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

CONFORTO VISUAL EM AMBIENTE DE TRABALHO: ESTUDO DE CASO EM UM LABORATÓRIO DE PESQUISA

CUSTÓDIO, Diego A. (1); BILÉSIMO, Thayane L. (2); SCHAEFER, Aline (3); GHISI, Enedir (4)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, diego.custodio@udesc.br
(2) Universidade Federal de Santa Catarina, thayanebilesimo@gmail.com
(3) Universidade Federal de Santa Catarina, ali_ufsc@yahoo.com
(4) Universidade Federal de Santa Catarina, enedir.ghisi@ufsc.com

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é avaliar a adequação da iluminação de um laboratório de pesquisa da Universidade Federal de Santa Catarina a partir de medições de luminâncias e iluminâncias e da obtenção das percepções subjetivas dos ocupantes. O método aplicado combina o procedimento de medição e verificação de níveis mínimos de iluminância propostos pelas normas, identificação de fontes potenciais de ofuscamento e a aplicação de questionários aos ocupantes. Os resultados demonstram que a quantidade da iluminação do ambiente não é atendida totalmente pela iluminação natural. Tal constatação foi comprovada tanto pelas medições quanto pelas respostas dos ocupantes, que demonstraram estar satisfeitos com o ambiente luminoso, mas apresentaram queixas pontuais.

Palavras-chave: *Conforto visual. Luminância. Iluminância. Levantamento de dados. Percepção do usuário.*

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the lighting adequacy of a research laboratory at the Federal University of Santa Catarina, based on lighting measurements and evaluations of users' subjective perceptions. The method applied combines the procedure for selecting and verifying the minimum levels of lighting proposed by the standards, identification of necessary sources of glare and the application of questionnaires to users. The results demonstrated that the amount of lighting is not fully supported by natural lighting. The finding was proven both by measurements and responses of the users, who showed to be satisfied with the general luminous environment but had specific complaints.

Keywords: *Visual comfort. Luminance. Illuminance. Data survey. User perception.*

1 INTRODUÇÃO

O conforto visual é uma condição subjetiva de bem-estar visual induzida pelo ambiente (EUROPEAN STANDARDS, 2018). Essa condição depende da fisiologia do olho humano e da quantidade de luz, bem como da sua distribuição no espaço e no espectro de emissão da fonte luminosa. Os estudos de conforto visual têm sido feitos avaliando os fatores que relacionam as necessidades humanas e a luminosidade do ambiente. Neste sentido, são analisados aspectos como

[1] CUSTÓDIO, Diego A.; BILÉSIMO, Thayane L.; SCHAEFER, Aline; GHISI, Enedir. Conforto visual em ambiente de trabalho: estudo de caso em um laboratório de pesquisa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

quantidade, uniformidade, cores de renderização e ofuscamento (CARLUCCI et al., 2015).

Pesquisas em ambientes de ensino revelaram que em salas bem iluminadas naturalmente discentes apresentaram maior produtividade (BAKMOHAMMADI; NOORZAI, 2020, MORENO; LABARCA, 2015). Quanto melhores as condições de iluminação em um ambiente de trabalho, melhores serão os resultados das tarefas a serem executadas, com menor esforço visual (RENNHACKKAMP, 1964, KONSTANTZOS et al., 2020).

O desconforto luminoso em ambientes de trabalho também foi objeto de estudo em diversas pesquisas, cujos fatores mais recorrentes são o ofuscamento e o brilho excessivo. Comparações de Jakubiec e Reinhart (2015) entre os diferentes índices de brilho ao longo de um dia em um escritório mostraram que o *Visual Comfort Probability,* que é derivado de brilho proveniente de fontes artificiais de luz, muitas vezes prediz probabilidades de desconforto muito superiores a de outros índices, independentemente de terem sido desenvolvidas para uso sob condições de luz artificial ou luz do dia. Pierson, Wienold e Bodart (2018) complementam que o brilho ou o ofuscamento podem ser fonte potencial de problemas devido ao excesso de luz ou de contraste. O brilho provoca insatisfação e fechamento das persianas e, consequentemente, uso de iluminação artificial durante o dia (FARIA, 2007).

