

ASSOCIAÇÃO DE PREFERÊNCIAS VERSUS ILUMINAÇÃO AMBIENTAL POR MÚLTIPLA CORRESPONDÊNCIA¹

TAMURA, C. A., Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: cintiatamura@gmail.com; KRÜGER, E. L., Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: ekruger@utfpr.edu.br; GUIMARÃES, A. J. R., Universidade Federal do Paraná, e-mail: andrejose@ufpr.br

ABSTRACT

Variations in ambient lighting settings can impact various subjective aspects of humans. In this context, the work raised, described and sought statistical associations between objective variables of ambient lighting conditions with subjective variables related to the light perception of individuals in a climate chamber. The use of multiple correspondence analysis (MCA) allowed the identification of significant correspondences, within the adopted criteria, only for the type of lighting and preferences regarding the lighting conditions in the time frame evaluated. Significant associations between season and light preference were not identified. Natural lighting has been shown to be preferred by the individuals of the sample, to the detriment of electric lighting. These findings are aligned with the literature, corroborating the innate human preference for natural light.

Keywords: Light preferences. Indoor lighting. Daylight. Multiple correspondence analysis.

1 INTRODUÇÃO

Características intrínsecas da iluminação ambiental variam conforme sua natureza. Ambientes naturalmente iluminados beneficiam-se da exposição à luz com um espectro cromático dinâmico (HECHT, 2012). A exposição a esta variabilidade é essencial em processos de regularização de diversas funções orgânicas, como a sincronização circadiana² (BOUBEKRI, 2008).

A iluminação proporcionada por fontes elétricas, por sua vez, possui usualmente valores estáticos de intensidade e cor. Desta forma, quando indivíduos permanecem continuamente em ambientes artificialmente iluminados, podem apresentar alterações decorrentes da desregularização do ciclo circadiano, como distúrbios do sono (KUN; CAI HONG; SUBRAMANIAN, 2017), estresse e ansiedade (BOUBEKRI, 2008) e alterações no humor, (KARATSOREOS, 2012).

Contudo, embora se identifique exploração dos impactos da luz não relacionados à visão (WESTLAND; PAN; LEE, 2017), o que comumente prevalece são recomendações quanto à garantia do conforto visual. Este fato, por sua vez, vai de encontro à atual recomendação da CIE

¹ TAMURA, C. A.; KRÜGER, E. L.; GUIMARÃES, A. J. R. Associações entre características da luz, variações sazonais e preferências quanto à iluminação ambiental por múltipla correspondência. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Ancis...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

² Ritmos que compreendem aproximadamente 24 horas e descrevem as variações cíclicas de funções biológicas como a produção hormonal e a temperatura corporal (GERMAIN; KUPFER, 2008). Os ciclos circadianos baseiam-se na reação de um organismo frente a estímulos provenientes do meio (denominados *zeitgebers*), como a luz (FALCÓN; MCCLUNG, 2009).

(COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE, 2016), que desde 2016 incluiu aspectos da iluminação não relacionados à visão como o primeiro na lista de tópicos a serem urgentemente explorados no campo da iluminação ambiental (CIE, 2016).

Neste contexto, a pesquisa visa verificar a possibilidade de associações estatísticas entre estação do ano e natureza da fonte de iluminação em diferenciações na percepção da iluminação ambiental.

2 OBJETIVO

O trabalho visou levantar, descrever e associar estatisticamente variáveis objetivas de condições de iluminação ambiental diversas com variáveis subjetivas relacionadas à percepção lumínica de indivíduos ocupantes de uma câmara climática giratória.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa estruturou-se nas seguintes etapas: (1) caracterização dos ambientes-teste e configurações gerais; (2) descrição das variáveis monitoradas e instrumentos utilizados; (3) Protocolo de análise; (4) Resultados e (5) Conclusões.

3.1 Caracterização do ambiente teste e configurações gerais

O estudo ocorreu na câmara climática LOBSTER (SCHWEIKER et al., 2014), propriedade do *Karlsruher Institut für Technologie*, localizado em Karlsruhe, Alemanha (49°N, 8,5°E). LOBSTER possui dois ambientes contíguos configurados à maneira de escritórios com 24 m² cada. Variáveis ambientais como temperatura do ar, de superfície, velocidade do ar, umidade relativa, dentre outras, podem ser monitoradas e/ou controladas.

