



TESTES COM CONFIGURAÇÕES DE ILUMINAÇÃO AMBIENTAL VERSUS PERCEPÇÃO SUBJETIVA EM CÂMARA CLIMÁTICA

Cintia Akemi Tamura (1); Eduardo L. Krüger (2)

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, cintiatamura@gmail.com

(2) Doutor, Professor do Departamento de Construção Civil, ekruger@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças CEP 80230-901 - Curitiba - PR – Brasil Tel.: (41) 3279 4521

RESUMO

Interações ser humano/ambiente construído são mediadas por estímulos fisiológicos e psicológicos, que podem interferir na percepção de variáveis de conforto ambiental. A pesquisa, resultado parcial de tese de doutorado, objetivou explorar relações entre características de iluminação de ambientes construídos e possíveis impactos em seres humanos quanto à percepção de luz e de conforto térmico. Avaliou-se a influência de diferentes configurações de iluminação ambiente (fonte de luz, orientação cardeal, estação do ano), e qual o grau de correlação estatística entre suas características intrínsecas com variáveis subjetivas de percepção térmica e de iluminação em indivíduos, por meio da realização de testes em câmara climática giratória, com programação/monitoramento de variáveis ambientais, de propriedade do *Karlsruher Institut für Technologie* (KIT), localizada em Karlsruhe, Alemanha (49°N, 8,5°E). A amostra (n=16), remunerada, foi composta por estudantes alemães, homens. Sob temperatura controlada (PMV aprox. $\pm 0,5$), a amostra permaneceu em ambientes preparados à maneira de escritórios no interior da câmara ao longo de 5 horas (08h00 às 13h00 – horário local) durante três dias, por três estações do ano, totalizando nove dias de coleta de dados por participante. Variáveis objetivas foram levantadas por espectroradiômetros posicionados sobre o plano de trabalho (h=0,75m) e confortímetros. A percepção subjetiva das características de iluminação e de conforto térmico foram levantadas por questionários com alternativas em escala Likert (sete pontos), preenchidos às 12h30. Analisou-se estatisticamente (Spearman, r_s) os dados objetivos e subjetivos obtidos, a saber: iluminância (E - lux), temperatura de cor aparente (TCC - K), comprimento de onda dominante (DWI - nm) e a métrica circadiana a_{cv} (fator de ação circadiano), e o voto médio predito (PMV) para a amostra total, e para o grupo dos indivíduos com cronotipo normal.

Palavras-chave: iluminação natural, câmara climática, cronobiologia, percepção da luz, conforto térmico

ABSTRACT

Interactions between human beings and the built environment are mediated by physiological and psychological stimuli, which may interfere in the perception of indoor comfort variables. The study, with partial result of a doctoral thesis, aims to explore the relationship between lighting characteristics of built environments and possible impacts on humans as regards lighting perception and thermal comfort. The influence of different lighting configurations (light source, glazed façade orientation, season of the year), and statistical correlation between their intrinsic characteristics with subjective thermal and visual perception in individuals by means of tests in a climate chamber which sits on top of a rotating platform with monitoring of environmental variables, developed by the *Karlsruher Institut für Technologie* (KIT), located in Karlsruhe, Germany. The sample (n = 16) is composed of German male students. Under controlled thermal conditions (PMV approx. ± 0.5) participants remained in two office-like environments over five hours (08h00 to 13h00 - local time) three days in a row, for three seasons of the year, totaling nine days of data collection per participant. Objective variables were measured by spectradiometers positioned at desk height (h = 0.75m) and comfortmeters. Subjective perception of lighting characteristics and thermal comfort were assessed by questionnaires with Likert scale alternatives (seven points), administered online at 12h30. Objective and subjective data were analyzed statistically (Spearman, r_s), generating a preliminary model of correlations between light perception, thermal comfort and objective variables, including: illuminance (E - lux), color correlated temperature (TCC - K), dominant wavelength (DWI - nm), circadian metrics (a_{cv} – circadian action factor), and predicted mean vote PMV for the total sample, and for the group of subjects with normal chronotype.

Keywords: daylight, climate chamber, light perception, thermal comfort.

1. INTRODUÇÃO

A importância das condições de iluminação de um ambiente na obtenção de conforto visual durante a execução de tarefas como escrever, ler e trabalhar em computadores é reconhecida e amplamente registrada há algumas décadas (PHILLIPS, 2004; BOUBEKRI, 2008; SILVESTER; KONSTANTINOU, 2010). Entretanto, estudos recentes (KULVE et al., 2016) mostram a influência da luz também em respostas não-visuais, mediadas pelo principal órgão do sistema visual, os olhos. Dependendo da intensidade e da composição espectral da luz, esta pode ter impactos em aspectos como o ciclo sono-vigília (CAJOCHEN, 2007), estados de humor (HUBALEK; BRINK; SCHIERZ, 2010), saúde física e mental (GALASIU; VEITCH, 2006; EAGLES, 2009; KARATSOREOS, 2012), entre outros. Entretanto, o estudo foca nos impactos de diferentes configurações oriundas de fontes de luz diversas na percepção de luz e na sensação térmica de humanos.

Kulve et al. (2016) corroboram esta possibilidade; afirmam que a luz também é capaz de suscitar respostas fisiológicas não diretamente ligadas somente à percepção visual. Apresentam revisão bibliográfica com um limitado conjunto de pesquisas que relacionam a intensidade e a cor da luz com a termorregulação. Além disso, existe o efeito psicológico baseado na ligação entre a cor (tom) e a intensidade da luz e como estes aspectos podem estar associados à sensação de calor ou frio. Desta forma, as interações entre informação visual e termofisiológica ainda não são claramente compreendidas.

2. OBJETIVO

Neste contexto, objetivou-se levantar, descrever e correlacionar estatisticamente variáveis objetivas de diferentes condições de iluminação com variáveis subjetivas de percepção térmica e de iluminação de indivíduos em ambientes-teste de uma câmara climática giratória.

