

F 609 – Tópicos de Ensino de Física I

Prof. José J. Lunazzi

Relatório Final



Aluno: Gabriel Mello Silva - RA: 097241

Orientador: Prof. José J. Lunazzi

Universidade Estadual de Campinas

Janeiro de 2015

1. Introdução

O projeto consiste na aprimoração de um conjunto experimental de lentes convergentes, para fins didáticos. O conjunto é formado por laser verde de 35 miliwatts e um pequeno espelho rotacionado por um motor. O laser é direcionado ao espelho e a luz refletida forma um cone que passa através de uma lente convergente. Esta lente possui aproximadamente 30 cm de diâmetro e é formada por vidros esféricos preenchidos com glicerina. Para que o cone de luz seja melhor visualizado é utilizado, atualmente, um umidificador de ar, de forma que as gotículas produzidas difratem a luz e o cone possa ser destacado.

O principal aspecto a ser aprimorado é o transporte do conjunto, assim, será possível levar o experimento para exposições e aulas de forma prática e rápida. É importante que o conjunto esteja praticamente pronto, ou seja, o educador só precisa de fato ligar o experimento e posicionar a lente e o umidificador de forma correta.

2. Teoria do Projeto

Uma lente é um elemento que atua por refração, reconfigurando a distribuição da energia transmitida. Segundo Isaac Newton (século XVII), o primeiro ocidental a explicar a física das lentes, “os raios homogêneos que partem de vários pontos de qualquer objeto e incidem perpendicularmente ou quase perpendicularmente sobre qualquer plano refletor ou refrator ou superfície esférica divergem depois disso de tantos outros pontos ou são paralelos a tantas outras retas ou convergem para tantos outros pontos com precisão ou sem erro notável. E o mesmo acontece se os raios são refletidos ou refratados sucessivamente por dois ou três ou mais superfícies esféricas planas ou esféricas” [1].

Em uma lente esférica com comportamento convergente, a luz que incide paralelamente entre si é refratada, tomando direções que convergem a um único ponto^[2]. O caso experimental é o que a lente tem índice de refração maior que o índice de refração do meio externo, com uma das faces convexa.

Definimos o foco principal de uma lente como o ponto localizado sobre o eixo principal da lente e que se associa a formação de uma imagem imprópria (foco objeto) ou de um ponto impróprio (foco imagem).

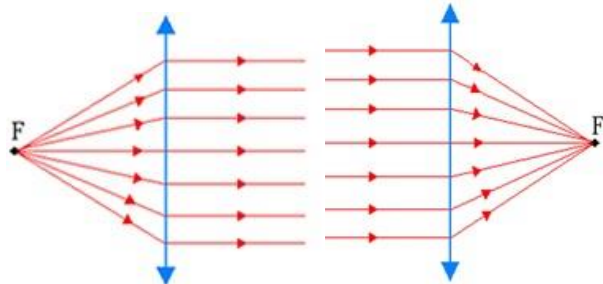


Figura 1. Focos principal objeto (a esquerda) e imagem (a direita).

Ao analisarmos a formação de imagens por lentes esféricas, existem três dos chamados raios notáveis que nos auxiliam na construção da imagem a partir do objeto. São eles:

1. Raio que incide paralelo ao eixo principal da lente, refrata passando pelo foco imagem F' da lente.
2. Raio que incide no centro óptico, e não sofre desvio.
3. Raio que incide no foco objeto F , refrata paralelo ao eixo óptico.

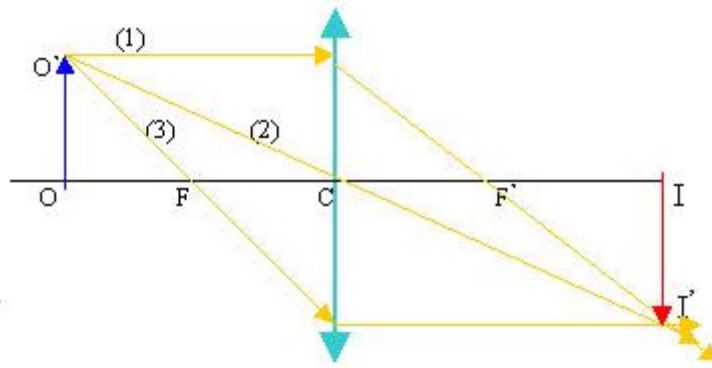


Figura 2. Raios notáveis em uma lente convergente.

