

# Experiência III (aula 05)

## Distância focal de uma lente

---

1. Objetivos
2. Introdução
3. Medida da distância focal de uma lente delgada  
Distância focal de uma lente convergente
4. Arranjo e procedimento experimental
5. Análise de dados
6. Referências

### 1. Objetivos

Nesta experiência realizaremos novamente uma medida indireta. Desta vez, mediremos a distância focal de uma lente. Este experimento envolverá, mais uma vez, noções de estatística como a propagação de incertezas e noções novas, como a média ponderada.

### 2. Introdução

Quando realizamos uma medida experimental devemos ter em mente que outros fatores além da precisão instrumental podem influenciar sua incerteza. Por exemplo, quando estamos medindo um intervalo de tempo com um cronômetro digital, apesar da sua precisão ser de 1 centésimo de segundo, devido ao tempo de reação humano, não conseguimos realizar medidas de tempo com precisão superior a 1 ou 2 décimos de segundo. Nesse caso, apesar do instrumento possuir precisão elevada, o método de medida utilizado não permite aproveitar toda a precisão instrumental.

Situações onde a precisão do instrumento não é o fator determinante na incerteza de uma medida são comuns em Física Experimental. São muitos os fatores que limitam a precisão de uma medida. Alguns exemplos são:

- Limitação do operador em efetuar uma medida, por exemplo, acionar e parar o cronômetro.

- Uso do instrumento ou instrumento inadequado. Por exemplo, usar um micrômetro comum para medir o diâmetro interno de um cilindro.
- Medidas em condições não otimizadas, por exemplo em situações onde há paralaxe inevitável.
- Calibração do instrumento.
- Mau uso do equipamento.

A avaliação correta de uma incerteza experimental é muito complexa em casos onde o instrumento não é o fator determinante da incerteza de uma medida. Uma forma de minimizar esse problema é a realização da mesma medida várias vezes para avaliar a sua incerteza estatística. Porém, fatores como o mau uso do instrumento ou problemas de calibração, em geral, não se refletem em incertezas estatísticas. Deste modo, cabe ao experimentador realizar uma avaliação dos métodos utilizados durante o experimento, bem como a qualidade dos instrumentos e equipamentos experimentais, para que as incertezas das medidas efetuadas sejam estimadas da melhor forma possível.

Neste experimento realizaremos a medida da distância focal de uma lente convergente simples, utilizando o método do objeto e da imagem. Como discutiremos, dependendo da situação experimental a ser medida, as incertezas envolvidas são muito maiores que as incertezas dos equipamentos utilizados.

### **3. Medida da distância focal de uma lente delgada**

Vários aparelhos ópticos como microscópios, telescópios e espectroscópios utilizam elementos como lentes, espelhos e prismas para construção de imagens. Outro exemplo de sistema óptico é o olho humano. Nesse caso, um elemento óptico importante, o cristalino, funciona como uma lente especial, na qual o seu poder de focalização pode ser alterado a partir da alteração da sua geometria.

O fenômeno físico que ocorre nas lentes é a refração. Quando um raio de luz incide obliquamente numa superfície, parte da sua intensidade luminosa é refletida e parte é transmitida (refratada). A intensidade refratada é, contudo, desviada em relação à sua direção incidente. Lentes são construídas de tal forma que a luz refratada nas suas superfícies altere as características da imagem observada, tais como a posição e magnificação.

### 3.1. Distância focal de uma lente convergente

Por definição, a distância focal de uma lente é a distância entre o ponto de foco de uma imagem e a lente caso o objeto que gera a imagem esteja a uma distância infinita da lente, conforme mostra a figura 2.1. No entanto isto só é correto nas chamadas lentes delgadas, uma aproximação que inclui apenas lentes tão finas que a distância entre as suas faces é desprezível quando comparada com outras distâncias envolvidas (distância do objeto e imagem).

