O USO DE PRATELEIRAS DE LUZ PARA MELHORIA DO DESEMPENHO LUMINOSO EM AMBIENTE ESCOLAR EM VITÓRIA (ES)

Anna Carolina Schiziatti da Silva (1); Andréa Coelho Laranja (2); Cristina Engel de Alvarez (3)
(1) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, annacs97@gmail.com , Universidade Federal do Espírito Santo
(2) Doutor, professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, andrea.laranja@ufes.br, Universidade Federal do Espírito Santo
(3) Doutor, professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, cristina.engel@ufes.br, Universidade Federal do Espírito Santo

RESUMO
A iluminação natural caracteriza-se, normalmente, pela distribuição de luminosidade desigual dentro dos ambientes internos. A inserção de dispositivos sombreadores, tipo Prateleiras de Luz, pode otimizar a uniformidade lumínica ao reduzir a luminosidade excessiva nas áreas próximas às aberturas, direcionando o fluxo de luz para a porção mais profunda do ambiente. Neste contexto, este estudo teve por objetivo investigar a iluminação natural resultante no ambiente escolar em função do uso de dispositivos de proteção solar tipo Prateleiras de Luz. Adotou-se como procedimento metodológico a realização de simulações com o software TropLux, onde foram analisados pontos específicos de um ambiente escolar em Vitória- ES (LAT 20° 19' S), com abertura orientada para Norte e Sul, em horários e dias do ano pré-estabelecidos, utilizando céus padrões da CIE (*Commission Internationale L´aclairage*). A partir desses resultados, foram gerados gráficos que permitiram uma análise comparativa entre as situações do ambiente escolar com e sem a presença do dispositivo horizontal Prateleira de Luz. Observou-se que, nas situações com a Prateleira de Luz, para condições de Céu tipo 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), ocorreram reduções no percentual de iluminação excessiva, principalmente para a abertura orientada para Norte. Constatou-se também que foi somente com o uso da Prateleira de Luz com anteparo duplo, em condição de Céu 7 (parcialmente nublado) e Céu 12 (claro) com abertura orientada para Norte, que foi possível uma redução mais significativa do percentual de iluminação excessiva.

Palavras chave: Iluminação natural, Dispositivos de proteção solar, Prateleiras de Luz.

ABSTRACT
Daylighting is usually characterized by unequal light distribution within the indoor environments. Inserting Light Shelf type shading devices can improve lumen uniformity by reducing excessive brightness in areas near openings. In this context, this study aimed to investigate the resulting natural lighting in the school environment due to the use of solar protection devices of the type Light Shelves. In the methodology were performed simulations with the TropLux software, where specific points of a school environment in Vitória-ES (LAT 20 ° 19 'S), with opening oriented North and South, at pre-established times and days of the year, using standard CIE skies (Commission Internationale L´aclairage). From these results we created graphs that allowed a comparative analysis between the situations of the school environment with and without the presence of the horizontal Light Shelf device. It was observed that, in situations with the Light Shelf, for sky conditions 7 (partly cloudy) and 12 (light), there was a reduction in the percentage of excessive illumination especially when oriented to the north. It was also found that it was only with the use of the light shelf with double bulkhead, in the condition of sky 7 (partially cloudy) and sky 12 (clear) with an opening facing North, that a more significant reduction in the percentage of lighting was possible excessive.

Keywords: Natural Lighting, Sun protection devices, Light Shelves.

1. INTRODUÇÃO

O aumento do bem-estar e melhor desempenho das atividades humanas podem ser potencializados com a adequada disponibilidade de iluminação natural nos ambientes internos. Toledo e Cárdenas (2015), por exemplo, mencionam que a luz natural em espaços escolares torna possível aumentar o estado de alerta e o desempenho dos alunos.

Contudo, a iluminação natural proveniente das janelas é desigual em função da sua lateralidade, com predominância de iluminação excessiva próxima às aberturas, em muitos casos em função da radiação solar direta, além da baixa luminosidade nas áreas mais profundas do ambiente. Diante disto, Pereira (2017) ressalta a importância de evitar esta incidência solar direta nos planos de trabalho, de forma a atenuar o ofuscamento e o cansaço visual.

LEE et al (2017) por sua vez observa o potencial que tem os dispositivos sombreadores e Prateleiras de Luz no controle sobre a iluminação de um ambiente. Nesse sentido, as Prateleiras de Luz formadas por planos horizontais ou inclinados incorporados na parte externa e interna das aberturas laterais da edificação, têm a capacidade de sombrear a área mais próxima da abertura e colaborar na reflexão da luz para os espaços mais profundos do ambiente. Binarti e Dewi (2016); Kontadakis et al. (2017); Lim e Heng (2016) citam que as Prateleiras de Luz são consideradas como uma boa solução para a redução do excesso de luz próximo à abertura, contribuindo desta forma para uma maior uniformidade de iluminação nos ambientes internos. Berardi e Anaraki (2018) por seu turno acrescentam ainda que Prateleiras de Luz podem aumentar os valores úteis de iluminação diurna, especialmente nos primeiros seis metros de profundidade em relação às aberturas de janela.

