

## **CÁLCULO DE ÍNDICES DE OFUSCAMENTO EMPREGANDO IMAGENS HDR E CÂMERAS FOTOGRÁFICAS DIGITAIS DE USO AMADOR**

**João Roberto Gomes de Faria (1); Daniela Neves do Nascimento (2)**

(1) Professor do Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, joaofari@faac.unesp.br

(2) Arquiteta, Mestre em Desenho Industrial, dnasci@gmail.com

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação,  
Laboratório Didático de Conforto Ambiental, Bauru-SP, 17033-360, Tel.: (14) 3103 6059/6069

### **RESUMO**

O ofuscamento, uma das causas mais frequentes do desconforto visual, é causado pela incapacidade de acomodação da visão humana a altos valores de luminância ou a elevadas variações de luminâncias dentro de uma mesma cena observada. Os índices de ofuscamento fornecem uma avaliação quantitativa do incômodo causado pela má distribuição de luminâncias no ambiente. Para seus cálculos são necessários levantamentos de valores de luminância das possíveis fontes em relação à sua disposição geométrica, o que em geral envolve dificuldades e erros. Com técnicas computadorizadas, é possível fazer o mapeamento da distribuição de luminâncias através de imagens HDR, o que facilita tanto o levantamento de valores como de sua posição no espaço. Esse princípio já é empregado na construção de instrumentos digitais como vídeo-fotômetros. Neste artigo são apresentados o desenvolvimento e a validação de um método para o cálculo de índices de ofuscamento a partir de imagens HDR compostas por fotos obtidas por uma câmera digital de uso amador, de baixo custo. Os resultados são bastante próximos dos calculados a partir de dados medidos por luminômetro. Considerando os custos envolvidos na instrumentação e a qualidade dos resultados, pode-se considerar o método válido para levantamentos de condições de iluminação em geral.

Palavras-chave: conforto ambiental, conforto visual, imagem HDR.

### **ABSTRACT**

Glare, one of the most frequency cause of visual discomfort, is caused by the incapacity of the human vision accommodation for high luminance values or for high luminance variations in one same observed scene. Glare indexes give a quantitative evaluation of the discomfort caused by an inappropriate luminance distribution. To calculate them they are necessary the possibly glare sources luminance values associated to their geometric position, and all of this is hard and involves errors. With computational techniques is possible to make the luminance distribution mapping through HDR images, and this makes easy the data collect and positioning them in the space. This principle is already used to do digital instruments, like video-photometers. This paper presents the development and the evaluation of a method for the glare indexes calculation using HDR images composed by photos taken with a low cost snapshot digital camera. The results are too close to that calculated through the luminance meter-measured data. Considering the costs involved in instrumentation and quality of results, consider the method applies to surveys of quality of lighting in general.

Keywords: environmental comfort, visual comfort, HDR image.

# 1. INTRODUÇÃO

A ausência de ofuscamento é apontada, ao lado do atendimento de iluminâncias mínimas, como um dos itens mais importantes em projetos de iluminação.

O ofuscamento ocorre pela incapacidade do olho humano suportar altos valores de luminâncias de fontes luminosas ou superfícies refletoras ou grandes variações de luminâncias numa cena observada. Há, nesses casos, uma inibição da capacidade de adaptação, que se traduz em incapacidade visual ou simplesmente em desconforto visual (HOPKINSON, 1963), o qual, no entanto, cria uma situação de fadiga.

O grau de desconforto pode variar bastante, dependendo da relação entre as luminâncias envolvidas, do tempo de exposição e do tamanho da fonte de luminosidade: seu aumento é diretamente proporcional ao aumento dessas variáveis. A Tabela 1 apresenta algumas indicações de relações máximas de brilho entre superfícies para trabalhos em escritórios para que não ocorra ofuscamento. Nela percebe-se que as relações entre os brilhos pode aumentar à medida que ocorrem em posições mais próximas à visão periférica. Isso ocorre porque a sensibilidade às variações de brilho decai da visão central (foveal) para a periférica.

Tabela 1 – Relações máximas de brilhos recomendadas para escritórios. Fonte: Lechner (1990).