Coletaram-se dados durante o inverno, primavera e verão de 2015. Cada estação contou com 12 dias de testes, selecionados visando à maior proximidade possível com equinócios ou solstícios, totalizando 36 dias. Testaram-se sempre três configurações de iluminação: (1) orientação da fachada com janela a 200°/255° - orientação equatorial; (2) orientação de fachada envidraçada a 335° - orientação não equatorial e (3) persiana externa fechada e fonte de luz elétrica. Adicionalmente, registraram-se as condições climáticas diárias. As duas orientações de fachada, equatorial (Eq) e não equatorial (Neq) foram definidas após a realização de simulações computacionais de iluminação natural (TRENTO; TAMURA; KRÜGER, 2015), que identificaram as condições que apresentariam máxima diferenciação entre possibilidades de acesso à luz natural, porém sem ofuscamento direto no campo de trabalho.

Nos dias com iluminação exclusivamente elétrica (Elét), utilizaram-se quatro lâmpadas fluorescentes OSRAM L36W/840 (TCC=4000K e IRC>80) (OSRAM, 2018), com índices satisfatórios para atividades gerais de escritório (DIN 6169-

2, 1976-2002). Direcionaram-se as luminárias para o teto, resultando em luz difusa no plano de trabalho. O Quadro 1 apresenta as configurações adotadas para cada um dos 36 dias de testes, além da condição climática prevalente no dia.

Quadro 1 – Orientação da fachada envidraçada e condições climáticas em cada dia de experimento

Inverno												
Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Iluminação*	Eq	Elét	Neq	Elét	Neq	Eq	Eq	Neq	Elét	Neq	Eq	Elét
Condições de céu	A	N/A**	C	N/A**	C	C	A	C	N/A**	A	C	N/A**
Primavera												
Dia	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Iluminação*	Eq	Elét	Neq	Neq	Eq	Elét	Eq	Neq	Elét	Elét	Neq	Eq
Condições de céu	B	N/A**	A	A	A	N/A**	A	A	N/A**	N/A**	B	B
Verão												
Dia	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Iluminação*	Elét	Eq	Neq	Neq	Elét	Eq	Eq	Elét	Neq	Neq	Eq	Elét
Condições de céu	N/A**	B	A	A	N/A**	A	A	N/A**	C	C	A	N/A**

* Eq = iluminação equatorial; Neq = iluminação não equatorial; Elét = Iluminação elétrica.

** Nos dias em que se utilizou exclusivamente a iluminação elétrica, a condição climática torna-se uma informação não aplicável (N/A). A=Claro; B=Parcialmente encoberto; C=Totalmente encoberto.

Fonte: Os autores

Quanto às configurações ambientais adotadas, a Figura 1 ilustra os ambientes-teste juntamente com o posicionamento dos participantes junto aos postos de trabalho para (a) iluminação natural (Eq e Neq) e (b) situação com luz elétrica (Elét).

Figura 2 - Configurações ambientais: (a) Iluminação natural (Eq e Neq): vidros cerrados, sem uso de persiana externa; (b) Iluminação elétrica (Elét): vidros cerrados e persiana externa em uso



(a)



(b)

Fonte: Os autores

Os indivíduos permaneceram no ambiente entre 8h00 – 13h00, horário local, três dias a cada estação, totalizando nove dias de coleta de dados. Todos utilizaram vestimenta padrão. Adotaram-se protocolos para vestimenta padrão e para ingestão de alimentos, descritos por Tamura e Krüger (2017).

3.2 Variáveis monitoradas e instrumentos utilizados

Valores de iluminância, temperatura de cor e comprimento de onda dominante foram monitorados com dois espectrorradiômetros JETI modelo Specbos 1201, um em cada ambiente-teste. Os equipamentos foram posicionados nas mesas dos participantes, $h=0,75m$.

Quantificou-se a percepção do ambiente em função das condições de iluminação com o uso de questionário elaborado com base no EFI – Questionário para Avaliação de Situações de Luz (VANDAHL; MOOSMAN; FUNKE, 2016). Este foi aplicado três vezes por dia de teste: 08h50, 10h30 e 12h30. O questionário contém dez questões relacionadas à percepção do ambiente; a pontuação é dada em escala Likert. O questionário levanta o grau de satisfação relacionado a variáveis como claridade, distribuição da luz e ofuscamento. No artigo, apenas o quesito percepção lumínica do ambiente foi analisado por meio de nove questões e opções de resposta (Quadro 1).

