

## A CONTRIBUIÇÃO DO ENTORNO NA AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

**Roberto Carlos Pereira (1); Fernando Oscar Ruttkay Pereira (2); Anderson Claro (3)**

(1) Doutor, professor da Universidade Federal do Rio Grande/RS – CTI, ctircp@gmail.com

(2) PhD, Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSC, feco@arq.ufsc.br

(3) Doutor, Professor do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da UFSC, ander@arq.ufsc.br

### RESUMO

Entre os métodos de maior potencial para a análise do fenômeno da iluminação natural encontra-se a simulação computacional. Atualmente, existem dezenas de programas que avaliam a distribuição da luz natural no ambiente construído e esta contribuição é altamente dependente da quantidade e direção da luz que chega do exterior. A abóbada celeste e o entorno aparecem como as principais fontes naturais de iluminação. A iluminação produzida pelo céu depende da distribuição de sua luminância, e para descrevê-la, a maioria dos programas emprega modelos padronizados de céu. A dificuldade da caracterização precisa da fonte pode provocar discrepâncias significativas entre a simulação e a efetiva condição da iluminação natural em ambientes reais. Diversos estudos indicam que ignorar a reflexão do entorno e a dinâmica da distribuição de luminâncias do céu, na concepção do projeto, pode representar uma das simplificações de maior distorção na avaliação da iluminação natural. O objetivo deste estudo é desenvolver um método para analisar a contribuição da abóbada e do entorno de forma integrada, utilizando recursos de mapeamento digital de luminâncias e de simulação computacional. Desta maneira, os padrões de luminância da abóbada celeste e entorno foram mapeados e introduzidos num aplicativo computacional de modo a avaliar sua precisão absoluta, sem as incertezas e limitações introduzidas quando se usa modelos padronizados de céu. Pode-se verificar que a reflexão de luz no entorno, visível por boa parte do ambiente interno, quando adequadamente considerada nos procedimentos de simulação, representa uma componente significativa do fenômeno. Os resultados desta pesquisa identificam uma contribuição média do entorno de aproximadamente 26% nos níveis de iluminância internas produzidos por aberturas laterais. O procedimento desenvolvido se mostrou adequado para a avaliação de aplicativos computacionais que visam à determinação da dinâmica temporal das iluminâncias baseada em arquivos climáticos anuais.

Palavras-chaves: simulação computacional, iluminação natural, mapeamento digital de luminâncias, reflexão do entorno.

### ABSTRACT

The computer simulation is one of the best methods for daylighting analysis. Nowadays, there are dozens of programs to evaluate daylight distribution in the built environment that highly depends on the amount and direction of the incoming light. The sky vault and the surroundings are the main sources of daylight. The illumination produced by the sky depends on its luminance distribution and, to describe it, most of the programs uses standardized sky models. Difficulties on precisely characterizing the daylight sources can produce significant discrepancies between the simulation and the daylight conditions in real environments. Several studies indicate that to ignore the surroundings and the sky luminance dynamic distribution can represent one of the simplifications with more influence on the daylight evaluation. The aim of this research is to develop a method to analyze the contribution of sky vault and surroundings on daylight in an integrated basis, using the luminance digital mapping and computer simulation. In this way, sky and surroundings luminance patterns were introduced into lighting simulation so that the absolute accuracy of the program could be evaluated without the uncertainties that are introduced when sky models are used. One were able to verify that the surroundings, visible to most of the internal environment, when are considered in an appropriate way in the computer simulation, account for a significant portion of the admitted daylight. The outcomes of this research identified an average contribution up to 26% in the inner illuminance levels produced by lateral windows. The developed procedure also showed to be adequate for evaluating computer

codes that aim the prediction of time-varying illuminances founded on climatic test reference year data.

**Keywords:** computer simulation, daylighting, luminance digital mapping, building surroundings.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde o final do século XX, a Organização das Nações Unidas (ONU) tem intensificado a orientação para os países voltarem suas ações à redução do aquecimento global e à preservação ambiental. Nações desenvolvidas, como EUA, Japão, Alemanha, Canadá, entre outras, por terem suas reservas dependentes de combustíveis fósseis, estão entre as que mais investem no desenvolvimento de tecnologias ambientalmente responsáveis. A proposta baseia-se na substituição de sistemas ineficientes e poluidores do meio ambiente, por sistemas que utilizam fontes naturais renováveis, como a energia solar, energia eólica e a iluminação natural. É consensual que novas tecnologias de geração de energia podem reduzir os riscos de colapsos energéticos, como o “apagão” que ocorreu no Brasil em 2002, e nos Estados Unidos em 2003 (JANNUZZI, 2005).

No Brasil, o consumo de energia elétrica nas edificações, compreendendo os setores residencial, comercial e público, é de aproximadamente 47% do total, conforme mostrado pelo Balanço Energético Nacional (BEN) de 2007, sendo que 70% da energia consumida nesses três setores é para os sistemas de iluminação artificial e ar condicionado. Desta forma, a iluminação natural destaca-se como uma das estratégias de grande potencial para a economia de energia.

