

## MERCOFRIO 2006 - V CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL

### METODOLOGIA PARA ANALISAR A UNIFORMIDADE DE ILUMINAÇÃO

**Luis Horacio Vera** – lh\_vera@yahoo.com.ar

Universidad Nacional de Nordeste, Departamento de Ingeniería Mecánica

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Energia Solar - PROMEC

**Airton Cabral de Andrade** – kbral@puers.br

Pontifícia Universidade Católica do RS, Faculdade de Física

**Arno Krenzinger** – arno@mecanica.ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Energia Solar - PROMEC

#### F14 - Medição e Instrumentação

**Resumo.** *Há diferentes características que definem a qualidade de uma determinada fonte de iluminação. Em algumas aplicações há a necessidade de se obter uma distribuição uniforme de iluminação sobre um plano, como é o caso, por exemplo, da iluminação utilizada nos ensaios de módulos fotovoltaicos e para medição de células fotovoltaicas. Por outro lado há uma grande dificuldade em determinar quantitativamente o grau de uniformidade obtido em um sistema de iluminação através de sensores fotossensíveis. Quando se utiliza apenas um sensor é necessário fazer uma varredura contemplando muitas posições e, por outro lado, a utilização de um array de sensores exige a normalização entre os mesmos. Este trabalho propõe uma metodologia baseada na utilização de uma câmera fotográfica digital e uma superfície refletora difusa cinza, comprovadamente uniforme para registrar uma imagem onde a única razão para diferentes intensidades na reflexão seria a não uniformidade da fonte de radiação. A imagem é transferida a um microcomputador onde os tons de cinza são convertidos em uma matriz que permite a análise numérica da uniformidade. O trabalho apresenta uma análise gráfica da uniformidade de diversas fontes de luz e analisa o grau de precisão obtido com esta técnica bem como suas limitações.*

**Palavras-chave:** *Fonte de Luz, Uniformidade de Iluminação, Processamento de imagens.*

## 1. INTRODUÇÃO

Quando se analisa uma fonte de luz, uma das principais informações que se deseja ter é a sua distribuição no espaço, já, que desta forma, é possível conhecer e prever seu comportamento dentro de um entorno a iluminar. A forma de obter esta informação é realizar ensaios por meio de medidores fotométricos. Estes dispositivos constam de um sensor fotoelétrico, que permite medir a intensidade de luz radiada em diferentes direções.

Por outro lado, a grande evolução da eletrônica nas últimas décadas levou ao desenvolvimento de sensores de imagem conhecidos com o nome de CCD's (Charge Coupled Devices). Estes elementos capturam uma cena e a transformam em uma imagem digital, onde a imagem captada se traduz numa matriz de pontos ou pixels. Em cada pixel encontra-se uma informação proporcional à radiação recebida pelo sensor, gerando assim uma matriz de pontos que armazena uma grande quantidade de informação lumínica numa única medição.

A análise de imagens a partir da utilização de dispositivos CCD é objeto de crescente interesse em diferentes áreas de conhecimento, como nos seguintes campos: astronomia (Horch, 2000); meteorologia (Seiz e Baltzavias, 2001), fotometria (Garriga, 2003), entre outras.

A aplicação deste tipo de análise permite caracterizar diferentes fontes de luz comerciais e verificar sua uniformidade de distribuição espacial de radiação.

Na área de energia solar muitas pesquisas são desenvolvidas a partir da análise de imagens digitais (Rossini e Krenzinger, 2000). No caso particular da tecnologia solar fotovoltaica, a obtenção de imagens através de dispositivos CCD, permitiria analisar e caracterizar a uniformidade da distribuição espacial da luz de um simulador solar.

Outra das aplicações é nos ensaios para determinar a potencia a entregar por um dispositivo fotovoltaico sob diferentes níveis de radiação. Para isto deve-se realizar um ensaio sob determinadas condições (norma NBR12302/NB1386). Norma que especifica a máxima variação da uniformidade espacial, estabilidade temporal de radiação e distribuição do espectro. Considerando isto, as metodologias para efetuar estas medições são: reduzir a radiação solar que chega ao módulo fotovoltaico por meio de superfícies difusas ou por telas de sombreamento (Vera et al., 2003). Para ambos casos a utilização de câmeras com sensores CCD permitirá a análise ponto a ponto da imagem, e determinar se a metodologia de ensaio cumpre o especificado na norma.

Para iluminação geral de ambientes, a importância desta análise reside no fato de que grandes variações na uniformidade da iluminação produzem uma fadiga visual e uma sensação de desconforto (deslumbramento).

