

Iluminação natural em salas de aula: estudo de caso no semiárido brasileiro

Daylighting in classrooms: case in Brazilian semi-arid region

Lilianne de Queiroz Leal

Filiación: Universidade Federal de Campina Grande - Campus Pombal/PB

Dirección: Rua Jario Vieira Feitosa, nº 1770, Bairro dos Pereiros, Pombal/PB, Brasil, CP: 58.840-000

Correo: lilianne.queiroz@ccta.ufcg.edu.br

Lúcia Helena Aires Martins

Filiación: Instituto Federal do Sergipe – Campus Estância

Dirección: Rua João Café Filho, nº 264, Cidade Nova, Estância/SE, Brasil, CP: 49.200-000

Correo: lucia.martins@ifs.edu.br

Manuscript Code: 30

Date of Acceptance/Reception: 07.07.2018/XX.XX.2018

Resumo

Este artigo investiga o desempenho da iluminação natural em ambientes educacionais em instituição de ensino localizada na cidade de Pombal/Paraíba, região do semiárido brasileiro. Modelos tridimensionais de salas de aula com diferentes dispositivos de proteção solar foram desenvolvidos no software *Rhinoceros*, com base no levantamento das características construtivas de sala padrão da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Com a variação da dimensão, localização e inclinação das proteções solares, os modelos foram definidos como: a. Base (B), que representa a condição atual - sem proteção; b. Marquise (M); c. Prateleira de luz Interna (PI); d. Prateleira Mista – interna e externa (PM); e. Brise horizontal (B0) e inclinado à 15° e 30° (B15 e B30) e a combinação de Prateleira e Brise, sendo horizontal (PB0), à 15° (PB15) e 30° (PB30). Por meio de plugin de simulação computacional de métricas dinâmicas, *Diva-for-Rhino* versão 4.0, os ambientes hipotéticos foram avaliados quanto a autonomia espacial da luz natural (sDA – *Spatial Daylight Autonomy*), bem como a iluminância excessiva (*Excessive Useful Daylight Illuminance* – eUDI), considerando usuários passivos. Para análise foram empregados dois critérios recomendados pela IES LM-83-12 (Illuminating Engineering Society, 2013) e por MARDALJEVIK *et al.* (2011), sendo eles: o percentual de área autônoma com iluminâncias acima de 300lux (DA_{>300lux}) e o percentual anual de iluminâncias acima de 3000lux (eUDI_{>3000lux}). Ainda, foi verificado o comportamento das iluminâncias entre os níveis de 300lux e 3000lux nos períodos de solstícios de verão e inverno pela manhã e à tarde. Constatou-se que os níveis de iluminação da sala de aula atual atingem iluminâncias acima do recomendado. No entanto, a adição das proteções solares culminou na redução da condição excessiva de iluminação. Os dispositivos horizontais, como as marquises e as prateleiras sem inclinação, promoveram maior uniformidade e mitigaram a incidência de fontes diretas de luz. Nos solstícios de inverno e verão foram registradas as maiores frequências de iluminâncias entre 300 e 3000lux, atingindo as máximas nos pontos mais próximos das aberturas.

Palavras-chaves: Iluminação natural, proteção solar, sala de aula, simulação computacional.

Abstract

This article studies daylighting performances in classrooms in university located in Pombal, city of Paraíba, Brazilian semi-arid region. Computer models of classrooms with different shading devices were developed in *Rhinoceros* software from construction features of standard classroom of Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). To check the suitability of dynamic measurements of daylighting performance, computer simulations of the original configuration of the space and the proposed use of shading devices in openings were made. The models were defined by dimension, position and shading devices angles in openings: a. Base (B); b. overhang; c. internal light shelf; d. light shelf; e. horizontal and angles louvers (15° and 30°) and light shelf and louver combination, horizontal and angular (15° and 30°). The hypothetical rooms were evaluated with dynamic simulations with *Diva-for-Rhino* version 4, *Spatial Daylight Autonomy* and *Excessive Useful Daylight Illuminance* – eUDI to passive users. For this analysis, were applied recommended criteria by IES LM-83-12 (Illuminating Engineering Society, 2013) and MARDALJEVIK *et al.* (2011): autonomy area with illuminance above 300lux (DA_{>300lux}) and excessive area with illuminance above 3000lux (eUDI_{>3000lux}). Thus, was investigated the solstice's periods with illuminance levels between 300lux and 3000lux in the morning and in the afternoon. Daylighting in actual room reached high levels and the shading devices insertion decreased the excessive illuminance. Overhangs and light shelves increased the uniformity and daylight incidence. In winter and summer solstice's were found the biggest frequencies of illuminances between 300lux e 3000lux, reaching the high levels next to the openings.