Uma pesquisa recente na internet, desenvolvida por Reinhart e Fitz (2006), revelou que 91% de um total de 185 profissionais trabalham com ferramentas de simulação de iluminação natural. Os 9% que não usufruem desse recurso culpam a falta de informação e a negligência dos clientes em não pagar pelo custo adicional do uso dos simuladores. A pesquisa foi administrada no período entre 2 de dezembro de 2003 e 19 de janeiro de 2004. Os participantes representavam 27 países, predominantemente o Canadá (20%), EUA (20%) e Alemanha (12%). As profissões informadas variaram de consultores de energia, engenheiros (38%), arquitetos e desenhistas (31%) a pesquisadores (23%). Foi identificado que os profissionais “acreditam” que as ferramentas apresentam resultados precisos e que a simulação computacional é utilizada com maior frequência em relação aos modelos físicos ou outras técnicas de análise.

Por outro lado, as discrepâncias encontradas nos resultados das simulações, em relação ao comportamento da iluminação em ambientes reais, ficam evidenciadas pela imprecisão da construção dos cenários, caracterização das propriedades ópticas dos materiais e nas limitações dos algoritmos matemáticos empregados. Entretanto, o principal aspecto, ainda reside na dificuldade da descrição da fonte de luz natural, caracterizada pela abóbada celeste e pelo entorno natural ou edificado (MAAMARI *et al.*, 2003; MARDALJEVIC, 2006).

Alguns procedimentos são utilizados para suprir a falta de medições em tempo real que caracterizam a disponibilidade da luz natural. Entre eles, pode-se citar o monitoramento da iluminação natural através de dados de satélite. Esse procedimento é realizado através do programa denominado *Satel-light*. A caracterização da fonte luminosa é realizada através da iluminância global, obtida de hora em hora e convertida a partir da difusão da radiação solar, que é determinada pela relação entre a irradiância eletromagnética refletida, de forma direta ou difusa, e a irradiância incidente (FONTOYNONT *et al.*, 1997). O procedimento gerou para a superfície terrestre, de várias partes do mundo, os mapas digitais com valores de iluminâncias para os anos compreendidos entre 1998 e 2002. Este banco de dados é disponibilizado na internet através do endereço <<http://www.satel-light.com>>. Janjai *et al.* (2008), em estudos desenvolvidos na Tailândia, utilizou o *Satel-light* para fornecer o mapeamento digital de iluminâncias como parâmetro de informação para os projetos das edificações que utilizam a iluminação natural.

No entanto, foi em 1985 que surgiu a principal proposta destinada a caracterizar o comportamento da iluminação natural a partir de medições em tempo real. Esta iniciativa, denominada de International Daylight Measurement Programme (IDMP), propôs a instalação de estações de medição de iluminação natural ao redor do mundo. Em 1991, foi lançado o *Guide to Recommended Practice of Daylight Measurement*, documento que fornece as regras para a prática de medições e recomendações sobre o controle de qualidade, armazenamento e disseminação de dados de iluminação natural. Sua versão final foi aprovada em 1994, sendo adotada pela CIE, como o texto CIE 108/1994. Graças a esse programa, uma série de estações de medição de iluminação natural foi aberta em todo o mundo, produzindo dados que permitiram a avaliação de características relativas ao comportamento da luz natural para diversos tipos climáticos e condições atmosféricas (IDMP, 2008; CIE, 1994), entre elas, a iluminância global horizontal, a iluminância difusa horizontal, a iluminância do zênite, a luminância da abóbada, citando as principais.

Para ser considerada como “Estação de Classe de Pesquisa” é necessário medir a distribuição de luminâncias da abóbada celeste. O IDMP possui 48 estações oficiais em todo o mundo, mas somente 22 medem a distribuição de luminâncias (figura 2). No Brasil, a primeira estação estabelecida de acordo com o padrão IDMP localiza-se na cidade de Florianópolis, situada na Universidade Federal de Santa Catarina (SOUZA; PEREIRA, 2004).

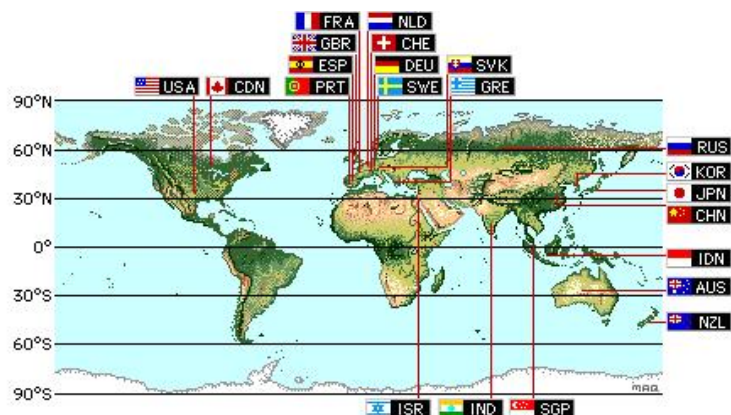


Figura 2 - Mapa de localização das estações de medição de iluminação natural e radiação solar da IDMP.  
Fonte: <http://idmp.entpe.fr>.