3. MÉTODO

As etapas de realização da pesquisa apoiaram-se nos seguintes procedimentos: (a) definição das configurações dos ambientes-teste e protocolos aplicados aos participantes; (b) definição das variáveis objetivas monitoradas e equipamentos utilizados; (c) caracterização da amostra, definição das variáveis subjetivas avaliadas e ferramentas de mensuração; (d) apresentação e discussão dos resultados.

3.1. Caracterização dos ambientes-teste e configurações gerais

3.1.1 Câmara Climática LOBSTER

Realizaram-se os testes no LOBSTER (*Laboratory for Occupant Behaviour, Satisfaction, Thermal Comfort and Environmental Research*), propriedade do *Karlsruher Institut für Technologie*, localizado em Karlsruhe, Alemanha (49°N, 8,5°L). Desenvolvido pelo *Fachgebiet Bauphysik & Technischer Ausbau* (fbta/KIT), LOBSTER é composto por dois ambientes de 24m² cada, configurados como escritórios. Nestes, variáveis ambientais podem ser monitoradas e/ou controladas. Além disso, variáveis climáticas são continuamente registradas por uma estação meteorológica localizada na cobertura da câmara. Cada ambiente-teste possui uma fachada envidraçada, com wwr=70%, as quais possuem painel triplo (*Visible Light Transmittance* – VLT) de VLT 70 nas janelas operáveis, e VLT 72 para as partes fixas. O conjunto pode ser orientado para diversas posições cardeais, graças ao sistema giratório onde a câmara se apoia, possibilitando giros de até 355°. Maiores detalhes em Schweiker et al. (2014). A Figura 1 (A) e (B) apresentam a planta humanizada e a vista geral da câmara com a fachada envidraçada.

3.1.2 Configurações adotadas para os ambientes-teste

Realizaram-se três sessões de testes (inverno, primavera e verão de 2015), de 12 dias cada, totalizando 36 dias. Diferentes configurações foram testadas: (1) orientação da fachada com janela para S/SO (200°/255° orientação equatorial¹) ou N/NO (335° - orientação não equatorial); (2) persiana externa (aberta ou fechada) e (3) fonte de luz (natural ou artificial indireta). Adicionalmente, registraram-se as condições climáticas diárias. As orientações de fachada foram definidas após realização de simulações computacionais de iluminação natural (WEISS; KRÜGER; TAMURA, 2015), as quais identificaram as orientações que apresentariam máxima

¹ Adota-se a referência da linha do equador para definir a fachada mais insolada. Desta forma, uma orientação equatorial no hemisfério norte seria tipicamente voltada para o sul, o inverso se aplicando ao hemisfério sul.

diferenciação entre possibilidades de acesso à luz natural, porém sem ofuscamento direto no campo de trabalho. A Tabela 1 apresenta as configurações adotadas para os dias com iluminação natural.

Tabela 1 – Orientação da fachada envidraçada e condições climáticas observadas nos dias de teste com iluminação natural, para inverno, primavera e verão

Inverno								
Dia	01	03	05	06	07	08	10	11
Orientação	Equatorial	Não equat.	Não equat.	Equatorial	Equatorial	Não equat.	Não equat.	Não equat.
Condições Climáticas	Ensolarado	Nublado	Nublado	Nublado	Ensolarado	Nublado	Ensolarado	Nublado
Primavera								
Dia	13	15	16	17	19	20	23	24
Orientação	Equatorial	Não equat.	Não equat.	Equatorial	Equatorial	Não equat.	Não equat.	Equatorial
Condições Climáticas	Predom. Ensolarado	Ensolarado	Ensolarado	Ensolarado	Ensolarado	Ensolarado	Parcialmente ensolarado	Parcialmente ensolarado
Verão								
Dia	26	27	28	30	31	33	34	35
Orientação	Equatorial	Não equat.	Não equat.	Equatorial	Equatorial	Não equat.	Não equat.	Equatorial
Condições Climáticas	Parcialmente ensolarado	Ensolarado	Ensolarado	Ensolarado	Ensolarado	Nublado	Nublado	Ensolarado

Já a iluminação para os dias de testes com fonte de luz artificial foi obtida com o uso de quatro lâmpadas fluorescentes OSRAM L40 W 765 (TCC=6500K e IRC= ≥ 70), índices classificados como satisfatórios para atividades gerais de escritório, conforme norma DIN 6169-2 (1976-2002). As luminárias foram direcionadas para o teto, resultando em luz difusa no plano de trabalho. A Figura 2 ilustra a configuração do ambiente-teste juntamente com o posicionamento dos participantes junto aos postos de trabalho para (A) configuração para a condição de iluminação natural e (B) situação com luz artificial.

3.1.3 Configurações adotadas para a amostra

Cada ambiente-teste recebeu simultaneamente dois indivíduos, que permaneceram em seu interior por cinco horas (8h00 – 13h00, horário local), três dias a cada estação. Todos utilizaram vestimenta padrão, (jeans, camiseta manga curta e tênis), minimizando possíveis variações térmicas. Durante o período de experimento, controlou-se a ingestão de alimentos; substâncias com potencial influência no bem estar (como cafeína ou glicose) foram significativamente reduzidas. Disponibilizaram-se alimentos neutros (água desgaseificada, torradas, bolachas de maisena e frutas como pera e maçã). Vetaram-se alterações nas configurações pré-definidas no ambiente, como abertura de janelas, acionamento de ventiladores, ou movimentação das persianas externas. Além disso, orientou-se os participantes a não utilizar notebooks, smartphones ou quaisquer equipamentos que emitissem luz, e pudessem alterar as configurações de iluminação pré-estabelecidas. Pelo mesmo motivo, uniformizaram-se as configurações de brilho dos monitores. Na necessidade de ausentar-se dos ambientes-teste, (utilização do toailete fora da câmara), era solicitada a utilização de óculos escuros com proteção UV (fornecido), para minimizar variações de intensidade e fonte luminosa.