Para obtermos imagens reais (que podem ser projetadas em anteparos), o objeto deve estar a uma distância além do ponto focal da lente, contudo se observa que a imagem formada tem orientação invertida da do objeto.

A distância focal de uma lente é a distância do centro óptico até o foco principal. A equação de Gauss (ou dos pontos conjugados) relaciona a distância focal e as distâncias de objeto p e imagem p' (também, até o centro óptico) de lentes esféricas, dada por^[2]:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Desse modo, conhecendo as distâncias de objeto e imagem podemos determinar analiticamente a distância focal da lente, por exemplo. Contudo, a equação é demonstrada considerando-se uma lente ideal, sem espessura. Logo, pode-se esperar desvios nos resultados ao aplicá-la para lentes reais, de espessura não desprezível.

Propriedades conhecidas de lentes e espelhos esféricos são aproximações destes quando formados por pequenas secção da esfera, as chamadas “condições de Gauss para espelhos esféricos”, que considera a aproximação precisa para lentes e esferas com ângulo de abertura menor que 10° ^[3].

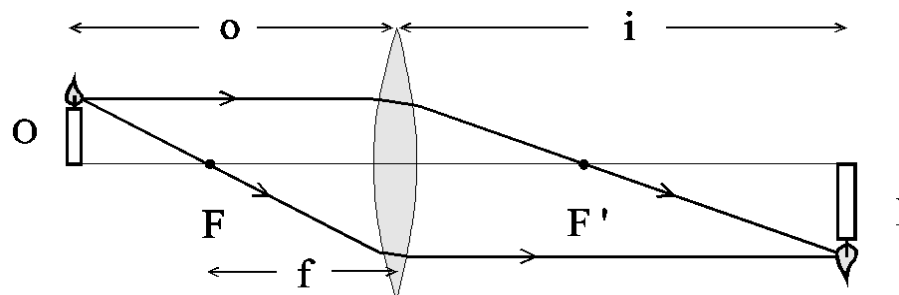


Figura 3. Distância focal f e distâncias do objeto o e da imagem p .

Um prisma é um elemento óptico transparente de faces planas polidas que refratam a luz. Ao menos duas dessas faces precisam ter um ângulo entre elas, o valor deste ângulo depende da aplicação desejada. A Lei de Snell (ou de refração) relaciona os ângulos de incidência θ_1 e refração θ_2 quando a luz atravessa a fronteira entre dois meios isotrópicos diferentes. A equação é dada por:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

onde n_1 e n_2 são os índices de refração dos meios.

Desse modo, utilizando a Lei de Snell, é possível determinar o desvio angular sofrido pela luz ao atravessar as faces do prisma^[4]. Considere um raio incidente, fazendo um ângulo θ_0 com a normal de uma das superfícies do prisma com ângulo α entre as faces. Observando a figura 4 e aplicando a Lei de Snell, obtemos:

$$\theta'_0 = \arcsin\left(\frac{n_0}{n_1} \sin \theta_0\right)$$

$$\theta_1 = \alpha - \theta'_0$$

$$\theta'_1 = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1\right)$$

$$\theta_2 = \theta'_1 - \alpha$$

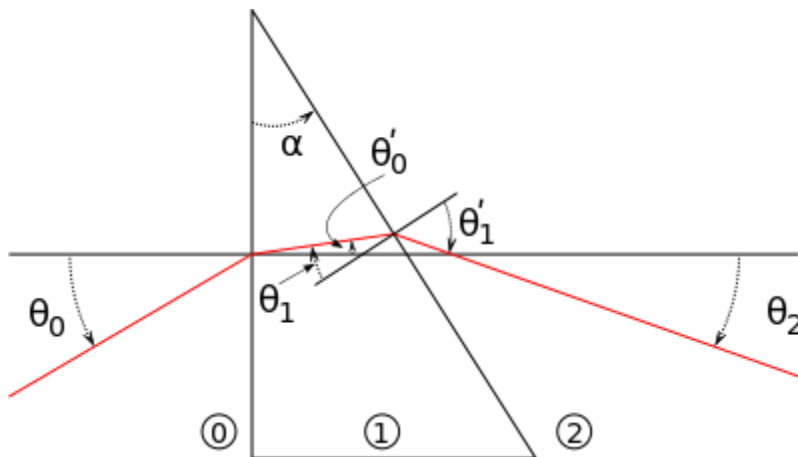


Figura 4. Um raio incide sobre um prisma de ângulo de vértice α . As regiões 0, 1 e 2 indicam meios de índice de refração n_0, n_1 e n_2 .

Para um prisma imerso no ar, $n_0 = n_2 \approx 1$. Definindo $n_1 \equiv n$, o ângulo de desvio δ será dado por:

$$\delta = \theta_0 + \theta_2 = \theta_0 + \arcsin\left(n \sin\left[\alpha - \arcsin\left(\frac{1}{n} \sin \theta_0\right)\right]\right) - \alpha$$

Se os ângulos de incidência e do vértice do prisma são pequenos, então $\sin \theta \approx \theta$ e $\arcsin x \approx x$, assim, a equação acima se torna:

$$\delta \approx \theta_0 - \alpha + \left(n \left[\alpha - \frac{1}{n} \theta_0\right]\right) = \theta_0 - \alpha + n\alpha - \theta_0 = (n - 1)\alpha .$$

Então, para pequenos ângulos, o ângulo de desvio independe do ângulo de incidência sobre o prisma.

3. Montagem experimental

Um feixe de laser verde de 35 mW é direcionado a um pequeno espelho, em rotação por um motor, obtendo-se um feixe cônico. A formação do feixe cônico é devida a um pequeno desvio na superfície do espelho em relação ao eixo do motor.



Figura 5. Conjunto laser e espelho para a formação do feixe cônico de luz.

O feixe cônico, então, incide sobre uma lente convergente 30 cm de diâmetro de

vidro no formato plano-côncavo preenchido com água, veja a figura abaixo. Este feixe deve ser concentrado no ponto focal da lente. Contudo, na prática, o feixe não incide exatamente em um único ponto, pois uma das superfícies da lente é curva, de modo que os feixes incidentes próximos à borda das lentes são mais refratados do que os raios mais próximos do eixo óptico. Este fenômeno é chamado aberração esférica. Em vez de se refratar no ponto focal, os raios se refratarão para trás dele, formando um halo luminoso concêntrico que deteriora a qualidade da imagem^[5].

