

ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM UMA PLANTA PILOTO BIOCLIMÁTICA PARA PROMOÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

THAYANE L. BILÉSIMO, GIULIANO A. RAMPINELLI, LEONARDO ELIZEIRE BREMERMAN

Núcleo Tecnológico de Energia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá – SC, Brasil

E-mails: thayanebilesimo@gmail.com, giuliano.rampinelli@ufsc.br,
leonardo.bremermann@ufsc.br

Abstract The increase of energy consumption in buildings is a consequence of urbanization and the scientific and technological development. Applying passive strategies is fundamental to provide adequate environmental conditions and promote energy efficiency in buildings. The exploitation of natural lighting is an alternative to turn a building more energetically efficient, reducing the necessity of artificial lighting during daytime. The NBR ISO/CIE 8995 establishes minimum levels of illuminance that may be provided to obtain visual comfort. The aim of this paper is to analyze the contribution of natural lighting to reach levels proposed by the regulation. Contributions of the lighting from the windows and a solar tube were measured. The measuring methodology follows the guidelines given by NBR15215. Representative days to the analysis were selected based on the Clearness Index. Results indicated a significant contribution of natural lighting to achieve illuminance required by the regulation. In sunny days, the necessity of artificial lighting occurs only in specific spots, closer to the walls. In cloudy days, despite the greater need of artificial lighting, natural lighting contributes significantly to reduce the use of these systems.

Keywords Bioclimatology, passive strategies, visual comfort, natural lighting, solar tube.

Resumo O crescimento do consumo de energia em edificações é consequência direta do processo de urbanização e desenvolvimento científico e tecnológico. A aplicação de estratégias passivas é fundamental para proporcionar condições ambientais adequadas e promover a eficiência energética nas edificações. O aproveitamento da iluminação natural é uma alternativa para tornar uma edificação mais eficiente energeticamente, reduzindo a necessidade de iluminação artificial durante o período diurno. A NBR ISO/CIE 8995 estabelece níveis mínimos de iluminância que devem ser fornecidos para obtenção do conforto visual. Neste sentido, o presente trabalho visa analisar a contribuição da iluminação natural para atingir os níveis propostos pela norma. Foram mensuradas as contribuições da iluminação decorrente das aberturas e de um tubo solar. A metodologia de medição segue as diretrizes da NBR15215. Dias representativos para a análise foram selecionados com base no Índice de Transmissividade Atmosférica. Os resultados indicaram uma contribuição significativa da iluminação natural para atingir a iluminância requerida pela norma. Em dias ensolarados, a necessidade do uso de iluminação artificial ocorre apenas em pontos específicos, mais próximos às paredes. Em dias nublados, apesar da maior necessidade de iluminação artificial, a iluminação natural contribui significativamente para a redução do uso destes sistemas.

Palavras-chave Bioclimatologia, estratégias passivas, conforto visual, iluminação natural, tubo solar.

1 Introdução

O processo de urbanização em todo o mundo tem provocado um aumento significativo na quantidade de edificações, especialmente nos centros urbanos. Estima-se que até 2050, cerca de 70% da população mundial estará localizada em centros urbanos e que o tempo de permanência destas pessoas dentro de edificações deverá aumentar, influenciando diretamente no consumo de energia deste setor (Rupp, Vásquez e Lamberts, 2015).

Segundo Cabeza et al. (2014), o aumento do consumo de energia em âmbito mundial está ligado ao avanço da ciência e tecnologia, que busca a automatização de processos e intensifica o consumo de aparelhos eletroeletrônicos. Por outro lado, estima-se que cerca de 70% do uso final de energia nas edificações seja destinado ao consumo com sistemas de condicionamento de ar e iluminação artificial (Rupp, Vásquez e Lamberts, 2015).

