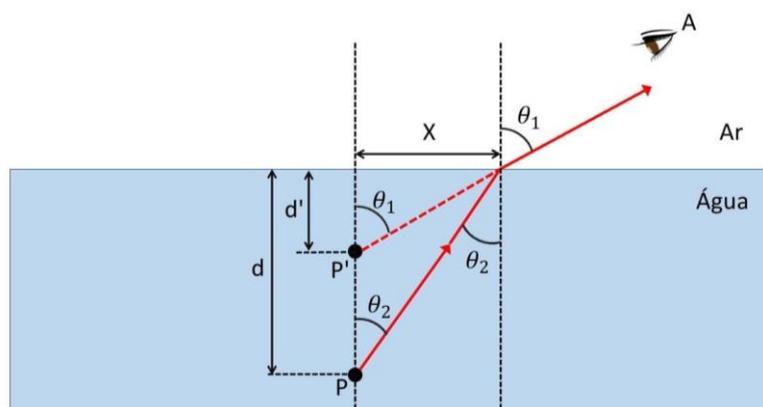
Fonte: O autor.

## 1.12 Dioptro Plano

A separação plana entre dois meios é chamada de dioptro plano. A questão de observar um objeto no fundo de uma piscina e notar que se visto por um observador do lado de fora, o mesmo terá a sensação de que este objeto está mais próximo da superfície da água, chamado de profundidade aparente, sendo que o objeto possui uma profundidade real. Isso se deve por conta da Refração da luz proveniente do objeto imerso. Este caso representa um dioptro plano, uma vez que temos uma separação plana entre a água e o ar.

Para calcularmos a profundidade aparente ou a profundidade real, consideremos a Figura 1.38 e utilizemos a Lei de Snell-Descartes.

Figura 1.38 – Objeto visto por um observador fora da água.



Fonte: O autor.

Na Figura 1.38, note que temos a formação de dois triângulos retângulos sendo PX e P'X. Desse modo podemos escrever:

$$\tan \theta_1 = \frac{X}{P'} \quad (6)$$

$$\tan \theta_2 = \frac{X}{P} \quad (7)$$

Dividindo  $\tan \theta_2$  por  $\tan \theta_1$  tem-se:

$$\frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_1} = \frac{P'}{P} \quad (8)$$

Como  $P'$  é representado na Figura 1.38 como sendo  $d'$  a distância da imagem e  $P$  a distância  $d$  do objeto, podemos substituir:

$$\frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_1} = \frac{d'}{d} \quad (9)$$

Utilizando a lei de Snell, equação (5) e considerando para pequenos ângulos, vale as aproximações:

$$\tan \theta_1 \cong \sin \theta_1 \quad (10)$$

$$\tan \theta_2 \cong \sin \theta_2 \quad (11)$$

Realizando as substituição das equações (5), aproximações (10) e (11) na equação (9) temos:

$$\frac{d'}{d} = \frac{n_1}{n_2} \quad (12)$$

Como o índice de refração  $n_2$  indica a origem do raio de luz na água e  $n_1$  indica o destino do raio de luz para o ar, podemos escrever a equação do dioptro plano como sendo:

$$\frac{d'}{d} = \frac{n_{destino}}{n_{origem}} \quad (13)$$

Para a situação em que a pessoa está dentro da água, o objeto posicionado fora da água terá uma altura aparente  $h'$  maior que a altura real  $h$  do objeto. Assim, equação do dioptro plano pode ser escrita como:

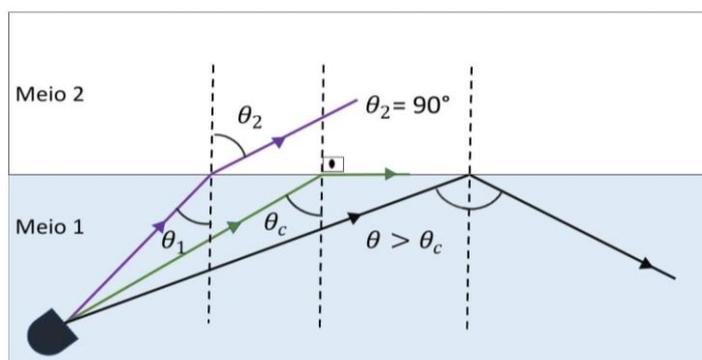
$$\frac{h'}{h} = \frac{n_{destino}}{n_{origem}} \quad (14)$$

### 1.13 Reflexão Interna Total

A refração é um fenômeno que não acontece isoladamente. Quando um feixe de luz incide sobre um dioptro plano, parte do raio de luz incidente é refratado e outra parte sofre reflexão para seu meio de origem. Entretanto, em certas situações, a luz incidente em um dioptro plano é totalmente refletida e não ocorre o fenômeno de refração.

Na Figura 1.39 é representado um dioptro plano, onde  $n_1$  é o índice de refração do meio 1 e  $n_2$  é o índice de refração do meio 2, sendo  $n_1 > n_2$ . Um feixe de luz presente no meio 1 incide entre a separação dos dois meios. É apresentado para cada situação estudada um raio de raio de luz, sendo um raio de luz roxo, um verde e um preto.

Figura 1.39 – Representação da reflexão interna total.



Fonte: O autor.

O feixe de luz roxo incidente possui ângulo  $\theta_1$  com a normal e é refratado para o meio 2 e possui um ângulo  $\theta_2$  com a normal. O feixe de luz verde não sofre refração, pois o ângulo de incidência  $\theta_c$  está no seu valor máximo no qual possibilita a refração. Desse modo o ângulo  $\theta_2$  tende para  $90^\circ$ . Neste caso o ângulo de incidência é chamado de ângulo crítico,  $\theta_c$ , logo o ângulo  $\theta_2$  é perpendicular à reta normal.

Nessas condições, o feixe de luz preto incidente forma um ângulo  $\theta$  com a normal e não sofre refração, sendo totalmente refletido para o seu meio de origem. Nesse caso vale a relação do ângulo crítico, onde o ângulo de incidência do feixe de luz preto é maior que o ângulo crítico, fazendo com que a refração deixe de existir, esse fenômeno é chamado de reflexão interna total.

### 1.14 Dispersão da Luz

Nesta seção decorreremos um pouco sobre a natureza ondulatória da luz. A luz é uma onda eletromagnética (RODRIGUES, 2020). Por conta disso ela pode se propagar no vácuo e em outros meios. A velocidade de propagação da luz no vácuo é de aproximadamente  $3,0 \times 10^8$  km/s.

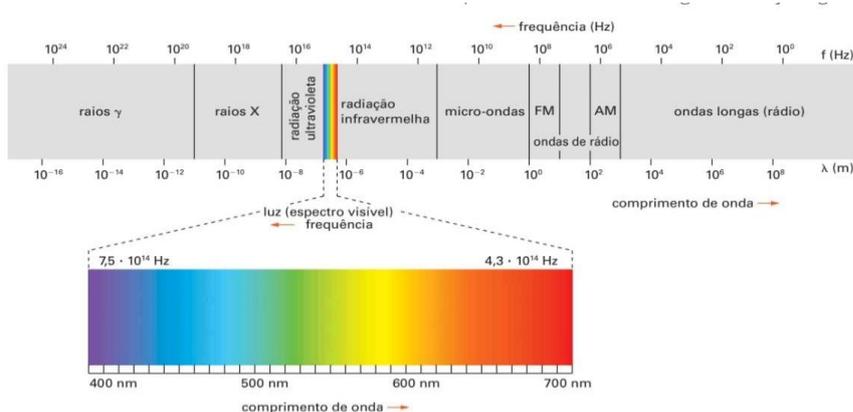
A luz branca é policromática, isto é, é constituída por todas as cores do espectro visível. Cada uma apresenta uma frequência diferente que é inversamente proporcional ao comprimento de onda  $\lambda$ . Isso pode ser observado no espectro eletromagnético na faixa da luz visível, Figura 1.40. As cores são: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

Contudo em um meio material a velocidade da luz é menor que sua velocidade no vácuo. Assim, está sujeita a variação de acordo com a frequência e

com o meio material. Todas as cores componentes da luz branca apresentam uma velocidade de propagação. Na equação (15), temos a velocidade de propagação da luz em um meio  $v$ , o comprimento de onda  $\lambda$  e a frequência da onda  $f$ .

$$v = \lambda f \quad (15)$$

Figura 1.40 – Espectro eletromagnético.

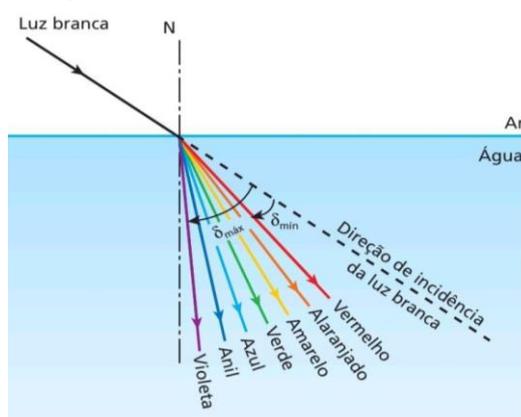


Fonte: o autor.

Ainda podemos relacionar a velocidade de propagação e a frequência de acordo com o índice de refração do meio material. Em um meio material o índice de refração será maior que no vácuo.

Após a luz incidir de um meio A para um meio B, a luz irá sofrer refração e cada cor será refratada com um ângulo diferente em relação à reta normal de acordo com seu índice de refração para o meio material considerado. Isso se dá por conta de cada cor apresentar frequências diferentes e conseqüentemente velocidades diferentes, ocorrendo a separação entre as cores, ou seja, a dispersão da luz. Na Figura 1.41 é apresentada a dispersão da luz branca que sofre refração do ar para a água.

Figura 1.41 – Dispersão da luz branca.



Fonte: o autor.

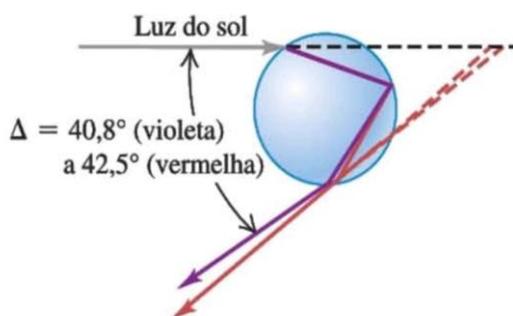
Conforme foi dito, as cores se separam. O vermelho apresenta maior velocidade e menor índice de refração, logo experimenta o menor desvio  $\delta_{min}$  em relação à direção de incidência. O violeta possui menor velocidade e maior índice de refração, logo experimenta o maior desvio  $\delta_{máx}$ . Na dispersão da luz, todas as luzes monocromáticas que possuem maior frequência sofrem o maior desvio. Essa composição é possível de se observar, quando a luz branca sofre refração entre o ar e um prisma de vidro, ocasionando a dispersão da luz.

### 1.14.1. O arco-íris

O arco-íris é um fenômeno natural que ocorre em virtude da dispersão da luz branca solar. Após uma chuva, algumas gotículas de água ficam suspensas na atmosfera, a luz proveniente do Sol incide sobre a gota de água, sofre refração se decompondo em diversas cores. Em seguida sofre reflexão na parede da gota de água e sofre refração novamente saindo da gota para o ar. Neste momento as cores constituem o arco-íris no céu.

Na Figura 1.42 é representada a formação de um arco-íris primário que é formado a partir de duas refrações e uma reflexão interna.

Figura 1.42 – Dispersão da luz em uma gota de água.



Fonte: o autor.

O ângulo  $\Delta$  é maior para a luz vermelha e apresenta um disco brilhante de luz maior que as demais cores. Para o violeta, possui um ângulo  $\Delta$  e é o menor disco brilhante de luz. Entre essas duas luzes, é apresentado as outras cores constituintes da luz do sol obedecendo sua ordem no espectro eletromagnético. Por conta disso a visualização do arco-íris é uma faixa de cores, Figura 1.43.

Figura 1.43 – Arco-íris primário.

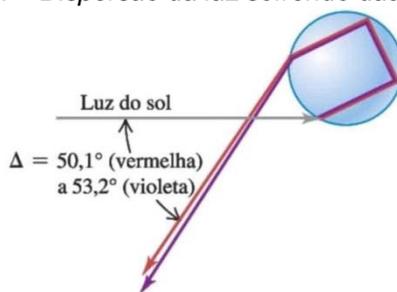


Fonte: <https://www.istockphoto.com/br/foto/arco-%C3%ADris-em-nuvens-gm503492086-82556737>.  
Acessado em: 26 de outubro de 2022.

Se dentro da gota de água, ocorrer duas reflexões nas paredes da gota obtemos um segundo arco-íris e com as suas cores invertidas.

Na Figura 1.44, o ângulo  $\Delta$  é maior para a luz violeta e apresenta um disco brilhante de luz maior que as demais cores. Para o vermelho, possui um ângulo  $\Delta$  e é o menor disco brilhante de luz.

Figura 1.44 – Dispersão da luz sofrendo duas reflexões.



Fonte: o autor.

Desse modo, devido à segunda reflexão a sequência de cores é invertida, formando um arco-íris secundário, Figura 1.45.<sup>†</sup>

Figura 1.45 – Arco-íris secundário.



Fonte: <https://www.istockphoto.com/br/foto/arco-%C3%ADris-em-cidade-gm480062548-68448245>.  
Acessado em: 26 de outubro de 2022.

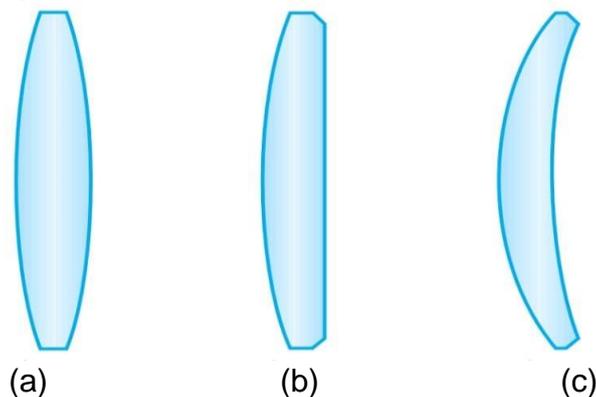
<sup>†</sup> Existem arco-íris terciários e de ordens superiores, porém, são muito tênues e se projetam do lado do Sol.

### 1.15 Lentes Esféricas

As lentes esféricas estão presentes em vários instrumentos ópticos de observação e desempenham papel essencial em seus mecanismos. Exemplos da utilização de lentes podem ser vistos nas lunetas, binóculos, lupas, câmeras fotográficas, telescópios, microscópios, óculos. Em cada instrumento óptico a lente empregada é construída de forma diferente, podendo ser feita de vidro, cristal ou acrílico. Assim como os espelhos esféricos, as lentes possuem duas categorias: *lentes de bordas finas* e *lentes de bordas grossas*.

As lentes de bordas finas caracterizam em três tipos de lentes. Na Figura 1.46, lente biconvexa (a), lente plano-convexa (b) e lente côncavo-convexa (c).

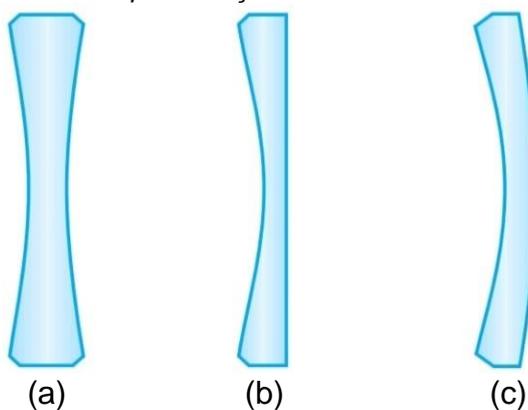
Figura 1.46 – Representação das lentes de bordas finas.



Fonte: o autor

As lentes de bordas grossas caracterizam em três tipos de lentes. Na Figura 1.47, lente bicôncava (a), lente plano-côncava (b) e lente convexo-côncava (c).

Figura 1.47 – Representação das lentes de bordas grossas.



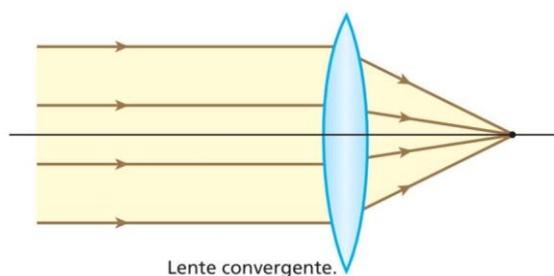
Fonte: o autor.

Quando uma lente esférica apresenta espessura desprezível em comparação aos raios de curvatura, são consideradas lentes delgadas. As lentes esféricas além de possuir duas categorias, possuem também dois comportamentos ópticos: o comportamento convergente se refere a lentes convergentes e o comportamento divergente se refere a lentes divergentes, detalhadas a seguir.

### 1.15.1. Lentes Convergentes

Quando raios de luz incidem paralelamente sobre a superfície de uma lente convergente, os raios de luz sofrem duas refrações (passando do ar para o vidro e depois do vidro para o ar) e são concentrados em um determinado ponto, Figura 1.48.

Figura 1.48 – Comportamento de uma lente convergente.

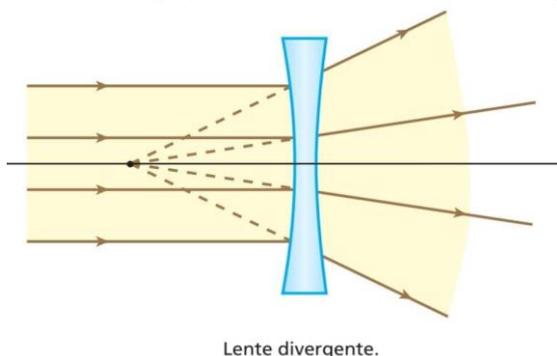


Fonte: o autor.

### 1.15.2. Lentes Divergentes

Quando raios de luz incidem paralelamente sobre a superfície de uma lente divergente, os raios de luz sofrem refrações com direções que divergem de um mesmo ponto, Figura 1.49.

Figura 1.49 – Comportamento de uma lente divergente.



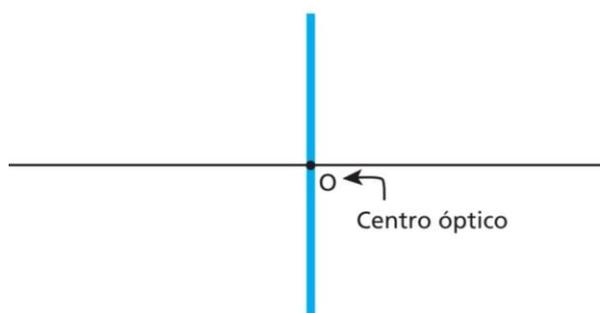
Fonte: o autor.

### 1.15.3. Elementos das Lentes Esféricas

Estes elementos são fundamentais no estudo das lentes, pois a partir dessas definições é possível a compreensão da construção de imagens em cada lente.

**Centro óptico:** É o ponto onde a representação da lente é perpendicular ao eixo principal é chamado de centro óptico da lente O, Figura 1.50.

Figura 1.50 – Representação do centro óptico de uma lente.



Fonte: o autor.

**Representação simplificada para as lentes esféricas:** é a representação gráfica da lente. A Figura 1.51 mostra a representação para as lentes convergentes e Figura 1.52 para as lentes divergentes.

Figura 1.51 – Lente convergente.

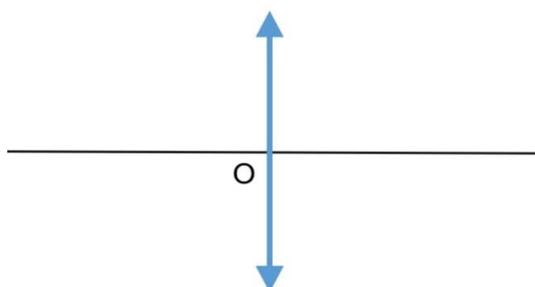
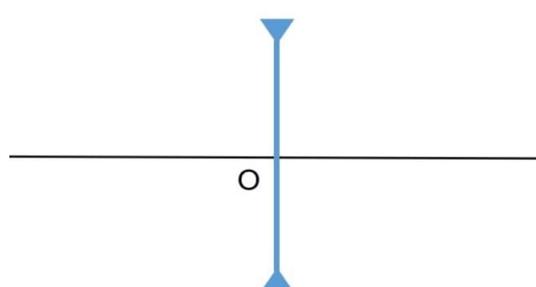


Figura 1.52 – Lente divergente.



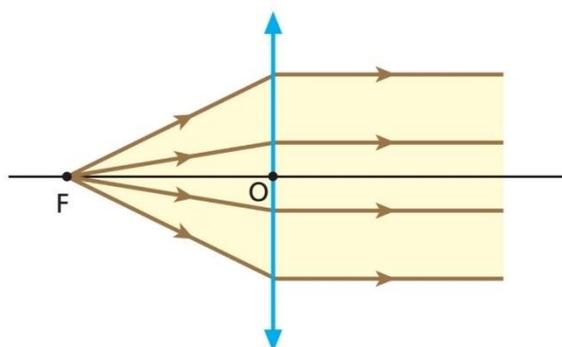
Fonte: O autor.

**Focos da lente:** As lentes possuem dois focos simetricamente localizados em relação à lente. São o foco principal objeto e o foco principal imagem. Em cada lente convergente e divergente, os focos estão posicionados de acordo com o seu comportamento óptico. Na lente convergente os focos são determinados pelos raios

de luz. Desse modo seus focos são reais, enquanto na lente divergente os focos são determinados pelos prolongamentos dos raios de luz. Isso implica que seus focos são virtuais.

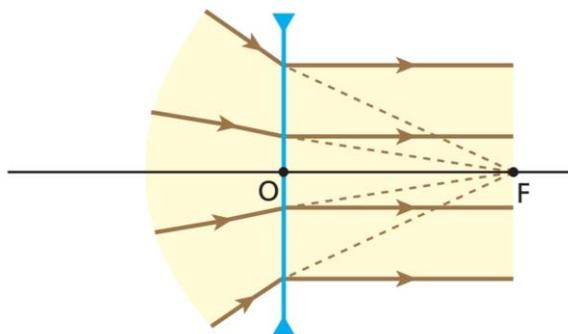
**Foco principal objeto:** É o ponto localizado no eixo principal onde os raios de luz que incidem sobre a lente se alinham. É representado pela letra  $F$ . A Figura 1.53 Mostra  $F$  para uma lente convergente e a Figura 1.54 para uma lente divergente.

Figura 1.53 – Foco principal objeto de uma lente convergente.



Fonte: o autor.

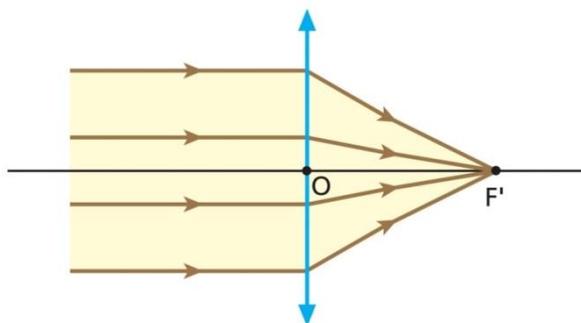
Figura 1.54 – Foco principal objeto de uma lente divergente.