Relação	Áreas	Exemplo
3:1	Entre a tarefa e o entorno adjacente	Livro sobre a mesa
5:1	Entre a tarefa para o entorno próximo	Livro em relação a móveis próximos
10:1	Tarefa para entorno remoto	Livro em relação a paredes distantes
20:1	Fonte de luz para grandes áreas adjacentes	Janela para uma parede adjacente
40:1	Máximo contraste admitido	

Os índices de ofuscamento surgiram nos anos de 1960 (HOPKINSON, 1963), como indicadores da ausência de fatores (ofuscamentos, no caso) que comprometem a qualidade da iluminação em ambientes de trabalho. Conforme Wienold e Christoffersen (2006), que apresentam uma revisão sobre a quantificação do ofuscamento, as equações apresentam a forma geral exposta na Equação 1.

$$G = \left( \frac{L_s^e \omega_s^f}{L_b^g f(\Psi)} \right) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- $G$  é um índice que traduz a sensação subjetiva de ofuscamento devido à ação de uma fonte de luz;
- $e, f$  e  $g$  são coeficientes de ponderação;
- $f(\Psi)$  é uma função do ângulo de deslocamento do observador em relação à fonte de ofuscamento;
- $L_s$  é a luminância da fonte de ofuscamento ( $\text{cd/m}^2$ );
- $\omega_s$  é o ângulo sólido subtendido pela fonte (sr);
- $L_b$  é a luminância de fundo ( $\text{cd/m}^2$ ).

A sensação de ofuscamento causada por um conjunto de fontes luminosas em um ambiente é expressa por uma função logarítmica da somatória dos valores individuais de  $G$ .

Linney (2008) aponta uma série de problemas no uso dos índices de ofuscamento de forma geral, que podem levar a ambigüidades nas análises. Recomenda o uso do *Unified Glare Rating* (UGR) (que compatibiliza equações formuladas anteriormente a ele) quando as fontes luminosas envolvidas são de pequenas dimensões (de  $3 \cdot 10^{-4}$  sr a  $10^{-1}$  sr) e o *Daylight Glare Index* (DGI) quando as fontes são extensas, como lâmpadas fluorescentes tubulares ou aberturas para entrada de luz do dia (janelas e outras).

As equações para DGI e UGR são definidas nas Equações 2 e 3.

$$DGI = 10 \cdot \log_{10} \left( 0,48 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_s^{1,6} \cdot \Omega_s^{1,8}}{L_b + 0,07 \cdot \omega_s^{0,5} \cdot L_s} \right) \quad \text{Equação 2}$$

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left( \frac{0,25}{L_b} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_s^2 \cdot \omega_s}{P^2} \right) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$\Omega$  é o ângulo sólido subtendido pela fonte, modificado pela posição da fontes (sr)

$P$  é o índice de posição da fonte (*Guth position index*), dado por tabelas, como em Hopkinson *et al.* (1975), ou equações paramétricas, como a apresentada em Wienold e Christoffersen (2006).

Embora a bibliografia traga indicações sobre relações de luminâncias entre diversos planos visuais (como a Tabela 1), seu mapeamento e posterior representação não é das tarefas mais fáceis. Dependendo da interação entre a superfície e as fontes luminosas, a luminância pode variar pontualmente. Dessa forma, não é possível levantar valores médios por unidade de área, como ocorre com a iluminância, o que dificulta o uso de luminancímetros em levantamentos de fontes potenciais de ofuscamento em ambientes de trabalho. A associação dos valores a coordenadas de posição (uma vez que as equações trabalham com ângulos de posição e tamanho) também não é uma tarefa fácil e é sujeita a erros.

Com o surgimento das técnicas computacionais de simulação de iluminação foram desenvolvidos, a partir da década de 1980, formatos de armazenamento de imagens nas quais a luminância pode ser obtida através de uma função linear dos valores digitais de seus *pixels* (WARD, s.d.). Por representar valores de luminância, elas podem ser empregadas para estudos sobre iluminação, como proposto no presente trabalho. Por outro lado, começam a serem disponibilizados no mercado, com frequência crescente, instrumentos para medição de luminância baseados em sensores digitais CCD (*charge-coupled device*, os mesmos usados em câmeras fotográficas digitais), nos quais os sinais luminosos que chegam a eles são convertidos de valores digitais para luminâncias (WIENOLD e CHRISTOFFERSEN, 2006).