Keywords: daylighting, shading devices, classrooms, computer simulation,

Introdução

As atividades ligadas à Arquitetura e à Engenharia influenciam direta e indiretamente a qualidade de vida das pessoas, através de um bom desempenho físico da edificação proporcionam aos seus usuários condições mínimas de saúde e bem-estar. O desempenho das edificações tem sido frequentemente abordado em diversos estudos analisando, principalmente, as condições de conforto visual e térmico. É importante destacar que as condições de conforto podem

ser influenciadas pela disposição dos espaços do edifício, dos tipos e posição dos elementos de fachada, dos materiais utilizados, da forma, da orientação solar e da relação com o entorno.

O conforto visual para Lamberts, Pereira e Dutra (1997) é entendido como a existência de condições mínimas no ambiente construído, para que o ser humano possa realizar tarefas visuais com acuidade e precisão, sem precisar de grandes esforços e com reduzidos riscos de acidentes e prejuízos à visão. Quanto mais complexa a tarefa a ser desenvolvida e maior a idade da pessoa, maior também deverá ser o nível de iluminação. O desempenho lumínico de um ambiente construído abrange o nível de iluminação, que varia de acordo com a atividade humana a ser exercida no interior da edificação, e os pontos de ofuscamento que geralmente prejudicam a visibilidade e causam desconforto.

A estrutura física dos ambientes educacionais e suas características arquitetônicas interferem no conforto térmico, acústico e visual e são aspectos fundamentais no processo de aprendizagem dos estudantes. É muito importante analisar a qualidade destes espaços para avaliar como estas necessidades são atingidas nos ambientes escolares. De acordo com Kowaltowski (2011), nos espaços escolares “as questões de conforto abordam diversos fatores, tais como a qualidade do ar, condições de ventilação, de comunicação verbal, os níveis de iluminação, a disponibilidade de espaço, os materiais de acabamento”.

A luz natural era aproveitada ao máximo antes do uso da iluminação artificial e era vista como o modo necessário e econômico de iluminar os edifícios. O uso indiscriminado da iluminação artificial, mesmo quando a iluminação natural é possível durante boa parte do dia, evidencia a necessidade de rever os padrões de uso da iluminação artificial, buscando-se uma maior economia de energia nas edificações (LIMA, SILVEIRA, 2013). As características da edificação são determinantes para um bom aproveitamento da luz natural e seu uso traz diversos benefícios, dentre os quais pode-se destacar o contato com o meio exterior, uma melhor qualidade da iluminação e os benefícios psicofisiológicos para os usuários dos espaços.

Avaliar o desempenho lumínico e térmico de edificações é uma tarefa complexa que envolve grande quantidade de variáveis interdependentes, o advento do computador foi fundamental para o desenvolvimento dos modelos físicos que representam o comportamento térmico e energético de edificações, permitindo a simulação de diferentes cenários (MENDES et al., 2005). Ressaltando a necessidade de melhorar os níveis de iluminação nos ambientes, reduzir a radiação solar direta e a carga térmica, este artigo tem como objetivo investigar o desempenho da luz natural em sala de aula através de simulação computacional de diferentes modelos de proteção solar nas aberturas em região do semiárido brasileiro.

Estado da arte do problema

A contribuição da luz do dia para o projeto de construção com eficiência energética e para a criação de um ambiente agradável que ofereça conforto visual a seus usuários tem sido objeto de estudo há anos. MERESI (2016) desenvolveu uma pesquisa sobre o desempenho da iluminação natural em uma sala de aula típica na cidade de Atenas, na Grécia. O sistema escolhido para estudo consiste em uma prateleira de luz (para sombreamento e redirecionamento de luz) e persianas externas móveis semitransparentes (que podem ser ajustados de acordo com as necessidades dos ocupantes). Os resultados individuais e as conclusões apresentaram um ótimo desempenho do sistema, a prateleira externa de luz, posicionada a 2,00 m do piso, com largura de $0,80 \text{ m} \pm 0,20 \text{ m}$, inclinada entre 10° e 20° (parte externa superior), com um índice de reflexão de 90%, em combinação com as persianas semitransparentes externas móveis, contribuíram para uma melhor distribuição da luz e garantiram a proteção ao brilho em excesso no espaço estudado.

A influência dos elementos de proteção solar no comportamento da iluminação natural também foi alvo do estudo desenvolvido por Warriier e Raphael (2017) em Chennai na Índia, a pesquisa analisou através de experimentos e simulações a interferência das prateleiras de luz no desempenho da luz natural. Os experimentos mostraram que um aumento de 21% na iluminância pode ser conseguido usando prateleiras de luz horizontais feitas de alumínio ou espelho de vidro, ao girar a prateleira de luz externa, é obtido um aumento de quase três vezes na iluminação. Através de simulações usando Radiance descobriu-se que a maioria das suposições comuns sobre o desempenho das prateleiras de luz não são válidas, especialmente no caso de prateleiras de luz horizontais planas. Em 30% dos casos simulados, verificou-se que as prateleiras de luz horizontais aumentam a iluminância perto da janela, aumentando assim a possibilidade de ofuscamento, esse tipo de problema pode ser eliminado usando uma prateleira de luz rotativa. O estudo ressaltou ainda a importância do planejamento e análise do desempenho das proteções solares antes da construção das edificações, avaliando cada caso para encontrar a melhor solução.