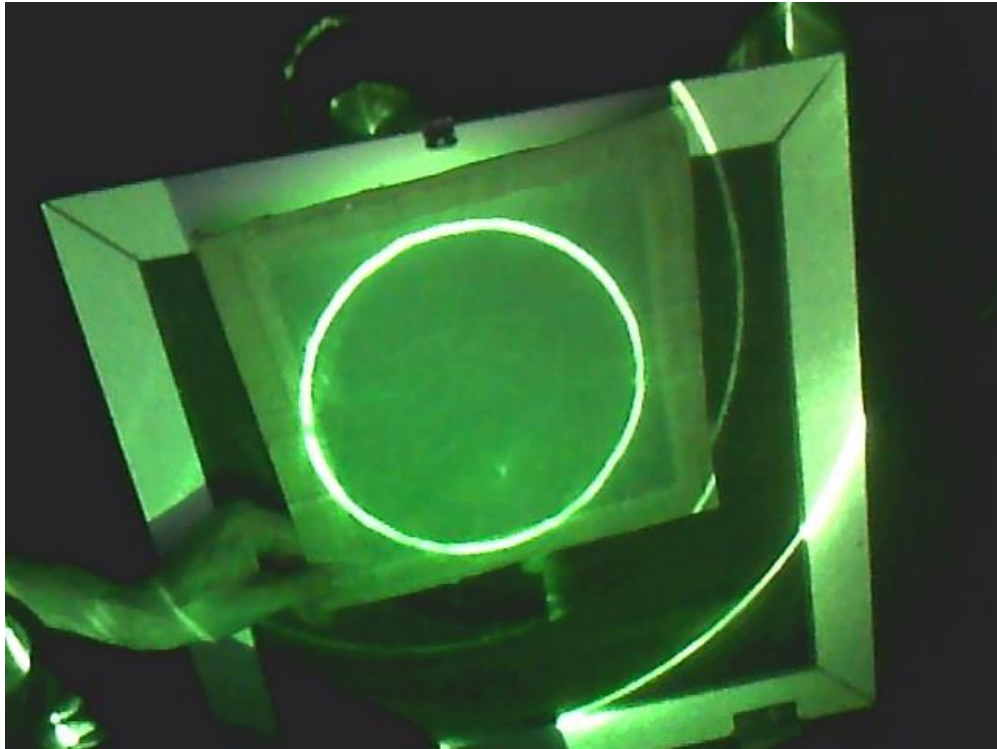


Figura 6. Visão plana do feixe cônico de luz.

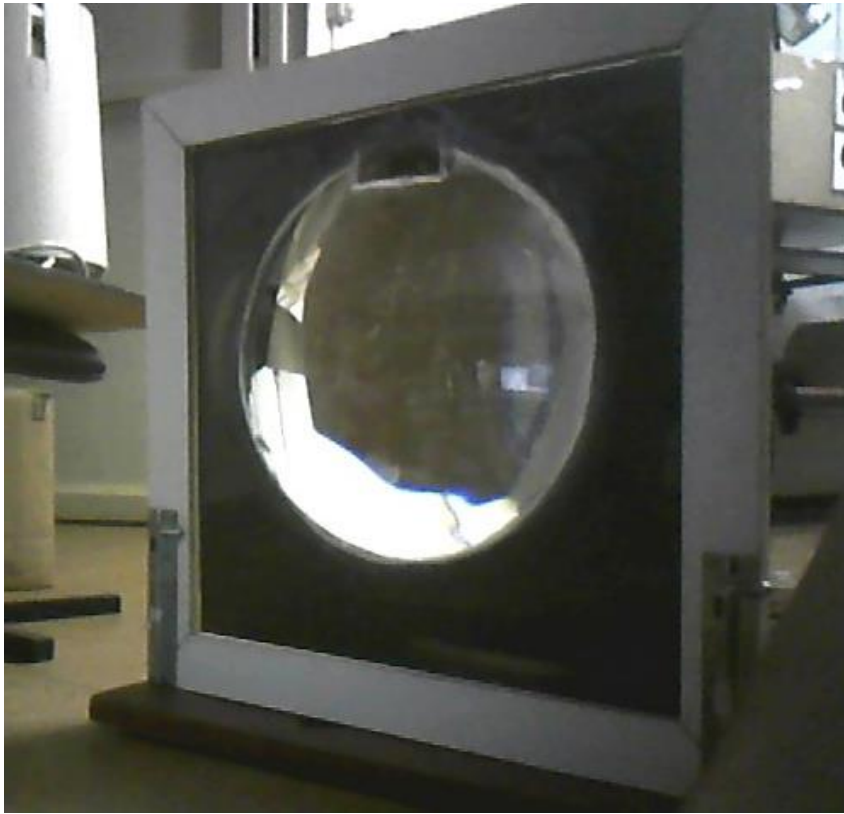


Figura 7. Lente plano-convexa utilizada no experimento.

