



**INSTITUTO  
FEDERAL**

Santa Catarina

---

Câmpus  
São José

## **Laboratório 3 - Espelhos Esféricos Côncavos**

Física III

Arthur Oliveira dos Reis, Bernardo Souza Muniz, Eduardo Gerber Filho, Ygor Vinicius Martins.

16 de Julho de 2025

Engenharia de Telecomunicações - IFSC-SJ

# Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Equações .....</b>	<b>4</b>
2.1. Equação de Gauss .....	4
2.2. Aumento Linear Transversal .....	4
2.3. $p'$ teórico .....	4
2.4. Erro Percentual de $p'$ Teórico .....	5
<b>3. Experimental .....</b>	<b>5</b>
3.1. Caso 1 - Objeto além do Centro de Curvatura ( $p > R$ ) .....	5
3.2. Caso 2 - Objeto no Centro de Curvatura ( $p = R$ ) .....	6
3.3. Caso 3 - Objeto entre o Centro de Curvatura e o Foco ( $f < p < R$ ) .....	7
3.4. Caso 4 - Objeto no Foco ( $p = f$ ) .....	8
3.5. Caso 5 - Objeto entre o Foco e o Vértice ( $p < f$ ) .....	9
<b>4. Análise de Dados e Resultados .....</b>	<b>10</b>
4.1. Tabela de Resultados .....	10
4.2. Análise dos dados .....	10
<b>5. Conclusão .....</b>	<b>11</b>

# 1. Introdução

Este relatório tem como objetivo descrever o experimento realizado em laboratório proposto pelo docente. A aula experimental tinha como foco de estudo o comportamento de um espelho esférico côncavo, e como este se comportava de acordo com as situações em que este era imposto.

A figura abaixo demonstra uma ilustração teórica do experimento, com um cavaleiro portando dois suportes com uma lupa e uma fonte de luz de vela.

Figura 1: Elaborada pelo Autor

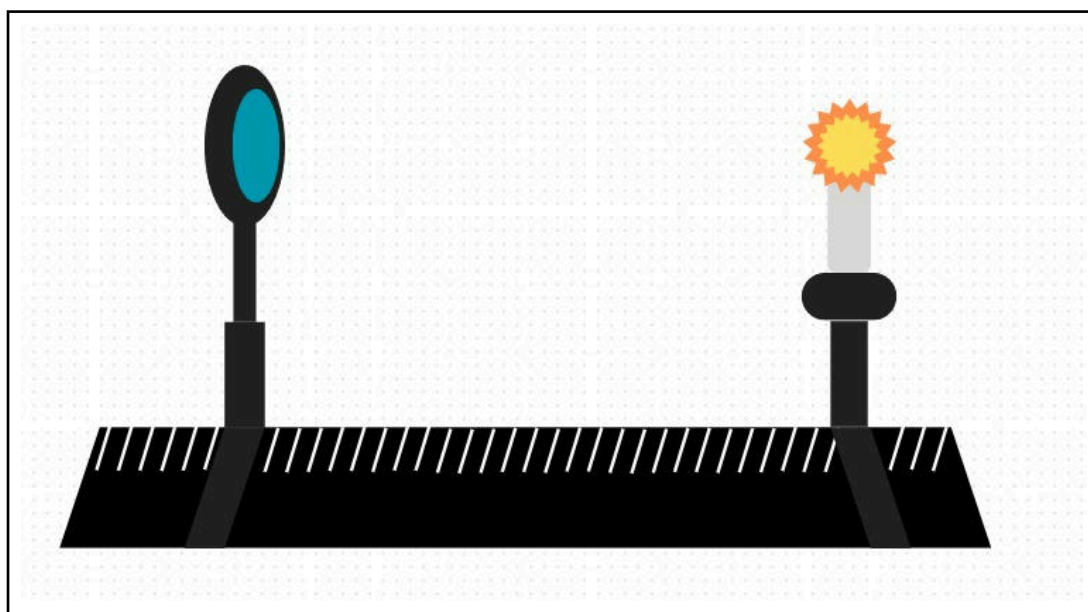


Foto teórica do experimento

Os objetivos principais ao realizar o experimento são:

- Determinar a distância focal ( $f$ ) de um espelho côncavo.
- Determinar o raio de curvatura ( $R$ ) de um espelho côncavo.
- Observar as características (natureza, orientação e tamanho relativo) das imagens formadas em 5 pontos distintos do espelho côncavo
- Comprovar a equação de Gauss ( $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ ), e a equação de aumento linear transversal ( $A = -\frac{p'}{p}$ ) através de valores teóricos e os obtidos em laboratório.
- Analisar as fontes de erro e incertezas no que se dizem aos processos de medição de um experimento ótico.

Os materiais que foram utilizados para realizar o experimento foram:

- Banco óptico com escala milimetrada.
- Espelho esférico côncavo com suporte.
- Fonte de luz (vela) com suporte.
- Folha de papel branca.
- Régua.

## 2. Equações

Ao decorrer deste relatório, utilizaremos as seguintes equações para obter os valores solicitados e cumprir com os demais requisitos exigidos.

Os seguintes referenciais serão adotados:

- $p > 0$  para objetos reais.
- $p' > 0$  para imagem real (projetável, na frente do espelho).
- $p' < 0$  para imagem virtual (não projetável, atrás do espelho).
- $f > 0$  para espelho côncavo.
- $A < 0$  para imagem invertida.
- $A > 0$  para imagem direita.

### 2.1. Equação de Gauss

A relação entre a posição do objeto ( $p$ ), a posição da imagem ( $p'$ ) e a distância focal ( $f$ ) é dada pela equação de Gauss:

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

- $f$  : Distância focal.
- $p$  : Posição do objeto.
- $p'$  : Posição da imagem.

### 2.2. Aumento Linear Transversal

A relação do tamanho da imagem ( $i$ ) com o do objeto ( $o$ ) é dada pela equação do Aumento Linear Transversal:

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} \quad (2)$$

- $A$  : Aumento Linear Transversal.
- $i$  : Tamanho da imagem.
- $o$  : Tamanho do objeto.
- $p$  : Posição do objeto.
- $p'$  : Posição da imagem.

### 2.3. $p'$ teórico

$$p'_{\text{teórico}} = \frac{p_{\text{exp}} * f_{\text{exp}}}{p_{\text{exp}} - f_{\text{exp}}} \quad (3)$$

- $p'_{\text{teórico}}$  : Posição teórica da imagem.
- $p_{\text{exp}}$  : Posição do objeto obtido em laboratório.
- $f_{\text{exp}}$  : Posição do foco obtido em laboratório.

## 2.4. Erro Percentual de $p'$ Teórico

$$\text{Erro \%} = \left| \frac{p'_{\text{exp}} - p'_{\text{teórico}}}{p'_{\text{teórico}}} \right| * 100 \quad (4)$$

- Erro % : Erro percentual de  $p'$  teórico.
- $p'_{\text{teórico}}$  : Posição teórica da imagem.
- $p_{\text{exp}}$  : Posição do objeto obtido em laboratório.

## 3. Experimental

O experimento baseava-se em posicionar a vela, que se tratava do nosso objeto, em um determinado ponto do banco óptico a fim de encontrar os diferentes tipos de imagem. Como precisamos do valor da distância focal ( $f$ ) para realizar as equações utilizando a Equação de Gauss (Equação 1), determinamos este ponto inicialmente. Ponto este que se localiza a uma distância de 50mm do espelho côncavo, logo,  $f = 50\text{mm}$ .

A seguir, vamos observar os efeitos obtidos em cada um dos 5 casos.