De forma a contribuir com o tema, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a qualidade da iluminação de um laboratório de pesquisa a partir de medições de luminâncias e iluminâncias e da obtenção das percepções subjetivas dos ocupantes.

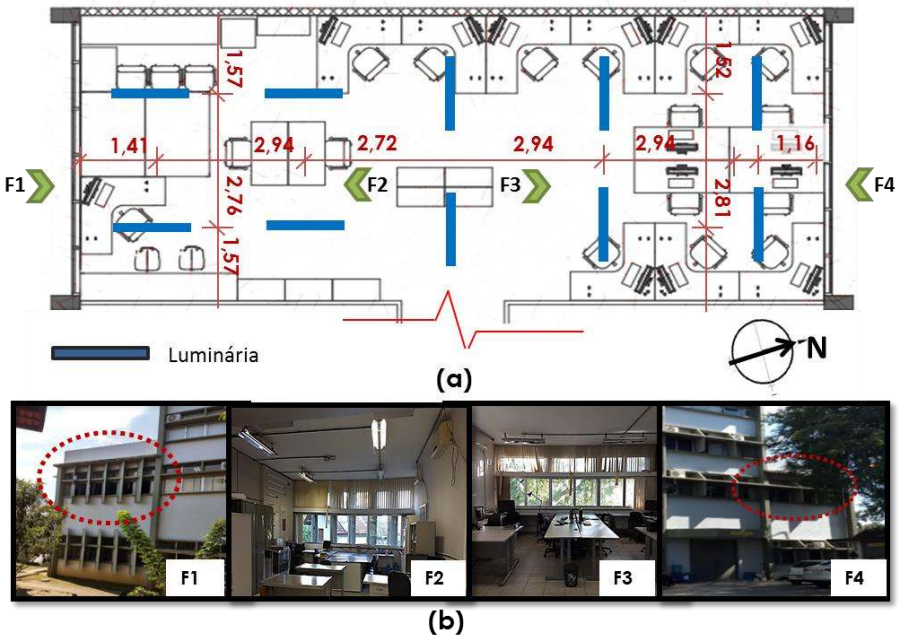
2 MÉTODO

O método utilizado para a avaliação do conforto luminoso foi elaborado a partir do levantamento de dados quantitativos (medição das luminâncias e iluminâncias) e qualitativos (percepção subjetiva do usuário) em um ambiente de trabalho.

O objeto de estudo foi o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), localizado na UFSC (Florianópolis, SC). O ambiente é configurado em formato retangular (14,10m x 5,90m, aproximadamente), com janelas em fita nas extremidades (fachadas nordeste, parcialmente obstruída por vegetação, e sudoeste) e persianas internas para controle da incidência solar direta. É ocupado por doze pesquisadores, prioritariamente em horário comercial, e iluminado artificialmente por onze luminárias, compostas por duas lâmpadas tubulares T5 (32W cada), fixadas na laje (aproximadamente 2,70m de altura do piso). A Figura 1 apresenta as principais características do ambiente. As medições foram realizadas em 01/08/2019, com céu parcialmente encoberto, considerado representativo em simulações de iluminação natural que consideram o céu estático (MICHEL; LARANJA, 2020), e pôr do sol às 17h45.

Os procedimentos de medições de luminância e iluminância foram realizados conforme as normas NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013) e NBR 15215-4 (ABNT, 2005). A NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013) estabelece níveis de iluminância, ofuscamento, uniformidade, aspectos e aparência da cor, entre outros fatores. A NBR 15215-4 (ABNT, 2005) estabelece os procedimentos para realizar a verificação experimental da condição de iluminação natural no interior das edificações, devendo ser condizentes com o que é proposto pela NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013).

