

## **COMPARAÇÃO DE VARIÁVEIS LUMINOTÉCNICAS E PERCEPÇÃO SUBJETIVA DA LUZ POR MEIO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS**

**Ticiania Patel Weiss Trento (1); Cintia Tamura (2); Eduardo L. Krüger**

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UTFPR,  
ticiania.weiss@hotmail.com

(2) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade da UTFPR,  
cintiatamura@gmail.com

(3) Phd, Professor do Departamento de Engenharia Civil, ekruger@utfpr.edu.br

Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Departamento de Engenharia Civil, Av. Deputado Heitor de  
Alencar Furtado, 5000, Campo Comprido, Curitiba - PR, 81280-340, Tel.: (41) 3279 4516

### **RESUMO**

O acesso à luz natural influencia não apenas a eficiência energética de um edifício, mas também a fisiologia e regulação temporal humana, contribuindo para a percepção visual do ambiente. Neste contexto, esta pesquisa procura estabelecer a relação entre a iluminação natural, o acesso a vistas e a percepção visual humana durante três estações do ano – inverno, primavera e verão –, com o objetivo de determinar métricas que melhor traduzam a percepção de luz natural dos participantes da pesquisa. Para tanto, utiliza-se um ambiente controlado (câmara climática em Karlsruhe, Alemanha), projetado sobre uma plataforma giratória, o qual permite testar o efeito da orientação da fachada sobre variáveis subjetivas de 16 participantes voluntários, sob condições experimentais. Contou-se com um questionário de situações de luz, o qual foi aplicado aos participantes, e de medições simultâneas da irradiância global horizontal por estação climática externa, bem como a iluminância horizontal, por espectralradiômetros, e vertical, por actímetros. Os dados subjetivos e objetivos foram então confrontados por meio de estatística de correlação  $r$  de Pearson e  $\rho$  de Spearman. Os resultados sugerem correlação significativa entre a iluminância horizontal seguida da vertical em relação à percepção de iluminação dos participantes do estudo.

Palavras-chave: iluminação natural, iluminância, coeficiente de Pearson, coeficiente  $\rho$  de Spearman.

### **ABSTRACT**

Daylight access influences not only building energy efficiency, but also human physiology and time setting and the way one visually perceives the environment. In this context, this research aims to establish the relationship between daylight, access to external views and human visual perception throughout three seasons – winter, spring and summer. Its goal is to determine which metrics better translate the perception of natural light by participants. For this purpose, a rotating controlled environment (climate chamber located in Karlsruhe, Germany) was used to test the effect of façade orientation on subjective variables of 16 volunteers under experimental conditions. The participants responded a survey questionnaire and, simultaneously, global horizontal irradiance was measured by an outdoor station, as well as horizontal illuminance, by spectroradiometers, and vertical illuminance, by actimeters. Subjective and objective data were then compared with Pearson's R-coefficient and Spearman's rank correlation coefficient. Results suggest significant correlations between horizontal illuminance and participants' perception, closely followed by vertical illuminance.

Keywords: daylight, illuminance, Pearson's coefficient, Spearman's rank correlation coefficient.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Reinhart (2014), um espaço naturalmente iluminado combina alta satisfação visual e térmica dos ocupantes com baixo consumo energético para iluminação, aquecimento e resfriamento. Para o conforto térmico e de iluminação exclusivamente artificial, a literatura é vasta e as métricas estudadas até o momento são suficientes para parametrizar faixas de conforto universais. Para a satisfação gerada pela iluminação exclusivamente natural, porém, ainda não há resposta definitiva (JAKUBIEC, 2014).

Dentre as métricas conhecidas, a mais antiga é o *Daylight Factor* (DF). Desenvolvido nas décadas de 1940 e 1950, constitui a razão entre os níveis de iluminação natural externo e interno. No entanto, o método considera o céu como permanentemente encoberto, ignorando a insolação direta (PUBLIC..., 2012), e não estabelece limites para qualificar subjetivamente a iluminação. É esta a métrica usada pela norma ABNT NBR 15.215 de 2005. Ao considerar a luz do dia, porém, deve-se ter em mente que o sol e as nuvens mudam de posição e a disponibilidade de luz (e existência de ofuscamento) depende da orientação da abertura.

Neste contexto também não se pode ignorar a interação dinâmica entre ser humano e ambiente. Isto significa, por exemplo, que, se houver desconforto (em casos onde não há sistemas automatizados de sombreamento), o ocupante poderá tentar adaptar as características ambientais, fechando as persianas durante o dia, e forçando o uso de iluminação artificial por consequência.

Além disso, a verticalização e adensamento constatados nas grandes cidades geram, muitas vezes, unidades habitacionais ou comerciais com pouco ou nenhum acesso à luz solar (KRÜGER; SUGA, 2009). Assim, a importância de metodologias adotadas para a incorporação de mecanismos para provimento do acesso solar em ambientes internos ultrapassa questões projetuais ergonômicas e estéticas para adentrar ao domínio da saúde pública (TAMURA, 2010).