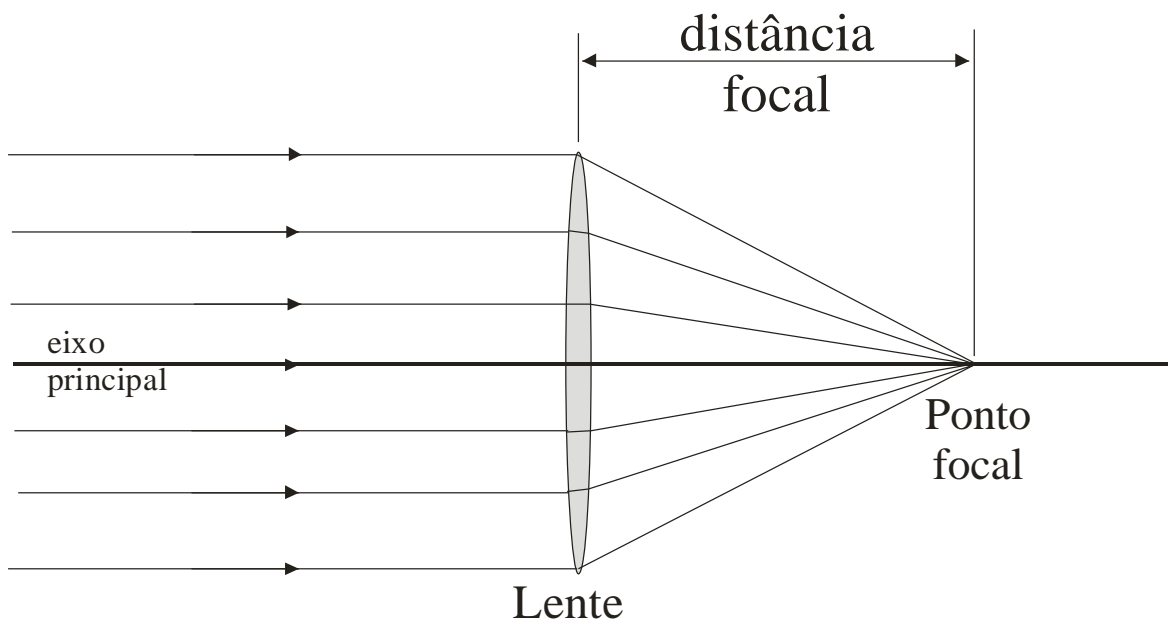


Figura 2.1 – distância focal de uma lente delgada simples.

O processo de construção de imagens formadas por lentes simples segue duas regras básicas:

1. Qualquer raio luminoso paralelo ao eixo principal da lente é desviado de tal forma a passar pelo ponto focal da lente
2. Qualquer raio luminoso incidente sobre o centro da lente não sofre desvio.

A figura 2.2 mostra como construir uma imagem em um sistema composto por uma lente convergente simples utilizando as duas regras descritas acima. A intersecção de raios luminosos provenientes de um determinado objeto forma a imagem deste objeto. Um aspecto interessante da formação da imagem está relacionado à posição do objeto em relação à lente. Dependendo dessa posição, os raios luminosos podem convergir ou divergir após atravessar a lente, conforme mostra a figura 2.3. Diz-se que uma imagem é real quando os raios luminosos convergem após atravessar a lente, formando uma imagem do lado oposto ao que o objeto se encontra.

Do mesmo modo, diz-se que uma imagem é virtual quando esses raios luminosos divergem após atravessar a lente. Nesse caso, a imagem é formada no mesmo lado da lente em que o objeto está posicionado.

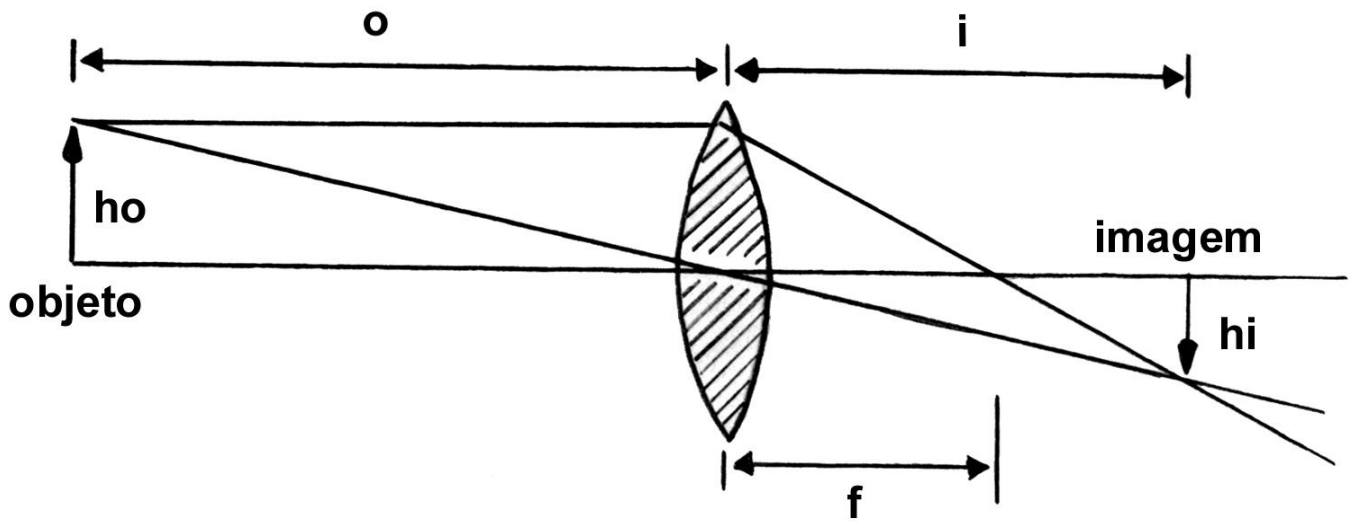


Figura 2.2 – Construção da imagem de um objeto por uma lente.