2. OBJETIVO

O objetivo geral desta pesquisa foi investigar o efeito causado com o uso de dispositivos de proteção solar do tipo Prateleiras de Luz na disponibilidade da iluminação natural em um ambiente interno escolar.

3. MÉTODO

Para a obtenção dos resultados, a metodologia adotada foi alicerçada em simulações computacionais, observando-se o seguimento de 3 (três) etapas conforme a seguir detalhado:

i. Análise do ambiente e levantamento dos dados necessários para a realização das simulações;
ii. Modelagem das Prateleiras de Luz através do software Sketchup em paralelo à produção das máscaras de sombra na Carta Solar de Vitória através do software Analysis Sol- Ar, definindo a angulação vertical α (alfa) e a o dimensionamento das Prateleiras de Luz;
iii. Simulações computacionais do ambiente utilizando-se o software TropLux e construção de gráficos com os valores produzidos, bem como análise dos resultados (CABÚS, 2006).

Na simulação com o software TropLux adotou-se um ambiente escolar típico, localizado no edifício Cemuni III, pertencente ao DAU (Departamento de Arquitetura e Urbanismo) da UFES (Universidade Federal do Espírito Santo), localizado em Vitoria- ES (20° 19’ 09’’), Figura 1.



Figura 1 – À esquerda, localização do Cemuni III no Campus Universitário de Goiabeiras e identificação da sala de aula. À direita, imagem do interior do ambiente com abertura orientada para Norte.

Fonte: Google Earth e as autoras, 2019.

O ambiente em estudo possui 11,5 m x 5,9 m x 3,0 m, respectivamente comprimento, largura e pé direito. A janela possui 5,9 m x 2,05 m x 0,95 m, respectivamente comprimento, altura e peitoril, correspondente a um percentual de 17,82 % da área da sala. Os coeficientes de reflexão das superfícies internas são: 0,2 para piso; 0,6 para paredes; 0,8 para teto, conforme características do ambiente interno existente. Para a determinação do coeficiente K, que identifica a quantidades de pontos necessários para medição da iluminância segundo NBR 15215-4 (BRASIL, 2005), foi utilizada a seguinte fórmula, como indica a Equação 1:

$$K = C.L/Hm.\ (C+L) \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
L = largura do ambiente [m];
C = comprimento do ambiente [m];
Hm = distância vertical entre a superfície de trabalho e o topo da janela [m].

Embora o resultado encontrado tenha sido de 16 pontos, optou-se por estabelecer o número de 20 pontos dentro do ambiente visando ampliar a precisão dos resultados, conforme a Figura 2.

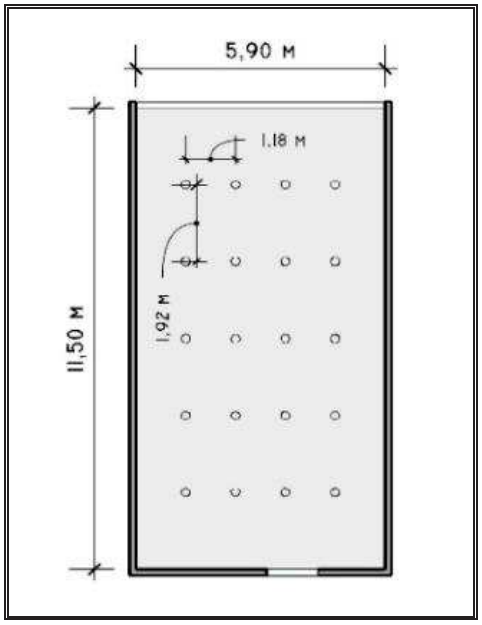


Figura 2 - Planta baixa esquemática do ambiente escolar escolhido para análise, com marcação dos pontos de medição da iluminação.

Fonte: as autoras, 2019.

Por meio do software Analysis Sol - Ar (2012) e da análise da Carta Solar de Vitória, foi possível determinar o dimensionamento adequado para o dispositivo sendo adotado o intervalo entre 08h00 e 16h00, referente ao intervalo temporal em que o ambiente é normalmente utilizado. Foi considerada uma Prateleira de Luz que se estende para a direita e para a esquerda da janela, isto é, a Prateleira de Luz possui um comprimento superior ao comprimento da janela. Assim, adotou-se um mascaramento como se o dispositivo fosse infinito, evidenciando-se, porém na máscara os horários de 8h00 e 16h00, conforme ilustrado na Figura 3. O ângulo vertical (α) é o ângulo formado entre o plano horizontal (perpendicular à fachada) até a extremidade da proteção horizontal (Prateleira de Luz).

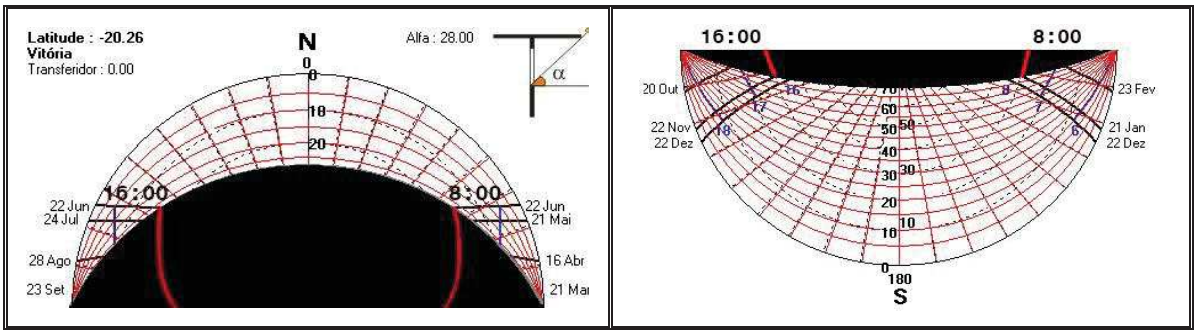


Figura 3 - Máscara de sombra em função da adoção dos ângulos verticais para Norte e Sul.

