

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ESTUDO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE DUTOS DE LUZ E O APROVEITAMENTO DE LUZ NATURAL UTILIZANDO IMAGENS HDR¹

RUTKAY PEREIRA, Fernando (1); DE SOUZA, Priscila (2);

(1) UFSC, e-mail: ruttkay.pereira@ufsc.br; (2) UFSC, e-mail:
prisciladesouza94@gmail.com

RESUMO

Dutos de luz natural podem ser uma alternativa eficaz para admitir luz natural em ambientes com restrição para aberturas convencionais. Entretanto, existe uma carência de dados fotométricos que representem o real comportamento destes sistemas. O objetivo deste trabalho de iniciação científica é analisar o comportamento luminoso de dutos de luz, utilizando uma técnica de mapeamento de luminâncias baseada em imagens HDR (High Dynamic Range). A técnica HDR possibilita a criação rápida e precisa de mapas de luminância, empregada para determinar o fluxo luminoso transmitido através de referências teóricas básicas da fotometria. Foi utilizado um duto de luz, modelo Solatube 160 DS. A partir do cálculo do fluxo luminoso transmitido foi obtido o coeficiente de transmissão luminosa, resultando em 40%. Após a caracterização fotométrica, verificou-se a utilização do duto como fonte de luz, considerando a natureza variável da luz natural, através de simulações com o *plug-in DIVA* do software *Rhinoceros*. Nessas condições, constatou-se que dutos de luz, quando adequadamente projetados, são capazes de fornecer a iluminância média requerida num percentual significativo das horas ocupadas, ratificando o potencial que os mesmos apresentam para a redução do consumo de energia elétrica.

Palavras-chave: Dutos de luz. Imagens HDR. Mapeamento de luminâncias. Transmissão luminosa.

ABSTRACT

Light pipes can be an effective alternative to admit natural light into environments with restrictions to conventional openings. However, there is a lack of photometric data representing the actual behavior of these systems. The objective of this undergraduate research is to analyze the performance of light pipes using a luminance mapping technique based on HDR images (High Dynamic Range). The HDR technique allows a fast and accurate creation of luminance maps and is used to determine the luminous flux transmitted through basic photometry theoretical references. Was used one model of light pipe, Solatube 160 DS. From the calculation of the luminous flux transmitted, light transmission coefficient was obtained resulting in 40%. After the photometric characterization, it was verified the use of light pipes as a light source, considering the variable nature of the natural light, through simulations with the DIVA plug-in software Rhinoceros Under these conditions, it was found that light pipes, when properly designed, are able to provide the average illuminance

¹ RUTKAY PEREIRA, Fernando; DE SOUZA, Priscila. Estudo experimental do comportamento de dutos de luz e o aproveitamento de luz natural utilizando imagens HDR. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

required in a relevant proportion of the occupied hours, confirming the potential that they have in the reduction of electricity consumption.

Keywords: *Light pipes. HDR images. Luminance mapping. Light transmission.*

1 INTRODUÇÃO

Além do potencial de economia de energia que a utilização da luz natural pode apresentar, ressalta-se ainda a sua influência sobre fatores fisiológicos e psicológicos dos seres vivos, sobretudo ao homem. Além de satisfazer a exigência humana básica de enxergar bem tanto a tarefa quanto o entorno, sabe-se que a iluminação natural está relacionada ao aumento da produtividade no ambiente de trabalho e melhora na concentração, melhora na sincronia dos ciclos circadianos e bem estar geral dos usuários.

Cada vez mais, com o adensamento populacional o espaço para construir se torna menor e mais limitado pelo entorno, dificultando o acesso das edificações à luz do sol. As soluções convencionais de uso da luz natural, através de aberturas laterais (janelas), quando utilizadas isoladamente, geralmente estabelecem uma distribuição irregular no ambiente interno, provocando altos valores de iluminância nas regiões próximas à abertura, e níveis insuficientes de iluminação nos pontos mais distantes. Com isto as soluções não convencionais podem ser vistas como tentativas de aproveitar a luz natural preenchendo a lacuna deixada pelos sistemas convencionais, atuando de modo eficiente tanto na complementação a esses, como na inovação, ou seja, conduzindo a luz natural até onde seja necessário e onde não se permite a aplicação de soluções convencionais, como por exemplo, nos subsolos (LUZ, 2009).