Fonte: o autor.

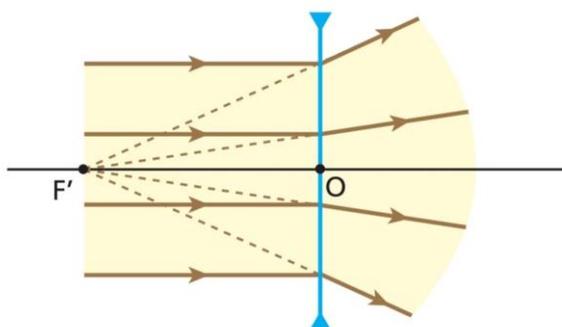
**Foco principal imagem:** É o ponto localizado no eixo principal onde os raios de luz que emergem da lente se alinham. É representado por  $F'$ . A Figura 1.55 mostra  $F'$  para uma lente convergente e a Figura 1.56 para uma lente divergente.

Figura 1.55 – Foco principal imagem de uma lente convergente.



Fonte: o autor.

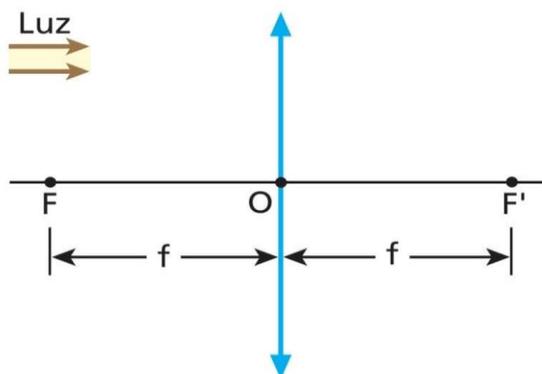
Figura 1.56 – Foco principal imagem de uma lente divergente.



Fonte: o autor.

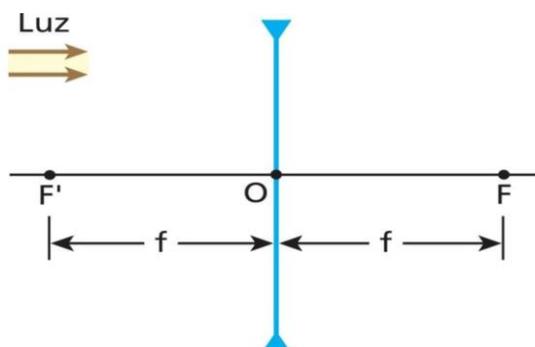
**Distância focal:** É a distância entre o centro óptico e o foco principal objeto ou o foco principal imagem. É denominado de distância focal representado por  $f$ . A Figura 1.57 mostra  $f$  para uma lente convergente e a Figura 1.58 para uma lente divergente.

Figura 1.57 – Distância focal em uma lente convergente.



Fonte: o autor.

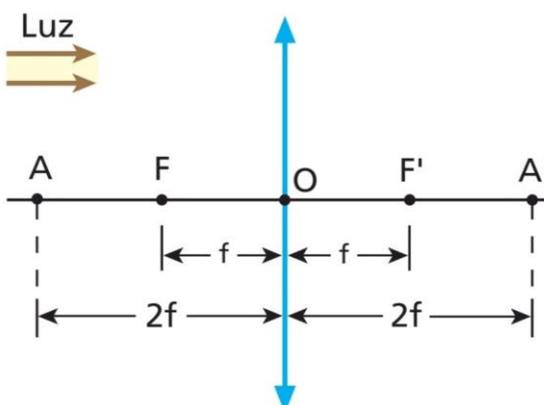
Figura 1.58 – Distância focal em uma lente divergente.



Fonte: o autor.

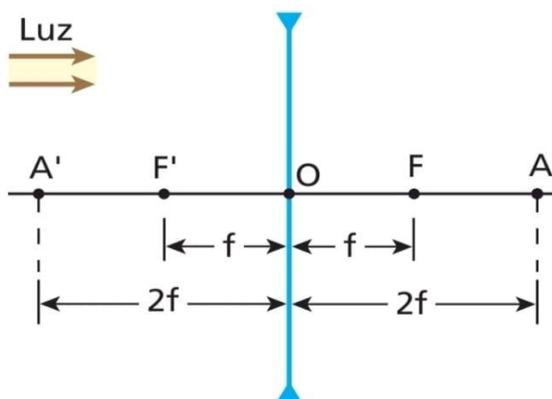
**Pontos antiprincipais:** É a distância que corresponde a duas vezes a distância focal,  $2f$ . Desse modo é configurado em ponto antiprincipal objeto A e ponto antiprincipal imagem A'. A Figura 1.59 mostra A e A' para uma lente convergente e a Figura 1.60 para uma lente divergente.

Figura 1.59 – Pontos antiprincipais em uma lente convergente.



Fonte: o autor.

Figura 1.60 – Pontos antiprincipais em uma lente divergente.



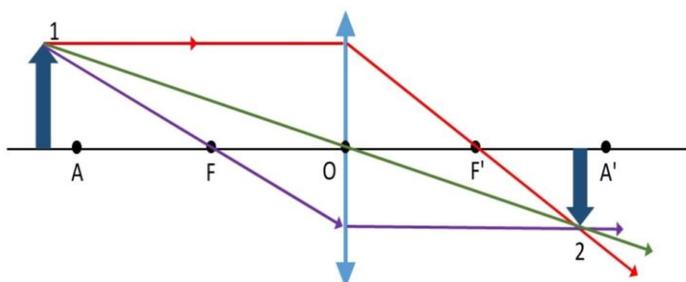
Fonte: o autor.

### 1.15.4. Construção de imagens nas lentes convergentes

#### 1º caso:

Objeto posicionado antes do ponto antiprincipal objeto (A). Posição indicado pelo número 1 (objeto). O raio de luz vermelho incide paralelamente ao eixo óptico sendo refratado e emerge da direção do foco imagem (F'). O raio de luz verde incide no centro óptico e mantém sua direção. O raio de luz violeta incide sobre o foco objeto (F) sendo refratado e emerge paralelo com o eixo óptico. O encontro destes três raios de luz indica a posição 2 (imagem), formando assim uma imagem real, invertida e menor que o objeto, Figura 1.61.

Figura 1.61 – Objeto posicionado antes do ponto antiprincipal.

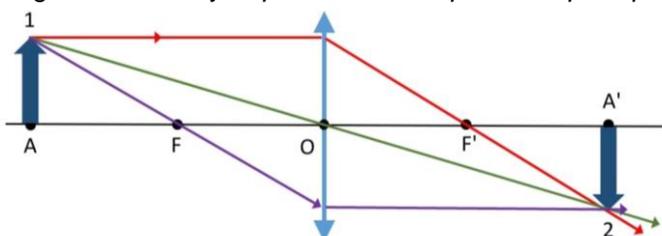


Fonte: o autor.

#### 2º caso:

Objeto posicionado sobre o ponto antiprincipal objeto (A). Posição indicado pelo número 1 (objeto). O raio de luz vermelho incide paralelamente ao eixo óptico sendo refratado e emerge da direção do foco imagem (F'). O raio de luz verde incide no centro óptico e mantém sua direção. O raio de luz violeta incide sobre o foco objeto (F) sendo refratado e emerge paralelo com o eixo óptico. O encontro destes três raios de luz indica a posição 2 (imagem), formando assim uma imagem real, invertida e de tamanho igual ao objeto, Figura 1.62.

Figura 1.62 – Objeto posicionado no ponto antiprincipal.

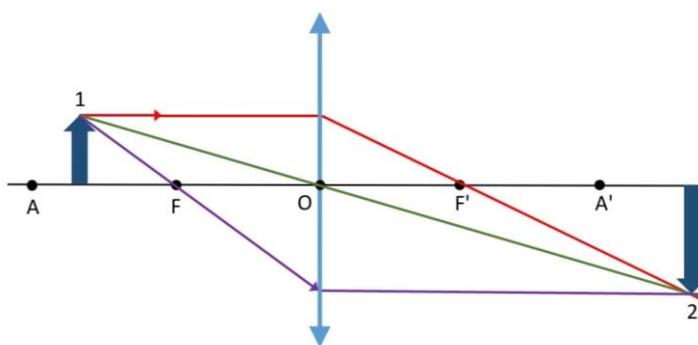


Fonte: O autor.

**3º caso:**

Objeto posicionado entre o ponto antiprincipal objeto (A) e o foco principal objeto (F). Posição indicado pelo número 1 (objeto). O raio de luz vermelho incide paralelamente ao eixo óptico sendo refratado e emerge da direção do foco imagem (F'). O raio de luz verde incide no centro óptico e mantém sua direção. O raio de luz violeta incide sobre o foco objeto (F) sendo refratado e emerge paralelo com o eixo óptico. O encontro destes três raios de luz indica a posição 2 (imagem), formando assim uma imagem real, invertida e maior que o objeto, Figura 1.63.

Figura 1.63 – Objeto posicionado entre o ponto antiprincipal e o foco principal objeto.

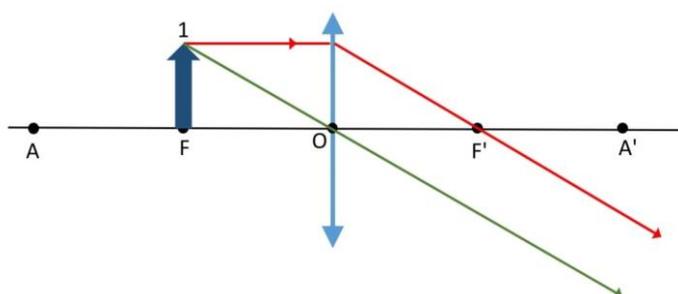


Fonte: o autor.

**4º caso:**

Objeto posicionado sobre o foco principal objeto (F). Posição indicado pelo número 1 (objeto). O raio de luz vermelho incide paralelamente ao eixo óptico sendo refratado e emerge da direção do foco imagem (F'). O raio de luz verde incide no centro óptico e mantém sua direção. Note que neste caso, os dois raios de luz emergem paralelos entre si. Desse modo a formação da imagem é imprópria, Figura 1.64.

Figura 1.64 – Objeto posicionado no foco principal objeto.

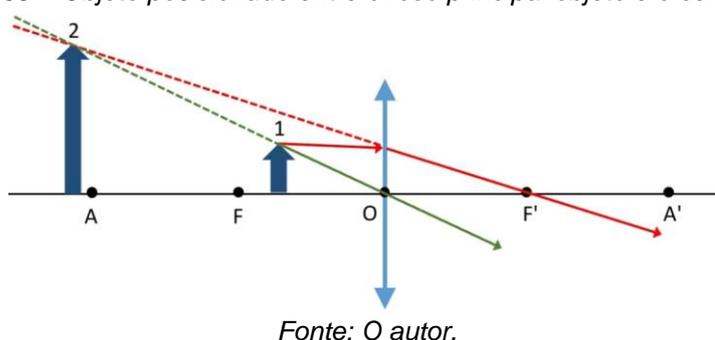


Fonte: O autor.

**5° caso:**

Objeto posicionado entre foco principal objeto (F) e o centro óptico (O). Posição indicado pelo número 1 (objeto). O raio de luz vermelho incide paralelamente ao eixo óptico sendo refratado e emerge da direção do foco imagem (F'). O raio de luz verde incide no centro óptico e mantém sua direção. Neste caso, os dois raios não seguem paralelos e a formação da imagem se dá pelo cruzamento do prolongamento dos dois raios de luz. Na posição 2 (imagem), temos uma imagem virtual, direita e maior que o objeto, Figura 1.65.

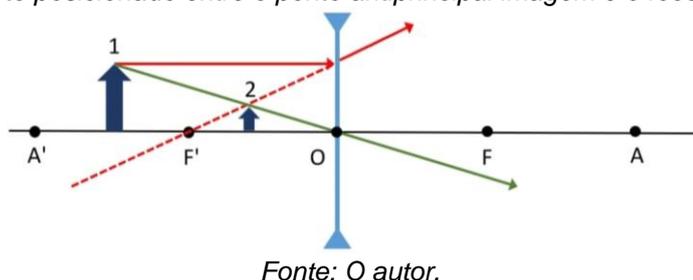
Figura 1.65 – Objeto posicionado entre o foco principal objeto e o centro óptico.



### 1.15.5. Construção de imagens nas lentes divergentes

Independentemente da posição do objeto frente a lente divergente, terá a construção de uma imagem virtual, direita e menor que o objeto. No caso da Figura 1.66, o objeto posicionado entre o ponto antiprincipal imagem (A') e foco principal imagem (F'). Posição indicado pelo número 1 (objeto). O raio de luz vermelho incide paralelamente ao eixo óptico sendo refratado e emerge sem passar pelo foco principal objeto (F). O raio de luz verde incide no centro óptico e mantém sua direção. A imagem irá se formar pelo cruzamento do raio de luz verde e o prolongamento do raio de luz vermelho, indicado pela posição 2 (imagem), Figura 1.66.

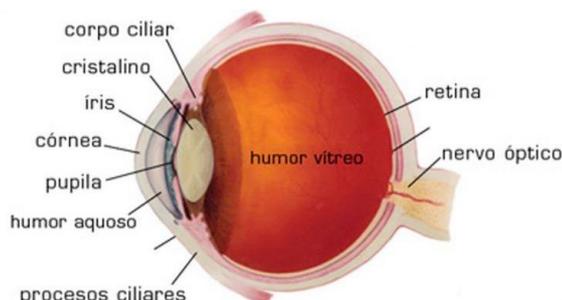
Figura 1.66 – Objeto posicionado entre o ponto antiprincipal imagem e o foco principal imagem.



## 1.16 O Olho Humano

O olho é um sistema óptico e possui partes essenciais para o seu funcionamento, Figura 1.67. O formato do olho é quase esférico e possui um diâmetro de aproximadamente 2,5 cm.

Figura 1.67 – Representação esquemática do olho humano.



Fonte: <https://portaldavisaocuritiba.com.br/descubra-as-principais-partes-do-olho-humano/>.  
Acessado em: 2 de novembro de 2022.

As principais partes constituintes do olho são:

- **Córnea:** Localizada na parte frontal e mais curva do olho. A córnea é uma membrana dura e transparente.
- **Humor Aquoso:** É um líquido (formado de 98% de água e 2% de sais) localizado atrás da córnea.
- **Cristalino:** É uma lente (biconvexa transparente) em forma de cápsula, constituída por uma gelatina fibrosa, dura no centro e progressivamente mais macia nas bordas. Essa lente é sustentada por conexões com o músculo ciliar.
- **Íris:** é a porção que dá cor aos olhos e está localizada na parte anterior do cristalino e posterior da córnea. Essa região possui importantes músculos que possibilitam o aumento ou a diminuição do tamanho da pupila de acordo com a quantidade de luz no ambiente.

- **Pupila:** Abertura localizada na íris, responsável pela restrição da passagem dos raios luminosos.
- **Humor Vítreo:** É um líquido gelatinoso (formado de 99% de água, mais ácido hialurônico e fibrilas) localizado atrás do cristalino.
- **Retina:** Situada na superfície interna da parte posterior do olho. Possui duas fotocélulas chamadas de cones e bastonetes.
- **Cones:** É uma fotocélula responsável pela visão central, nítida e em cores.
- **Bastonetes:** É uma fotocélula responsável pela visão periférica (lateral) e pela visão noturna.
- **Nervo Óptico:** Possui a função de conectar o olho ao cérebro, transmitindo os estímulos nervosos para que a conversão da imagem seja realizada.

#### **1.16.1. Funcionamento do Olho Humano**

A luz proveniente de um objeto incide sobre o olho fazendo com que ocorra a refração na córnea e chegue à íris, que através da pupila, regula a passagem dos raios luminosos até que passem pelo cristalino, focalizando a imagem real do objeto sobre a retina. Após isso, os estímulos nervosos recebidos pelos cones e bastonetes presentes na retina, são enviados através do nervo óptico para o cérebro, que desempenha o papel de converter a imagem real para a posição correta.

#### **1.16.2. Duração da Imagem na Retina**

As impressões captadas pelo olho, a imagem, se apagam instantaneamente, fazendo com que a retina volte a se sensibilizar e formar uma nova imagem. A partir disso, surge as primeiras animações realizadas por instrumentos ópticos que se baseiam na percepção visual e a persistência da imagem no cérebro.

Podemos citar como um exemplo o aparelho óptico conhecido como zootrópico<sup>‡</sup>, também chamado de “roda da vida”, criado em 1834 por Willian Georg Horner, Figura 1.68.

Figura 1.68 – Zootrópico.



Fonte: <https://www.monsuton.com/zootropo/>. Acessado em: 2 de novembro de 2022.

O zootrópico é composto por um tambor circular com pequenos recortes que funcionam como janelas, e na superfície interna existem imagens estáticas em sequência. Quando posto a girar, através das janelas recortadas, se projetava a ilusão da animação advinda das imagens estáticas em movimento. Devido à percepção visual, onde a retina se sensibiliza rapidamente, ocorre a persistência da imagem no cérebro. Aparelhos modernos como as TVs se baseiam no mesmo princípio.

### 1.16.3. Ponto Cego do Olho

O ponto cego do olho é um fenômeno natural e presente em todas as pessoas. Como já foi dito, a imagem se forma sobre a retina, que possui duas fotocélulas sensíveis à luz, os cones e bastonetes, e posteriormente transmitida para o cérebro através do nervo óptico. O ponto cego do olho está localizado no nervo óptico, isto é, quando a imagem se forma em cima do nervo óptico. No entanto, o nervo óptico não possui fotocélulas como a retina, com isso não é sensível à luz. Portanto, toda imagem formada nessa região não será visível.

Apesar de ser considerado um fenômeno natural e que ocorre em todas as pessoas, é imperceptível devido à visão binocular, que desempenha o papel de integrar duas imagens provenientes de cada olho em uma única imagem.

---

<sup>‡</sup> Pelo dicionário Michaelis, ZOOTRÓPICO (grego VOLTA COMPLETA). Zoo-tropo-io. Tropo=volta, movimento. ZOOTROPO.

## Capítulo 2

# PROPOSTA DE EXPERIMENTOS DIDÁTICOS PARA O ENSINO DE ÓPTICA GEOMÉTRICA

## 2.1 Experimento 1: Ângulos de Incidência e Reflexão

### Objetivos

Mostrar que os ângulos de incidência e reflexão, no mesmo meio, são iguais. Visualizar o trajeto dos raios luminosos.

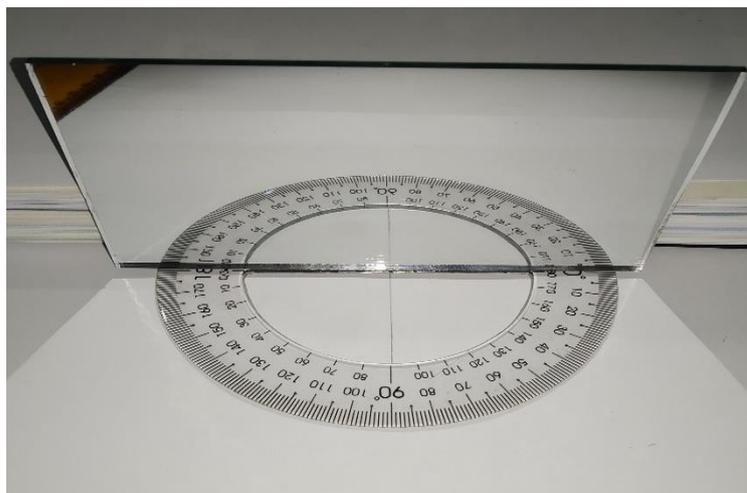
### Materiais Utilizados

- Espelho (14 cm x 9 cm).
- Transferidor.
- Lápis.
- Dois ou três livros.
- Papel sulfite.
- Laser. Pode ser um laser de apontadores e canetas.
- Mesa.

### Procedimentos de Construção

- a) Coloque o papel sulfite sobre uma mesa e um transferidor sobre o papel, Figura 2.1.
- b) Em seguida pegue os livros, posicione em cima do transferidor bem perpendicular ao centro e no início da contagem dos ângulos.
- c) Pegue o espelho e coloque sobre o transferidor deixando a parte espelhada para fora. Apoie o espelho nos livros, Figura 2.1.
- d) Cuide para que o espelho fique reto em relação ao início da contagem dos ângulos. Se necessário ajuste os livros de apoio.
- e) Com o lápis, faça uma reta no papel do ângulo de  $90^\circ$  até o espelho. O equipamento montado deve ficar como mostra a Figura 2.1.

Figura 2.1 – Espelho posicionado sobre o transferidor e papel.

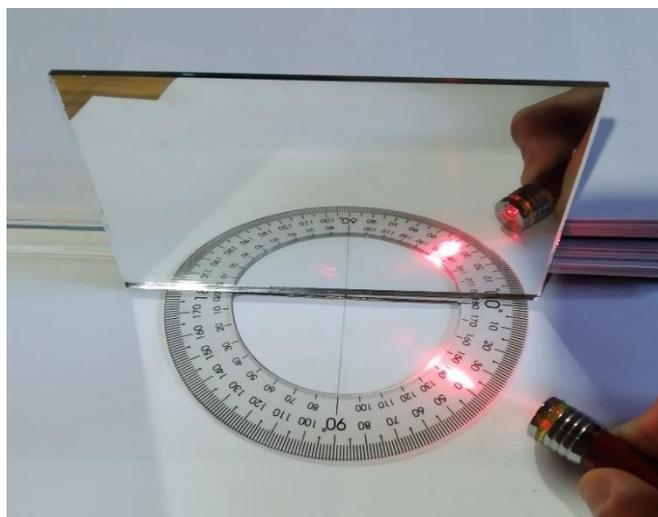


Fonte: O autor.

### Procedimento Experimental

- a) Utilizando o laser, incida o feixe de luz na direção do espelho, partindo do lado direito da reta que passa pelo centro do transferidor, Figura 2.2.

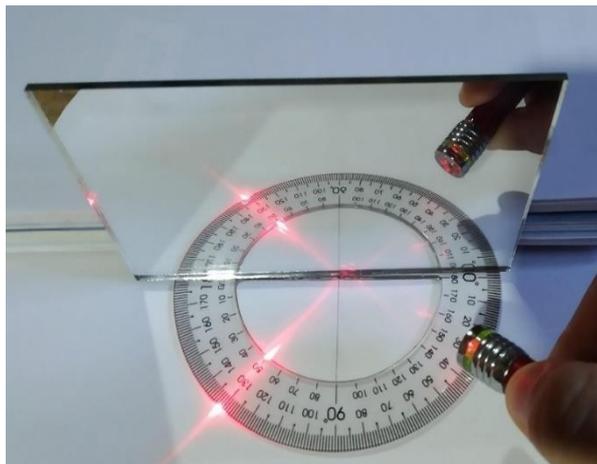
Figura 2.2 – Posicionamento do feixe de luz.



Fonte: O autor.

- b) Observe que o raio de luz é refletido pelo espelho. Posicionando o laser em um ângulo e incidindo o feixe de luz do laser no espelho obtém-se o ângulo de reflexão, Figura 2.3.