## **1.1 Objetivo do Trabalho**

O objetivo deste trabalho consiste em conseguir que câmeras digitais comerciais com sensores CCD se comportem como um fotômetro de resolução espacial, para medir luminâncias em qualquer ponto da uma cena fotografada. Para o análise das imagens se desenvolverá um programa computacional escrito na linguagem Visual Basic 5.0 que permita o processamento, análise e categorização das fontes de luz.

Para cumprir este objetivo forma desenvolvidas uma metodologia e ferramentas que permitam aplicar a capacidade dos sensores CCD na medição dos parâmetros fotométricos de fontes de luz.

## **1.2 Câmera CCD como Dispositivo de Aquisição de Imagens**

As câmeras CCD têm ampla disponibilidade comercial e baixo custo, além de uma série de outras vantagens que a destacam como dispositivo de aquisição de imagens.

Basicamente, o CCD é um sensor de silício composto por uma matriz de células semicondutoras fotossensíveis. Cada célula, chamada de pixel, atua como um capacitor, armazenando carga elétrica proporcional à energia luminosa incidente durante um certo tempo de integração. Assim, quando o sensor é exposto à luz, a energia dos fótons incidentes em cada pixel, durante o tempo de integração, é armazenada e transferida para um amplificador, que converte a carga de cada pixel em tensão elétrica.

Desta forma, é obtido na saída um sinal analógico. O sinal analógico é convertido no formato digital em código binário. Neste caso, o maior número de bits corresponde a uma maior resolução. Finalmente, os dados em formato digital são processados e como resultado uma imagem é visualizada e gravada, para posteriormente ser transformada em uma matriz numérica que proporciona uma informação que permite caracterizar a distribuição superficial da intensidade da radiação.

O esquema simples descrito anteriormente só permite a geração de imagens em tonalidades de cinzas, pois, devido à natureza do efeito fotovoltaico, não se pode distinguir entre fótons de diferentes comprimentos de onda. Sendo assim, para adquirir imagens em cores (como ocorre com as câmeras digitais convencionais) deve-se efetuar uma combinação de três cores: vermelho(R), verde(G) e azul (B), chamados cores aditivas.

As câmeras digitais convencionais para obter uma imagem colorida possuem uma cobertura em cada pixel com um material que filtre as componentes RGB.

Considerando  $R(\lambda)$  uma função que descreve a curva de sensibilidade para a cor vermelha, e  $I(\lambda)$  a densidade de radiação espectral que chega ao sensor, a resposta do sensor seria expressa na Eq. 1.

$$r = \int R(\lambda).I(\lambda).d\lambda \quad (1)$$

Esta integral é calculada sobre todo o espectro, mas  $R(\lambda)$  só é válida dentro de uma faixa de integração. Da mesma forma obtém-se as componentes verde e azul. Assim um vermelho forte seria o vetor normalizado (1, 0, 0), enquanto um verde forte seria (0, 1, 0). Este tipo de codificação é aditiva, ou seja, ao juntar os vetores de cada componente eles somam-se para formar a coloração real. Branco por exemplo é o vetor normalizado (1, 1, 1) correspondente ao (R,G,B).

Intercalando pixels com estes três tipos de filtros, pode-se compor digitalmente uma imagem colorida. Este tipo de arranjo denomina-se filtro de Bayer e conta com mais pixels verdes para obter uma reprodução da imagem próxima à sensibilidade visual humana.

Ao utilizar a distribuição de Bayer conta-se com um valor de cor por pixel e para cada pixel haverá 8 vizinhos de cores distintos ao dele, para o azul e vermelho, e 4 para o verde, formando-se a estrutura dos filtros de Bayer. Este tipo de formato é o tradicional RGB linear. Para obter o valor real do pixel se utiliza a Eq. 2 recomendada pela ITU-R BT.601 *standard (International Telecommunications Union)*

$$Y = 0,299.R + 0,587.G + 0,114.B \quad (2)$$

Note-se que esta equação explica intuitivamente o fato que nos filtros de Bayer existam mais pixels verdes que pixels vermelhos e azuis.

No caso específico de uma codificação de três cores com 8 bits (256 tons para cada componente) da origem ao conceito de cores verdadeiros ou 16 milhões de cores (256x256x256).

Ao analisar a informação que se obtém das fotos digitais para determinar a luminância, deve-se trabalhar com o valor real da radiação recebida, ou seja, transformar esta imagem colorida em escala de cinzas, assim a imagem de 8 bits por canal é convertida em outra imagem onde os valores numéricos de cada componente são iguais. Por exemplo se temos: (R,G,B) = (234, 100, 134) o algoritmo levaria a que cada pixel se transforme linearmente de modo que (R,G,B) = (128, 128, 128) obtendo-se uma imagem cinza.