### 3.1. Caso 1 - Objeto além do Centro de Curvatura ( $p > R$ )

Como o valor de  $p$  neste caso deveria ser consideravelmente maior que o centro de curvatura do espelho côncavo. O valor de  $p$  determinado foi de 200mm em relação ao espelho, ou seja,  $p = 200\text{mm}$ .

Figura 2: Elaborada pelo Autor

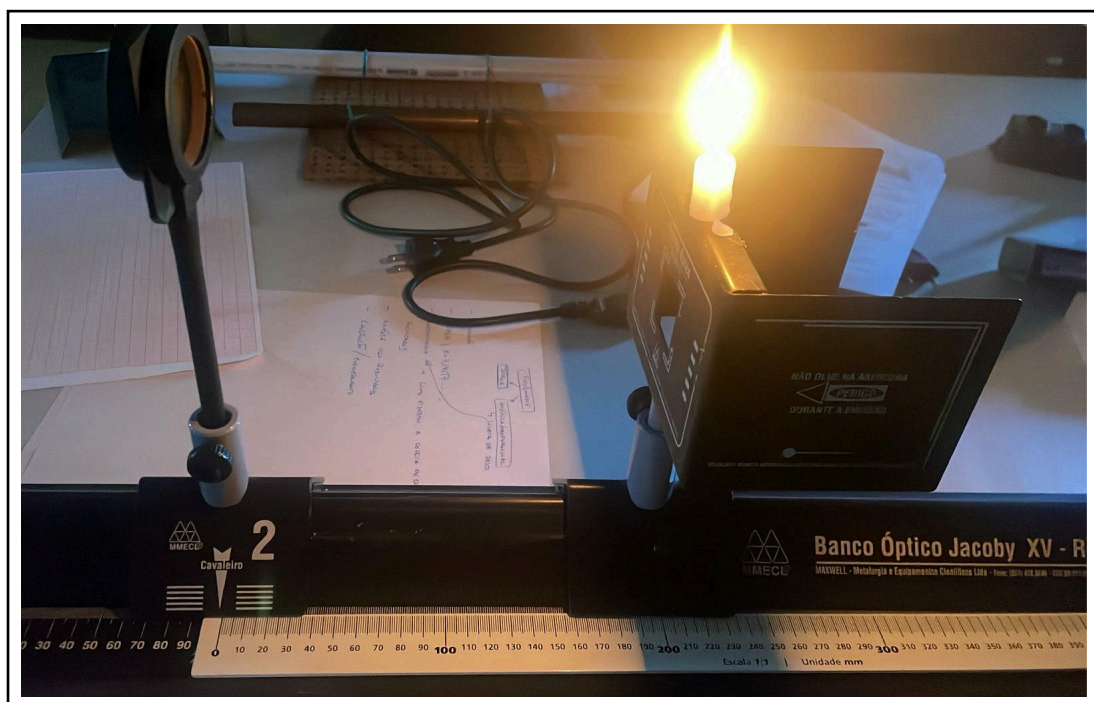


Imagem de experimento do caso 1

Utilizando os valores inicialmente adquiridos para obtermos a posição da imagem ( $p'$ ), através da equação de Gauss temos:

$$\frac{1}{50} = \frac{1}{200} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{50} = \frac{200 + p'}{200p'} \Rightarrow 200p' = 10000 + 50p' \Rightarrow p' = \frac{10000}{150} \quad (5)$$

$$\therefore p' = 66,67\text{mm} = 0,06667\text{m}$$

Portanto, a distância da imagem ao espelho é equivalente a 0,06667m.