Para armazenar aqueles valores de luminâncias são empregados arquivos de imagens denominadas HDR (*High Dynamic Range* ou de alta gama dinâmica). Gama dinâmica é a relação entre a maior e a menor luminância representada por uma imagem. A ordem da gama dinâmica é dada pelo seu logaritmo. Imagens RGB de 24 *bits* por *pixel* armazenam, tipicamente, gamas dinâmicas de ordem 1,6 (gamas dinâmicas de 1,0:0,025); por outro lado, imagens HDR armazenadas em formatos de 32 *bits* por *pixel*, como o RGBE (RGB + expoente) do *software* RADIANCE, podem armazenar gamas da ordem de até 76 (gamas dinâmicas de  $10^{38}:10^{-38}$ ) (WARD, s. d.). Como referência, a gama de luminâncias do mundo real é da ordem de 10; o olho humano pode detectar gamas da ordem de 4 em detalhes de uma cena (JACOBS, 2008).

Embora os formatos de arquivos de imagens HDR tenham sido desenvolvidos originalmente para armazenar as imagens sintéticas do RADIANCE, desde meados de 1990 podem também armazenar imagens compostas a partir de fotos digitais, com o uso dos algoritmos propostos por Debevec e Malik (1997) e por Mitsunaga e Nayar (1999).

Inanici (2003 e 2005) e Inanici e Galvin (2004) mostraram que as imagens HDR compostas a partir de fotos digitais podem ser usadas, com algumas restrições de precisão, como meios de levantamento da distribuição de luminâncias.

Wienold e Christoffersen (2006) realizam uma avaliação de índices de ofuscamento empregando instrumentos com sensores CCD e um programa desenvolvido por Wienold *et al.* (2004), o *evalglare*, para calculá-los a partir das imagens HDR obtidas no levantamento. Tal programa se baseia também no formato de arquivo de imagem RGBE do RADIANCE, do qual usa algumas rotinas e ao qual se integra.

Em pesquisa realizada anteriormente, Faria (2007) mostrou a viabilidade do emprego de câmeras fotográficas digitais compactas (de uso amador) – desde que com opções de controle manual de abertura da lente e do tempo de exposição –, em conjunto com o programa *mkhdr* para a geração de imagens HDR, no levantamento de distribuição de luminâncias. O passo seguinte, apresentado neste artigo, é viabilizar o cálculo de índices de ofuscamento a partir dessas imagens, como feito por Wienold *et al.* (2004), porém empregando câmeras fotográficas digitais compactas, de uso amador e baixo custo.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é validar um procedimento e seu respectivo instrumental para calcular índices de ofuscamento a partir de imagens HDR compostas de fotos obtidas com câmeras digitais compactas.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O método empregado neste trabalho envolve o levantamento de valores de luminâncias e o cálculo de índices de ofuscamento através de procedimentos convencionais (medição de luminâncias com luminancímetro) e com ferramentas computacionais desenvolvidas durante a pesquisa. Posteriormente os resultados dos dois procedimentos são comparados para verificar a validade do método proposto.

### 3.1. Instrumental

Foi empregado o seguinte instrumental para o desenvolvimento da pesquisa:

- Luminária com lâmpada dicróica de 50 W, montada num refletor de calota esférica de 65 mm de diâmetro, com *dimmer*;
- Luminacímetro Konica Minolta LS-110;
- Câmera fotográfica digital Sony DSC W-5 (com controle manual de tempo de exposição, sensibilidade ISO e referência de branco, entre outros), utilizada para a obtenção de fotos;
- Programa *mkhdr* calibrado para a câmera em uso, para a composição de imagens HDR a partir das fotos;
- Programa *Glare Index*, para leitura das informações das imagens HDR e cálculo computadorizado dos índices de ofuscamento.

#### 3.1.1. O programa *mkhdr*

O *mkhdr* é um programa do tipo comando de linha para ambientes Microsoft Windows. Tem código aberto com licença livre para fins acadêmicos e foi desenvolvido no Berkeley Lab, da University of California. Ficou disponível na web até 2007, quando o link foi desativado. Ele emprega o algoritmo de Debevec e Malik (1997) para compor imagens HDR a partir de imagens digitais.

Ele foi calibrado para uso das imagens da câmera Sony DSC W-5 por análise de regressão linear (FARIA, 2007), através da comparação entre as luminâncias geradas pelo programa e as medidas com um luminacímetro digital Konica Minolta LS-110 relativas à mesma área.

Atualmente existem programas com interfaces amigáveis, como o *HDRShop* (<[www.hdrshop.com](http://www.hdrshop.com)>) e o *Qtprfsgui* (<<http://qtprfsgui.sourceforge.net/>>), também gratuitos, além de uma série de outros programas comerciais. No entanto, os resultados por ele gerados precisam ainda ser validados em função da câmera usada. Infelizmente, ao contrário do *mkhdr*, esses programas não possuem código aberto (exceto o *Qtprfsgui*, para plataformas Linux), o que dificulta a calibração.