Entretanto, atualmente no Brasil, existe uma oferta muito reduzida destes produtos de captação de luz natural. Além disso, há uma carência de informação sobre o efetivo comportamento fotométrico dos dutos de luz. Poucos dados técnicos estão disponíveis para possibilitar a efetiva inserção de dutos de luz como um sistema de complementação a outros sistemas de aberturas e de iluminação artificial. A dinâmica da disponibilidade de luz natural, seja na variação de sua magnitude, seja na sua distribuição espacial, impõe também mais esta variável ao comportamento luminoso dos dutos de luz, somando-se a sua já usualmente complexa geometria.

Considerando estes aspectos, o objetivo deste trabalho é estudar o comportamento luminoso de dutos de luz, utilizando a técnica HDR, a qual permite fazer o mapeamento de luminâncias através de imagens com diferentes graus de exposição (HDR). A técnica HDR permite a quantificação do fluxo luminoso de forma rápida, independente de quão complexa seja a abertura (MARDALJEVIC, 2009).

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é estudar o comportamento luminoso de dutos de luz e sua utilização como luminárias de luz natural, através de técnica inovadora de mapeamento de luminâncias via imagens HDR.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Sabe-se que fotografias são muito utilizadas em estudos de iluminação, pois as imagens se apresentam como um razoável substituto na representação do espaço real. No entanto, imagens comuns ou LDRs (Low Dynamic Range) não conseguem reproduzir toda a gama de luminâncias existentes em espaços reais. Já as imagens HDR (High Dynamic Range) utilizam a combinação de várias fotografias (LDRs) de uma mesma cena para capturar a grande variação de brilho que esta pode apresentar.

Também é possível fazer a medição de propriedades fotométricas de uma cena através de equipamentos que fazem medições ponto-a-ponto. Contudo, essas medições são demoradas e suscetíveis a erros, de modo que os resultados obtidos podem ser inapropriados para análise da distribuição e variação de luz (INANICI, 2005). Dessa forma, a técnica HDR se apresenta como um meio rápido e confiável para medir propriedades fotométricas independente da complexidade da cena.

A técnica HDR foi usada neste estudo para a obtenção do fluxo luminoso emitido pelos dutos de luz, numa abordagem chamada TFL-HDRI (*transmission illuminance proxy – high-dynamic range imaging*, ou em tradução livre, estimativa da transmissão luminosa – imagem de variação dinâmica elevada) proposta por Mardaljevic e co-autores (2009). Esta técnica permite a determinação do fluxo luminoso por qualquer abertura, independente do campo luminoso incidente. Essa apropriação consiste em determinar a relação entre a luminância na superfície difusora posterior (saída de luz) e a iluminância produzida pelo fluxo incidente no lado anterior (entrada de luz). Por isso, inicialmente, é medida a iluminância na parte anterior do duto com o auxílio de um luxímetro, e em seguida, com uma câmera digital são feitas fotografias com vários graus de exposição da saída do duto. A partir dessas imagens pode ser gerada uma imagem síntese, onde cada pixel corresponde a um valor de luminância equivalente ao que pode ser medido com um luminancímetro. Se a relação entre o fluxo incidente no duto e a luminância resultante no material difusor na saída do duto pode ser determinada, então torna-se uma questão relativamente simples derivar o fluxo luminoso resultante de medições de luminância do material difusor (MOON, 1932; MARDALJEVIC, 2009).