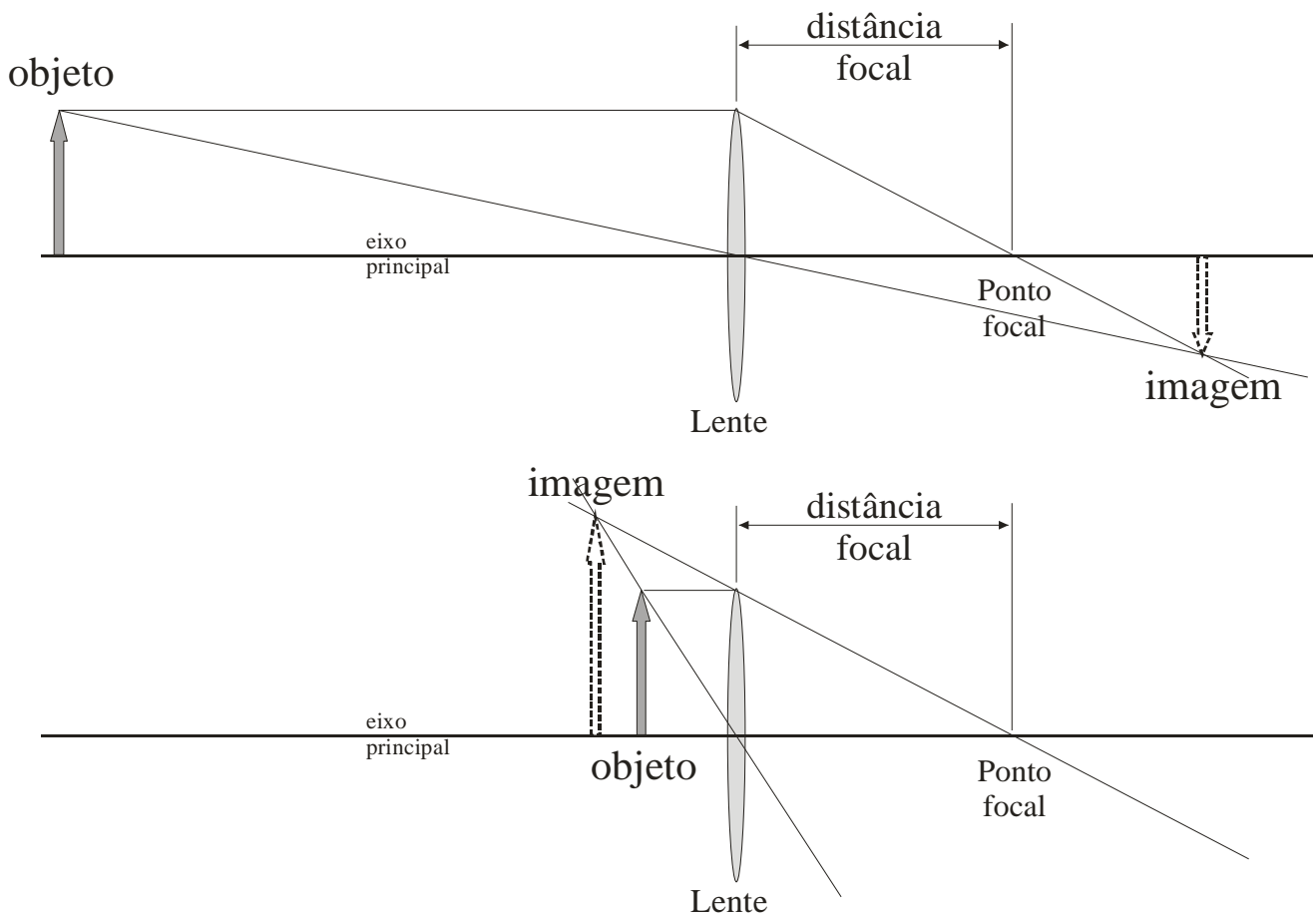


Figura 2.3 – Formação de uma imagem real (acima). Note que os raios convergem após atravessar a lente e uma imagem virtual (abaixo). Nessa última, os raios divergem após atravessar a lente.