Figura 1 – Caracterização do objeto de estudo: (a) planta baixa com *layout*, disposição das luminárias e indicação de referência das imagens (b) fotos externas e internas do ambiente de trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A análise de luminâncias das superfícies e fontes de ofuscamento foi realizada a partir de fotografias HDR (obtidas por meio do programa Aftab, a partir do tratamento do conjunto de fotos com diferentes exposições) e um luminancímetro da marca Minolta (modelo LS-160) com precisão +/-2% (10 cd/m² ou mais). Para as fotografias HDR escolheu-se locais com potencial de ofuscamento em função da posição e altura de visão dos ocupantes que utilizam as estações de trabalho próximas às janelas. Utilizou-se uma folha cinza para calibração das iluminâncias no campo visual onde se desejava avaliar o ofuscamento. Os índices de ofuscamento foram calculados por meio do programa Aftab, que considera a iluminância média do campo de visão para determinar as luminâncias em planos específicos da cena avaliada, como janelas e paredes. Os seguintes índices foram obtidos: DGP (*Daylight Glare Probability*); DGI (*Daylight Glare Index*); UGR (*Unified Glare Rating*), CGI (*CIE Glare Index*) e VCP (*Visual Comfort Probability*). Os índices concentram-se na avaliação da intensidade de brilho percebida. Valores altos de DGP, DGI, UGR e CGI indicam problemas de ofuscamento. No caso do VCP, que indica a probabilidade de conforto visual dos ocupantes, quanto maior o valor, menores serão os problemas de ofuscamento.

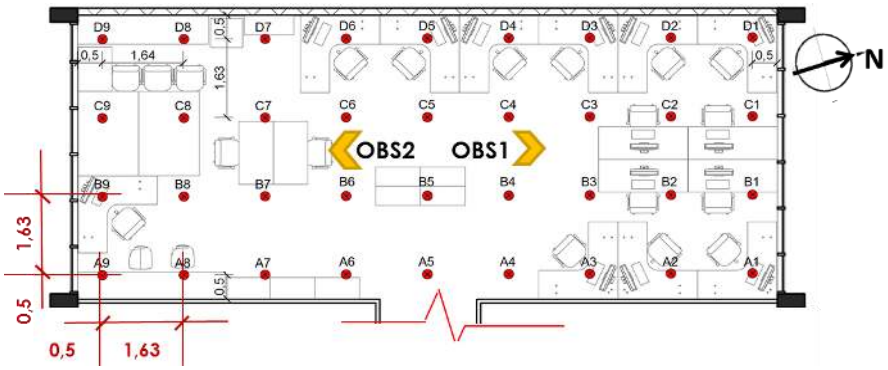
Para obtenção das iluminâncias, definiu-se, primeiramente, uma malha de pontos para medição, obtida por meio da Equação 1 (ABNT, 2005). Obteve-se inicialmente o total de 25 pontos (com k=2,22), resultando em uma malha de 1,63m x 1,63m e 37 pontos, recuados 0,5m em relação às paredes (Figura 2). As iluminâncias em cada ponto foram medidas por meio de um luxímetro digital (marca Minipa, modelo MLM-1011, com precisão de ±4% para leituras menores do que 10000 lx). As medições foram e realizadas a cada duas horas: 10h, 12h, 14h, 16h (apenas iluminação natural) e 18h (apenas iluminação artificial). Como os ocupantes costumam utilizar o sistema de iluminação artificial durante todo o dia, as iluminâncias totais foram calculadas por meio da Equação 2.

$$K=(C\times L)/[H\times(C+L)] \quad (1)$$

$$IT_i= IN_i+IA \quad (2)$$

Onde:
K é o índice local que define o número de pontos da malha;
C é o comprimento da sala (m);
L é a largura da sala (m);
H é a altura entre a superfície de trabalho e o plano das luminárias (m);
IT_i é a iluminância total na i-ésima medição (lx);
IN_i é a iluminância devido à iluminação natural na i-ésima medição (lx);
IA é a iluminância devido à iluminação artificial (lx).