Fonte: Analysis Sol- Ar.

Desta forma, o ângulo vertical α encontrado para a orientação Norte corresponde a 28°, e para o Sul 70°, os quais foram utilizados para dimensionamento das Prateleiras de Luz nas orientações Norte e Sul, respectivamente. Para Norte, foi adotada uma altura de 1,80 m para a Prateleira de Luz e para Sul foi adotada a altura de 2,1 m. Em ambas as orientações, a altura adotada para a prateleira de luz foi feita com o intuito de não ocasionar a construção de uma prateleira de luz muito profunda. Para Norte a profundidade externa da Prateleira de Luz atingiu 1,4 m e para Sul 0,25 m, como evidenciado na Figura 4. Em ambas as orientações, a Prateleira de Luz se estende para a parte interna do ambiente, caracterizando-se desta forma como um anteparo interno, o qual se adotou uma profundidade interna de 0,50 m, de forma a não ocasionar dificuldade de acesso à janela para usuários de maior altura. A localização deste anteparo dentro do ambiente visa auxiliar na reflexão dos ângulos solares de menor altura solar bem como na redução da insolação direta no ambiente.

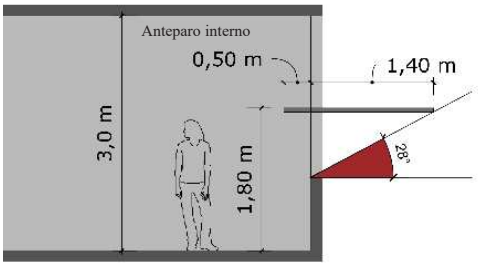
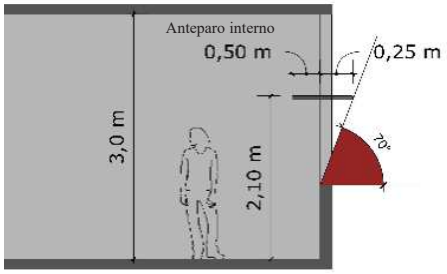
NORTE	SUL
	
Prateleira de Luz com 1,40 m de profundidade e ângulo α = 28°	Prateleira de Luz com 0,25 m de profundidade e ângulo α = 70°

Figura 4 – Cortes esquemáticos do ambiente com as Prateleiras de Luz, evidenciando o ângulo vertical de limite da radiação solar direta.

Fonte: as autoras, 2019.

Utilizou-se como parâmetro de análise das iluminâncias internas os valores das UDI (*Useful Daylight Illuminances*) estabelecidos por Nabil e Mardaljevic (2006), sendo esses: menores que 100 lx considerado insuficiente; entre 100 e 500 lx considerado suficiente, porém com necessidade de iluminação complementar; entre 500 e 2000 lx considerado suficiente; e acima de 2000 lx, excessivo, responsável por causar ofuscamento. Já para as simulações, foram utilizados os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro) da CIE (*Commission Internationale L´aclairage*) que representam valores, intermediário e máximo, da média anual dos valores de iluminância interna, de acordo com estudos de Laranja (2010).

4. RESULTADOS

Seguem detalhados os resultados obtidos para o ambiente em estudo considerando a inserção de Prateleiras de Luz em condições de céu tipos 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro) para as orientações Norte e Sul.

4.1. Desempenho da Prateleira de Luz - CÉU 7 (parcialmente nublado) – Orientação Norte

Observa-se que com o uso da Prateleira de Luz se obteve uma redução dos percentuais no intervalo E>2000 (iluminação excessiva). Porém quando se analisam os outros percentuais, não se observam mudanças significativas, salvo um aumento de até 10% no percentual 100<E<500 (suficiente, porém com necessidade de iluminação complementar) aumentando, desta forma, o gasto com iluminação artificial.

Observou-se que em função da altura da janela, o anteparo interno de 0,50 m da Prateleira de Luz se tornou insuficiente para conter a incidência da radiação solar direta que atravessa a janela locada na parte superior da Prateleira de Luz. Esta incidência solar é dinâmica, com variações na altura solar e no seu azimute ao longo dos horários do dia e épocas do ano. Isto pode ser observado principalmente nos meses que se caracterizam com menor altura solar (angulação vertical dos raios solares), como pode ser observado na análise nos horários das 8h00, 9h00, 10h00, 11h00, 12h00, 13h00, 14h00, 15h00 e 16h00 para o mês de Junho, como mostrado na Figura 5.