A utilização de estratégias passivas pode auxiliar na redução do consumo energético das edificações, além de promover melhoria no conforto ambiental dos usuários (Sorgato, Melo e Lamberts, 2016). Existe uma série de estratégias que podem ser adotadas de acordo com cada local, interferindo diretamente no desempenho das edificações (Manzano-Agugliaro et

al., 2015; Barbosa e Ip, 2016). As principais estratégias incluem: orientação da edificação, espessura das paredes, escolha de materiais e cores, dispositivos de sombreamento, aspecto construtivo do telhado, aproveitamento da ventilação e iluminação natural, entre outros (Beccali et al., 2017).

O aproveitamento da iluminação natural favorece a redução do consumo de energia com iluminação artificial, além de auxiliar no aquecimento passivo durante os meses mais frios (Missoum et al., 2016; Kwon e Lim, 2017; Michael e Heracleous, 2017; Oh et al., 2017). Em momentos em que a iluminação natural é insuficiente, uma combinação de iluminação natural e artificial pode ser obtida e otimizada por meio de sensores (Doulos et al., 2017; Shishegar e Boubekri, 2017). A NBR ISO/CIE 8995 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013) estabelece níveis de iluminância que devem ser respeitados, a fim de promover o conforto visual e garantir que as tarefas realizadas no interior de uma edificação sejam executadas de forma satisfatória.

Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo mensurar e analisar a contribuição da iluminação natural para atingir níveis mínimos de iluminância propostos pela norma. Serão analisados dois cenários: um dia nublado e um dia ensolarado. Na área analisada, há um tubo solar, cujo desempenho também será mensurado.

2 Materiais e métodos

2.1 Planta Piloto Bioclimática

A edificação analisada neste trabalho é uma Planta Piloto Bioclimática, localizada no Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde (CTS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Nesta edificação, foram aplicados conceitos de arquitetura bioclimática, visando a promoção da eficiência energética.

A Figura 1 apresenta um esquema da edificação e da área analisada. Nesta área, localizada dentro da área pontilhada, encontra-se um tubo solar, dispositivo que permite o aproveitamento da iluminação natural.

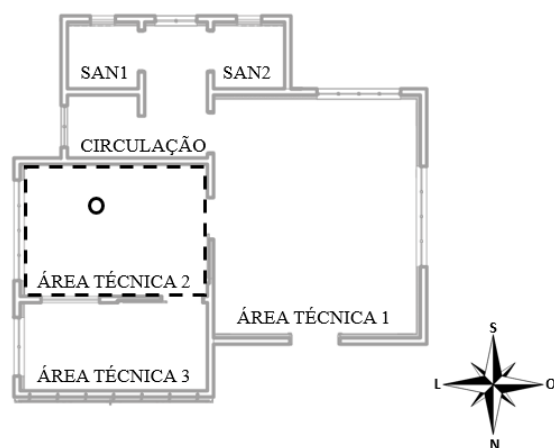


Figura 1. Esquema da edificação e localização da área analisada.

O tubo solar possui 0,35 m de diâmetro, e sua posição dentro da área em estudo pode ser vista na Figura 2. Sua localização favorece o aproveitamento da iluminação natural sobre uma bancada situada próxima à parede, ao sul da sala.

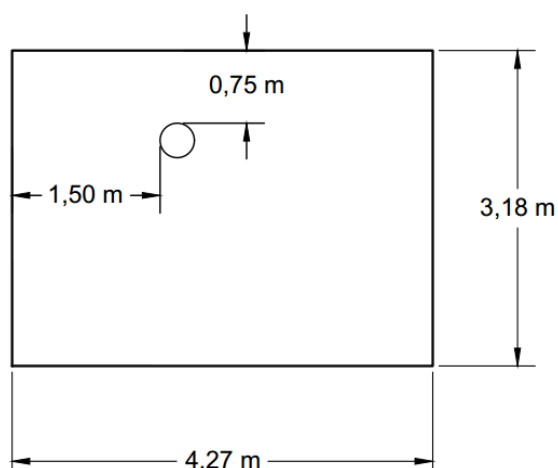


Figura 2. Dimensões da sala e posição do tubo solar.