No que tange a preferências individuais, estas podem ser influenciadas por processos evolutivos – com íntima relação com processos fisiológicos – e pelo desenvolvimento cultural (BEUTE, 2014). Logo, práticas atuais relacionadas à obtenção de níveis adequados de iluminação com base somente no atendimento de requisitos visuais podem não refletir preferências individuais dos ocupantes (JAKUBIEC, 2014).

Ainda, Beute (2014) ressalta que há dificuldade em avaliar os efeitos da iluminação natural em separado daqueles provocados pelo contato com ambientes naturais. A autora complementa que os benefícios específicos da luz natural e dos ambientes naturais não são claros, uma vez que a literatura procurar estudar seus efeitos em separado. No entanto, a luz faz parte do ambiente natural e dificilmente pode ser isolada. Assim, os efeitos de ambos podem se confundir.

Neste sentido, faz-se necessário conhecer o que determina a satisfação e o conforto dos ocupantes e suas consequentes ações para adequação do ambiente, a fim de ampliar as discussões acerca do conforto luminoso e da adaptação pelo indivíduo. Estudos anteriores utilizaram métodos similares a esta pesquisa, – quais sejam, medições e questionários – para investigar preferências de ocupantes quanto ao conforto visual. Duijnhoven et al. (2016), por meio de um estudo transversal, encontraram correlação apenas moderada por  $\rho$  de Spearman entre a percepção dos usuários e parâmetros de iluminação natural e artificial. Em outro estudo transversal, Chinazzo et al. (2016) atenta para a classificação da vista para o ambiente externo como de menor importância pelos ocupantes, porém ressalta que a visão do exterior estava entre os fatores dos quais os indivíduos mais reclamaram a respeito. Estes resultados foram confirmados neste estudo, na medida em que correlações entre percepção e dados medidos se deram de forma moderada e em maior parte no inverno e a vista para o exterior não resultou em correlação com os fatores de iluminação e bem-estar.

## 2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo comparar os dados coletados pela pesquisa de Tamura e Krüger (2016a e 2016b) entre si a fim de verificar estatisticamente a influência entre respostas subjetivas e dados objetivos. Para tanto, utilizou-se respostas subjetivas dos participantes quanto à iluminação no ambiente e medições de iluminância horizontal ( $E_H$ ) e vertical ( $E_V$ ), bem como da irradiância global horizontal ( $I_G$ ), coletadas nos mesmos horários nos quais as respostas eram registradas.

## 3. MÉTODO

Este estudo de campo é do tipo levantamento quantitativo descritivo, complementado por medições. Sua análise é descritiva e correlacional, estruturada em: (a) descrição das configurações dos ambientes-teste e protocolos aplicados aos ocupantes; (b) descrição das variáveis objetivas medidas e equipamentos utilizados;

(c) caracterização da amostra, descrição das variáveis subjetivas avaliadas e ferramentas de mensuração; (d) apresentação e discussão dos resultados.

### 3.1. Caracterização do ambiente-teste e protocolos aplicados aos ocupantes

O teste piloto e o estudo de campo foram realizados por Tamura e Krüger (2016a e 2016b) em Karlsruhe, sudoeste da Alemanha, em uma câmara climática de propriedade do fbta/KIT (*Fachgebiet Bauphysik & Technischer Ausbau, Karlsruher Institut für Technologie*), chamada LOBSTER (*Laboratory for Occupant's Behavior, Satisfaction, comfort Thermal, and Environmental Research*).

O LOBSTER é uma câmara autônoma com dois ambientes-teste de escritórios, equipados com mesas para trabalho com computadores e internet. Cada um destes ambientes-teste comportava até dois indivíduos simultaneamente, nos quais variáveis como temperatura do ar e temperatura de superfície, velocidade do ar, umidade relativa, entre outras, eram monitoradas e/ou controladas.<sup>1</sup> Também havia registro de variáveis climáticas externas por meio de uma miniestação meteorológica no exterior da câmara.

A câmara é dotada de um sistema de rotação, o que possibilitou alinhar a fachada envidraçada dos escritórios a diferentes orientações geográficas por meio de um trilho circular existente na base, que permite a obtenção de giros de até 350°. A Figura 1(a) apresenta a planta simplificada, com suas medidas em metros, e a Figura 1(b), a fachada com aberturas envidraçadas.

