

AVALIAÇÃO DA ILUMINÂNCIA DIFUSA HORÁRIA EM RECIFE (PE)

Sérgio da Silva Leal – sergio-lealifpe@hotmail.com
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco
Chigueru Tiba – tiba@ufpe.br
Manoel Henriques Campos – Henriques.campos@hotmail.com
Rinaldo Oliveira de Melo – rinaldoom@hotmail.com
Universidade Federal de Pernambuco

Resumo. Uma estação solarimétrica foi instalada, em 2015, em Recife, capital de Pernambuco, com o objetivo de medir simultaneamente a iluminância e radiação solar difusa no plano horizontal. Paralelamente a componente global também foi medida. Os dados coletados em escala de minutos possibilitaram o estudo do comportamento da iluminância difusa horária para esta localidade. Devido a sua latitude privilegiada, os resultados da avaliação dos registros das medidas de iluminância difusa e irradiação solar confirmam o ótimo potencial da utilização da iluminação natural em Pernambuco. Os valores preliminares de iluminância difusa são suficientemente altos e eficientes, de maneira que poderiam suprir a necessidade de iluminação diurna de um escritório comercial em pelo menos 50% das horas de seu funcionamento dependendo do fator de iluminação natural da janela.

Palavras-chave: Iluminância difusa, Irradiação Difusa, Índice de transmitância atmosférico.

1. INTRODUÇÃO

A maior parte do consumo elétrico em prédios comerciais está relacionada diretamente aos condicionadores de ar e iluminação artificial. Por ser considerada uma alternativa eficiente, a iluminação natural pode ser usada para iluminação interna de prédios comerciais, reduzindo a carga elétrica e térmica relacionada à iluminação artificial, e por sua vez, a carga elétrica dos condicionadores de ar (Ne'eman, 1998; Lam e Li., 1999; Chirarattananon, 2001). Apesar do surgimento de outras fontes luminosas cada vez mais eficientes, como por exemplo, os diodos emissores de luz (LED), a iluminação natural continua sendo uma alternativa de baixo custo e também uma fonte de luz que proporciona um grande conforto psicológico, tornando os ambientes agradáveis, produtivos e saudáveis para os seres humanos, devido sua influência no ciclo biológico das pessoas (Figueiró, 2010). A Fig. 1 mostra o uso da iluminação natural em três grandes centros comerciais da capital do estado de Pernambuco, Recife.

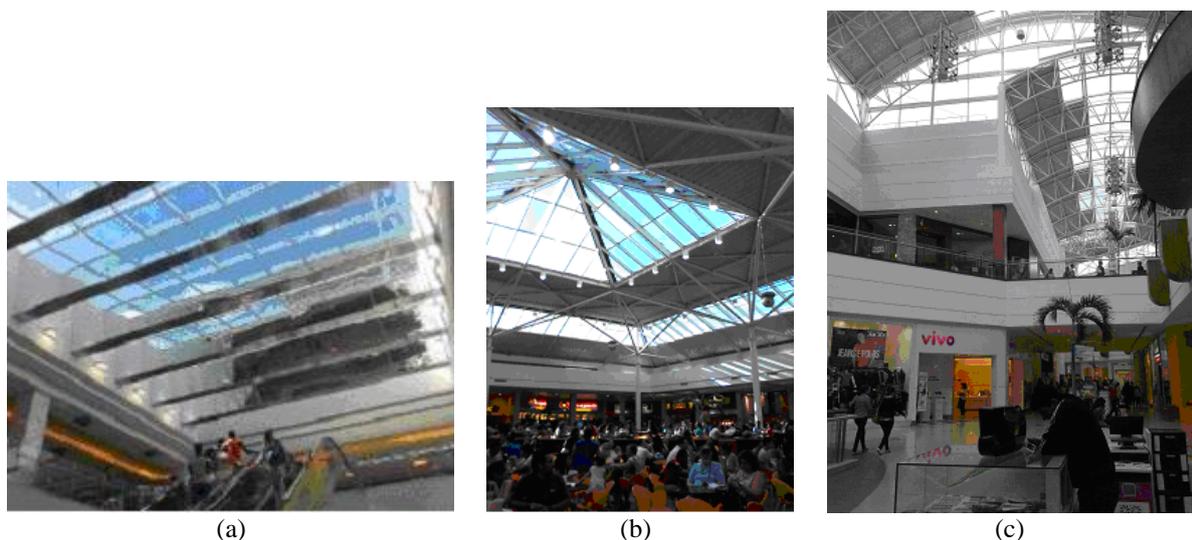


Figura 1 – Três grandes centros comerciais de Recife: Shopping Recife (a), Shopping Gurarapes (b) e Shopping Rio Mar.