Figura 2.3 – Feixe de luz sendo refletido.



*Fonte: O autor.*

- c) Para determinar o valor dos ângulos de incidência e reflexão, conte no transferidor a partir da reta traçada a lápis considerada como a reta normal.
- d) Varie o ângulo de incidência e verifique que o ângulo de incidência e reflexão são sempre iguais.

## 2.2 Experimento 2: Ângulos de Incidência e Reflexão

### Objetivo

Demonstrar experimentalmente que os ângulos de incidência e reflexão são iguais no mesmo meio.

### Materiais Utilizados

- Espelho retangular (6 cm x 18 cm).
- Placa de isopor (14 cm x 18 cm).
- Quatro alfinetes.
- Compasso.
- Transferidor.
- Papel sulfite.
- Cola.
- Régua.
- Tesoura.

### Procedimentos de Construção

- a) Com a ponta metálica do compasso, risque uma linha no meio da parte de trás do espelho, no sentido da largura, de modo a tirar a camada espelhada. O resultado deve ficar como ilustra a Figura 2.4.

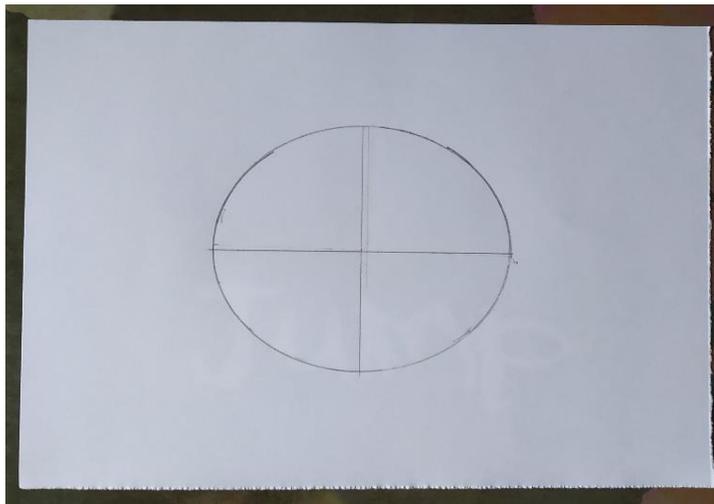
*Figura 2.4 – Risco central no sentido da largura.*



*Fonte: O autor.*

- b) Desenhe no papel sulfite um retângulo de aproximadamente 10 cm de largura e 14 cm de comprimento.
- c) Com a tesoura, recorte o retângulo.
- d) Trace um círculo de 8 cm de diâmetro no retângulo da etapa anterior. Em seguida desenhe dois diâmetros perpendiculares entre si, Figura 2.5.

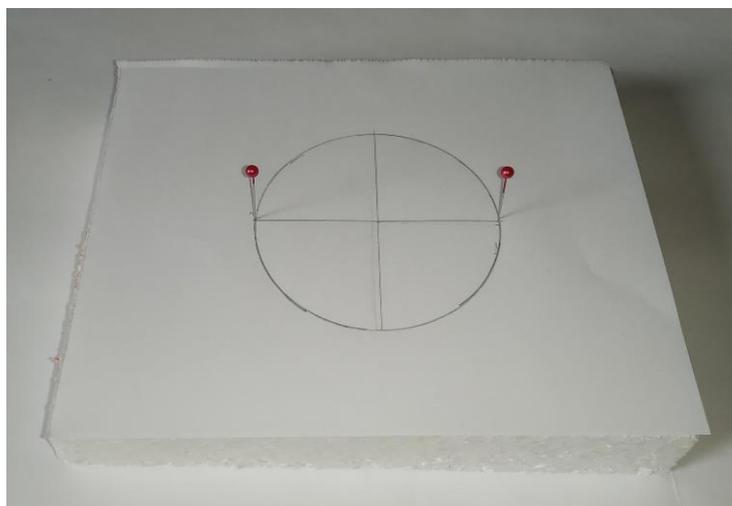
*Figura 2.5 – Circunferência com dois diâmetros perpendiculares entre si.*



*Fonte: O autor.*

- e) Cole o retângulo na placa de isopor e espere a cola secar.
- f) Finque dois alfinetes em um dos diâmetros da circunferência, um em cada extremidade, Figura 2.6.

*Figura 2.6 – Alfinetes posicionados no diâmetro.*

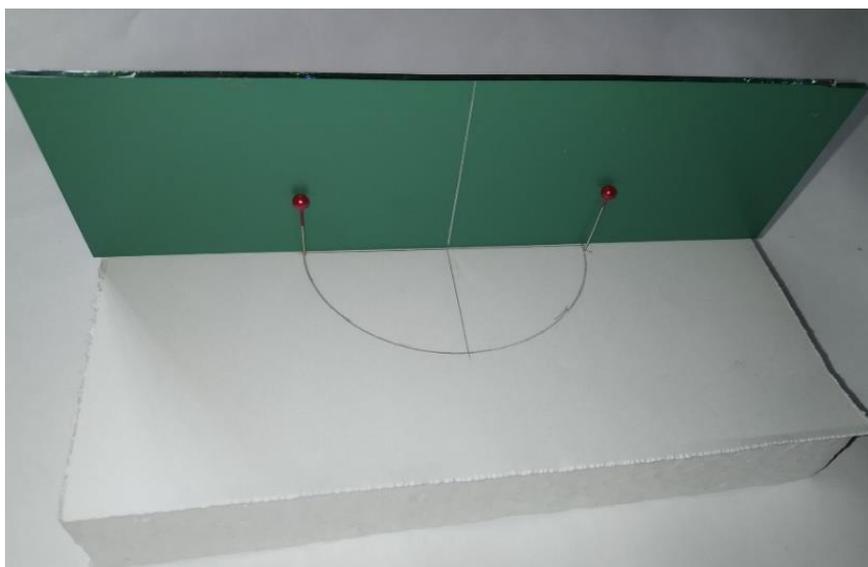


*Fonte: O autor.*

### Procedimento Experimental

- a) Coloque o espelho de modo que a parte de trás do mesmo coincida com o diâmetro onde foram posicionados os dois alfinetes que serviram como apoio do espelho, Figura 2.7.

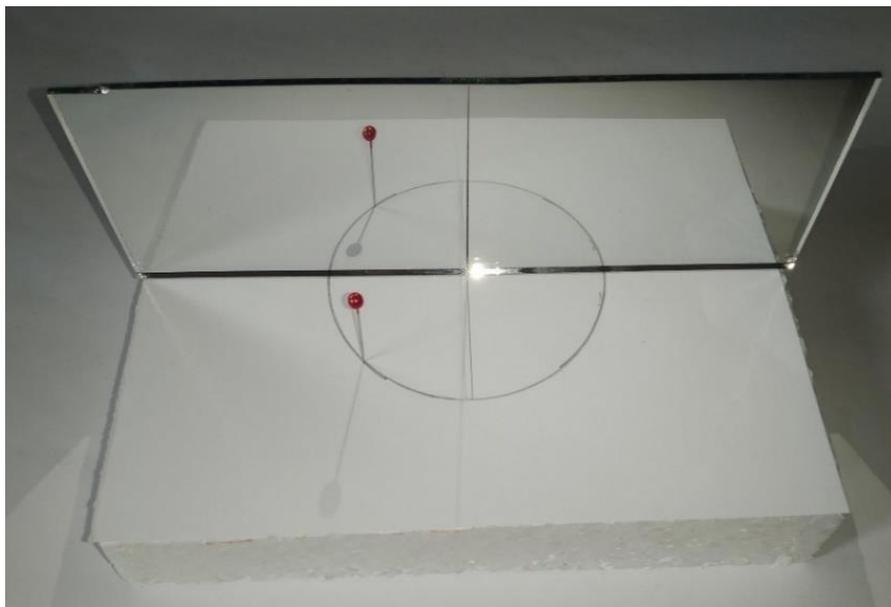
*Figura 2.7 – Espelho apoiado pelos alfinetes.*



*Fonte: O autor.*

- b) Observe que com o espelho apoiado e posicionado conforme a etapa anterior, o risco central do espelho deve coincidir com o centro do círculo.
- c) Finque um alfinete perpendicular na circunferência, no quarto quadrante de acordo, como mostrado na Figura 2.8.

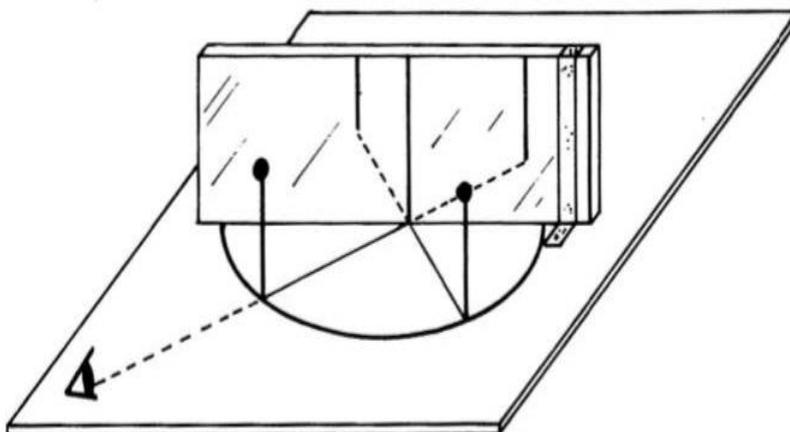
Figura 2.8 – Alfinete posicionado.



Fonte: O autor.

- d) Segure outro alfinete e olhe onde indica a Figura 2.9. Vá correndo o alfinete pela circunferência no mesmo quadrante.

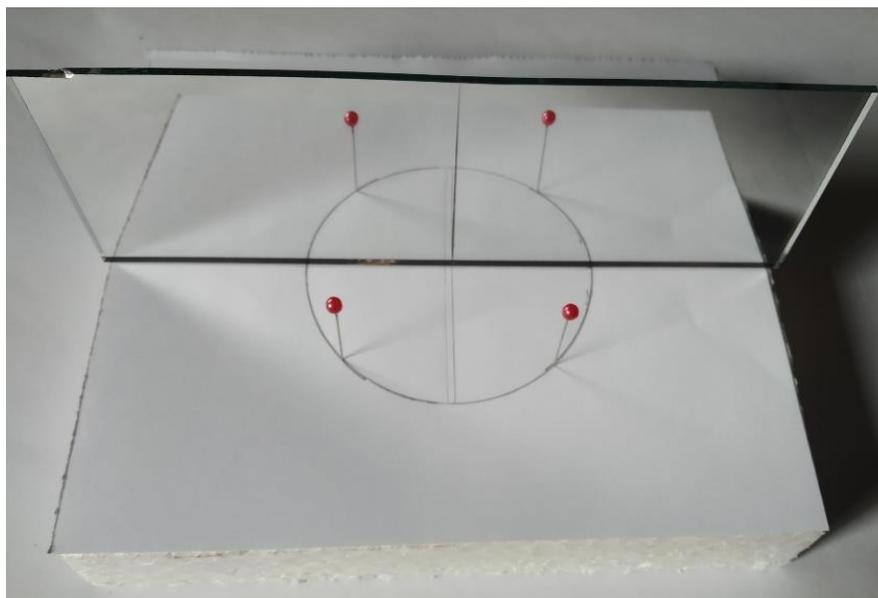
Figura 2.9 – Posição indicada.



Fonte: O autor.

- e) No momento que você enxergar, em linha reta a imagem do primeiro alfinete (primeiro quadrante), o risco do espelho e o alfinete que tem na mão, finque o alfinete tomando o cuidado para que fique na circunferência e bem vertical, Figura 2.10.

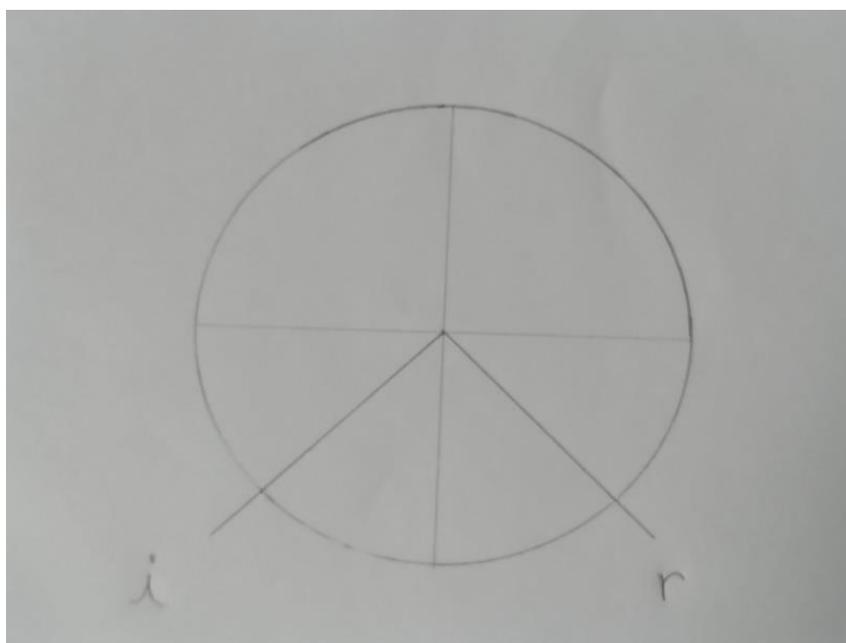
Figura 2.10 – Segundo alfinete alinhado.



Fonte: O autor.

- f) Retire o espelho e os alfinetes. Trace os dois raios que unem o centro com os furos dos alfinetes. Veja o resultado na Figura 2.11.

Figura 2.11 – Raios traçados até o centro.



Fonte: O autor.

- g) Meça os dois ângulos resultantes.  
h) Observe que os dois ângulos resultantes são iguais. Assim, comprova-se que um raio incidente e um raio refletido no mesmo meio possuem ângulos iguais.

## 2.3 Experimento 3: Espelhos em Ângulo

### Objetivo

Mostrar experimentalmente que associando dois espelhos planos é possível observar a formação de várias imagens. Mostrar que a quantidade de imagens formadas depende do ângulo entre os espelhos.

### Materiais Utilizados

- Dois espelhos planos (14 cm x 9 cm).
- Caneta.
- Transferidor.
- Fita adesiva.
- Papel sulfite.
- Mesa.

### Procedimentos de Construção

- Cole os espelhos com uma fita adesiva na posição da largura (9 cm), Figura 2.12.

*Figura 2.12 – Espelhos colados com fita adesiva.*

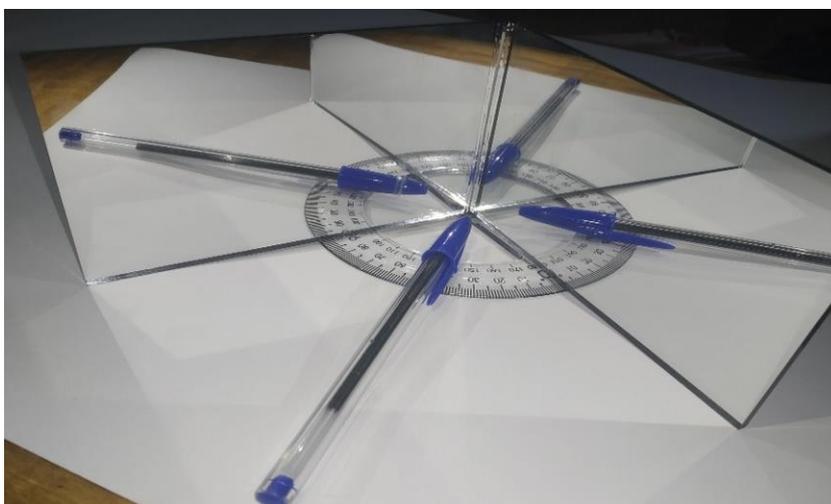


*Fonte: O autor.*

## Procedimento Experimental

- a) Coloque o papel sulfite sobre a mesa.
- b) Em seguida, com o auxílio do transferidor, posicione os espelhos sobre o papel, formando entre si um ângulo de  $90^\circ$ , Figura 2.13.
- c) Coloque a caneta entre os dois espelhos.
- d) Observe a formação das imagens nos espelhos, Figura 2.13.

*Figura 2.13 – Espelhos posicionados com ângulos entre si de  $90^\circ$ .*



*Fonte: O autor.*

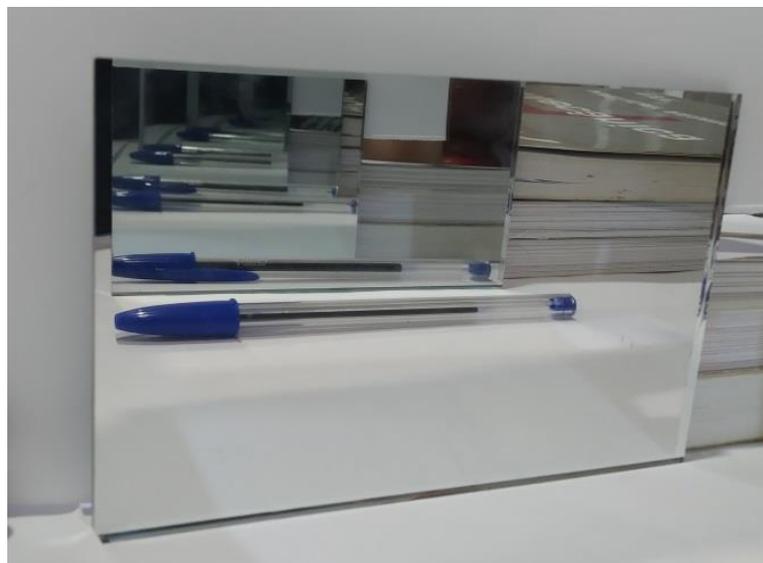
- e) Logo a seguir, faça o mesmo processo para os ângulos de  $60^\circ$  e  $30^\circ$  e observe a relação quanto à quantidade de imagens formadas.
- f) Após isso, coloque os dois espelhos paralelos, a uma distância de 10 cm, Figura 2.14. Observe as imagens formadas, Figura 2.15.

*Figura 2.14 – Espelhos posicionados paralelamente.*



*Fonte: O autor.*

*Figura 2.15 – Formação das imagens nos espelhos paralelos.*



*Fonte: O autor.*

- g) Neste momento o professor poderá questionar os alunos sobre qual o fenômeno que possibilita a formação de imagens, e se é possível determinar a quantidade de imagens formadas pelos espelhos paralelos.

## 2.4 Experimento 4: Caleidoscópio

### Objetivo

Construir um aparelho que é uma aplicação prática da experiência anterior.

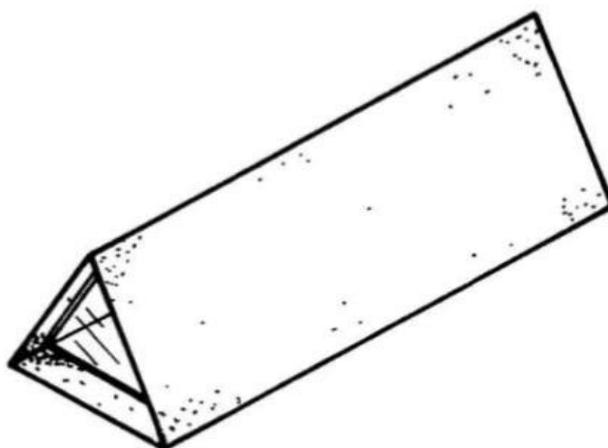
### Materiais Utilizados

- Três espelhos (6 cm x 18 cm).
- Plástico transparente (10 cm x 10 cm).
- Cartolina.
- Cola.
- Objetos coloridos.
- Liga elástica.
- Tesoura.

### Procedimentos de Construção

- a) Coloque os três espelhos para formar um prisma triangular de forma que as superfícies espelhadas fiquem pro lado de dentro, Figura 2.16.

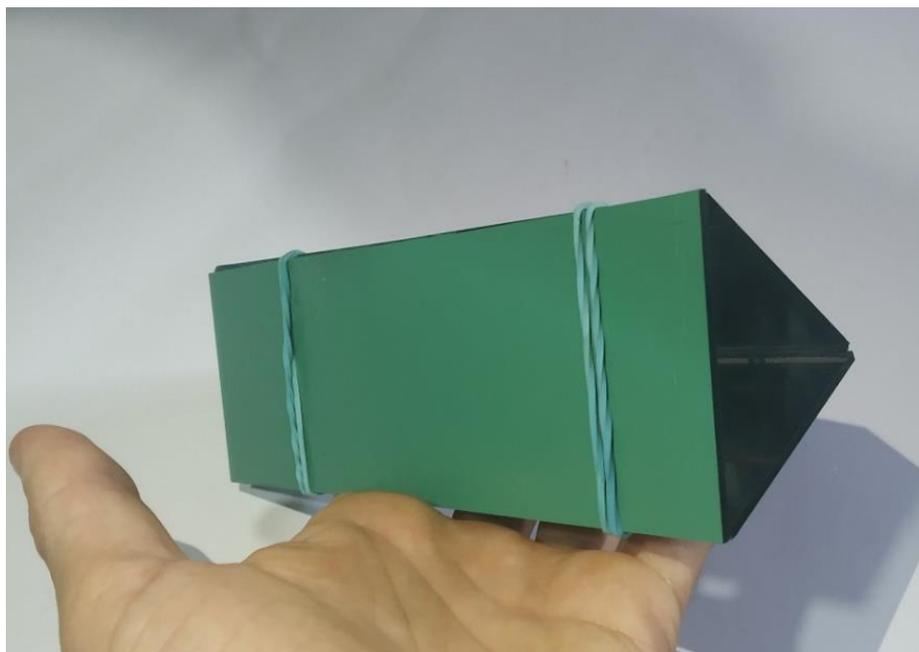
*Figura 2.16 – Formação de um prisma.*



*Fonte: O autor.*

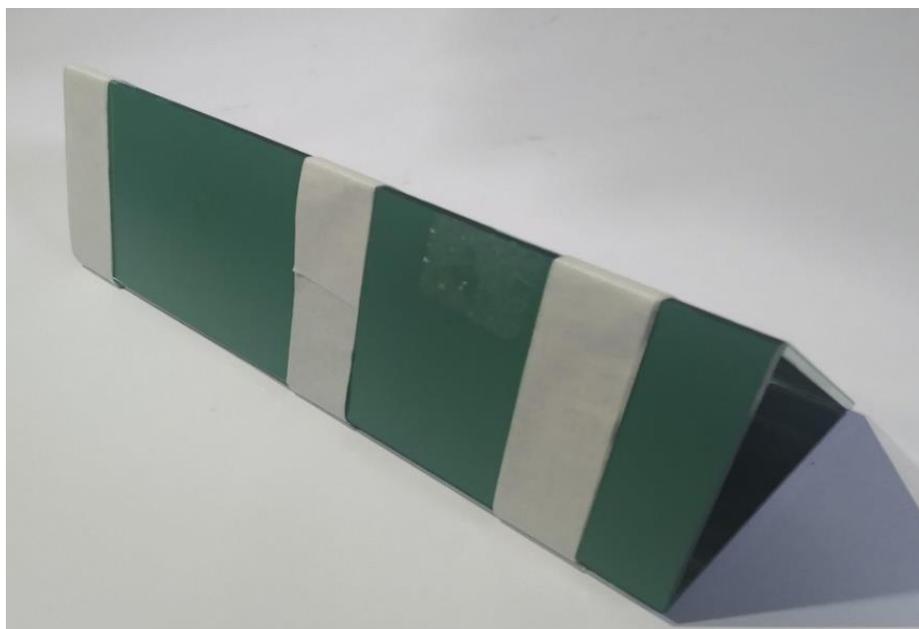
- b) Utilizando uma liga elástica, amarre o prisma formado, Figura 2.17. Envolver com fita transparente (durex) as extremidades e o centro. Após isso retire a liga elástica. O modelo montado ficará conforme a Figura 2.18.