2.2 Determinação dos pontos de medição

A NBR15215-4 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004) regulamenta o procedimento de medição da iluminação natural para verificação experimental das condições de iluminação de ambientes internos. A norma estabelece, entre outros parâmetros, os pontos em que os dados devem ser coletados, o intervalo entre as medições e os dias mais adequados para realizar a análise.

Desta forma, foram realizadas medições em intervalos de duas horas, entre as 8h e as 18h, nos pontos indicados na Figura 3.

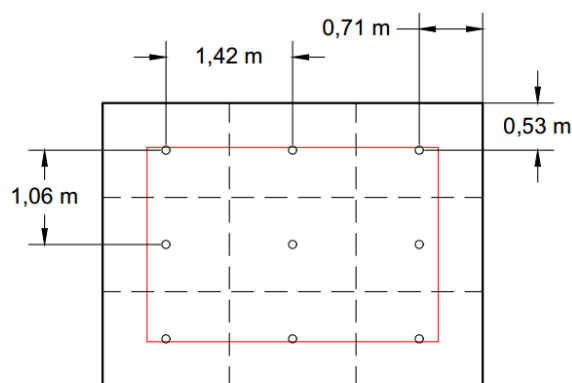


Figura 3. Pontos de medição determinados conforme a NBR15215-4.

2.3 Seleção dos dias representativos

O procedimento foi repetido durante oito dias próximos ao solstício de verão (21 de dezembro) do ano de 2017, a fim de obter um dia representativo para cada dia típico: ensolarado, nublado e parcialmente nublado, também conhecido como dia intermediário. Neste trabalho, optou-se por analisar um dia ensolarado e um dia nublado.

Para determinar os dias representativos, foi utilizado o Índice de Transmissividade Atmosférica (Kt). A partir do Kt médio diário mensal é possível estimar a frequência de ocorrência de dias típicos para o respectivo mês. Este índice é calculado a partir da razão entre a irradiância solar na superfície terrestre e a irradiação solar extraterrestre (Duffie e Beckman, 2013). A irradiância solar na superfície terrestre foi medida por uma Estação Meteorológica Automática de Superfície localizada na própria edificação.

A partir do Kt é possível determinar a condição do céu. A determinação do Kt diário foi utilizada para classificar o respectivo dia de medição de iluminância. Para este caso:

- $Kt \leq 0,35$ - dia nublado;
- $0,36 \leq Kt \leq 0,65$ - dia intermediário;
- $Kt \geq 0,66$ - dia ensolarado.

A partir deste critério, foram selecionados os dias para análise, cujos valores de K_t estão listados na Tabela 1.

Tabela 1. K_t dos dias representativos analisados

Dia	K_t
Ensolarado	0,69
Nublado	0,24 e 0,33

O comportamento diário da radiação solar nos dias selecionados pode ser visualizado nas Figuras 4, 5 e 6.

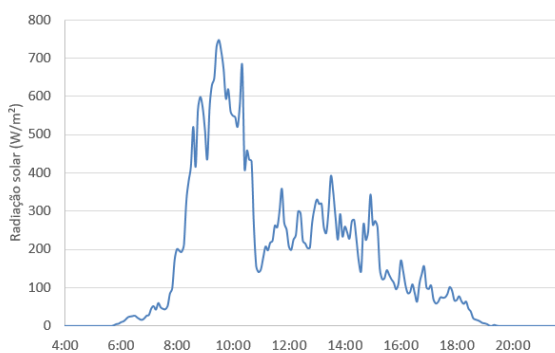


Figura 4. Comportamento da radiação solar no dia de K_t 0,24.

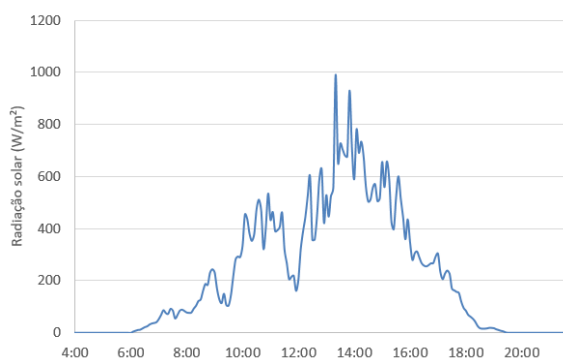


Figura 5. Comportamento da radiação solar no dia de K_t 0,33.