#### 3.1.2. O programa *Glare Index*

O *Glare Index* foi desenvolvido durante a presente pesquisa, sendo o coração da proposta. Trabalha em ambiente Microsoft Windows e usa rotinas do Desktop RADIANCE para leitura de dados das imagens HDR e para sua conversão em imagens *bitmap*, para visualização. Tem como núcleo o *View Pic*, desenvolvido e validado anteriormente por Faria (2007).

O uso de câmeras com lentes de pequena abertura angular (aproximadamente 90°, no máximo, nas lentes que equipam convencionalmente as câmeras compactas, em comparação com os 180° ou mais das lentes “olho de peixe”) restringem a cena a uma área menor que a do campo de visão. Dessa forma, ou se assume que as fontes de ofuscamento estão todas na cena enquadrada pela lente – o que é raro – ou é necessário agrupar várias fotos para que se tenha uma cena final mais próxima do campo visual. O *Glare Index* trabalha com essa possibilidade: pode-se inserir no programa quantas fotos forem necessárias, tomadas de diversos ângulos a partir do observador, para compor o campo visual.

O programa busca, nas imagens fornecidas, *pixels* com valores de luminâncias que os possam caracterizar como fonte potencial de ofuscamento. Posteriormente, a partir de suas luminâncias, grandezas angulares e posições em relação ao observador, são calculados os índices de ofuscamento.

Ao iniciar um novo projeto (Figura 1), o programa abre uma caixa de diálogo solicitando as seguintes informações (Figura 2):

- Abertura da lente: ângulo entre o ponto central do sensor da câmera e as extremidades da diagonal da cena;
- Relação entre o limiar da luminância da fonte e a luminância média da área de visão próxima da foveal, para que a fonte seja considerada potencialmente ofuscante. O aplicativo *findglare*, do RADIANCE, adota um limiar de sete vezes a luminância da visão foveal; Wienold e Christoffersen (2006) propõem que a fonte seja considerada potencialmente ofuscante quando apresenta luminâncias a partir de quatro vezes a luminância média de uma área ao redor do eixo de visão definida por um ângulo sólido de aproximadamente 0,53 sr, condições essas adotadas no aplicativo *evalglare* (WIENOLD *et al.*, 2004). O *Glare Index* também classifica o *pixel* automaticamente como fonte de ofuscamento se sua luminância é superior a 5000 cd/m<sup>2</sup>, situação onde, conforme Wienold e Christoffersen (2006), não há acomodação visual.

Após a abertura da imagem, o programa solicita a determinação do eixo de visão (que não necessariamente coincide com o centro da foto), clicando com o mouse. Em seguida, o programa calcula a

luminância média da área do círculo de visão central, (Figura 2), que será usada como luminância de fundo, conforme procedimento adotado por Wienold e Christoffersen (2006). Esse valor é calculado como a média da luminância dos *pixels* contidos num círculo de diâmetro equivalente a uma abertura de 0,53 sr, excluídos aqueles cuja luminância ultrapassa 5000 cd/m<sup>2</sup>. Depois desse procedimento, foram testadas neste trabalho duas possibilidades: ou o programa busca automaticamente os *pixels* dessa primeira imagem que possam ser caracterizados como fontes de ofuscamento e agrupa aqueles que tiverem um afastamento menor que  $3 \cdot 10^{-4}$  sr, o limiar de validade do UGR, ou o usuário seleciona as áreas que contém fontes de iluminação.



Figura 1 – Menu do programa.

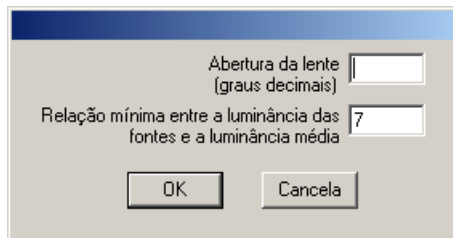


Figura 2 – Caixa de diálogo principal.

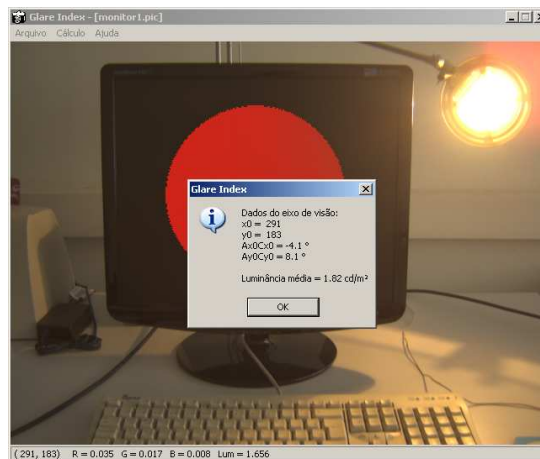


Figura 3 – Resultado do cálculo da luminância média (área do círculo em vermelho).