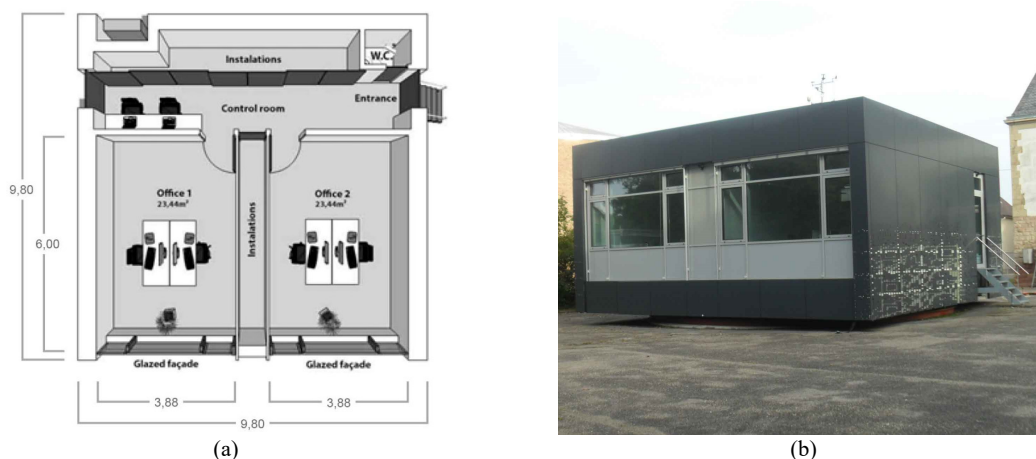


Figura 1 – (a) Planta baixa perspectivada do LOBSTER. (b) Vista externa geral da câmara climática e das aberturas envidraçadas. Fonte: TAMURA; KRÜGER, 2016b.

A relação das áreas de piso, paredes externas, abertura, bem como a razão entre janela e piso (*Window to Floor Ratio – WFR*) e janela e parede da fachada com abertura (*Window to Wall Ratio – WWR*), estão na Tabela 1. As janelas possuem painel triplo com VLT (*Visible Light Transmittance*) 70 nas janelas operáveis e VLT 72 para as partes fixas.

Tabela 1 – Áreas e proporções dos escritórios analisados.

	Área (m²)			Proporções		
	Piso	Paredes	Janela (m²)	Envidraçamentos	WFR	WWR
<b>Escritório 1</b>	23,23	11,67	8,6	Vidros fixos (4,9m²) – VLT 72 Janelas operáveis (3,7m²) – VLT 70	35 %	71 %
<b>Escritório 2</b>	23,23	11,67	8,6	Vidros fixos (4,9m²) – VLT 72 Janelas operáveis (3,7m²) – VLT 70	35 %	71 %

A alta proporção entre janela e piso e janela e parede da fachada com a abertura significa que esta é significativa no ambiente e poderá impactar na percepção pelos usuários.

Três sessões de experimentos por estação (inverno, primavera e verão de 2015), compondo 12 dias por participante. Os participantes permaneciam nos ambiente-teste por 5 horas diárias (das 8h às 13h), por três dias consecutivos. Essas três sessões caracterizaram-se por três configurações básicas: 1) fachada recebendo luz direta; 2) fachada sombreada; 3) luz artificial com sombreamento total da fachada. No entanto, a configuração-teste com iluminação artificial não será abordada neste estudo, dado o objetivo limitar-se somente à iluminação natural.

<sup>1</sup> Uma descrição pormenorizada da câmara climática é apresentada por Schweiker et al. (2014), e informações adicionais estão disponíveis no *website* do LOBSTER (<http://www.lobster-fbta.de>).

Definiram-se as orientações de fachada a serem testadas após realização de simulações computacionais de iluminação natural, identificando-se as orientações que apresentassem máxima diferenciação entre possibilidades de acesso à luz natural, porém sem ofuscamento direto no campo de trabalho (WEISS et al., 2015). As sessões com as configurações de iluminação natural estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Orientações e condições de céu para os dias de testes.

Inverno								
Condições gerais	13/jan	15/jan	21/jan	22/jan	27/jan	28/jan	03/fev	04/fev
Orientação	SO (225°)	NO (335°)	NO (335°)	SO (225°)	SO (225°)	NO (335°)	NO (335°)	SO (225°)
Condição de céu	Aberto	Pred. Encoberto	Encoberto	Encoberto	Aberto	Pred. Encoberto	Aberto	Pred. Encoberto
Primavera								
Condições gerais	07/abr	09/abr	14/abr	15/abr	21/abr	22/abr	29/abr	30/abr
Orientação	SO (200°)	NO (335°)	NO (335°)	SO (200°)	SO (200°)	NO (335°)	NO (335°)	SO (200°)
	Aberto	Aberto	Aberto	Aberto	Aberto	Aberto	Aberto	Aberto
Verão								
Condições gerais	24/jun	25/jun	30/jun	02/jul	07/jul	09/jul	14/jul	15/jul
Orientação	S	NO (335°)	NO (335°)	S	S	NO (335°)	NO (335°)	S
	Pred. Aberto	Aberto	Aberto	Aberto	Pred. Aberto	Encoberto	Encoberto	Aberto

As condições térmicas do ambiente foram controladas e qualquer alteração no espaço era vetada aos participantes (abertura de janelas, movimentação de persianas externas, acionamento / desacionamento de fontes de iluminação artificial, entre outros). Também o brilho dos monitores foi uniformizado. Além disso, foi vetado aos participantes trazer *notebooks*, ou quaisquer equipamentos que emitissem luz, pois poderiam alterar as configurações de iluminação pré-estabelecidas (TAMURA; KRÜGER, 2016b).

### 3.2. Descrição das variáveis objetivas medidas e equipamentos utilizados

Os dados de iluminância foram adquiridos a partir de medições contínuas por aparelhos calibrados das condições de iluminação nos escritórios. Utilizaram-se dois espectroradiômetros JETI modelo Specbos 1201, um em cada ambiente teste (Figura 2a), posicionados sobre a superfície de trabalho (mesas dos participantes), com altura de 0,75 m a partir do piso. 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 minutos. Por esta inconstância de registro, posteriormente realizou-se uma interpolação, de forma a obter valores com a frequência de 1/60 segundos, que foram utilizados nesta pesquisa. Para aferir a iluminância incidente à altura dos olhos dos participantes, posicionou-se um actímetro com luxímetro acoplado Actiwatch, da Phillips Respironics, na testa de cada indivíduo, conforme Figura 2b (TAMURA; KRÜGER, 2016a).