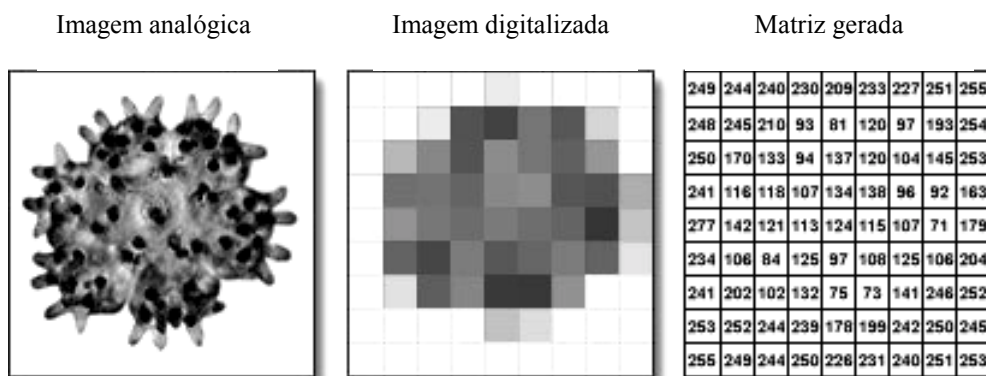


Figura 2 .- Exemplo de transformação e digitalização de uma imagem (Kenneth, 2006).

Como exemplo a Figura 2 apresenta a digitalização de uma imagem. A transformação foi feita usando uma matriz quadrangular de 9 por 9 pixels, e a quantificação consiste numa paleta de 256 níveis de cinza (onde 0 indica a cor preta e 255 a cor branca).

### **1.3 Etapas do Processamento de Imagens Digitais**

Genericamente, qualquer trabalho que envolve um sistema de processamento de imagens conta com as seguintes etapas: aquisição, digitalização, análise, armazenamento e exibição.

Problemas associados a cada uma destas etapas são tema de diversas pesquisas, como por exemplo: a avaliação do comportamento de determinados sensores CCD para um sistema de aquisição de imagens (Vora, 2001); desenvolvimento de métodos para o processamento das imagens em diferentes aplicações na etapa de análise (Garrido, 2001)

## **2. METODOLOGIA**

Foi estabelecida uma metodologia de caracterização do sistema levando em conta os aspectos que possam induzir a um erro na medição.

A luz que incide no sensor é refletida numa superfície que atua como emissor secundário, em vez da luz chegar diretamente da fonte.

Medindo o brilho da luz refletida e conhecendo o modelo de reflexão da superfície pode-se determinar a intensidade luminosa incidente na superfície.

Uma vez definido e configurado o sistema de medição, o seguinte passo consiste na análise da distribuição de intensidades lumínicas.

Logo se realiza uma avaliação do erro de medição, podendo assim avaliar sua confiabilidade.

Por último, se realizaram diferentes exemplos práticos para demonstrar a viabilidade do sistema.

### **2.1 Caracterização do Sistema**

O método é baseado na hipótese de que existe uma relação linear entre os valores de tons cinzas obtidos na imagem digital e a luminância recebida numa fotografia, esta hipótese já foi comprovada por vários autores (Garrido, 2000, Vora, 2001; Roper Scientific, 2006). As câmeras com as que foram feitas as medições possuíam um controle de tempo de exposição, de abertura do obturador e as imagens foram gravadas em formato bmp ou tiff, formatos nos que não existe perda de informação. As câmeras digitais comerciais em geral não têm estas possibilidades, as imagens são gravadas em formato jpg, onde pode existir uma perda de informação, e a luz que chega ao sensor é diretamente controlado pelo software da câmera

### **2.2 Elementos utilizados**

Para executar a caracterização do sistema se utilizaram:

- Duas câmeras digitais comerciais de diferentes marcas com sensor do tipo CCD.
- Papel de cor cinza opaco utilizado como superfície de referencia (emissor secundário).
- Dispositivo para determinar linearidade entre valores de tons de cinza e luminância.
- Computador, que dispõe do software apropriado para processar e analisar as imagens.

O primeiro passo para a caracterização é adotar um campo de luminâncias uniforme sobre uma superfície plana e opaca. Desta forma consegue-se relacionar a luminância media da superfície com um nível de cinza obtido na imagem digital.