É válido salientar que o centro comercial mais moderno (c) considerou em seu projeto arquitetônico inicial o uso da iluminação natural e os mais antigos (a) e (b) introduziram este conceito anos posteriores as suas construções por meios de reformas gradativas. A iluminação de um determinado recinto está intimamente ligada ao nível de iluminância ou iluminamento. A iluminância é definida como a relação entre o fluxo luminoso, que é a potência luminosa total

irradiada por uma fonte de luz no espectro compreendido entre 380 a 780 nm, e a superfície sobre a qual este fluxo incide.

$$E = 683 \int_{380}^{780} V_{\lambda} I_{\lambda} d_{\lambda} \quad (1)$$

V_{λ} e I_{λ} são respectivamente: a sensibilidade espectral do olho humano no intervalo de comprimento de onda compreendido entre 380 a 780 nm e a irradiação solar global. O fator 683 é um fator de normalização cujo valor é resultante de um fluxo radiante de 1 W para o comprimento de onda 555 nm. A unidade de iluminância pode ser representada por < lux > ou < lm/m² >.

Normalmente o projeto de iluminação natural inicia-se com uma estimativa da iluminação interna natural (ABNT-CB02, 1999). A contribuição da iluminação natural considera basicamente três componentes através dos quais a luz natural pode alcançar um ponto no interior de uma edificação levando em conta os fatores redutores, como pode ser visto na expressão a seguir:

$$CIN = (CC + CRE + CRI) \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \quad (2)$$

CIN - Contribuição da iluminação natural
 CC - Componente do céu
 CRE - Componente refletida externa
 CRI - Componente refletida interna
 KT - Fator da transmissividade do vidro
 KM - Fator manutenção
 KC - Fator Caixilho

A iluminância natural interna será então calculada em função da iluminância externa, conforme expressão abaixo:

$$E_p = CIN \cdot E_{ext} \quad (3)$$

E_{ext} é a iluminância produzida por toda a abóbada celeste num plano horizontal externo livre de obstruções, excluída a iluminação direta do sol, em lux e E_p é a iluminância difusa num plano horizontal no ponto P do ambiente interno, em lux. O conhecimento da iluminância solar difusa através de uma janela de um prédio comercial, em uma determinada região é de fundamental importância para elaboração de projetos que utilizem a iluminação natural, uma vez que, permite determinar o nível de contribuição de iluminação natural ótimo, no interior do recinto, possibilitando uma verdadeira redução no consumo de energia elétrica. Atualmente ferramentas de simulação computacional são também utilizadas para análise, cálculo e desempenho energético de edificações eficientes ainda em nível de projeto, contudo essas ferramentas necessitam de dados de entradas para um cálculo correto. A Fig. 2 apresenta um diagrama esquemático de uma ferramenta para o cálculo de uma iluminação interior (Vartiainen, 2000). Observa-se que esta ferramenta necessita de medidas da irradiância global e difusa para poder estimar a iluminância.

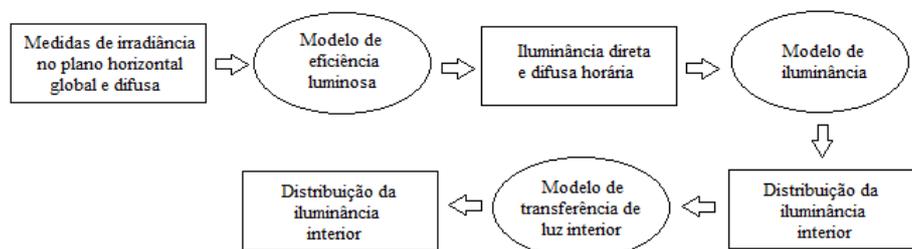


Figura 2 – Exemplo de um diagrama esquemático de uma ferramenta computacional para estimar a Iluminância.