O Building Research Establishment (BRE) é o instituto de pesquisa responsável pela preparação das estações-classe de pesquisa. Além das medidas de iluminâncias, o BRE monitora a distribuição da luminância do céu a partir de um aparato capaz de varrer a abóbada celeste a cada 15 minutos. O aparato tem a propriedade de varrer a abóbada celeste em 145 zonas (recomendação da CIE/1994), caracterizadas por um ângulo sólido de 11 graus de altitude. Esse procedimento, entretanto, conforme Mardaljevic (2000), permite caracterizar apenas 68% da abóbada, assim mesmo considerando uma luminância uniforme dentro de cada zona (figura 3).

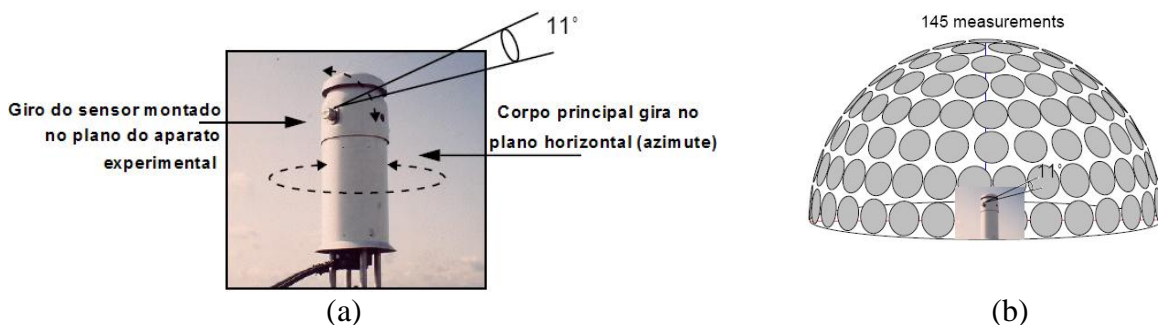


Figura 03 – a) Ilustração do aparato de medição utilizado para caracterizar a distribuição de luminâncias da abóbada celeste.  
b) Varredura da abóbada celeste em 145 partes.  
Fonte: Mardaljevic (2000).

Além do registro do comportamento luminoso da abóbada celeste e das iluminâncias externas, a base de dados do BRE-IDMP, produzida em 1992, disponibiliza as medidas de iluminâncias no interior de um ambiente real, levantadas em seis posições, simultaneamente ao mapeamento da abóbada. A figura 4 ilustra as instalações da estação de monitoramento de iluminação natural, localizada em Londres (figura 4).

O propósito inicial era justamente montar uma base de dados contendo a caracterização das fontes de luz natural (abóbada e Sol) e as condições de iluminação resultantes num ambiente interno, durante o período de um ano. Tal base poderia ser utilizada para avaliar o comportamento de ferramentas de simulação. Entretanto, percebe-se uma limitação nesse procedimento, uma vez que as iluminâncias internas monitoradas apresentam contribuição da luz refletida pelo entorno, que é visível para as aberturas laterais, mas tal contribuição não foi adequadamente considerada pelo processo de monitoramento da estação IDMP.

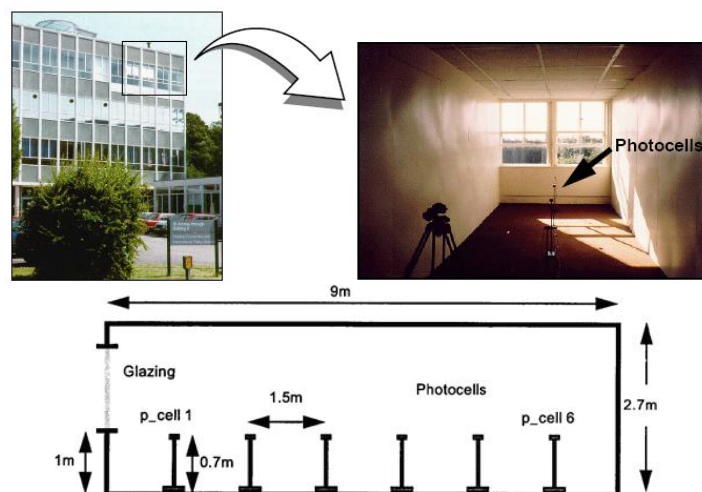


Figura 4 – Ambiente monitorado no BRE.

## 2. OBJETIVO

O principal objetivo deste estudo é desenvolver um método para caracterizar as fontes de luz natural de forma integrada para avaliação de aplicativos computacionais, utilizando os recursos de mapeamento digital de luminâncias.