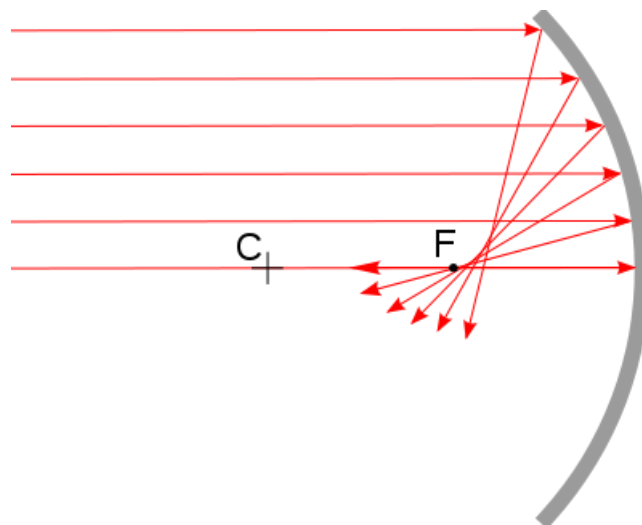


Figura 8. Aberração esférica em um espelho convergente. O efeito é análogo em lentes convergentes.

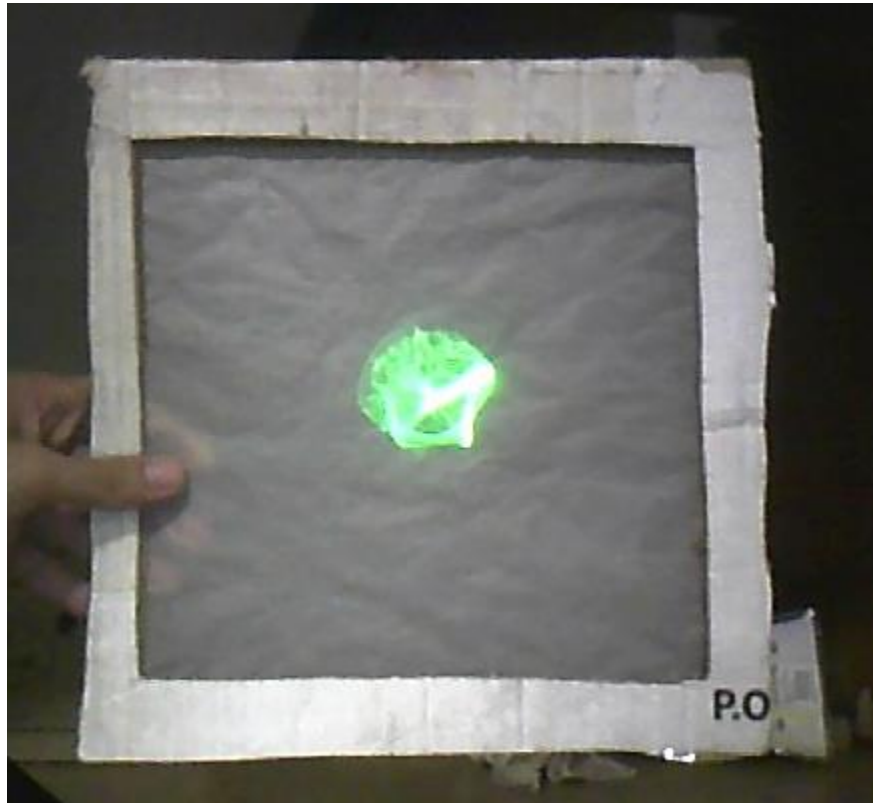


Figura 9. *Aberação esférica no ponto focal (aproximado) da montagem experimental.*

A imagem formada pode ser vista através de um anteparo, como o da figura 5. Mas, para proporcionar uma visão ampla (e tridimensional) do fenômeno do experimento, é utilizado um vaporizador comercial para produzir vapor d'água e, assim, pode-se observar a cone de luz completo, juntamente recomenda-se usar um ventilador para espalhar o vapor e aumentar o volume observado.



Figura 10. Conjunto ventilador e umidificador (com nova trava).

4. Resultados atingidos

Inicialmente, foram testadas formas de se produzir fumaça para visualização dos raios de luz. Utilizando um umidificador de ar, que produz gotículas e não vapor de água, obteve-se um resultado pouco satisfatório pela quantidade de "fumaça" e por seu movimento descendente, o que não permite uma visão completa do cone de luz, tanto vertical como horizontalmente. Utilizando um máquina de fumaça, pode-se obter uma visão muito mais ampla do experimento. Ambas as alternativas eliminam a necessidade do uso de gelo seco (caro e pouco durável) e de nitrogênio líquido (também caro e perigoso, pois é tóxico e pode causar queimaduras criogênicas) como formas de visualização do feixe.