Quadro 2 – Variáveis, categorias de análise e referencial teórico

Nº	Variável	Categorias	Suporte teórico
1	Estação do ano	Inverno / Primavera / Verão	HADLOW et al. (2014).
2	Tipo de iluminação	Equatorial (Eq), Não equatorial (Neq) e Elétrica (Elét)	WEBB. (2006).
3	Questões do instrumento de coleta de dados	Q1. Grau de bem estar do indivíduo	VANDAH; MOOSMANN; FUNKE. (2016).
4		Q2. Grau de satisfação com a iluminação	
5		Q3. Opinião sobre a vista da janela	
6		Q4. Opinião sobre a iluminação no plano de trabalho	
7		Q5. Preferência quanto à iluminação no plano de trabalho	
8		Q6. Opinião sobre a iluminação no ambiente	
9		Q7. Preferência quanto à iluminação no ambiente	
10		Q8. Opinião sobre a distribuição de luz no ambiente	
11		Q9. Preferência quanto à distribuição de luz no ambiente	

Fonte: Os autores

3.3 Protocolo de análise

O teste de Shapiro-Wilk revelou a não parametricidade dos dados. Este resultado, somado à natureza qualitativa das variáveis – que expressam a percepção de indivíduos frente a diferentes configurações de iluminação, estação do ano e horários – orientou a adoção da técnica de análise de correspondência múltipla (ACM) para a avaliação dos resultados, cujo Quadro 3 sintetiza a sequência.

Quadro 3 – Protocolo – Análise de Correspondência Múltipla – ACM

Etapa	Objetivo	Procedimentos Estatísticos	Suporte teórico	
1	Avaliar a confiabilidade interna do instrumento de coleta de dados.	Alfa de Cronbach	FIELD. (2009)	
2	Descrever a distribuição dos votos relacionados à percepção da luz conforme o tipo de iluminação e estação do ano.	Estatística descritiva: desvio padrão, frequências.		
3	Verificar a independência das variáveis.	Chi-quadrado (χ^2).		
4	Recategorizar os votos agrupados.	3, -2, -1 = percepção negativa (-); 0 = percepção neutra (0); 3, 2 e 1 = percepção positiva (+).	-	
5	Determinar número de dimensões a serem avaliadas	ACM	FÁVERO et al., (2009).	
6	Avaliar a variância explicada para as dimensões			Autovalores e inércia.
7	Determinar as coordenadas dos eixos.			Percentual da inércia de cada dimensão em relação ao total das inércias.
8	Visualizar a distribuição do conjunto de pontos das categorias.			Frequências, massas e autovalores das categorias; escores.
			Mapa perceptual com quantificação das categorias.	

Fonte: Os autores

A ACM é uma técnica multivariada desenvolvida para analisar relações não lineares e dados com respostas categóricas. Tem como objetivo agrupar variáveis altamente associadas, reduzindo o número de variáveis preditoras do modelo e viabilizando a representação visual das relações entre as categorias das variáveis (MINGOTI, 2005).

Consideraram-se em todos os testes resultados com um nível de significância de 0,05.

4 RESULTADOS

4.1 Resultados variáveis ambientais

Registraram-se maiores valores de Eméd para iluminação Eq do que Neq. Quanto à iluminação necessária para a execução de tarefas visuais, pode-se afirmar que os ambientes-teste mantiveram-se predominantemente na faixa de conforto (>500lux), à exceção de períodos ao longo dos dias de inverno, quando o alvorecer ocorria após o início dos testes (08h00). Para situação de iluminação Elét, o valor permaneceu estável na faixa de 1500 lux.

Quanto à TCC, os dias com iluminação Eq registraram valores na faixa de >6000K, correspondente à cor fria (azul). Nos dias de iluminação Elét registraram-se valores entre 5200K a 5800K, faixa da cor branca. Os valores

de DWI acompanham esta característica; testes com iluminação natural concentraram valores entre 498 nm (Eq) e 491 nm (Neq), correspondentes ao comprimento de onda eletromagnético azul, mais adequado à ativação de funções circadianas (THORNE et al., 2009). Para iluminação Elét, a faixa manteve-se em 577 nm (amarelo).

4.2 Resultados ACM

A confiabilidade interna do instrumento de apreensão da percepção de luz no ambiente resultou em $\alpha=0,6$, valor aceitável em se tratando de escalas psicológicas, caso do questionário utilizado (FIELD, 2009).