Figura 2 – Distribuição dos pontos de medição das iluminâncias e indicação dos pontos de referência para fotografia HDR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

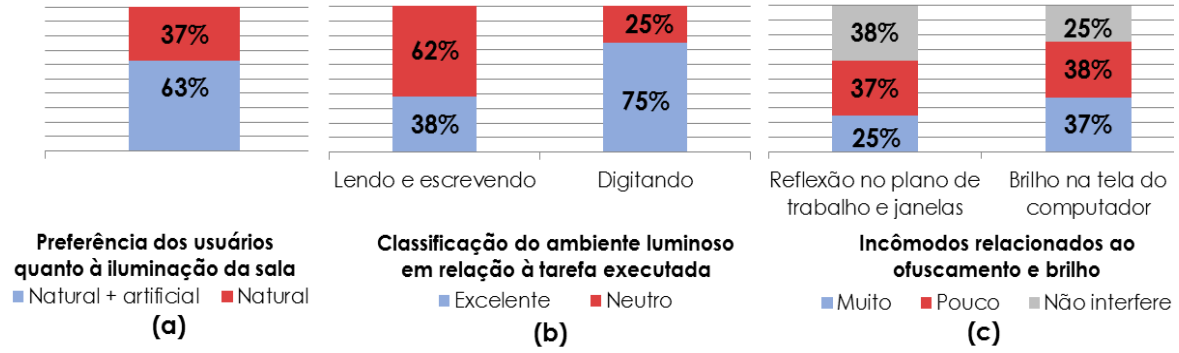
Para obtenção da percepção subjetiva dos ocupantes quanto ao conforto luminoso, foram aplicados questionários semiestruturados, elaborados com base no questionário proposto por Boyce (1996). Abordou-se questões sobre a preferência quanto ao uso de iluminação natural, artificial ou a combinação delas, sobre a satisfação quanto às condições do ambiente para realização de atividades específicas e sobre a percepção ou interferência quanto ao ofuscamento. Devido a sua geometria, o ambiente possui estações de trabalho em áreas com maior disponibilidade de iluminação de natural (próximo às janelas) e menor disponibilidade (áreas centrais), onde o uso da iluminação artificial é necessário para o desenvolvimento das tarefas. As respostas em relação ao incômodo por excesso de brilho foram comparadas com os índices de ofuscamento. A percepção em relação à iluminação do ambiente foi comparada com as iluminâncias medidas no local.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta os resultados referentes à percepção dos ocupantes quanto ao conforto luminoso no local. Cerca de 90% dos ocupantes consideram importante a qualidade da iluminação em um ambiente de trabalho, preferindo a combinação entre iluminação natural e artificial (63% dos ocupantes). Não houve preferência pelo uso exclusivo da iluminação artificial (Figura 3a). Quanto à satisfação com a iluminação do ambiente de trabalho, 62% dos ocupantes permaneceram neutros quanto às condições de iluminação para leitura e 75% mostraram-se satisfeitos quanto às condições para digitação (Figura 3b). Por fim,

alguns ocupantes indicaram certo incômodo por ofuscamento (Figura 3c), devido ao reflexo no plano de trabalho e janelas (25% dos ocupantes) ou ao brilho na tela do computador (37% dos ocupantes).

Figura 3 – Percepção subjetiva da iluminação natural: (a) preferência dos ocupantes, (b) classificação do ambiente luminoso, (c) incômodos relacionados ao ofuscamento e brilho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Com relação à percepção dos ocupantes, 67,5% alegaram que a sala apresenta zonas escuras, mas que são amenizadas com o uso da iluminação combinada. Foi reportando também interesse em obter luminária individual em cada posto de trabalho, ao que se atribui à necessidade de uso em dias nublados ou em trabalhos desenvolvidos durante a noite.