Para assegurar a uniformidade da iluminação sobre a superfície utilizou-se como fonte de luz o Sol, já que apresenta uma radiação direta totalmente uniforme (Iqbal, 1983). Para evitar que a radiação difusa afete a medição, a superfície de referencia foi colocada dentro de uma estrutura com forma de pirâmide truncada que permite a entrada da radiação solar direta através de uma fresta. A estrutura foi orientada de forma que a abertura deixe entrar só a radiação solar.

Para analisar a correspondência entre o tom de cinza e o brilho captado pela câmara, foi projetado e construído um dispositivo que possui, sobre uma mesma superfície, áreas com diferentes ângulos de inclinação.

Com o dispositivo dentro da estrutura, na face oposta ao lugar de entrada da radiação solar e perpendicular à radiação solar direta foram tiradas fotos com as duas câmeras digitais (Figura 4) para sua análise e comparação.

Assumiu-se que a superfície de referencia, de cor cinza fosco, é Lambertiana e aplicando a Lei do co-seno para cada uma das áreas determinou-se a relação entre os valores medidos e os valores do co-seno para igual inclinação, e dessa forma obter a relação entre a radiação recebida e nível de cinza lido.



Figura 4.- Dispositivo utilizado para verificar a correspondência entre valores captados na superfície cinza de referencia e o co-seno de igual ângulo.

Os parâmetros que podem afetar no comportamento do sistema são:

- A resposta espectral do sensor CCD não se corresponde com a curva de visão fotópica segundo a CIE (*International Commission On Illumination*), pelo que possui filtros ópticos para reproduzir a resposta espectral, pelo que a sinal captada é uma transformação da sinal detectada
- O sensor CCD não fica uniformemente iluminado, o centro do sensor fica mais iluminado que o contorno (efeito da lente).
- Transformação de uma sinal discreta num valor inteiro (nível de cinza) que varia de 0 a 255.
- Existe também a possibilidade de saturação do sensor quando algum dos pixels da imagem supere o valor de 255, introduzindo um erro na leitura.
- A sujeira que pode se depositar na lente ou sobre a superfície cinza de referencia ocasionaria uma falsa medida nessa região.
- As aberrações do próprio sistema fotográfico.

### 2.3 Tratamento das imagens

Una vez efetuada a captura de imagens, as fotos levadas ao computador, são transformadas a tom de cinzas através do seguinte algoritmo que foi implementado num programa computacional desenvolvido em Visual Basic 5.0.

```
For x = 0 To x
  For y = 0 To y
    'Valor da cor do pixel (z) na posição (x, y)
    cor = GetPixel(z, x, y)
    ' Valor de cada componente
    Red = cor Mod 256
```

```
green = Int((cor / 256) Mod 256
Blue = Int(cor / 65536)
'Conversão utilizando ITU standard para luminancia
red2 = Int((299 * Red + 587 * green + 114 * Blue) / 1000)
green2 = red2
blue2 = red2
'Especifica-se o brilho do ton de cinza para o pixel
SetPixel z, x, y, RGB(red2, green2, blue2)
Next y
Next x
```

Embora a maioria dos programas de tratamento de imagens possuam ferramentas para transformar uma imagem a cores em tons de cinza, devido a falta de conhecimento dos algoritmos aplicados, optou-se por utilizar o algoritmo apresentado.

Com a imagem em tons de cinza no programa computacional desenvolvido, gerou-se uma matriz de 320 x 240 pixels como os correspondentes valores de brilho. A matriz poderia ser maior, mas seu manuseio demandaria mais tempo de processamento.

Este programa permite avaliar uma imagem o conjunto de imagens, extraindo seus parâmetros característicos:

- Nível de cinza meio ( $N_{c_{max}}$ ).
- Nível de cinza máximo ( $N_{c_{min}}$ )
- Nível de cinza mínimo ( $N_{c_m}$ )
- Número de pixels saturados ( $P_s$ )
- Nível de cinza principal da imagem ( $N_{c_p}$ )

Outras ferramentas do programa possibilitam ver um histograma de frequência de repetição de tons de cinzas, leitura dos tons de cinza escolhidos por médio do traçado de uma linha o ponto a ponto sobre a imagem. Todos os valores gerados podem ser gravados para seu processamento posterior através de outros programas computacionais, como Excel, Surfer, TextPlot, etc.