O chi-quadrado para relações entre tipo de iluminação, estação do ano e a avaliação de percepção da luz ambiental nos três períodos avaliados foi calculado. A seguir, selecionaram-se somente as que apresentaram $p<0,05$. Optou-se também pela exclusão da Q.9 (preferência quanto à distribuição de luz no ambiente), pois os resultados não apresentaram diferenciação entre si em nenhuma situação avaliada. Como o estudo teve por foco a avaliação da percepção relacionada à iluminação, optou-se também pela exclusão nesta fase das questões Q1 (grau de bem-estar do indivíduo) e Q3 (opinião sobre a vista da janela). As variáveis que apresentaram independência entre si, sendo as mais relevantes para o trabalho são demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Relações significativas selecionadas para a ACM

Cód.	Variável	Horário	p-valor	
			Estação	Tipo de Iluminação
Q2	Grau de satisfação com a iluminação	08h50	2,3E-06	1,1E-01
		10h30	1,1E-07	3,2E-01
		12h30	3,0E-01	2,7E-01
Q4	Opinião sobre a iluminação no plano de trabalho	08h50	1,2E-03	8,4E-02
		10h30	6,5E-01	3,6E-01
		12h30	6,3E-01	5,3E-01
Q5	Preferência quanto à iluminação no plano de trabalho	08h50	1,2E-04	2,9E-02
		10h30	5,9E-04	7,0E-01
		12h30	1,2E-03	7,1E-02
Q6	Opinião sobre a iluminação no ambiente	08h50	1,8E-03	5,1E-03
		10h30	3,0E-01	1,6E-01
		12h30	5,2E-01	2,3E-02
Q7	Preferência quanto à iluminação no ambiente	08h50	4,6E-03	1,0E-02
		10h30	6,8E-03	5,4E-01
		12h30	5,8E-03	8,7E-02
Q8	Opinião sobre a distribuição de luz no ambiente	08h50	3,6E-01	5,2E-01
		10h30	1,4E-01	4,3E-01
		12h30	5,1E-01	2,2E-04

Valores significativos de p-valor (<0,05)

Fonte: Os autores

Realizou-se a recategorização dos votos de forma a reduzir a quantidade de variáveis a serem consideradas na ACM de oito para quatro (votos -3, -2 e -1 = "percepção negativa"; 0 = "percepção neutra"; 1, 2 e 3 = "percepção positiva" e NSI="não soube informar").

Como o objetivo da ACM é promover a distribuição das variáveis em um espaço de n dimensões, procedeu-se inicialmente ao estabelecimento do número de dimensões (eixos) mais representativos. Este procedimento foi realizado por meio da avaliação dos autovalores e inércias (somatório do percentual de variância) para cada dimensão.

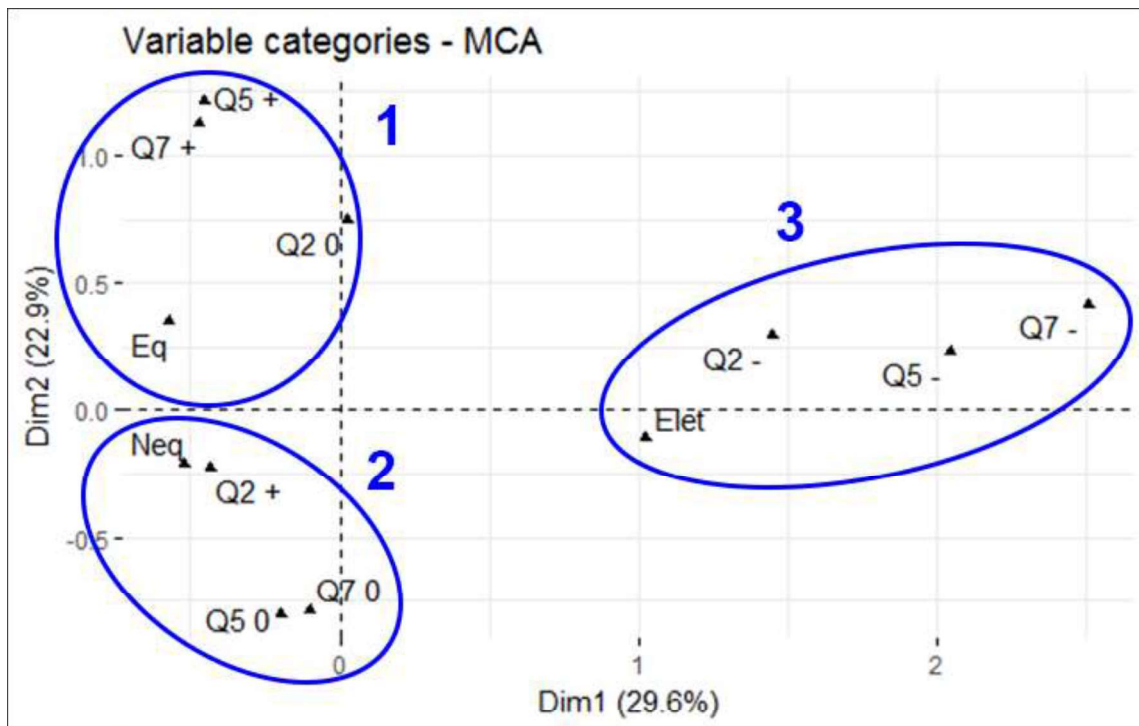
Verificou-se que somente uma das análises realizadas (percepção lumínica e tipo de iluminação às 10h30) apresentou resultados maiores que 50%, quando adotadas somente duas dimensões. Os resultados numéricos (Tabela 2) bem como a representação visual das relações entre as categorias das variáveis (Figura 3) são apresentados a seguir.