Na pesquisa de Carvalho (2014), sobre o desempenho da iluminação natural em ambientes escolares na cidade de Natal-RN, os resultados comprovaram que a obtenção de uma iluminação natural com qualidade depende principalmente da eficácia do sistema de sombreamento para evitar o ofuscamento, o qual é principal causa do desconforto lumínico. Os

modelos analisados foram salas de aula de dimensões 7,20m x 7,20m, com janelas com Percentual de Abertura de Fachada (PAF) de 20%, 40% e 50% e, com dispositivos de sombreamento como marquise, marquise inclinada, marquise com proteção lateral, marquise com vista frontal, marquise simples com três brises horizontais, marquise dupla, marquise dupla com três brises horizontais e o a prateleira de luz. Dentre os dispositivos analisados o melhor desempenho encontrado foi nos modelos que utilizaram a prateleira de luz e PAF de 20%, 40% e 50%.

Dentro desse contexto, estudos sobre o o desempenho da luz natural utilizando a simulação computacional surgem como ferramentas importantes no processo projetual, auxiliando os projetistas nas escolhas dos parâmetros construtivos e tipos de materiais. Em projetos de ambientes escolares uma atenção maior deve ser dada, visto que a luz constitui instrumento fundamental para o pleno desempenho visual na execução das tarefas e consequentemente no processo de aprendizagem.

Metodologia

O procedimento foi dividido em quatro etapas: (1) Definição do local; (2) Caracterização dos modelos; (3) Modelagem e simulação computacional; e (4) Indicadores de desempenho.

Definição do local

O edifício analisado está localizado no Bloco Central de Aulas da Universidade Federal de Campina Grande, campus Pombal, Paraíba. Inserida na região nordeste delimitada pelo semiárido brasileiro, é caracterizada pelo baixo índice pluviométrico e predominância de céu claro durante todo o ano. Composta por dois pavimentos, a edificação apresenta 7 salas de aula convencionais com aberturas dispostas à orientação norte-sul. Todos os ambientes são iluminados naturalmente por meio de aberturas laterais, tendo a fonte artificial complementar, com proteção interna do tipo persiana utilizada esporadicamente.

Localizada na orientação sul, o objeto de estudo é um ambiente representativo da sala de aula, cujas dimensões internas são de 7.85m de comprimento, 7,50m de profundidade e pé direito com 3,35m. Quanto às aberturas, a sala apresenta quatro janelas laterais, direcionadas à orientação sul com dimensões de 3,80m x 1,70m e peitoril de 1,20m (Figura 1b e Figura 1). A parede à oeste não apresenta edifícios vizinhos e a leste é adjacente a outra sala de mesma dimensão.

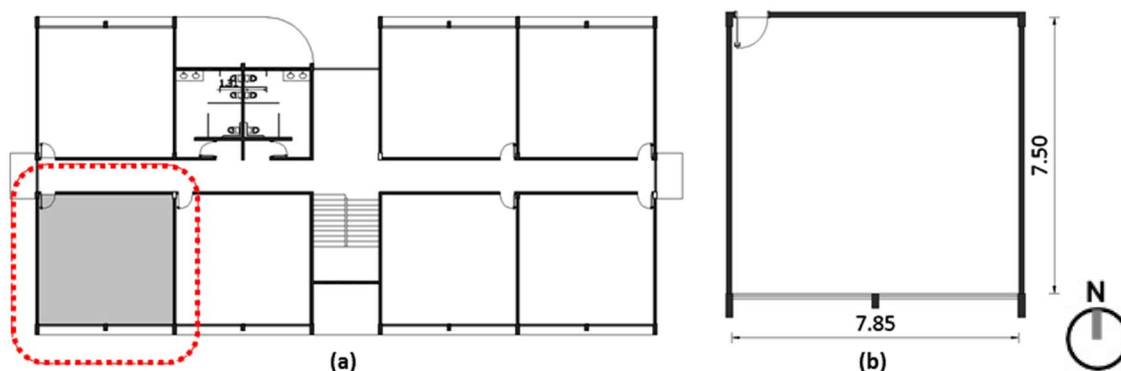


Figura 1. (a) Planta baixa pavimento superior e (b) planta baixa da sala de aula. Desenvolvido pelos Autores (2018).

Caracterização dos modelos

Este estudo enfatiza a melhoria do desempenho no sistema de redirecionamento da iluminação natural, adotando-se como variáveis: a dimensão, inclinação e localização de proteções solares. O modelo Base (B) representa o ambiente sem dispositivo de proteção solar, sendo os níveis de iluminância controlados apenas pela transmitância do vidro, que neste caso é fixo em todo o ano.