## 2.4 Comportamento Final do Sistema

Como conclusões desta caracterização, podem-se estabelecer as seguintes afirmações:

Foi confirmada a linearidade existente entre o nível de cinza e a luminância da cena captada, com uma elevada correlação (Figura 5). Para ângulos de inclinação maiores de 35 °, O desvio dos valores medidos aumenta com o ângulo de incidência em relação ao co-seno. Este comportamento se deve à influência da radiação difusa, que não foi totalmente anulada com o sistema construído, e a superfície não ser perfeitamente Lambertiana. Uma das possíveis fontes de erro, apresentada na seção 2.2, se deve ao efeito de saturação dos pixels. Para evitar este erro, a captura da imagem deveria ser repetida. Pixels com valor – 255 poderiam estar representando um brilho mais intenso do que a câmera foi capaz de registrar. Não havendo possibilidade de refazer a captura, o valor 255 é mantido e um erro não determinado é gerado. O máximo número de tons de cinza é de 255, o que indica a mínima resolução de:

$$R_{min} = \frac{I}{N_{c_{max}} - N_{c_{min}}} \cdot 100 = \frac{I}{255 - 0} \cdot 100 \cong 0,4\% \quad (3)$$

Se este valor fosse referido a 1000 W/m<sup>2</sup>, nível padrão de irradiância para ensaios de módulos fotovoltaicos, a resolução mínima teria o valor de 4 W/m<sup>2</sup>.

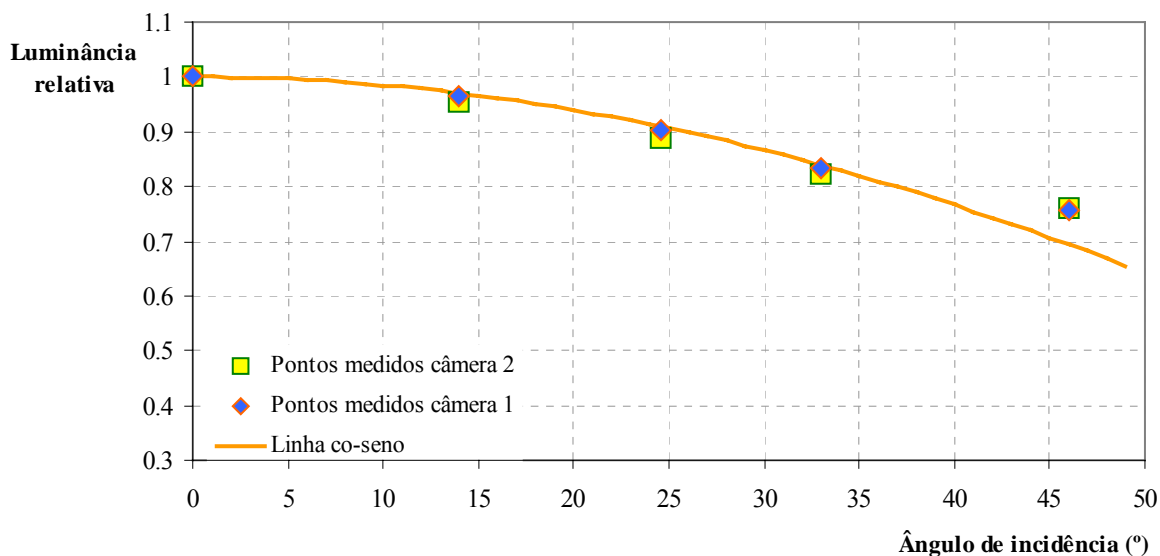


Figura 5.- Comparação entre valores obtidos em diferentes ângulos de incidência e valores de co-seno para ângulos correspondentes.

A superfície de referência, ao não ser totalmente uniforme (variação de tonalidades), traz consigo um erro. Este erro é difícil de ser corrigido devido a não poder realizar a correspondência entre os pixels da superfície de referência sem ser afetada pela fonte de luz a analisar e a mesma superfície sob uma radiação uniforme. Percebeu-se uma falta de uniformidade nesta superfície com uma amplitude média da ordem de 6 níveis de cinza, alterando a resolução mínima deste sistema para 2,4 %. Que para o caso de certos ensaios, como em simuladores solares, deve ser corrigido utilizando uma superfície mais uniforme.

### 3. RESULTADOS

Após a caracterização do sistema, foram capturadas imagens que diferentes fontes de luz deixam sobre o emissor secundário (papel de cor cinza) e assim medir a desuniformidade.