Por fim, podemos calcular o valor do aumento linear transversal substituindo os valores de  $p$  e  $p'$  na equação (2):

$$A = -\frac{p'}{p} = -\frac{0,06667}{0,2} = -0.3335 \quad (6)$$

A partir dos resultados obtidos, a imagem observada no primeiro caso tem as seguintes características:

Natureza	Orientação	Tamanho Relativo
Real	Invertida	Objeto Menor

### 3.2. Caso 2 - Objeto no Centro de Curvatura ( $p = R$ )

Figura 3: Elaborada pelo Autor

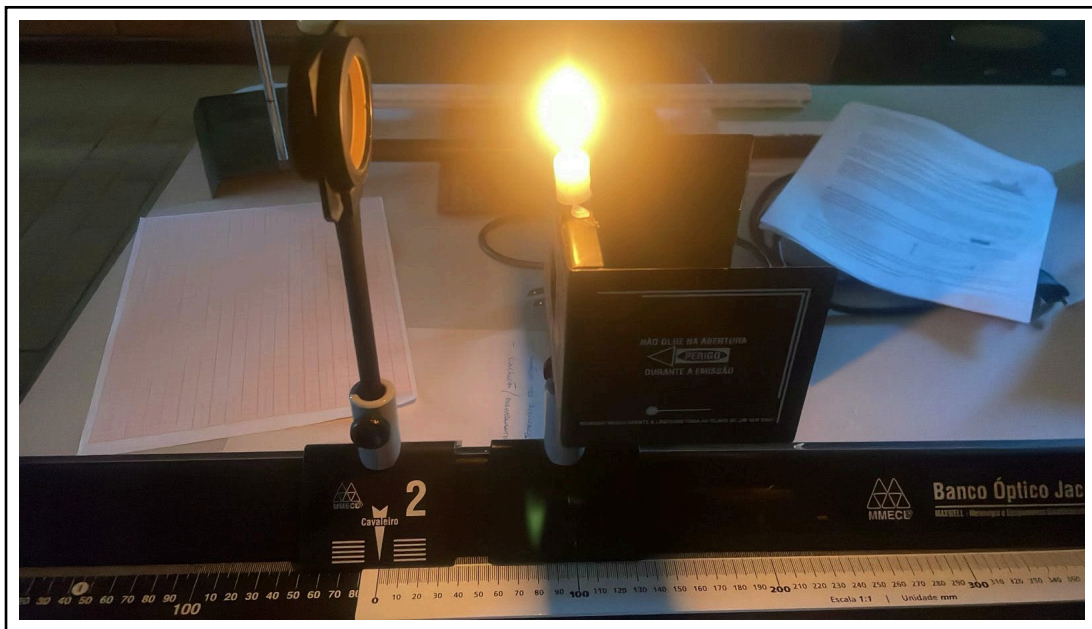


Imagem de experimento do caso 2

A posição do centro de curvatura é equivalente ao dobro da distância do foco, ou seja:

$$R_{\text{exp}} = f_{\text{exp}} * 2 \Rightarrow R_{\text{exp}} = 50 * 2 \therefore R_{\text{exp}} = 100\text{mm} \quad (7)$$

Assim, a posição do centro de curvatura do espelho se localiza a 100mm do espelho, ou, a 0,1m do espelho. Agora, tendo  $p = R_{\text{exp}}$ , e aplicando na equação de Gauss temos:

$$\frac{1}{50} = \frac{1}{100} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{50} = \frac{100 + p'}{100p'} \Rightarrow 100p' = 5000 + 50p' \Rightarrow p' = \frac{5000}{50} \quad (8)$$

$$\therefore p' = 100\text{mm} = p' = 0,1\text{m}$$

Assim, a distância da imagem ao espelho é de 0,1m. Curiosamente, se trata do mesmo valor de  $p$ , isso implica pra gente que o objeto possui o mesmo tamanho quando comparado em relação ao objeto projetado pelo espelho. O que evidencia a veracidade do que observamos no espelho.