Muitos pesquisadores desenvolveram modelos estatísticos para estimar a iluminância no plano horizontal ou em diferentes planos inclinados (Perez, et. al, 1987; Rosa, et.al., 2001; Patil et. al. 2013), contudo, o objetivo deste trabalho é medir, avaliar e estudar o comportamento da iluminância difusa horária para a cidade de Recife mediante o uso de sensores, disponibilizando assim, informações mais precisas para o cálculo da iluminação interior.

Para avaliar o desempenho energético de uma fonte luminosa, ou seja, avaliar o rendimento da conversão de energia em luz utiliza-se um indicador chamado de eficiência luminosa. Entre as mais eficientes está a lâmpada de

descarga multivapores metálicos, alcançando uma eficiência de 143 lm/W (OSRAM, 2013). Uma lâmpada tubular fluorescente normalmente utilizada em escritórios comerciais apresenta uma eficiência entre 70 e 125 lm/W. Tratando-se de iluminação natural, a eficiência luminosa é definida como sendo a relação entre a iluminância solar (lm/m^2) pela irradiação solar (W/m^2).

$$\eta_L = \frac{683 \int_{380}^{780} V_\lambda \cdot I_\lambda \, d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda \cdot d\lambda} = \frac{E}{I} \quad (4)$$

Onde, E e I são a iluminância e irradiação solar global medidos em escala horária.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Estação de medidas e parâmetros

A estação foi instalada, em 2015, em Recife, capital do estado de Pernambuco. A estação teve como objetivo, realizar medições simultâneas da radiação solar global, radiação solar difusa, iluminância global e iluminância difusa, além de outras variáveis como temperatura ambiente e umidade relativa. A Tab. 1 mostra suas coordenadas geográficas, caracterização climática e período de medidas.

Tabela 1 – Estação de medidas e coordenadas geográficas

Estação	Mesorregião	Coordenadas geográficas			Clima	Período
		Lat.	Long.	Alt.(m)		
Recife	Metropolitana	-8° 03'	-34° 55'	7	Tropical úmido	Set/15 / Jan/16

As medidas foram realizadas no plano horizontal, em escala de minuto. A medição da iluminância difusa e global foi realizada a partir de fotômetros do fabricante LI-COR, modelo LI-210SA com um erro de calibração de $\pm 5\%$ e uma deriva máxima anual de $\pm 2\%$ (LI-COR, 2013). O fotômetro responsável pela medição da iluminância difusa foi acoplado a um rastreador modelo Solys 2.



Figura 3 – Rastreador Solys 2 utilizado para realizar as medidas difusa.

Para a medição da radiação solar global e difusa foram utilizados dois piranômetros modelo CMP21 do fabricante Kipp & Zonen. O piranômetro responsável pela medição da radiação difusa também foi acoplado ao mesmo rastreador Solys 2 do mesmo fabricante, conforme Fig. 3. Segundo a WMO, este modelo de sensor é classificado como um sensor padrão de alta qualidade. Os sensores foram acoplados a um sistema de aquisição de dados da Campbell, modelo CR-3000X.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Comportamento da iluminância horária

Os dados medidos em escala de minuto foram agrupados em torno de uma dada hora solar considerando à meia hora anterior e posterior a mesma. As medidas representam um intervalo de horas diárias compreendidas entre 6:00 e 18:00 horas. O comportamento da iluminância e irradiação solar horária em função do ângulo de elevação podem ser vistos na Fig. 4(a) e (b). Para um mesmo ângulo de elevação existe uma dispersão muito grande de pontos, indicando a diversidade da condição horária do céu. As curvas mostram que para iluminância difusa os valores máximos alcançados ficam acima dos 65 klux e no caso da iluminância global os valores máximos ficam em torno de 115 klux.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas disponibiliza tabelas e procedimentos de cálculos através da NBR. ISO/CIE 8995 5413, para garantir níveis de iluminância adequados para os mais diversos ambientes. Segundo a norma, é recomendado para uma sala comercial (escritório) uma iluminância mínima de 500 lux. Conforme a Fig. 4(a), observa-se que os níveis da iluminância difusa externa no início de uma manhã de céu claro (aproximadamente às 8:00hs – ângulo de elevação 30°), já alcançam 30 klux, ou seja, 60 vezes o nível de iluminância necessária para um escritório de um centro comercial, confirmando o ótimo potencial da utilização da iluminação natural em Recife.