Em vista disso, foi dada preferência pelo umidificador juntamente com o ventilador, auxiliando na direção tomada pelo vapor. O umidificador (com uma nova trava para evitar a queda da parte superior) e o ventilador foram fixados em uma base de madeira. É possível investir (ou emprestar) um umidificador que produza maior quantidade de vapor. Seria ideal um aparato que produza uma "cortina de fumaça/vapor", o que melhora em muito a visualização, mas não foi encontrada uma maneira de construir este aparato com materiais reutilizados.

O próximo passo foi reconstruir o suporte do laser e espelho que produzem o cone de luz. Foi utilizado uma trava de encaixe (figura 11 abaixo) que possibilita a montagem/armazenagem de forma prática. O aluno bolsista SAE Márcio, orientado pelo professor Lunazzi, auxiliou a perfurar e colocar os rebites/parafusos no suporte de alumínio e na base de madeira para fixar as travas.



Figura 11. Trava de encaixe (em destaque) do suporte de laser e espelho.

5. Considerações finais

Além da apresentação do experimento, os videos criados pela empresa DesignMate, disponíveis no canal YouTube^{[6],[7]}, contêm uma explicação interessante para a formação de lentes como a união de diversos prismas, oferecendo outra visão para a convergência dos raios luminosos. Nesta parte, para melhor entendimento do funcionamento do prisma, deve ser explicada a teoria de refração (Lei de Snell). O Prof. Lunazzi desenvolveu um prisma de ângulo variável^[8] (observar a figura 4 no relatório do *link*), que pode ser utilizado para analisar experimentalmente esta ideia de formação de lentes disponível nos videos.

O video também oferece uma visão um tanto dinâmica (em relação à teoria apresentada em giz e lousa) do caminho percorrido pelo raios e pode ser aliado à apresentação do experimento.

6. Fotos da experiência

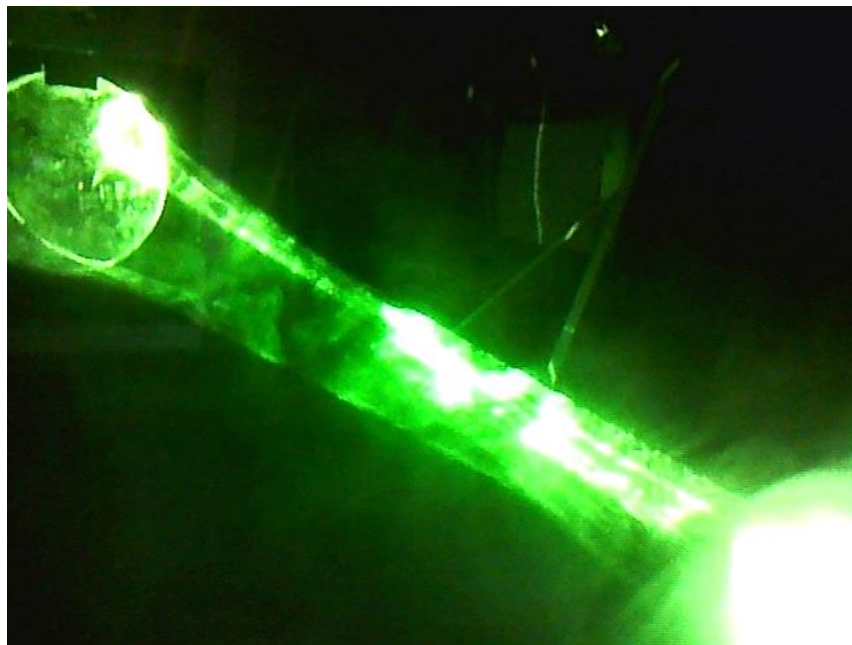


Figura 12. Cone de luz convergente. O efeito é causado pela "fumaça" do umidificador (góticulas de água).

