# Demonstração de imagens reais utilizando lentes Fresnel

**Relatório Final**

**Aluna: Luana Caron  R.A.: 002003**
**Orientador: Professor Doutor José Joaquin Lunazzi**

## 1. Resumo

No ensino de óptica, são raras as demonstrações oferecidas para saciar a curiosidade dos alunos. Aprende-se a como calcular imagens, focos e outros parâmetros relativos a uma lente, mas em geral, nenhuma demonstração é feita.

Muito da formação de imagens em lentes e espelhos é depreendido do dia a dia, mas, é extremamente incomum nos depararmos com uma imagem real.

Imagens reais, ao contrário do que seu nome sugere (que são reais e portanto, comuns) não são nada freqüentes. E uma produzida por lentes Fresnel é ainda menos freqüente, por ser de um brilho incomum. Se arranjadas corretamente, lentes Fresnel podem produzir uma imagem real, que para um leigo passaria facilmente por uma holografia.

Assim nada mais interessante do que uma demonstração de uma imagem real com tal qualidade, além de ser uma boa oportunidade para apresentar o funcionamento das tão presentes, mas tão desconhecidas Lentes Fresnel.

## 2. Objetivo

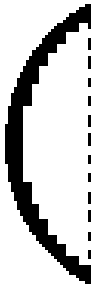
O objetivo deste projeto é montar e descrever um experimento simples que possa demonstrar em sala de aula a existência de imagens reais.
Para tal, serão utilizadas lentes Fresnel , que tem características que as tornam bastante interessantes para tal demonstração.

## 3. Um pouco de história

Antes mesmo de descrever o projeto, creio ser necessária uma breve explicação do que vem a ser uma lente Fresnel e qual a motivação que levou à sua idealização e construção.

Bem antes de Fresnel inventar suas lentes, já se sabia que o que define as propriedades de uma lente é o contorno de sua superfície, que a quantidade de material entre as superfícies refratoras não tem nenhum outro efeito nas propriedades ópticas da lente a não ser aumentar as perdas por absorção.

A primeira lente com superfície em degraus foi sugerida por Buffon, em 1748. Sua sugestão era a de tirar material da parte plana da lente, até que restassem apenas seções finas de material seguindo o contorno original da superfície esférica, como é mostrando na figura ao lado.
O trabalho de Buffon foi seguido pelo Condorcet e Sir D. Brewster, que desenharam lentes construídas com anéis em degraus.



As lentes esféricas de Fresnel foram inventadas pelo matemático e físico francês Augustin Jean Fresnel em 1822.

**Augustin Fresnel (1788-1827)**

A primeira utilização de suas lentes foi a de concentrar o feixe de luz de faróis de sinalização marítima, antes disso os faróis utilizavam espelhos ou lentes enormes, que eram pesadas e bastante desajeitadas. A lente original de Fresnel foi utilizada em um farol no rio Gironde.

A grande inovação das lentes de Fresnel foi, além de cortar em seções a parte esférica, que cada seção, ou anel, teria uma curvatura diferente de acordo com a sua distância do centro da lente, de forma a praticamente eliminar aberração esférica.

O desenho esquemático original é apresentado ao lado.
As primeiras lentes de Fresnel eram cortadas e polidas em vidro, o que as tornavam caras além de ser um processo extremamente trabalhoso. Mais tarde vidro quente foi prensado em matrizes de metal, mas por causa da alta tensão superficial do vidro, essas lentes eram de baixa qualidade. Foi só com o desenvolvimento de novos plásticos que foi possível a fabricação de lentes de Fresnel de maneira fácil e barata.

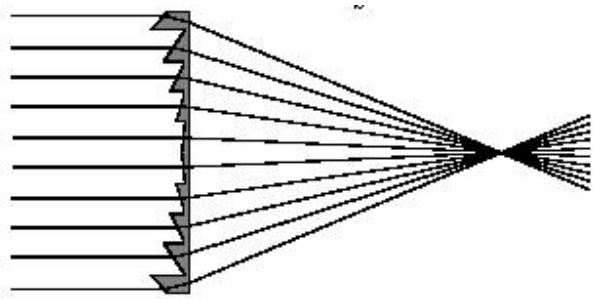
E, este é um ponto extremamente importante neste projeto: o custo e facilidade de encontrar esse tipo de lente. Infelizmente, no Brasil, essas lentes não são fabricadas, e somos obrigados a importá-las, o que eleva consideravelmente seu custo.