Outras fotos podem ser inseridas (Figura 4) para compor a totalidade do campo visual, sendo então solicitados apenas os ângulos horizontais e verticais entre o centro de visão e o centro de cada foto a ser inserida (Figura 5). Em cada uma dessas outras imagens devem ser selecionadas áreas (usando o mouse) nas quais serão procuradas fontes luminosas. O programa não verifica se uma área de iluminação constante em mais de uma foto já foi computada anteriormente; esse é um controle que deve ser feito pelo usuário. O controle automático, que permitiria também um processamento automático do conjunto de fotos, exigiria uma precisão exagerada e inviável no posicionamento dos eixos das imagens, considerando-se que o objetivo dessa pesquisa é simplesmente viabilizar o uso de instrumental simples.

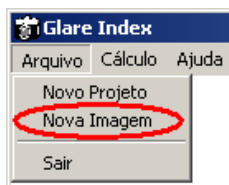


Figura 4 – Menu para inserção de novas imagens.

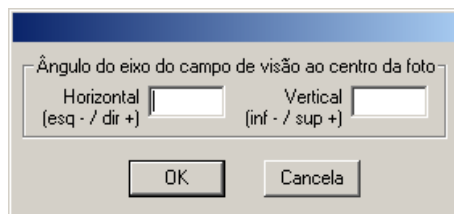


Figura 5 – Caixa de diálogo para inserção de novas imagens.



Figura 6 – Menu para execução do cálculo.

Da mesma forma que ocorre com a primeira imagem, foi também testada neste trabalho a possibilidade de selecionar as fontes luminosas uma a uma com o mouse, ao invés de áreas contendo várias fontes, como descrito acima.

Após concluir a inserção das fotos e a seleção de áreas com fontes, seleciona-se a opção “Calcular” no menu do programa (Figura 6) para que ele calcule os índices de ofuscamento. Os resultados podem ser visualizados resumidamente no monitor (somente os índices de ofuscamento) ou gravados num arquivo texto especificado pelo usuário. Nesse arquivo são apresentados, além dos índices de ofuscamento, as coordenadas em relação ao eixo de visão, o tamanho angular e a luminância de cada uma das fontes de ofuscamento presentes na cena (desde que selecionadas pelo usuário).

O *Glare Index* calcula, na versão atual, dois índices de ofuscamento: o *Daylight Glare Index* (DGI) e o *Unified Glare Rating* (UGR).

### 3.2. Validação da proposta

Para a validação do *Glare Index* foi montado um experimento simulando o uso de um microcomputador numa sala, com uma fonte de pequenas dimensões (lâmpada halógena) disposta atrás e ao lado do monitor (Figura 7). Devido à abertura do campo da lente da câmera (90°), foram necessárias duas imagens para compor a cena contendo a área de trabalho e a fonte de ofuscamento (Figura 8 e Figura 9). Para

o levantamento de dados, a câmera fotográfica foi fixada num tripé, ficando o eixo óptico a 1,20 m do piso e na posição de um operador da estação. Foi considerado como eixo da visão a linha do observador a uma determinada posição no monitor, selecionada durante a operação do *Glare Index*.



Figura 7 – Cena montada para o experimento

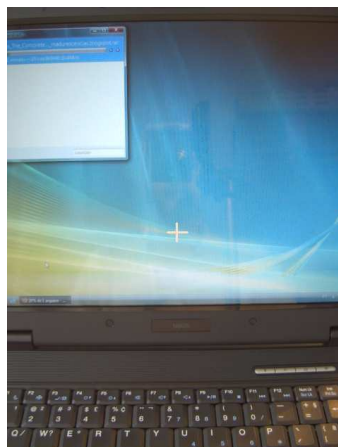


Figura 8 – Cena do experimento, contendo a área de trabalho e o eixo de visão (marca em branco)

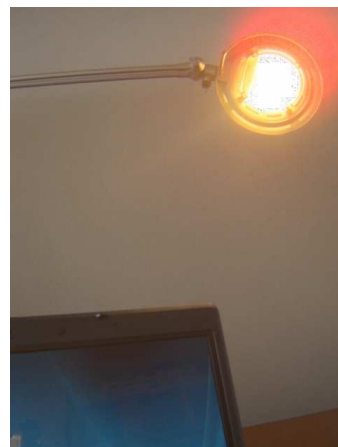


Figura 9 – Imagem complementar à da Figura 8, posicionada 20° à direita e 20° acima daquela.