Atualmente o edifício não apresenta nenhum sistema de transporte de luz e para propor melhorias ao espaço foram analisados modelos com sistemas fixos para comparação com a situação corrente/atual. Para tanto, os modelos foram denominados como: a. Base (B), que representa a condição atual - sem proteção; b. Marquise (M) na altura da verga da janela; c. Prateleira de luz Interna (PI) a 1,20m do peitoril a 2,30m do piso; d. Prateleira Mista – interna e externa (PM)

a 2,30m do piso; e. Brise horizontal (B0) e inclinado à 15° e 30° (B15 e B30) e a combinação de Prateleira e Brise, sendo horizontal PB0, à 15° (PB15) e 30° (PB30), conforme ilustrado na Figura 2.

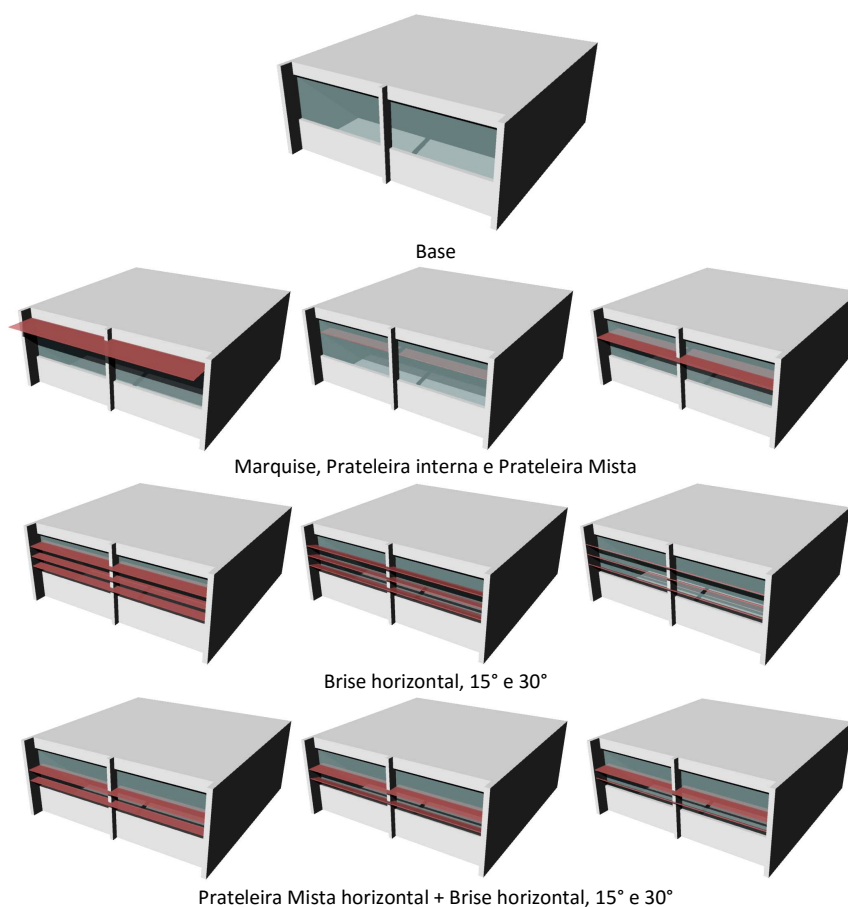


Figura 2. Modelos estudados. Desenvolvido pelos autores (2018).

As propriedades das superfícies foram definidas no DIVA-for-Rhino, por inserção de refletâncias, especularidades e rugosidade. Para tal, adotaram-se como parâmetro fixo as refletâncias de 30%, 50% e 80% no piso, paredes e forro, respectivamente. A transmissão luminosa do vidro é de 90% com reflexão de 6,7% e as proteções solares de espessura 5cm e refletividade de 90%.

Modelagem e simulação computacional

Os modelos foram simulados no plugin Diva-for-Rhino versão 4.0. Essa interface utiliza os algoritmos do Radiance/Daysim para realização de simulação dinâmica que prediz a eficiência da iluminação baseada em arquivos climáticos – Climate-Based Daylight Modelling – CBDM (REINHART, 2010; SOLEMMMA, 2018; Robert McNeel e Associates, 2018). O modelo paramétrico foi construído no plugin *Grasshopper*, definindo as dimensões e posições das geometrias. Apesar de estar localizado no município de Pombal/Paraíba, 6°46' S e 37°48' O, utilizou-se o arquivo referência (TRY) de cidade com características climáticas similares - Patos/PB, extraídos da base de dados do LabEEE (2018), por não apresentar registro do ano típico. A malha de pontos foi distribuída no plano de trabalho a 0,75m de altura, espaçados a 0,45m para geração dos valores de iluminância no nível das mesas (Figura 3).