Mas, uma fonte alternativa de lentes se apresenta: retro-projetores que por um motivo ou outro (que não tenha sido a quebra de sua lente) deixaram de ser utilizados. Com apenas uma dessas lentes é possível montar algo semelhante ao experimento sugerido neste projeto.

Para finalizar, cito algumas utilizações mais comuns das lentes de Fresnel. Talvez a utilização mais popular seja em retro-projetores. Também são utilizadas em Faróis de sinalização marítimos, em projetores utilizados em cinema, como simples lentes de aumento, em detectores de movimento em sistemas de segurança.

## 4. Como as Lentes Fresnel funcionam, algumas vantagens e desvantagens

Nas lentes esféricas comuns, temos aberração esférica, mas a Lente Fresnel é projetada de forma a eliminar tais aberrações, de forma que todos os raios que cruzam sua superfície passam por um mesmo ponto.



Porque a luz tem que atravessar menos material quando cruza uma lente de Fresnel, a perda de intensidade por absorção é menor, de forma que a imagem formada por uma lente Fresnel é mais brilhante que a imagem de uma lente normal.

O mais importante, é que uma Lente Fresnel produz uma imagem *real* e, é esta a propriedade que desejamos explorar.

Mas esta imagem não está num campo de visão muito grande, na verdade ele é bem pequeno, de forma que a pessoa deve estar bem posicionada para poder ver a imagem formada.
Outra desvantagem é a aberração cromática, e quanto menor o foco, maior a aberração, o que dificulta bastante o trabalho, uma vez que Lentes Fresnel tem um foco pequeno.

## 5. O que foi feito

### 5.1. Pesquisa

Este período foi dedicado á pesquisa cuja síntese é apresentada acima e cujas fontes serão citadas ao fim deste relatório.

### 5.2. A construção da caixa (primeiro estágio)

Também fizemos os testes necessários e construímos a caixa, a seguir farei uma descrição mais detalhada do processo. É apenas um primeiro estágio, em que não fixamos a fonte de luz nem demos acabamento final.

Primeiro, os testes que fizemos, onde também apresento os testes feitos para uma terceira lente para que pudesse ser feita uma comparação, de forma bem direta e sucinta:

Primeiro vimos a imagem formada pela lente Fresnel maior, aquela que está na moldura, para depois montarmos um sistema com as duas lentes menores de forma a comparar as imagens formadas.

O que percebi é que a imagem da Fresnel maior é mais brilhante, mais bem definida embora apresente uma distorção que deixou a caixa que estava usando como objeto com o formato de um barril. Já o sistema de duas lentes formou uma imagem menos definida e menos brilhante mas com bem menos distorção.

Em seguida variei as distâncias entre as duas lentes para ver como esta afetava a imagem obtida:
- Quanto mais longe coloco uma lente da outra maior a imagem obtida, quanto mais próximo menor a imagem, isto mantendo a distância da primeira lente(mais longe do objeto) ao objeto fixa.

Mantendo uma distância fixa entre as duas lentes variei a distância entre o objeto e o sistema:
Quando aumento a distância entre eles a imagem diminui.
Também observei que quanto mais próximo o objeto estiver do sistema maior a distorção e menor a nitidez.

Ainda trabalhando com o par de lentes iguais, observei a imagem formada por apenas uma das lentes:
- a distância entre o objeto e a lente é muito maior do que aquela observada no sistema
- a imagem é mais brilhante e mais nítida
- a distância de que preciso olhar para ver a imagem definida

como no sistema é maior
- a imagem é mais distorcida
- a imagem fica mais longe da lente do que quando uso o par

Para fazer uma comparação direta, com o par de lentes aí vão os resultados:
- a distância entre o objeto e a lente é a menor
- a imagem é menos brilhante e também menos nítida
- a distância de que é necessário olhar é menor
- a distorção é menor
- a imagem se forma mais próxima ao sistema

Depois disso medi as distâncias focais para as duas lentes.
Antes de tudo precisei descobrir qual era a distância entre a ponta da carcaça e a fonte do laser. Para isso medi o diâmetro da carcaça e o diâmetro da imagem em dois pontos diferentes, para poder comparar os resultados.
x = 11 ± 1 mm