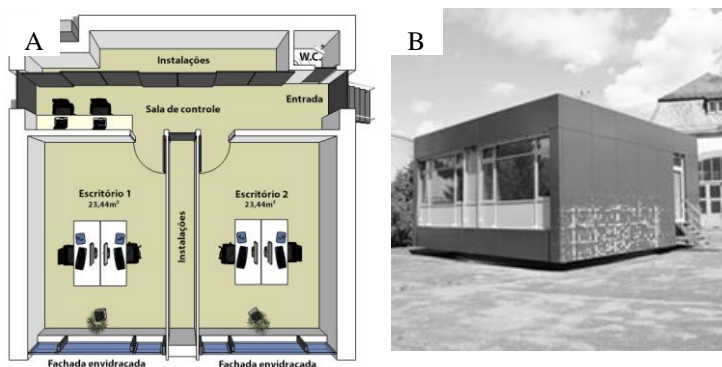


Figura 1 – (A) planta LOBSTER; (B) vista geral com fachada envidraçada

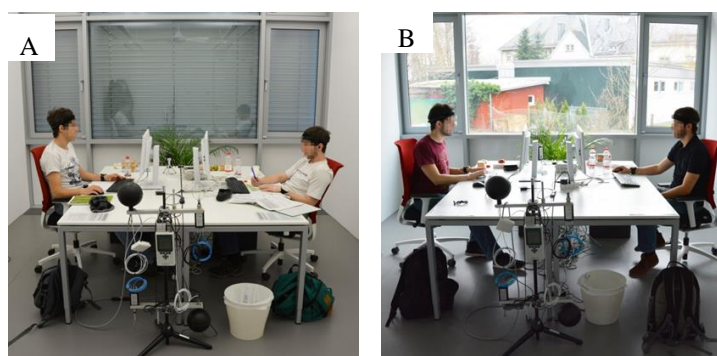


Figura 2 – (A) Janelas fechadas, iluminação artificial e persiana externa abaixada; (B) Janelas fechadas, iluminação natural e persiana externa recolhida

3.2. Descrição das variáveis ambientais monitoradas e equipamentos utilizados

3.2.1 Variáveis de iluminação e temperatura: iluminância, temperatura de cor, comprimento de onda dominante, fator de ação circadiano e PMV

Iluminância (E): dado em lux, é o fluxo luminoso (ϕ) incidente numa superfície por unidade de área (m^2). Como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, E não será a mesma em todos os pontos de um ambiente, assim utiliza-se frequentemente a $E_{méd}$ (ELETROBRÁS/PROCEL, 2011). Adotou-se o valor mínimo de 500 lux como referência, conforme indicado para escritórios pela norma alemã DIN 5034 (1997).

Temperatura correlata de cor (TCC): expressa em Kelvin (K). Indica a aparência de cor da luz emitida por uma fonte luminosa. Quanto mais alta a temperatura de cor, mais clara é a tonalidade de cor da luz (ELETROBRÁS/PROCEL, 2011).

Comprimento de onda dominante (DWI): dado em nanômetros (nm), informa qual o espectro eletromagnético predominante da luz, e portanto qual sua cor. A luz visível abrange a região entre 380 nm (violeta) até 770 nm (vermelho). (ELETROBRÁS/PROCEL, 2011).

Fator de ação circadiano (a_{cv}): proposto pela DIN (DIN V5031-5100, 2009), possibilita a determinação do efeito circadiano de diferentes fontes de luz em humanos (DIETRICH; BIESKE, 2004), ou qual a capacidade de uma fonte de luz em influenciar a regulação de funções circadianas como ciclos sono-vigília, produção hormonal, temperatura corporal, entre outros (HRASKA, 2015). Valores maiores indicam maior efetividade, juntamente com fatores como (a) intensidade da iluminância que incide diretamente nos olhos; (b) espectro de cor da luz; (c) direção da luz e (d) dinamismo desta (HRASKA, 2015). O valor de a_{cv} é dado pela equação 1.

$$a_{cv} = \frac{\int_{380}^{580} X_{\lambda}(\lambda) \cdot C(\lambda) \cdot d(\lambda)}{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} X_{v\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d(\lambda)}$$

Equação [1]

Onde:

$X_{\lambda}(\lambda)$ = distribuição espectral da radiação;

$C(\lambda)$ = espectro de ação para a regulação da melatonina

λ_1, λ_2 = comprimento de onda limite para ação do espectro;

$X_{\lambda}(\lambda)$ = distribuição espectral da radiação;

$X_{\lambda}(\lambda)$ = distribuição espectral da luz;

$V(\lambda)$ = eficiência luminosa espectral para a visão fotópica.

Gall et al. (2004) demonstram que o a_{cv} possui correlação direta com o CCT, sendo que o R^2 para as duas variáveis é da ordem de 0,9744. Isto equivale a afirmar que, quanto mais “fria” a temperatura aparente da luz, maior sua efetividade circadiana.

PMV (Voto médio predito): proposto por Fanger (1973), prediz a média das avaliações subjetivas quanto ao conforto térmico de pessoas em um ambiente. Estrutura-se em uma escala de sensação térmica de sete pontos que varia de -3 (frio) a +3 (quente) sendo 0 a sensação de termicamente neutro.

3.2.2 Condições de iluminação na superfície de trabalho

No monitoramento das variáveis objetivas de iluminação, (iluminância (E - lux), temp. de cor (TCC - K), comp. de onda dominante (DWI - nm) e o fator de ação circadiano (a_{cv})), utilizaram-se dois espectroradiômetros JETI modelo Specbos 1201 (Figura 3A), um em cada ambiente-teste. Os equipamentos foram posicionados na superfície de trabalho (mesas dos participantes, $h=0,75m$). A frequência de coleta de dados foi configurada para cinco minutos. Entretanto, dado o processo de integração realizado pelo equipamento, este intervalo de tempo mostrou-se variável, oscilando entre cinco a sete min. Por esta inconstância de registro, posteriormente realizou-se uma interpolação, de forma a obter valores com a frequência de 1/60seg, que foram utilizados nesta pesquisa. As Figuras 4, 5, 6 e 7 apresentam a média dos resultados das variáveis objetivas relacionadas à iluminação registradas pelo espectroradiômetro para os dois ambientes-teste, para as três condições de iluminação avaliadas: luz natural para fachada equatorial, não equatorial e luz artificial.