Para o levantamento das características da fonte de ofuscamento (luminância e coordenadas em relação ao observador/câmera) foram utilizadas rotinas do *Glare Index*. A diferença básica entre a busca automática e a seleção manual das fontes é que o *Glare Index* classifica como fontes de ofuscamento distintas áreas de alta luminância separadas por áreas com luminância abaixo do limiar de ofuscamento, enquanto que na leitura dos dados para a execução dos cálculos fora do programa procurou-se simular a leitura através do luminômetro, ou seja, as leituras amostradas de uma fonte compõem um único valor médio.

As luminâncias de fundo e da fonte foram também medidas com o luminômetro. Esses valores foram usados nos cálculos fora do programa, através de planilha eletrônica Microsoft Excel, cujos resultados foram comparados com os gerados automaticamente pelo programa.

Em decorrência do procedimento acima citado de composição das fontes pelo *Glare Index*, ocorre variação nos resultados com a mudança do limiar da luminância das fontes de ofuscamento. Assim, durante a execução do programa, variou-se esse limiar de 3 a 40 vezes a luminância média de fundo (conforme as relações da Tabela 1) para verificar a sensibilidade dos resultados.

#### 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

A luminária usada a plena carga produz uma luminância média (medida com o luminômetro a uma distância de 8 m, para que o ângulo de medição abranja toda sua área) de  $4 \cdot 10^4$  cd/m<sup>2</sup>, mas a luminância na área do filamento chega a  $2 \cdot 10^5$  cd/m<sup>2</sup>, para uma luminância média na área de trabalho da ordem de  $1,1 \cdot 10^1$  cd/m<sup>2</sup>; ou seja, a relação entre a luminância média da fonte e a de fundo é da ordem de 4:1, enquanto a do ponto mais brilhante da fonte e a de fundo é da ordem de 5:1. Apesar da descrição das possibilidades de reprodução de gamas dinâmicas pelos algoritmos apresentada na introdução, não foi possível obter uma imagem HDR cuja distribuição de luminâncias reproduzisse a do experimento (as áreas de alta luminância ficaram sempre sobreexpostas, como na Figura 10). Não se tem no momento explicação para o fenômeno, que poderá ser tema de novas pesquisas.

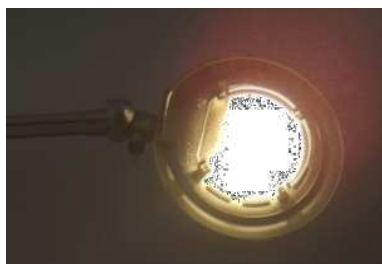


Figura 10 – Exemplo de detalhe de áreas de altas luminâncias, com sobreexposição (manchas escuras).

Para viabilizar o trabalho, reduziu-se a luminância da fonte até um valor médio de aproximadamente 900 cd/m<sup>2</sup> (durante as medições, valores pontuais chegaram a aproximadamente 1200 cd/m<sup>2</sup>). A Tabela 2 apresenta diversos dados resultantes do experimento de validação com esse ajuste.

Tabela 2 – Resultados do experimento. O destaque corresponde à execução do programa com o limiar de luminância de ofuscamento recomendado por Wienold e Christoffersen (2006).

Limiar / (Luminância de fundo)	3	4	5	10	20	40
Cálculos em planilha com dados medidos por rotinas do <i>Glare Index</i>						
Ângulo sólido (sr)	0,020	0,023	0,019	0,018	0,019	0,019
Luminância média (cd/m <sup>2</sup> )	814,2	725,2	827,3	872,9	936,9	1041
Índice de posição médio	10,64	10,68	10,87	10,82	10,67	10,70
Número de fontes	1	1	1	1	1	1
DGI médio	8,7	8,4	8,6	8,7	9,3	9,8
UGR médio	3,2	2,9	3,1	3,3	4,1	4,8
Cálculos automáticos no <i>Glare Index</i>						
Ângulo sólido (sr)	0,011	0,0076	0,0074	0,0068	0,0072	0,0086
Luminância média (cd/m <sup>2</sup> )	93,45	187,38	188,1	331,07	439,88	540,53
Índice de posição médio	13,36	11,52	11,01	9,94	8,33	14,64
Número de fontes	24	26	18	18	10	7
DGI	12,9	15,8	13,8	16,4	15,5	14,6
UGR	6,2	8,4	6,6	9,1	9,2	8,4
Cálculos a partir dos dados medidos com luxímetro						
Ângulo sólido (sr)	0,02					
Luminância média (cd/m <sup>2</sup> )	780					
Índice de posição médio	10,7					
DGI	8,4					
UGR	2,9					

