

Câmaras Fotográficas: Da Câmara de Furo às Câmaras Modernas.

Relatório Parcial-07/06/2002

F809-Instrumentação para o Ensino

Aluno: Fábio Cupri Rinaldi RA:981090

Orientador : José Joaquin Lunazzi

Resumo

Este trabalho busca o entendimento do funcionamento de uma das ferramentas mais antigas utilizadas na formação de imagens chamada câmara de furo. É interessante entender as minúcias desse instrumento, pois é de muita utilidade no ensino de ótica, servindo como estimulador da aprendizagem e da curiosidade das pessoas. A simplicidade da câmara introduz uma noção intuitiva muito grande aos fenômenos físicos ao qual encerra, como por exemplo, o aspecto da propagação retilínea da luz que é de fundamental importância no seu entendimento, além de ser umas das noções mais antigas do homem. O trabalho realizado alcançou a construção de uma câmara de furo utilizando materiais em sua maioria de uso no dia-dia das pessoas. Um aspecto interessante foi a construção de um visor para a câmara que possibilitou uma grande facilidade em seu uso. Por fim foram reproduzidas fotos utilizando a câmara.

Introdução

Aspecto Histórico: A história da formação de imagens com câmara de furo é provavelmente a mais remota prática relacionada a imagem fotográfica. Começando no século 5 AC um chinês chamado Mo Ti já descrevia que imagens invertidas eram obtidas quando a luz atravessava um pequeno buraco. Um século mais adiante Aristóteles também observou tal fenômeno. O físico e matemático árabe Alhazen usou um orifício para ver um eclipse do sol e noticiou que a imagem do sol poderia ser vista em uma superfície plana oposta a direção do sol. Entretanto a primeira descrição detalhada da formação da imagem por um orifício veio de Leonardo Da Vinci em suas anotações(Codex atlanticus) por volta do século XV. Como da Vinci era ambidestro e escreveu seus jornais com sua mão esquerda e de trás para frente, tais anotações foram somente decifradas e publicadas em 1797. Ele escreveu.

"Eu disse que se a frente da construção ou qualquer campo aberto, no qual é iluminado pelo sol e tem uma habitação oposta a ela, e se, em frente(da habitação) que não tem fachada para o sol, você faz um pequeno buraco circular, todo o objeto iluminado projetará suas imagens através do buraco, e será visível dentro da habitação na parede oposta na qual deveria ser branca; e lá, de fato, ela estará de cabeça para baixo, e se você fizer aberturas similares em vários lugares da mesma parede você terá o mesmo resultado para cada uma delas"

Outro experimento interessante foi realizado pelo astrônomo Paolo Toscanelli, que colocou um anel de bronze, com uma abertura, na janela no ponto mais alto da cúpula de uma grande catedral em Florence. Ao meio-dia, o sol, projeta sua imagem no chão da catedral através de uma linha imaginária conhecida como a marca do meio-dia. Um observação parecida das projeções solares através de um orifício permitiram a correção em 1583 do calendário Juliano para o calendário Gregoriano usado hoje. Muitas outras observações feitas por cientistas foram realizadas ao longo da história e foi devido a todas essas experiências que o desenvolvimento da fotografia usando lentes foi possível. Então o desenvolvimento da fotografia utilizando lentes começou por sugestão do físico Milanês Girolamo Cardano que em 1550 disse que uma imagem mais brilhante poderia ser formada em uma câmara escura colocando uma lente bi-convexa no lugar do furo.

A partir de 1830 os desenvolvimentos na instrumentação ótica e na fotoquímica permitiram o desenvolvimento da fotografia. Entretanto esse desenvolvimento foi vagaroso e a câmara escura ainda foi muito utilizada nas décadas subseqüentes (1850 a 1890) inclusive por David Brewster. Em 1881 Rayleigh iniciou uma série de estudos científicos para determinar qual seria o melhor tamanho do orifício em relação ao comprimento focal da câmara. Muitas das fórmulas obtidas por ele são usadas ainda hoje.

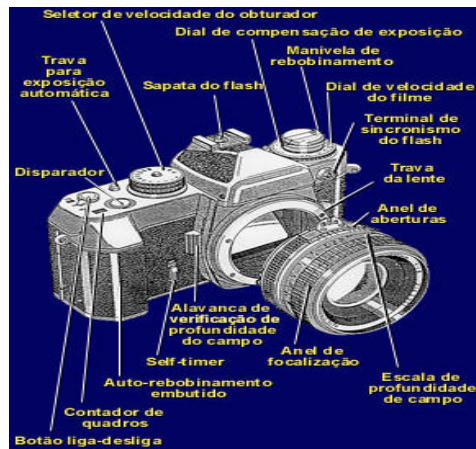
Técnicas de impressão da imagem tornaram-se mais fáceis a partir de 1890, e com isso a fotografia através de câmaras escuras de orifício tornaram-se populares e milhares de câmaras foram vendidas.