A primeira aproximação é assumir a proporcionalidade entre L e E, conforme Eq. 1:

$$L=qE \quad (1)$$

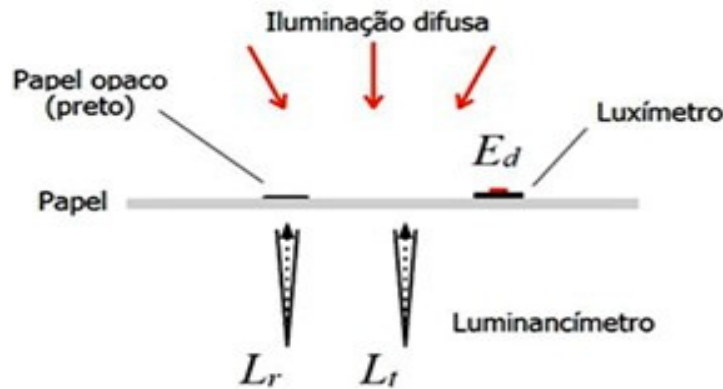
Onde q ($\text{cd/m}^2.\text{lux}^{-1}$ ou sr^{-1}) é o coeficiente da luminância para a luz transmitida pelo material difusor.

Assim, deve ser feita a calibração do coeficiente q, através de diversas medições da iluminância E e da luminância L.

A luminância vista na saída do duto é a subtração da luminância do material difusor pela luminância refletida L_r , que é a resultante da reflexão do

material difusor (ver Eq. 2). Para obtê-la deve ser utilizado um material opaco, neste caso um papel preto, e realizar a medição da luminância (ver Figura 1).

Figura 1 – Desenho esquemático do procedimento experimental



Fonte: Pereira et al, 2015

$$L = L_t - L_r \quad (2)$$

Para a determinação do fluxo luminoso, os valores obtidos nas medições foram aplicados na Equação 3, conforme segue:

$$\Phi = EA = q^{-1} (L_t - L_r)A \quad (3)$$

Onde:

Φ - fluxo luminoso emitido (lm)

q - coeficiente de luminância do elemento difusor ($\text{cd}/\text{m}^2.\text{lux}^{-1}$ ou sr^{-1})

L_t - luminância média da área da amostra juntamente com o elemento difusor e elemento opaco (cd/m^2)

L_r - luminância do elemento opaco (cd/m^2)

A - área de saída de luz do duto (m^2)

A técnica já demonstrou ser viável para medição de elementos simples, como vidros comuns e elementos vazados, apresentando erros médios inferiores a 10%. A técnica se mostra vantajosa comparada aos atuais métodos utilizados no estudo na área de iluminação, principalmente pelo seu baixo custo e os materiais simples utilizados (PEREIRA et al, 2015).

4 MÉTODO

O método utilizado neste estudo consiste em duas etapas. A primeira etapa compreende o procedimento experimental para obtenção do fluxo luminoso transmitido pelo duto de luz estudado - Solatube 160 DS.

Na segunda etapa do estudo testou-se a utilização do duto como fonte de luz, no intuito de avaliar o comportamento do mesmo exposto às condições variáveis de iluminação natural em um ambiente de sala de aula. Para isso, a partir do fluxo luminoso obtido na etapa anterior, foi calculado o coeficiente de transmissão luminosa para o duto. Esse coeficiente foi utilizado

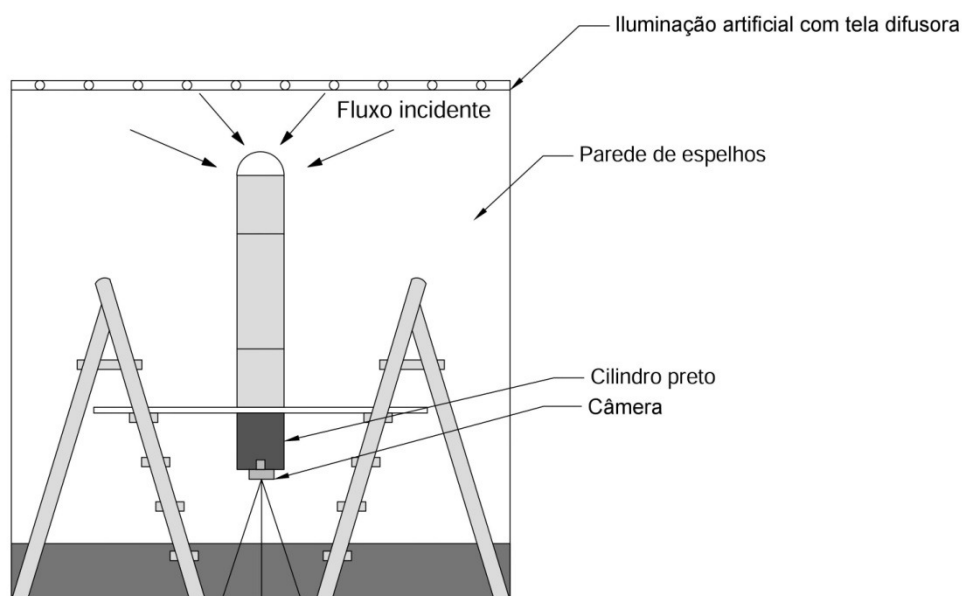
para caracterizar o duto de luz numa simulação simplificada no *software* Rhinoceros versão 5.0 com o *plug-in* DIVA (sigla para *Design Iterate Validate Adapt*, ou em tradução livre, Projetar Iterar Validar Adaptar) versão 3.0.