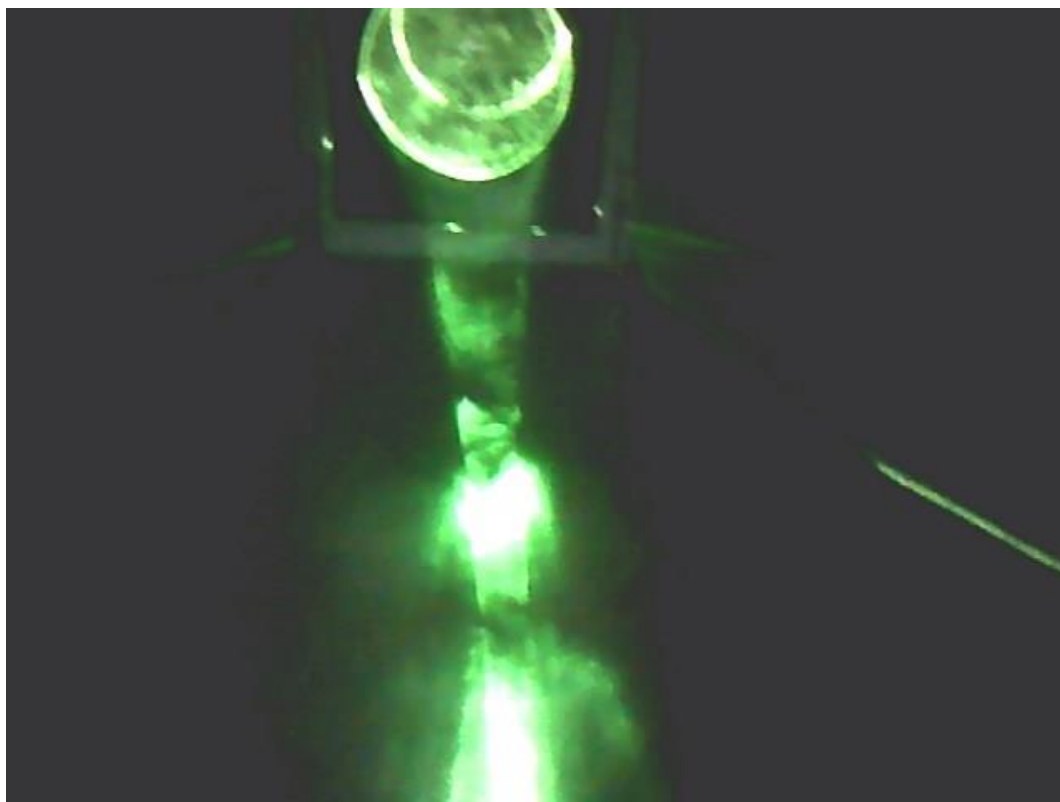


Figura 13. Cone de luz convergente em vista frontal.

7. Referências

- [1] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Lente>, acessado em 05/01/2015.
- [2] HALLIDAY, RESNICK & WALKER, Fundamentos de Física, vol. 4, 8 edição, cap. 34
- [3] <http://www.alunosonline.com.br/fisica/condicoes-gauss-para-espelhos-esfericos.html>, acessado em 06/01/2015.
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Prism#Deviation_angle_and_dispersion, acessado em 13/01/2014.
- [5] http://en.wikisource.org/wiki/1911_Encyclop%C3%A6dia_Britannica/Aberration, Acessado em 07/01/2015.
- [6] Video "Converging Lenses - Designmate":
<https://www.youtube.com/watch?v=R-uMcngNsSk>
- [7] Video "Converging Lenses - E Portuguese - Designmate"
<https://www.youtube.com/watch?v=1rDQfClK9xl>
- [8] Relatório contendo o prisma de ângulo variável
http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F709_2013_sem1/SheilaS_LunazziF709_RF.pdf

8. Declaração do orientador

Meu orientador concorda com o expressado neste relatório e deu a seguinte opinião:

“Começou-se com um panorama amplo de possibilidades que incluía a realização de vídeo e outras, não fizemos, mas chegamos numa melhoria substancial para o uso do experimento. O trabalho foi dedicado e satisfatório.”