A partir de 1920 as câmeras com lentes convencionais ficaram cada vez mais baratas e definitivamente a câmara de furo ficou no esquecimento. O pequeno formato e a tecnologia empregada nas câmaras modernas, facilitam muito a vida dos fotógrafos.

Nas últimas décadas do século 20 a câmara de furo vem novamente ganhando seu espaço, pois os fotógrafos estão em busca da arte que este tipo de câmara possibilita. Realmente o uso deste tipo de câmara permite uma liberdade muito maior com relação aos tipos de efeitos que podem ser inseridos na imagem.

Câmaras Modernas:

As câmaras modernas utilizam lentes para contornar o problema da nitidez além de diversos outros dispositivos ópticos. Abaixo está um exemplo de uma câmara atual com todas as suas melhorias.



Abertura do diafragma – Pelas lentes passam os raios de luz que formam a imagem fotográfica. Em conjunto com a lente funciona um mecanismo chamado diafragma, cuja função é controlar a quantidade de luz que deve atingir o filme. O diafragma atual das câmaras são dotadas de lâminas de aço sobrepostas, que permitem selecionar as mais diferentes aberturas para as diversas condições de iluminação. As aberturas são indicadas pelos números " f ", tais como: $f/22$; $f/16$; $f/8$; $f/5.6$; $f/4$; $f/2.8$; $f/2$ e $f/1.4$. Quanto menor o número, maior a abertura do diafragma e vice-versa.

Obturador – Este dispositivo ajuda a controlar o tempo no qual o filme será exposto a luminosidade exterior. A velocidade de penetração da luz é indicada pelos números: 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 125, 500, 1000 ou mais, dependendo da câmara. Assim, a velocidade 1 permite a penetração de luz por um segundo. Os demais números representam frações de segundo, calculados de forma que o tempo de entrada de luz seja reduzido pela metade toda vez que se muda de um número para outro imediatamente superior. Por exemplo: Ao mudar de 1 para 2, a luz entrará por meio segundo; pela velocidade 60, a luz entrará o equivalente a $1/60$ de segundo, o que corresponde à metade do tempo que entraria pela velocidade 30; os maiores números - 250, 500, 1.000 ou mais - representam maior velocidade para ser usada com o assunto em movimento. assunto passa através da lente e forma a imagem no filme.

Mecanismo para prender e transportar o filme - Toda câmara possui um mecanismo que mantém o filme na posição correta e permite movimentá-lo para a próxima exposição, manualmente ou por "motor".

Visor - É o dispositivo que dá a segurança de você poder tirar a foto da imagem requerida. Entretanto o ângulo abrangido pela lente da câmara é diferente do ângulo de visão de seus olhos. Portanto, a câmara vai registrar uma cena diferente da que você vê.

Muitos desses dispositivos, como por exemplo, o diafragma foram incorporados nas câmeras, pois o uso de lentes também possuem problemas como aberração esférica dos raios incidentes mais perto das bordas que sofrem uma refração maior do que aqueles que incidem em regiões centrais da lente. Outro problema encontrado no uso de lentes é a aberração cromática que é devido ao fato da distância focal da lente mudar com o comprimento de onda. isto pode ser reduzido drasticamente utilizando uma combinação de lentes. A distância focal da combinação de lentes depende da variação do índice de refração com relação ao comprimento de onda.

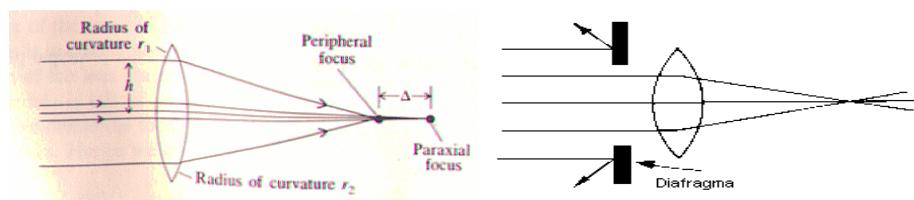


Fig1: Esta figura mostra como ocorre a aberração esférica e como ela pode ser contornada com a utilização de um diafragma

Projeto: A câmara de furo pode ser utilizada como instrumento simples de aprendizagem no processo de estudo de formação de imagens. Seu funcionamento é bastante interessante, pois não se utiliza nenhum tipo de lente para a formação da imagem e ao mesmo tempo exemplifica a propagação retilínea da luz.

Objetivos:

Os objetivo do trabalho é primeiramente a construção de uma câmara de furo e a coleta de imagens através de filmes fotográficos, e sua revelação, relacionando o tamanho do furo com a clareza da imagem obtida. Objetivamos também o estudo do funcionamento das máquinas fotográficas modernas, exemplificando o que foi feito ao longo dos anos para a melhora de qualidade das imagens, e para facilidade de obtê-las.