Tabela 2 – Autovalores, % variância e % de variância acumulada

Dimensões	Autovalores	% variância	% variância acumulada
Dim.1	0.59	29.6	29.6
Dim.2	0.46	22.9	52.5
Dim.3	0.25	12.5	65.1
Dim.4	0.25	12.3	77.4
Dim.5	0.22	11.0	88.4
Dim.6	0.10	5.2	93.6
Dim.7	0.07	3.4	97.0
Dim.8	0.06	3.0	100.0

Fonte: Os autores

Figura 3 - ACM: Categorias

**Legenda:**

Q2 - Grau de satisfação com a iluminação (insatisfeito / neutro / muito satisfeito)

Q5 - Preferência quanto à iluminação no plano de trabalho (Signif. + escuro/Neutro/Signif. + claro)

Q7 - Preferência quanto à iluminação no ambiente (Signif. + escuro/Neutro/Signif. + claro)

Sinal negativo (-): percepção negativa; Sinal positivo (+) percepção positiva;

0: percepção neutra; NSI: não soube responder

Fonte: Os autores

O mapa visual da ACM permitiu identificar três agrupamentos de categorias.

1: associação da luz natural Eq a um grau neutro de satisfação com a iluminação (Q2), e à preferência por valores significativamente maiores de iluminância do que o predominante, tanto no plano de trabalho (Q5) quanto no ambiente (Q7).

2: associação da luz natural Neq a um alto grau de satisfação com a iluminação em geral (Q2), e preferência à manutenção das condições de iluminação, tanto no plano de trabalho (Q5) quanto no ambiente (Q7).

3: associação da luz Elét a um alto grau de insatisfação com a iluminação ambiente (Q2), e à preferência por uma iluminação significativamente mais escura do que a presente.

5 CONCLUSÕES

A ACM identificou correspondências significativas, dentro dos critérios adotados, somente para tipo e preferências quanto à iluminação às 10h30. É possível que às 08h50 os indivíduos estivessem adaptando-se às condições de iluminação; e às 12h30, mais de quatro horas após o início do

experimento, as características da iluminação já tivessem sido assimiladas, resultando em menor impacto na percepção e preferências.

A iluminação natural Neq (TCC >6000K, azulada, favorável à regulação circadiana) gerou maior grau de satisfação com a iluminação ambiente, e atendeu mais à preferência dos indivíduos quanto à luz incidente no geral. A iluminação natural Eq (TCC >6000K), por sua vez, resultou em um grau de satisfação neutro com a luz; além disso, os indivíduos consideraram que a iluminação no geral poderia ser mais clara. Isto pode se dever ao fato de que em certas épocas avaliadas, como no inverno, o nascer do sol ocorria após o início do experimento, resultando em valores baixos de iluminância no período.

A iluminação Elét (TCC entre 3.880 K e 3.900 K, neutra, desfavorável ao ciclo circadiano no período da manhã), cujos valores de iluminância apresentaram-se, na média, até 300% maiores que os medidos em situação de luz natural, foi a que gerou o maior grau de insatisfação com a iluminação, e o desejo por valores de iluminância menores.