É possível classificar as condições do céu por meio do índice de transmitância atmosférico, ou seja, a relação entre a irradiação global na superfície terrestre e a irradiação extraterrestre.

$$k_T = \frac{I}{I_0} \quad (5)$$

Onde, I é a radiação horária global sobre a superfície terrestre e I_0 é a radiação horária global extraterrestre.

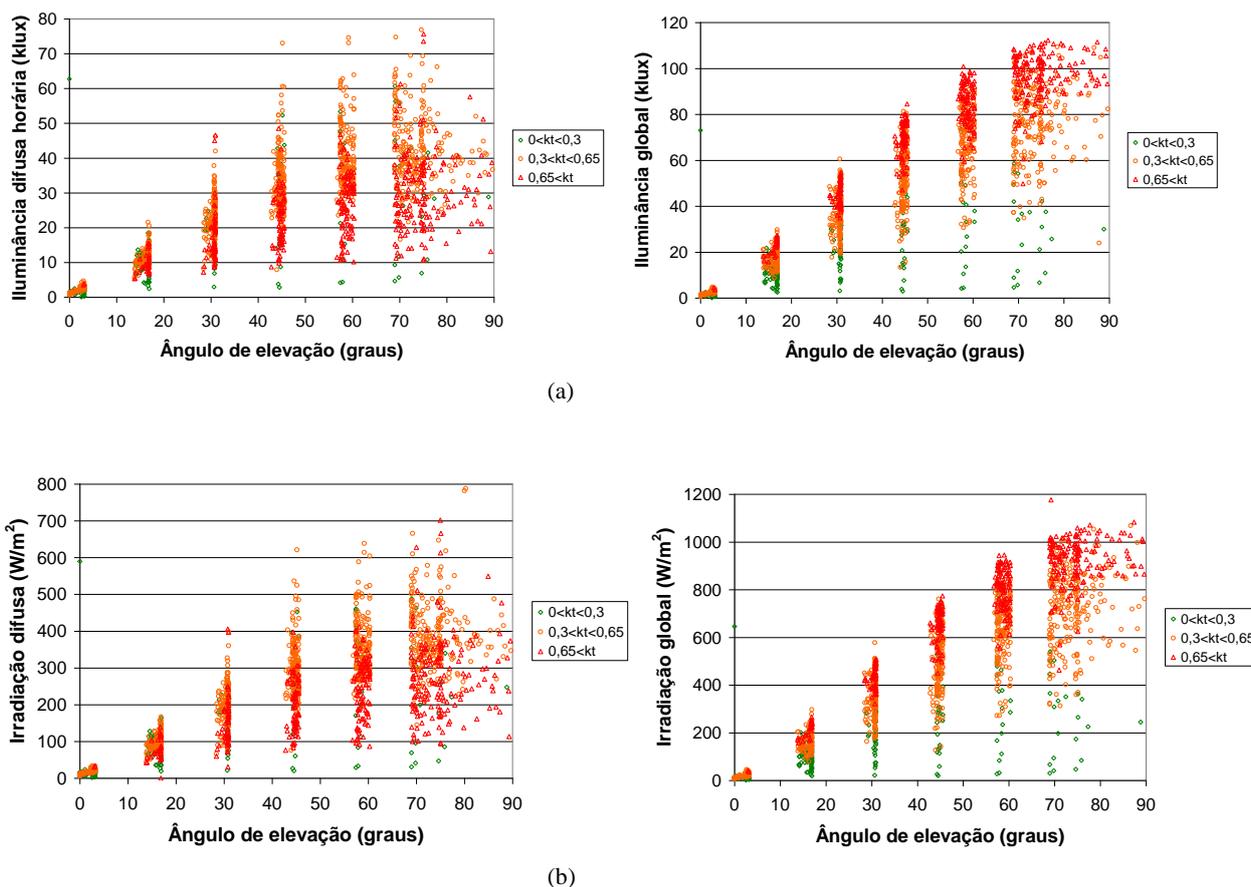


Figura 4 – Comportamento da iluminância (global / difusa) horária (a) e da irradiação (global / difusa) horária (b) em função do ângulo de elevação, considerando diferentes índices de transmitância atmosféricos.