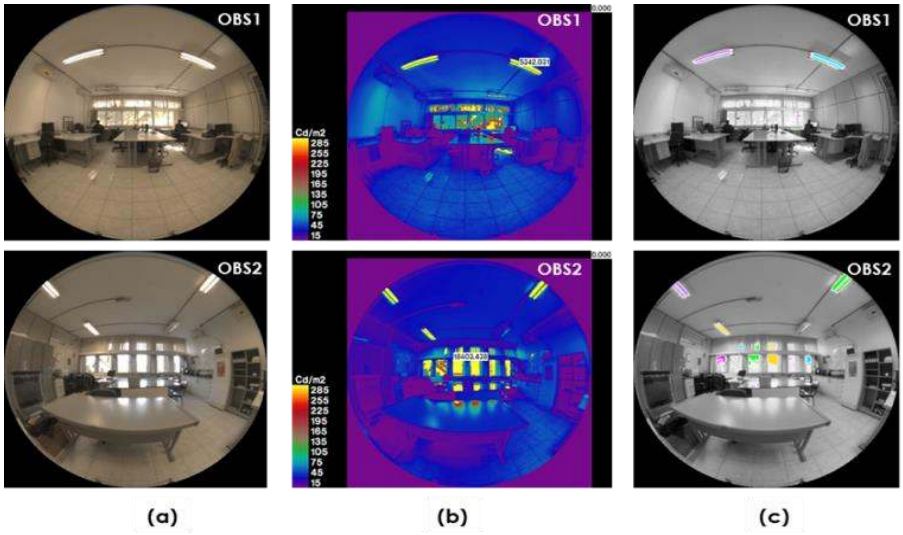
A Figura 4 mostra as imagens obtidas a partir das fotografias HDR, para as cenas OBS1 (janelas voltadas a nordeste) e OBS2 (janelas voltadas a sudoeste). Para a cena OBS1 (fachada nordeste), observou-se que as luminâncias das superfícies em geral são baixas e uniformes, com exceção das luminâncias das janelas, devido à presença da iluminação natural. As luminárias também apresentaram luminâncias altas (chegando a 5342,03 cd/m²). A luminância média usada para a calibração da foto foi de 29,75 cd/m², e a iluminância média da lente da câmera foi 209,5 lx. Em termos de ofuscamento, os índices obtidos pela avaliação do programa foram verificados conforme as normas e estão classificados na Tabela 1. Percebe-se, comparando os índices com a Figura 4, que o ambiente não apresenta ofuscamento perceptível, apesar das altas luminâncias das lâmpadas.

Observou-se comportamento semelhante para a cena OBS2. O ponto de máxima luminância ocorreu nas janelas, devido a iluminação natural, atingindo 18403,4 cd/m². No restante da sala, as luminâncias se mantiveram entre 15 e 45 cd/m² (com exceção dos pontos em que houve a incidência da radiação solar direta). A luminância média utilizada para a calibração da foto foi 19,8 cd/m², e a iluminância 321,5 lx.

Os índices apresentados na Tabela 1 demonstram que, ao contrário da cena em OBS1, este lado apresenta ofuscamento perceptível. Neste sentido, pode-se dizer que os ocupantes não estão em conforto. O desconforto também é confirmado pelo VCP (probabilidade de conforto visual) que na cena OBS2 é de 19,31%. Em relação à percepção subjetiva, 75% dos ocupantes responderam que o brilho externo não interfere ou interfere pouco em suas atividades. As respostas dos ocupantes são explicadas, pois a maioria deles possui estações de trabalho localizadas na cena OBS1, local onde a probabilidade de conforto visual em

relação ao ofuscamento é maior. De acordo com Jakubiec e Reinhart (2010), valores de VCP entre 80% e 100% classificam o ofuscamento como imperceptível. Os autores afirmam que valores de VPC menores do que 40% são intoleráveis e que valores de DGP menores do que 0,35 representam situações de ofuscamento imperceptível. No entanto, para a cena OBS2 um usuário relatou incomodo pelo brilho excessivo da luz natural através da janela. Portanto, é possível afirmar que neste estudo, os índices de ofuscamento não puderam prever adequadamente a expectativa dos ocupantes. Tal conclusão também foi relatada por Suk et al. (2016).

Figura 4 – Fotografias HDR: (a) fotografia da cena, (b) luminâncias, (c) avaliação do ofuscamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Tabela 1 – Índices de ofuscamento.