## 3. MÉTODO

Os aplicativos de simulação computacional da iluminação natural, em sua grande maioria, estimam a fonte luminosa através de modelos de céu padrão, o que pode proporcionar discrepâncias entre valores teóricos e experimentais, obtidos com céu real. Muitos estudos relatam tais diferenças e a explicação reside no fato que os modelos de céu padronizados representam condições médias de disponibilidade de luz, que raramente coincidirão com as condições de disponibilidade de luz real encontrada num determinado momento de um levantamento experimental.

Neste contexto, o presente estudo apresenta um conjunto de procedimentos capaz de caracterizar com precisão as principais fontes de luz natural, em especial, a contribuição do entorno na iluminação natural produzida por aberturas laterais.

### 3.1 Mapeamento digital da distribuição de luminâncias

A pesquisa foi realizada no prédio do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, situado no *campus* da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), na cidade de Florianópolis. Os registros fotográficos do local estão representados pelas figuras 5 e 6. O primeiro caracteriza a visibilidade da abóbada celeste e do entorno com uma lente olho de peixe voltada para o zênite e o segundo ilustra a vista do entorno natural edificado.



Figura 5 – Visão da abóbada celeste observada na cobertura do prédio.



**Figura 6** – Vista panorâmica da cobertura do prédio

A câmera digital utilizada neste trabalho é denominada IQCam<sup>1</sup> Imaging Photometer - 300 (IQC) e foi empregada como instrumento fotométrico para o mapeamento digital de luminâncias (figura 7). O equipamento apresenta uma lente olho de peixe com abertura angular de aproximadamente 186 graus e permite, através do cenário digitalizado, identificar o valor da luminância em  $\text{cd}/\text{m}^2$  para cada *pixel* da imagem. O mapeamento é realizado com o auxílio de um programa proprietário (RT-32), onde as imagens são editadas e uma base de dados de luminância para cada *pixel* é produzida. Essa base relaciona um mapa digital de luminâncias, que representa, através de seus *pixels*, mais de um milhão de dados fotométricos.

Por recomendação do fabricante da IQC, o mapeamento digital ocorreu somente nos dias em que foram identificadas luminâncias reduzidas, em geral com nuvens cobrindo o Sol e a região circunsolar, uma vez que luminâncias excessivas podem danificar o sensor fotométrico e o circuito eletrônico integrado. Cabe ressaltar, que a caracterização da contribuição da abóbada e do entorno através deste procedimento experimental depende apenas da variação espacial e da magnitude do fluxo luminoso através de suas componentes celeste e refletida, independente das condições atmosféricas. Desta forma, para a simulação computacional no ambiente interno, é suficiente informar a luminância apresentada pelos elementos visíveis da fonte, levando em consideração sua altitude e o ângulo sólido.



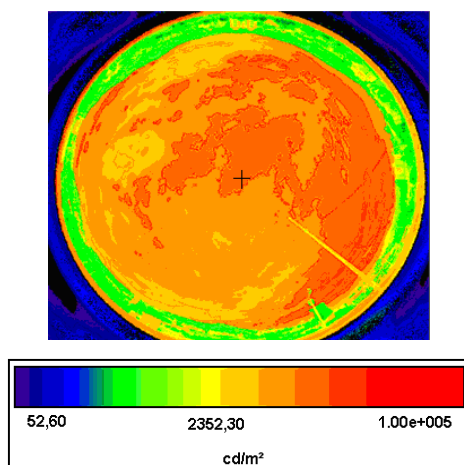
**Figura 7** – Câmera Digital IQC.

Com a abertura angular da lente olho de peixe da IQC voltada para a abóbada celeste foi possível identificar pequenas obstruções do entorno (menores de 4 graus de altitude). A figura 8 mostra um mapa de luminâncias da abóbada celeste com a câmera apontando para o zênite, enquanto a figura 9 apresenta um mapa de luminâncias obtido com a câmera apontando para o Sul, mostrando um meio céu e todo o seu entorno natural e edificado.

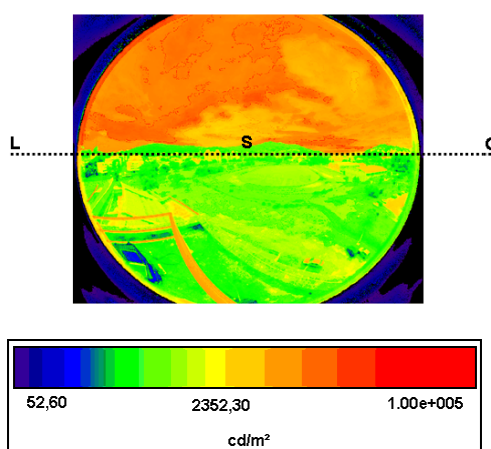
As imagens fotometradas identificam a luminância de todo um hemisfério visível, num intervalo de medição que varia de 500 a  $10^5 \text{ cd}/\text{m}^2$ .