Na Figura 11 são comparados os valores de DGI e UGR calculados pelos dois procedimentos que usaram o *Glare Index*, empregando-se diversos limiares de luminância para as fontes de ofuscamento e variando-se o tamanho da fonte no procedimento não automatizado. Nela são apresentados também os valores calculados a partir de dados medidos com o luxímetro.

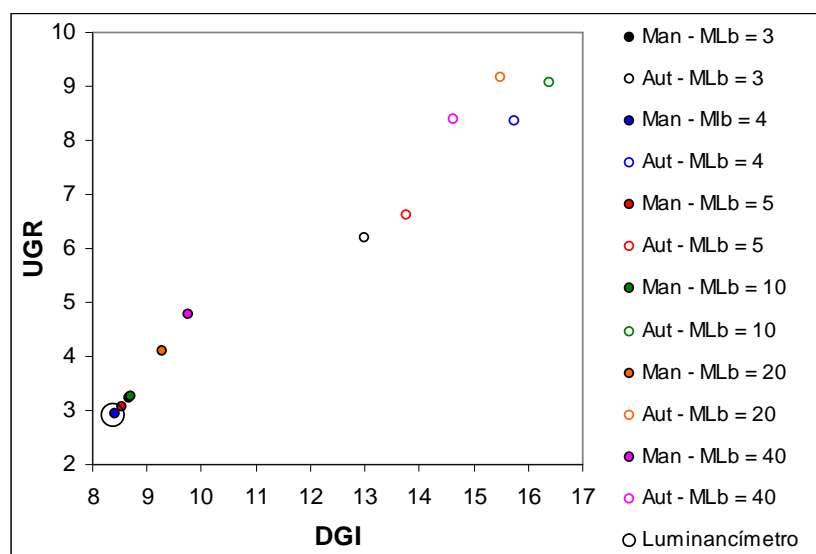


Figura 11 – Relação entre os índices de ofuscamento calculados pelos dois procedimentos via *Glare Index*.

Man = cálculo em planilha; Aut= cálculo pelo *Glare Index*;

MLb = relações entre as luminâncias do limiar das fontes de ofuscamento e de fundo.

O primeiro resultado que se apresenta a partir da simples observação da Figura 11 é que o algoritmo de cálculo automático do *Glare Index* não tem bom desempenho. A grande discrepância de seus resultados em relação aos demais decorre de pequenos tamanhos de fontes geradas pelo algoritmo. Embora fisicamente isso seja possível, deve-se lembrar que os índices foram elaborados para uso com dados levantados por luminancímetros, cuja abertura, no caso do LS-110 (1/3°), corresponde a um ângulo sólido de  $5,8 \cdot 10^{-3}$  sr; no *Glare Index*, elas podem atingir, no presente experimento, valores de até  $6,25 \cdot 10^{-6}$  sr, correspondente à área de um *pixel* numa imagem de  $640 \cdot 480$  *pixels* (VGA) obtida com uma lente de 90° de abertura. Nesse caso, a seleção de fontes uma a uma leva a resultados mais realistas.



Outro resultado importante é que o uso do limiar de luminâncias para fontes de ofuscamento correspondente a quatro vezes a luminância da área de trabalho conduz o *Glare Index* (operando com a seleção individual de fontes) a resultados muito semelhantes aos de cálculos executados a partir de dados medidos com o luminancímetro.

## 5. CONCLUSÕES

O método proposto pode ser usado em análises de qualidade da iluminação em substituição ao emprego de luminancímetros para o levantamento da luminância das fontes potenciais de ofuscamento direto ou por reflexão, desde que os valores de suas luminâncias não sejam muito elevados. Não se tem, no momento, o limite máximo de luminância passível de leitura pela câmera empregada no presente estudo. No entanto, como valores acima de 5000 cd/m<sup>2</sup> causam ofuscamento pela incapacidade de acomodação da visão humana, conforme exposto na introdução, este poderia ser um limite de trabalho. Abaixo dele, são necessários estudos de caso, pois as fontes podem ou não causar ofuscamento.

