2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

DESEMPENHO LUMINOSO DE SHED INTEGRADO A PRATELEIRA DE LUZ EM AMBIENTE DE CIRCULAÇÃO[1]

MAPELLI-BASILIO, Y. R. (1); BARROS, M. C. de S. L. S. (2); CARNEIRO, S. M. R. (3); FRAGA, V. C. (4); LARANJA, A. C. (5)

(1) Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), yullirmapelli@gmail.com
(2) Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), mariaclaudia.arcline@gmail.com;
(3) Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), sabrinamoura.arquitetura@gmail.com;
(4) Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), cfraga.vitor@gmail.com;
(5) Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), andrea.laranja@ufes.br.

RESUMO

Aberturas zenitais em climas tropicais úmidos contribuem na redução dos gastos com iluminação artificial, podendo, porém, acarretar ganhos excessivos na iluminação natural. Por outro lado, dispositivos sombreadores são boas estratégias para controle desta luminosidade. A pesquisa tem como objetivo analisar o desempenho de abertura zenital shed integrada à prateleira de luz em ambiente de circulação em Vitória-ES. A metodologia envolveu simulações com o software TropLux 8 e Dialux, nos céus padrões da CIE, Céu 3 (encoberto), Céu 7 (parcialmente nublado) e Céu 12 (claro). O ambiente simulado trata-se de circulação, com abertura zenital shed integrada à prateleira de luz nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste. As iluminâncias foram analisadas nos intervalos das UDIs (Useful Daylight Illuminances) e Autonomia de luz natural. Constatou-se que para todas as orientações e céus analisados o shed integrado ou não à prateleira de luz permite uma autonomia de luz natural de 100% nos horários entre 8h e 16h. Os resultados das UDIs mostram que a prateleira de luz só se faz relevante quando orientada para Norte nos Céus 7 e 12. As aberturas zenitais proporcionaram uma economia de energia com iluminação artificial podendo chegar à cerca de 350 kWh anual.

Palavras-chave: *Abertura zenital. Iluminação natural. Prateleira de luz. Simulação computacional.*

ABSTRACT

Zenith openings in a humid climate contribute to the reduction of expenses with artificial lighting, which can, however, cause excesses in natural lighting. On the other hand, shading devices are good strategies for controlling this luminosity. A research aims to analyze the performance of the opening of the zenith shed integrated to the light shelf in the circulation environment in Vitória-ES. The methodology involves simulations with the software TropLux 8 and Dialux, according to CIE standards, Sky 3 (sky), Sky 7 (cloudy sky) and Sky 12 (clear). The

[1] MAPELLI-BASILIO, Y. R; BARROS, M.C. de S.L.S.; CARNEIRO, S.M.R.; FRAGA, V.C.; LARANJA, A.C. Desempenho luminoso de shed integrado a prateleira de luz em ambiente de circulação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

simulated environment is about circulation, with the opening of the shed integrated with the light shelf in the North, South, East and West orientations. The luminaires were analyzed in the ranges of UDIs (Useful Daylight Illuminances) and Autonomy of natural light. It should be noted that, for all the orientations and monitoring analyzed, or a dam integrated or not on the light shelf, it allows 100% autonomy of natural light between 8 am and 4 pm. The results of the IDUs show that the light shelf is just as relevant when oriented to the North in Skies 7 and 12. As the zenith openings provide energy savings with artificial lighting, it is possible to obtain about 350 kWh per year.

***Keywords**: Zenith opening. Natural lighting. Light shelf. Computer simulation.*

1 INTRODUÇÃO

A iluminação natural contribui para o bem-estar, conforto dos usuários e na realização das atividades, favorecendo ainda na redução de gastos com iluminação artificial (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Dentre as possibilidades de ganho de luz para o ambiente interno estão as aberturas zenitais (GARROCHO; AMORIM, 2004). Li e Lam (2003) destacam o seu emprego em salas e corredores de ambientes educacionais.

Contudo, as aberturas zenitais devem ser cautelosamente projetadas de modo a evitar ganhos lumínicos excessivos. Garrocho e Amorim (2004) destacam que estas aberturas são, em sua maioria, projetadas sem prever o controle da incidência de iluminação direta no interior dos compartimentos, sendo que os elementos de proteção solar são por vezes descartados, impossibilitando o controle da entrada de iluminação natural. Ademais, em localidades de clima quente e úmido a intensa radiação solar que lhes é característica favorece no excesso de brilho no interior dos ambientes, tornando necessária a adoção de dispositivos que possam amenizar desconfortos visuais como o ofuscamento e o contraste excessivo (LIMA; LEDER; NODA, 2017).