---

<sup>1</sup> Câmera fabricada pela empresa canadense Lumetrix: [www.lumetrix.com](http://www.lumetrix.com).



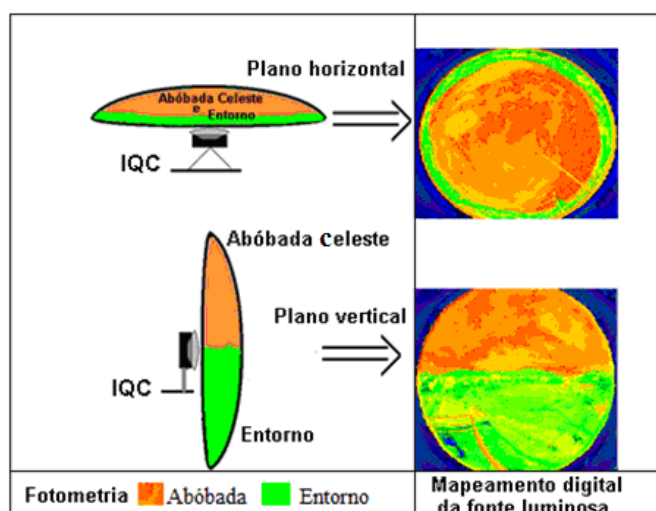
**Figura 8** – Mapa de luminâncias de um céu real (13-03-2008; 14h00min).



**Figura 9** – Mapa de luminâncias do 1/2 céu+entorno (13-03-2008; 14h00min).

Portanto, tendo como foco a determinação da contribuição luminosa efetiva das fontes, e para que os dados de luminâncias gerados sejam inseridos no algoritmo do programa computacional como entrada para a simulação teórica, desenvolve-se nesta etapa, o mapeamento da distribuição de luminâncias em dois planos de referência: i) um horizontal, caracterizando a abóbada celeste; ii) outro vertical, que configura a situação de visibilidade das aberturas laterais, identificando uma porção da abóbada e do entorno.

A figura 10 ilustra de maneira esquemática como os planos de medição são fotometrados com a câmera IQC.



**Figura 10** – Representação esquemática dos planos de referência.

### 3.2 O programa de simulação computacional – APOLUX

A ferramenta de simulação computacional utilizada neste trabalho é o programa APOLUX, que se fundamenta nos algoritmos propostos por Claro (1998). O programa é capaz de determinar a relação de visibilidade entre diferentes pontos de um ambiente, bem como a exposição desses pontos à abóbada celeste.

Ele utiliza um sistema de projeções esféricas de precisão ajustável. As projeções são feitas através de elementos finitos, possibilitando um grau variado de resolução, tanto na obtenção da visibilidade, quanto posteriormente, na aplicação da equação de radiosidade para o cálculo dos níveis de iluminâncias.

Além do cálculo de uma distribuição da abóbada segundo as fórmulas padronizadas pela CIE (1994), o APOLUX permite importar os arquivos de luminâncias gerados pela câmera IQC, associando estes valores ao mesmo sistema de projeção utilizado pelo algoritmo, caracterizando um hemisfério luminoso correspondente ao hemisfério fotometrado. Permite ainda combinar dois hemisférios fotografados em diferentes planos de medição.

### 3.3 Caracterização da contribuição efetiva do entorno

Busca-se identificar, nesta etapa, por meio de simulação computacional, que a luz admitida pela parcela da abóbada não visível por uma abertura lateral de uma edificação, é considerada através da reflexão do entorno visível. Desta forma, procura-se demonstrar que somente o mapeamento através do plano de referência vertical, que contém a porção da abóbada e do entorno visíveis, é suficiente para caracterizar as condições de iluminação no interior da edificação.

A figura 11 representa esquematicamente a equivalência entre os planos combinados “horizontal + vertical” e o plano “vertical” para a caracterização das condições de exposição de uma abertura lateral.

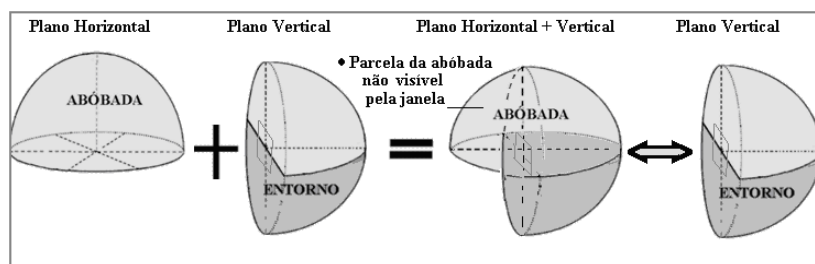


Figura 11 – Representação esquemática para avaliar os planos de referência.