Teoria

A luz presente em todo o ambiente viaja de maneira retilínea. Quando atinge obstáculos uma série de fenômenos acontece. Estamos mais interessados aqui na reflexão da luz que incidiu no objeto. Cada ponto do objeto exposto a luz incidente reflete os raios de luz em todas as direções. Com a câmara de furo colocada a frente do objeto ela interceptará através do furo apenas um cone de luz que saiu de um determinado ponto do objeto. Quando fazemos o tamanho do furo bastante reduzido, o diâmetro do cone se reduzirá até o limite de o furo selecionar apenas um raio de luz de cada ponto do objeto. Fazendo um furo grande os cones de luz de cada ponto do objeto se tornarão cada vez maiores e resultarão em uma imagem borrada. Não seria possível, entretanto fazer um tamanho de furo extremamente reduzido, pois chegaria a difratar os raios que chegam no furo e dessa forma não haveria imagem formada. Além de difratar a quantidade de luz que seria selecionado pelo furo seria muito pouco para ser utilizada em fins práticos.

Podemos daqui por diante falar sobre algumas propriedades da luz aplicadas na formação de imagens e que são de extrema importância. Começamos com o tamanho da imagem formada na fotografia relacionada ao tamanho do objeto. Isto pode ser chamado de aumento. Utilizando aspectos básicos de geometria checamos que o aumento M depende da distância do objeto ao furo e da distância do furo ao filme onde se reproduzirá a imagem. A imagem formada pela câmara será invertida, ou seja, de ponta cabeça e lateralmente revertida. Fazendo a proporção da distância entre quaisquer dois pontos do objeto e os pontos equivalentes na imagem com as distâncias o (distância do objeto ao furo) e i (distância do furo a imagem) chegamos a fórmula do aumento.

$$M = -\frac{i}{o}$$

Outro aspecto crucial na obtenção de imagens com câmara de furo é relacionado ao contraste. De acordo com a figura abaixo podemos ver que um único ponto do objeto contribui com mais de um raio luminoso, ou seja, para cada ponto do objeto, digamos que um ponto não tem diâmetro, teremos um área circular na qual tal ponto incidirá seus raios luminosos. Somando-se todos os outros pontos do objeto teremos por fim a imagem composta ao invés da representação de todos os pontos do objeto uma área circular correspondente a cada ponto que chamamos de C . Dessa forma utilizando semelhança de triângulos obtemos.

A figura exemplifica o que ocorre na câmara de furo.

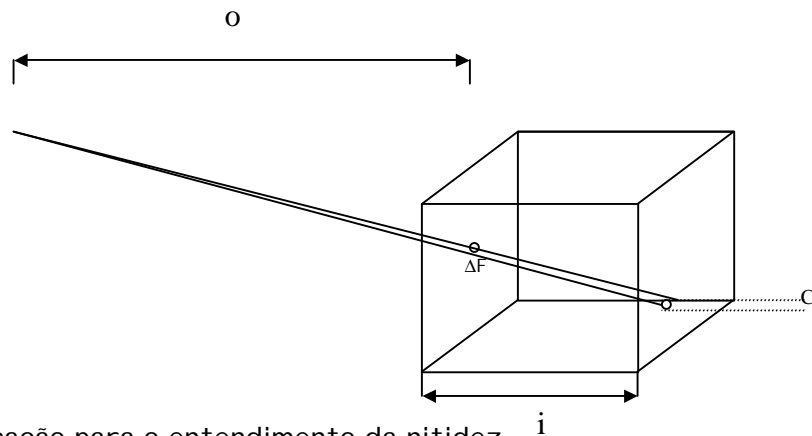


Fig2: Exemplificação para o entendimento da nitidez. i

Dessa forma dado que o tamanho do furo é ΔF .

$$C = \left(1 + \frac{i}{o}\right) \Delta F$$

Portanto, quando tivermos $\Delta F=0$, $C=0$ e a teremos a melhor nitidez. Entretanto considerando ΔF fixo a imagem mais nítida será obtida quando $o \rightarrow \infty$ ou quando $i \rightarrow 0$.

Outra propriedade importante que podemos analisar está relacionado a quantidade de luz que entra em uma câmara de furo em relação ao tamanho do furo a distância o e a distância i . Esta propriedade se chama luminosidade. Pelo teorema de Poynting a taxa temporal do fluxo de energia eletromagnética por unidade de área é dada pelo vetor de \mathbf{S} chamado vetor de Poynting. Ele é definido pelo produto vetorial do campo elétrico e magnético.

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{B}$$

A partir disso podemos então definir a irradiância I dada pela média do vetor \mathbf{S} . Substituindo os campos elétrico e magnético que são funções senoidais,

$$\frac{1}{r} \cos(kr - wt)$$

Temos que I é proporcional ao inverso do quadrado de r , ou seja,

$$I \propto r^{-2}$$

Portanto supondo que um ponto do objeto esteja a uma distância R do furo. Logo sabendo que a energia luminosa se distribui uniformemente numa esfera de área $4\pi R^2$ e que quando chega ao furo ela se limita ao tamanho ΔF do furo e então $4\pi \Delta F^2$. A eficiência é dada então por $\left(\frac{\Delta F}{R}\right)^2$ que é muito pequena dado que o tamanho do furo é sempre pequeno.