Dentre os elementos de proteção solar que podem ser integrados às aberturas zenitais a fim de proporcionar melhor distribuição da iluminação natural no ambiente interno destaca-se a prateleira de luz (MERESI, 2016; BAKER, FANCHIOTTI, STEEMERS, 2010). Estas possibilitam além de sombreamento, um ganho luminoso através de reflexão da luz em alturas solares maiores (MAIOLI, 2014). Diante do exposto este artigo tem como objetivo analisar o desempenho de abertura zenital shed integrada à prateleira de luz em ambiente de circulação em Vitória-ES.

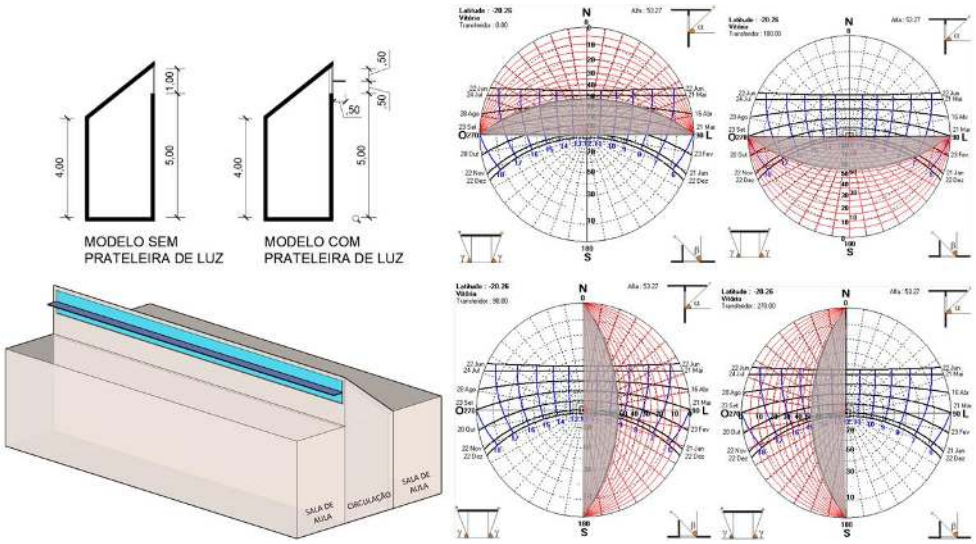
2 MÉTODO

Esta pesquisa utiliza um modelo-base de ambiente de circulação disposto entre salas de aula. A circulação possui dimensões de 16,75 m x 2,5 m x 4,0 m x 6,0 m, respectivamente, comprimento, largura, pé direito 1 e pé direito 2, conforme modelo já analisado por Rebêlo, Carvalho e Cabús (2015). A abertura zenital shed ocupa a extensão total do corredor, possuindo as seguintes dimensões 16,75 m de comprimento, 1,0 m de altura, estando a 5,0 m elevado do piso.

O ambiente foi simulado para a latitude de Vitória-ES (20°19´ S) com clima tropical úmido. Para todas as orientações simuladas foi adotada a mesma configuração da prateleira de luz, tendo ela dimensões de 16,75 m e 0,5 m, respectivamente, comprimento e largura. Esta se insere externamente à abertura zenital, dividindo o shed em duas partes iguais. A Figura 1 apresenta o modelo simulado bem como a

máscara de sombra proporcionada pela prateleira de luz nas diferentes orientações simuladas.

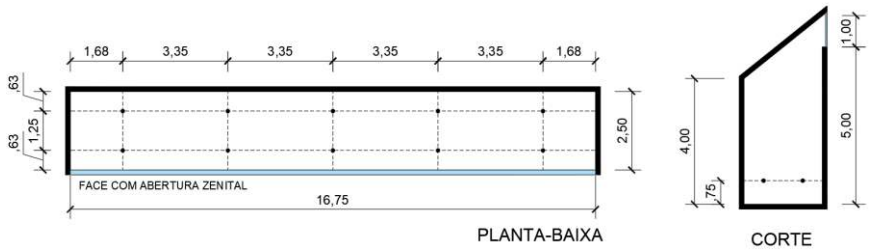
Figura 1 – Cortes dos modelos com e sem prateleira de luz, perspectiva e máscaras de sombra da prateleira de luz



Fonte: Os autores

Nas simulações foram utilizados os programas Troplux 8 (CABÚS, 2005), para iluminação natural e DiaLUX 4.13 para iluminação artificial. Adotou-se uma malha ortogonal com pontos de medição a altura de 75 cm de acordo com a norma NBR 15.215-4 (ABNT, 2005), conforme Figura 2.