Os procedimentos para a realização deste estudo são resumidos como segue:

- A fonte luminosa é fotometrada e caracterizada pelos planos de referência através do mapeamento digital de luminâncias, posteriormente utilizado como dados de entrada para a simulação computacional.
- São realizadas simulações computacionais, determinando-se as iluminâncias na superfície de um modelo teórico, representado por uma superfície vertical (figura 12).
- São calculadas as discrepâncias entre as iluminâncias simuladas para cada plano de referência: “plano horizontal”, “plano horizontal + plano vertical” e “plano vertical”.
- É caracterizada a condição do plano vertical (1/2 abóbada + entorno) e comparada sua equivalência com os planos combinados (abóbada inteira + entorno).

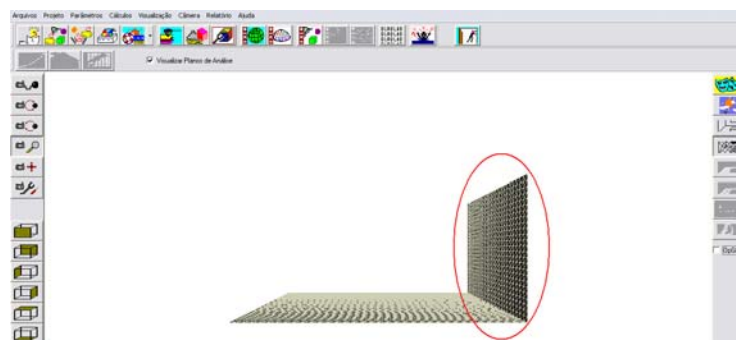


Figura 12 – Modelo teórico para avaliação da contribuição luminosa do entorno.

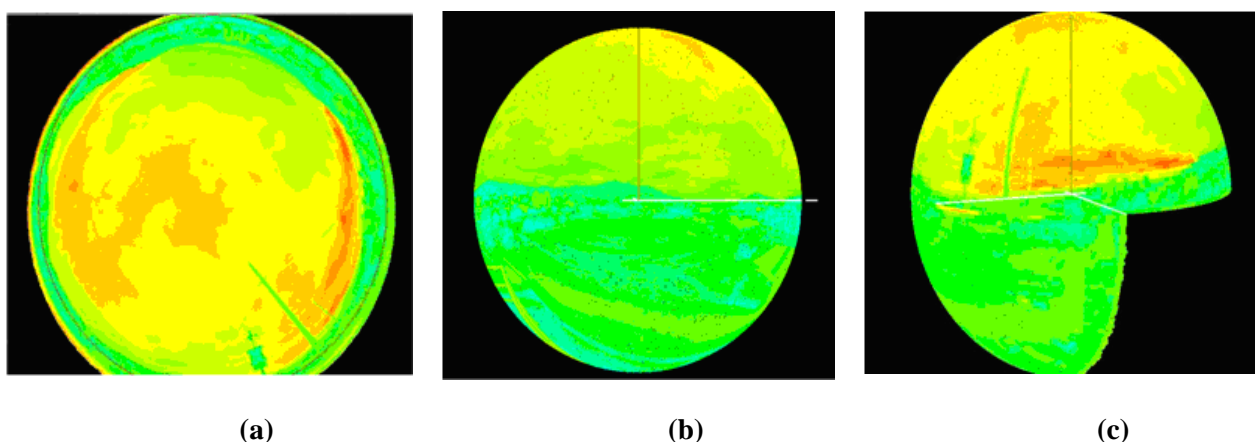
Fonte: APOLUX.

#### 4. RESULTADOS

A contribuição luminosa da reflexão no entorno, produzida pela porção inferior do hemisfério visto por uma superfície vertical, é usualmente simplificada, ou seja, estimada na simulação da iluminação natural como um acréscimo proporcional produzido por um albedo uniforme no valor de 20%. Porém, os seguintes questionamentos são estabelecidos: somente a análise da abóbada celeste é suficiente para caracterizar a distribuição da fonte luminosa em interiores? Qual a contribuição do entorno nos resultados da simulação? E a parte da abóbada celeste não visível pela abertura vertical, apresenta contribuição?

Os dados apresentados nesta seção descrevem o procedimento de simulação na superfície do modelo teórico em três situações. Inicialmente, é simulada a contribuição luminosa de toda a abóbada celeste (figura 13a). Num segundo momento, é considerado o plano de referência vertical (figura 13b), onde este descreve parte da abóbada celeste (meio céu à frente do modelo) e o entorno. Por último, é caracterizada a combinação entre os dois planos de referência (figura 13c). Esta etapa irá definir se existe ou não contribuição direta da parcela da abóbada não visível pela superfície do modelo estudado.

Com os dados que caracterizam a fonte luminosa inseridos no APOLUX, foram simuladas sete situações (projeções) de céu real em diferentes dias e horários. Os resultados das iluminâncias na superfície do modelo teórico podem ser observados na Tabela 1.



**Figura 13** – Distribuição da luminância da abóbada e entorno no dia 13mar.2008,14h.

a) Abóbada celeste inteira – plano de referência horizontal.

b)  $\frac{1}{2}$  céu + entorno – plano de referência vertical.

c) Combinação em 3D dos dois planos.