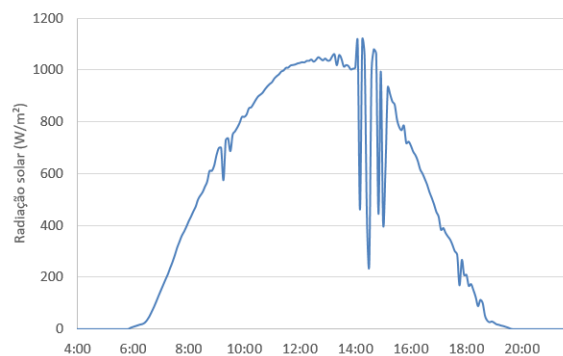


Figura 6. Comportamento da radiação solar no dia de K_t 0,69.

2.4 Dispositivos de medição e tratamento de dados

A Estação Meteorológica responsável pela coleta de dados de irradiância é da marca Davis, modelo Vantage Pro2. A faixa de medição vai de 0 a 1800 W/m², com precisão de $\pm 5\%$ da escala total. Os dados foram coletados a cada cinco minutos e armazenados em seu datalogger.

Para as medições foi utilizado um luxímetro digital Minipa MLM-1020, com display LCD para 3 $\frac{1}{2}$ dígitos, faixa de medição de 0 a 20000 Lux e precisão de 20 Lux ($\pm 3\%$ Leit. + 20D). O datalogger do aparelho possui capacidade para até 2044 registros, e no modo automático é possível ajustar o intervalo de registro de 0,5 a 255 segundos.

Neste caso, o intervalo de medida entre os pontos foi de 15 segundos, completando a varredura da área em 2 minutos e 15 segundos.

Foram realizadas varreduras com a sala fechada e aberta, a fim de analisar a contribuição do tubo e da iluminação natural total (proveniente do tubo e das janelas).

Após cada varredura, os dados foram transferidos para o computador por meio do software que acompanha o luxímetro. Em seguida, foram construídos gráficos no Excel e MATLAB para observar a distribuição da iluminância na sala em análise.

3 Resultados e discussão

Na Figura 7 é possível observar a contribuição do tubo solar para a iluminação da sala em um dia nublado ($K_t = 0,33$) e em um dia ensolarado. Neste gráfico, encontra-se a distribuição de iluminâncias registradas em todos os pontos da sala em determinados horários.

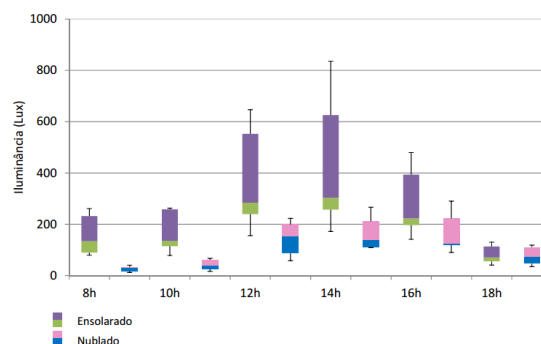


Figura 7. Contribuição do tubo solar para a iluminação da sala.

No dia ensolarado, em alguns horários, a contribuição do tubo solar é superior ao que é exigido pela norma, isto é, 500 Lux. No dia nublado, apesar de não ser suficiente para garantir o mínimo de iluminância exigido, o tubo solar contribui para a iluminação da sala, de maneira que seria necessário

utilizar apenas parte do sistema de iluminação artificial (Oh *et al.*, 2017; Zou *et al.*, 2018).

Comparando com o comportamento da radiação solar nos dias em questão (Figuras 5 e 6), observa-se que por volta das 18h do dia ensolarado, a radiação solar apresenta níveis da ordem de 200 W/m^2 similares aos níveis de radiação solar que são observados no mesmo horário do dia nublado. Assim, com o valor próximo ao observado no dia nublado neste horário, a contribuição do tubo solar para a iluminação da sala foi semelhante a do dia nublado.