Desde que a câmara de furo começou a ser usada para a obtenção de fotos, fotógrafos e cientistas se perguntam qual seria a melhor largura do furo. Existem diversas fórmulas para calcular a largura ideal. Entretanto podemos intuitivamente colocar limites para a largura. Ele não pode ser muito grande pois como já discutimos a imagem ficara borrada, mas também não pode ser pequeno demais a ponto de fazer com que a luz sofra difração no furo. Com certeza o melhor tamanho dependerá da distância do furo ao papel fotográfico e da distância do objeto ao furo como no caso da nitidez. A distância focal da câmara de furo é dada pela distância do furo a imagem formada. Pelo que temos informação existem pelo menos 50 fórmulas publicadas que tentam determinar o melhor diâmetro do furo. Algumas fórmulas levam em consideração apenas as distâncias focais outras utilizam além da distância focal o comprimento de onda da luz incidente na câmara. Abaixo estão duas fórmulas diferentes. Uma delas presente na enciclopédia Britânica e a outra em um artigo publicado em 1940 na American Journal of Physics.

$$\Delta F = \sqrt{\text{ComprimentoOnda} \cdot \text{DistânciaFocal}}$$

Fórmula encontrada na *The Encyclopaedia Britannica*.

$$\Delta F = 2 \times \sqrt{0.67 \left(1 - \frac{i \cdot o}{i + o} \right)}$$

onde

λ =comprimento de onda da luz

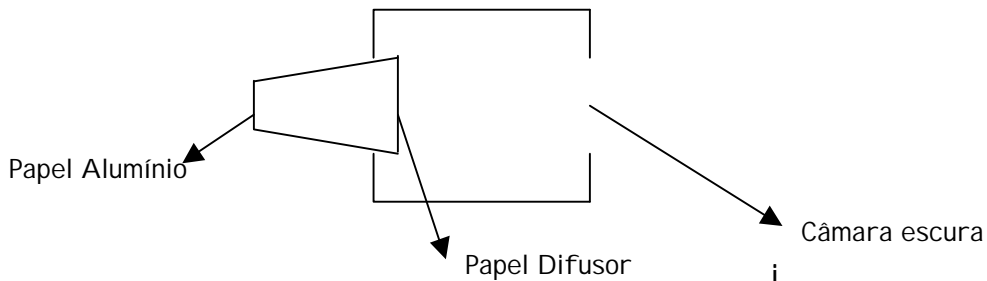
i=distância do furo ao filme

o= distância do objeto ao furo

(obtido de: Turner L.A. "Best definition with a Pinhole Camera" Am. Journal of Phys. Vol 8 1940)

Desenvolvimento:

O projeto teve início na construção de máquinas de furo de diversos tipos e tamanhos para a obtenção da melhor configuração para a obtenção otimizada de imagens. As câmaras feitas usam o mesmos princípios, entretanto seus parâmetros, como profundidade(onde a imagem se formará) e tamanho do furo foram variados de forma a se obter a confirmação dos estudos teóricos já feitos. No caso da câmara projetada abaixo o tamanho máximo da imagem será igual ao diâmetro da base mais larga do cone (4,5cm) o tamanho do cone é



de 15,0 cm. Portanto usando a relação de aumento $M = -\frac{i}{o}$ onde $i = 15,0 \text{ cm}$ e o é a distância do objeto observado ao furo então, dado t como tamanho do objeto, temos que:

$4,5/t > 15,0/o \Rightarrow o/t > 3,33$, ou seja a relação entre a distância do objeto ao furo e o tamanho do objeto tem de ser maior que 3,33 para que a imagem possa ser observada completamente pela câmara. Por exemplo, se um objeto tem 30m de altura, então a distância para observá-lo completamente terá de ser maior que 100 m. Foi possível também observar a relação entre o tamanho do furo e a nitidez da imagem formada. Quanto maior foi o furo feito no papel alumínio menor foi nitidez, a relação abaixo explica isso:

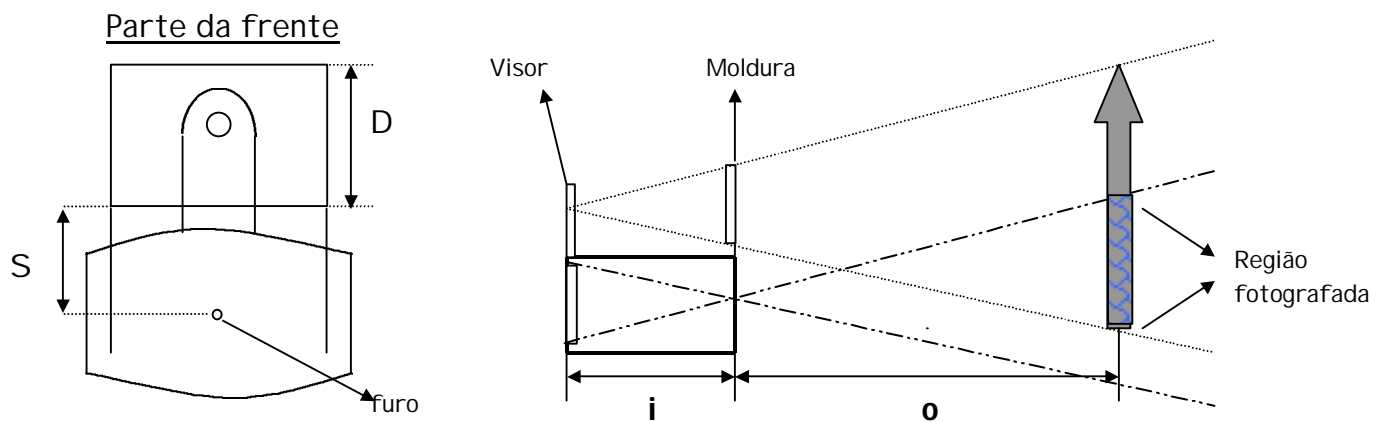
$C = \frac{o+i}{o} \cdot \Delta F$, onde ΔF é o diâmetro do furo e C é o tamanho obtido na imagem correspondente a cada ponto do objeto. Para um tamanho fixo do diâmetro do buraco, temos que, $C = \left(1 + \frac{i}{o}\right) \Delta F$, para o menor C (maior nitidez) possível é obtido para quando ($o \rightarrow \infty$) ou quando ($i \rightarrow 0$).

Todo esse processo é bastante intuitivo. Por exemplo, é muito intuitivo pensar que quanto maior o furo menor será a nitidez da imagem, assim como quanto mais distante se está do objeto menor é a imagem obtida.

Todas essas verificações feitas ajudaram no planejamento de uma câmara definitiva que pode ser usada na obtenção das imagens em filmes fotográficos. A técnica de fotografar com câmara de furo é empírica, depende de experiências e tentativas, observando e anotando sempre os erros e acertos.

A câmara de furo definitiva foi construída a partir de uma lata de plástico de dimensões: comprimento = $13,1 \pm 0,1 \text{ cm}$, largura = $9,2 \pm 0,1 \text{ cm}$. A altura da câmara não é regular e possui um valor de $7,2 \pm 0,1 \text{ cm}$ medida no eixo que atravessa o centro da câmara. A câmara foi pintada com tinta fosca preta para impedir a entrada de luz, além de ter sido feito um furo central grande na parte da frente da câmara e colocado um pedaço de papel de alumínio onde foi feito o furo com a agulha.

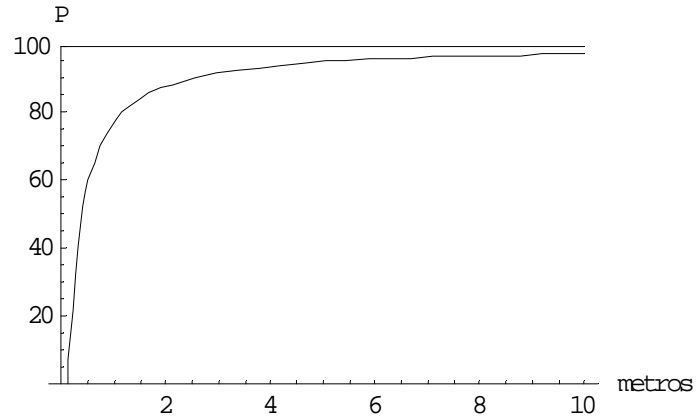
Preocupado com como apontar a câmara para o lugar certo que se deseja fotografar, para que possamos coletar realmente a imagem correta, fizemos um visor para pelo menos nos guiar. Esse visor foi feito em cima da câmara e consiste de um orifício na parte de traz e uma moldura na parte da frente de tal maneira que olhando pelo orifício possamos ver através da moldura a imagem na qual supostamente iremos fotografar. A fim de descobrirmos a fidelidade entre a imagem obtida no filme com relação aquela observada no visor através da moldura fizemos alguns cálculos que levou em conta principalmente a propagação retilínea da luz. Abaixo apresentamos um esquema que ajudou nos cálculos.



Podemos fazer o seguinte raciocínio. Quando formos fotografar vamos olhar pelo visor antes de deixar sensibilizar o filme. Portanto vamos supor que o objeto a ser fotografado esteja preenchendo completamente o campo visual observado através do visor, como observado na figura anterior por uma seta vertical delimitada pelos raios luminosos que saem de suas extremidades. Entretanto apenas parte do objeto pode ser sensibilizada no filme. Utilizando a propagação retilínea da luz calculamos a porcentagem P do tamanho total do objeto que será obtido no filme se enquadrarmos o objeto totalmente através da moldura. Dessa forma temos a equação: Tomando $S = 5,3 \pm 0,1$ cm, $D = 5,5 \pm 0,1$ cm e $i = 13,1 \pm 0,1$ cm

$$P = \frac{o - i \left(\frac{S}{D} \right)}{o + i} = \frac{o - 0,131 \left(\frac{5,3}{5,5} \right)}{o + 0,131}$$

Podemos então traçar um gráfico de P(%) versus o(m).