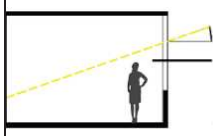
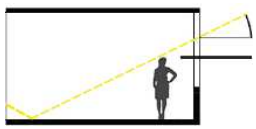
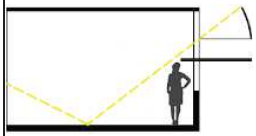
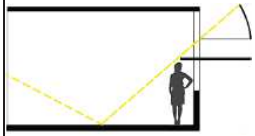
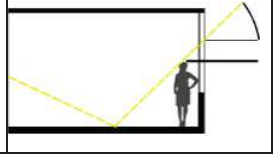
8h00 e 16h00 Ângulo α = 18°	9h00 e 15h00 Ângulo α = 28°	10h00 e 14h00 Ângulo α = 38°	11h00 e 13h00 Ângulo α = 42°	12h00 Ângulo α = 45°
				

Figura 5 - Corte esquemático demonstrando a angulação vertical dos raios solares em função dos horários do dia analisados.

Fonte: as autoras, 2019.

Adotou-se então um novo anteparo interno acima da Prateleira de Luz proposta inicialmente, de forma que este anteparo reduzisse a entrada da radiação solar direta no ambiente interno. Para este anteparo interno foi adotado a mesma profundidade interna de 0,50 m (já empregada anteriormente para a prateleira de luz) e que configurou um ângulo α' de 45°, superior ao ângulo α utilizado na prateleira de Luz, visto que este ângulo α' de 45° já é suficiente para o mascaramento, como mostrado na Figura 6.

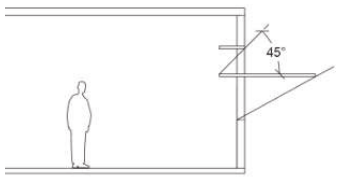
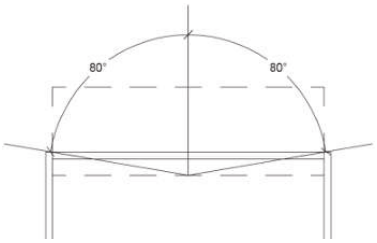
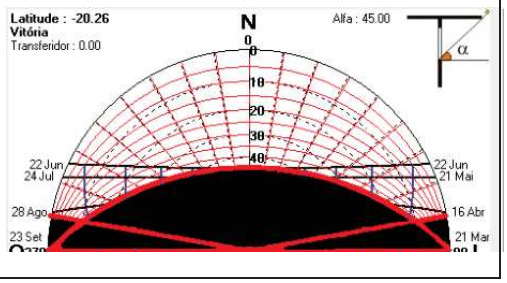
Corte esquemático evidenciando o ângulo α' = 45°	Planta baixa, evidenciando ângulos βe e βd	Máscara de sombra deste anteparo
		

Figura 6 – Corte evidenciando angulação α', planta evidenciando ângulos βe e βd e máscara de sombra, todos referentes ao anteparo.

Fonte: Analysis Sol- Ar e as autoras, 2021.

Este anteparo foi caracterizado como anteparo "duplo" e contribui impedindo o acesso da radiação solar direta pelo vidro superior, sem causar sombreamento na superfície externa da Prateleira de Luz. Desta forma, foi possível diminuir ainda mais o percentual de iluminação excessiva, como exemplificado na Figura 7.