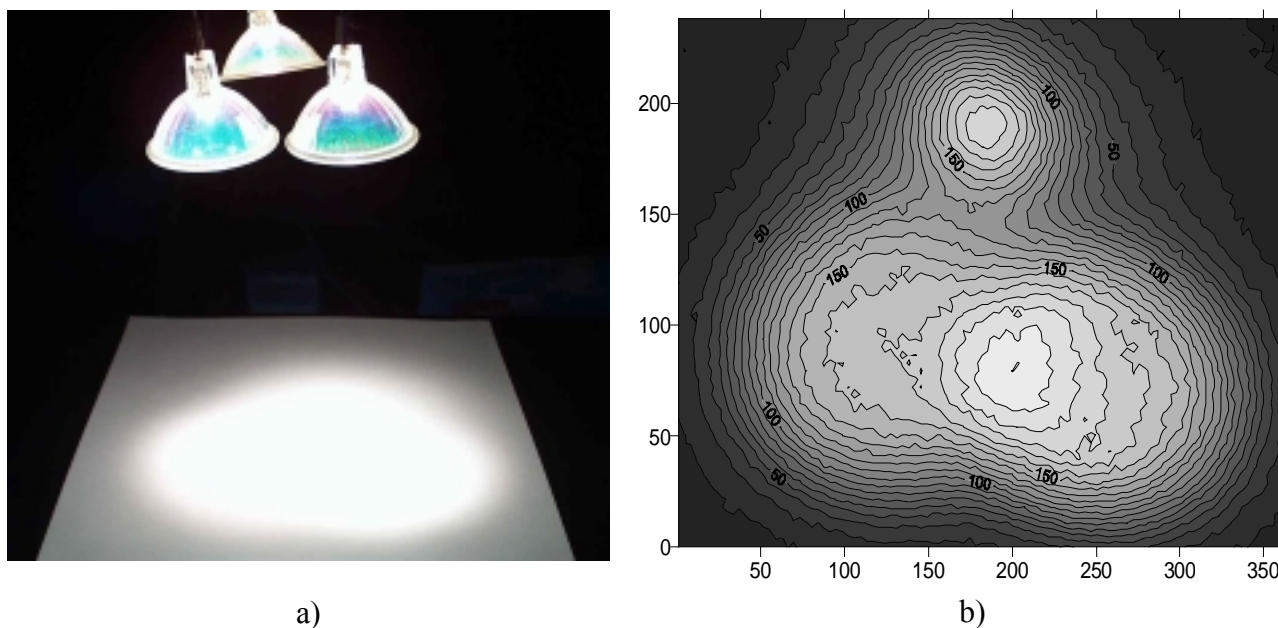


Figura 6- a) Foto da fonte de luz (lâmpadas dicróicas) utilizada e imagem refletida no emissor secundário, b) Mapa de distribuição da luminância em escala de tons de cinza para a fonte mostrada na figura a).

Neste primeiro ensaio foram realizadas medições para determinar os possíveis inconvenientes que se apresentavam e criar a melhor metodologia. Por esta razão foi avaliado só o comportamento das luminárias sem trocar a óptica ou o refletor.

As luminárias analisadas foram: lâmpadas dicróicas de 50 W e ângulo de visão de 24°, lâmpada incandescente de 60 W com refletor e lanterna

Estas luminárias foram escolhidas com o intuito de mostrar como varia a distribuição da luz para luminárias com características bem diferentes e assim mostrar as capacidades do sistema.

Na Figura 6 pode-se apreciar a disposição de lâmpadas dicróicas utilizada para realizar o ensaio e os valores obtidos do processamento da imagem fotografada. Para obter este resultado foi utilizado o programa e, para melhor visualização, foram exportados os arquivos gerados ao programa Surfer 8.0.

Da mesma forma procedeu-se com a lâmpada incandescente e a lanterna, obtendo-se assim as Figuras 7 e 8 respectivamente.