Figura 2.17 – Prisma preso por liga elástica.



Fonte: O autor.

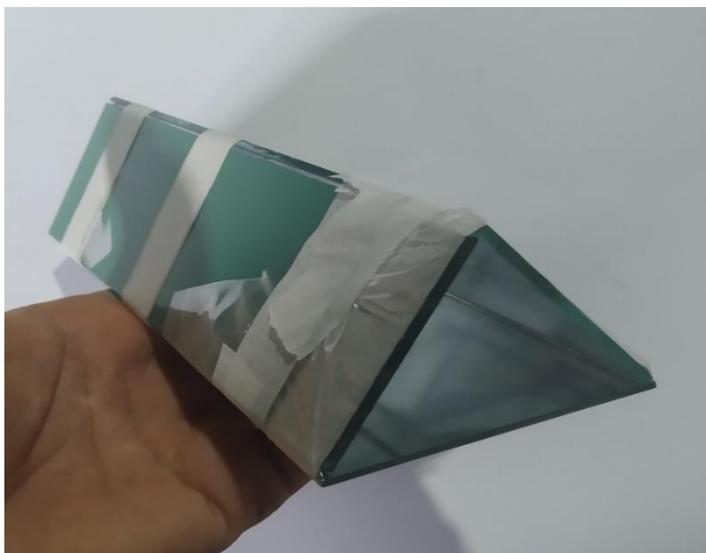
Figura 2.18 – Prisma envolvido por fita adesiva.



Fonte: O autor.

- c) Corte um triângulo de plástico transparente e utilizando fita transparente (durex) fixe o triângulo de plástico em uma das extremidades do prisma, Figura 2.19.

*Figura 2.19 – Plástico transparente fixado na extremidade.*



*Fonte: O autor.*

- d) Encape o prisma com uma cartolina, colando-a nos espelhos um por vez, de modo que a cartolina fique com uma sobra 1,5 cm na extremidade onde está o plástico transparente. O resultado deve ficar de acordo com o modelo da Figura 2.20.

*Figura 2.20 – Prisma encapado com cartolina.*



*Fonte: O autor.*

### **Procedimento Experimental**

- a) Coloque-se frente a uma janela e observe o prisma pela extremidade aberta.

- b) Observe objetos coloridos.
- c) Gire o prisma.
- d) Descreva o que você observa e tente relacionar com a experiência anterior.

## 2.5 Experimento 5: Periscópio

### Objetivo

Mostrar como se pode enxergar acima da superfície do mar quando um submarino está submerso.

### Materiais Utilizados

- Papelão (65 cm x 28 cm).
- Dois espelhos (9,5 cm x 6 cm).
- Estilete. Cuidado ao manusear instrumentos cortantes.
- Pistola de cola quente.
- Transferidor.
- Régua.
- Caneta ou lápis.
- Tesoura.

### Procedimentos de Construção

- a) Pegue o papelão e meça as laterais nas duas extremidades do papelão no sentido do comprimento, possuindo 5 cm de comprimento e 6 cm de largura, Figura 2.21.

*Figura 2.21 – Lateral da extremidade.*



*Fonte: O autor.*

- b) Em seguida, prolongue as retas de comprimento das laterais até que se encontrem, formando assim as faces de um retângulo de 55 cm de comprimento e 6 cm de largura. O resultado deve ficar conforme ilustrado na Figura 2.22.
- c) Observe que na face 1 foi deixada uma lateral que se prolonga apenas do início ao fim do comprimento da face do retângulo e possui 2 cm de largura.

*Figura 2.22 – Faces do retângulo.*



*Fonte: O autor.*

- d) A partir de 4 cm da extremidade inferior da face 1 do retângulo e extremidade superior da face 3, faça um retângulo de 9,5 cm de comprimento e uma lateral de 2 cm de comprimento, Figura 2.23.

*Figura 2.23 – Posição dos retângulos menores.*



*Fonte: O autor.*

- e) Em seguida, com o auxílio de uma régua, dobre as retas das faces no sentido do comprimento e as laterais no sentido da largura, a fim de obter o formato de uma caixa retangular.
- f) Recorte as laterais no sentido do comprimento como ilustrado na Figura 2.24.

*Figura 2.24 – Laterais cortadas.*



*Fonte: O autor.*

- g) Feche a caixa retangular. Na lateral deixada na face 1 do retângulo passe cola quente e fixe na lateral da face 4 do retângulo. O processo é indicado na Figura 2.25.

*Figura 2.25 – Fechamento lateral do retângulo.*



*Fonte: O autor.*

- h) Em seguida, feche as quatro laterais deixadas nas extremidades do retângulo e fixe com cola quente. O resultado deve ficar de acordo com o modelo da Figura 2.26.

*Figura 2.26 – Laterais da extremidade fechada.*



*Fonte: O autor.*

- i) Utilizando o estilete, corte os retângulos desenhados na face 1 e 3, dobrando a lateral de 2 cm de comprimento, Figura 2.27.

*Figura 2.27 – Recorte dos retângulos das faces.*



*Fonte: O autor.*

- j) Dobre os retângulos cortados na etapa anterior para dentro da caixa, e fixe com cola quente a lateral de 2 cm de comprimento na parede da caixa com inclinação de 45°, conforme mostra a Figura 2.28.

*Figura 2.28 – Dobrando os retângulos cortados*



*Fonte: O autor.*

- k) Pegue os dois espelhos e utilizando cola quente, cole sobre os retângulos da etapa anterior, deixando a parte espelhada para fora. O resultado deve ficar conforme mostra a Figura 2.29.
- l) Note que na posição onde foram colados os espelhos, eles ficarão frente a frente, possibilitando a reflexão dos raios de luz.

*Figura 2.29 – Espelho fixado no retângulo.*



*Fonte: O autor.*

**Procedimento Experimental**

- a) Posicione algum objeto sobre uma superfície mais elevada que a sua própria altura.
- b) Em seguida, pegue o periscópio e coloque uma das suas extremidades com o espelho frente ao objeto.
- c) Olhando pela outra extremidade, busque observar os objetos.
- d) Faça um esquema indicando a posição dos espelhos e a trajetória do raio luminoso.

## 2.6 Experimento 6: Refração da Luz

### Objetivos

Mostrar experimentalmente o fenômeno de refração da luz, ou seja, mostrar que quando a luz muda de um meio para outro ela não caminha em linha reta.

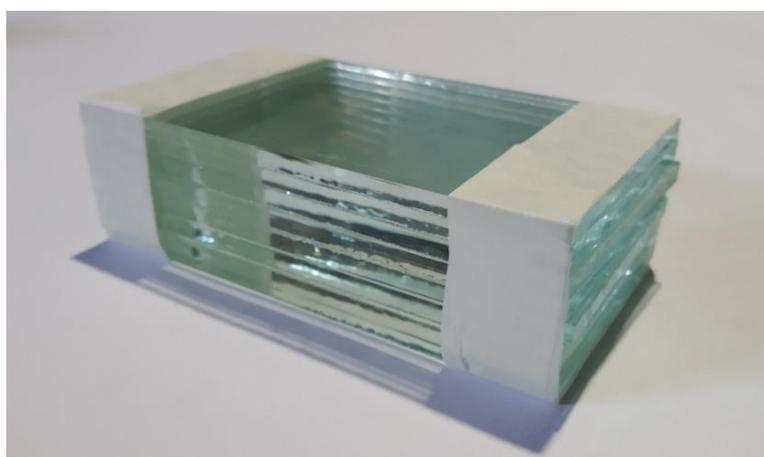
### Materiais Utilizados

- Oito vidros (10 cm x 5 cm).
- Placa de isopor (14 cm x 18 cm).
- Fita adesiva.
- Três alfinetes.
- Papel sulfite.
- Compasso.
- Régua.
- Transferidor.

### Procedimentos de Construção

- a) Verifique se os vidros estão limpos.
- b) Coloque os oito vidros posicionados lado a lado formando um prisma. Fixe bem firme utilizando uma fita adesiva as extremidades do prisma, conforme ilustrado na Figura 2.30.

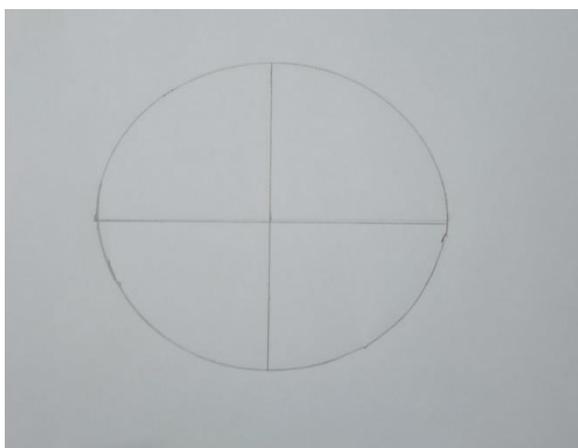
*Figura 2.30 – Prisma fixado nas extremidades com fita adesiva.*



*Fonte: O autor.*

- c) Desenhe um retângulo de aproximadamente 14 cm de largura e 18 cm de comprimento no papel sulfite.
- d) Com a tesoura, recorte o retângulo desenhado.
- e) Trace um círculo de 10 cm de diâmetro no retângulo da etapa anterior, desenhando dois diâmetros perpendiculares entre si. O modelo deve ficar como mostra a Figura 2.31.
- f) Cole o retângulo na placa de isopor e espere a cola secar.

*Figura 2.31 – Círculo com diâmetros perpendiculares.*

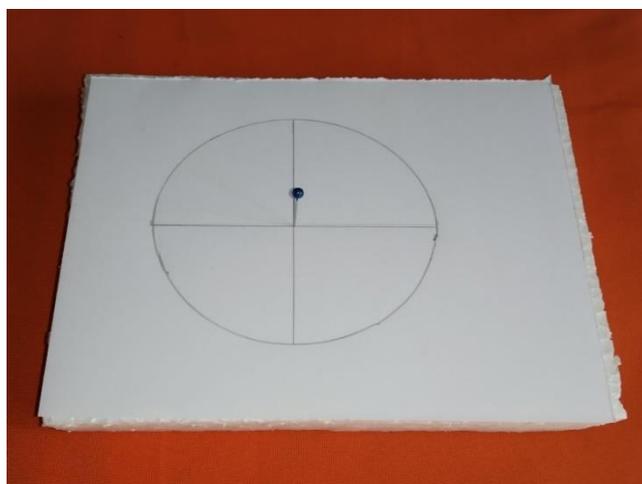


*Fonte: O autor.*

### **Procedimento Experimental**

- a) Espete no centro da circunferência um alfinete bem perpendicular ao plano do papel, Figura 2.32.

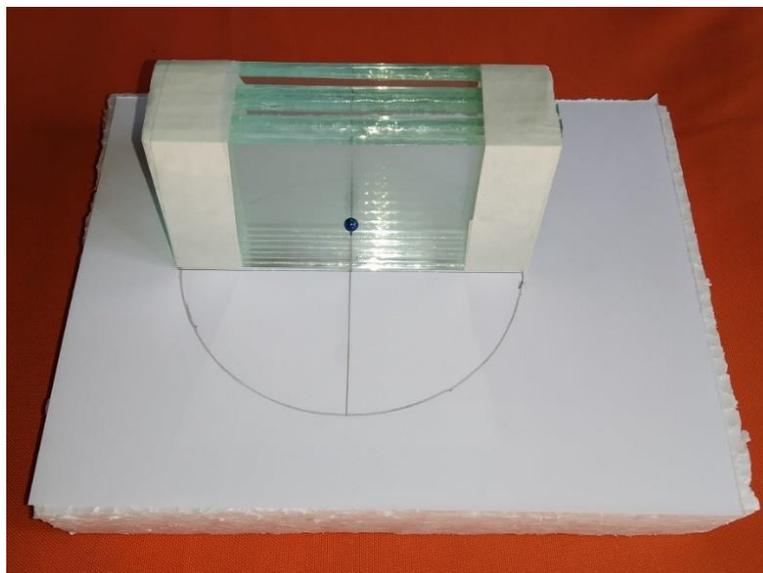
*Figura 2.32 – Alfinete posicionado no centro da circunferência.*



*Fonte: O autor.*

- b) Coloque o prisma de vidro sobre a circunferência de modo que coincida com o diâmetro onde foi posicionado o alfinete, Figura 2.33.

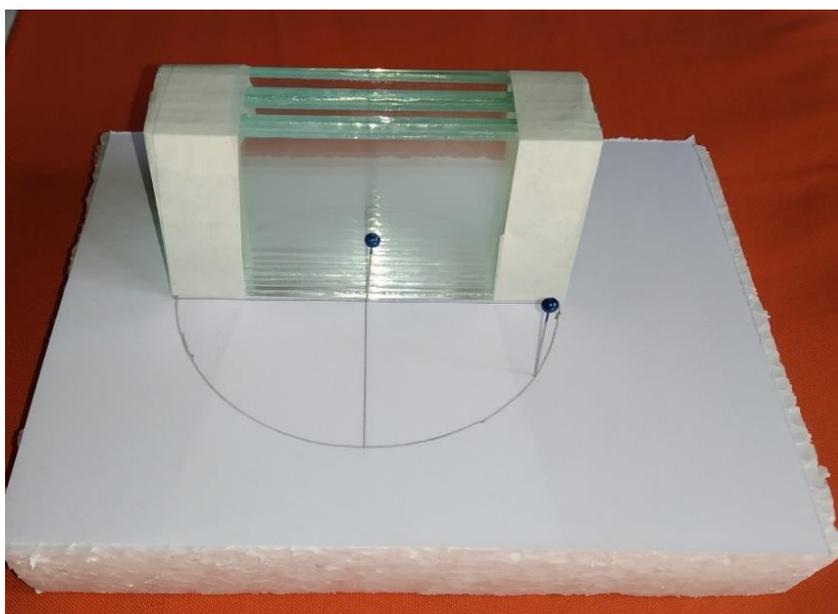
*Figura 2.33 – Prisma perpendicular ao diâmetro.*



*Fonte: O autor.*

- c) Espete na circunferência um alfinete a  $40^\circ$  do diâmetro, Figura 2.34.

*Figura 2.34 – Alfinete a  $40^\circ$  do diâmetro.*

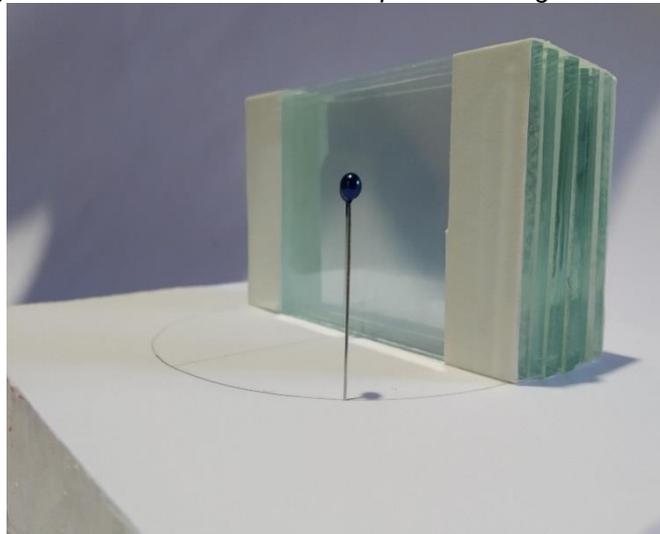


*Fonte: O autor.*

- d) Segure um alfinete atrás do prisma de vidro.

- e) Olhe na posição do segundo alfinete até que ele fique alinhado com o primeiro, Figura 2.35.

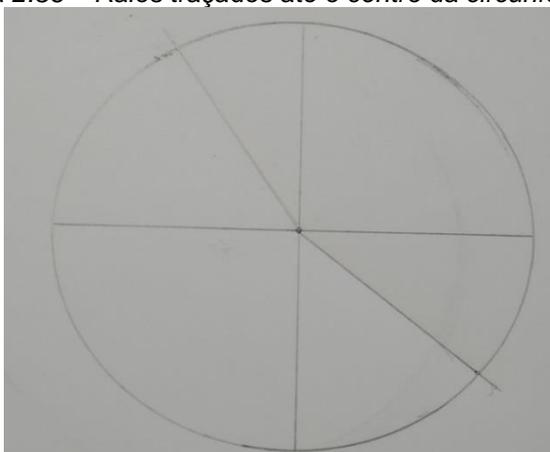
*Figura 2.35 – Alinhamento entre o primeiro e segundo alfinete.*



*Fonte: O autor.*

- f) Desloque o alfinete atrás do prisma de vidro até que fique alinhado com os outros dois alfinetes, cuidando para que fique bem alinhado com a circunferência e finque-o.
- g) Observe que o terceiro alfinete é observado primeiro pelo olho através do vidro, e depois através do ar.
- h) Retire o prisma de vidro e os alfinetes, e trace os raios desde o centro até os furos. O resultado deve ficar como mostra a Figura 2.36.

*Figura 2.36 – Raios traçados até o centro da circunferência.*



*Fonte: O autor.*

- i) Observe que os raios não se encontram em linha reta. Este fenômeno é chamado de *refração*.

## 2.7 Experimento 7: Refração na Água

### Objetivo

Mostrar que o fenômeno de refração nos permite ver um objeto que seria impossível visualizar sem o fenômeno de refração.

### Materiais Utilizados

- Copo opaco.
- Moeda.
- Mesa.
- Fita adesiva.
- Água.

### Procedimentos de Construção

Utilizando uma fita adesiva, fixe uma moeda na parte central do fundo interno de um recipiente opaco, conforme ilustrado na Figura 2.37.

*Figura 2.37 – Moeda fixa no fundo interno de um copo.*



*Fonte: O autor.*

### Procedimento Experimental

- a) Coloque o copo sobre uma mesa.
- b) Observe a moeda no fundo interno do copo, como apresentado na Figura 2.37. Em seguida se distancie do copo até não ser mais possível visualizar a moeda, conforme a Figura 2.38.

*Figura 2.38 – Visão superior do copo sem visualizar a moeda.*



*Fonte: O autor.*

- c) Logo em seguida, coloque água no copo até cerca de 1 cm da abertura do copo, como indica a Figura 2.39.

*Figura 2.39 – Observação do copo com a visualização da moeda.*



*Fonte: O autor.*

- d) Descreva o fenômeno observado e relacione-o com o fenômeno da refração.

## 2.8 Experimento 8: Lente Convergente

### Objetivo

Mostrar que uma lente convergente pode concentrar os raios solares e também aumentar a imagem de um objeto facilitando a sua observação.

### Materiais Utilizados

- Lâmpada incandescente queimada.
- Água.
- Alicate.
- Chave de fenda.
- Folha de papel (uma branca e outra preta).
- 1 bexiga.

### Procedimentos de Construção

- a) Pegue a lâmpada com um pano para que não se tenha risco de se cortar.
- b) Em seguida, utilizando o alicate, aperte o revestimento preto do fundo da lâmpada até que seja retirado.
- c) Com a ajuda de uma chave de fenda, quebre a parte interna do vidro, até possibilitar a retirada do filamento da lâmpada.
- d) Retire cuidadosamente todos os cacos de dentro da lâmpada.
- e) Coloque água dentro da lâmpada até estar completamente cheia.
- f) Em seguida, recorte o fundo e o bico da bexiga, Figura 2.40.

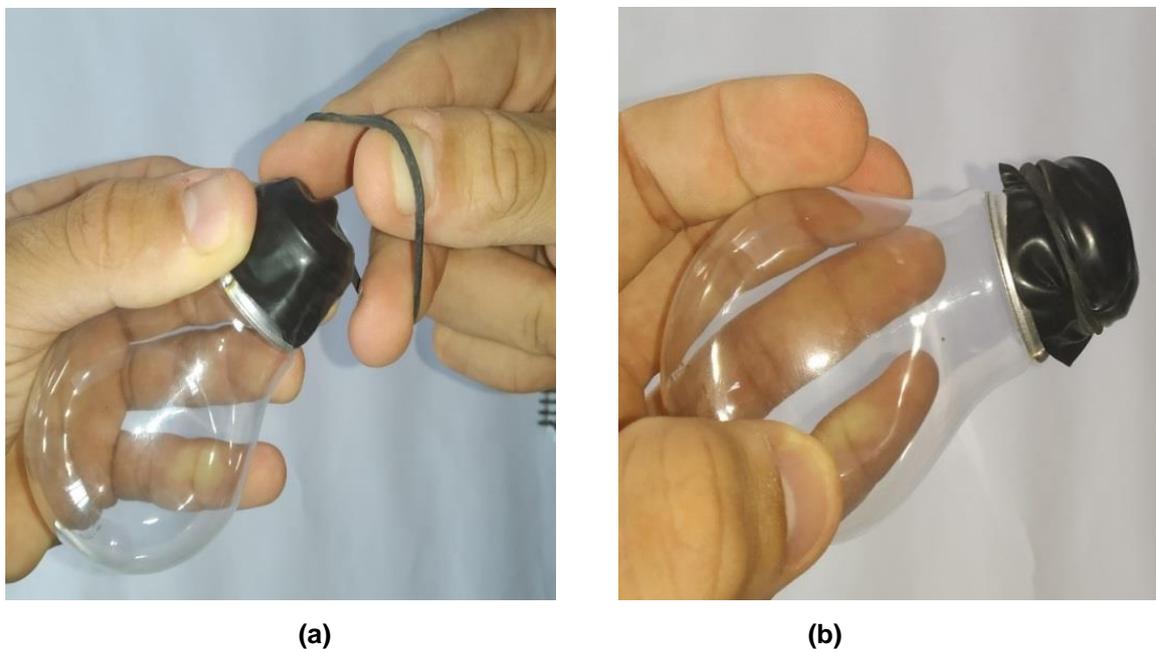
*Figura 2.40 – Bico e fundo da bexiga recortados.*



*Fonte: o autor.*

- g) Coloque a parte do fundo da bexiga na extremidade da lâmpada, em seguida coloque o bico da bexiga a fim de fixar melhor a vedação, Figura 2.41.

Figura 2.41 – Vedação da lâmpada com a bexiga.

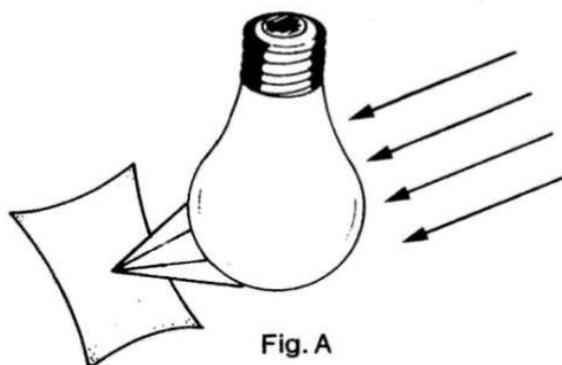


Fonte: O autor.