Por fim, podemos calcular o valor do aumento linear transversal substituindo os valores de  $p$  e  $p'$  na equação (2):

$$A = -\frac{p'}{p} = -\frac{0,1}{0,1} = -1 \quad (9)$$

A partir dos resultados obtidos, a imagem observada no primeiro caso tem as seguintes características:

Natureza	Orientação	Tamanho Relativo
Real	Invertida	Tamanho igual do Objeto

### 3.3. Caso 3 - Objeto entre o Centro de Curvatura e o Foco ( $f < p < R$ )

Como agora o valor de  $p$  precisa estar dentro do intervalo  $f < p < R$ , ou seja,  $50\text{mm} < p < 100\text{mm}$ , definimos o valor de  $p$  como  $p = 80\text{mm}$ .

Figura 4: Elaborada pelo Autor



Foto do experimento do caso 3

Utilizando os valores inicialmente adquiridos para obtermos a posição da imagem ( $p'$ ), através da equação de Gauss temos:

$$\frac{1}{50} = \frac{1}{80} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{80 + p'}{80p'} = \frac{1}{50} \Rightarrow 80p' = 4000 + 50p' \Rightarrow p' = \frac{4000}{30} \quad (10)$$

$$\therefore p' = 133\text{mm} = 0,133\text{m}$$

Assim, a distância da imagem ao espelho é de 0,133m.

Por fim, podemos calcular o valor do aumento linear transversal substituindo os valores de  $p$  e  $p'$  na equação (2):

$$A = -\frac{p'}{p} = -\frac{0,133}{0,08} = -1,67 \quad (11)$$

A partir dos resultados obtidos, a imagem observada no primeiro caso tem as seguintes características:

Natureza	Orientação	Tamanho Relativo
Real	Invertida	Maior que o Objeto

### 3.4. Caso 4 - Objeto no Foco ( $p = f$ )

O foco, como apresentado no começo desta seção, já foi obtido ( $f = 50\text{mm}$ ). O foco foi facilmente obtido por conta de uma grande peculiaridade que este carrega consigo. Em resumo, no ponto de foco, o espelho não produz uma imagem, isso faz com que apareça apenas uma espécie de borrão.

Inclusive, se tentarmos obter o valor de  $p'$  através da Equação de Gauss encontramos um resultado um tanto intrigante:

$$\frac{1}{50} = \frac{1}{50} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{50} = \frac{50 + p'}{50p'} \Rightarrow 50p' = 2500 + 50p' \quad (12)$$

$$0 = 2500 \text{ (F)}$$

Como podemos observar, o resultado obtido é um completo absurdo, esse resultado incongruente nos mostra que de fato não há imagem quando o objeto com relação ao espelho côncavo se localiza no ponto focal.

A partir dos resultados obtidos, a imagem observada no primeiro caso tem as seguintes características:

Natureza	Orientação	Tamanho Relativo
Indeterminada	Indeterminada	Indeterminado



### 3.5. Caso 5 - Objeto entre o Foco e o Vértice ( $p < f$ )

Agora, nosso ponto  $p$  está extremamente próximo do espelho côncavo, para ser mais preciso,  $p < 50\text{mm}$ .