Então, variando a distância do objeto à lente, até obter o feixe de luz com mesmo diâmetro próximo a lente e distante dela, tendo assim certeza de que os raios saem paralelos da lente, achei a distância focal desta.
Lente maior: F = 11,6 ± 0,5 cm
Par de lentes iguais: F = 39,6 ± 0,5 cm

Fazendo um parênteses na análise, procuramos na literatura, casos em que aberrações cromáticas e esféricas (distorção) são corrigidas para o uso de duas lentes. Para lentes de Fresnel, mas, para lentes comuns encontramos um caso de aberração cromática corrigida pelo uso de duas lentes. Segue um exemplo retirado do livro de Hecht[1] para o caso:

*"É possível acromatizar a distância focal de um par de lentes composto de duas lentes separadas mas, feitas do mesmo material. Sejam os índices de refração para o vermelho $n_r$, para o azul $n_b$ e para o amarelo $n_y$, temos:*

$$(n_r - n_b)[(\rho_1 + \rho_2) - \rho_1\rho_2 d(n_b + n_r - 2)] = 0$$

*Introduzindo a frequência para o amarelo:* $d = \frac{(f_{1d} + f_{2d})}{2}$ $1/f_{1y} = (n_{1y} - 1)\rho_1$ *e* $1/f_{2y} = (n_{2y} - 1)\rho_2$ *substituímos:*

$$d = \frac{(f_{1y} + f_{2y})(n_y - 1)}{n_b + n_r - 2}$$

*Assumindo* $n_y = (n_b + n_r)/2$*, temos:*

$d = \frac{(f_{1y} + f_{2y})}{2}$ *ou para qualquer luz:* $d = \frac{(f_{1d} + f_{2d})}{2}$.

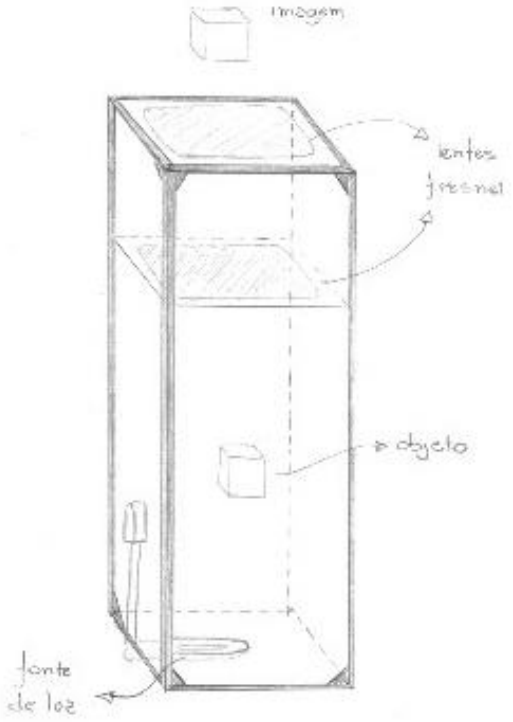
*Essa condição diminui a aberração cromática, não a elimina, terá diferentes graus dependendo do comprimento de onda, mas o minimizará.*

No livro de Sears[6], é mencionado que é possível corrigir a aberração esférica impondo mais condições, mas não encontrei nenhuma referência direta.

De qualquer forma, o que observamos aqui para duas lentes de Fresnel, é paralelo ao efeito colocado no exemplo acima, combinado ao que é mencionado sobre aberrações esféricas para lentes comuns.

Assim, utilizar o sistema com duas lentes iguais apresenta algumas vantagens: diminui o tamanho do espaço necessário, ou seja, a caixa, deixa a imagem menos distorcida, além do que aqui neste caso, elas são mais leves.

Então projetamos a caixa para usar as duas lentes. O esquema está apresentado abaixo:



O esqueleto é feito de madeira leve, duas folhas de vidro cortadas para se encaixarem perfeitamente dentro do esqueleto suportarão as lentes que podem ser presas com durex. È forrada com papel cartão espesso e deve ser forrada ou pintada de preto internamente para que toda a luz refletida venha do objeto.

O que fiz foi montar o esqueleto em madeira e reforça-la nos cantos com pedaços de madeira em formato de triângulo. As lâminas de vidro foram encaixadas na madeira que foi gasta no local do encaixe para tal.

O objeto pode ser fixo com fios de naylon amarrados na estrutura. A lâmpada ainda não foi fixada, assim como ainda não foi decidido um objeto definitivo para a demonstração.