São também indicados os valores destas variáveis para o horário das 12h30, horário de preenchimento dos questionários de percepção da iluminação no ambiente.

Os resultados das variáveis objetivas de iluminação registradas para as três configurações adotadas mostraram alinhamento à literatura correlata. Valores maiores de $E_{méd.}$ foram registrados para a fachada equatorial. 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 artificial, o valor permaneceu estável na faixa de 1500 lux.

Quanto à TCC, os dias com iluminação natural sempre registraram valores na faixa de $>6000K$, correspondente à cor fria (azul). Já os dias de iluminação artificial registraram valores na faixa 5200-5800K, correspondente à cor branca. Os valores de DWI acompanham esta característica; testes com iluminação natural concentraram valores entre 498 nm (fachada equatorial) e 491 nm (não equatorial), correspondentes ao comprimento de onda eletromagnético azul, mais adequado à ativação de funções circadianas (THORNE et al., 2009). Para iluminação artificial, a faixa manteve-se em 577 nm (amarelo).

O a_{cv} manteve-se maior em dias de iluminação natural, e menor em dias de iluminação artificial. Verificou-se discreto aumento do fator para a fachada não equatorial; este fato deveu-se à presença de maior provisão de céu desobstruído, posteriormente identificado para esta orientação cardeal.

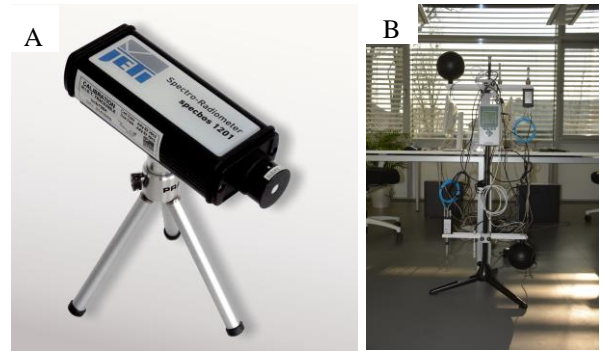


Figura 3 – (A) Espectroradiômetro JETI modelo specbos; (B) 1201Confortímetro AHLBORN modelo ALMEMO 2690

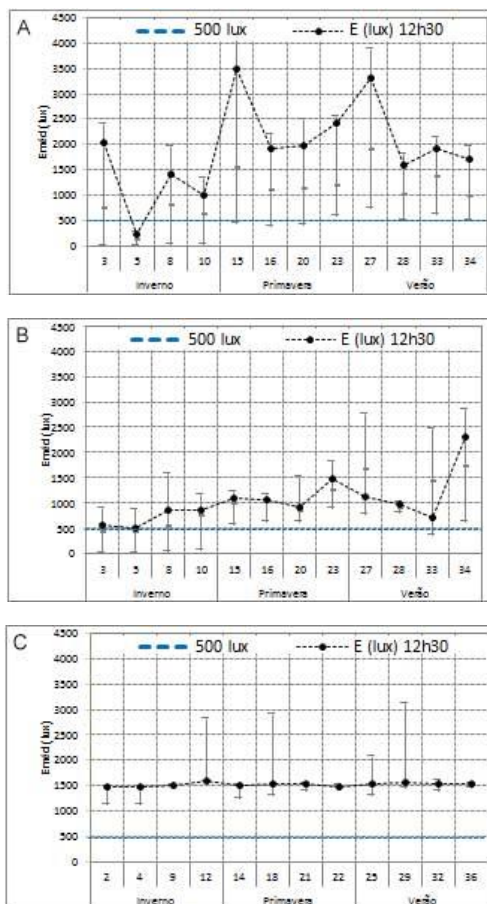


Figura 4 – Iluminância média ($E_{méd.}$ - lux) dos dois escritórios teste registrados ao longo dos dias de teste, para as três estações, para dias com: (A) ilum. natural, orientação equatorial; (B) ilum. natural, orientação não equatorial e (C) ilum. artificial, e

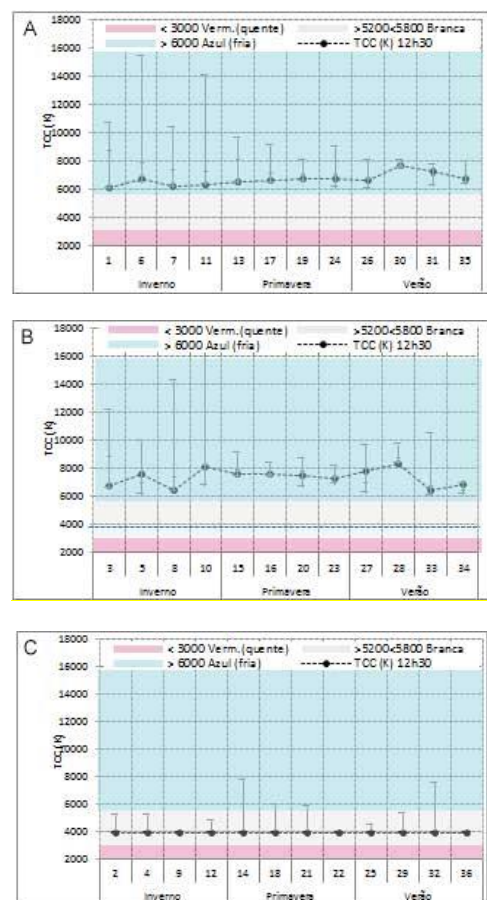


Figura 5 – Temp. de cor média (TCC méd. - K) dos dois escritórios teste registrados ao longo dos dias de teste, para as três estações, para dias com: (A) ilum. natural, orientação equatorial; (B) ilum. natural, orientação não equatorial e (C)

indicação do valor de Eméd. às 12h30.