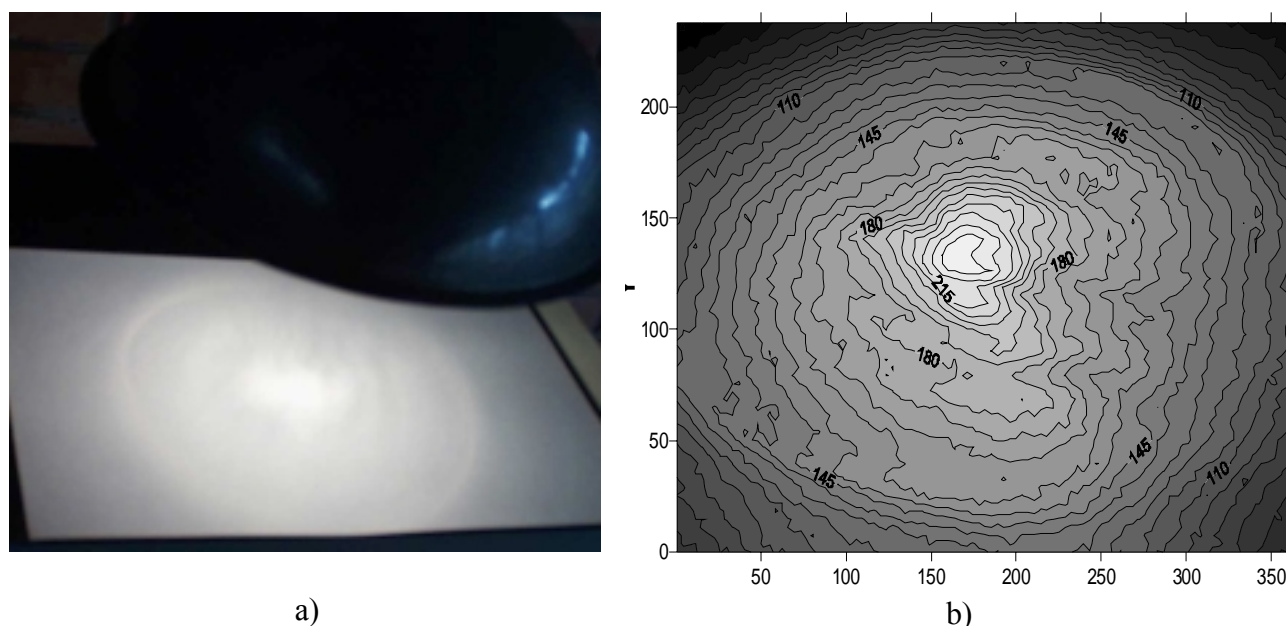


Figura 7- a) Foto da fonte de luz utilizada (lâmpada incandescente com refletor) e imagem refletida no emissor secundário, b) Mapa de distribuição da luminância em escala de tons de cinza para a fonte mostrada na figura a).

Na Tabela 2 apresentam-se os valores específicos e as diferenças de uniformidade existentes em cada imagem fotografada para cada luminária. Para analisar a falta de uniformidade (DNc) foi aplicada a Eq. 4.

$$DNc = \frac{Nc_{max} - Nc_{min}}{Nc_m} \quad (4)$$

Para comparar os valores obtidos por Vera et al.(2003), com tela de sombreamento para diminuir a radiação incidente sobre um modulo fotovoltaico, foi tirada uma foto da superfície de referência atrás de uma tela de sombreamento, similar ao realizado no trabalho mencionado e os valores de desuniformidade devido ao efeito da tela foram da mesma ordem (5 a 9 %).

Tabela 2.- Valores obtidos das imagens processadas.

Fonte	$Nc_{max}$	$Nc_{min}$	$Nc_m$	Ps	$Nc_p$	DNc	Resolução %
Lâmpadas Dicróicas	214	7	78	0	134	2.65	2,4
Lâmpada Incandescente	235	43	139	0	125	1.38	2,4
Lanterna	255	4	50	830	65	5.02	2,4



Para cada análise a realizar deve-se colocar a fonte de luz a uma distância determinada da superfície de referência, e analisar só a área que se deseja caracterizar

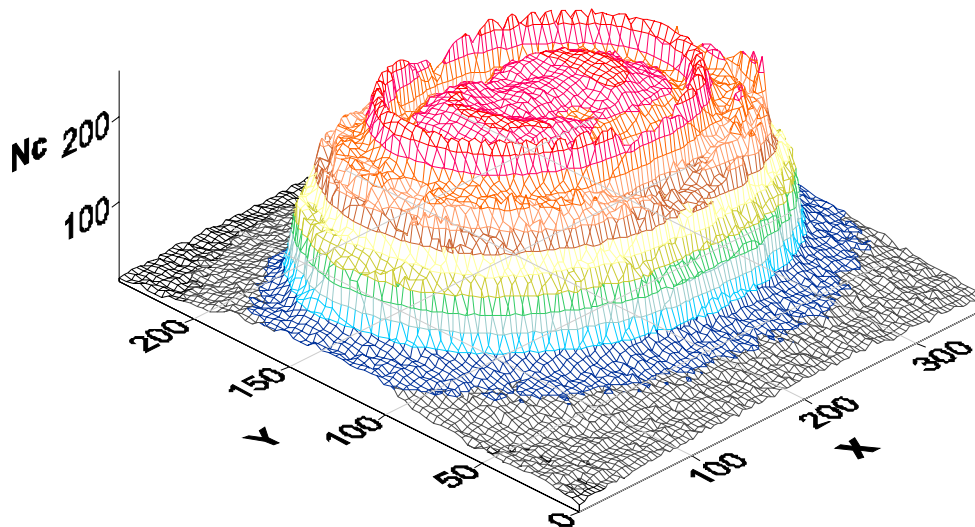


Figura 8.- Superfície mostrando a distribuição de luminância em escala de tons de cinza (Nc) para a lanterna .