A distribuição da iluminância na sala referente a contribuição do tubo solar em um dia ensolarado pode ser vista na Figura 8.

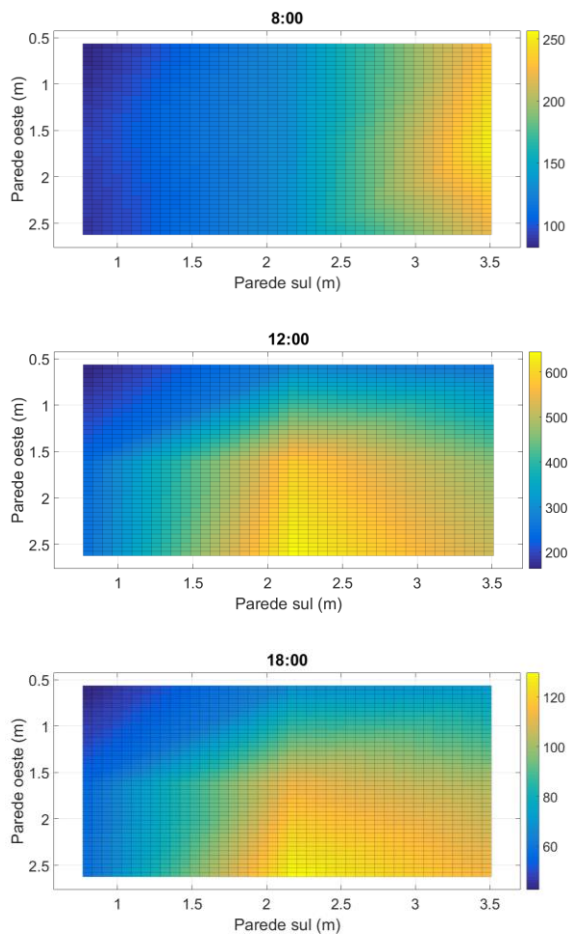


Figura 8. Distribuição da iluminância proporcionada pelo tubo solar em um dia ensolarado.

Observando os três horários, verifica-se um comportamento diferente do esperado no período da manhã. Isto acontece porque as janelas da edificação são de vidro, e as cortinas não são totalmente opacas, favorecendo a entrada de luz pela janela. Por conta da intensidade da radiação solar neste horário e da altura solar, a contribuição do tubo solar não fica tão evidente. Ainda assim, é possível verificar níveis de iluminância de até 250 Lux em alguns pontos. A medida em que a altura solar aumenta, a contribuição do tubo solar na iluminação se torna mais evidente, atingindo valores da ordem de 600 Lux ao meio dia e 120 Lux às 18h.

Para um dia nublado, são observados níveis mais baixos de iluminância, como mostra a Figura 9. Apesar disso, enfatiza-se que a presença do tubo solar pode contribuir para a redução do uso da iluminação artificial. Observa-se que, para o horário do meio dia, a iluminância fornecida pelo tubo solar corresponde à quase metade do mínimo exigido pela norma.

Como já mencionado, a presença de cortinas que não são totalmente opacas permite que parte da radiação solar, neste caso, difusa, adentre na sala. Por esta razão, observa-se que próximo das janelas os níveis de iluminância são semelhantes ao que é verificado logo abaixo do tubo solar.