### Procedimento Experimental

- a) Leve a lâmpada para uma região que recebe raios solares e encoste-a em uma folha branca (do lado oposto, onde incide os raios solares) conforme mostrado na Figura 2.42.

Figura 2.42 – Posição da lâmpada em relação à folha.



Fonte: O autor.

- b) Distancie lentamente a folha e observe o tamanho do círculo luminoso.
- c) Busque o lugar onde o ponto luminoso é menor. Este ponto se chama foco e possui muita importância para a óptica.
- d) Observe que posicionando a folha no foco dos raios solares, com o decorrer do tempo, o papel começará a apresentar uma leve fumaça, podendo até mesmo ser queimado.
- e) Realize novamente o experimento, mas utilizando um papel preto e observe o que acontece quando colocado no foco.
- f) Pegue a lâmpada e coloque-a sobre um papel escrito e observe a imagem formada, Figura 2.43. Faça os alunos observarem o aumento do tamanho das letras escritas no papel.

*Figura 2.43 – Ampliação da imagem.*



*Fonte: O autor.*

- g) Pesquise e veja a utilidade das lentes. Faça os alunos entenderem que quando aperfeiçoado para não deformar as imagens dos objetos as lentes se tornam extremamente úteis.

## 2.9 Experimento 9: Ponto Cego do Olho Humano

### Objetivo

Mostrar que na retina do olho humano onde se conecta o nervo ótico não há células sensíveis (bastonetes) e, portanto, qualquer imagem que se forme neste ponto não será sentida pelo sistema ótico.

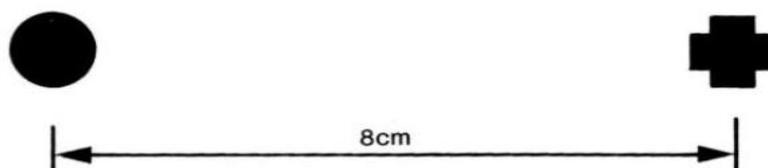
### Materiais Utilizados

- Uma folha de papel branco A4 (ou similar).
- Caneta.
- Régua.
- Tesoura.

### Procedimentos de Construção

- a) Numa folha de papel branco desenhe um retângulo de 14 cm de comprimento e 4 cm de largura.
- b) Recorte o retângulo desenhado.
- c) Pegue o retângulo de papel e desenhe um ponto e uma cruz de mesma dimensão. O ponto deve possuir 0,5 centímetros de diâmetro e a cruz 0,5 centímetros de altura e largura. Os dois desenhos devem possuir uma distância de 8 cm entre o centro de cada desenho, como mostra a Figura 2.44.

Figura 2.44 – Desenho para experimentação.



Fonte: O autor.

## Procedimento Experimental

- a) Tampe o olho esquerdo, pegue a folha com a mão direita e coloque-a de modo que o ponto fique bem em frente ao olho direito e a cruz do lado de fora do rosto, a uma distância de 35 cm do rosto.
- b) Aproxime lentamente a folha.
- c) Observe que a certa distância, não é possível visualizar a imagem da cruz, isso se dá por conta da imagem da cruz se formar no ponto onde o nervo ótico se conecta à retina, ou seja, o ponto cego do olho humano.
- d) Afastando ou aproximando mais a folha, a cruz retorna a aparecer.

## 2.10 Experimento 10: Duração da Imagem na Retina

### Objetivo

Mostrar que uma sensação recebida pelo olho humano tem certa duração (aproximadamente 1/10 de segundo).

### Materiais Utilizados

- Dois espelhos (14 cm x 9 cm).
- Uma folha de papel branco A4 (ou similar).
- Lápis.
- Borracha.
- Caneta esferográfica.
- 2 barbantes de 1 metro de comprimento.
- Fita adesiva.
- Tesoura.

### Procedimentos de Construção

- a) Desenhe em um papel branco um retângulo de 18 cm de comprimento e 14 cm de largura.
- b) Com a tesoura recorde o retângulo e dobre ao meio.
- c) Em seguida no lado da esquerda desenhe uma gaiola e no lado direito um passarinho. Contorne o desenho com caneta esferográfica assim como o modelo da Figura 2.45. Observe que o tamanho do passarinho deve ser menor que o tamanho da gaiola.

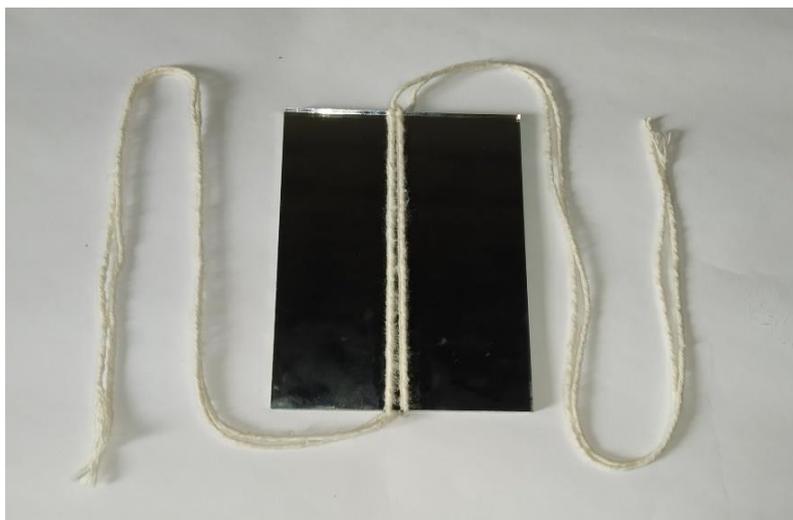
Figura 2.45 – Desenho da gaiola e passarinho em suas posições.



Fonte: O autor.

- d) Coloque os dois espelhos paralelos com a parte espelhada para fora ou para dentro. Em seguida envolva os espelhos com um barbante na posição vertical na direção central e dê um nó na extremidade. Repita esse processo para o outro barbante posicionado na outra extremidade, Figura 2.46.

*Figura 2.46 – Posicionamento dos espelhos e barbantes.*



*Fonte: O autor.*

- e) Fixe ambos os lados com fita adesiva, Figura 2.47.

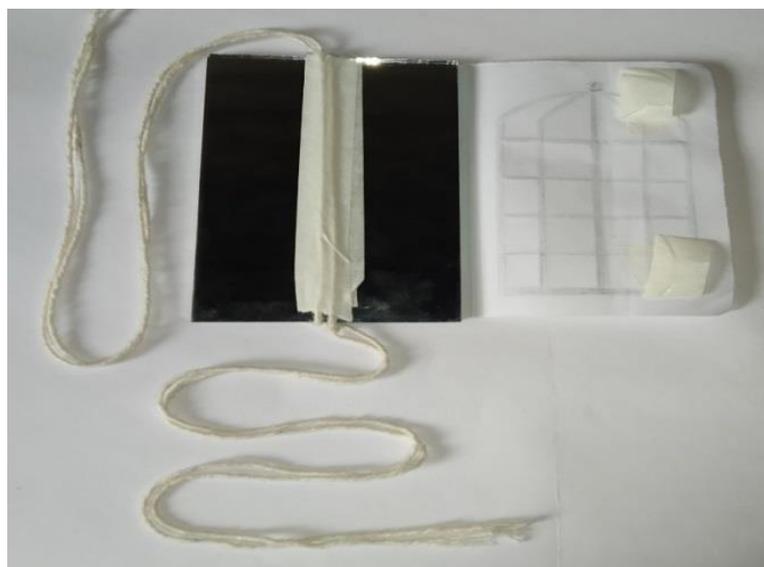
*Figura 2.47 – Barbantes fixados com fita adesiva.*



*Fonte: O autor.*

- f) Logo após, cole com a fita adesiva o retângulo de papel, cuidando para que os desenhos fiquem para fora como mostrado na Figura 2.48. O resultado deve ficar como ilustrado na Figura 2.49.

*Figura 48 – Colagem do papel sobre os espelhos.*



*Fonte: O autor.*

*Figura 49 – Modelo finalizado.*



*Fonte: O autor.*

### **Procedimento Experimental**

- a) Segure o conjunto pela extremidade dos dois barbantes e dê um impulso no espelho fazendo-o girar rapidamente.
- b) Antes que a imagem do passarinho se apague no olho, aparece a imagem da gaiola, gerando a impressão de ver o todo como um só desenho.
- c) Este princípio é utilizado pelo cinema. Antes que um quadro se apague aparece o seguinte. Os aparelhos de TV utilizam o mesmo princípio, mas ponto a ponto de sua tela.

## 2.11 Experimento 11: Prisma

### Objetivo

Mostrar experimentalmente o comportamento da luz ao atravessar um prisma.

Mostrar o espectro da radiação solar.

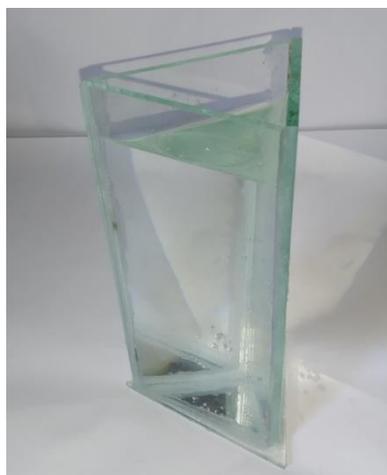
### Materiais Utilizados

- 3 vidros transparentes (20 cm x 8 cm), com 5 mm de espessura.
- 1 vidro triangular com 10 cm de cada lado, e 5 mm de espessura.
- Água.
- 1 bisnaga (50 g) de silicone.
- Raios solares.

### Procedimentos de Construção

- Utilizando a bisnaga de silicone, cole os três vidros em um formato de prisma triangular de 20 cm de altura. Faça com que as extremidades do prisma fiquem paralelas.
- Deixe secar por um período de 24 horas.
- Cole o vidro triangular em uma extremidade do prisma. Este servirá como base para o prisma. Deixe secar novamente por um período de 24 horas.
- Após estar bem colado e seco, coloque água até 2 cm da borda do prisma, Figura 2.50.

*Figura 2.50 – Prisma finalizado já com água em seu interior.*



*Fonte: O autor.*

### **Procedimento Experimental**

- Coloque o prisma em posição vertical e aproxime-o do olho para enxergar os objetos em volta.
- Observe que os objetos parecem deslocados do lugar.
- Gire o prisma lentamente diante do olho, até observar os objetos coloridos em suas extremidades.
- Observe que as cores são diferentes em cada um dos lados do objeto.
- Em seguida, em um ambiente que há iluminação do sol, coloque o prisma diante dos raios solares, preferencialmente no horário em que o sol está perto do horizonte (no início da manhã ou no fim da tarde).
- Gire o prisma diante dos raios solares e observe na parede, teto ou outros objetos, a formação do espectro solar.
- Quanto mais longe estiver o prisma do lugar onde se forma o espectro, mais nítidas aparecerão as diversas cores.
- Relacione a última experiência com a formação do arco-íris.
- Essas luzes separadas e recolhidas num anteparo recebem o nome de “espectro da luz solar”.
- Caso não estiver fazendo sol, basta fazer incidir nas paredes do prisma a luz de uma lâmpada ou lanterna, e será possível projetar o espectro em um anteparo, uma parede branca, por exemplo.

## **CAPÍTULO 3**

### **COMENTÁRIOS FINAIS**

A óptica está presente em vários instrumentos utilizados com frequência pela sociedade e também por diversas áreas de pesquisa. Dessa forma, a compreensão da óptica é essencial na construção de vários instrumentos ópticos para os mais diversos fins. Esta importância que a óptica presta à sociedade a torna um tema relevante na disciplina de física no ensino médio e fundamental II. No entanto, existe uma carência de recursos financeiros para a aquisição de equipamentos e materiais para serem utilizados em aulas práticas e experimentais para o ensino de ciências em geral, e da física em específico, tanto em nível fundamental quanto médio. Então, seria possível a construção de equipamentos didáticos no campo da óptica utilizando materiais de baixo custo? Na presente monografia mostrou-se que sim: é possível construir instrumentos no campo da óptica utilizando materiais de baixo custo para uma prática didática utilizando a experimentação. Mostrou-se também que os instrumentos apresentados a partir de materiais de baixo custo nesta monografia podem ser aplicados para explicar conceitos físicos da óptica geométrica ministrada no ensino médio. Assim, independentemente da escola dispor de um laboratório, o professor pode fazer uso de materiais de baixo custo e/ou de materiais recicláveis e de fácil acesso, sempre que houver possibilidade de desenvolver um contexto experimental referente aos conteúdos ministrados na disciplina. Enfatizamos que os instrumentos e experimentos aqui propostos podem ser reproduzidos de forma fácil por professores, estudantes, e também por pessoas do público em geral interessadas no assunto.

Como produto desta monografia, foram gerados dois artigos: (BARBOSA, 2022) e (GONÇALVES, 2022)

## BIBLIOGRAFIA

ARAUJO, A. P. F.; R. Medeiros; RODRIGUES, C. G. Uma aplicação em sala de aula da robótica educacional para o ensino de física. **Studies in Education Sciences**, v. 3, p. 1408-1433, 2022. <https://doi.org/10.54019/sesv3n4-002>

BAGNATO, V. S.; PRATAVIEIRA, S. Luz para o progresso do conhecimento e suporte da vida. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, p. 4206, 2015.

BARBOSA, L. L.; RODRIGUES, C. G. Construção de instrumentos ópticos com materiais de baixo custo: caleidoscópio, periscópio, prisma e imagem na retina. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 6, p. 92-110, 2022. DOI: [10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/educacao/instrumentos-opticos](https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/educacao/instrumentos-opticos)

BISPO, E. S.; RODRIGUES, C. G. Sugestões de experimentos de fácil acesso para o ensino de termodinâmica. **Physicae Organum**, v. 6, pp. 89-102, 2020.

BORGES, C. L. S.; RODRIGUES, C. G. Proposta de Modelos Experimentais Construídos com Materiais de Baixo Custo para o Ensino de Ciências em Temas de Astronomia. **Revista Educação e Linguagens**, 2022a.

BORGES, C. L. S.; RODRIGUES, C. G. Astronomia: breve história, principais conceitos e campos de atuação. **Brazilian Applied Science Review**, v. 6, pp. 545-577, 2022b.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física: Ondas, óptica e termodinâmica**, v. 2, 2. Ed. São Paulo: Ática, 2013.

GONÇALVES, L. L. B.; RODRIGUES, C. G. Experimentos práticos e didáticos de baixo custo para o ensino de óptica: reflexão, refração e espelhos planos. **Conjecturas**, v. 22, p. 916-935, 2022. DOI: <https://doi.org/10.53660/CONJ-1045-P02>

GONTIJO, L. M. A.; RODRIGUES, C. G. Sobre a Evolução do Conceito de Calor e Energia Térmica. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, v. 24, p. 19-51, 2021. DOI: <https://doi.org/10.23925/2178-2911.2021v24p19-51>

GUIMARÃES, C. C. Experimentação no ensino de química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 3, pp. 198-202, 2009.

HELOU, D.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. **Tópicos de Física**, v. 2, 19. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

MARTINS, W. V. A.; RODRIGUES, C. G.; ANDRADE, E. V. O ensino sobre força de empuxo auxiliado por experimentos de fácil acesso. **Revista Mais Educação**, v. 5, pp.1082-1092, 2022. DOI: <https://doi.org/10.51778/2595-9611.v5i1>

MARTINS, J. P. M.; OSÓRIO, F. A. P.; RODRIGUES, C. G. Uma breve história da astrofísica. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, p. e3102046, 2022. DOI:

<https://doi.org/10.47820/recima21.v3i10.2046>[doi:10.47820/recima21.v3i10.2046

MIARA, M. L.; NEVES, M. C. D. Praxinoscópio e zootrópio: brinquedos ópticos na relação arte e ciência. **Ensino e Pesquisa**, v. 17, n. 1, p. 195-2016, 2019.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica no ensino de Física. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, pp. 73-80. 2018.

RODRIGUES, C. G. **Ondas, acústica, psicoacústica e poluição sonora**. Goiânia: do Autor, 2020. ISBN: 9786500068467

SANTOS, G. F.; RODRIGUES, C. G. O Ensino do movimento retilíneo uniforme e do movimento uniformemente variado utilizando atividades experimentais de baixo custo. **Studies in Education Sciences**, v. 3, n. 2, pp. 846-862, 2022a. DOI: <https://doi.org/10.54019/sesv3n2-026>

SANTOS, G. F.; RODRIGUES, C. G. Atividades experimentais de baixo custo para o ensino de mecânica. **Concilium (BRASIL)**, v. 22, p. 909-932, 2022b. DOI: <https://doi.org/10.53660/CLM-337-343>

# ANEXOS

## Artigos Publicados

## Experimentos práticos e didáticos de baixo custo para o ensino de óptica: reflexão, refração e espelhos planos

### Low-cost practical and didactic experiments for teaching optics: reflection, refraction and flat mirrors

Lucas Lourenço Barbosa Gonçalves<sup>1</sup>, Clóves Gonçalves Rodrigues<sup>1\*</sup>

---

#### RESUMO

A utilização da experimentação no ensino de física desempenha um papel importante para se alcançar uma aprendizagem significativa, sendo uma ferramenta didática de ensino capaz de proporcionar a união entre teoria e prática. A experimentação faz com que os alunos não permaneçam somente no mundo da teoria, possibilitando estabelecer a relação entre ambos: teoria-prática. Assim, independente da escola dispor de um laboratório, o professor pode fazer uso de materiais de baixo custo e/ou de materiais recicláveis e de fácil acesso, sempre que houver possibilidade de desenvolver um contexto experimental referente aos conteúdos ministrados na disciplina. Nesta perspectiva, nesse artigo foram propostos experimentos didáticos com materiais de fácil acesso e de baixo custo, atribuindo ênfase aos conceitos estabelecidos da óptica geométrica, tendo como principal objetivo auxiliar professores e estudantes no processo de ensino-aprendizagem.

**Palavras-chave:** Experimentos de Baixo Custo; Experimentos de Óptica; Experimentos Didáticos; Ensino de Física; Reflexão e Refração;

---

#### ABSTRACT

The use of experimentation in physics teaching plays an important role in achieving meaningful learning, being a didactic teaching tool capable of providing a union between theory and practice. Experimentation makes students not only remain in the world of theory, making it possible to establish the relationship between both: theory-practice. Thus, regardless of whether the school has a laboratory, the teacher can make use of low-cost, recyclable and easily accessible materials, whenever there is a possibility of developing an experimental context regarding the contents taught in the discipline. In this perspective, in this article, didactic experiments were proposed with easily accessible and low-cost materials, emphasizing the established concepts of geometric optics, with the main objective of helping teachers and students in the teaching-learning process.

**Keywords:** Low Cost Experiments; Optics Experiments; Didactic Experiments; Reflection and Refraction.

---

---

<sup>1</sup> Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

\*E-mail: cloves@pucgoias.edu.br

## INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade, o homem busca explicar e compreender os fenômenos presentes no mundo, e neste sentido destaca-se a Física. A Física é uma ciência que estuda os fenômenos da natureza, sendo capaz de explicar desde acontecimentos corriqueiros do dia a dia até a compreensão do funcionamento de sistemas biológicos, astronômicos, quânticos, complexos, nanométricos, etc. Assim, a Física abrange uma gama de conteúdos, os quais são indispensáveis para o desenvolvimento científico e humano.

O ensino de física e de ciências no ensino médio e no fundamental 2, geralmente é ministrado somente com a apresentação de conceitos teóricos sem a realização de práticas experimentais e de laboratório. Em geral, segue o modelo de ensino tradicional, enfatizando a memorização de leis e de cálculos matemáticos, com exercícios teóricos, focando apenas na abstração e resolução de problemas. Sem estabelecer relações com o cotidiano dos alunos, tal método de ensino acaba se configurando no que se pode chamar de aulas “monótonas”, gerando falta de interesse por parte dos alunos e se distanciando de uma aprendizagem significativa. Segundo Moreira (2018):

“O resultado desse ensino é que os alunos, em vez de desenvolverem uma predisposição para aprender Física, como seria esperado para uma aprendizagem significativa, geram uma indisposição tão forte que chegam a dizer, metaforicamente, que “odeiam” a Física.” (MOREIRA, 2018, p. 73).

No entanto, pode-se optar por diversas maneiras de se ensinar uma determinada disciplina. Sendo assim, fica evidente a necessidade de estratégias eficientes que possibilitem que o conteúdo ministrado se aproxime da realidade vivenciada pelo aluno, favorecendo a compreensão de conceitos físicos, a reflexão crítica e a dinamização do ensino, tornando-o interessante e divertido, podendo resultar em uma aprendizagem mais efetiva. Uma dessas estratégias pode ser a aplicação de práticas experimentais em sala de aula (BISPO, 2020), (MARTINS, 2022), (SANTOS, 2022). Segundo Guimarães (2009):

“No ensino de ciência, a experimentação pode ser uma estratégia eficiente para a criação de problemas reais que permitam a contextualização e o estímulo de questionamento de investigação. Nesta perspectiva, o conteúdo a ser trabalhado caracteriza-se como resposta aos questionamentos feitos pelos educandos durante a interação com o contexto criado. No entanto, essa metodologia não deve ser pautada nas aulas experimentais do tipo “receita de bolo”, em

que os aprendizes recebem o roteiro para seguir e devem obter resultados que o professor espera tampouco apetecer que o conhecimento seja constituído pela mera observação. Fazer ciência, no campo científico, não é aleatório. Ao ensinar ciência, no âmbito escolar, deve-se também levar em consideração que toda observação não é feita num vazio conceitual, mas a partir de um corpo teórico que orienta a observação.” (GUIMARÃES, 2009, p. 198).

A disciplina de física é composta por uma demasiada gama de conteúdos que ao longo das épocas foram repassados e aprimorados, surgindo novos questionamentos e descobertas. Tudo isto nos remete a importância de se estudar física, não só por proporcionar a compreensão do mundo, mas por todos os avanços tecnológicos obtidos com ela, os quais são úteis para melhorar a qualidade de vida do ser humano. Uma importante área de estudo da física é a dos fenômenos luminosos. O estudo dos fenômenos luminosos é denominado de óptica.

A óptica é a área da Física responsável por estudar os fenômenos da interação da luz com a matéria e possui uma vasta aplicabilidade. Algumas dessas aplicações, bastante conhecidas, são: espelhos, óculos, lentes, lasers, sensores, etc. Neste sentido podemos citar a aplicação destes no auxílio do estudo em outras áreas, como é o caso do microscópio utilizado para estudar micro-organismos e do telescópio usado para a observação de objetos astronômicos (BORGES, 2022). No campo da medicina a óptica permitiu grandes avanços como, por exemplo, o de diagnosticar e tratar o câncer (BAGNATO, 2015).