Dar as dimensões aqui seria inútil, uma vez que elas variam dependendo da lente utilizada. O segredo realmente é fazer os testes como descrevi, que não apresentam nenhuma dificuldade.

### 5.3. A construção da caixa (segundo e último estágio)

Neste último estágio terminei a caixa fazendo algumas modificações planejadas e outras que não faziam parte do projeto original.

Comecei por alterar a posição da fonte de luz, colocando-a acima do objeto e com a lâmpada fluorescente "colada" junto à lateral da caixa. Fixei-a utilizando fios de náylon, o que apesar de não parecer muito prático foi bastante fácil, uma vez que, a pequena luminária de mesa aqui utilizada é bastante leve, e o esqueleto é de madeira impedindo que o fio escorregue. Coloquei-a pouco acima do objeto de forma que ela não aparecesse e iluminasse o objeto de forma mais ou menos homogênea.

Primeiro fixei o objeto, que aqui é uma pequena caixinha de papel cartão de um radiômetro, escolhida por suas cores fortes, da mesma forma que a fonte, com fios de náylon. Então, por sugestão do Prof. Lunazzi, resolvemos colocar a caixinha em cima de um eixo de um pequeno motorzinho, utilizado originalmente em montagens ópticas, de modo a faze-la girar. O motor não estava de forma alguma no projeto original, mas consiste em algo visualmente bonito, e só foi realizado por que tínhamos disponível um motorzinho de tal tipo que não estava sendo utilizado. Mas a presença do motor é apenas um detalhe a mais, não sendo essencial para a montagem em si.

A utilização do motorzinho foi um desafio em si. Fazer com que a caixa pudesse ser colocada sobre seu eixo exigiu uma boa dose de criatividade. Como foi feito para montagens ópticas, possuía uma "ponta" mais alta que impediria a caixa de girar se não fosse ultrapassada de alguma forma. Então, com o auxílio do técnico Alcides do Laboratório de Óptica, foi feito um pequeno extensor do eixo, fixado por parafusos, sobre o qual foi colocada uma pequena pecinha redonda que permitiu equilibrar a caixa formidavelmente, sequer foi necessário fixa-la sobre esta última peça.

Outro ponto foi pensar em uma forma de fixar o motor na estrutura da caixa. Resolvi isso pregando uma pequena madeirinha que dividiu o fundo quadrado em dois retângulos iguais, e ali fixei o motorzinho, de forma uma pouco instável, o ideal seria ter um suporte para ele.

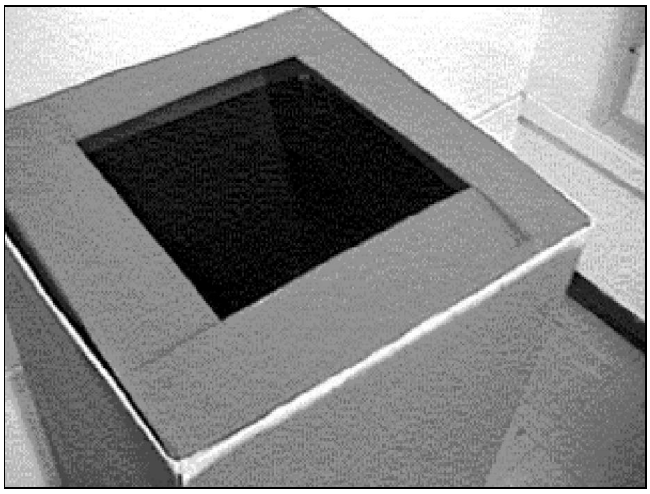
Por razões tanto estéticas como práticas, achamos melhor pintar a caixa por fora. A razão estética, sendo um tanto óbvia, e a prática que o papelão era muito claro, e para demonstrações desse tipo convém um fundo mais escuro. A caixa foi pintada com látex cinza.

Algo que descobri na prática foi que o revestimento interno de papel da caixa dificulta bastante seu manuseio, pois a cada vez que se deseja retirar a estrutura de dentro da caixa de papel o revestimento se rasga um pouco. O melhor teria sido pintar a caixa de preto por dentro, o que por sua vez não teria sido simples, pois não consegui encontrar tinta preta fosca, como deve ser para não refletir muita luz, para pintar seu exterior quando procurei.