Considerando, um dia nublado para um kt inferior ou igual 0,3; parcialmente nublado para um kt superior a 0,3 e inferior ou igual a 0,65 e um dia claro para um kt superior 0,65, observa-se, no caso da iluminância e irradiação global, uma forte relação com o índice de transmitância atmosférico, ou seja, um maior kt implica em níveis de iluminância e irradiação global maiores. A mesma relação não é observada para a iluminância e irradiação difusa.

A Fig. 5 mostra o comportamento da iluminância global e difusa a partir do cálculo dos valores médios para cada intervalo centesimal, considerando o intervalo de k_t variando de 0 a 1. Para um período nublado a iluminância difusa e global apresentam valores próximos devido a ausência da componente direta. Para condições de céu mais claro os níveis da iluminância difusa tende a reduzir, devido à ausência de nuvens no céu.

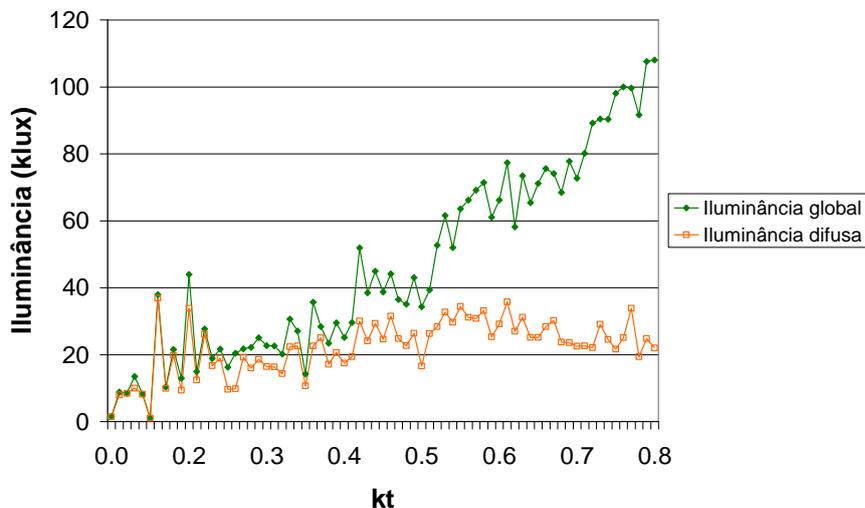


Figura 5 – Comportamento da iluminância difusa e global média horária em função do índice de transmitância atmosférico.

3.2 Distribuição acumulada

Os valores da distribuição acumulada da iluminância difusa horária indicam qual o percentual desta iluminância que excede um valor limite durante um determinado período de tempo. A Fig. 6 exibe graficamente tal distribuição, em relação ao período de medição deste trabalho. A função distribuição acumulada é útil por que permite realizar estimativas de uma possível economia de energia elétrica no caso da utilização da luz natural para fins de iluminação em edificações. Assim, por exemplo, considerando a necessidade de iluminação de uma mesa de trabalho em um escritório comercial igual a 500 lux, na cidade de Recife, aproximadamente 85% das horas diurnas poderiam ser supridas por meio da iluminação natural utilizando uma janela com um fator de iluminação natural igual a 10%, visto que a iluminância difusa externa horizontal para esta situação seria 5 klux, ou ainda, utilizando uma janela com um fator de utilização 2,5% a iluminação natural supriria em média 60% das horas diurnas, reduzindo o uso da iluminação artificial.