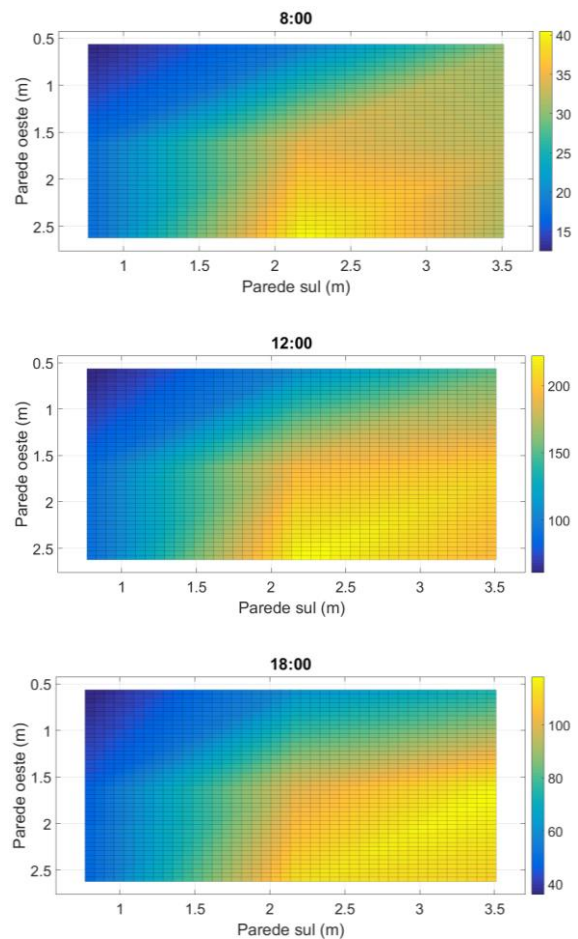


Figura 9. Distribuição da iluminância proporcionada pelo tubo solar em um dia nublado de K_t 0,33.

Na Figura 10 encontra-se a dispersão da iluminância devido a iluminação natural total em um dia ensolarado e nublado ($K_t = 0,24$). Por conta da orientação das aberturas da sala, voltadas para o leste, no período da manhã existe uma contribuição maior da iluminação natural, especialmente em dias ensolarados.

Observa-se, porém, maior iluminância registrada no dia nublado em comparação com a iluminância verificada no dia ensolarado. Comparando o comportamento da radiação nos dois dias (Figuras 4 e 6), observa-se que neste horário o nível de radiação foi aproximadamente o mesmo. Além disso, a passagem

do sol pelas bordas das nuvens implica em um efeito de concentração da radiação solar (Tzoumanikas *et al.*, 2016), aumentando também os níveis de iluminância.

Mesmo em dias nublados, durante a maior parte do dia, a utilização da iluminação natural seria suficiente para manter os níveis de iluminância acima do mínimo exigido pela norma. A iluminação artificial seria necessária apenas em alguns horários e pontos específicos.

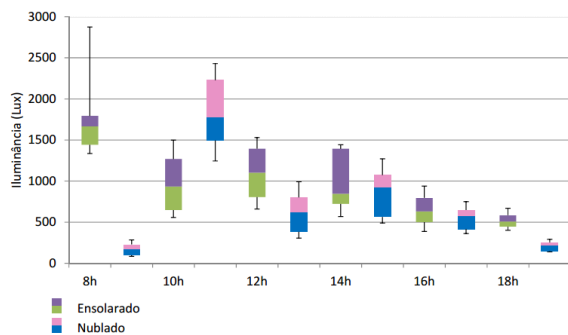


Figura 10. Contribuição da iluminação natural total para a iluminação da sala.

A Figura 11 apresenta a distribuição da iluminância em três horários do dia ensolarado, para as medições realizadas com a sala aberta.