Conhecendo-se a distância entre o objeto e o plano central da lente ( $o$ ) e a distância entre a imagem e esse mesmo plano ( $i$ ), conforme mostra a figura 2.2, a distância focal ( $f$ ) pode ser calculada através da expressão:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o}.$$

A expressão acima é denominada de equação de Gauss para lentes simples e é válida somente se a espessura da lente puder ser desconsiderada em relação às outras dimensões envolvidas. Assume-se que a distância do objeto à lente ( $o$ ) é sempre positiva, enquanto que a distância da imagem à lente ( $i$ ) é positiva caso a mesma encontre-se do lado oposto ao objeto e negativa caso a imagem se encontre do mesmo lado que o objeto. Uma lente é considerada convergente quando a sua distância focal, resultante da expressão acima, for positiva e divergente quando a distância focal resultante é negativa.

#### 4. Arranjo e procedimento experimental

A experiência de medida da distância focal de uma lente simples será realizada utilizando uma bancada óptica simples. Essa bancada consiste em um trilho metálico preto (para evitar reflexões indesejadas de luz) onde se pode apoiar a fonte luminosa, a lente a ser estudada, e um anteparo para projeção da imagem.

A fonte luminosa consiste de um tubo de PVC contendo uma lâmpada comum. Esse tubo é fechado em ambos os lados. Em um desses lados, um orifício em forma de cruz, coberto com papel vegetal translúcido, é o objeto que será utilizado para determinar a distância focal da lente.

O anteparo no qual a imagem resultante será projetada é feito de plástico branco opaco e deve ser posicionado na bancada de modo que a imagem resultante esteja perfeitamente focalizada.

A lente a ser utilizada é uma lente convergente simples, acoplada a um anel plástico que permite o seu posicionamento na bancada óptica. Anote os dados que possibilitem identificar a lente utilizada, como o número de identificação da lente.

O procedimento experimental consiste em posicionar o objeto a uma distância,  $o$ , em relação ao centro da lente. Em seguida, posiciona-se o anteparo utilizado para projeção da imagem de tal forma que a mesma

esteja bem focalizada visualmente. Mede-se a distância,  $i$ , entre o centro da lente e a superfície do anteparo.

Para cada medida efetuada, não esqueça de avaliar as incertezas na distância do objeto e da imagem ao centro da lente. Em muitas situações, a precisão da escala utilizada é muito maior que a precisão obtida durante a realização da medida. Desse modo, o uso da precisão da escala subestima a incerteza experimental. Para avaliar a incerteza de cada uma das medidas efetuadas avalie, por exemplo, a facilidade em determinar a posição do papel translúcido na fonte de luz e a facilidade em focalizar a imagem no anteparo. Dependendo da posição do objeto na bancada óptica, pode-se variar a posição do anteparo em alguns milímetros mantendo a imagem em aparente foco. A partir dessa variação pode-se estimar a incerteza na medida da distância da imagem.

Realize aproximadamente 15 medidas distintas de posição de objeto e imagem, avaliando as incertezas em cada uma delas. Organize esses dados em uma tabela, da forma que achar adequado. Anote o procedimento utilizado para a realização das medidas e incertezas, bem como os cuidados efetuados durante a tomada de dados. Evite que apenas um membro do grupo realize todas as medidas. Isso evita erros sistemáticos residuais devido a vícios de focalização. Quais são os fatores que mais influenciaram as medidas efetuadas? Evite realizar medidas nas quais as posições do objeto são muito próximas uma da outra.

## 5. Análise dos dados

Calcule a distância focal da lente,  $f_i$  para cada uma das medidas efetuadas, utilizando a expressão:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o}$$

A partir da expressão acima, utilizando a teoria de propagação de incertezas (consulte o capítulo 8 da referência 1) deduza uma expressão para o cálculo da incerteza da distância focal ( $\sigma_{f_i}$ ) a partir das incertezas na posição do objeto e da imagem. Calcule a incerteza ( $\sigma_{f_i}$ ) da distância focal bem como a incerteza relativa ( $\sigma_{f_i}/f_i$ ) para cada uma das medidas efetuadas.

Organize os resultados obtidos em forma de tabela. Compare os resultados obtidos. Eles são compatíveis entre si? Observa-se alguma tendência nos valores das distâncias focais ou nas incertezas relativas com o aumento ou diminuição da distância do objeto à lente? Comente os resultados.

Em seguida, determine um valor médio para a distância focal da lente a partir das várias medidas realizadas. Como podemos fazer isso? Podemos combinar as medidas de distância focal ( $f_i$ ) com incertezas diferentes a partir da **média ponderada** que é dada por:

$$f = \frac{\sum_{i=1}^N p_i f_i}{\sum_{i=1}^N p_i}$$

onde  $N$  é o número de medidas obtidas e  $p_i$  é o peso estatístico de cada medida dado por:

$$p_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$$

A incerteza da média ponderada é dada por:

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^N p_i}}$$

## 6. Referências:

1. J. H. Vuolo et al, Física Experimental 1 para o Bacharelado em Física, Geofísica e Meteorologia, Instituto de Física da USP (2005).