Figura 5: Elaborada pelo Autor

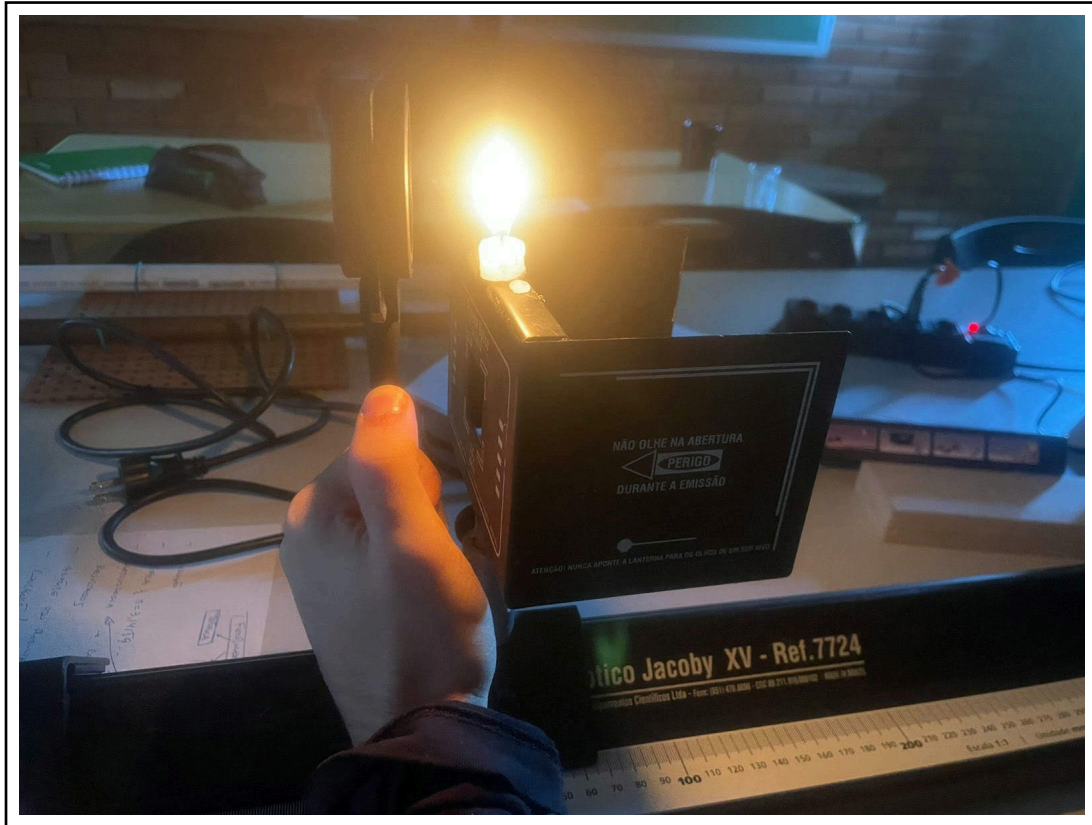


Foto do experimento do caso 5

Assim, quando temos  $p = 30\text{mm}$ , e aplicamos a Equação de Gauss, somos capazes de obter o seguinte valor de  $p'$ :

$$\frac{1}{50} = \frac{1}{30} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{50} = \frac{30 + p'}{30p'} \Rightarrow 30p' = 1500 + 50p' \Rightarrow p' = -\frac{1500}{200} \Rightarrow \quad (13)$$
$$p' = -75\text{mm} \quad \text{ou} \quad p' = -0,075\text{m}$$

O valor da distância de imagem ao espelho é de  $-75\text{mm}$ , ou,  $-0,075\text{m}$ . Um valor um tanto curioso, tendo em vista que agora obteve-se um valor negativo de  $p'$ . O valor negativo nos indica uma mudança no que o espelho reflete. Agora, em vez de imagens reais, estamos trabalhando com imagens virtuais.

Por fim, podemos calcular o valor do aumento linear transversal substituindo os valores de  $p$  e  $p'$  na equação (2):

$$A = -\frac{p'}{p} = -\frac{(-0,075)}{0.03} = 2,5 \quad (14)$$

A partir dos resultados obtidos, a imagem observada no primeiro caso tem as seguintes características:

Natureza	Orientação	Tamanho Relativo
Virtual	Direita	Maior que o Objeto

## 4. Análise de Dados e Resultados

### 4.1. Tabela de Resultados

Observação importante. Como a equipe já possuía a distância focal, e adquiria a medida de  $p$  através do banco óptico. Os valores da coluna  $p_{\text{exp}}$  representam os valores deduzidos através da aplicação da Equação de Gauss com o fim de prover o menor erro possível.