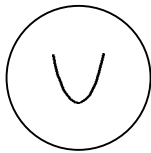


Graf1: Gráfico da porcentagem(P) da altura total da imagem observada completamente no campo visual da moldura, que será fotografada pela câmara, versus a distância do objeto a ser fotografado.

Resultados

Após a construção da câmara e do seu visor fiz algumas fotos com filme preto e branco de uma lâmpada de filamento em formato de U. Abaixo apresentamos um esquema.

Lado da frente da lâmpada



Foto



Pode ser observada claramente a inversão da imagem obtida com a câmara de furo. A foto acima foi obtida com a lâmpada a uma distância de 16cm do furo. De acordo com a fórmula $M = -\frac{i}{o} = \frac{t}{T}$ temos que t deveria ter a seguinte dimensão $t = T \frac{i}{o}$ e logo $t = 1,5 \cdot \frac{13,1}{16} = 1,23\text{cm}$ (altura do objeto). Medindo o valor da altura da imagem formada no filme encontramos aproximadamente $1,2 \pm 0,05\text{cm}$ que está totalmente de acordo com a teoria.

Com o intuito de qualificar como o tamanho do furo interfere na obtenção das imagens realizamos testes com 2 tamanhos de furos diferentes. Com um tamanho de furo um pouco maior que o diâmetro de uma agulha obtivemos uma imagem tirada a luz do dia com um tempo de exposição de 5 segundos.

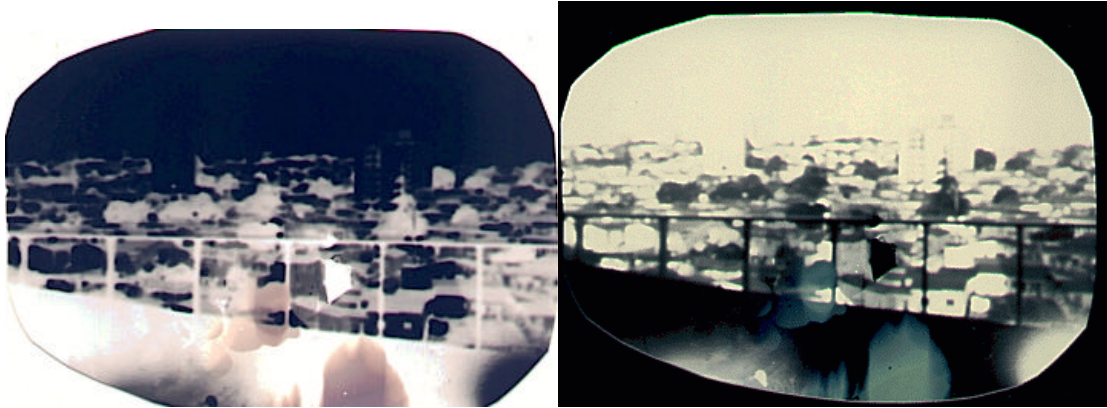


Foto1: Imagem da janela de um apartamento com a câmara apontando para os prédios e casas dos arredores. A imagem da esquerda foi a foto obtida diretamente com a câmara, e a direita está o positivo dela feito no computador.

Como podemos observar a foto acima está sem nitidez, ou seja, a imagem aparece um pouco borrada. Além disso nota-se a hipersensibilização do filme mostrando que deveria haver um tempo menor de exposição. Apenas dessa foto podemos tirar algumas conclusões. Notamos claramente a dependência do tamanho do furo com a nitidez da imagem e a dependência do furo com a luminosidade que entra na câmara.

A fim de tentarmos melhorar a imagem fiz apenas uma mudança para a próxima tomada, que foi a diminuição do diâmetro do furo que agora passou a ser exatamente do tamanho de uma agulha. O tempo de exposição continuou a ser 5 segundos como na anterior.

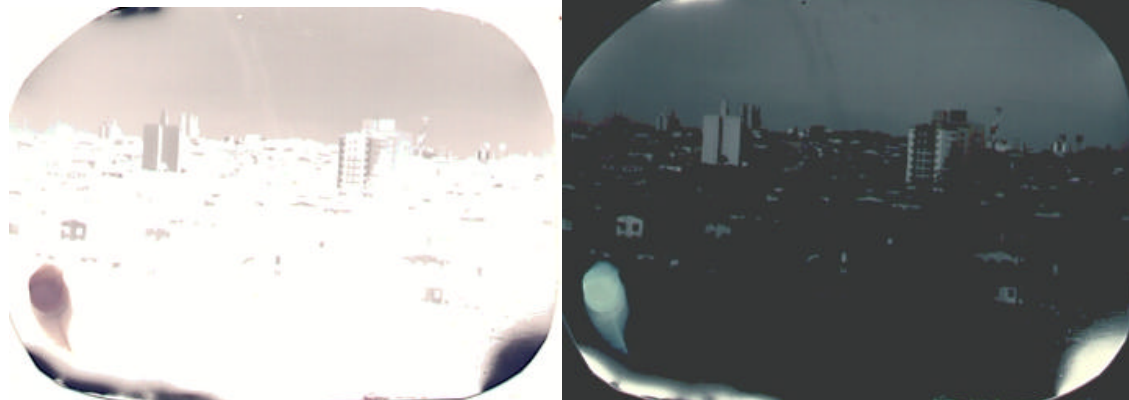


Foto2: Mesma imagem da janela da foto1. A imagem da esquerda foi a foto obtida diretamente com a câmara, e a direita está o positivo dela feito no computador.