4.1 Locais e equipamentos

Os experimentos com duto de luz Solatube 160 DS foram feitos em um céu artificial do tipo “caixa de espelhos”, localizado num anexo do Laboratório de Conforto Ambiental - UFSC (CASTAÑO, 2007). O local é composto por quatro paredes revestidas com placas de espelho e um sistema de iluminação artificial superior coberto por um plano difusor. O céu artificial apresenta uma condição de iluminação estável, característica desejável para o processo de captura do conjunto de imagens. Foi utilizado um cilindro de papel preto instalado na saída do duto de luz para evitar o contato da lente da câmera com a parcela de luz refletida no entorno, considerando somente o fluxo luminoso com origem na fonte de iluminação artificial através do plano difusor (ver Figura 2).

Foi montada uma estrutura no céu artificial a fim de proporcionar suporte ao duto: um apoio de madeira com um orifício na parte central para saída de luz do duto e um par de escadas de alumínio. Logo abaixo da saída de luz do duto foi colocado o cilindro de papel preto. O elemento difusor utilizado foi uma folha de papel branco cortado em formato de círculo com diâmetro de 29 cm, e o elemento opaco consiste em um pedaço de 8x8 cm de papel preto.

Figura 2 – Desenho esquemático das medições no céu artificial



Fonte: produzido pelos autores

A sequência de imagens que gerou as HDRs foi produzida com a câmera Canon EOS 60D com lente olho de peixe modelo Sigma 4.5 mm f/2.8 EX DC HSM, fixada em um tripé. Para medição das iluminâncias foi utilizado o

luxímetro Konica Minolta Illuminance Meter T-10. Para reduzir imprecisões no processo de captura das imagens, foi utilizado o *software* Canon EOS Utility, que possui função para disparo da câmera através de um computador. O programa utilizado para a manipulação, geração e tratamento das imagens HDR é o Photolux V 3.1 (*Photometric Measuring System*), que opera no sistema Microsoft Windows.

4.2 Caracterização do duto

Os dutos de luz podem ser divididos em três partes: superior, intermediária e inferior. A parte superior consiste de um domo acrílico modelado para funcionar como uma lente prismática, redirecionando a luz solar proveniente de baixos ângulos. A parte intermediária, que tem função de conduzir a luz admitida pelo domo é composta pelo tubo extensor, uma folha de alumínio de 0,4mm que é envolta internamente por uma película que apresenta uma refletividade acima de 95% para o espectro de luz visível. Por fim, na parte inferior se encontra o difusor acrílico de 2,29mm de espessura, que possui a função de difundir a luz (ver Figura 3).