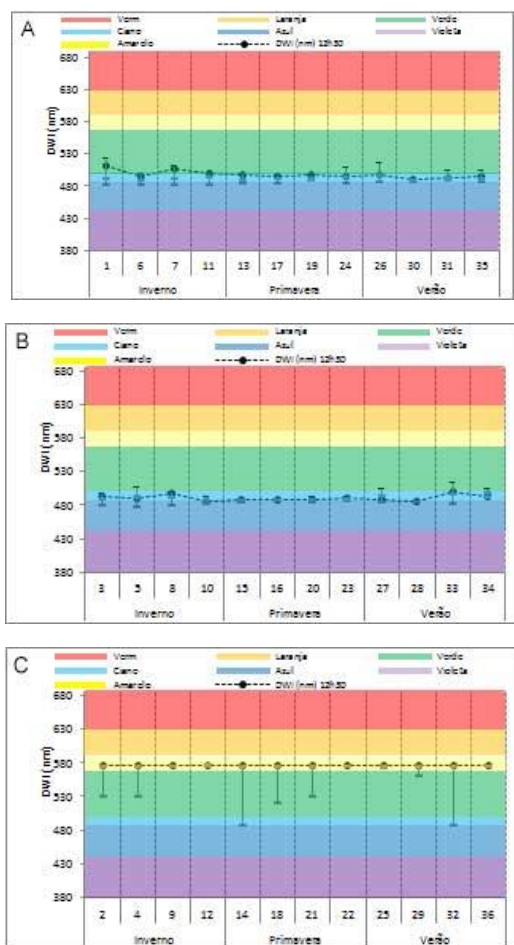


Figura 6 – Comp. de onda média (DWI méd. - lux) dos dois escritórios teste registrados ao longo dos dias de teste, para as três estações, para dias com: (A) ilum. natural, orientação equatorial; (B) ilum. natural, orientação não equatorial e (C) ilum. artificial, e indicação do valor de DWI méd. às 12h30.

ilum. artificial, e indicação do valor de TCC méd. às 12h30.

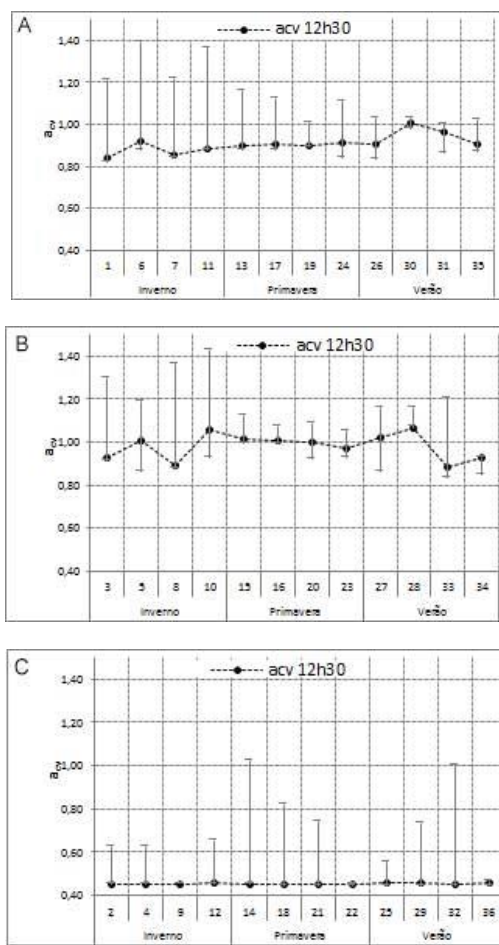


Figura 7 – Fator de ação circadiano (acv méd.) dos dois escritórios teste registrados ao longo dos dias de teste, para as três estações, para dias com: (A) ilum. natural, orientação equatorial; (B) ilum. natural, orientação não equatorial e (C) ilum. artificial, e indicação do valor de acv méd. às 12h30.

3.2.3 Condições de temperatura no interior dos ambientes-teste

Para se excluir o efeito de variações térmicas, as condições ambientais dos ambientes-teste foram programadas e continuamente monitoradas. Para isso, utilizou-se um confortímetro ALMEMO 2690 (Figura 3B), que registrou a intervalos de 10 segundos dados dos ambientes-teste como temperatura do ar (T_a - °C), temperatura do globo (T_g - °C), umidade relativa (RH - %) e velocidade do ar (v_{ar} - m/s).

A análise destes dados possibilitou a verificação de que os indivíduos foram expostos a condições térmicas estáveis no interior da câmara ao longo das cinco horas de duração de cada sessão de testes, com uma fase de discreto aquecimento na primeira hora, porém sem alterações significativas no voto médio predito (PMV) ao longo das quatro horas restantes. A Figura 8 apresenta os valores máximos, médios e mínimos, o desvio padrão bem como a média do PMV para os dois ambientes-teste registrados ao longo dos dias de testes. Em destaque, também é indicado o valor médio do PMV às 12h30, horário de preenchimento dos questionários subjetivos de percepção de iluminação e conforto térmico. Nesse horário, o valor médio de PMV sempre esteve próximo à condição térmica de neutralidade (PMV=0), entre aproximadamente -0,2 a +0,3.

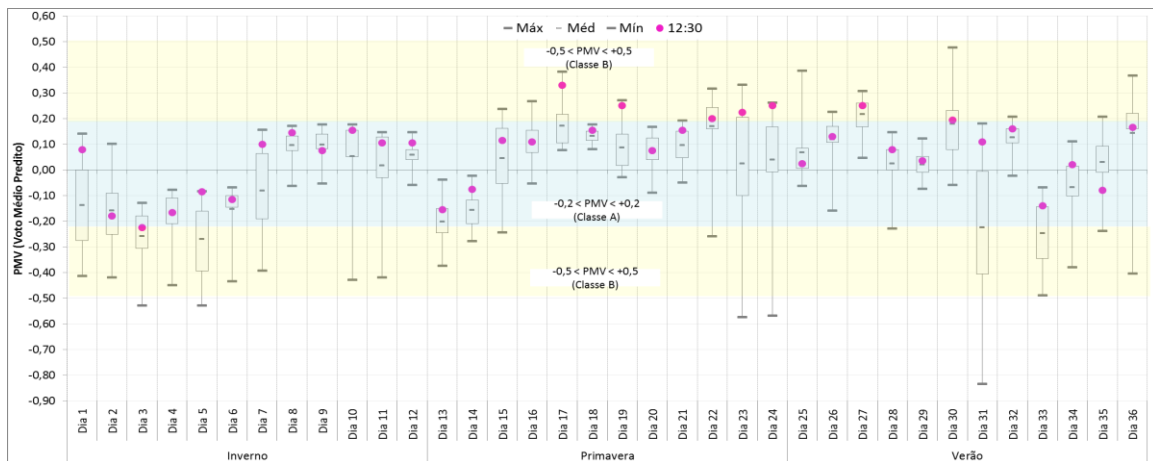


Figura 8 - Valores médios de PMV registrados nos dois ambientes-testes ao longo de cada dia, e às 12h30, horário de preenchimento dos questionários de avaliação subjetiva