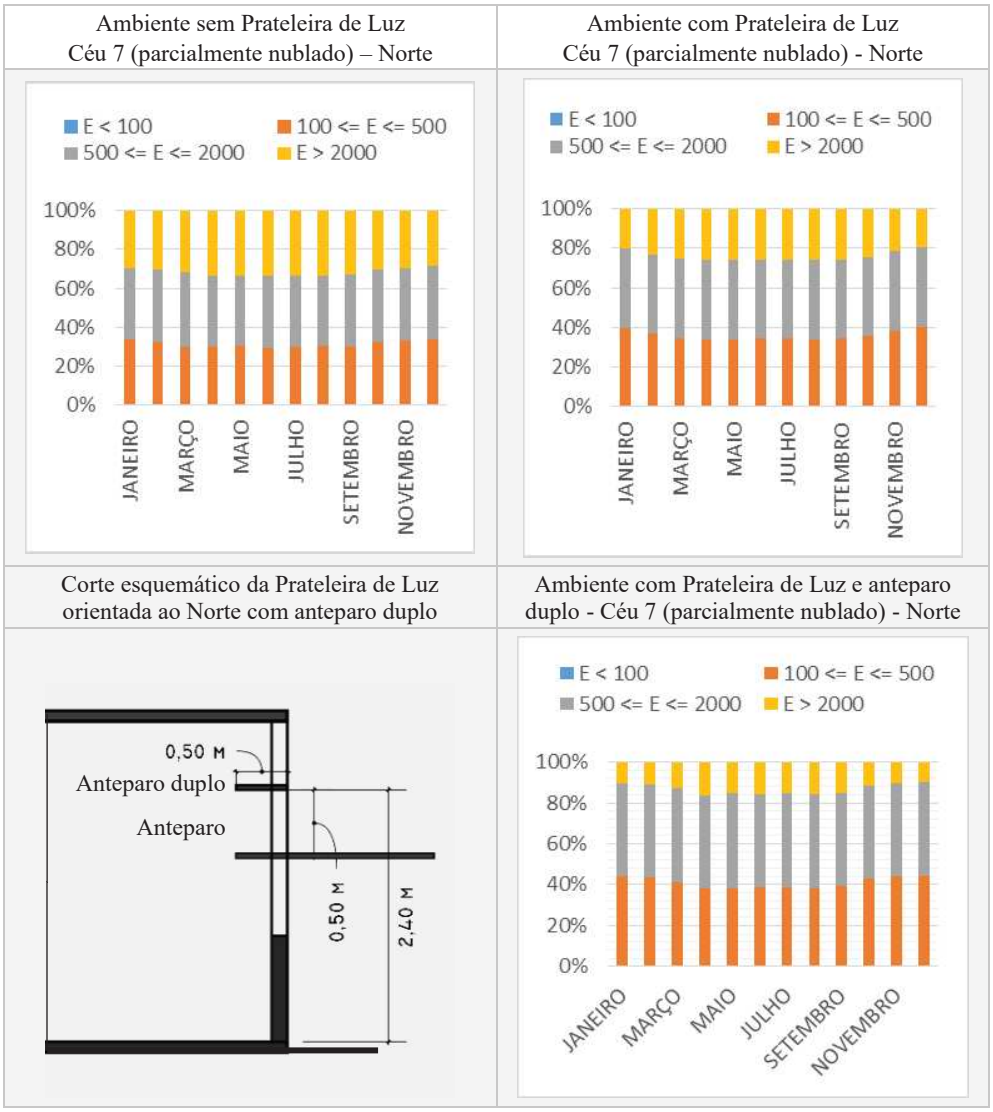


Figura 7 - Gráficos para a condição de Céu 7 (parcialmente coberto), orientação Norte e abaixo à esquerda, corte esquemático demonstrativo do dispositivo com anteparo duplo.

Fonte: as autoras, 2019.

4.2. Desempenho da Prateleira de Luz - CÉU 7 (parcialmente nublado) – Orientação Sul

Observa-se na Figura 8 uma redução em cerca de 10% no percentual de horas para o intervalo E>2000 lx (iluminação excessiva). No entanto o percentual de horas no intervalo 500<E<2000 lx (iluminação suficiente) e no intervalo 100<E<500 lx (suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar) tem pouca variação entre as duas situações apresentadas.

Diante dos resultados e aprofundando a análise da Prateleira de Luz neste ambiente, foi gerada uma nova configuração de Prateleira de Luz, agora sem o anteparo interno de 0,50 m, objetivando identificar a real necessidade deste anteparo para a iluminação no interior do ambiente escolar. Os resultados demonstram que a retirada do anteparo interno acarreta em pequenas alterações percentuais nos intervalos, com aumento da iluminação excessiva e redução da iluminação suficiente, conforme demonstrado na Figura 8. Apesar destas pequenas alterações percentuais, confirma-se a necessidade do uso do anteparo interno na orientação Sul e para a condição de Céu 7 (parcialmente nublado), visto que no uso cotidiano do ambiente interno este aumento de iluminação excessiva acarretará em aumento do desconforto visual em função do ofuscamento, bem como haverá o aumento do consumo de iluminação artificial.