Figura 3 – Exemplo de duto de luz e suas partes



Fonte: Adaptado de: www.solatube.com.au

5 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA OBTENÇÃO DO FLUXO LUMINOSO

A primeira medição a ser realizada é a do coeficiente de luminância (q) do material difusor, representado neste estudo por uma folha de papel branco de gramatura 90g. A iluminância (E) produzida pela fonte difusa do céu artificial e incidente no material difusor foi medida com um luxímetro, resultando em 4.700 lux. Na sequência é fotografado o conjunto de imagens que dará origem ao mapa de luminâncias, correspondente a sete fotografias com diferentes valores de exposição (combinação abertura + tempo de exposição). Os valores de exposição empregados foram os sugeridos no manual do *software* Photolux, exemplificados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de exposição sugeridos no manual do software Photolux

F/t	4	2	1	1/2	1/4	1/8	1/15	1/30	1/60	1/125	1/250	1/500	1/1000	1/2000	1/4000	1/8000
5.6	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.9
10	3.6	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	9.6	10.5	11.5	12.5	13.6	14.6	15.6	16.6	18.6	19.6
14	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	9.6	10.6	11.5	12.5	13.5	14.6	15.6	16.6	17.6	19.6	20.6
18	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.2	13.2	14.2	15.3	16.3	17.3	18.3	20.3	21.3
22	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.8	13.8	14.8	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9

Fonte: Photolux 3.1 Users' guide for Canon EOS

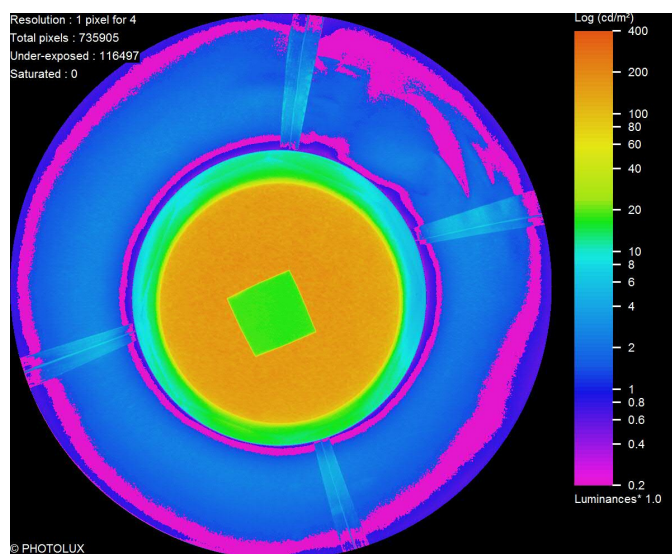
O valor da luminância do elemento difusor (L) foi obtido a partir do mapa de luminâncias da imagem HDR gerada no software Photolux, correspondendo a um valor médio de 193 cd/m^2 . Aplicando-se a equação 1, obtém-se o valor do coeficiente de luminância do elemento difusor (q), que é igual a $0,04106 \text{ cd/m}^2.\text{lux}^{-1}$.

Conhecido o coeficiente de luminância q , o elemento difusor é posicionado sob o difusor acrílico do duto de luz, enquanto um pedaço de papel preto é posicionado entre o difusor acrílico e o papel branco. Em seguida, o conjunto de imagens é fotografado, e as imagens tratadas no software Photolux, resultando no mapa de luminâncias, onde se obtém a luminância média da saída de luz do duto estudado juntamente com o elemento difusor e o elemento opaco (L_t). O software apresenta uma ferramenta que permite a seleção de uma área específica da imagem síntese, permitindo a obtenção do valor médio de luminância apenas da área selecionada, em cd/m^2 , desse modo pode selecionar-se somente a área do elemento opaco para obter sua luminância (L_r). Com essas informações e a área de saída de luz do duto (A), basta aplicar a Equação 3 para a obtenção do fluxo luminoso emitido.

5.1 Procedimento experimental em laboratório - Solatube 160 DS

Utilizando-se da bancada experimental descrita na Figura 2, mediu-se a iluminância (E) incidente no domo, resultando 7.200 lux . Em seguida, o valor da luminância do elemento difusor (L_t) na saída de luz do duto foi obtido através da leitura do mapa de luminâncias gerado no software Photolux (Figura 4). O valor médio em questão foi de 145 cd/m^2 .