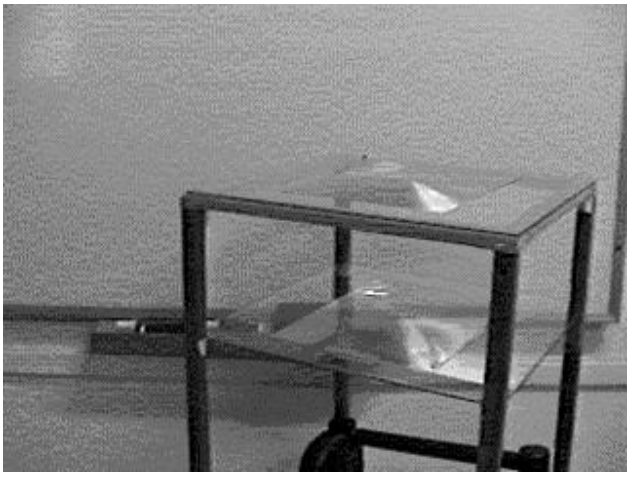
Creio não ter deixado claro, anteriormente, com fixei as duas lâminas de vidro. Uma é simplesmente colocada sobre a face superior da estrutura, e para a outra entalhei pequenas reentrâncias na madeira de forma que ela pudesse entrar na diagonal e ainda assim ficasse segura. Assim, a lâmina superior tem formato quadrado e a inferior tem os cantos cortados para que possa encaixar na estrutura.

Também fiz uma tampa com um furo para colocar na face superior da caixa, para manter a lâmina de vidro segura, e para que a montagem não ficasse tão aparente, e um fundo preto.

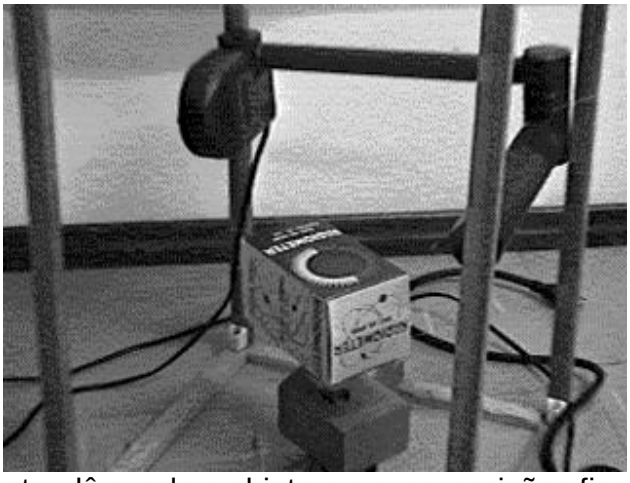
Abaixo seguem algumas fotos da montagem nesta última configuração.



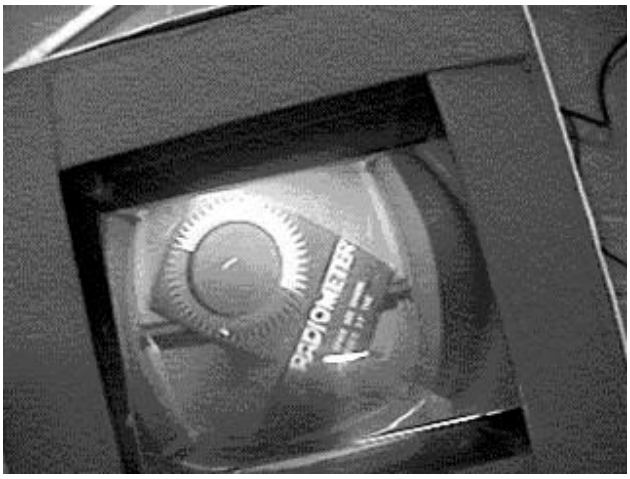
caixa de papelão, com a tampa
já pintada e forrada por dentro