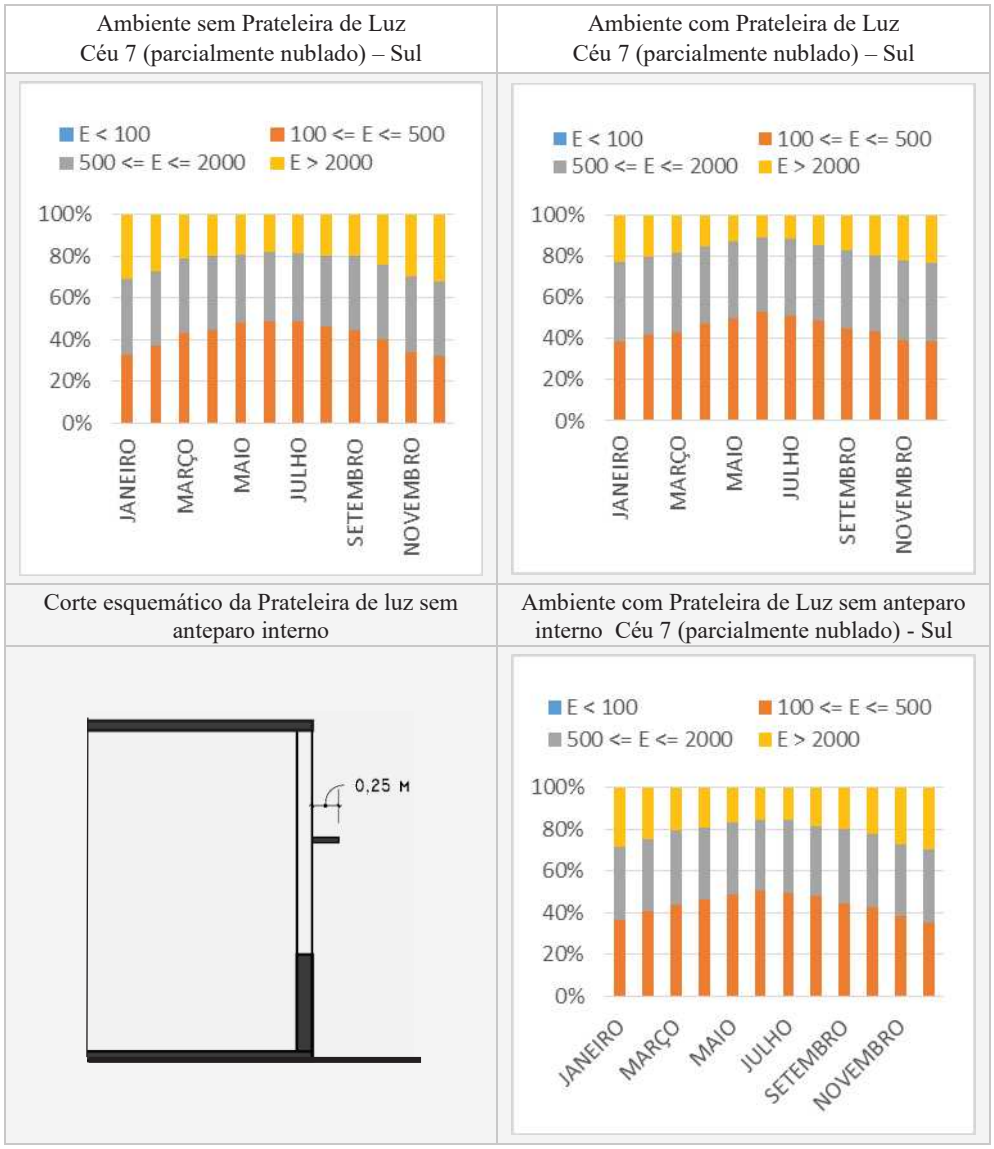


Figura 8 - Gráficos para a condição de Céu 7 (parcialmente coberto), orientação Sul e abaixo à esquerda, corte esquemático demonstrativo do dispositivo sem anteparo interno.

Fonte: as autoras, 2019.

4.3. Desempenho da Prateleira de Luz - CÉU 12 (claro) – Orientação Norte

É possível observar na Figura 9, que na situação sem Prateleira de Luz, os percentuais de horas no intervalo excessivo de E>2000 lx atingem um valor de 25% a 40% no ambiente escolar ao longo do ano, havendo apenas uma pequena redução percentual com a incorporação do dispositivo sombreador.

Já os percentuais nos intervalos de 500<E<2000 lx (iluminação suficiente) e 100<E<500 (suficiente, porém com necessidade de iluminação complementar), sofrem pouca alteração com o uso da Prateleira de Luz, como mostra a Figura 9. Desta forma os resultados demonstram mudanças pouco expressivas no intervalo excessivo, tornando pouco eficiente a incorporação da Prateleira de Luz nestas condições. Somente com a inclusão de um novo anteparo interno acima da Prateleira de Luz (anteparo duplo) foi possível reduzir o percentual de iluminação excessiva em até 10%, quando comparado com a situação sem Prateleira de Luz.