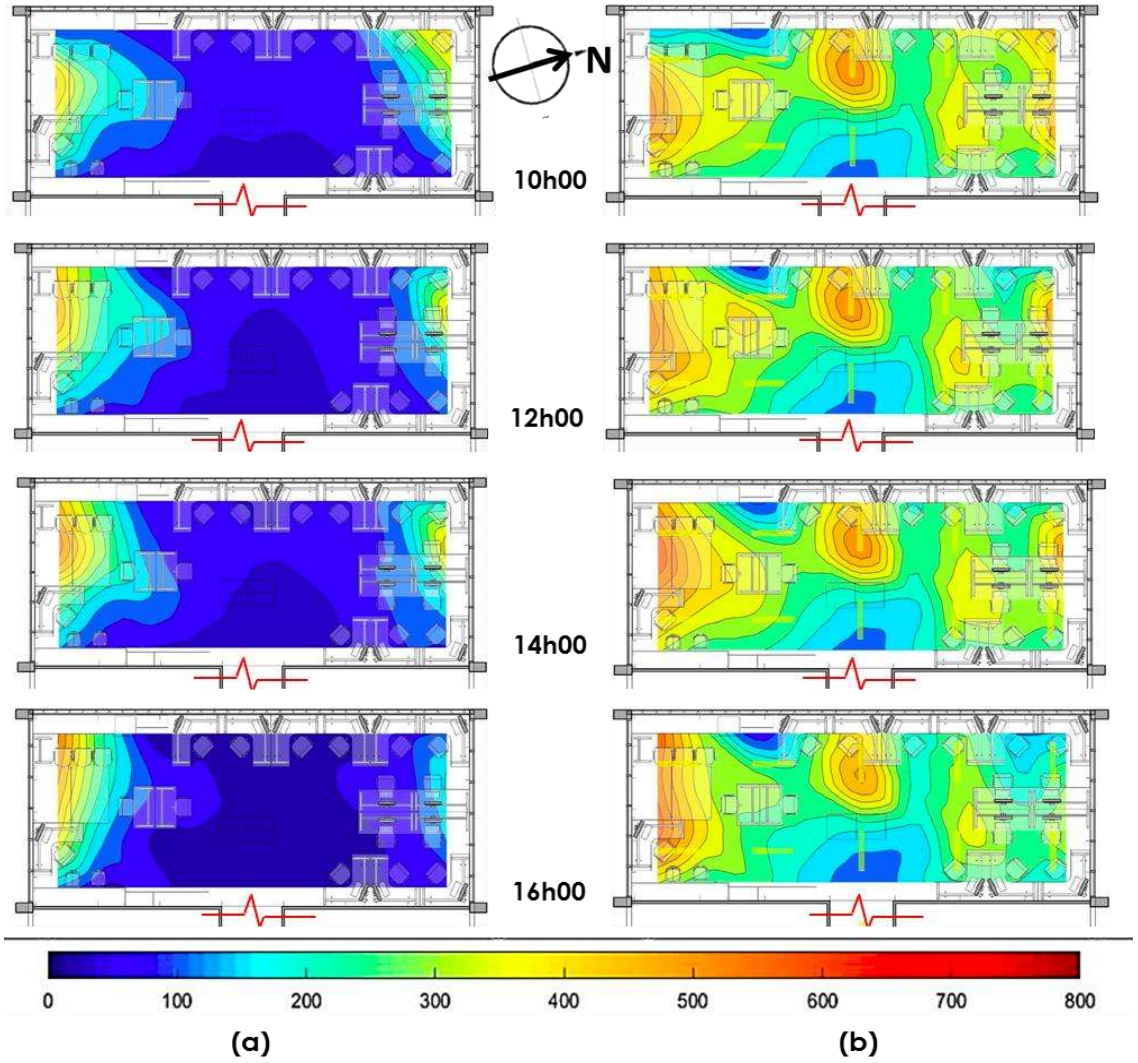
Cena	**Índice**				
	DGI	DGP	UGR	CGI	VCP
OBS1	7,94	0,13	9,81	12,59	83,97
OBS2	23,38	0,26	25,86	27,79	19,31

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A Figura 5 apresenta os mapas de iluminância para a condição de iluminação natural (Figura 5a) e iluminação natural e artificial combinadas (Figura 5b). Conforme apontado pelos ocupantes no questionário aplicado, a incidência da iluminação natural na sala não é suficiente para satisfazer as condições de conforto. Em nenhum momento do dia os níveis de iluminância atendem aos limites da norma de 500 lx nos planos de trabalho e 200 lx na circulação.