Figura 4 – Mapa de luminâncias do duto 160 DS, produzido pelo Photolux



Fonte: produzido pelos autores no software Photolux

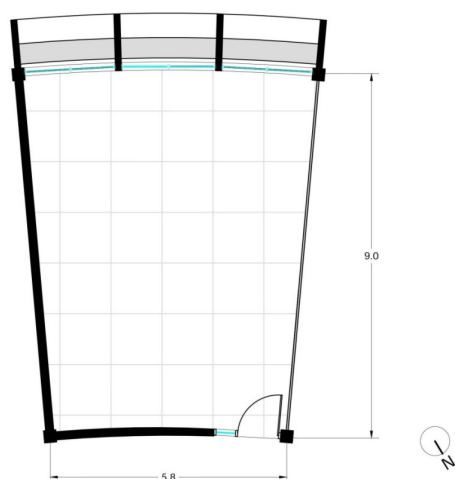
A luminância do elemento opaco (L_r) foi de $18,5 \text{ cd/m}^2$ e a área de saída de luz do duto (A) é $0,044 \text{ m}^2$ (identificada pelo círculo amarelo da imagem acima). Aplicando-se a equação 3 obteve-se um fluxo luminoso transmitido de $137,04 \text{ lúmens}$. Para obter a transmissão luminosa do duto de luz se fez a relação entre o fluxo luminoso emitido ($137,04 \text{ lm}$) e o fluxo luminoso incidente no domo, que corresponde ao produto da iluminância incidente no domo pela área de entrada de luz ($7200 \text{ lux} \times 0,047 \text{ m}^2$ resultando em $342,20 \text{ lúmens}$. Feita a operação de divisão, o valor encontrado para o coeficiente de transmissão luminosa foi de $40,04\%$.

6 SIMULAÇÃO DE CARACTERIZAÇÃO DOS DUTOS COMO FONTES DE LUZ

Para a realização das simulações supôs-se ser válida a substituição dos dutos de luz por uma abertura envidraçada de igual seção com a transmissão luminosa difusa equivalente à determinada experimentalmente na etapa anterior. Assim, foi simulado o parâmetro dinâmico Daylight Autonomy (Autonomia da Luz Natural), que indica o percentual das horas ocupadas no ano, nas quais um nível alvo de iluminância pode ser mantido pela iluminação natural (REINHART et al, 2006). O ambiente escolhido foi uma sala de aula do edifício do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, representado em planta baixa na Figura 5.

O nível de iluminância a ser mantido foi escolhido de acordo com a NBR 8995-1, que recomenda iluminância média de 300 lux para salas de aula (ABNT, 2013). O padrão de ocupação da sala foi considerado para o ano inteiro, das 8h às 18h. As características atribuídas ao ambiente foram: paredes, piso e teto constituídos por superfícies claras com refletância de 70% e aos vidros que substituem os dutos de luz foram atribuídos os coeficientes de transmissão difusa obtidos anteriormente ($40,04\%$).