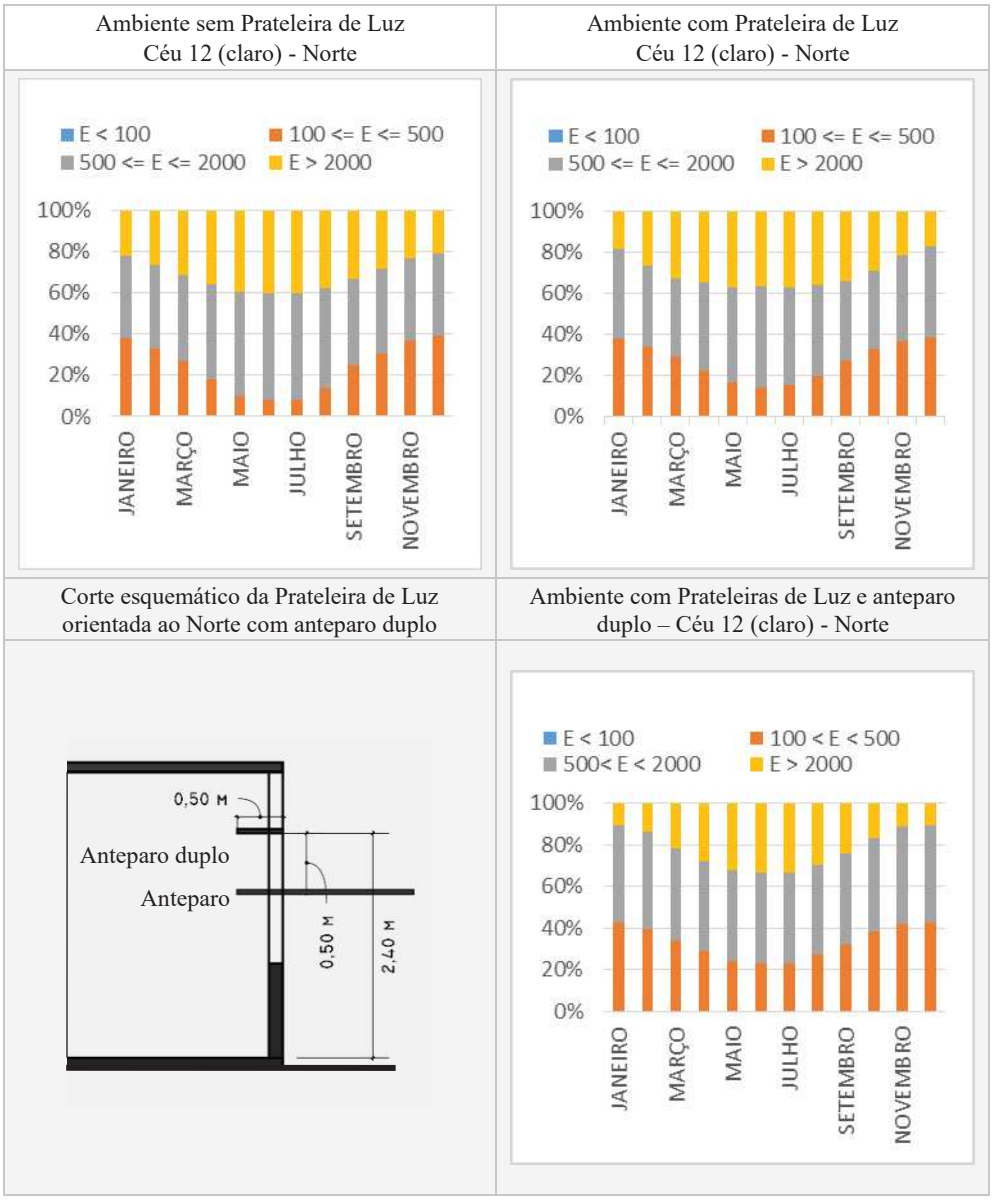


Figura 9 - Gráficos para a condição de Céu 12 (claro), orientação Norte e abaixo à esquerda, corte esquemático demonstrativo do dispositivo com anteparo duplo.

Fonte: as autoras, 2019.

4.4. Desempenho da Prateleira de Luz – CÉU 12 (claro) – Orientação Sul

Observa-se na Figura 10 que no ambiente com Prateleiras de Luz o percentual no intervalo E>2000 lx (iluminação excessiva) não sofre alterações significativas ao longo do ano, havendo apenas a extinção da parcela excessiva no período de maio a julho.

Observa-se também que não há alterações significativas no intervalo 500<E<200 lx (iluminação suficiente), ocorrendo apenas o aumento percentual no intervalo 100<E<500 lx (suficiente, porém com necessidade de iluminação complementar) entre os meses de abril a setembro, aumentando desta forma o uso da iluminação artificial nestes meses. Em função disto foi realizada nova avaliação retirando-se apenas o anteparo interno.

Os novos resultados, presentes na Figura 10, mostram que não ocorrem mudanças significativas nos intervalos das UDIs quando comparado com o Ambiente com Prateleira de Luz. Em vista destes novos resultados, conclui-se que o anteparo interno é desnecessário na situação de ambiente localizado em condições de Céu 12 (claro) orientado para Sul.