Figura 2 – Planta baixa com pontos de medição e corte



Fonte: Os autores

Foram utilizados os céus padrões da CIE (*International Commission on Illumination*), sendo adotado o Céu 3 (encoberto), o Céu 7 (parcialmente nublado) e o Céu 12 (claro), respectivamente os valores mínimo, intermediário e máximo da média anual dos valores de iluminação interna de acordo com pesquisa realizada por Laranja (2010). As refletâncias internas adotadas foram: piso = 0,2; paredes = 0,6; teto = 0,9 e prateleira de luz =0,9, todos em conformidade com a NBR 8995-1 (ABNT, 2013). A tipologia de vidro adotada no shed foi o incolor com transmitância de 78%. As simulações foram realizadas para as quatro orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste), todos os dias do ano, entre 8 e 16 horas, período de aula com contribuição da luz natural.

As iluminâncias foram avaliadas com relação aos percentuais das UDIs (*Useful Daylight Iluminances*), desenvolvido por Nabil e Mardaljevic (2006). Na investigação foi possível identificar o percentual de horas no período de um ano em que a

iluminância no plano de trabalho é insuficiente (abaixo de 100lx), útil (entre 100 e 3.000lux) ou excessiva (acima de 3000 lux), valores atualizados conforme estudos de Lu e Du (2019).

Na análise com relação à Daylight Autonomy (Autonomia de luz natural) foi possível observar a porcentagem de horas no ano na qual determinada iluminância foi mantida apenas pela iluminação natural, sem a necessidade de complementação com iluminação artificial (REINHART; WIENOLD, 2011). Assim foi possível identificar o período em que haverá a necessidade do acionamento da iluminação artificial. O parâmetro utilizado foi o valor mínimo de 100 lux estipulado pela NBR 8.995-1 (ABNT, 2013).

Na análise da economia de energia com iluminação artificial, proporcionada pelo shed e prateleira de luz, foi possível detectar o kWh anual de energia poupado. Para tanto foi estabelecido um método de análise no estudo de viabilidade econômica utilizando-se para tanto duas possibilidades de sistemas de iluminação artificial, lâmpadas fluorescentes e lâmpadas LED (*Light Emitting Diode*), Tabela 1. Neste caso adotou-se uma situação onde não foi considerada a iluminação natural proveniente da abertura zenital 1.

Tabela 1 – Sistemas de iluminação analisados

DESCRIÇÃO	POTÊNCIA
Lâmpada Fluorescente (PHILIPS TPS760 2xTL5-28W HFP PC-MLO)	61W
Lâmpada LED (PHILIPS SP534P PSD L1170 1 xLED40S/840ª)	34,5W

Fonte: Catálogo Philips <https://www.lighting.philips.com.br>

Para determinar o consumo de energia elétrica com a iluminação artificial, foi utilizada fórmula proposta por Guedes (2011), conforme Equação 1.

$$CEEmês\ (kWh) = P(W) \times OperDia\ (h) \times OperMês\ (dias) / 1000 \quad (1)$$

Onde:

- CEEmês = Consumo de energia elétrica mensal em kWh;
- P = Potência do equipamento elétrico em W;
- OperDia = Tempo de operação do equipamento elétrico no dia em h; e
- OperMês = Tempo de operação do equipamento elétrico no mês em dias (Considerando 20 dias úteis no mês). Utiliza-se 1000 no denominador, pois o CEE é mensurado em kWh.