Figura 5 – Planta baixa da sala de aula escolhida para simulação

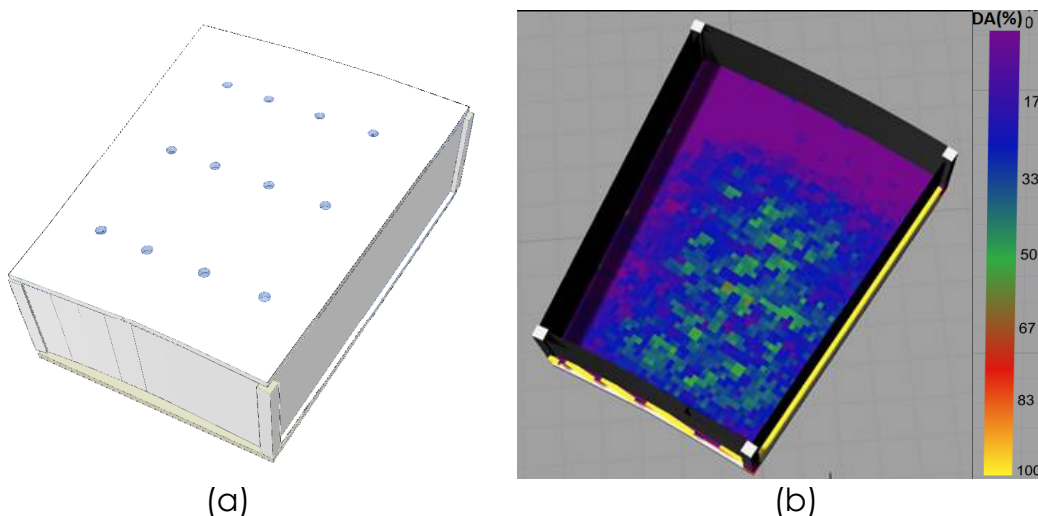


Fonte: produzido pelos autores

A malha de pontos a ser analisada foi considerada a 75 cm do piso e a distância entre os pontos de 15 cm. As simulações foram realizadas para a cidade de Florianópolis, latitude 27° 35' S, localizada na zona bioclimática brasileira ZB3 e o arquivo climático utilizado possui formato SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment).

Aberturas zenitais, como as geradas para representar os dutos, têm a vantagem de serem localizadas em qualquer lugar e, sendo dispostas de forma distribuída, proporcionam uma iluminação mais uniforme. Segundo recomendações de Lam (p.142, 1986) para locais com boa disponibilidade de luz do sol direta, a área total de aberturas zenitais deve corresponder a no mínimo 1% da área do ambiente. Dessa forma, para uma estimativa inicial da forma de representar os dutos, foram modeladas 12 aberturas envidraçadas com 0,047 m² (ver Figura 6 (a)), correspondendo a uma área total de 0,56 m², ou ~1% da área da sala (a área da sala é 56,40 m²).

Figura 6 – (a) Sala de aula com aberturas representando o duto 160 DS e (b) resultados da simulação para DA300



(a)

(b)

Fonte: produzido pelos autores

Os resultados indicaram que o ambiente apresenta uma Autonomia de Luz Natural Média (DA300) de 20,13 %, o que significa que em aproximadamente 735 horas das 3.650 horas ocupadas no ano as 12 aberturas são capazes de fornecer a iluminância média requerida de 300 lux (ver Figura 6 (b)).

Além disso, foi simulado o sDA300 (Spatial Daylight Autonomy) e foi constatado que apenas 4% da área da sala de aula apresenta um DA300 acima de 50% das horas ocupadas (IES, 2012).

Cabe salientar, que o modelo simulado não apresenta aberturas, exceto os dutos. Desta forma, combinando a área mínima de abertura lateral exigida pelo Código de Obras de Florianópolis (1/6 da área do compartimento, correspondente a 9,40 m²) com as aberturas zenitais, a sala de aula contaria com 17,65% da sua área composta de aberturas destinadas à iluminação natural.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Tabela 2 é apresentada uma síntese das medições realizadas com o duto de luz Solatube 160 DS.

Tabela 2 – Resultado do coeficiente de transmissão luminosa

Modelo duto de luz	Dimensões h x Ø_{saída} (m)	Fluxo Luminoso incidente (lúmens)	Fluxo Luminoso transmitido (lúmens)	Transmissão Luminosa obtida (%)
Solatube 160 DS	1,11 x 0,23	342,20	137,04	40,04%

Fonte: produzido pelos autores

O resultado da transmissão luminosa representa do total da luz natural incidente na entrada do duto, o quanto passa pela saída de luz. Este resultado está diretamente ligado às dimensões do duto, sendo que quanto maior a área de saída de luz, maior o fluxo luminoso. Outra característica que poderia influenciar na eficiência dos dutos de luz é a sua forma. No modelo usado neste estudo o tubo era linear, e como a principal forma de transmissão da luz no duto é por reflexão, dutos retos conduzem melhor a luz do que aqueles "angulados". Cada curvatura num duto de luz pode reduzir aproximadamente 8% da transmissão de luz (OAKLEY et al, 2000).

Outro ponto a ser lembrado é que a transmissão luminosa através do duto também depende do ângulo de incidência da luz. O ângulo de incidência com que os raios entram no duto também interferem no número de reflexões que ocorrem no interior do tubo e pode, conseqüentemente, interferir na transmissão de luz. Considerando este aspecto, carece de uma investigação sobre a sensibilidade dos dutos frente à direcionalidade da energia luminosa incidente (luz direta do sol).

