

Curva Característica de um Filme Fotográfico

(Characteristic curve for a photographic film)

Eduardo Ferrara e Mikiya Muramatsu

Instituto Física, Universidade de São Paulo

Caixa Postal 66318, CEP: 05508-900 São Paulo (SP), Brasil

Trabalho recebido em 3 de agosto de 1996

Neste trabalho descrevemos o procedimento para se determinar a curva de resposta de filme fotográfico (Fuji HR-II) que consiste na relação entre a densidade óptica e o logaritmo da energia de exposição no filme. A curva é obtida experimentalmente utilizando-se componentes básicos de um laboratório de óptica: laser de He-Ne, obturador, diafragma e sistema expansor-colimador. Através do levantamento da curva de resposta do filme fotográfico podemos estudar a sensibilidade da emulsão à radiação e determinar a energia adequada que deve incidir sobre o filme, para um melhor registro de imagens.

In this work we describe the procedure to plot the curve of photographic negative (Fuji HR-II), that display the plot of optical density vs. the logarithm of exposure. This curve is get by experimental method using basic optical components: He-Ne laser beam, shutter, diaphragm and expander collimator. Using this curve we can study the sensibility of the emulsion and the value of exposure to achieve good degree of accuracy of photographic images.

1. Introdução

A processo de fotografia surgiu pelo desejo de se registrar imagens perfeitas por meio de uma câmera escura, onde uma lente projetava a imagem reduzida em um filme. Para isso os filmes deviam se alterar pela incidência de luz (isto é, escurecerem na presença da luz e nos fornecendo imagens negativas), para em seguida serem copiados em papel, nos fornecendo as imagens fotografadas.

A emulsão de haleto de prata utilizada em fotografia, á mais de 100 anos apresenta um grande grau de resolução e de sensibilidade, por isso o seu uso é largamente difundido no registro de luz monocromática, além de facilidade de acesso e manuseio simples.

A emulsão consiste em uma camada de gelatina de 10 mm de espessura aproximadamente, onde existe a suspensão de minúsculos grãos de haleto de prata precipitados na gelatina, o que permite a entrada e saída dos líquidos com produtos químicos que processam os grãos. Estes grãos se alteram pela incidência de luz fornecendo imagens negativas (imagens latentes) até

passarem pelo processamento químico denominados de revelação e fixação.

O revelador decompõe os grãos de prata que foram expostos a luz com uma velocidade muito maior do que os grãos não expostos, assim o processo é interrompido antes que os grãos expostos comecem a ser decompostos. Em seguida lava-se o filme com o fixador, que dissolve os sais de prata não expostos, que são retirados quando o filme é lavado sob circulação de água.

A nitidez ou resolução de detalhes também depende da reflexão de luz espalhada no interior da emulsão e para eliminar este efeito indesejável os filmes fotográficos contém atrás da camada de emulsão um revestimento anti-halo para evitar a reflexão produzida pela exposição a luz.

Uma das primeiras tentativas no campo da fotografia foi realizada pelo francês Hércules Florence, em Campinas no ano de 1833, utilizando uma câmera escura e nitreto de prata, fixando parcialmente com lavagem em água comum. Também Em 1833, utilizando cloreto de ouro e amoníaco (urina), Hércules Florence consegue um fixador perfeito para suas cópias

[2,3].

A sensibilidade da emulsão depende de vários fatores, tais como :

- A frequência da luz incidente, que pode ser interpretada através da teoria quântica da luz. A absorção de fótons aumenta a energia das moléculas, dando lhes atividades, que originando o desenvolvimento de processos químicos dentro da substância. Quanto menor é a energia dada pela relação $E = h\nu$, maior é a sua atividade química. No caso trabalhamos com laser de He-Ne de 5 μ W de potência.
- O diâmetro do grão de sais de prata, que determina o limite de resolução do filme. O filme estudado tem resolução bem abaixo dos filmes holográficos (acima de 1000 linhas/mm), mas testes preliminares indicam serem adequados para construção de redes de difração para fins didáticos.
- A energia de exposição recebida pela emulsão, modelando a sua densidade óptica para o registro de imagem. Para isso é necessário conhecer a relação entre essa energia incidente e a densidade resultante, que é o tema desse trabalho.

2. Parâmetros de um filme fotográfico

Para fotografar imagens com a maior nitidez possível é necessário conhecer a energia de exposição, a qual é submetido um filme fotográfico. Uma forma de determinar esse valor consiste em obter a curva característica de um filme, que representa uma relação entre a energia de exposição de um filme (E) e sua densidade óptica (D).

Para traçarmos esta curva, nos baseamos no fato de que a energia de exposição necessária para escurecer um filme depende da intensidade (ou irradiância) da radiação (I) multiplicada pelo intervalo de tempo (Δt) de exposição.

$$E = I \cdot \Delta t \quad (1)$$

conhecida como lei da reciprocidade.

Resumidamente esta lei afirma que a energia resultante de uma exposição curta e intensidade de luz forte é equivalente à energia obtida por uma exposição longa com intensidade luminosa fraca. A lei da reciprocidade

se aplica para todos os tipos de filmes e em todos os casos exceto para valores extremos de exposição, que será discutido no final deste artigo.

A transmitância τ de uma película processada quimicamente é definida como

$$\tau = I/I_0 \quad (2)$$

onde I é o valor da intensidade emergente e I_0 da incidente. Por outro lado a densidade óptica, definida como

$$D = \log.(1/\tau) \quad (3)$$

indica que quanto maior a energia de exposição menor a transmitância τ e portanto maior sua densidade óptica.

Dessa maneira obtemos experimentalmente a curva da densidade óptica em função do logaritmo da energia de exposição, denominada de curva característica do filme ou curva H&D (Hurter & Driffield).