Sabendo que o tempo de exposição foi o mesmo da foto1 e que a única alteração foi feita com o intuito de analisar o comprometimento da imagem com o diâmetro do furo, concluímos que mesmo com uma pequena diferença no diâmetro do furo a imagem muda completamente. Vemos que a nitidez é bem maior e que a redução no furo reduz muito a quantidade de luz que entra na câmara.

Para fazer uma foto que tivesse um bom comprometimento entre a nitidez e o tempo de exposição fizemos mais um teste com a mesma imagem. Dessa vez mantivemos o diâmetro do furo e entretanto dobramos o tempo de exposição, passando para 10 segundos.



Foto3: Nessa foto podemos perceber o ajuste correto entre o tamanho do furo e o tempo de exposição.

As imagens nas quais a fonte de luz é o sol não existe dificuldade em sensibilizar o filme, como vimos na foto anterior bastou 10 segundos para que o filme fosse sensibilizado corretamente. Entretanto para fotos de interiores é bem mais difícil a obtenção de imagens. Sabendo disso começamos a tentativa de tirar a foto de uma planta dentro de um cômodo. A primeira foto foi exposta com um tempo de 2 minutos e sua imagem está abaixo.

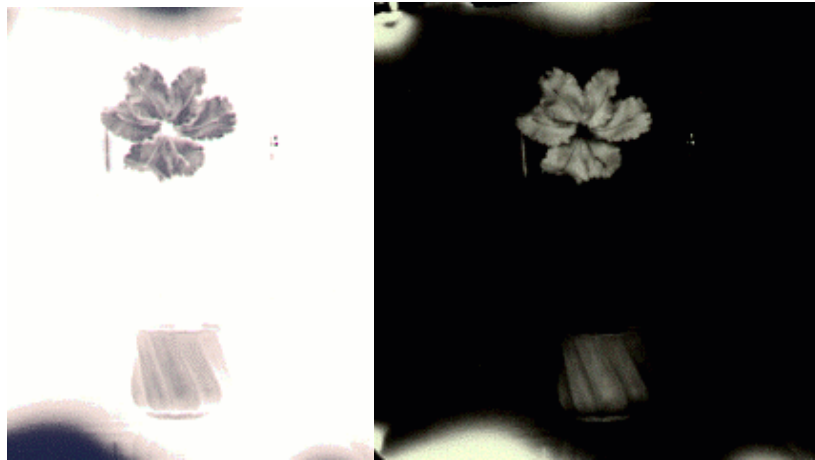
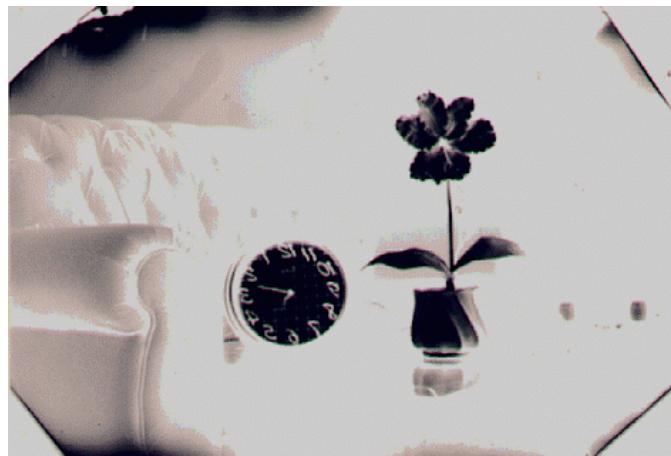
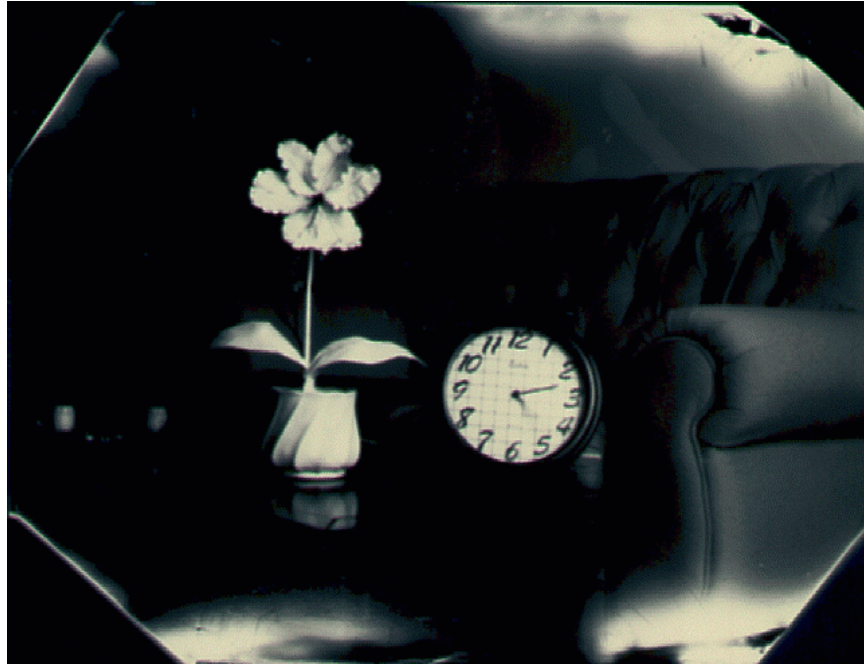