Diante das simulações, é importante ressaltar que estas foram conservadoras, pois o arquivo climático da simulação considera luz direta e

difusa, enquanto o coeficiente de transmissão luminosa aplicado nas aberturas envidraçadas, caracteriza uma incidência difusa, pois foi obtido experimentalmente num céu artificial, ambiente que apresenta distribuição luminosa difusa, semelhante à um céu encoberto. Supõe-se, portanto, que o coeficiente de transmissão apresente valores maiores diante da incidência de luz direta do sol, variando em função dos ângulos de incidência, aspecto que deve ser investigado em estudos futuros.

8 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou um estudo sobre o comportamento de um modelo de duto de luz através da utilização de imagens HDR e simulações no *software* Rhinoceros com o *plug-in* DIVA. Os resultados demonstraram que a eficiência dos dutos de luz está condicionada à variabilidade da luz natural incidente, e por isso, existe a necessidade de mais estudos para a inserção dos dutos de luz nos sistemas de iluminação, pois estes sistemas apresentam transmissão luminosa distinta para incidência de luz difusa e direta.

Outro fator a ser considerado é que a utilização dos dutos de luz deve ocorrer de forma integrada com outras aberturas que visem atender outras funções, tais como: visão ao exterior e ventilação natural. Além disso, em muitos momentos, será necessária a complementação com iluminação artificial para atingir determinado nível de iluminação. Entretanto, a utilização dos dutos de luz sempre significará um bom potencial de iluminação com uma fonte de elevada reprodução de cor e economia de energia elétrica.

A técnica HDR se apresentou adequada para a realização do mapeamento das luminâncias neste estudo, pois a utilização de um luminômetro demandaria um gasto considerável de tempo para realizar as medições pontuais, que ainda estariam sujeitas a imprecisões. Além disso, a técnica HDR foi um meio prático, relativamente barato e promissor para determinar o fluxo luminoso transmitido, uma vez que só foi necessário o uso de uma câmera fotográfica e um tripé para aquisição das imagens. Desta forma, também apresenta um bom potencial de uso para a caracterização do comportamento luminoso de outros sistemas complexos de abertura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq), através do Edital Universal (2013 - 2016), e pelo PIBIC/CNPq/UFSC (2015 – 2016) pelas bolsas IC e pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

CASTAÑO, A.G. **Avaliação e Calibração de um Céu Artificial para Estudos de Iluminação Natural com Modelos Físicos em Escala Reduzida**. Dissertação (Mestrado) – curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2007.

INANICI, M. N. Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. **Lighting Research And Technology**. [s.l], p. 123-136. jun. 2006. ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY. **IES LM-83-12**. IES Daylight Metrics Committee. Report. New York, 2012.

LAM, W.M.C. (1986): "**Sunlighting as Formgiver for Architecture**", Van Nostrand Reinhold Corp., NY.

LUZ, Bruna. **Condução da luz natural por sistemas não convencionais**. 2009. 171 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MARDALJEVIC, John; PAINTER, Birgit; ANDERSEN, Marilyn. Transmission illuminance proxy HDR imaging: A new technique to quantify luminous flux. **Lighting Research and Technology**. [s.l], p. 27-49. mar. 2009.

MOON, Parry. **The scientific basis of illuminating engineering**. New York: McGraw-hill Book Company, 1936. 608 p.

OAKLEY, G.; RIFFAT, S. B.; SHAO, L.. Daylight Performance of Lightpipes. **Solar Energy**. [s.l], p. 89-98. feb. 2000.

PEREIRA, Fernando, O.R.; Carbonera, Felipe; MORAES, Letícia. N. Determinação do fluxo luminoso de sistemas complexos de aberturas através de imagens HDR, In: XIII Encontro Nacional e IX Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2015, Campinas. **Anais...**Campinas, 2015. p 10.

REINHART, Christoph; MARDALJEVIC, John; ROGERS, Zack. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building. **Leukos The Journal Of The Illuminating Engineering Society Of North America**. [s.l], p. 1-4. Jul. 2006.