**Observação:** Como a tabela requerida pelo docente pede os valores em centímetros, vale evidenciar que para os cálculos o valor de  $f$  será transformado para centímetros, ou seja,  $f = 5\text{cm}$

Tabela 1: Elaborada pelo Autor

Caso	$p_{\text{exp}}$ (cm)	$p'_{\text{exp}}$ (cm)	Natureza	Imagem	Tamanho Relativo
$p > 2f$	6,667	-0.3335	Real	Invertida	Menor
$p = 2f$	10	-1	Real	Invertida	Igual
$f < p < 2f$	13,3	-1,67	Real	Invertida	Maior
$p = f$	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada
$p < f$	-7,5	2,5	Virtual	Direita	Maior

Tabela de valores encontrados nos exercícios

### 4.2. Análise dos dados

Agora, vamos utilizar este tópico para responder as perguntas elaboradas pelo docente ao fim do relatório. Logo:

- Os resultados experimentais confirmaram as previsões teóricas para cada um dos cinco casos? Compare suas observações na última coluna da tabela com o que é esperado pela teoria.

**Resposta:** Sim, principalmente quando observamos os valores de  $p'$ , conforme o o espelho se aproxima do nosso objeto, seu tamanho projetado aumenta. E o sinal de  $p'$  evidencia sua natureza e imagem, quando positivos, a imagem é real e invertida, já quando é negativo, a imagem se trata de uma virtual e direita.

- Quais foram as principais fontes de erro neste experimento?

**Resposta:** Pelo contrário, os erros desse experimento foram tão reduzidos, por conta que ao decorrer deste os valores já estavam sendo calculados. Assim, a equipe já sabia para onde levar o espelho pra obter o determinado resultado.

- Para o caso 5, por que a imagem não pôde ser projetada no anteparo? Relacione sua resposta com o sinal de  $p'$  que seria obtido na Equação de Gauss.

**Resposta:** Justamente pois a natureza de uma imagem real é que esta não pode ser projetada. Isso ocorre pois é como se os raios de luz se cruzassem apenas dentro do espelho, assim, os raios nunca convergem de fato. Inclusive, o sinal nos evidencia esta mudança de imagem real para virtual, enquanto os outros valores de  $p'$  são positivos, ao chegarmos na imagem virtual, o valor é trocado para negativo, mostrando também que agora a imagem formada está se formando “dentro” do espelho.

- Com base nas características da imagem no caso 5, cite uma aplicação prática para um espelho côncavo utilizado dessa maneira.

**Resposta:** Geralmente são as aplicações que giram em torno do próprio conceito de espelho no cotidiano. Ou seja, são utilizados em espelhos com fins de estética, retrovisores de carros, etc.

- Com base nas características do caso 1, cite uma aplicação prática.

**Resposta:** Um bom exemplo são os projetores, tendo em vista que estes são colocados em uma distância consideravelmente maior com o fim de aumentar a área de imagem gerada.

## 5. Conclusão

Como visto anteriormente, sabe-se que a imagem projetada em um espelho côncavo está diretamente relacionada aos valores de aumento linear transversal ( $A$ ) e à posição do objeto em relação ao espelho, conforme resumido na tabela abaixo:

- $A > 0$  : A imagem é direita (virtual).
- $A < 0$  : A imagem é invertida (real).
- $|A| > 1$  : A imagem é maior que o objeto.
- $|A| = 1$  : A imagem tem o mesmo tamanho do objeto.
- $|A| < 1$  : A imagem é menor que o objeto.

Dessa forma, pôde-se observar durante a realização do experimento que, ao variar a posição do objeto em relação ao espelho côncavo, diferentes tipos de imagens foram formadas, cada uma com características próprias de natureza, orientação e tamanho relativo.

Os resultados experimentais obtidos estavam de acordo com as previsões teóricas, comprovando as leis da óptica geométrica para espelhos esféricos. Também foi possível verificar na prática como a equação de Gauss e a equação do aumento linear transversal prevem com precisão a posição e o tamanho da imagem formada, reforçando a importância desses conceitos para a compreensão dos fenômenos ópticos.