Esta investigação possibilitou mensurar o consumo de energia elétrica a partir da potência consumida pelas lâmpadas adotadas, bem como do custo (em reais) correspondente a este consumo. Adotou-se o valor da tarifa do kWh correspondente à média dos valores cobrados no ano de 2019 para as edificações de poder público, na região sudeste, sem considerar impostos. Este valor médio utilizado corresponde a aproximadamente R$0,53/kwh, de acordo com dados abertos da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) (ANEEL, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Percentuais das UDIs

De acordo com o Gráfico 1, no modelo com e sem prateleira de luz, em todas as orientações, para todos os céus analisados, não haverá necessidade de complementação com a iluminação artificial. Porém detectou-se no Céu 7

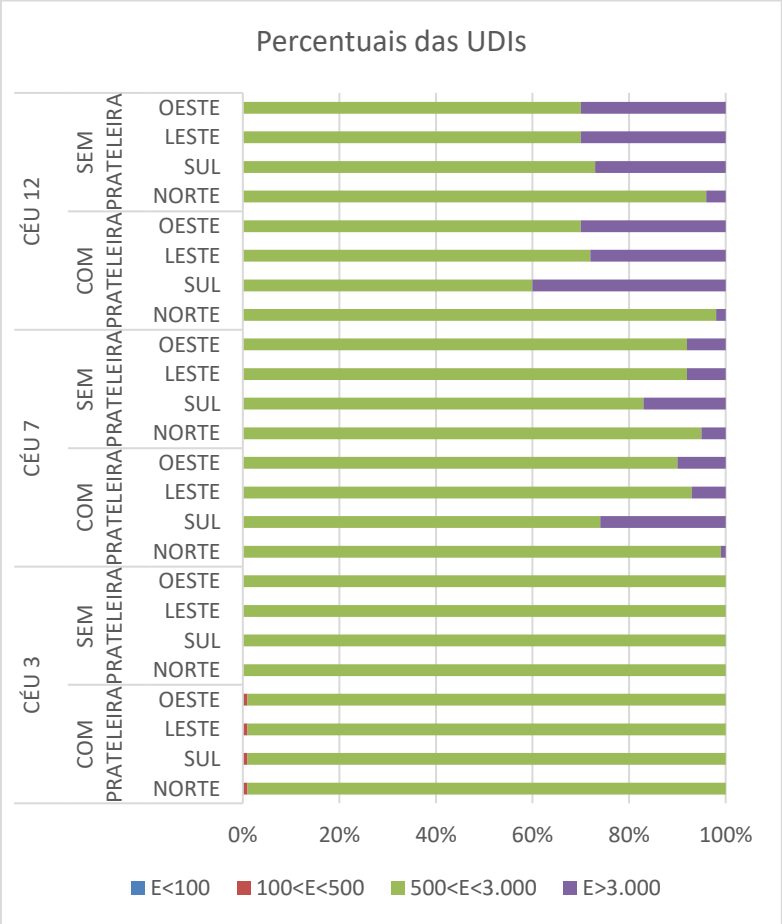
(parcialmente nublado), e Céu 12 (claro), no modelo com e sem prateleira de luz, em todas as orientações, a ocorrência de percentual de horas enquadradas no intervalo excessivo (E>3.000lx). Este percentual de horas excessivo é ainda mais expressivo na orientação Sul, principalmente em presença da prateleira de luz, fato este provavelmente decorrente da maior altura solar na orientação Sul, onde os raios solares (dos meses do verão) ao incidir na superfície superior da prateleira de luz são refletidos para dentro do ambiente, potencializando o ganho de luminosidade no ambiente interno.

Ainda para o Céu 7 (parcialmente nublado) e Céu 12 (claro), detectou-se que para a orientação Leste e Oeste, quando os raios solares tem menor altura solar nos horários do início da manhã e final da tarde, estes penetram diretamente no ambiente interno e são refletidos pela superfície interna inclinada do Shed, não sendo portanto a prateleira de luz capaz de contribuir com sombreamento, conforme é representado na Figura 3.

Somente na orientação Norte observa-se uma maior contribuição da prateleira de luz associada ao Shed, com uma redução significativa dos percentuais de iluminação excessiva, tanto para a situação de Céu 7 (parcialmente nublado) quanto para Céu 12 (claro).

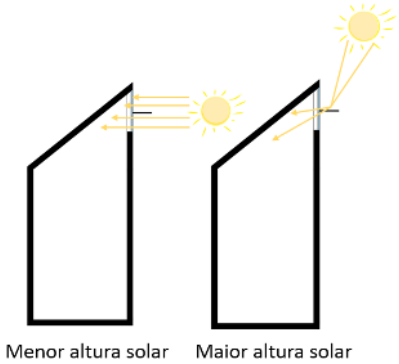
Conclui-se, portanto, que será na orientação Norte em ambientes localizados em cidades com predominância característica de Céu 7 (parcialmente nublado) e Céu 12 (claro) que se pode obter melhores valores de iluminância quando a abertura zenital shed for associada à prateleira de luz.