Fonte: Apolux.

Na tabela 01 são identificadas as iluminâncias medidas *in loco* no plano de referência vertical. Esta medição revela respectivamente a iluminância de parte da abóbada e entorno visíveis pelo plano do modelo. Assim foi possível conferir a adequação do procedimento utilizado para a inserção dos mapas digitais de luminância no processo de simulação computacional.

Destaca-se ainda, ao observar os resultados que seguem, que a reflexão do entorno apresenta uma contribuição média de 26%, chegando a percentuais superiores a 35% em 3/04/2008, no período de 08h30min. Este valor foi determinado pelas diferenças relativas encontradas entre as iluminâncias simuladas na superfície do modelo teórico, considerando a base de dados obtida pela fotometria da abóbada inteira (plano de referência horizontal) e de  $\frac{1}{2}$  abóbada + entorno (plano de referência vertical). Fotometrar o plano de referência vertical não significa desconsiderar uma possível contribuição de parte da abóbada e do entorno não visíveis pelo modelo; esta contribuição pode ocorrer através de uma porção refletida, considerada através da distribuição luminosa do entorno visível pela abertura lateral.

Ao combinar em 3D os hemisférios luminosos (planos de referência horizontal e vertical), os resultados simulados não apresentaram diferença significativa em relação ao plano de referência vertical. Foi constatado que a porção da abóbada celeste não visível pelo modelo teórico, não apresenta contribuição direta na iluminação do modelo, mas conforme o esperado, o faz através da reflexão do entorno. Este efeito é identificado pela igualdade de iluminâncias simuladas na superfície do modelo. O que permite concluir, que a fonte, caracterizada pela parcela de luz atribuída ao plano de referência vertical que contém o meio céu e o entorno a frente da superfície, é suficiente para verificar a contribuição luminosa na mesma. Este procedimento, com certeza, garante uma maior aproximação dos valores obtidos através de simulação



computacional com os que caracterizam a distribuição real da iluminação nas edificações, uma vez que as iluminâncias internas monitoradas apresentam contribuição da luz refletida pelo entorno, que é visível para as aberturas laterais, mas tal contribuição não é usualmente considerada pelas ferramentas de simulação de iluminação natural.

**Tabela 1** – Contribuição do entorno obtida através da simulação computacional.

Data / Período	Planos de referência	Iluminâncias medidas no plano vertical (kLux)	Iluminâncias simuladas na superfície vertical do modelo (kLux)	Contribuição do entorno (%)
26/11/2008 (8h40min)	Abóbada inteira	17,9	15,8	16,40
	½ Abóbada + Entorno		18,9	
	Abóbada inteira + Entorno		18,9	
4/12/2008 (14h00min)	Abóbada inteira	11,8	9,1	24,17
	½ Abóbada + Entorno		12,0	
	Abóbada inteira + Entorno		12,0	
1/12/2008 (17h10min)	Abóbada inteira	10,7	9,3	15,45
	½ Abóbada + Entorno		11,0	
	Abóbada inteira + Entorno		11,0	
13/03/2008 (14h00min)	Abóbada inteira	11,4	7,9	21,78
	½ Abóbada + Entorno		10,1	
	Abóbada inteira + Entorno		10,1	
1/04/2008 (16h30min)	Abóbada inteira	4,9	3,4	32,00
	½ Abóbada + Entorno		5,0	
	Abóbada inteira + Entorno		5,0	
3/04/2008 (8h30min)	Abóbada inteira	9,9	5,9	37,89
	½ Abóbada + Entorno		9,5	
	Abóbada inteira + Entorno		9,5	
3/04/2008 (9h00min)	Abóbada inteira	12,3	9,1	31,58
	½ Abóbada + Entorno		13,3	
	Abóbada inteira + Entorno		13,3	
			Média	26

## 5. CONCLUSÕES

Uma análise precisa da iluminação natural nos projetos das edificações caracteriza um trabalho rico em detalhes, para o qual é imprescindível o conhecimento da fonte que efetivamente contribui para a iluminação no interior das edificações. Este conhecimento permite viabilizar a simulação da iluminação natural em interiores, para que seu aproveitamento seja usado em substituição à iluminação artificial. A simulação computacional é rápida, acelera a tomada de decisões nas diferentes etapas dos projetos, apresenta um razoável custo-benefício e, unida a aplicativos gráficos, permite descrever geometrias complexas. No entanto, necessita ainda aumentar o grau de confiança dos especialistas na sua utilização.