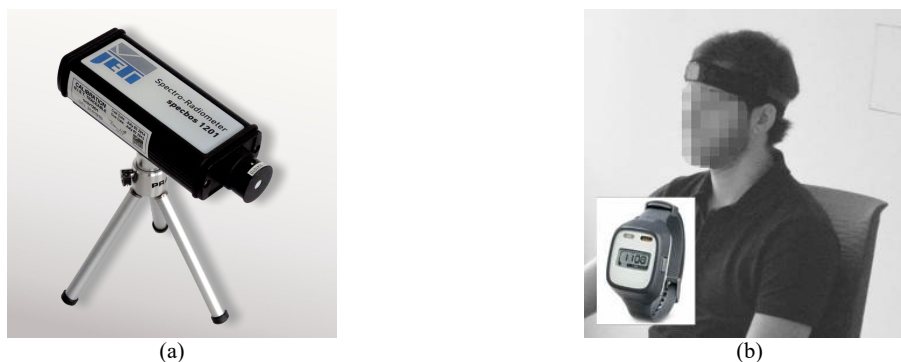


Figura 2 – (a) espectroradiômetro JETI modelo Specbos 1201; (b) actímetro com luxímetro acoplado Actiwatch Spectrum da Respironics Phillips, junto à testa de indivíduo, e detalhe do equipamento.  
Fonte: TAMURA; KRÜGER, 2016a e TAMURA; KRÜGER, 2016b.

A irradiância global horizontal, por sua vez, foi registrada por uma estação meteorológica da marca Thies, implantada sobre a cobertura do LOBSTER.

### 3.3. Caracterização da amostra, descrição das variáveis subjetivas avaliadas e ferramentas de mensuração

A pesquisa de campo contou com 16 indivíduos remunerados, escolhidos por conveniência através de anúncio no

KIT. Todos eram estudantes alemães, do sexo masculino, com altura, peso e idade médios de 1,80m, 80kg e 24,9 anos. A alimentação e vestimenta dos participantes foram controladas a fim de minimizar a possibilidade de influência em respostas subjetivas. Os indivíduos podiam ingerir somente alimentos neutros – com ingestão apenas de água (sem gás, em temperatura ambiente) e torradas, bolachas maisena, banana, maçã e peras – que não provocassem efeitos estimulantes. A vestimenta, por sua vez, limitava-se a jeans, camiseta de manga curta e tênis, para não influenciar em aspectos térmicos. Em situações em que os participantes ausentavam-se, como para utilizar o toalete externo, utilizaram-se óculos escuros com proteção UV, a fim de minimizar variações decorrentes de mudanças na fonte luminosa e na intensidade da luz incidente (TAMURA; KRÜGER, 2016a).

Dentre os questionários desenvolvidos e utilizados para a pesquisa de Tamura (2017), elaborou-se, com base no EFI – Questionário para Avaliação de Situações de Luz (*Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V., Expertenforum Innenbeleuchtung EFI*), um questionário para quantificar a percepção do ambiente em função das condições de iluminação e conforto visual. Foram nove questões, cuja pontuação segue a escala Likert numérica de sete pontos (os valores semânticos variavam de acordo com as perguntas), que questionavam o grau de satisfação dos participantes quanto à claridade, distribuição de luz e ofuscamento. O preenchimento do questionário era feito através de uma plataforma online (*Limesurvey*), às 8h50<sup>2</sup>, 10h30 e 12h30.

Dado o escopo reduzido deste estudo, apenas cinco perguntas foram utilizadas (questões 1, 3, 5, 6 e 10 do questionário completo), reproduzidas com suas respectivas escalas na Tabela 3.

Tabela 3 – Questões aplicadas aos participantes e extremos da escala Likert.

Questões	Valor mínimo	Valor máximo
1. “Como você se sente neste momento?”	1 – desconfortável	7 – confortável
3. “Qual a sua opinião sobre a vista da janela?”	1 – desagradável	7 – agradável
5. “Eu gostaria que a luminosidade no plano de trabalho fosse:”	1 – significativamente mais escura	7 – significativamente mais clara
6. “Qual a sua opinião sobre a luminosidade no ambiente em geral?”	1 – muito escuro	7 – muito claro
10. “Você percebe ofuscamento por iluminação natural?”	1 – intolerável	7 – imperceptível

Tanto a questão 1 quanto a 3 possuem aspecto amplo e foram utilizadas justamente para se comparar aos dados medidos e encontrar possíveis correlações. A primeira poderia indicar incremento no bem-estar com variações de iluminância no plano de trabalho ou no ambiente, bem como com a variação na densidade de vegetação vista através da janela. O estudo conduzido por Chinazzo et al. (2016) apontou os parâmetros térmicos e visuais como os mais importantes influenciadores no conforto dos ocupantes de escritórios. Assim, controlados o conforto térmico e a ingestão de possíveis estimulantes, conforme descrito, o conforto visual seria o provável foco da resposta dos usuários.