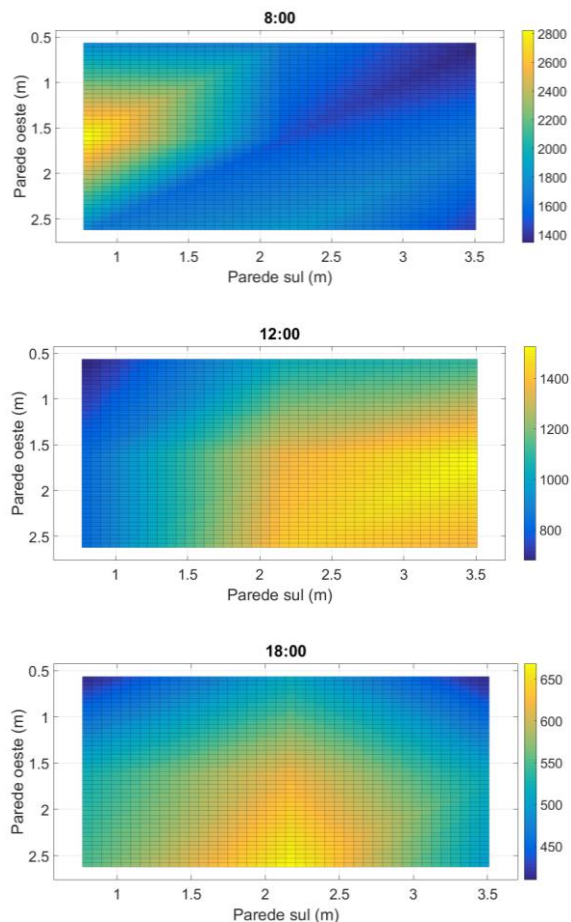


Figura 11. Distribuição da iluminância no dia ensolarado.

Por conta da orientação das aberturas, a contribuição da iluminação natural no período da manhã é intensa, atingindo valores da ordem de 2800 Lux. Para o horário das 8h, verifica-se que a área com maior iluminância não se encontra próximo das aberturas, na parede leste. Isto se justifica pelo fato de que, neste horário, a altura solar é inferior a 15° e, portanto, os raios de sol atingem a sala quase horizontalmente. À medida que o sol se desloca, a área mais iluminada passa a ser próxima a janela e verifica-se com mais clareza a contribuição do tubo solar, proporcionando iluminâncias da ordem de 1400 Lux. Mesmo no fim do dia, com a intensidade da radiação reduzida (conforme a Figura 6), existe uma contribuição significativa da iluminação natural e é possível observar, mais uma vez, a contribuição do tubo solar para manter a iluminância em níveis adequados.

Por outro lado, a distribuição da iluminância em um dia nublado (Figura 12) apresenta um comportamento diferente do que é observado no dia ensolarado, especialmente no período da manhã. No dia nublado, em que praticamente não há radiação direta, a área mais iluminada está próxima a janela. Para os demais horários, o comportamento da iluminância se mantém, com alterações apenas nos níveis, que se intensificam no período do meio dia. A contribuição do tubo solar é menor, mas ainda se observam seus efeitos.

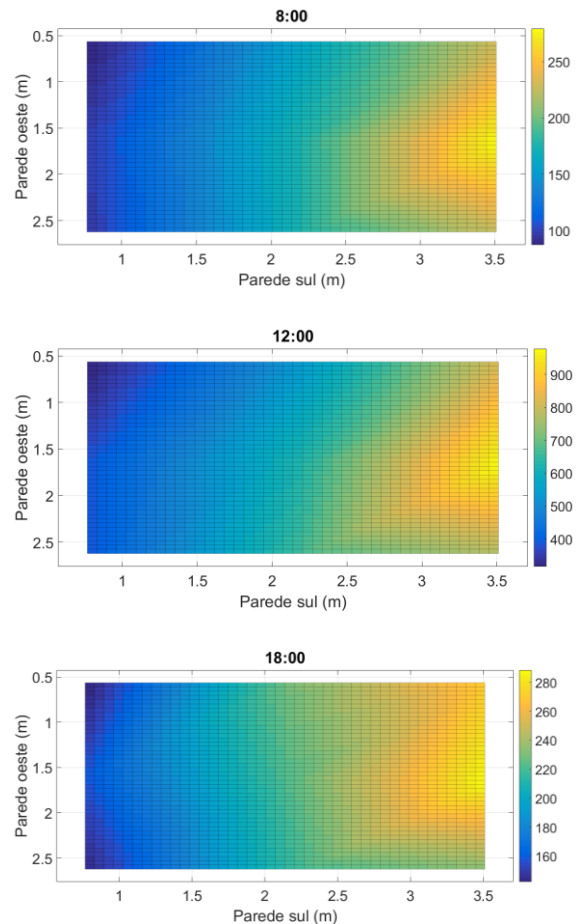


Figura 12. Distribuição da iluminância no dia nublado ($K_t = 0,24$).