3. Descrição experimental e resultados

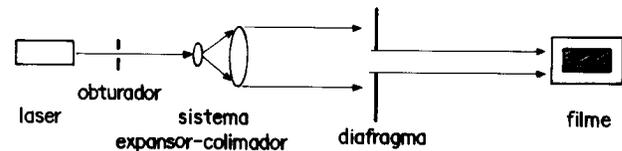


Figure 1. Arranjo experimental para obtenção curva característica de um filme.

Utilizando o arranjo experimental da figura-1, submetemos o filme fotográfico Fuji HR-II (ASA 9 e resolução 400 l/mm) a diversas exposições, variando o tempo de cada exposição e mantendo a intensidade da luz constante. Para isso um feixe de laser de He-Ne de 5 mW de potência é expandido através de um sistema expansor colimador de tal forma que a área exposta seja controlada por um diafragma e o intervalo de tempo de exposição Δt através de um obturador eletrônico, assim determinando a energia para cada exposição do filme ao feixe de luz laser. Todo o conjunto foi montado em uma mesa óptica isolada da luz ambiental.

Após o processo de revelação e fixação do filme, incidi-se um feixe de luz laser sobre o filme e com um foto-detector encontra-se a intensidade do feixe de laser incidente e do feixe emergente e assim medimos a transmitância e a densidade óptica D .

Os dados experimentais estão listados na tabela-1 e a partir dela traçamos a curva característica do filme Fuji HR-II, mostrada na figura 2.

Tabela - 1 - Valores experimentais do logaritmo da energia E (μJ) e a densidade óptica D para o filme Fuji HR-II.

$\log. E$	$\sigma_{\log. E}$	$6D = \log.(1/T)$	σ_D
0.146	0.012	0.17	0.04
0.447	0.012	0.50	0.06
0.623	0.012	0.64	0.09
0.748	0.012	0.82	0.02
0.982	0.054	1.22	0.03
1.107	0.054	1.34	0.03
1.204	0.054	1.52	0.04
1.505	0.054	1.64	0.06
1.806	0.054	1.74	0.07

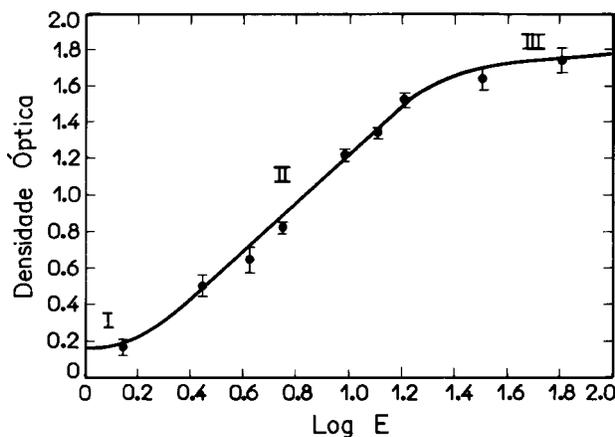


Figura 2. Curva característica para o filme Fuji HR II.

3. Análise e conclusões

A curva característica obtida neste experimento é a tradicional curva H&D (Hunter & Driffield), onde se relaciona a densidade óptica D com a energia de exposição, sendo esta última em escala logaritmo devido a resposta do olho humano. Dessa forma obtemos uma relação linear entre a densidade óptica e a energia de exposição. Vemos que a curva característica de um negativo fotográfico pode ser dividida em três regiões distintas:

I. Região subexposta - quando a energia de exposição está abaixo de um certo nível a densidade é aproximadamente independente dessa energia, é a região da curva onde a energia é insuficiente para obtenção de imagens;

II. Região linear - A partir de um certo valor ($\approx 0.3\mu\text{J}$) a densidade óptica cresce com a energia incidente havendo uma linearidade proporcional entre a densidade e a energia. Um parâmetro importante dessa curva é a sua inclinação que representa o contraste ou gama (γ) do filme. Os valores altos e baixos de γ definem respectivamente filmes de alto e baixo contraste com valores típicos entre 3 e 1. O valor de γ depende de alguns fatores, tais como o tipo de emulsão, a natureza do revelador / fixador e o tempo de processamento químico (nesse caso é até normal duplicar o contraste triplicando o tempo de processamento).

III. Região saturada - Aqui novamente não há relação da densidade do filme com o logaritmo da energia de exposição.

Como mencionamos anteriormente, a lei da reciprocidade falha para valores extremos de exposição (região I e III). Procuramos trabalhar sempre na região linear da curva, onde a variação da energia incidente é medida pela variação na densidade óptica do filme negativo. Para este particular do filme a energia de exposição é da ordem de $1\mu\text{J}$ por unidade de área.

Uma aplicação prática deste filme foi a construção de redes de difração holográfica incidindo-se duas ondas planas com pequena inclinação ($\theta \cong 13^\circ$) obtendo-se padrões de difração de até 3^o ordem. Outra possível aplicação é o registro de hologramas gerados por computador, levando-se em conta o limite de resolução desse filme (da ordem de $2,5\mu\text{m}$).

Agradecimentos

Eduardo Ferrara agradece ao apoio financeiro do CNPq e a colaboração da estudante Simone Dias Moreira da Silva na elaboração deste trabalho.

References

1. GOODMAN, J.W. *Introduction to Fourier Optics*, Mc Graw-Hill Book Co (1968).
2. KOSSOY, B. Hércules Florence, ed. *Livraria Duas Cidades*, (1980).
3. LUNAZZI, J.J. *Fotografia* (apostila).

4. SMITH, H.M. *Topics in Applied Physics*; (20),
Spring-Verlag,(1977).

5. YOUNG, M. *Optics and Lasers*; Spring-Verlag,
(1992).