A questão 3, por sua vez, foi utilizada e comparada aos dados objetivos e às outras questões a fim de avaliar um possível grau de interferência das vistas nas respostas dos indivíduos no questionário.

Os dados objetivos analisados neste artigo foram os seguintes:

- porcentagem de vegetação (%A<sub>v</sub>) presente nas vistas das janelas;
- irradiância global horizontal (I<sub>G</sub>) medidos pela estação meteorológica do LOBSTER nos horários de teste;
- valores médios de iluminância horizontal (E<sub>H</sub>) medida pelos espectroradiômetros em cada sala;
- medições de iluminância ao nível dos olhos dos ocupantes (E<sub>V</sub>).

O albedo não foi considerado, pois os instrumentos utilizados para coleta de dados não possibilitaram sua medição. A pesquisa assumiu que a variação da luz refletida nas superfícies externas ao longo do ano também contribuiria para a iluminação incidente nos ambientes de teste, captada pelo espectroradiômetro e pelo actímetro.

#### 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Calculou-se a correlação das respostas subjetivas com os dados objetivos a fim de estabelecer se havia relação entre as variáveis. Os resultados são apresentados em índices de -1 a +1, com +1 indicando correlação perfeita entre as variáveis testadas. Por outro lado, -1 significa que se uma variável aumenta, a outra diminui na mesma proporção.

Primeiro, optou-se por avaliar a correlação por meio do coeficiente de Pearson para a média das

<sup>2</sup> Não foi possível registrar as respostas às 8h30, pois os participantes iniciavam o experimento às 8h e era necessário para a pesquisa de Tamura (2017) que os indivíduos tivessem ao menos 50 minutos de aclimação.

respostas dos quatro participantes que ocupavam os escritórios simultaneamente, bem como o valor médio dos dados medidos, para cada horário do dia. Este coeficiente requer dados normalmente distribuídos (simétricos) e mensurados em intervalos (as distâncias entre os pontos da escala deve ser igual) (FIELD, 2009).

Em seguida, analisaram-se as respostas individuais, que foram confrontadas também com os dados medidos em cada aparelho nos horários de teste. Percebeu-se, porém, assimetria e dificuldade em estabelecer as correlações e então se realizaram os testes de Shapiro-Wilk para avaliar a parametricidade dos dados com auxílio do programa IBM SPSS. A Tabela 4 mostra os resultados dos testes, com os valores da coluna “Sig.” (Significância) nulos. Logo, pode-se considerar a amostra não paramétrica ou não normal.

Tabela 4 – Testes de normalidade de Shapiro-Wilk

Testes de Normalidade			
	Estatística	df	Sig.
Questão 1	,892	86	,000
Questão 3	,794	86	,000
Questão 5	,845	86	,000
Questão 6	,866	86	,000
Questão 10	,603	86	,000

Confirmada a não normalidade, utilizou-se o coeficiente de correlação  $R\hat{o}$  ( $\rho$ ) de Spearman. Field (2009) explica que esta estatística avalia a intensidade entre variáveis ordinais, ou seja, considera sua ordem e não os valores observados. Por ser não-paramétrica, não é sensível a assimetrias na distribuição nem à presença de valores atípicos.

#### 4.1. Respostas agrupadas vs. vistas

Com o objetivo de avaliar um possível grau de interferência das vistas nas respostas dos indivíduos, calculou-se a porcentagem de vegetação (% $A_v$ ) presente nas vistas das janelas e comparou-se com as respostas às questões 1 e 3. As vistas foram consideradas a partir de fotografias realizadas com lente olho de peixe, com o observador posicionado no interior da câmara como referência, de frente para a fachada envidraçada, olhando para o exterior. A Figura 3 ilustra as imagens para inverno e para o verão. Observou-se *in loco* a alta similaridade entre as imagens para os períodos de primavera e verão, assim, adotaram-se as informações da última para o cálculo destas duas estações.

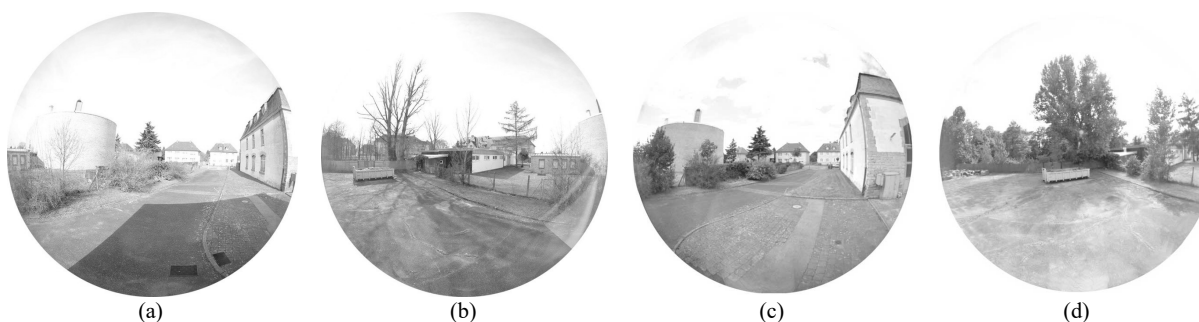


Figura 3 – Vista das fachadas: (a) orientação NO (335°) durante o período de inverno; (b) orientação SO (225°) durante o período de inverno; (c) orientação NO (335°) durante o período de verão; (d) orientação S/SO (200°) durante o período de verão.