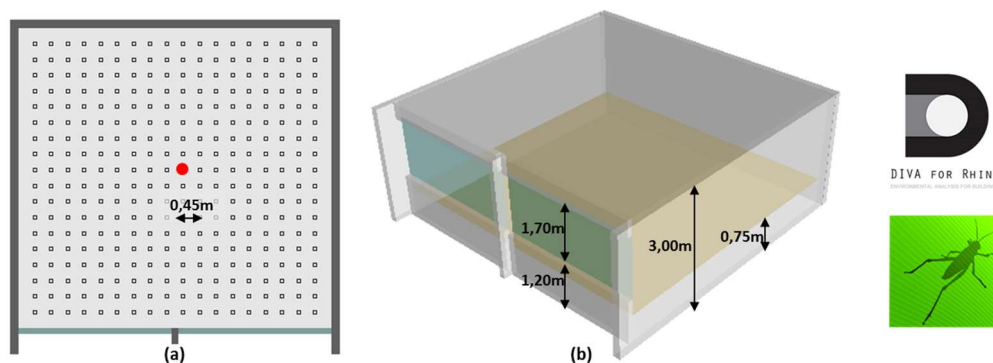


Figura 3. (a) Plano de trabalho e (b) Distribuição dos pontos no plano de trabalho. Desenvolvido pelos autores (2018).

Indicadores de desempenho

Para avaliação do desempenho luminoso foram adotados como critérios recomendados pela IES LM-83-12 (Illuminating Engineering Society, 2013), sendo: a autonomia espacial da luz natural (sDA – Spatial Daylight Autonomy) que consiste na fração de horas ocupadas em um período de um ano em que um nível de iluminância mínimo exigido de 300lux é mantido em 50% do ambiente com suficiência da fonte natural de iluminação ($sDA_{300/50\%}$) e a iluminância natural excessiva (eUDI – Excessive Useful Daylight Illuminance), parâmetro que classifica a frequência anual de iluminâncias excedentes sobre o plano de trabalho (NABIL e MARDALJEVIC, 2005; MARDALJEVIC et al., 2012).

A definição da zona de iluminação autônoma e excessiva da sala é investigada através das iluminâncias mínima e máxima de 300lux e 3000lux, respectivamente. Através desses, foram registradas as frequências de ocorrência anual em que as iluminâncias atingem os níveis de referência entre a faixa mínima e máxima. Ainda, investiga-se o comportamento da iluminação natural na profundidade da sala nos períodos de verão e inverno nos pontos destacados na Figura 4, adotando o horário em que níveis de iluminância são mais significativos. Nestas condições, os valores estimam o impacto da adoção de dispositivos de proteção solar no plano das mesas (carteiras).

Resultados

Autonomia da luz natural e Iluminância excessiva

Os diagramas de cores falsas representam as iluminâncias na altura do plano de trabalho com autonomia acima de 300lux em pelo menos 50% do ano. Quanto à autonomia espacial da luz natural (sDA_{300lux}), observa-se que todos os modelos apresentaram desempenho enquadrados no percentual exigido pela IES LM-83-12. Entretanto, a situação atual (B) se contrapõe dos demais, uma vez que atingiu área autônoma em todo o ambiente, com alto nível lumínico e tendência a fontes luz excessivas. Esse fato culmina no aumento da temperatura interna (ganhos térmicos) e na ocorrência de desconforto visual por ofuscamento. Com a inserção dos dispositivos de proteção horizontal, observa-se uma redução de mais de 20% da autonomia espacial, tendo destaque para a prateleira de luz interna e externa (PM), com percentual de 82%. Esse resultado interfere nas iluminâncias das zonas mais afastadas das aberturas, sobretudo no modelo de prateleira interna (PI) que concentra toda área iluminada na porção mais próxima da abertura. Já os modelos com proteção externa (M) e (PM), as iluminâncias em mais próximos da janela foram bloqueados, concentrando a autonomia na porção central da sala. A vantagem de tal recurso é a possível redução das cargas térmicas nessas áreas e o prolongamento da iluminação ao longo da sala (Figura 4). Com a adição de brises, na condição horizontal e inclinada, destaca-se o modelo com proteção inclinada a 15° , com aproximadamente 84% da autonomia. A medida que aumenta a inclinação do dispositivo, observa-se uma supressão do percentual de iluminância a 300lux, como o caso do brise à 30° , que atingiu área iluminada autônoma de 67,8% concentrados em 2/3 da sala, com proximidades da abertura. Já o brise horizontal (B0) apresentou menor desempenho entre os demais e declinou em quase 10% se comparado ao de máxima inclinação, bloqueando a incidência da iluminação na porção próxima a abertura e nas áreas mais afastadas. Com a combinação das proteções prateleira e brise (PBI), a autonomia da luz natural alcançou percentuais próximos de 80%, sobressaindo o modelo com brise de inclinação intermediária (PB15). O uso do brise à 0° registrou o menor percentual de autonomia espacial com a distribuição da iluminação limitada à área central da sala, sendo este comportamento alterado com a rotação do dispositivo. Nestes termos, observou-se que a variável inclinação é inversamente proporcional ao desempenho da área iluminando. Deste modo, quanto maior o ângulo de inclinação, menos iluminada será a porção oposta a abertura. Ainda, a adoção de sistemas de proteção inclinados a 15° apresentou melhor desempenho com brises ou quando combinados com prateleira de luz, registrando comportamentos autônomos similares.