Este trabalho detém como principal objetivo a criação de experimentos didáticos no campo da óptica para aplicação em sala de aula, a fim de auxiliar professores e estudantes no processo de ensino-aprendizagem. Para tanto, foram propostos experimentos didáticos utilizando materiais de baixo custo e de fácil acesso atribuindo ênfase aos conceitos estabelecidos da óptica geométrica. A construção e utilização destes aparatos experimentais de baixo custo podem implicar numa melhor compreensão dos conceitos físicos envolvidos no fenômeno. A seguir apresentam-se estes experimentos propostos.

## **EXPERIMENTO 1: ÂNGULOS DE INCIDÊNCIA E REFLEXÃO**

### **Objetivos**

Mostrar que os ângulos de incidência e reflexão, no mesmo meio, são iguais.  
Visualizar a trajetória retilínea dos raios luminosos.

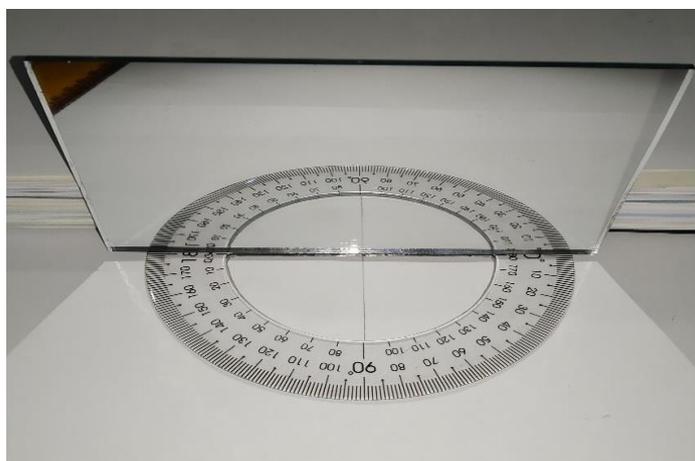
## Materiais Utilizados

Espelho (14 cm × 9 cm); transferidor; lápis; dois ou três livros (ou outro material para servir de apoio); folha de papel (tipo A4); laser (pode ser um laser de apontadores e canetas); mesa para apoio.

## Procedimentos de Construção

- a) Coloque a folha de papel sobre uma mesa e um transferidor sobre a folha de papel, Figura 1.
- b) Em seguida pegue os livros, posicione em cima do transferidor bem perpendicular ao centro e no início da contagem dos ângulos.
- c) Pegue o espelho e coloque sobre o transferidor deixando a parte espelhada para fora. Apoie o espelho nos livros, Figura 1.
- d) Cuide para que o espelho fique reto em relação ao início da contagem dos ângulos. Se necessário ajuste os livros de apoio.
- e) Com o lápis, faça uma reta no papel do ângulo de 90° até o espelho. O equipamento montado deve ficar como mostra a Figura 1.

**Figura 1** – Espelho posicionado sobre o transferidor e papel

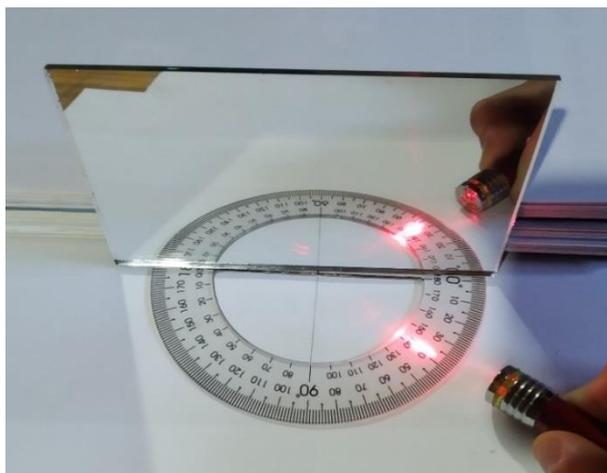


Fonte: os autores

## Procedimento Experimental

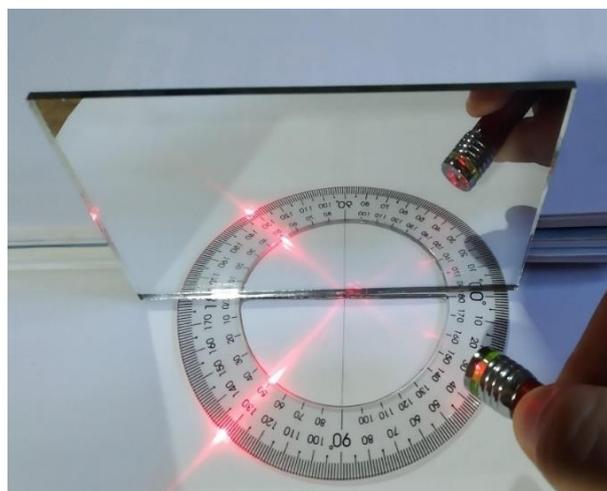
- a) Utilizando o laser, incida o feixe de luz na direção do espelho, partindo do lado direito da reta que passa pelo centro do transferidor, Figura 2.
- b) Observe que o raio de luz é refletido pelo espelho. Posicionando o laser em um ângulo e incidindo o feixe de luz do laser no espelho obtém-se o ângulo de reflexão, como mostra a Figura 3.

**Figura 2** – Posicionamento do feixe de luz



Fonte: os autores

**Figura 3** – Feixe de luz sendo refletido



Fonte: os autores

- c) Para determinar o valor dos ângulos de incidência e reflexão, conte no transferidor a partir da reta traçada a lápis considerada como a reta normal.
- d) Varie o ângulo de incidência e verifique que o ângulo de incidência e reflexão são sempre iguais.

## **EXPERIMENTO 2 : ÂNGULOS DE INCIDÊNCIA E REFLEXÃO**

### **Objetivo**

Demonstrar experimentalmente que os ângulos de incidência e reflexão são iguais no mesmo meio.

## Materiais Utilizados

Espelho retangular (6 cm × 18 cm); placa de isopor (14 cm × 18 cm); quatro alfinetes; compasso; transferidor; folha de papel A4 (ou similar); cola; régua; tesoura.

## Procedimentos de Construção

a) Com a ponta metálica do compasso, risque uma linha no meio da parte de trás do espelho, no sentido da largura, de modo a tirar a camada espelhada. O resultado deve ficar como ilustra a Figura 4.

**Figura 4** – Risco central no sentido da largura do espelho



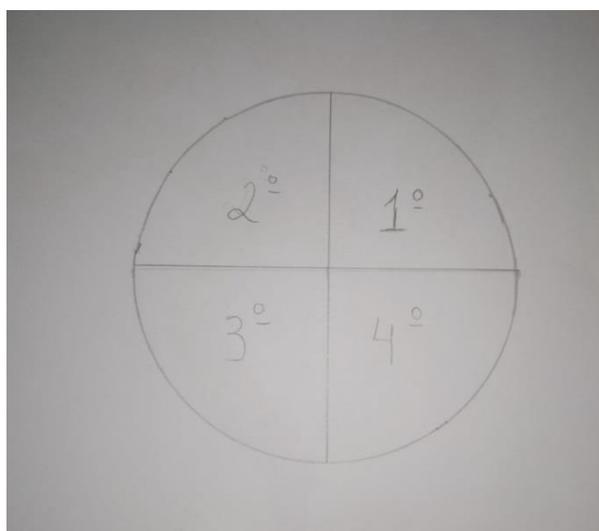
Fonte: os autores

b) Na folha de papel, faça um retângulo de aproximadamente 10 cm de largura e 14 cm de comprimento.

c) Com a tesoura, recorte o retângulo.

d) Trace um círculo de 8 cm de diâmetro no retângulo da etapa anterior. Em seguida desenhe dois diâmetros perpendiculares entre si, Figura 5.

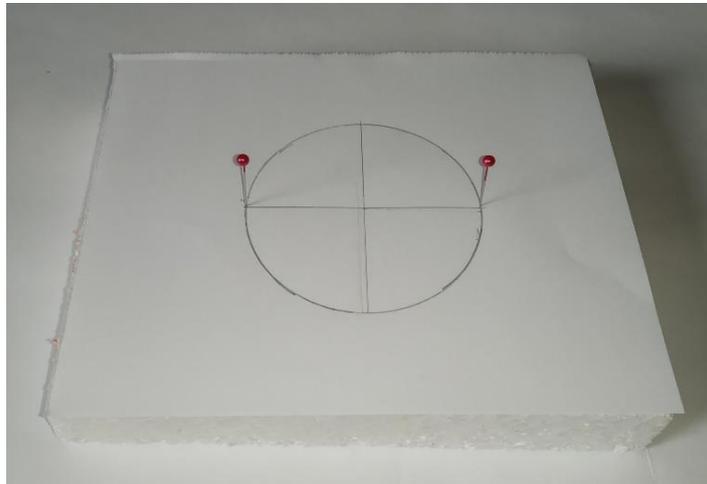
**Figura 5** – Circunferência com dois diâmetros perpendiculares entre si e os quatro quadrantes



Fonte: os autores

- e) Cole o retângulo na placa de isopor e espere a cola secar.
- f) Finque dois alfinetes em cada extremidade do diâmetro da circunferência, conforme mostra a Figura 6.

**Figura 6** – Alfinetes posicionados no diâmetro.

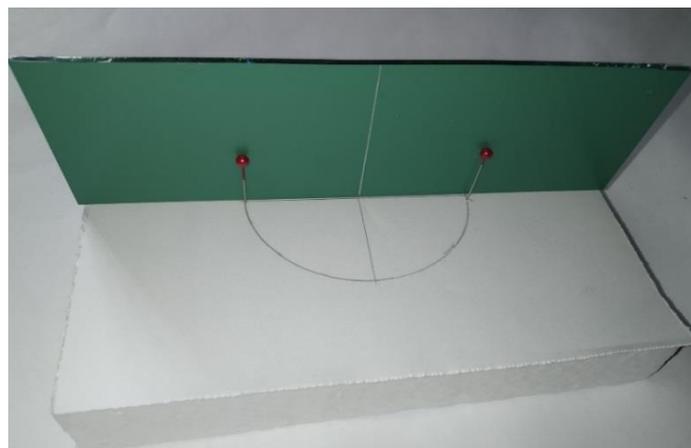


Fonte: os autores.

### Procedimento Experimental

- a) Coloque o espelho de modo que a parte de trás do mesmo coincida com o diâmetro onde foram posicionados os dois alfinetes que serviram como apoio do espelho, conforme ilustra a Figura 7.

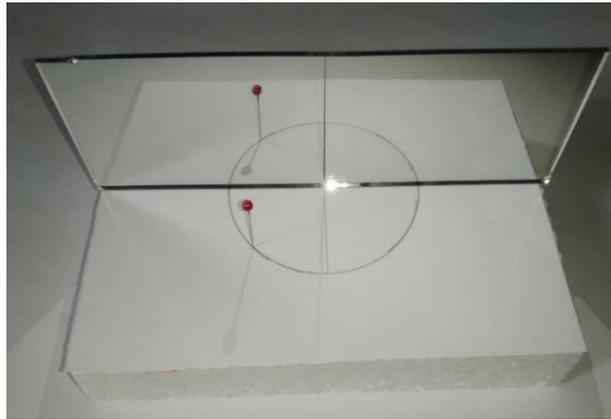
**Figura 7** – Espelho apoiado pelos alfinetes



Fonte: os autores

- b) Observe que com o espelho apoiado e posicionado conforme a etapa anterior, o risco central do espelho deve coincidir com o centro do círculo.
- c) Finque um alfinete perpendicular na circunferência no terceiro quadrante como mostrado na Figura 8.

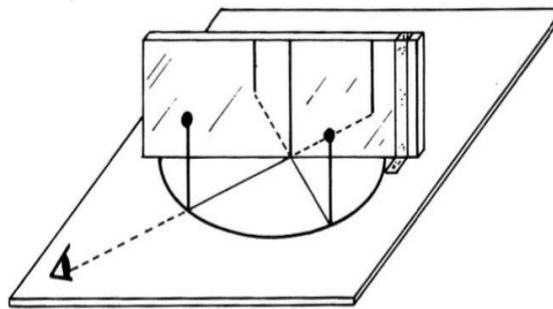
**Figura 8** – Alfinete posicionado no terceiro quadrante da circunferência



Fonte: os autores

d) Segure outro alfinete e olhe conforme indicado na Figura 9. Vá correndo o alfinete pela circunferência no mesmo quadrante.

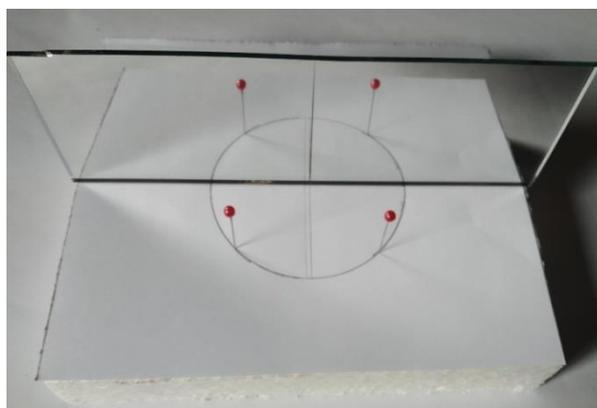
**Figura 9** – Posição indicada



Fonte: os autores

e) No momento que você enxergar em linha reta a imagem do primeiro alfinete, o risco do espelho e o alfinete que tem na mão, finque o alfinete tomando o cuidado para que fique na circunferência e bem vertical, Figura 10.

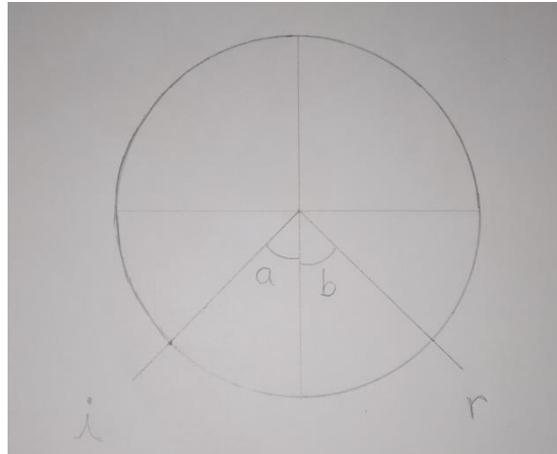
**Figura 10** – Segundo alfinete alinhado



Fonte: os autores

f) Retire o espelho e os alfinetes. Trace os dois raios que unem o centro da circunferência com os furos dos alfinetes. Veja o resultado na Figura 11.

**Figura 11** – Raios traçados até o centro



Fonte: os autores

- g) Meça com o transferidor os dois ângulos resultantes  $a$  e  $b$ .
- h) Observe que os dois ângulos resultantes,  $a$  e  $b$ , são iguais. Assim, comprova-se que um raio incidente e um raio refletido no mesmo meio possuem ângulos iguais.

### **EXPERIMENTO 3: ESPELHOS EM ÂNGULO**

#### **Objetivo**

Mostrar experimentalmente que associando dois espelhos planos é possível observar a formação de várias imagens. Mostrar que a quantidade de imagens formadas depende do ângulo entre os espelhos.

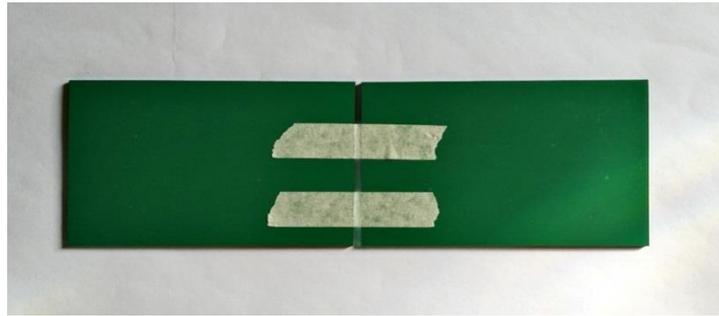
#### **Materiais Utilizados**

Dois espelhos planos (14 cm  $\times$  9 cm); caneta; transferidor; fita adesiva; folha de papel A4 branca; mesa para apoio.

#### **Procedimentos de Construção**

Cole os espelhos com uma fita adesiva na posição da largura (9 cm), Figura 12.

**Figura 12** – Espelhos colados com fita adesiva

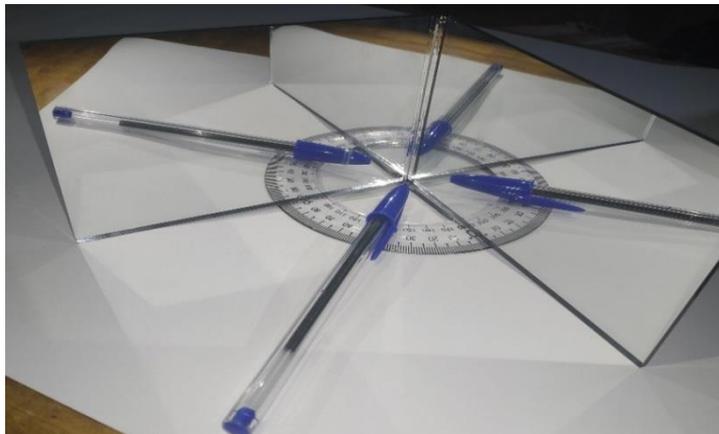


Fonte: os autores

### Procedimento Experimental

- a) Coloque a folha de papel sobre a mesa.
- b) Em seguida, com o auxílio do transferidor, posicione os espelhos sobre o papel, formando entre si um ângulo de  $90^\circ$ , Figura 13.
- c) Coloque a caneta entre os dois espelhos.
- d) Observe a formação das imagens nos espelhos, Figura 13.

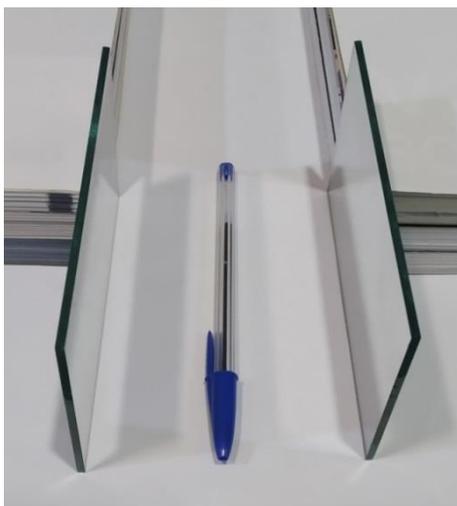
**Figura 13** – Espelhos posicionados com ângulos entre si de  $90^\circ$



Fonte: os autores

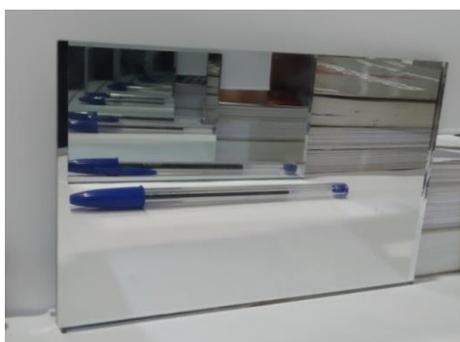
- e) Logo a seguir, faça o mesmo processo para os ângulos de  $60^\circ$  e  $30^\circ$  e observe se existe alguma relação matemática quanto à quantidade de imagens formadas e o ângulo entre os dois espelhos.
- f) Após isso, coloque os dois espelhos paralelos a uma distância de 10 cm um do outro, Figura 14. Observe as imagens formadas, Figura 15.

**Figura 14** – Espelhos posicionados paralelamente



Fonte: os autores

**Figura 15** – Formação das imagens nos espelhos paralelos



Fonte: os autores

g) Neste momento o professor poderá questionar os alunos sobre qual o fenômeno que possibilita a formação de imagens, e se é possível determinar a quantidade de imagens formadas pelos espelhos paralelos.

## **EXPERIMENTO 4: REFRAÇÃO DA LUZ**

### **Objetivos**

Mostrar experimentalmente o fenômeno de refração da luz, ou seja, mostrar que quando a luz muda de um meio para outro ela não caminha em linha reta.

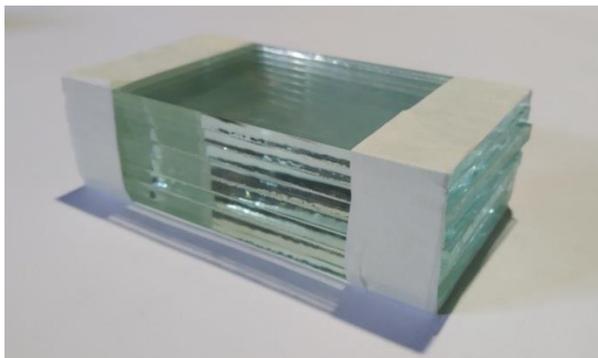
### **Materiais Utilizados**

Oito vidros (5 cm × 10 cm); placa de isopor (14 cm × 18 cm); fita adesiva; três alfinetes; folha de papel A4; compasso; régua; transferidor.

## Procedimentos de Construção

- a) Verifique se os vidros estão limpos.
- b) Coloque os oitos vidros posicionados lado a lado formando um prisma. Fixe bem firme utilizando uma fita adesiva as extremidades do prisma, conforme ilustrado na Figura 16.

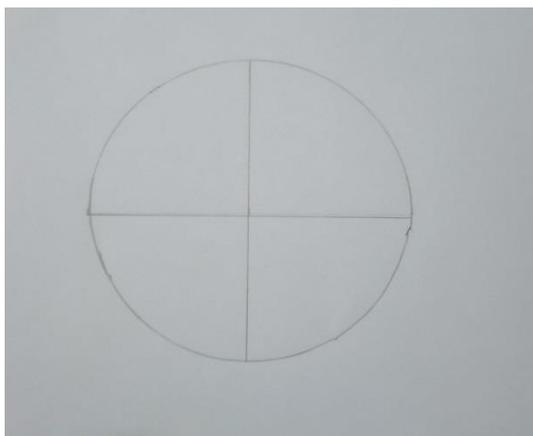
**Figura 16** – Prisma fixado nas extremidades com fita adesiva



Fonte: os autores

- c) Faça um retângulo de aproximadamente 14 cm de largura e 18 cm de comprimento na folha de papel A4. Com uma tesoura, recorte o retângulo desenhado.
- d) Trace um círculo de 10 cm de diâmetro no retângulo da etapa anterior, desenhando dois diâmetros perpendiculares entre si. O modelo deve ficar como mostra a Figura 17.
- e) Cole o retângulo na placa de isopor e espere a cola secar.

**Figura 17** – Círculo com diâmetros perpendiculares

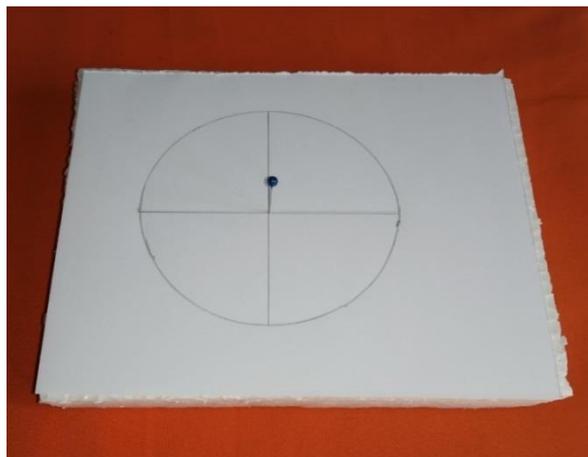


Fonte: os autores

## Procedimento Experimental

- a) Espete no centro da circunferência um alfinete bem perpendicular ao plano do papel, Figura 18.