Fonte: Tamura e Krüger (2016b) e Tamura (2017).

No entanto, o resultado das correlações de Pearson apontou para correlação significativa somente para a questão 1 no período de verão, indicando que o aumento da vegetação gerou melhora na sensação de conforto, com 5% de chance do resultado se dever ao acaso.

Tabela 5 – Coeficiente de correlação de Pearson para as questões 1 e 3 em relação à % $A_v$ .

Período	Grau de correlação	
	Questão 1	Questão 3
Inverno	0,05	-0,183
Primavera	0,173	-0,386
Verão	0,413*	0,235

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

#### 4.2. Respostas agrupadas vs. irradiância global horizontal

O próximo passo foi confrontar as respostas das questões 1, 5, 6 e 10 com os valores medidos de irradiância



global.

A questão 1 (“Como você se sente neste momento?” com 1 para “desconfortável” e 7 para “confortável”) foi escolhida para verificar se a variação na radiação poderia influenciar no bem-estar. Já as questões 5 e 6 poderiam apontar alguma influência, já que a iluminância global constitui componente visível da irradiância global (MARDALJEVIC, 2000). Por fim, buscou-se verificar se o incremento na irradiância poderia causar também maior ocorrência no ofuscamento (questão 10). No entanto, ressalta-se que havia expectativa de que os indivíduos não relatassem tal fenômeno, pois a pesquisa tinha por premissa a eliminação do ofuscamento através das orientações azimutais.

A tabela 6 resume os resultados das correlações entre as respostas médias das questões e os dados de irradiância global horizontal medidos nos horários de teste. Houve significativa correlação inversa somente para a questão 5, acerca da iluminação no plano de trabalho, durante o inverno e a primavera. Assim, à medida que a claridade aumentava, os indivíduos desejavam que o plano de trabalho estivesse mais escuro.

Tabela 6 – Coeficiente de correlação de Pearson para as questões 1, 5, 6 e 10 em relação à  $I_G$ .

Período	Grau de correlação			
	Questão 1	Questão 5	Questão 6	Questão 10
Inverno	-0,008	-0,524**	0,289	-0,365
Primavera	-0,197	-0,491*	0,154	-0,048
Verão	0,294	0,007	0,250	0,217

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

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

### 4.3. Respostas agrupadas vs. iluminância horizontal

Para comparação com os valores médios de iluminância horizontal ( $E_H$ ) medida pelos espectroradiômetros de cada escritório, foram selecionadas as questões 5, 6 e 10. O objetivo foi testar a percepção de ambiente mais claro ou escuro ou existência de ofuscamento quando houvesse variação nos níveis de iluminância no plano de trabalho.

A tabela 7 mostra que a relação inversa entre as respostas e os níveis de iluminância para a questão 5 foi confirmada. No entanto, somente o período de inverno teve correlação significativa entre as variáveis. E da mesma forma que para a irradiância global, não houve correlação significativa entre a iluminância horizontal e as questões 6 e 10.

Tabela 7 – Coeficiente de correlação de Pearson para as questões 1, 5, 6 e 10 em relação à  $E_H$ .

Período	Grau de correlação		
	Questão 5	Questão 6	Questão 10
Inverno	-0,560**	0,372	-0,187
Primavera	-0,149	0,169	0,008
Verão	-0,022	0,069	-0,161

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

### 4.3. Respostas agrupadas vs. iluminância vertical

As mesmas questões foram comparadas às medições de iluminância ao nível dos olhos dos ocupantes ( $E_V$ ). Também para esta análise, utilizou-se a média das respostas dos participantes e a média lida pelos actímetros para cada horário no dia.

Neste caso, porém, o cálculo do coeficiente de Pearson não sinalizou nenhuma correlação significativa entre as respostas e a iluminância vertical.

Tabela 8 – Coeficiente de correlação de Pearson para as questões 1, 5, 6 e 10 em relação à  $E_V$ .

Período	Grau de correlação		
	Questão 5	Questão 6	Questão 10
Inverno	-0,363	0,310	-0,046
Primavera	0,021	0,302	-0,013
Verão	-0,226	0,260	0,128

### 4.4. Respostas individuais vs. variáveis objetivas

Para avaliar a correlação entre as respostas subjetivas e dados objetivos considerando a natureza não normal da amostra, optou-se pelo coeficiente  $\rho$  de Spearman. Para tanto, utilizaram-se as respostas individuais e as medições de cada aparelho, e não médias.

A tabela 9 traz os resultados das correlações entre as questões e entre estas e as variáveis objetivas para as três estações de testes – inverno, primavera e verão.

Tabela 9 – Correlação segundo  $\rho$  de Spearman para as questões 1, 5, 6 e 10 em relação à  $E_V$ .