Observa-se que a maioria dos valores às 12h30 (80% das situações) permaneceu entre $-0,2 < PMV < +0,2$, sendo o ambiente térmico categorizado segundo a norma EN ISO 7730 (2005) como “Classe A”. Nas demais situações, os participantes mantiveram-se na faixa de $-0,5 < PMV < +0,5$, classificada pela mesma norma como “Classe B”, ambas categorias de conforto térmico consideradas satisfatórias.

3.3 Caracterização da amostra, variáveis subjetivas monitoradas e instrumentos de coleta

A amostra foi composta por 16 indivíduos, estudantes alemães, homens, selecionados arbitrariamente. Codificados de 1 a 16, possuem: altura 1,80m ($\sigma=0,06$); massa corpórea 80 kg ($\sigma=8,9$) e idade 24,9 anos ($\sigma=3,6$). Todos assinaram um termo de livre consentimento antes do início dos testes, e foram informados sobre todos os procedimentos adotados, sobre o direito de interromperem a participação a qualquer momento e sobre a garantia de confidencialidade dos dados coletados. A pesquisa foi devidamente aprovada pelo Comitê de Ética do KIT.

Para a caracterização geral dos indivíduos, aplicaram-se anteriormente ao início dos testes e durante o primeiro dia de experimento uma série de questionários. Os critérios para a seleção dos questionários de avaliação foram: (1) serem traduzidos e validados para o alemão; (2) serem autoaplicáveis; (3) produzirem escores de classificação, dispensando acompanhamento direto de psicólogo na aplicação e avaliação dos resultados. As variáveis subjetivas avaliadas relacionam-se às condições de sono (cronotipo, sonolência diurna e qualidade do sono), bem-estar (ansiedade, estresse), suscetibilidade a desordens afetivas sazonais e avaliação do ambiente. O preenchimento dos questionários foi online, em plataforma web desenvolvida para este fim. Dado o escopo do trabalho, são aqui discutidas somente as avaliações do Cronotipo (realizada anteriormente ao início dos testes), a Avaliação da Situação de Luz e a de Desempenho e Percepção Térmica, ambas realizadas todos os dias, às 12h30, horário em que os indivíduos já estavam aclimatados às condições ambientais pré-configuradas para o dia.

Para a realização do teste, os dados foram agrupados em três grandes categorias quanto ao tipo de iluminação (natural, fachada equatorial; natural, fachada não equatorial, e artificial). Dentro de cada categoria, testaram-se os dados isolados por estações (inverno, primavera e verão) e todas estas agrupadas. Estes testes foram realizados duas vezes: para a amostra total ($n=16$) e somente para os indivíduos classificados com o cronotipo indiferente ($n=11$).

3.3.1 Cronotipo

Ritmos de atividade-descanso variam entre indivíduos. Alguns preferem atividades matutinas, tendo facilidade em madrugar; outros são mais ativos à tarde e à noite (LEHNKERING; SIEGMUND, 2007). À característica do indivíduo de apresentar períodos de maior e menor atividade em horários específicos dá-se o nome de cronotipo. Horne e Östberg (1975) desenvolveram o Questionário de Identificação de Matutinos e Vespertinos (MEQ) (ou *Morningness-eveningness questionnaire*), questionário aceito como o método mais fácil de determinar as preferências individuais relacionadas aos períodos de sono e vigília (LEHNKERING; SIEGMUND, 2007). O instrumento classifica indivíduos em três cronotipos: vespertino, matutino (extremo e moderado) e indiferente. Quanto à avaliação do cronotipo da amostra, cinco foram classificados como

moderadamente vespertinos e os demais como indiferentes. Para a análise correlacional, a amostra foi separada em dois grupos: indiferentes (n=11) e moderadamente vespertinos (n=5), visto que esta diferenciação pode influenciar na fisiologia térmica de indivíduos, e consequentemente na percepção térmica (KULVE et al., 2016).

3.3.2 Percepção da iluminação do ambiente

A percepção do ambiente em função das condições de iluminação foi quantificada com o uso de questionário elaborado com base no EFI – Questionário para Avaliação de Situações de Luz (*Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V., Expertenforum Innenbeleuchtung EFI*). Este contém nove questões relativas à percepção do ambiente; a pontuação é atribuída pelo indivíduo conforme escala Likert numérica de sete pontos, cujos valores semânticos variam conforme a pergunta. O questionário levanta o grau de satisfação com variáveis como claridade, distribuição da luz e ofuscamento. No artigo, apenas o quesito percepção da iluminação ambiente foi analisado, conforme as duas questões e opções de resposta apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Questões para avaliação da percepção da iluminação do ambiente e alternativas da escala Likert de sete pontos

Questão 4: Como você percebe a iluminação neste momento em seu local de trabalho?

Questão 6: Como você percebe a iluminação neste momento na sala como um todo?