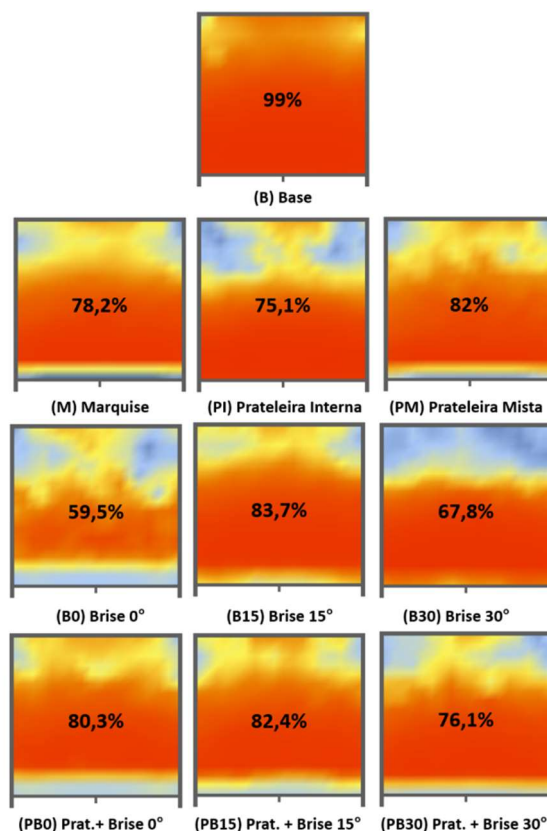


Figura 4. Diagrama de cores falsas da autonomia espacial (sDA_{300lux}). Desenvolvido pelos autores (2018).

Quanto às iluminâncias excessivas (eUDI_{<3000lux}), as zonas próximas às aberturas alcançaram os maiores níveis de iluminação, conforme ilustra a Figura 5. Dentre os modelos simulados, quatro ambientes registraram maior ocorrência de iluminâncias excessiva, acima de 3000lux, sendo elas: a situação atual, representada pelo modelo Base (B), o modelo com prateleira interna (PI) e com brises inclinados (B15 e B30). Com comportamento de maior impacto, o ambiente que representa a condição atual (B) atingiu percentuais excessivos em quase 1/3 da sala. Além desse, a prateleira interna e os brises a 30°, com 20,1% e 21,1%, respectivamente, não promoveram o bloqueio das fontes de luz excessiva, sendo mais propensos à sobrecarga térmica e ofuscamento.

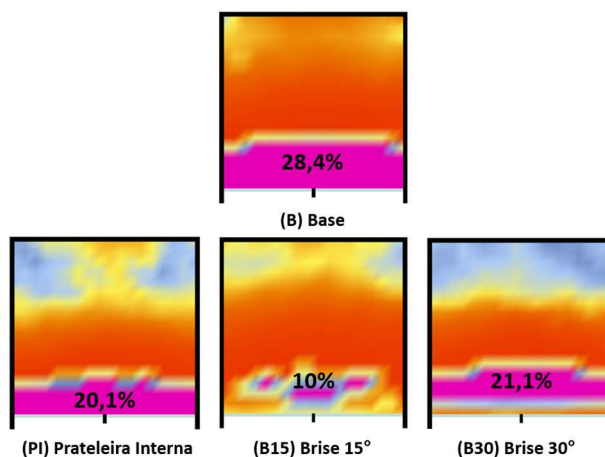


Figura 5. Diagrama de cores falsas da iluminância excessiva (eUDI_{3000lux}). Desenvolvido pelos autores (2018).

Embora tenham alcançada autonomia na faixa dos 80% (Figura 5), o ambiente com brises inclinado a 15° (B15) concentrou em 10% os percentuais de iluminância excessiva. Ao contrário desse, os modelos com prateleira interna e externa (PM) e combinada com brise (PBi) atingiram iluminação autônoma em mais de 2/3 de área do plano de trabalho e suprimiram a incidência de radiação solar direta, registrando menos de 5% de área com iluminâncias acima 3000lux.

Iluminâncias no verão e no inverno

Para análise das iluminâncias ao longo da sala nos períodos de inverno e inverno, optou-se pelo registro da frequência entre 300 e 3000lux às 9h e às 15h, sendo essas referências horárias, uma vez que registraram níveis mais significativos nos solstícios (21/06 e 21/12). Próximo às aberturas, os níveis de iluminação nos solstícios foram superiores, especialmente nos modelos sem proteção (B) e com prateleira interna (PI).

Com base nos pontos localizados na porção central da sala (Figura 3a), as iluminâncias no inverno atingiram mínimas de 300lux e máximas de 12000lux (Figura 6). No turno da manhã, às 9h, percebe-se um aumento dos percentuais nos modelos com brises inclinados (B15 e B30) e prateleira interna (PI), quando comparados ao modelo sem proteção e de maior impacto (B). A condição atual da sala, sem proteção solar, registrou maiores ocorrências de iluminâncias acima de 3000lux, ultrapassando a faixa útil.