Questão 1	Questão 3	Questão 5	Questão 6	Questão 10	$E_H$	$E_V$	$I_G$	% $A_V$
<b>Grau de correlação – Inverno</b>								
Questão 1	-				0,086	0,092	0,126*	0,136*
Questão 3	0,121*	-			0,162**	0,151*	0,171**	0,072
Questão 5	-0,034	-0,139*	-		-0,312**	-0,284**	-0,405**	-0,167*
Questão 6	0,187**	0,061	-0,247**	-	0,279*	0,340*	0,344**	0,153*
Questão 10	0,033	0,027	0,283**	-0,092	-	-0,022	0,004	0,030
<b>Grau de correlação – Primavera</b>								
Questão 1	-				-0,072	-0,005	-0,120	0,039
Questão 3	-0,007	-			0,040	-0,018	0,018	-0,209*
Questão 5	0,142	-0,131	-		-0,103	0,006	-0,195	0,114
Questão 6	0,007	-0,142	-0,131	-	0,094	0,250*	0,042	-0,240*
Questão 10	0,252*	0,016	0,279*	-0,107	-	-0,133	-0,086	0,085
<b>Grau de correlação – Verão</b>								
Questão 1	-				0,135	0,005	0,195	0,264*
Questão 3	0,027	-			0,148	0,020	0,000	0,117
Questão 5	-0,040	0,095	-		-0,016	-0,082	-0,348**	-0,063
Questão 6	0,333**	-0,130	-0,135	-	0,029	0,029	0,231*	0,117
Questão 10	-0,031	0,101	0,423**	-0,107	-	-0,076	-0,084	0,012

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

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

Nota-se que a maior quantidade de correlações significativas ocorre no período de inverno, principalmente quanto às relações observadas entre respostas dos itens do questionário versus variáveis objetivas.

Tanto em intensidade como quanto ao nível de significância, o cruzamento entre respostas subjetivas e dados objetivos foi mais significativo nos testes de inverno. Nesse período, todas as questões, com exceção da questão 10 acerca do ofuscamento, trouxeram alguma correlação com os dados físicos medidos. A correlação mais forte, inversa e com alto grau de significância estatística, foi verificada para a questão 5 (acerca da preferência por maior ou menor luminosidade no plano de trabalho) na comparação com valores de irradiância solar global, primeiro para o inverno e também para o verão. As variáveis objetivas relativas à iluminância medida (horizontal e vertical) tiveram impacto das respostas subjetivas predominantemente e quase exclusivamente no inverno, o que sugere haver maior sensibilidade humana, conforme captado nas respostas dos itens avaliados, para condições de pouca iluminação natural disponível. Estes achados estão de acordo com o estudo de Horst et al. (1988), que apontou melhora na facilidade em trabalhar, no desejo de trabalhar sob as condições de iluminação testadas e no conforto na faixa entre 10 e 200 lux. Entre 200 e 800 lux, no entanto, os autores não perceberam melhoras. No presente artigo, o único período de teste que apresentou dados de iluminância menores de 200 lux foi justamente o de inverno.

Por outro lado, a ausência de correlações significativas para a questão 10 (ofuscamento) sugere que o controle dessa variável, a partir de simulações prévias de luz ambiente na configuração das exposições a serem testadas, foi efetivo. Apenas 2% das respostas apontaram ofuscamento intolerável e 5% relataram forte ofuscamento nas três estações.

A Tabela 9 também apresenta correlações entre respostas subjetivas. Nota-se que a questão 5 (preferência por maior ou menor luminosidade no plano de trabalho) se correlaciona significativamente de forma positiva e consistente com a questão 10 (grau de ofuscamento) nas três estações testadas, conforme esperado. Isto demonstra coerência interna nas respostas, no sentido de se preferir menos iluminância no plano quando houvesse maior percepção de ofuscamento e vice-versa.

A questão 1 (conforto no ambiente) também se correlaciona significativamente com a questão 6 (luminosidade no ambiente), porém isso não ocorre na primavera. Nesse caso, maiores níveis de conforto são iguais a uma maior luminosidade no ambiente.

## 5. CONCLUSÕES

A comparação entre orientações diversas permitiu testar a disponibilidade de iluminação, sem grande interferência da luz do sol no plano de trabalho, condição necessária ao estudo de campo realizado, e confrontá-la com a percepção visual dos ocupantes. A partir dos resultados estatísticos pôde-se correlacionar as respostas subjetivas com os dados objetivos registrados no LOBSTER. No entanto, deve-se ressaltar que a



amostra da pesquisa não é representativa, pois é composta somente por indivíduos do gênero masculino, alemães e jovens. Assim, os resultados dependentes das respostas do questionário prendem-se somente a este grupo, não podendo ser generalizados a outras populações.

Quando do cálculo das correlações por meio do coeficiente de Pearson, a partir de dados médios, observaram-se poucas correlações, geralmente em uma estação do ano apenas. Por outro lado, o coeficiente  $\rho$  de Spearman permitiu analisar as influências entre as variáveis a partir das respostas e dados individuais, e apresentou maiores correlações entre as variáveis nas três estações avaliadas.