Nos planos de trabalho, considerando apenas a iluminação artificial, as iluminâncias médias foram de 156 lx, 151 lx, 153 lx e 127 lx para as 10h, 12h, 14h e 16h, respectivamente. Quando se considerou a iluminação natural e artificial juntas, as iluminâncias médias foram de 349 lx, 344 lx, 347 lx e 320 lx para as 10h, 12h, 14h e 16h, respectivamente. Com a iluminação natural e artificial, a iluminância média do laboratório foi de 317 lx, com pontos cuja iluminância era de 54 lx. Assim, pode-se verificar que não há uniformidade na distribuição de iluminâncias no laboratório, o que pode ser confirmado visualmente por meio dos mapas de iluminância da Figura 5. A NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013) ainda recomenda que a iluminação seja controlável em ambientes de leitura, o que não ocorre neste ambiente.

Figura 5 - Mapas de iluminâncias para a condição de iluminação natural (a) e iluminação natural e artificial combinadas (b).



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

4 CONCLUSÕES

A partir dos dados coletados, foi possível observar que a iluminação não se distribui de maneira uniforme ao longo da sala. Isto se deve, principalmente, às dimensões da sala, ao posicionamento das janelas e a existência de brises verticais nas mesmas. A sala apresenta ainda alguns pontos de ofuscamento que, somados aos níveis de iluminância relativamente baixos, interferem no conforto visual dos ocupantes, conforme os mesmos apontaram no questionário.

Apesar de possuir pontos com iluminâncias abaixo do recomendado, a maior parte dos ocupantes afirmou se sentir satisfeito com as condições de iluminação. Isto condiz com o que foi relatado por Boyce (1996). O autor afirma que não há definições exatas de valores de iluminâncias adequadas para as tarefas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-4 - Iluminação natural** - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR ISO/CIE 8995 - Iluminação de ambientes de trabalho**. Rio de Janeiro, 2013.

BAKMOHAMMADI, Parnian; NOORZAI, Esmatullah. Optimization of the design of the primary school classrooms in terms of energy and daylight performance considering occupants' thermal and visual comfort. **Energy Reports**, v. 6, p. 1590-1607, 2020.

BOYCE, P. Illuminance selection based on visual performance – and other fairy stories. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, v. 25 n.2, p. 562-577. 1996.

CARLUCCI, S.; CAUSONE, F.; DE ROSA, F. A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 1016–1033. 2015.

EUROPEAN STANDARDS. **EN 12665 – Light and lighting. Basic terms and criteria for specifying lighting requirements**. 2018.

FARIA, J. R. G. Análises de distribuição de luminâncias através de imagens HDR compostas por fotos de câmeras snapshot. In: ENCAC-ELACAC 2007 - IX Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e V Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Ouro Preto. 2007.

JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C.F. The Use of Glare Metrics in the Design of Daylit Spaces: Recommendations for Practice. Freiburg, **9th International Radiance Workshop**, 2010.

JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C.F. A concept for predicting occupants's long-term visual comfort within daylit spaces. **The Journal of the illuminating Engineering Society of North America**, v. 12, p. 1-18. 2015.

KONSTANTZOS, Iason et al. The effect of lighting environment on task performance in buildings–a review. **Energy and Buildings**, p. 110394, 2020.

MICHEL, Mariana Vallory; LARANJA, Andréa Coelho. Condições e tipos de céu para simulações de iluminação natural com céu estático. **Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 11, p. e020001, 2020.

MORENO, María Beatriz Piderit; LABARCA, Constanza Yañez. Methodology for assessing daylighting design strategies in classroom with a climate-based method. **Sustainability**, v. 7, n. 1, p. 880-897, 2015.

PIERSON, Clotilde; WIENOLD, Jan; BODART, Magali. Review of factors influencing discomfort glare perception from daylight. **Leukos**, v. 14, n. 3, p. 111-148, 2018.

RENNHACKKAMP, W. M. H. School Lighting: technical report by the National Building Research Institute on an aspect of school building research. Pretoria, **South African Council for Scientific and Industrial Research.** 1964.

SUK, J. Y.; SCHILER, M.; KENSEK, K. Discomfort glare metrics: Investigating their accuracy and consistency in daylight glare evaluation by using human subject study data. Los Angeles, **Facade Tectonics World Congress.** 2016.