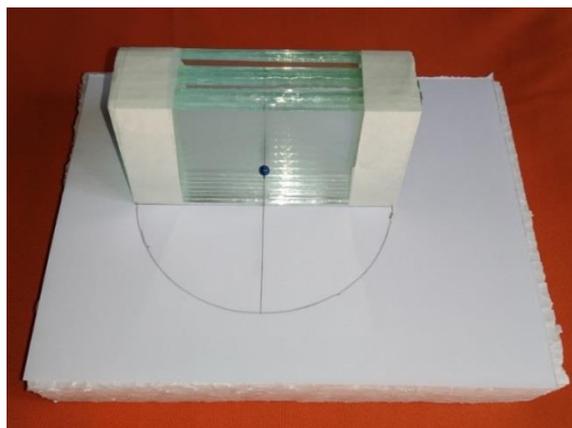
**Figura 18** – Alfinete posicionado no centro da circunferência



Fonte: os autores

b) Coloque o prisma de vidro sobre a circunferência de modo que coincida com o diâmetro onde foi posicionado o alfinete, Figura 19.

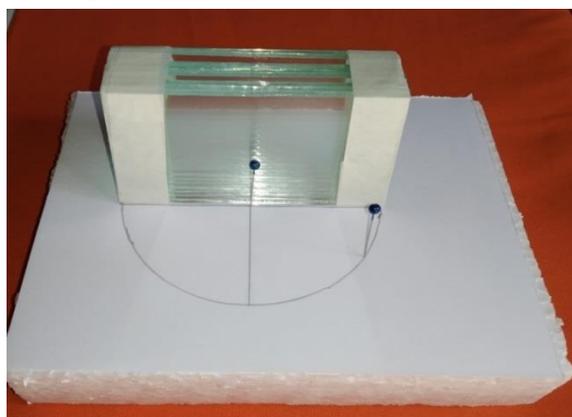
**Figura 19** – Prisma coincidindo com um dos diâmetros



Fonte: os autores

c) Espete na circunferência um alfinete a  $40^\circ$  do diâmetro, Figura 20.

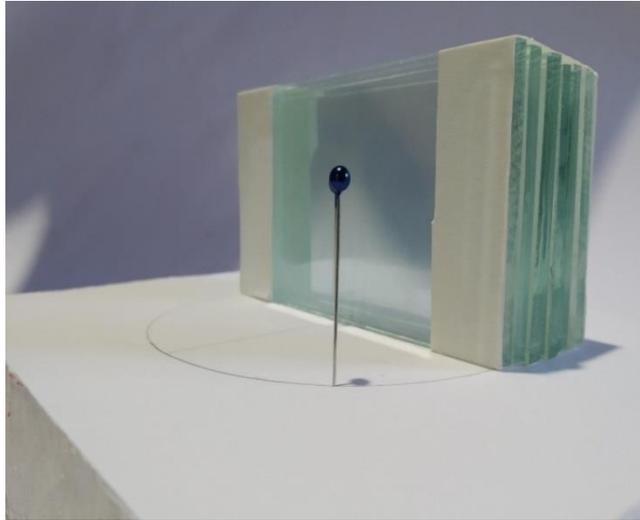
**Figura 20** – Alfinete a  $40^\circ$  do diâmetro



Fonte: os autores

- d) Segure um alfinete atrás do prisma de vidro.
- e) Olhe na posição do segundo alfinete até que o mesmo fique alinhado com o primeiro, Figura 21.

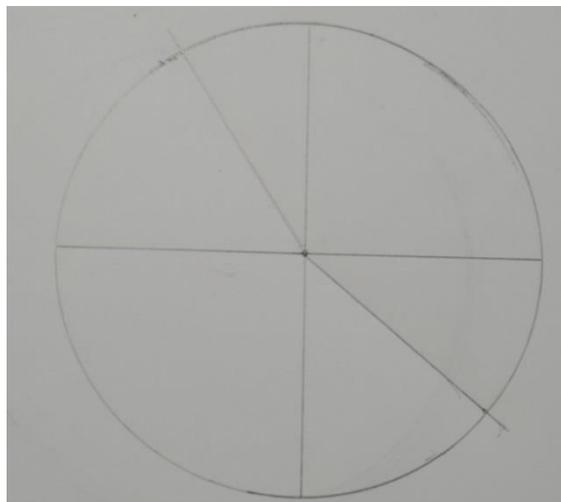
**Figura 21** – Alinhamento entre o primeiro e segundo alfinete



Fonte: os autores

- f) Desloque o alfinete atrás do prisma de vidro até que fique alinhado com os outros dois alfinetes, cuidando para que fique bem alinhado com a circunferência e então o finque.
- g) Observe que o terceiro alfinete é visto primeiro pelo olho através do vidro, e depois através do ar.
- h) Retire o prisma de vidro e os alfinetes, e trace os raios desde o centro da circunferência até os furos. O resultado deve ficar como mostra a Figura 22.

**Figura 22** – Raios traçados até o centro da circunferência



Fonte: os autores

i) Observe que os raios não se encontram em linha reta. Este fenômeno é chamado de refração.

## EXPERIMENTO 5: REFRAÇÃO NA ÁGUA

### Objetivo

Mostrar que o fenômeno de refração nos permite ver um objeto que seria impossível visualizar sem o fenômeno de refração.

### Materiais Utilizados

Um copo opaco (opaco é o meio onde a luz não se propaga); moeda (ou outro objeto similar); mesa; fita adesiva; água.

### Procedimentos de Construção

Utilizando uma fita adesiva, fixe uma moeda na parte central do fundo interno de um recipiente opaco, conforme ilustrado na Figura 23.

**Figura 23** – Moeda fixa no fundo de um copo



Fonte: os autores

### Procedimento Experimental

- Coloque o copo sobre uma mesa.
- Observe a moeda no fundo interno do copo, como apresentado na Figura 23. Em seguida se distancie do copo até não ser mais possível visualizar a moeda, conforme a Figura 24.

**Figura 24** – Visão superior do copo sem visualizar a moeda



Fonte: os autores

c) Logo em seguida, coloque água no copo até cerca de 1 cm da abertura do copo, como indica a Figura 25.

d) Descreva o fenômeno observado e relacione-o com o fenômeno da refração.

**Figura 25** – Observação do copo, com água, visualizando a moeda



Fonte: os autores

## **EXPERIMENTO 6:LENTE CONVERGENTE**

### **Objetivo**

Mostrar que uma lente convergente pode concentrar os raios solares e também aumentar a imagem de um objeto facilitando a sua observação.

### **Materiais Utilizados**

Lâmpada incandescente queimada; água; alicate; chave de fenda; folha de papel (uma branca e outra preta); 1 bexiga.

### Procedimentos de Construção

- a) Pegue a lâmpada com um pano para que não se tenha risco de se cortar.
- b) Em seguida, utilizando o alicate, aperte o revestimento preto do fundo da lâmpada até que seja retirado.
- c) Com a ajuda de uma chave de fenda, quebre a parte interna do vidro, até possibilitar a retirada do filamento da lâmpada.
- d) Retire cuidadosamente todos os cacos de dentro da lâmpada.
- e) Coloque água dentro da lâmpada até estar completamente cheia.
- f) Em seguida, recorte o fundo e o bico da bexiga, Figura 26.

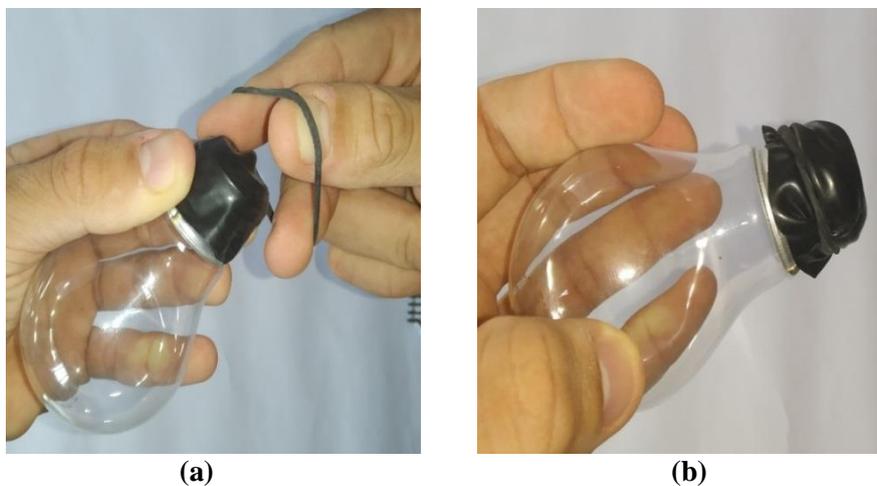
**Figura 26** – Bico e fundo da bexiga recortados



Fonte: os autores

- g) Coloque a parte do fundo da bexiga na extremidade da lâmpada, em seguida coloque o bico da bexiga a fim de fixar melhor a vedação, Figura 27.

**Figura 27** – Vedação da lâmpada com a bexiga

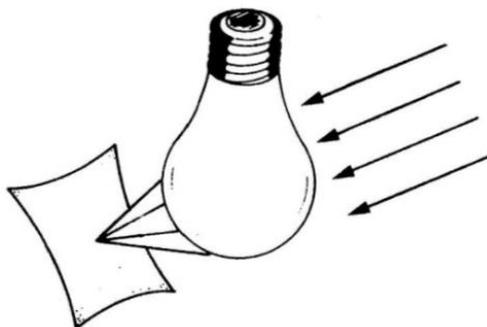


Fonte: os autores

## Procedimento Experimental

a) Leve a lâmpada para uma região que recebe raios solares e encoste-a em uma folha branca (do lado oposto, onde incide os raios solares) conforme mostrado na Figura 28.

**Figura 28** – Posição da lâmpada em relação à folha



Fonte: os autores

- b) Distancie lentamente a folha e observe o tamanho do círculo luminoso.
- c) Procure o lugar onde o ponto luminoso é menor. Este ponto se chama foco e possui muita importância para a óptica.
- d) Observe que posicionando a folha no foco dos raios solares, com o decorrer do tempo, o papel começará a apresentar uma leve fumaça, podendo até mesmo ser queimado. Repita o mesmo procedimento, mas utilizando um papel preto e observe o que acontece quando colocado no foco.
- e) Pegue a lâmpada e coloque-a sobre um papel escrito e observe a imagem formada, Figura 29. Faça os alunos observarem o aumento do tamanho das letras escritas no papel.

**Figura 29** – Ampliação da imagem



Fonte: os autores

g) Pesquise e veja a utilidade das lentes. Faça os alunos entenderem que quando aperfeiçoado para não deformar as imagens dos objetos as lentes se tornam extremamente úteis.

## COMENTÁRIOS FINAIS

A utilização da experimentação no ensino de física desempenha um papel importante para se alcançar uma aprendizagem significativa, sendo uma ferramenta didática de ensino capaz de proporcionar a união entre teoria e prática. A experimentação faz com que os alunos não permaneçam somente no mundo da teoria, mas possibilita estabelecer a relação entre ambos: teoria-prática. Dessa forma, torna-se possível esta relação harmoniosa entre a teoria e a prática, inserindo nos alunos a capacidade de investigação, de tomada de decisão, de verificação, de manipulação de leis e de possíveis questionamentos.

Assim, independente da escola dispor de um laboratório, o professor pode fazer uso de materiais de baixo custo e/ou de materiais recicláveis e de fácil acesso, sempre que houver possibilidade de desenvolver um contexto experimental referente aos conteúdos ministrados na disciplina.

Nesta perspectiva, nesse artigo foram propostos experimentos didáticos com materiais de fácil acesso e de baixo custo, atribuindo ênfase aos conceitos estabelecidos da óptica geométrica, tendo como principal objetivo auxiliar professores e estudantes no processo de ensino-aprendizagem.

## REFERÊNCIAS

BAGNATO, V. S.; PRATAVIEIRA, S. Luz para o progresso do conhecimento e suporte da vida. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, p. 4206, 2015.

BISPO, E. S.; RODRIGUES, C. G. Sugestões de experimentos de fácil acesso para o ensino de termodinâmica. **Physicae Organum**, v. 6, pp. 89-102, 2020.

BORGES, C. L. S.; RODRIGUES, C. G. Astronomia: breve história, principais conceitos e campos de atuação. **Brazilian Applied Science Review**, v. 6, pp. 545-577, 2022.

GUIMARÃES, C. C. Experimentação no ensino de química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 3, pp. 198-202, 2009.

MARTINS, W. V. A.; RODRIGUES, C. G.; ANDRADE, E. V. O ensino sobre força de

empuxo auxiliado por experimentos de fácil acesso. **Revista Mais Educação**, v. 5, pp. 1082-1092, 2022.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica no ensino de Física. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, pp. 73-80. 2018.

RODRIGUES, C. G. **Ondas, acústica, psicoacústica e poluição sonora**. Goiânia: do Autor, 2020. ISBN: 9786500068467

SANTOS, G. F.; RODRIGUES, C. G. O Ensino do movimento retilíneo uniforme e do movimento uniformemente variado utilizando atividades experimentais de baixo custo. **Studies in Education Sciences**, v. 3, n. 2, pp. 846-862, 2022.

*Recebido em: 25/04/2022*

*Aprovado em: 30/05/2022*

*Publicado em: 02/06/2022*



# CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTOS ÓPTICOS COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO: CALEIDOSCÓPIO, PERISCÓPIO, PRISMA E IMAGEM NA RETINA

## ARTIGO ORIGINAL

BARBOSA, Lucas Lourenço<sup>1</sup>, RODRIGUES, Clóves Gonçalves<sup>2</sup>

BARBOSA, Lucas Lourenço. RODRIGUES, Clóves Gonçalves. **Construção de instrumentos ópticos com materiais de baixo custo: caleidoscópio, periscópio, prisma e imagem na retina.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 06, Vol. 06, pp. 92-110. Junho de 2022. ISSN: 2448-0959, [Link](#) de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/instrumentos-opticos>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/educacao/instrumentos-opticos

## RESUMO

Contexto: A óptica está presente em vários instrumentos utilizados com frequência pela sociedade e também por diversas áreas de pesquisa. Dessa forma, a compreensão da óptica é essencial na construção de vários instrumentos ópticos para as mais diversas finalidades. Devido a esta importância prestada pela óptica à sociedade, ela é tema da disciplina de física no ensino médio. Questão norteadora/pergunta problema: No entanto, existe uma escassez de recursos financeiros para aquisição de materiais e equipamentos para aulas experimentais no ensino de física. Então, seria possível a construção de equipamentos didáticos no campo da óptica utilizando materiais de baixo custo? Objetivo geral: Portanto, o principal objetivo desse artigo é mostrar que é possível a construção de instrumentos de óptica voltados para a realização de experimentos didáticos para o

---

<sup>1</sup> Graduando em Licenciatura em Física. ORCID: 0000-0002-8284-5909.

<sup>2</sup> Orientador. Doutorado. ORCID: 0000-0003-0140-9847.



ensino da disciplina de óptica utilizando materiais de baixo custo. Metodologia: A metodologia aplicada na construção dos equipamentos são as técnicas laboratoriais e de instrumentação empregadas na Física. Resultados e conclusões: Foi mostrado que é factível a elaboração de instrumentos de óptica utilizando materiais de baixo custo dirigidos para a prática e ensino da disciplina de óptica sendo mostrado que os instrumentos apresentados neste artigo podem ser aplicados para explicar conceitos físicos da óptica geométrica ministrada no ensino médio.

Palavras-chave: Experimentos de baixo custo, Ensino de ciências, Ensino de física, Instrumentos ópticos.

## INTRODUÇÃO

A óptica é o ramo da Física que estuda os fenômenos provocados pela energia radiante. A óptica explica o funcionamento de espelhos, a projeção de imagens, os defeitos da visão, a natureza da luz, a estrutura atômica, etc. (ALONSO, 1992). Além de ser utilizada na ciência de ponta (lasers, sensores, detectores ópticos, etc.) a óptica está presente em nosso dia a dia como, por exemplo, nos faróis e retrovisores dos automóveis, nos refletores das luminárias, nos óculos, nos espelhos, etc.

A óptica não se detém somente à radiação visível (luz), mas também às radiações invisíveis como a infravermelha, ultravioleta, ondas de rádio, microondas, raios X, raios gama, etc. (RODRIGUES, 2020). Dessa forma a óptica se enquadra como uma parte do eletromagnetismo. Alguns fenômenos da óptica pertencem à mecânica quântica devido à dualidade onda-partícula. O estudo da óptica pode ser dividido da seguinte forma:

- Óptica geométrica: trata a luz como um conjunto de raios que obedecem ao princípio de Fermat. Usa uma construção geométrica e leis empíricas, com as trajetórias dos raios de luz consideradas como linhas retas. Faz parte do seu estudo a transmissão da luz em meios homogêneos, a reflexão e a refração. Classifica os corpos em dois tipos: 1) luminosos, aqueles que produzem e



emitem luz, e 2) iluminados, aqueles que não produzem luz (RESNICK, 2009).

- Óptica ondulatória: considera a luz como uma onda, sendo suas principais características o comprimento de onda e a frequência. A óptica ondulatória explica os fenômenos da difração e interferência, os quais seriam impossíveis de se explicar pela óptica geométrica (RODRIGUES, 2020).
- Óptica eletromagnética: considera a luz como uma onda eletromagnética, explicando a reflexão, a transmissão, fenômenos de polarização e anisotropias da matéria (REITZ, 1982).
- Óptica quântica: estuda a interação da radiação com a matéria, considerando a dualidade onda-partícula da física quântica (EISBERG, 1985).

A óptica está presente em diversas áreas de estudo. Na medicina, por exemplo, o conhecimento dos fenômenos luminosos permitiu grandes avanços, como o estudo do olho humano e das lentes corretivas, o uso de lasers em procedimentos cirúrgicos, o diagnóstico e tratamento do câncer. De acordo com Bagnato e Pratavieira (2015):

... o número de aplicações das ciências da vida envolvendo luz é praticamente inesgotável. O tópico é tão importante, que recebe um nome para si: biofotônica. Trata-se da interação da luz com células a fim de podermos diagnosticar doenças ou mesmo tratá-las. (...) a luz interage com a matéria, a excitação eletrônica permite depositar calor no tecido biológico, ou mesmo tornar as moléculas mais reativas, alterando o metabolismo natural, ou ainda podemos coletar a luz reemitida pelo tecido biológico e utilizá-lo como uma impressão digital das biomoléculas ali presentes, fato que pode diagnosticar uma doença, como câncer ou outra. (BAGNATO e PRATAVIEIRA, 2015, p. 4206).

A óptica está também presente em vários instrumentos utilizados por diversas outras áreas, como na astronomia através dos telescópios (BORGES, 2022), na fotografia com as lentes, na agronomia com o refratômetro, na medicina com os lasers, etc. A compreensão da óptica é então essencial na construção de vários instrumentos utilizados com frequência pela sociedade.



Devido a esta importância prestada pela óptica à sociedade, ela é um dos tópicos abordados na disciplina de física no ensino médio, e segundo Ausubel (2003) e Guimarães (2009) a experimentação é essencial para se alcançar uma aprendizagem significativa. A experimentação faz com que os discentes não fiquem apenas no campo da teoria, inserindo-os no mundo da prática (BISPO, 2020) e (MARTINS, 2022). No entanto, existe uma escassez de recursos financeiros para aulas experimentais no ensino de ciências em geral, tanto em nível fundamental quanto médio. Mas seria possível a construção de experimentos didáticos no campo da óptica utilizando materiais de baixo custo?

Neste sentido, o objetivo principal deste artigo é a elaboração de instrumentos ópticos para experimentação com finalidade didática e construídos com materiais de baixo custo financeiro. Os materiais empregados na construção desses instrumentos podem ser adquiridos de forma fácil em papelarias, ferragistas, fábricas de espelhos, ou pontos de materiais reciclados. A metodologia aplicada são as técnicas laboratoriais e de instrumentação empregadas na Física. Nas próximas seções apresentamos os procedimentos de construção desses instrumentos a partir de materiais de baixo custo e suas aplicações utilizando os conceitos físicos da óptica geométrica ministrada no ensino médio.

## **INSTRUMENTO 1: CALEIDOSCÓPIO**

### **OBJETIVO**

Construir um aparelho que tem como base a associação de espelhos planos observando a formação de imagens.

### **MATERIAIS UTILIZADOS**

Três espelhos (6 cm 18 cm); plástico transparente (10 cm 10 cm); cartolina; cola; objetos coloridos; liga elástica; tesoura. Estes materiais podem ser adquiridos em papelarias, ferragistas, ou em pontos de coleta de materiais reciclados. Os espelhos

RC: 118841

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/instrumentos-opticos>

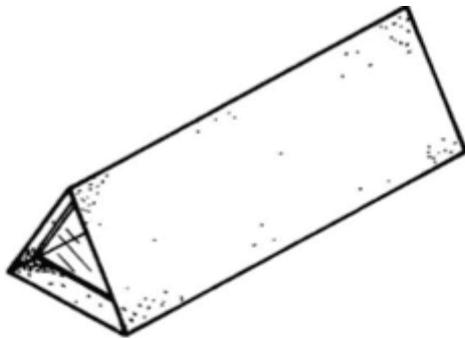


podem ser adquiridos também em fábricas de espelhos que descartam partes menores recortadas e que não serão utilizadas para venda pela fábrica.

## PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO

a) Coloque os três espelhos para formar um prisma triangular de modo que as superfícies espelhadas fiquem para o lado de dentro, Figura 1.

Figura 1 – Esquema de um prisma.

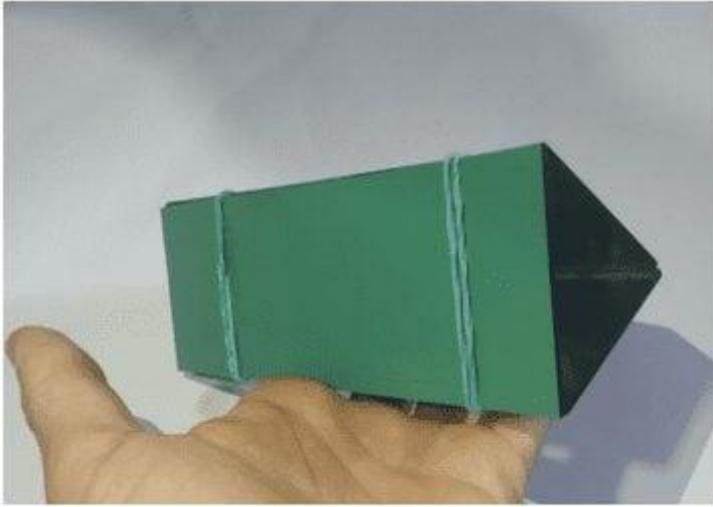


*Fonte: os autores.*

b) Utilizando uma liga elástica, amarre o prisma formado, Figura 2. Envolver com fita transparente (durex) as extremidades e o centro. Após isso retire a liga elástica. O modelo montado ficará conforme ilustra a Figura 3.