A leitura de parâmetros das fontes a partir de imagens HDR torna os cálculos bastante objetivos, eliminando erros de atribuição de ângulos de posição e de leituras incorretas de luminâncias. Tal vantagem é mais evidente quando se analisa o custo da instrumentação do método proposto com os instrumentos de maior precisão – luminancímetros, vídeofotômetros digitais e câmeras com lentes “olho de peixe”.

No atual estágio, o algoritmo não permite a busca e classificação automática de fontes numa área da foto; no entanto, ele pode ser usado selecionando-se fonte a fonte, a partir do que os cálculos são realizados automaticamente.

## 6. REFERÊNCIAS

- DEBEVEC, P. E.; MALIK, J. Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs, SIGGRAPH 97, Annual Conference Series, Los Angeles, California August 1997. Los Angeles, California: Addison Wesley, **Proceedings of SIGGRAPH 97, Computer Graphics Proceedings**, 1997, p. 369-378. Disponível em <<http://www.debevec.org/Research/HDR/debevec-siggraph97.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2005.
- FARIA, J. R. G. Análises de distribuição de luminâncias através de imagens HDR compostas por fotos de câmeras snapshot. In: ENCAC-ELACAC 2007 - IX Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e V Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto. **Anais do IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Ouro Preto, 2007. v. 1. p. 677-686.
- JACOBS, A. **WebHDR Home**. Última atualização: 2008. Disponível em: <<http://luxal.dachary.org/webhdr/index.shtml>>. Acesso em: 8 mai. 2009.
- INANICI, M. N. Transformation of high dynamic images into virtual lighting laboratories. Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, August 11-14, 2003. **Proceedings...** Eindhoven: IBPSA, 2003. p. 539-546. Disponível em: <[http://www.ibpsa.org/m\\_bs2003.asp](http://www.ibpsa.org/m_bs2003.asp)>. Acesso em: 19 set. 2005.
- INANICI, M. N. Per-pixel lighting data acquisition and analysis with high dynamic range photography. International Commission on Illumination (CIE) 2005 Conference, Leon, May 12th to 21st 2005. Leon, **Proceedings...** 2005. Disponível em <<http://dmg.caup.washington.edu/mehlika/mi-CIE05.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2005.
- INANICI, M. N.; GALVIN, J. **Evaluation of High Dynamic Range photography as a luminance mapping technique**. Paper LBNL-57545, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, 2004. Disponível em: <<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/841925-QBBn0i/native/841925.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2005.
- HOPKINSON, R. G. **Architectural physics: lighting**. London: Her Majesty's Stationery Office, 1963.
- HOPKINSON, R. G.; PETERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação natural**. Trad. de Antônio Sabato. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.
- LECHNER, N. **Heating, cooling, lighting: design methods for architects**. New York: Wiley, 1990.
- LINNEY, A. C. Maximum luminances and luminance ratios and their impact on users' discomfort glare perception and productivity in daylight offices. 2008. Thesis (Master of Building Science) – School of Architecture, Victoria University of Wellington, Wellington (NZ), 2008.
- MITSUNAGA, T.; NAYAR, S. K. Radiometric self calibration. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Fort Collins, June, 1999. Fort Collins, **Proceedings...** 1999. Disponível em <[http://www.cs.columbia.edu/CAVE/publinks/mitsunaga\\_CVPR\\_1999.pdf](http://www.cs.columbia.edu/CAVE/publinks/mitsunaga_CVPR_1999.pdf)>. Acesso em: 19 set. 2005.
- WARD, G. **High dynamic range image encodings**, s.d. Disponível em: <[http://www.anyhere.com/gward/hdrenc/hdr\\_encodings.html](http://www.anyhere.com/gward/hdrenc/hdr_encodings.html)> e em <<http://www.anyhere.com/gward/hdrenc/Encodings.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2005.
- WIENOLD, J. e CHRISTOFFERSEN, J. Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 743-757, 2006.
- WIENOLD, J.; REETZ, C.; KUHN, T. Evalglare: a new RADIANCE-based tool to evaluate glare in office spaces. 3rd International RADIANCE Workshop, Fribourg, 11-12 october 2004. **CD Online**, Fribourg: Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes, 2004. Disponível em: <<http://www.radiance-online.org/radiance-workshop3/cd/>>. Acesso em: 20 out. 2005.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo Auxílio Pesquisa que viabilizou o projeto (processo FAPESP nº. 2005/00911-7).