É essencial o emprego da tecnologia dos sensores CCD para o mapeamento das luminâncias e avaliação das relações de visibilidade no ambiente construído. O que antes era uma medida tediosa de se obter, por ser feita ponto a ponto através de luminancímetros, agora possibilita caracterizar o ambiente visual de forma integral e precisa. A imagem capturada pela câmera IQC demonstrou ser eficaz na obtenção do mapeamento digital de luminâncias e serviu como base de dados para alimentar o simulador computacional APOLUX. Este programa mostrou ser capaz de importar os arquivos de luminâncias gerados pela IQC, associando estes valores ao mesmo sistema de projeção utilizado pelo algoritmo, caracterizando um hemisfério luminoso correspondente ao hemisfério fotométrado.

O método empregado permitiu avaliar as contribuições da abóbada celeste e do entorno nas

superfícies verticais. Os resultados mostram que a componente refletida no entorno pode contribuir diferentemente daquele albedo uniforme de 20% (refletância) usualmente considerado e sua correta consideração permite reduzir as distorções na avaliação da iluminação natural das edificações. O estudo demonstrou para uma condição de céu real uma contribuição média do entorno de 26% em relação à abóbada, com um valor mínimo de 15,4% e um máximo de 37%.

Para o procedimento de validação dos programas computacionais de simulação que visam à determinação da dinâmica temporal das iluminâncias baseada em arquivos climáticos anuais é essencial estabelecer a correta caracterização da fonte de luz natural que efetivamente contribui para a iluminação em interiores. Neste contexto, deve-se considerar a abóbada celeste visível pelas aberturas e o seu entorno, cujos planos representam a disponibilidade direta e refletida da luz natural em superfícies com aberturas laterais.

## 6. Referências bibliográficas

CIE STANDARD; (1994). Guide to recommended practice of daylight measurement. Technical report. Commission Internationale de L'Eclairage. Publication CIE 108-1994, Vienna, Austria.

CIE STANDARD (2006). Technical Report. CIE 171/2006. Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs. Commission Internationale de L'Eclairage.

CLARO, A. (1998). Modelo Vetorial Esférico para Radiosidade Aplicado à Iluminação Natural. Tese de Doutorado, 177 p., UFSC, Florianópolis.

FONTOYNONT, M., DUMORTIER, D., HEINEMAN, D., HAMMER, A., OLSETH, J., SKATVEIT, A., INEICHEN, P., REISE, C., PAGE, J., ROCHE, L., BEYER, H.G., WALD, L., SANTOS, A.; (1997). SATELLIGHT: A European program dedicated to serving daylight data computed for Meteosat images. In: Proceedings of the eighth European Lighting Conference, 11–14 May, Amsterdam.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), (2006). Daylighting Simulation: Methods, Algorithms, Resources - Solar Heating and Cooling Programme - Task 21 / Energy Conservation in Buildings and Community. Systems Programme Annex 29: Daylight in Buildings. December.

INTERNATIONAL DAYLIGHT MEASUREMENT PROGRAMME - (IDMP), (2008). <http://idmp.entpe.fr>.

JANJAI, S.; TOHSING, K.; NUNEZ, M.; LAKSANABOONSONG, J. (2008). A technique for mapping global illuminance from satellite data. *Solar Energy*, v. 82, pp. 543–555.

JANNUZZI, G. D. M.; (2005). Power sector reforms in Brazil and its impacts on energy efficiency and research and development activities. *Energy Policy* v.33, p. 1753 – 1762.

MAAMARI, F., FONTOYNONT, M., HIRATA, M., KOSTER, J., MARTY, C., TRANSGRASSOULIS, A.; (2003). Reliable Datasets for Lighting Programs Validation, Benchmark Results. Conferência Internacional CISBAT 2003, p. 241-246.

MARDALJEVIC, J.; (2000). The BRE-IDMP dataset: a new benchmark for the validation of illuminance prediction techniques. Institute of Energy and Sustainable Development (IESD), De Montfort University, Leicester LE7 9SU, UK. November, p. 117-136.

MARDALJEVIC, J.; (2006). Daylight: Monitoring, Sky Models, and Daylight Indoors. *Daylighting Simulation*, p. 341-390.

REINHART, C., FITZ, A.; (2006). Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design. Elsevier B.V. *Energy and Buildings*, v.38, p 824 – 835.

SHALABY, A. M.; KING, J.; GOLD, M. (2005). Evaluating Lightscape's accuracy for predicting daylighting illuminance compared to an actual space. International Solar Energy Society (ISES) - (<http://www.sbse.org/awards/docs/Shalaby.pdf>).

SOUZA, R.V.; PEREIRA, F.O.R.; (2004). Primeira estação de medição de iluminação natural em território brasileiro: análise dos dados dos dois primeiros anos de funcionamento. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 4, p. 79-94.

SOTERAS, R. M.; (1985) Geometría e Iluminación Natural - introducción de la iluminación natural en el proceso de control gráfico del diseño, Tesis Doctoral, ETSAB, UPC, Barcelona, España.

SPASOJEVIAC, B., MAHDAVI, A. (2005). Sky Luminance Mapping for Computation Daylight Modeling. Ninth International IBPSA Conference, Montréal, Canada, p. 1163-1170.