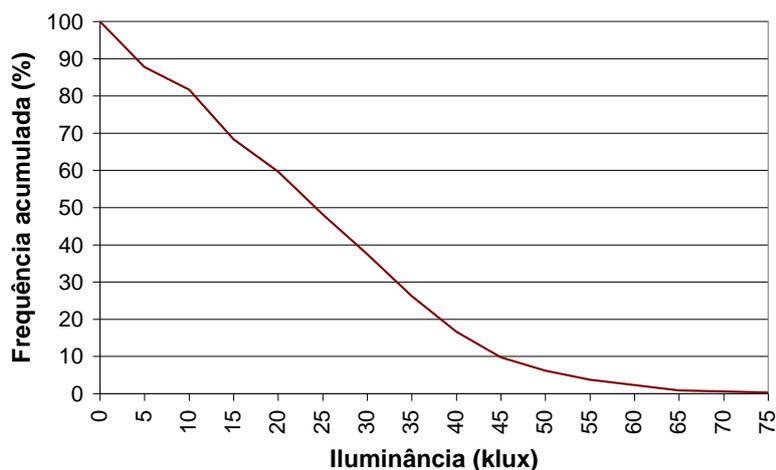
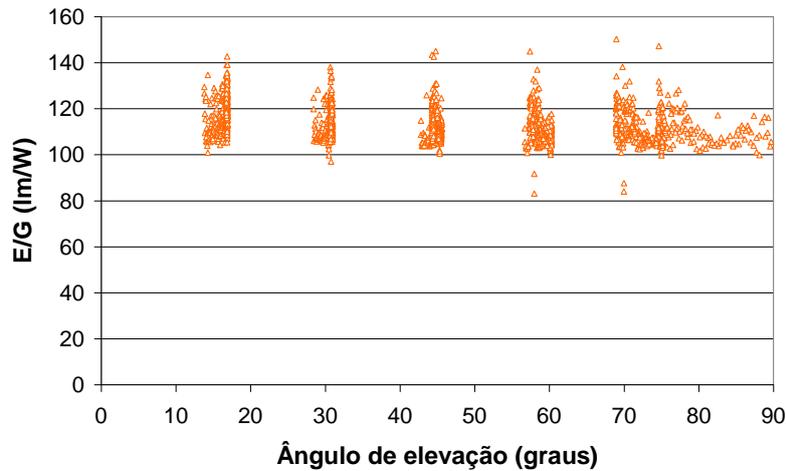


Figura 6 – Distribuição acumulada da iluminância difusa horária.

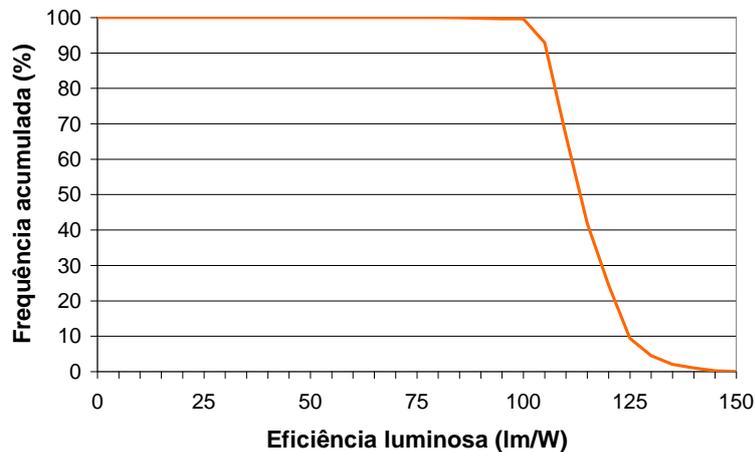
3.3 Eficiência luminosa difusa

De uma forma geral, as medidas preliminares mostram que o valor médio da eficiência luminosa difusa em Recife fica em torno de 115 lm/W. Em alguns casos a eficiência luminosa horária atingiu valores superiores a 130 lm/W, Fig.7.a. Na Fig.7.b pode-se visualizar a curva experimental da frequência acumulada da eficiência luminosa difusa

horária. A curva mostra que 100% da eficiência luminosa horária medida apresenta valores iguais ou superiores a 100 lm/W, mantendo assim uma boa uniformidade e confirmando a boa eficiência da iluminação natural difusa e seu ótimo potencial de utilização em centros comerciais da capital Recife.