Foto4: Imagem de um vaso e uma flor. A imagem da esquerda foi a foto obtida diretamente com a câmara, e a direita está o positivo dela feito no computador.

A foto abaixo foi obtida com um tempo de exposição de 5 minutos para a flor saísse com detalhes. Além disso, foi inserido no campo visual da máquina um relógio de parede. O plano de fundo não nos importava muito pois tínhamos em mente que não era bastante luminoso para sensibilizar o filme. Entretanto para nossa surpresa o sofá atrás dos objetos também saiu.



(a)



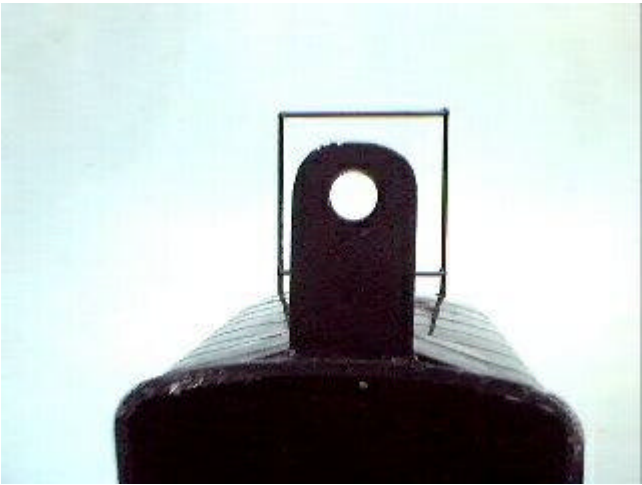
(b)

Foto5: (a) Foto original que sai diretamente da câmara. (b) Positivo feito pelo computador.

Esta última foto é muito interessante, pois podemos comprovar mais uma vez, não só a inversão na altura da imagem, mas também ocorre a inversão lateral facilmente observada pelos números do relógio. Outro aspecto interessante está relacionada ao movimento do ponteiro dos minutos que praticamente não dá para ser observado na foto, mas que com um pouco de esforço nota-se uma mancha preta em seu caminho. Dá até para ver mais ou menos que o tempo de exposição foi de 5 minutos. O horário da foto foi 2:20hs como vemos na foto.

Fotos do visor (a colocar)

Fotos da Câmara



Aparato Utilizado

- » Caixa de papelão para o visualizador.
- » Lata de Plástico –utilizado para fazer o corpo da câmara.
- » Arame – utilizado no visor.
- » Tinta Fosca preta.
- » Papel alumínio e alfinete.
- » Papel Fotográfico Kodak-Kodabrome- Preto e Branco 8.9x13.8cm
- » Revelador Dektol para papel(Kodak)
- » Fixador Universal(Kodak)
- » Como Interruptor foi usado apenas água corrente.

Conclusão

O trabalho sobre câmara de furo é extremamente antigo. Entretanto percebi que quando mostrado seus resultados para as pessoas elas não acreditam muito o que apenas um furo pode fazer. Um aspecto importante foi o da construção de um visor ou mira na qual pode ser usada para selecionar a imagem que queremos fotografar. Antes da construção desse visor a tarefa de acertar o objeto a ser fotografado era bem árdua, agora com o visor não tivemos problemas em nenhuma das tomadas. As fotos tiradas foram muito importantes na caracterização do tamanho do furo e do tempo de exposição.

Bibliografia:

Páginas na internet:

www.geocities.com/prof_lunazzi/introducao_a_imagens/intr_geo.pdf

www.cenaurbana.com.br/cultura/fotografia/pin_hole01.htm

www.fisica.net/profpp/fotografia.htm

www.eba.ufmg.br/cfalieri/links.html

<http://neon.airtime.co.uk/pinhole/>

www.ifi.unicamp.br/~accosta/

<http://www.kodak.com.br/BR/pt/fotografia/curso/index.shtml>

Grant R. Fowles, Introduction To Modern Optics, Cap2.

M. Pirenne, Optics, Painting and Photography