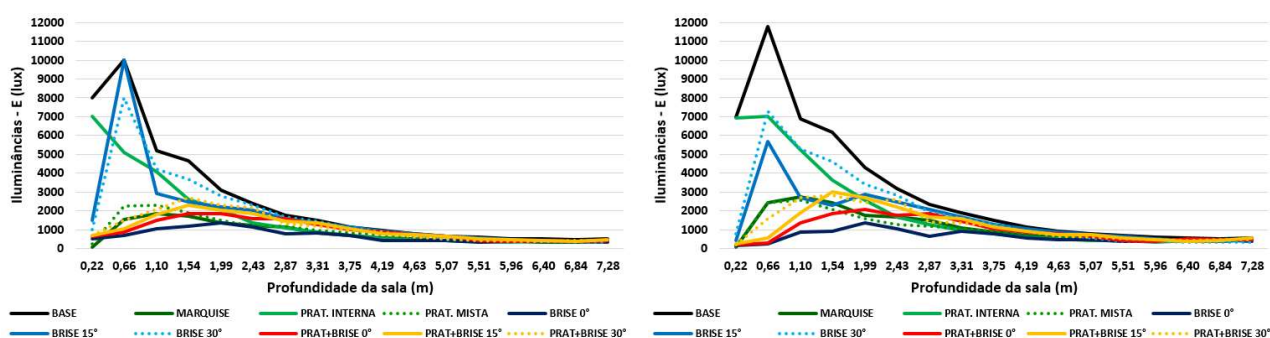


Figura 6. Iluminâncias (E) às 9h e às 15h no período de inverno. Desenvolvido pelos autores (2018).

Diferente deste, o turno da tarde, às 15h, apresentou comportamento mais heterogêneo com redução gradativa a medida que se afasta da abertura. Comportamentos díspares ocorreram com a combinação entre prateleira e brise (PBi), com iluminância acima de 1000lux a partir da distância de 1,00m da janela. Deste modo, no período de inverno, as proteções promoveram uma supressão significativa das iluminâncias nos períodos das 9h e 15h.

No período de verão, as mesmas proteções de destaque no inverno (B e PI) foram evidenciadas com iluminâncias máximas de 16.500lux às 9h e 20.000lux às 15h (Figura 7). Tais valores foram registrados com predominância de altos níveis de iluminância próximos à abertura. Diferente do período de inverno, a faixa de iluminância no verão oscilou de 1.500lux à 7.500lux em quase toda extensão da sala, sendo menos homogênea que as registradas na Figura 6.

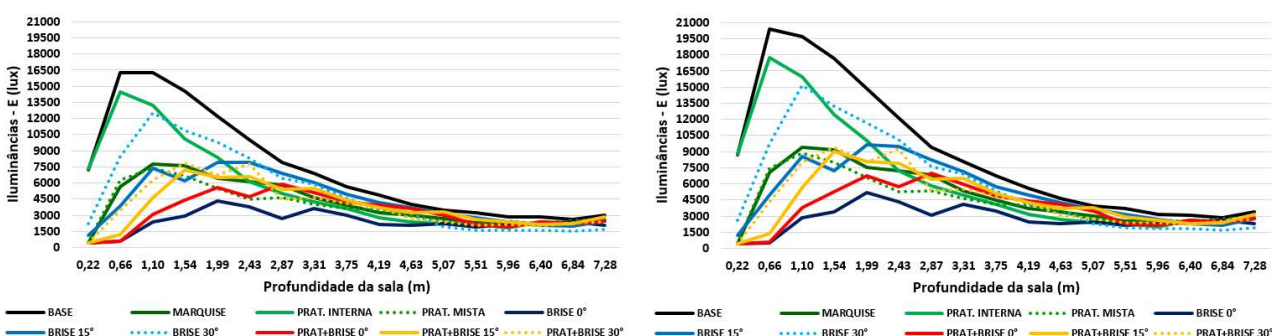


Figura 7. Iluminâncias (E) às 9h e 15h no período de verão. Desenvolvido pelos autores (2018).

Os modelos com dispositivos horizontais (Marquise e Prateleira Mista) apresentaram comportamento luminoso similar com distribuição de iluminâncias variando de com mínima de 400lux a 500 lux. Já os modelos com dispositivos inclinados apresentaram comportamento semelhante aos modelos destacados no inverno. Esses horários registraram os maiores valores de iluminância nos solstícios. Assim sendo, observa-se que as proteções horizontais proporcionaram distribuição mais uniformes em ambos os solstícios. O verão, no entanto, apresentou maior amplitude e contraste, condição adversa a um ambiente de estudo.