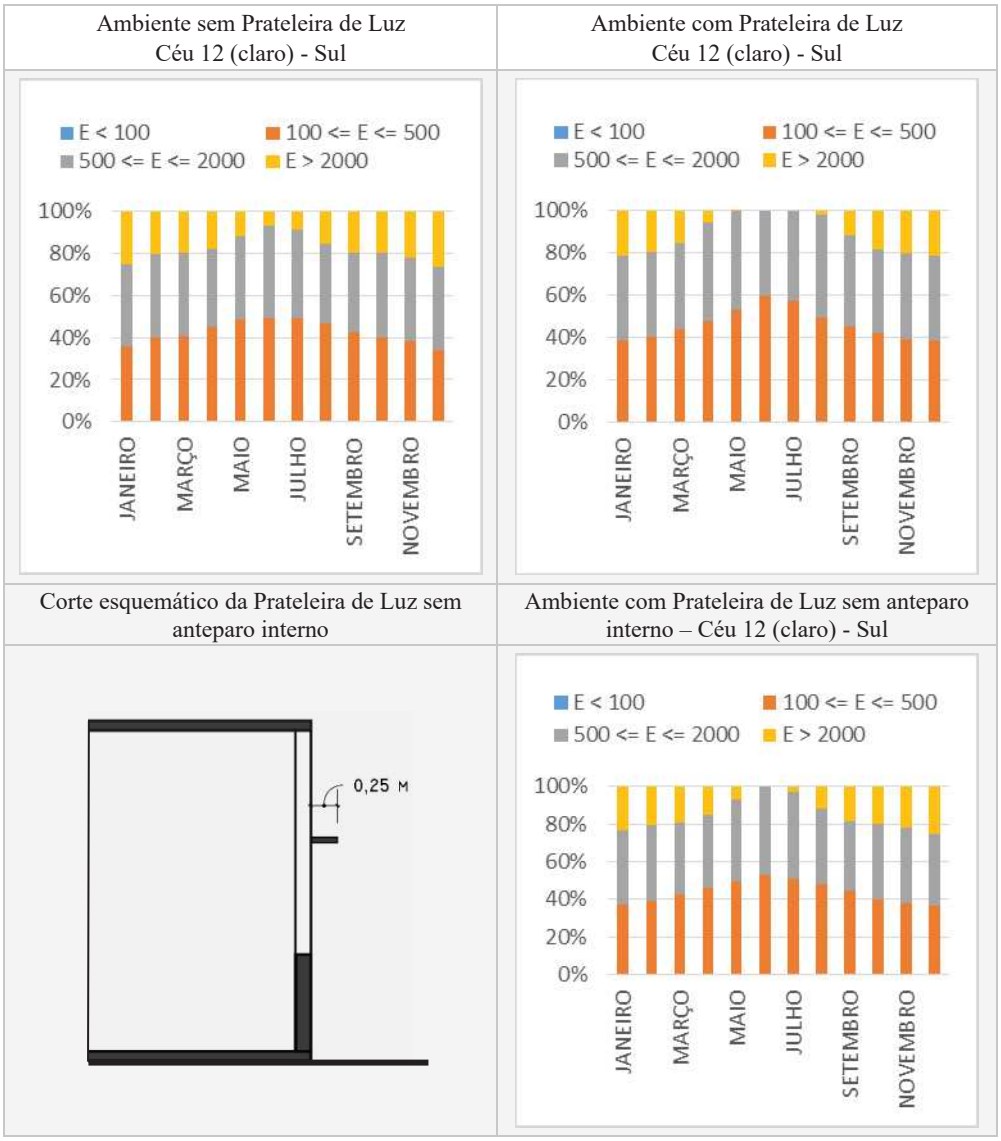


Figura 10 - Gráficos para a condição de Céu 12 (claro), orientação Sul e abaixo à esquerda, corte esquemático demonstrativo do dispositivo com anteparo externo simples.

Fonte: as autoras, 2019.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo teve como foco analisar o comportamento dos dispositivos denominados Prateleira de Luz para ambiente escolar através de simulações computacionais. Inicialmente, inseriu-se uma Prateleira de Luz composta de anteparo interno tanto na simulação com a abertura volta para Norte quanto para Sul. Durante as simulações foram adotados mais dois modelos: Prateleira de Luz com anteparo duplo (somente para orientação Norte); e Prateleira de Luz sem anteparo interno.

Os resultados mostram que para todas as simulações, segundo as condições de céu propostas e orientações da abertura, como já era esperado, há uma redução da ocorrência da iluminação excessiva.

Para ambientes localizados em condição de Céu 7 (parcialmente nublado) e Céu 12 (claro) e abertura orientada para Norte, a utilização de Prateleira de Luz com anteparo duplo caracterizou-se como melhor situação visto que apresentou as maiores reduções do percentual de iluminação excessiva.

Já para a orientação Sul, Céu 7 (parcialmente nublado) a Prateleira de Luz com anteparo interno apresentou o melhor desempenho; para o Céu 12 (claro), o melhor resultado foi apresentado com a Prateleira de Luz sem o anteparo interno.

Conclui-se que o uso de dispositivos como a Prateleiras de Luz é de grande benefício para a qualidade luminosa do ambiente escolar, principalmente por reduzir a iluminação excessiva controlando, desta forma, o ofuscamento. O estudo mostrou também a necessidade de alterações nos modelos das Prateleiras de Luz

adaptando-a conforme a orientação e dimensões das aberturas, ora utilizando a Prateleira de Luz com anteparo interno, ora utilizando a Prateleira de Luz com anteparo duplo, ou utilizando a Prateleira sem o anteparo interno.

Por fim, enfatiza-se que os resultados apresentados se limitam a um único ambiente arquitetônico, sendo necessários novos estudos testando ambientes com outras dimensões, diferentes refletâncias, áreas de abertura, assim como para outras latitudes e orientações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15215-4:** iluminação natural: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações: método de medição. Rio de Janeiro, 2005.

BERARDI, U., ANARAKI, H.K. The benefits of light shelves over the daylight illuminance in office buildings in Toronto. **Indoor and Built Environment**, 2018, Vol. 27(2) 244–262

BINARTI, F.; DEWI, S. The effectiveness of light shelf in tropical urban context. **Environmental and Climate Technologies,** v. 18, n. 1, p. 42–53, 2016.

CABÚS, R. C. **TropLux, versão 3: Guia do Usuário**, Maceió: Grilu, 2006.

KONTADAKIS, A. et al. A review of light shelf designs for daylit environments. **Sustainability** (Switzerland), v. 10, n. 1, 2017.

LEE, HEANGWOO ET AL. Study on movable light-shelf system with location-awareness technology for lighting energy saving. **Indoor and Built Environment**, v. 26, n. 6, p. 796-812, 2017.

LIM, Y. W.; HENG, C. Y. S. Dynamic internal light shelf for tropical daylighting in high-rise office buildings. **Building and Environment**, v. 106, p. 155–166, 2016.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. Energy and Buildings. London: **Elsevier**, v.38, p. 1343-1348, 2006.

PEREIRA, D. C. L. **Iluminação natural em edifícios de escritórios: metodologia para avaliação do desempenho luminoso**. 2017. 263p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

TOLEDO, G. E, CÁRDENAS, O. F. **Análise dos efeitos visuais e não visuais da iluminação natural: benefícios e estratégias.** Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. P.113- 119, 2015. Mackenzie.