Apesar de se ter identificado correlação por meio da estatística  $\rho$  de Spearman entre a irradiância global e as respostas das perguntas do questionário, esta relação era esperada, já que a iluminância global constitui componente visível da irradiância global. Por isso, não se recomenda o uso da irradiância como métrica de previsão da percepção e conforto visual e sugerem-se estudos acerca da influência da iluminância global para este fim.

A iluminância horizontal apresentou maior correlação com a percepção visual que a iluminância vertical por meio do coeficiente de Pearson. Analisadas as respostas individuais, ambas tiveram resultados similares, mas a iluminância vertical ainda apresentou correlação com a questão 6 na primavera, o que denota influência na percepção visual em período de maior iluminação disponível comparado com o inverno.

As correlações, tanto pelo coeficiente de Pearson quanto pelo  $\rho$  de Spearman, foram mais presentes no inverno. Atribui-se a esta correspondência significativa a possibilidade de haver maior sensibilidade de variações na iluminação pelos participantes justamente no período em que a luz natural apresenta menores níveis de iluminância. Pequenos incrementos, portanto, teriam mais impacto na percepção. Para os períodos de primavera e verão, por outro lado, haveria abundância de luz e, por isso, menos sensibilidade a suas variações.

Esta sensibilidade acentuada à menor disponibilidade de luz no inverno ganha maior evidência ao se analisar o fato à luz do crescente e irreversível adensamento das cidades. A redução no acesso solar provocada pela verticalização e por áreas densas prolongaria a situação de pouca iluminação natural e maior sensibilidade para além desta estação, o que reforça a importância do estudo da percepção e conforto visual por iluminação natural em condições de adensamento urbano exacerbado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEUTE, F. **Powered by Nature: The psychological benefits of natural views and daylight**, 2014. Disponível em: <<http://repository.tue.nl/780722>>. Acesso em: 06 dez. 2015.
- CHINAZZO, G.; WIENOLD, J.; ANDERSEN, M. A preliminary study on the sensitivity of people to visual and thermal parameters in office environments. **Proceedings of 9<sup>th</sup> Windsor Conference: Making Comfort Relevant**. Windsor, 7-10 Abril 2016.
- DUIJNHOFEN, J. van; ARIES, M. B. C.; ROSEMANN, A.; KORT, H. S. M. Light ratios, satisfaction, user perception, and general health in (day)lit offices. **Licht 2016**, Karlsruhe, 25-28 Setembro 2016.
- FIELD, A. **Descobrimos a Estatística usando o SPSS**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- HORST, R. L.; SIVERTMAN, E. B.; KERSHNER, R. L.; MAHAFFEY, D. L.; PARRIS, H. L. Research study on the effects of illumination on performance of control room tasks. **IEEE Fourth Conference on Human Factors and Power Plants**, Monterey, Junho de 1998.
- JAKUBIEC, J. A. **The Use of Visual Comfort Metrics in the Design of Daylight**. 2014. 144 f. Tese (PhD em Arquitetura: Tecnologia Edifícia) – Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2014. Disponível em: <<http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/91295>>. Acesso em: 06 dez. 2015.
- KRÜGER, E.; SUGA, M. Thermal and daylighting evaluation of the effect of varying aspect ratios in urban canyons in Curitiba, Brazil. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 1, p. 33108, 2009.
- MARDALJEVIC, John. **Daylight simulation: validation, sky models and daylight coefficients**. 2000. 331 f. Tese (Doutorado em Energia e Desenvolvimento Sustentável) – De Montfort University, Leicester, 1999. Disponível em: <<https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/23356>>. Acesso em: 17 fev. 2017.
- PUBLIC INTEREST ENERGY RESEARCH PROGRAM (PIER). **Daylight Metrics: Final Project Report**, 2012. Disponível em: <<http://www.energy.ca.gov/2012publications/CEC-500-2012-053/CEC-500-2012-053.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2014.
- REINHART, C. F. **Daylight Handbook I: Fundamentals / Designing with the Sun**. United States of America: [s.n.], 2014.
- 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. **Análise da influência dos parâmetros edifícios na obtenção de acesso solar nas zonas residenciais de Curitiba**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Desenvolvimento) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Curitiba, p. 231. 2010.
- TAMURA, C. A. **Iluminação ambiental e percepção objetiva não relacionada à visão em seres humanos: quase-experimento em câmara climática**. 2017. Tese em desenvolvimento (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade – PPGTE) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- TAMURA, C. A.; KRÜGER, Eduardo. Estudo piloto em câmara climática: efeito da luz natural em aspectos de saúde e bem-estar não relacionados à visão. **Ambiente Construído (Online)**, v. 16, p. 149, 2016a. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ac/v16n2/1678-8621-ac-16-02-0149.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

- \_\_\_\_\_. Comparativo entre variáveis luminotécnicas e percepção subjetiva da luz: experimento em câmara climática. In: **XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2016b, São Paulo. Anais do XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção, 2016.
- WEISS, T.; TAMURA, C.; KRÜGER, E. L. Uso de simulação computacional como suporte a um estudo de iluminação natural em câmara climática. **XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**, Campinas, 15 Outubro 2015.