Gráfico 1 – Percentuais das UDIs - modelos com e sem prateleira de luz



Fonte: Os autores

Figura 3 – Croqui esquemático da entrada de radiação solar



Fonte: Os autores

4.2 Daylight Autonomy (Autonomia de luz natural)

A autonomia da Luz Natural foi constatada em 100% das horas simuladas, de acordo com o mínimo estabelecido pela NBR 8.995-1 (ABNT, 2013), indicando desta forma que é dispensável a iluminação artificial complementar na circulação.

4.3 Viabilidade Econômica

Adotando-se uma situação na qual não fosse considerada a iluminação natural proveniente da abertura zenital, um sistema de iluminação artificial deve atuar durante o período de simulação, 8 horas diárias durante todo o ano.

A fim de garantir a iluminância média correspondente à 100lux no ambiente, conforme prevê NBR 8.995-1 (ABNT, 2013), foram adotadas duas tipologias de iluminação artificial:

a) Três luminárias com lâmpadas fluorescentes, sendo que cada conjunto de luminárias têm potência de 61W;

b) Duas luminárias com lâmpadas LED, sendo que cada conjunto de luminária tem potência de 34,5W.

Considerando o valor médio das bandeiras de energia para região sudeste no ano de 2019 no valor de R$ 0,53 e utilizando-se a Equação 1, proposta por Guedes (2011) pode-se determinar que:

a) O consumo de energia elétrica mensal gerado com as lâmpadas fluorescentes foi de 29,28kWh. O gasto financeiro foi de R$15,51/mês. Isso significa que em um ano, caso as luzes permaneçam acesas por um período de 8h/dia, durante 20 dias úteis em cada mês, o gasto com energia elétrica voltada para alimentação da iluminação artificial deste ambiente de circulação será de R$ 186,12, considerando a utilização das lâmpadas fluorescentes.

b) O consumo de energia elétrica mensal gerado com o LED foi de 11,04kWh. O gasto financeiro foi de R$5,84/mês. Isso significa que em um ano, caso as luzes permaneçam acesas por um período de 8h/dia, durante 20 dias úteis em cada mês, o gasto com energia elétrica voltada para alimentação da iluminação artificial deste ambiente de circulação será de R$ 70,08, considerando a utilização do LED.

Estabelecendo uma relação entre as tipologias de lâmpadas adotadas, conclui-se que a utilização de um sistema de iluminação artificial do tipo LED garante uma economia correspondente a 62,35% quando comparado com o sistema de iluminação artificial proporcionado pelas lâmpadas fluorescentes. Uma comparação estabelecida entre os dois tipos de sistema de iluminação artificial é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Síntese das simulações com lâmpadas fluorescentes x LED

Tipologia de Lâmpada	**Quantidade**	**Gasto em kWh/mês**	**Gasto em kWh/ano**	**Custo em R$/ano**
Fluorescente	3	29,28kWh	351,36 kWh	R$ 186,12
LED	2	11,04kWh	33,12 kWh	R$ 70,08

Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

O propósito deste estudo foi analisar o desempenho de abertura zenital Shed integrada à prateleira de luz em ambiente de circulação em Vitória-ES. Adotando-se também uma situação onde não fosse considerada a iluminação natural proveniente da abertura zenital, investigou-se a contribuição do sistema Shed e prateleira de luz na economia de energia com iluminação artificial.

Para a situação de Céu 7 (parcialmente nublado) bem como para Céu 12 (claro) somente na orientação Norte observa-se uma maior contribuição da prateleira de luz associada ao Shed, assim também como uma redução significativa dos percentuais de iluminação excessiva.

Para a situação de Céu 7 (parcialmente nublado) quanto para Céu 12 (claro) na orientação Sul, foram detectados elevados valores de iluminação excessiva. Estes valores aumentam quando a abertura zenital Shed encontra-se integrada à prateleira de luz, potencializando o ganho de luminosidade no ambiente interno e consequentemente ocasionando ofuscamento e desconforto visual para os usuários do ambiente.