4 Conclusão

Este trabalho apresentou a análise, a partir de medições experimentais, de estratégias de iluminação natural em uma planta piloto bioclimática para promoção da eficiência energética. No contexto, foi analisado o desempenho de um tubo solar, elemento passivo para aproveitamento da iluminação natural.

A partir dos resultados obtidos, é possível concluir que o aproveitamento da iluminação natural é uma estratégia simples, mas com resultados promissores. De acordo com os gráficos, a iluminação natural poderia substituir parcial ou totalmente a iluminação artificial, reduzindo significativamente o consumo de energia.

Aliando esta estratégia à correta divisão de circuitos do sistema de iluminação artificial, ou ainda automatizando este sistema para que seja possível fornecer apenas a iluminância necessária para atingir o que é requisitado pela norma, seria possível otimizar o uso da energia elétrica sem desprezar o conforto visual.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à BAESA Energética Barra Grande S.A. e à ENERCAN Campos Novos Energia S.A. pelo auxílio financeiro, e ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade (PPGES) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Referências Bibliográficas

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) NBR 15215-4 - Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013) NBR ISO/CIE 8995 - Iluminação de ambientes de trabalho.
- Barbosa, S. e Ip, K. (2016) “Predicted thermal acceptance in naturally ventilated office buildings with double skin façades under Brazilian climates”, *Journal of Building Engineering*, 7, p. 92–102.
- Beccali, M. et al. (2017) “Vernacular and bioclimatic architecture and indoor thermal comfort implications in hot-humid climates: An overview”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(2), p. 1726–1736.
- Cabeza, L. F. et al. (2014) “Investigating greenhouse challenge from growing trends of electricity consumption through home appliances in buildings”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, p. 188–193.
- Doulos, L. T. et al. (2017) “Harvesting daylight with LED or T5 fluorescent lamps? The role of dimming”, *Energy and Buildings*. Elsevier, 140, p. 336–347.
- Duffie, J. A. e Beckman, W. A. (2013) *Solar engineering of thermal processes*. Organizado por John Wiley & Sons.
- Kwon, S.-Y. e Lim, J.-H. (2017) “Multi-objective context-adaptive natural lighting system”, *Energy and Buildings*. Elsevier, 144, p. 61–73.
- Manzano-Agugliaro, F. et al. (2015) “Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, p. 736–755.
- Michael, A. e Heracleous, C. (2017) “Assessment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe: The case of typical educational school premises in Cyprus”, *Energy and Buildings*. Elsevier, 140, p. 443–457.
- Missoum, M. et al. (2016) “Impact of a grid-connected PV system application in a bioclimatic house toward the zero energy status in the north of Algeria”, *Energy and Buildings*, 128, p. 370–383.
- Oh, S. J. et al. (2017) “Application of a coelostat daylighting system for energy savings and enhancement of indoor illumination: A case study under clear-sky conditions”, *Energy and Buildings*. Elsevier, 156, p. 173–186.
- Rupp, R. F., Vásquez, N. G. e Lamberts, R. (2015) “A review of human thermal comfort in the built environment”, *Energy and Buildings*, 105, p. 178–205.
- Shishegar, N. e Boubekri, M. (2017) “Quantifying electrical energy savings in offices through installing daylight responsive control systems in hot climates”, *Energy and Buildings*. Elsevier, 153, p. 87–98.
- Sorgato, M. J., Melo, A. P. e Lamberts, R. (2016) “The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption”, *Energy and Buildings*, 133, p. 1–13.
- Tzoumanikas, P. et al. (2016) “The effect of clouds on surface solar irradiance, based on data from an all-sky imaging system”, *Renewable Energy*. Pergamon, 95, p. 314–322.
- Zou, H. et al. (2018) “WinLight: A WiFi-based occupancy-driven lighting control system for smart building”, *Energy and Buildings*. Elsevier, 158, p. 924–938.