-3	-2	-1	0	1	2	3	Nula
Muito escuro	Escuro	Pouco escuro	Nem escuro, nem claro	Pouco claro	Claro	Muito claro	Não sei dizer

3.3.3 Percepção Térmica

A percepção térmica dos indivíduos foi registrada por meio da aplicação do questionário de Percepção e preferência térmica, baseado na Norma ISO 10551 (1995). Composto por oito questões, também contém sete opções de resposta organizadas em uma escala do tipo Likert. Para o trabalho, somente o quesito percepção da temperatura ambiente foi avaliado, utilizando-se as duas questões e opções de resposta apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Questões para avaliação da percepção térmica e alternativas da escala Likert de sete pontos

Questão 1: Como você se sente no momento em relação à temperatura no seu local de trabalho?

Questão 2: Como você se sente no momento em relação à temperatura da sala?

-3	-2	-1	0	1	2	3	Nula
Muito frio	Frio	Um pouco frio	Neutro	Um pouco quente	Quente	Muito quente	Não sei dizer

4. RESULTADOS

Dada a natureza predominantemente não paramétrica dos dados avaliados, verificada preliminarmente com a aplicação do teste de Shapiro-Wilk (LEOTTI; BIRCK; RIBOLDI, 2005), optou-se pela realização do cruzamento de dados objetivos (dados de iluminação) e subjetivos (percepção da iluminação e térmica) por meio da aplicação do teste de correlação de Spearman (r_s), no software SPSS Statistics® 22 da IBM. As correlações significativas entre variáveis objetivas e subjetivas no nível 0,01(**) e 0,05(*) encontradas para os dois grupos foram posteriormente tabuladas e são apresentadas respectivamente nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Correlações Spearman (r_s) entre variáveis objetivas e subjetivas identificadas para a amostra total (n=16)

AMOSTRA TOTAL - TODOS CRONOTIPOS (n=16)				
COND. ILUM.	ESTAÇÃO	VAR. OBJETIVA	VARIÁVEL SUBJETIVA	Spearman (r_s)
Artificial	Primavera	a_{cv}	Q1: Percepção temp. local trabalho	-,498(*)
Não equatorial	Todas	TCC (K)	Q1: Percepção temp. local trabalho	-,376(**)
		DWI (nm)	Q1: Percepção temp. local trabalho	,357(*)
		a_{cv}	Q1: Percepção temp. local trabalho	-,381(**)

** A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades). * A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

Na amostra total, que contemplou dados de todos os tipos de cronotipo (n=16), observou-se a inexistência de correlações significativas tanto para a fachada equatorial, quanto para o período de verão, ambas situações mais propícias para a obtenção de maior insolação. Somente dois grupos de tipo de iluminação apresentaram resultados de interesse, iluminação artificial e de fachada não equatorial. Para o primeiro grupo, com relação aos aspectos analisados, observou-se a correlação -,498(*) entre percepção da temperatura no local de trabalho e o a_{cv} . Deve-se, porém, ressaltar que as condições físicas de iluminação artificial pouco se alteraram durante o período de

exposição, o que possivelmente gerou menos discrepâncias nas respostas e, portanto, correlações potencialmente mais fortes.

Correlações relativamente mais fracas foram obtidas para iluminação com fachada não equatorial. Somente o grupo com todas as estações apresentou correlações, ainda assim pouco significativas (<.5). Todas elas relacionam a percepção da temperatura no local de trabalho com variáveis objetivas da iluminação: TCC (K) (-,376(**)); DWI (nm) (.357(*)) e a_{cv} (-,381(**)).

Quanto à amostra com o cronotipo normal (n=11), também se observou a inexistência de correlações significativas para a fachada equatorial (Tabela 6), no período de inverno. Para este caso, a variável subjetiva “percepção da temperatura no local de trabalho” correlacionou-se sucessivamente com TCC, DWI e a_{cv} , tendo para todas as situações o valor de 0,686(*). O segundo grupo de correlações para esta condição de iluminação ocorreu para a somatória de todas as estações. Nesse caso, a mesma variável subjetiva percepção da temperatura no local de trabalho correlacionou-se com TCC (-,465(**)), DWI (.452(**)) e a_{cv} (-,472(**)).

Tabela 6 – Correlações Spearman (r_s) entre variáveis objetivas e subjetivas identificadas para a amostra cronotipo normal (n=11)

CRNOTIPO NORMAL (INDIFERENTE (n=11))				
COND. ILUM.	ESTAÇÃO	VAR. OBJETIVA	VAR. SUBJETIVA	Spearman (r_s)
Artificial	Primavera	a_{cv}	Q1: Percepção temp. local trabalho	-,498(*)
Não equatorial	Todas	TCC (K)	Q1: Percepção temp. local trabalho	-,465(**)
		DWI (nm)	Q1: Percepção temp. local trabalho	,452(*)
		a_{cv}	Q1: Percepção temp. local trabalho	-,472(**)
	Inverno	TCC (K)	Q1: Percepção temp. local trabalho	-,686(*)
		DWI (nm)	Q1: Percepção temp. local trabalho	,686(*)
		a_{cv}	Q1: Percepção temp. local trabalho	-,686(*)

** A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades). * A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

Quanto às correlações para a condição de iluminação artificial, a métrica a_{cv} continua sendo relevante, porém, para o grupo de 11 participantes apenas para a primavera, com correlação inversa (-,498*) entre o valor de a_{cv} e a percepção da temperatura no local de trabalho.

5. CONCLUSÕES

Destaca-se preliminarmente a inexistência de correlações entre variáveis objetivas e subjetivas para a condição de iluminação de fachada equatorial, bem como para o período de verão. O fato parece conduzir para a hipótese de que a disponibilidade de luz pode influenciar no grau de sensibilidade de indivíduos em relação à mesma. Assim, em situações ou períodos com alta disponibilidade de iluminação (para ilustrar, o nascer e o pôr do sol no primeiro dia de teste de verão (23/junho) ocorreram às 5h22 e 21h34, respectivamente), a percepção dos indivíduos quanto a pequenas variações das condições de iluminação e temperatura pode ser sensivelmente reduzida.