(a)



(b)

Figura 7 – Eficiência luminosa difusa horária (a) e a distribuição acumulada da eficiência luminosa difusa horária (b).

4. CONCLUSÕES

A latitude privilegiada do estado de Pernambuco confirma o grande potencial de aproveitamento da iluminação natural difusa em centros comerciais visando uma significativa redução no consumo de energia elétrica, devido à redução da iluminação artificial, além de proporcionar o bem estar de funcionários e clientes. Os valores medidos são suficientemente altos, de maneira que a iluminância solar poderia suprir sozinha a necessidade de iluminação diurna de um escritório durante 60% das horas de seu funcionamento, considerando uma janela com um fator de utilização 2,5%. No caso de um grande centro comercial que aproveite 10% da iluminância difusa externa, esse percentual de horas supridas pela iluminação natural passaria para 85%. A eficiência luminosa difusa horária se mostrou razoavelmente uniforme e com valores iguais e superiores a 100 lm/W, sendo assim considerada de uma forma geral bastante eficiente.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio recebido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico, CNPq.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). Iluminação de ambientes de trabalho, NBR ISO/CIE 8995-1 CB-02- Comitê Brasileiro de Construção Civil (1999). Procedimento de Cálculo para a Determinação da Iluminação Natural em Ambientes Internos, 02:135.02-003.
- Chirattananon S., (2001) Daylight Availability for Bangkok, A Technical Report, ISBN 974-8208-31-1, Asian Institute of Technology, Thailand
- Figueiró, M. (2010). A luz e a sua relação com a saúde. Lume, v.8, n.44, 2010
- LAM, J. C. and LI, D. H., (1999) An analysis of daylighting and solar heat for cooling dominated office buildings, Solar Energy, Vol. 64, n. 4, pp. 251-262.
- LI-COR Biosciences (2013). http://www.licor.com/env/products/light/photometric_sensors/index.html. Acesso: ago 2013.
- Ne'eman E., (1998). Daylight availability database for energy efficient integration with electric light, Journal of the Illuminating Engineering Society, Summer 59.
- OSRAM (2013). http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_%26_Catlogos/_pdf/Arquivos/Iluminao_Geral/Manual_do_Curso_Iluminacao%2c_Conceitos_e_Projetos/Manual_Luminotecnico_-_parte_01.pdf. Acesso: ago 2013.
- Patil K. N., Garg S. N., Kaushik S. C.(2013). Luminous efficacy model validation and computation of solar illuminance for different climates of India. Journal of Renewable and Sustainable energy, 5 doi: 10.1063/1.4841195
- Perez R, Seals R, Ineichen P, Menicucci D (1987). A new simplified version of the Perez diffuse irradiance model for tilted surfaces. Solar Energy, Vol.39 n.3, pp.221–31.
- Rosa A. D., Ferraro V., Kaliakatsos D., Marinelli V.(2008). Simplified correlations of global, direct and diffuse luminous efficacy on horizontal and vertical surfaces, Energy and Buildings, Vol.40, pp.1991-2001
- Vartiainen E.(2000). Daylight modelling with the simulation tool DeLight, Department of Engineering Physics and Mathematics Advanced Energy Systems. Filand. ISBN 951-22-5071-3
- WMO (2010). WMO guide to meteorological instruments and methods of observation. (2008 edition, updated in 2010) <http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/CIMO-guide.html>. Acesso: fev. 2014.

EVALUATION OF HOURLY DIFFUSE ILLUMINANCE IN RECIFE (PE)

Abstract. *One station was setup, in 2015, in Recife, capital of Pernambuco, for simultaneous measurements of diffuse illuminance and diffuse solar radiation on the horizontal plane. The global radiation was also measured. The data collected in minute scale allowed the study of hourly diffuse illuminance for this location. The assessment of diffuse illuminance and solar irradiation measurements confirm the optimum potential for the use of the natural illumination in Pernambuco. The illuminance values are high enough, on their own, to be able to supply the daily illumination necessity of a commercial office during 60% of the hours of its functioning depending on the natural lighting factor of the window.*

Key words: *Diffuse illuminance, Difuse Irradiance, Atmospheric Transmittance Index*