No que se refere à autonomia da Luz Natural constatou-se que é dispensável o uso de iluminação artificial complementar na circulação, visto que o Shed e prateleira de luz já promovem ao ambiente luz satisfatória.

Quanto à viabilidade econômica, com relação às tipologias de lâmpadas fluorescentes ou LED, caso estas precisassem ser implantas na ausência da abertura zenital, a utilização de um sistema de iluminação artificial do tipo LED garante uma economia correspondente à 62,35% quando comparado com o sistema de iluminação artificial proporcionado pelas lâmpadas fluorescentes. Por fim conclui-se que a abertura zenital Shed e prateleira de luz proporcionaram uma economia de energia com iluminação artificial que chega a cerca de 350 kWh anual.

Cabe destacar que esta pesquisa é exploratória e válida para o ambiente específico aqui estudado. Não foram consideradas nesta pesquisa diferentes configurações urbanas, bem como variações das características internas do ambiente como as refletâncias das superfícies internas, proporções do ambiente, tipos variados de vidro e possíveis aberturas para ventilação no Shed. Ressalta-se, ainda, que os resultados obtidos são um incentivo para a continuidade dos estudos, como por exemplo para demais tipologias de aberturas zenitais.

REFERÊNCIAS

_____. **NBR 15215-4:** Iluminação natural – Parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c

_____. **NBR CIE 8995-1:** Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ANEEL — AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Dados abertos de tarifas. 2019. Disponível em <https://www.aneel.gov.br/dados/tarifas>. Acesso em: Maio de 2020.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. Daylighting in Architecture – A European Reference Book. London: Earthscan Ltd, 2010.

CABÚS, Ricardo. Validação do programa troplux. Encontro Nacional e Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais…**Alagoas: ENCAC, ELACAC, 2005.

GARROCHO, J. S.; AMORIM, C. D. Luz natural e projeto de arquitetura: estratégias para iluminação zenital em centros de compras**.** In: Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construido, 2004, São Paulo. **Anais...**São Paulo: ENTAC, 2004.

GUEDES, J. C. d. S. Manual de Tarifação da Energia Elétrica / Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Rio de Janeiro: **PROCEL EDIFICA**, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. São Paulo, 2014. 366 p.

LARANJA, A. C. Parâmetros urbanos e a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. Tese de Doutorado. 285p. PPGAU, UFRJ. Rio de Janeiro, 2010.

LI, D. H. W.; LAM, J. C. An investigation of daylighting performance and energy saving in a daylit corridor. **Energy and buildings**. Volume 35, maio 2003, pag. 365-373

LIMA, A. V. P.; LEDER, S. M.; NODA, L. **Estudo lumínico em um edifício de escritórios:** um estudo de caso em clima quente e úmido. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 14., 2017, Balneário Camboriú. **Anais...**Balneário Camboriú: ENCAC, 2017.

LU, M.; DU, J. Dynamic Evaluation of Daylight Availability in a Highly-dense Chinese Residencial Area with a Cold Climate**. Energy and Buildings**. Volume 193, jun. 2019, pag. 139-159.

MAIOLI, R. N. Avaliação da influência do dispositivo prateleira de luz no conforto visual em edificação comercial com entorno obstruído. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. 2014.

MANGKUTO, Rizki A. Validation of DIALux 4.12 and DIALux evo 4.1 against the Analytical Test Cases of CIE 171:2006. **LEUKOS.** The journal of the Illuminating Engineering Society of North America. 2016. DOI: 10.1080/15502724.2015.1061438.

MERESI, A. Evaluating daylight performance of light shelves combined with external blinds in south-facing classrooms in Athens, Greece. **Energy and Buildings**. Volume 116, 2016, p. 190-205.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful Daylight Illuminances: a replacement for daylight factors. Science Direct. **Energy and Buildings**. Volume 38, n. 7, p. 905-913, 2006.

REBÊLO, Marcelle Maria Pais Silva; CARVALHO, Marlise Lila Silva; CABÚS, Ricardo Carvalho. Análise do desempenho de abertura zenital para a iluminação natural de circulação em edifício administrativo**.** XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais…**ENCAC, ELACAC. 2015.

REINHART, Christoph; WIENOLD, Jan. The daylighting dashboard e A simulation-based design analysis for daylit spaces. **Building and Environment**. V. 46, 386-396 p., dec. 2011.