Dada a latitude onde se localiza a câmara climática, o início dos testes (8h00) durante o período de inverno ocorria antes do amanhecer. Nesta situação, no primeiro dia de testes durante o inverno (13/janeiro), o nascer e o pôr do sol ocorreram respectivamente às 08h16 e 16h53. Assim, os indivíduos da amostra permaneceram sob condições de menor disponibilidade de luz, o que aparentemente poderia os tornar mais suscetíveis a pequenas variações da mesma, fazendo com que qualquer alteração fosse mais rapidamente e facilmente apreendida. No estudo em questão, esta maior sensibilidade se fez notar exclusivamente na percepção da temperatura, tanto do posto de trabalho, quanto do ambiente como um todo, para os dois grupos (cronotipo normal e alterado).

Para situações com iluminação não equatorial, as variáveis subjetivas de percepção térmica correlacionaram-se diretamente com os valores de DWI, e inversamente com os valores de TCC e a_{cv} . A saber, quanto maior o valor de DWI, mais “quente” o comprimento de onda dominante; quanto maior o valor de TCC, mais “fria” temperatura de cor aparente, e conseqüentemente, menor o valor de a_{cv} , resultados todos compatíveis com a bibliografia consultada (DIETRICH; BIESKE, 2004). Pontua-se, ainda, que embora esta tendência tenha sido mantida para os dois grupos avaliados, os valores de correlação para a amostra total (n=16) mantiveram-se <0,5, enquanto que para a amostra composta por sujeitos com o cronotipo normal, estes valores mantiveram-se >0,5.

Frente aos resultados obtidos, e a leitura da bibliografia consultada, frisa-se que o campo de estudo que relaciona os efeitos da luz na sensação térmica e no conforto de indivíduos permanece em construção, não sendo ainda possível inferir com alto grau de confiabilidade qualquer conclusão. A pesquisa, que apresenta como principais limitações a amostra reduzida e sua seleção não probabilística, que impede a generalização dos

resultados, e o corte transversal do teste realizado, busca apenas colaborar timidamente com a expansão deste campo de conhecimento, apontando limitações e lacunas a serem ainda discutidas e futuramente preenchidas pela comunidade científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOUBEKRI, M. **Daylighting, architecture and health: building design strategies**. Oxford: Elsevier/Architectural Press, 2008.
- CAJOCHEN, C. Alerting effects of light. **Sleep medicine reviews**, v.11, n. 6, p.453-464, 2007.
- DIETRICH, G.; BIESKE, K. Definition and measurement of circadian radiometric quantities. In: **Proceedings of the CIE Symposium'04 on Light and Health**, p.129-32, 2004.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 5034**: Tageslicht in Innenräumen. Berlin, 1997.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 6169-2**: Farbwiedergabe: Teil 2: Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen in der Beleuchtungstechnik. Berlin, 1976 – 2002.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN V5031-5100**: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik - Teil 100: Über das Auge vermittelte, nichtvisuelle Wirkung des Lichts auf den Menschen e Grössen, Formelzeichen und Wirkungsspektren. Berlin, 2009.
- EAGLES, J.M. Light therapy and seasonal affective disorder. **Psychiatry**, v.8, n.4, p.125-129, 2009.
- ELETRÓBRÁS/PROCEL. **Manual de Iluminação**. Rio de Janeiro, 2011, 54p. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL%20DE%20ILUMINACAO%20-%20PROCEL_EPP%20-AGOSTO%202011.pdf>. Acesso em: 04.mar. 2017.
- FANGER, P. O. Assessment of man's thermal comfort in practice. **British journal of industrial medicine**, v. 30, n. 4, p. 313-324, 1973.
- GALL, D.; VANDAHL, C.; BIESKE, K.; SCHMIDT, A.; HERRMANN, R.; BLANKENHAGEN, C. Die Ermittlung von Licht-und Farbfeldgrößen zur Bestimmung der spektralen Wirkung des Lichtes. **Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik**, 2004.
- GALASIU, A. D.; VEITCH, J. A. Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review. **Energy and Buildings**, v.38, n.7, p728-742, 2006.
- HORNE, J. A.; ÖSTBERG, O. A Self-Assessment Questionnaire to Determine Morningness-Eveningness in Human Circadian Rhythms. **International Journal of Chronobiology**, v. 4, n. 2, p. 97-110, 1975.
- HRASKA, J. Chronobiological aspects of green buildings daylighting. **Renewable Energy** v. 73, p. 109-114, 2015.
- HUBALEK, S.; BRINK, M.; SCHIERZ, C. Office worker's daily exposure to light and its influence on sleep quality and mood. **Lighting Research and Technology**, v.42, n.1, p.33-50, 2010.
- ISO 10551. Ergonomics of the Thermal Environment - Assessment of the Influence the Thermal Environment Using Subjective Judgement Scales. **International Organisation for Standardisation**. Geneva, 1995.
- 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.
- KULVE, M.; SCHELLEN, L.; SCHLANGEN, L.J.M.; MARKEN LICHTENBELT, W.D. The influence of light on thermal responses. **Acta Physiologica**, v. 216, n.2, p.163-185, 2016.
- LEHNKERING, H.; SIEGMUND, R. Influence of Chronotype, Season, and Sex of Subject on Sleep Behavior of Young adults. **Chronobiology International**, v. 24, n. 5, p. 875-888, 2007.
- LEOTTI, V.B., BIRCK, A.R.; RIBOLDI, J. Comparação dos Testes de Aderência à Normalidade Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Cramer-Von Mises e Shapiro-Wilk por Simulação. **Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica**, v. 11, p.192, 2005.
- PHILLIPS, D. **Daylighting: natural light in architecture**. Routledge, 2004.
- REILLY, T.; WATERHOUSE, J.; ATKINSON, G. Aging, Rhythms of Physical Performance, and Adjustment to Changes in the Sleep-Activity Cycle. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 54, n. 11, p. 812-816, 1997.
- 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.
- SILVESTER, J.; KONSTANTINOU, E. **Lighting, well-being and performance at work**. Londres: City University, 2010.
- 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.
- WEISS, T.; KRÜGER, E. L.; TAMURA, C. A. 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 ...**, 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES pela concessão de bolsas Doutorado Sanduíche e Estágio Sênior, aos colegas do KIT e aos participantes da pesquisa.