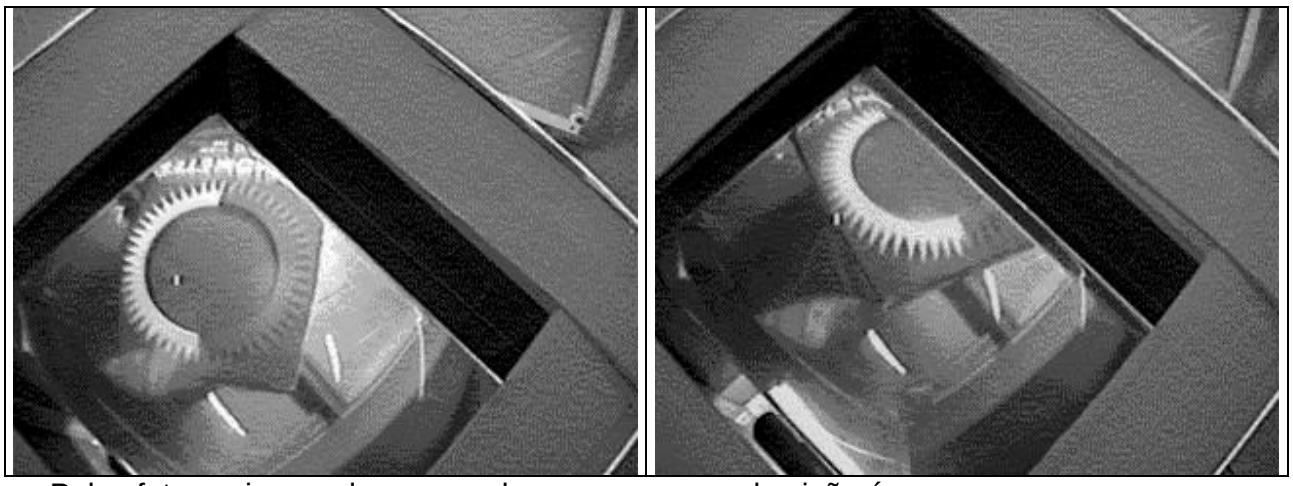
as lentes em sua posição final



motor, lâmpada e objeto em suas posições finais




a montagem pronta e ligada, pode-se ver a imagem formada



Pelas fotos acima pode-se perceber que o campo de visão é pequeno e que a pessoa deve olhar de cima para ver a imagem inteira formada.

## 6. Conclusão

Através de meu experimento e desta descrição de como ele foi realizado, espero ter criado um manual de como ele pode não apenas ser reproduzido, mas melhorado, uma vez que espero que quem venha a realiza-lo com este relatório em mãos não cometa os mesmos erros, muitas vezes inevitáveis ou imprevisíveis, que cometi.

Gostaria de acrescentar o que imaginei como utilização didática deste experimento. Não imaginei apenas um professor montando um experimento e levando-o a sala de aula e deixando cada aluno observar, um por vez para não danifica-lo, como comumente acontece.

Vi algo em que os alunos, principalmente de uma classe a que estão sendo apresentados os conceitos de óptica pela primeira vez, possam se divertir, experimentando e discutindo as melhores posições relativas entre lentes e objetos para que uma melhor imagem possa ser formada. Neste estágio, podem ser apresentados ou formalizados conceitos como foco, brilho, distorção, aberração. Também não requer nenhuma instalação especial, basta uma sala que possa ser feita minimamente escura e uma fundo preto, um pano por exemplo.

A idealização de um esqueleto e uma caixa e meios de fixação podem ser um grande exercício de criatividade, o que creio estar faltando em sala de aula nos dias de hoje, colocar o aluno para pensar.
É claro, que a presença de um adulto para as montagens que envolvem pregos ou outras coisas perigosas, torna-se indispensável, mas mesmo assim, não torna a experiência inviável.

Creio ser única toda a vivência que um experimento simples com este pode proporcionar a uma criança.

Além do que, é uma oportunidade única para abordar um assunto que de outra forma seria esquecido: as lentes de Fresnel.

Poderia continuar discorrendo por páginas sobre tópicos que poderiam ser abordados paralelamente, como por exemplo o conceito que levou os físicos a retirarem material de uma lado ou outro de uma lente, e mesmo que considerasse este relatório terminado outras pessoas que parassem para refletir encontrariam ainda mais tópicos. Portanto concluo num ponto em que este relatório possa estimular outros a fazerem o mesmo sem a pretensão de trazer todas as respostas ou algo acabado....

## 7. Bibliografia e Links

[1] Hecht, Eugene, Optics, Third Edition Addison Wesley Longman, 1998, MA
[2] http://www.howstuffworks.com/question244.htm
[3] http://acept.la.asu.edu/PiN/opticskit/opticskit.shtml
[4] http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/fresnellens.html
[5] www.terrypepper.com/lights/fresnel/fresnel.htm
[6]Sears, Francis Weston, Física III Óptica, baseada na quinta ed. americana, abril 1958.