#### 4. CONCLUSÕES

Da análise dos resultados obtidos detrminou-se o seguinte:

Pode-se usar câmeras de diferentes fabricantes, já que se obtiveram valores de nível de cinza similares.

A mínima resolução que pode-se obter com um sistema que grava 8 bits de informação é de 0,4%.

O mínimo nível de desuniformidade que foi possível determinar nestes ensaios foi da ordem de 2,5%.

Com os dados obtidos do programa pode-se realizar os diagramas de isocandela e diagramas polares da luminária. Deve-se ter um valor de referência para relacionar as luminâncias o irradiâncias com o nível de cinza refletido.

O sistema permitiria caracterizar a variação do comportamento de uma fonte de luz para diferentes ópticas ou refletores.

No entorno dos valores de luminância testados e com as considerações efetuadas, o sistema baseado na tecnologia CCD é perfeitamente aplicável.

Para um melhor desempenho do sistema se deveria levar em conta as seguintes sugestões:

Utilizar uma superfície emissora secundária mais uniforme para obter uma melhor resolução.

Flexibilizar o programa desenvolvido para que permita graficar e calcular maior quantidade de parâmetros.

Determinar a melhor distância entre a fonte e superfície emissora secundário.

No momento de aquisição das fotografias posicionar-se o mais perpendicular possível da superfície emissora secundaria

#### *Agradecimentos*

O presente trabalho teve financiamento parcial do CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991. “NBR12302/NB1386 Dispositivos fotovoltaicos - Correção das curvas características corrente versus tensão (I x V), Rio de Janeiro.
- Garriga, C. S., 2003, Aplicaciones Luminotecnicas de camaras Digitales, XXIX Simposium Nacional de Alumbrado, Cuenca, España.
- Horch, E.; Franz, O. G. e Ninkov, Z., 2000. “CCD Sperckle Observations of Binary Stars From the Southern Hemisphere. II Measures from the Lowell-Tololo Tesescope During 1999”, The Astronomical Journal, 120: 2638-2648.
- Iqbal, M, 1983. “An Introduction to Solar Radiation”, Academic Press, Toronto, 390p.
- Rossini, E. G. e Krenzinger, A., 2000. “Metodologia para Caracterização da Radiação Solar Difusa”, Nutau 2000, p823 – 829.
- Seiz, G. e Baltsavias, B., 2001. “Cloud Mapping Using Ground-Based Imagers”, AMS Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation, Albuquerque, 15 - 18.
- Vera, L.H.; Andrade, A. C. e Krenzinger A, 2003, “Effects of Irradiance Attenuators on the Testing of Photovoltaic Modules”, 5th Latin-American Congress of Electricity Generation and Transmission, San Pablo, Brasil.
- Vora, P. L.; Farrell, E J.; Tietz, J. D. e Brainard, D. H., 2001. “Image Capture: Simulation of Sensor Responses from Hyperspectral Images”, IEEE Trans. Image Processing, Vol. 10, nº2, p. 307-316.
- Roper Scientific, Linearity;  
Disponível em: <http://www.roperscientific.de/teflin.html>  
Acesso em: 12 mar 2006
- Kenneth, R. S., Basic Properties of Digital Images,  
Disponível em: <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/digitalimaging/digitalimagebasics.html>.  
Acesso em: 8 abr. 2006

## METHODOLOGY TO ANALYZE THE ILUMINATION UNIFORMITY

**Abstract.** *There are different characteristics for defining the quality of a determinate light source. In some applications, as in photovoltaic modules and cells tests, it is necessary uniform distribution in lighting. By the other hand, there is a great difficulty in the quantitative determination of the uniformity degree by means of discrete photosensitive sensors. When only one sensor is used, a scan involving a large number of positions is needed and, otherwise, the use of a large sensor array will require accurate normalization among the sensors constituting this array. This work proposes a methodology based on a digital photographic camera and a gray diffuse reflector surface, which is confidently uniform, by recording an image where the only reason for different intensities in reflection will be the non-uniformity of the radiation source. The obtained image is transferred to a computer where the gray levels are converted to a matrix, which allows the numerical analysis of the uniformity. The work presents a graphic analysis for uniformity of several light sources discussing the accuracy obtained with this technique as well as its limitations..*

**Keyword:** *Source of light, Uniformity of Illumination, Image processing..*