Figura 2 – Prisma preso com liga elástica.



*Fonte: os autores.*

Figura 3 – Prisma envolvido com fita adesiva.



*Fonte: os autores.*

c) Corte um triângulo de plástico transparente e utilizando fita transparente (durex) fixe o triângulo de plástico em uma das extremidades do prisma, Figura 4.



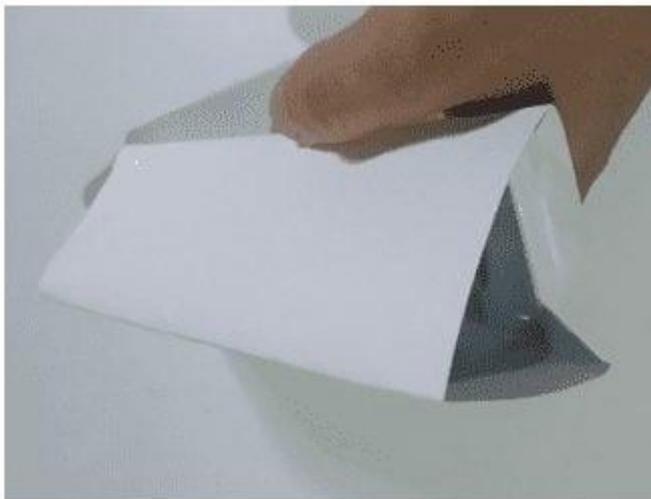
Figura 4 – Plástico transparente fixado na extremidade.



*Fonte: os autores.*

d) Encape o prisma com uma cartolina, colando-a nos espelhos um por vez, de modo que a cartolina fique com uma sobra de 1,5 cm na extremidade onde está o plástico transparente. O resultado deve ficar de acordo com o modelo da Figura 5.

Figura 5 – Prisma encapado com cartolina.



*Fonte: os autores.*



## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- a) Coloque-se frente a uma janela e observe o prisma pela extremidade aberta.
- b) Observe objetos coloridos.
- c) Gire o prisma.
- d) Descreva o que você observa e tente relacionar com os fenômenos de reflexão em espelhos.

## INSTRUMENTO 2: PERISCÓPIO

### OBJETIVO

Mostrar como se pode enxergar acima da superfície do mar quando um submarino está submerso.

### MATERIAIS UTILIZADOS

Papelão (65 cm x 28 cm); dois espelhos (9,5 cm x 6 cm); estilete (cuidado ao manusear instrumentos cortantes); cola; transferidor; régua; caneta ou lápis; tesoura. Estes materiais podem ser adquiridos em papelarias ou ferragistas. Os espelhos podem ser adquiridos em fábricas de espelhos que descartam partes recortadas que não serão utilizadas.

### PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO

- a) Pegue o papelão e meça as laterais nas duas extremidades do papelão no sentido do comprimento, possuindo 5 cm de comprimento e 6 cm de largura, Figura 6.



Figura 6 – Lateral da extremidade do papelão.



*Fonte: os autores.*

- b) Em seguida, prolongue as retas de comprimento das laterais até que se encontrem, formando assim as faces de um retângulo de 55 cm de comprimento e 6 cm de largura. O resultado deve ficar conforme ilustrado na Figura 7.
- c) Observe que na face 1 foi deixada uma lateral que se prolonga apenas do início ao fim do comprimento da face do retângulo e possui 2 cm de largura.

Figura 7 – Faces do retângulo.

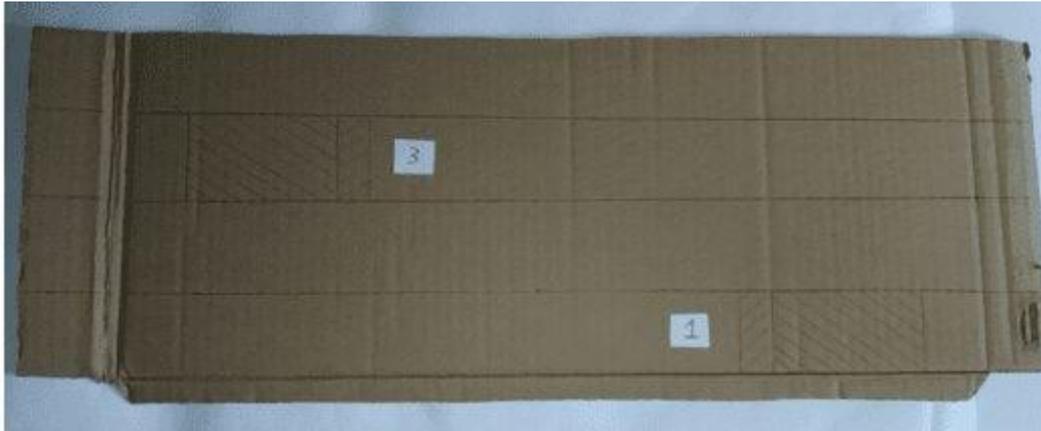


*Fonte: os autores.*



d) A partir de 4 cm da extremidade inferior da face 1 do retângulo e extremidade superior da face 3, faça um retângulo de 9,5 cm de comprimento e uma lateral de 2 cm de comprimento, Figura 8.

Figura 8 – Posição dos retângulos menores.



*Fonte: os autores.*

e) Em seguida, com o auxílio de uma régua, dobre as retas das faces no sentido do comprimento e as laterais no sentido da largura, a fim de obter o formato de uma caixa retangular.

f) Recorte as laterais no sentido do comprimento como ilustrado na Figura 9.



Figura 9 – Laterais cortadas do papelão.



*Fonte: os autores.*

g) Feche a caixa retangular. Na lateral deixada na face 1 do retângulo passe cola quente e fixe na lateral da face 4 do retângulo. O processo é indicado na Figura 10.

Figura 10 – Fechamento lateral do retângulo.



*Fonte: os autores.*

h) Em seguida, feche as quatro laterais deixadas nas extremidades do retângulo e fixe com cola quente. O resultado deve ficar de acordo com o modelo da Figura 11.



Figura 11 – Laterais da extremidade fechada.



*Fonte: os autores.*

i) Utilizando o estilete, corte os retângulos desenhados nas faces 1 e 3, dobrando a lateral de 2 cm de comprimento, Figura 12.

Figura 12 – Recorte dos retângulos das faces.



*Fonte: os autores.*

j) Dobre os retângulos cortados na etapa anterior para dentro da caixa, e fixe com cola a lateral de 2 cm de comprimento na parede da caixa com inclinação de 45°, conforme mostra a Figura 13.

RC: 118841

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/instrumentos-opticos>



Figura 13 – Dobrando os retângulos cortados.



*Fonte: os autores.*

k) Pegue os dois espelhos e utilizando cola quente, cole sobre os retângulos da etapa anterior, deixando a parte espelhada para fora. O resultado deve ficar conforme mostra a Figura 14.

l) Note que na posição onde foram colados os espelhos, eles ficarão frente a frente, possibilitando a reflexão dos raios de luz.

Figura 14 – Espelho fixado no retângulo.



*Fonte: os autores.*



## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- a) Posicione algum objeto sobre uma superfície mais elevada que a sua própria altura.
- b) Em seguida, pegue o periscópio e coloque uma das suas extremidades com o espelho frente ao objeto.
- c) Olhando pela outra extremidade, busque observar os objetos.
- d) Faça um esquema indicando a posição dos espelhos e a trajetória do raio luminoso.

## INSTRUMENTO 3: PRISMA

### OBJETIVO

Mostrar experimentalmente o comportamento da luz ao atravessar um prisma.  
Mostrar o espectro da radiação solar.

### MATERIAIS UTILIZADOS

Três vidros transparentes (20 cm x 8 cm) com 5 mm de espessura; 1 vidro triangular com 10 cm de cada lado, e 5 mm de espessura; água; 1 bisnaga de silicone (50 g). Estes materiais podem ser adquiridos em lojas de aquários, ferragistas, ou em pontos de coleta de materiais reciclados. Os vidros podem ser adquiridos em fábricas de box para banheiros.

### PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO

- a) Utilizando a bisnaga de silicone, cole os três vidros em um formato de prisma triangular de 20 cm de altura. Faça com que as extremidades do prisma fiquem paralelas.



- b) Deixe secar por um período de 24 horas.
- c) Cole o vidro triangular em uma extremidade do prisma. Este servirá como base para o prisma. Deixe secar novamente por um período de 24 horas.
- d) Após estar bem colado e seco, coloque água até 2 cm da borda do prisma, Figura 15.

Figura 15 – Prisma finalizado já com água em seu interior.



*Fonte: os autores.*

## **PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

- a) Coloque o prisma em posição vertical e aproxime-o do olho para enxergar os objetos em volta.
- b) Observe que os objetos parecem deslocados do lugar.
- c) Gire o prisma lentamente diante do olho, até observar os objetos coloridos em suas extremidades.

RC: 118841

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/instrumentos-opticos>



- d) Observe que as cores são diferentes em cada um dos lados do objeto.
- e) Em seguida, em um ambiente que há iluminação do sol, coloque o prisma diante dos raios solares, preferencialmente no horário em que o sol está perto do horizonte (no início da manhã ou no fim da tarde).
- f) Gire o prisma diante dos raios solares e observe em uma parede, teto ou outros objetos, a formação do espectro solar.
- g) Quanto mais longe estiver o prisma do lugar onde se forma o espectro, mais nítidas aparecerão as diversas cores.
- h) Relacione esta experiência com a formação do arco-íris.
- i) Essas luzes separadas e recolhidas num anteparo recebem o nome de “espectro da luz solar”.
- j) Caso não estiver fazendo sol, basta fazer incidir nas paredes do prisma a luz de uma lâmpada ou lanterna, e será possível projetar o espectro em um anteparo (uma parede branca, por exemplo).

## **INSTRUMENTO 4: DURAÇÃO DA IMAGEM NA RETINA**

### **OBJETIVO**

Mostrar que uma sensação recebida pelo olho humano tem certa duração (aproximadamente 0,1 segundo).

### **MATERIAIS UTILIZADOS**

Uma placa de madeira ou de vidro (14 cm x 9 cm); uma folha de papel branco A4 (ou similar); lápis; borracha; caneta esferográfica; 2 barbantes de 1 metro de comprimento; fita adesiva; tesoura. Estes materiais podem ser adquiridos em papelerias e em pontos de coleta de materiais reciclados.

RC: 118841

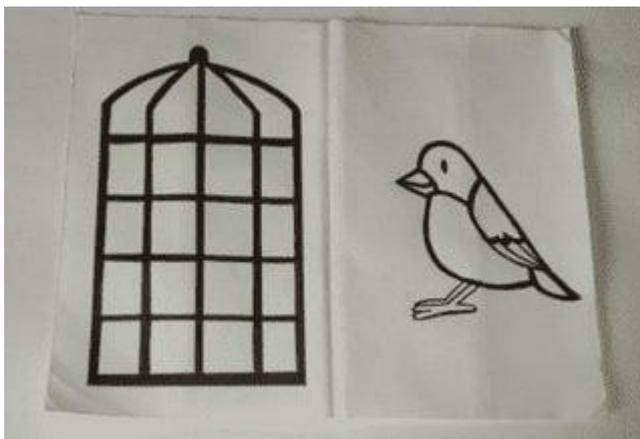
Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/instrumentos-opticos>



## PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO

- a) Desenhe um retângulo de 18 cm de comprimento e 14 cm de largura.
- b) Com a tesoura recorte o retângulo e dobre ao meio.
- c) Em seguida no lado da esquerda desenhe uma gaiola e no lado direito um passarinho. Contorne o desenho com caneta esferográfica assim como o modelo da Figura 16. Observe que o tamanho do passarinho deve ser menor que o tamanho da gaiola.

Figura 16 – Desenho da gaiola e passarinho em suas posições.

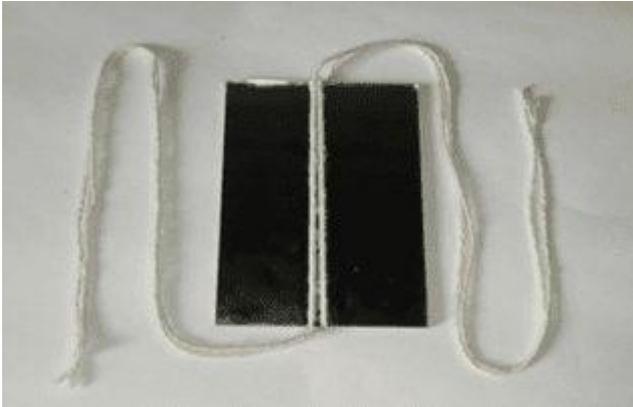


*Fonte: os autores.*

- d) Em seguida, envolva a placa com um barbante na posição vertical na direção central e dê um nó na extremidade. Repita esse processo para o outro barbante posicionado na outra extremidade, Figura 17.



Figura 17 – Posicionamento das placas e barbantes.



*Fonte: os autores.*

e) Fixe os barbantes em ambos os lados da placa com fita adesiva, Figura 18.

Figura 18 – Barbantes fixados com fita adesiva.

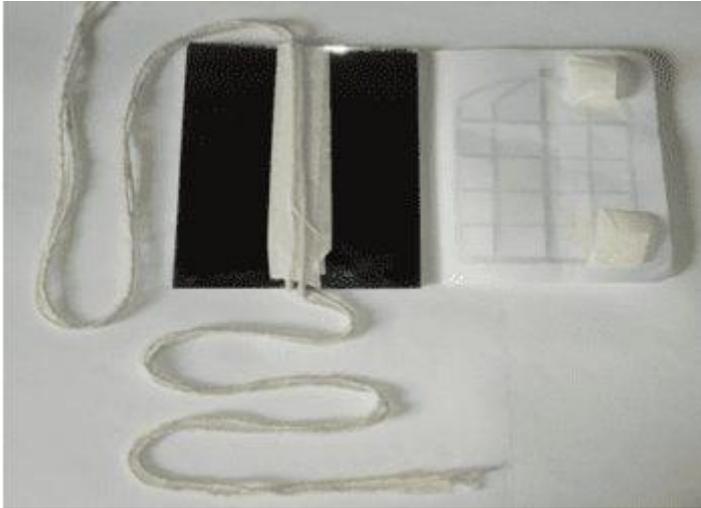


*Fonte: os autores.*

f) Logo após, cole com a fita adesiva o retângulo de papel, cuidando para que os desenhos fiquem para fora como mostrado na Figura 19. O resultado deve ficar como ilustrado na Figura 20.

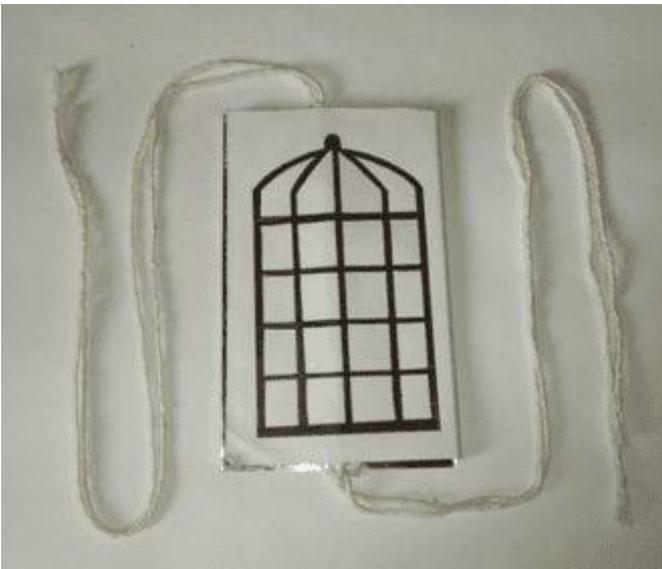


Figura 19 – Colagem do papel sobre as placas.



*Fonte: os autores.*

Figura 20 – Modelo finalizado.



*Fonte: os autores.*



## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- a) Segure o conjunto pela extremidade dos dois barbantes e dê um impulso na placa fazendo-a girar rapidamente.
- b) Antes que a imagem do passarinho se apague no olho, aparece a imagem da gaiola, produzindo a impressão de ver as duas imagens (gaiola e passarinho) ao mesmo tempo como um só desenho.
- c) Este princípio é utilizado pelo cinema. Antes que um quadro se apague aparece o seguinte. Os aparelhos de TV utilizam o mesmo princípio, mas ponto a ponto de sua tela.

## INSTRUMENTO 5: PONTO CEGO DO OLHO HUMANO

### OBJETIVO

Mostrar que na retina do olho humano onde se conecta o nervo ótico não há células sensíveis (bastonetes) e, portanto, qualquer imagem que se forme neste ponto não será sentida pelo sistema ótico humano.

### MATERIAIS UTILIZADOS

Uma folha de papel branco A4 (ou similar); caneta; régua; tesoura. Estes materiais podem ser adquiridos em papelarias.

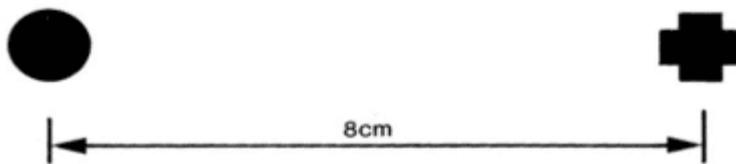
### PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO

- a) Numa folha de papel branco faça um retângulo de 14 cm de comprimento e 4 cm de largura.
- b) Recorte o retângulo desenhado.



c) Pegue o retângulo de papel e desenhe um círculo e uma cruz de mesma dimensão. O círculo deve possuir 0,5 centímetros de diâmetro e a cruz 0,5 centímetros de altura e largura. A cruz e o círculo devem ficar a uma distância de 8,0 cm um do outro, como mostra a Figura 21.

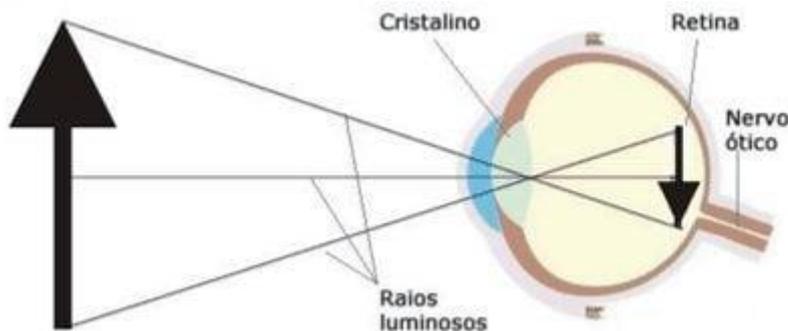
Figura 21 – Desenho para experimentação.



*Fonte: os autores.*

- a) Tampe o olho esquerdo, pegue a folha com a mão direita e coloque-a de modo que o círculo fique bem em frente ao olho direito e a cruz do lado de fora do rosto, a uma distância de 35 cm do rosto.
- b) Aproxime lentamente a folha.
- c) Observe que a certa distância, não é possível visualizar a imagem da cruz. Isso acontece devido à imagem da cruz se formar no ponto onde o nervo ótico se conecta na retina, Figura 22, um ponto onde não há bastonetes, que são as células sensíveis à luz. Este ponto é chamado de ponto cego do olho humano.
- d) Afastando ou aproximando mais a folha, a cruz retorna a aparecer.

Figura 22 – Esquema do olho humano.



Fonte: os autores.

Com este último instrumento, finaliza-se a construção dos instrumentos ópticos de baixo custo propostos: caleidoscópio, periscópio, prisma e formação da imagem na retina.

## COMENTÁRIOS FINAIS

A óptica está presente em vários instrumentos utilizados com frequência pela sociedade e também por diversas áreas de pesquisa. Dessa forma, a compreensão da óptica é essencial na construção de vários instrumentos ópticos para os mais diversos fins. Esta importância que a óptica presta à sociedade a torna um tema relevante na disciplina de física no ensino médio. No entanto, existe uma carência de recursos financeiros para a aquisição de equipamentos e materiais para serem utilizados em aulas práticas e experimentais para o ensino de ciências em geral, e da física em específico, tanto em nível fundamental quanto médio. Então, seria possível a construção de equipamentos didáticos no campo da óptica utilizando materiais de baixo custo? No presente artigo mostrou-se que sim: é possível construir instrumentos no campo da óptica utilizando materiais de baixo custo para uma prática didática utilizando a experimentação. Mostrou-se também que os instrumentos apresentados a partir de materiais de baixo custo neste artigo podem ser aplicados para explicar conceitos físicos da óptica geométrica ministrada no ensino médio. Enfatizamos que os instrumentos e experimentos aqui propostos

RC: 118841

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/instrumentos-opticos>



podem ser reproduzidos de forma fácil por professores, estudantes, e também por pessoas do público em geral interessadas no assunto.

## REFERÊNCIAS

ALONSO, Marcelo; FINN, Edward J. **Física**. Madri: Addison-Wesley Iberoamericana, 1992.

AUSUBEL, David Paul. **Aquisição e retenção de conhecimentos**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

BAGNATO, Vanderlei Salvador; PRATAVIEIRA, Sebastião. Luz para o progresso do conhecimento e suporte da vida. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, p. 4206, 2015.

BISPO, Edivania Sousa; RODRIGUES, Clóves Gonçalves. Sugestões de experimentos de fácil acesso para o ensino de termodinâmica. **Physicae Organum**, v. 6, pp. 89-102, 2020.

BORGES, Cindy Lisiani Sales; RODRIGUES, Clóves Gonçalves. Astronomia: breve história, principais conceitos e campos de atuação. **Brazilian Applied Science Review**, v. 6, pp. 545-577, 2022.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles**, second edition. John Wiley e Sons: New York, 1985.

GUIMARÃES, Cleidson Carneiro. Experimentação no ensino de Química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. **Química Nova na Escola**, n. 3, pp. 198-202, agosto, 2009.

MARTINS, Wendel Vendregler Araujo; RODRIGUES, Clóves Gonçalves; ANDRADE, Edson Vaz. O ensino sobre força de empuxo auxiliado por experimentos de fácil acesso. **Revista Mais Educação**, v. 5, pp. 1082-1092, 2022.

RC: 118841

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/instrumentos-opticos>



REITZ, John R., MILFORD, Frederick J.; CHRISTY, Robert W. **Fundamentos da teoria eletromagnética**. Campus: Rio de Janeiro, 1982.

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David. **Fundamentos de Física**, v. 4, 8ª edição. LTC: Rio de Janeiro, 2009.

RODRIGUES, Clóves Gonçalves. **Ondas, acústica, psicoacústica e poluição sonora**. Goiânia: do Autor, 2020. ISBN: 9786500068467

Enviado: Julho, 2021.

Aprovado: Junho, 2022.

## RESOLUÇÃO n°038/2020 – CEPE

### ANEXO I

#### APÊNDICE ao TCC

##### Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante **Lucas Lourenço Barbosa Gonçalves** do Curso de **Licenciatura em Física**, matrícula 2019.1.0018.0015-8, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei n° 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Atividades experimentais para o ensino de óptica geométrica**, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 12 de dezembro de 2022.

Assinatura do(s) autor(es): *Lucas L. B. Gonçalves*

Nome completo do autor: Lucas Lourenço Barbosa Gonçalves

Assinatura do professor-orientador:

Nome completo do professor-orientador: Clóves Gonçalves Rodrigues