Desta forma, ainda que o conforto visual tenha sido garantido pela iluminação Elét, a preferência dos indivíduos permaneceu maior sob condições de iluminação natural. Isto indica a necessidade de maior exploração de projetos luminotécnicos mistos, de forma a atender a demandas visuais e não visuais de indivíduos em espaços construídos.

AGRADECIMENTOS

CAPES e CNPq.

REFERÊNCIAS

BOUBEKRI, M. **Daylighting, architecture and health**. Routledge, 2008.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE. **CIE Research Strategy**. Viena, Áustria, ago. 2016. Disponível em: <<http://www.cie.co.at/research-strategy>>. Acesso em: 23. fev. 2018.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 6169-2: Farbwiedergabe: Teil 2: Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen in der Beleuchtungstechnik. Berlin, 1976–2002.

FALCÓN, E.; MCCLUNG, C. A. A role for the circadian genes in drug addiction. **Neuropharmacology**, v. 56, p. 91-96, 2009.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F. L. da; CHAN B. L. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2009.

FIELD, A. **Descobrimo a estatística usando SPSS**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

HADLOW, N.C.; BROWN, S.; WARDROP, R.; HENLEY, D. The effects of season, daylight saving and time of sunrise on serum cortisol in a large population. **Chronobiology international**, v.31, n.2, p. 243-251, 2014.

HECHT, J. **Better than sunshine**: see life in an improvement light. *New Scientist*, 06 jul. 2012.

GERMAIN, A.; KUPFER, D. J. Circadian rhythm disturbances in depression. **Human Psychopharmacology: Clinical and Experimental**, v. 23, n. 7, p. 571-585, 2008.

KARATSOREOS, I. N. Effects of circadian disruption on mental and physical health. **Current neurology and neuroscience reports**, v.12, n.2, p.218-225, 2012.

KUN, Xu; CAI HONG, Hu; SUBRAMANIAN, Perumal. Melatonin and sleep. **Biological Rhythm Research**, p. 1-4, 2018.

MINGOTTI, S.A. **Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada: Uma Abordagem Aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

OSRAM. **Product family datasheet Lumilux T8**, 2018. Disponível em:< <https://www.osram-lamps.com/ecatalog/lamps/fluorescent-lamps/fluorescent-lamps-t8/lumilux-t8/index.jsp>>. Acesso em: 06 fev. 2018.

SCHWEIKER, M.; BRASCHE, S.; HAWIGHORST, M.; BISCHOF, W.; WAGNER, A. Presenting LOBSTER, an Innovative Climate Chamber, and the Analysis of the Effect of a Ceiling Fan on the Thermal Sensation and Performance Under Summer Conditions in an Office-Like Setting. In: WINDSOR CONFERENCE: COUNTING THE COST OF COMFORT IN A CHANGING WORLD, 8., Windsor, 2014. **Proceedings...** Windsor, 2014.

TAMURA, C. A.; KRÜGER, E. L. Testes com configurações de iluminação ambiental versus percepção subjetiva em câmara climática. In: XIV ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2017, Balneário Camboriú. **Anais do XIV ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - Habitat Humano: em busca de conforto ambiental, eficiência energética e sustentabilidade no século XXI**, 2017.

THORNE, H. C.; JONES, K. H.; PETERS, S. P.; ARCHER, S. N.; DIJK, D. J. Daily and seasonal variation in the spectral composition of light exposure in humans. **Chronobiology International**, v. 26, n. 5, p. 854-866, 2009.

TRENTO, T. P. W.; TAMURA, C. ; KRUGER, E. L. . USO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COMO SUPORTE A UM ESTUDO DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM CÂMARA CLIMÁTICA. In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2015, Campinas. **Anais...** Campinas, 2015.

VANDAHL, C.; MOOSMANN, C.; FUNKE, C. **Uniform assessment of lighting situations with the LiTG Question**.(5th. ed.). Boston: Allyn and Bacon, 2016.

WEBB, A.R. Considerations for lighting in the built environment: Non-visual effects of light. **Energy and Buildings**, v.38, n.7, p.721-727, 2006.

WESTLAND, S.; PAN, Q.; LEE, S. A review of the effects of colour and light on non-image function in humans. **Coloration Technology**, 2017.