Discussão e Conclusão

O Brasil, em especial o Nordeste, dispõe de luz natural muito abundante que se bem aproveitada é uma excelente alternativa para a redução do consumo de energia elétrica, em especial nas edificações escolares, onde observa-se até hoje poucas iniciativas nesse sentido. Soluções simples e de baixo custo podem ser utilizados para se obter um melhor aproveitamento da luz natural nessas edificações e consequentemente uma queda no consumo de energia elétrica. Neste trabalho realizou-se uma investigação sobre a influência das aberturas com diferentes proteções solares estáticas no desempenho lumínico em sala de aula localizada na cidade de Pombal/Paraíba, região do semiárido brasileiro. Através de métricas dinâmicas, foram avaliadas zonas de autonomia da luz natural ($DA_{>300\text{lux}}$), de iluminância útil excessiva ($eUDI_{>3000\text{lux}}$) e as frequência anual entre as faixas de iluminâncias mínima e máxima referentes aos solstícios de inverno e verão às 9h e 15h. Verificou-se que os níveis atuais de iluminância estão em concordância com a recomendação pela Illuminating Engineering Society (IES LM-83-12, 2013). No entanto, em quase todo o período de ocupação da sala de aula, iluminâncias acima de 3000lux foram observadas nas porções mais próximas as aberturas. Com a inserção dos elementos de proteção solar, ocorreu uma alteração dos níveis luminosos, com destaque para os dispositivos de inclinação de 15°, os quais obtiveram melhores registros de iluminância autônoma. Ao contrário desses, a condição atual sem proteção, a adoção de prateleira interna e de brise à 30° registraram maiores níveis de iluminâncias excessivas, com média anual de 20%. Este estudo comprovou a influência das aberturas com dispositivos de inclinação entre 0° e 15° ao promover o redirecionamento da iluminação ao longo da sala. Tais modelos atingiram áreas autônomas de iluminância e maior uniformidade nos períodos de inverno e verão. No entanto, ângulos acima de 15° acarretaram o aumento da iluminância excessiva da sala de aula, comprovado com os resultados registrados nos modelos com proteção à 30°. Destaca-se também, a versatilidade e importância do uso de programas de simulação durante o processo projetual, onde é possível avaliar o desempenho daquelas edificações variando seus elementos contrutivos, para então definir o melhor a ser usado, buscando otimizar o conforto dentro dos ambientes.

Referências

- CARVALHO, J. P. V. (2014) Simulação de desempenho luminoso para salas de aula em Natal-RN. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- DIAS, A. F. A.; GOMES V. A.; CABÚS, R. C. (2009) Componente de Controle de luz natural em salas de aula e seu desempenho conforme a orientação solar do edifício. In: X ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO; VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Natal, 2009. Anais... Natal: ENCAC - ENLACAC 2009.
- DORIGO, A. L. (2007) Condições de luz natural em ambientes escolares – Estudo do Projeto Padrão 023 da rede pública de ensino do estado do Paraná. Curitiba, 2007. 114p. Dissertação – Universidade Federal Tecnológica do Paraná.
- IESNA, IES LM-83-12 (2012). IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). New York, NY, USA, IESNA Lighting Measurement.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K. (2011) Arquitetura escolar e o projeto do ambiente de ensino. São Paulo, 2011.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. (1997) Eficiência Energética na Arquitetura. São Paulo: PW Editores, 1997.
- LIMA, D. C. D.; SILVEIRA, A. L. R. C. (2013) Análise da iluminação natural em salas de aula da universidade federal do Piauí. In: XII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO; VIII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Brasília, 2013.
- MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. (2005) Uso de Instrumentos Computacionais para Análise do Desempenho Térmico e Energético de Edificações no Brasil. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.5, n.4, p. 47-68, outubro/dez. 2005.
- MERESI, A. (2016) Evaluating daylight performance of light shelves combined with external blinds in south-facing classrooms in Athens, Greece. Energy and Buildings, v. 116, p.190-205, 2016.
- Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (2018). Arquivos climáticos. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>>. Acesso em: Julho de 2018.
- NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. (2005) Useful daylight illuminance: a new paradigm to access daylight in buildings. Lighting Research & Technology, v. 37, n. 01, 2005.
- REINHART, C.F. (2010) Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design. Harvard Design School, 2010.
- Robert McNeel and Associates (2018). Rhinoceros. Disponível em: <<http://www.rhino3d.com>> Acesso em: Julho de 2018.
- SANTOS, L. S.; SOUZA, A. D. S.; ALVAREZ, C. E.; AMORM, C. N. D. O. (2010) Potencial de Uso da Luz Natural em Edifícios Escolares para a situação de Vitória-ES. In: XII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2010, Canela. Anais..., Canela: ENTAC, 2010.
- SOLEMA LLC, DIVA-for-Rhino software version 4.0 (2018). Disponível em: <<http://www.diva4rhino.com>> Acesso em: Julho de 2018.
- WARRIER, G.A.; RAPHAEL, B. (2017) Performance evaluation of light shelves. Energy and Buildings, v. 140, p.19-27, 2017.