A INFLUÊNCIA DOS VIDROS E DA VISTA NA PERCEPÇÃO TÉRMICA DOS USUÁRIOS

Raphaela W. da Fonseca (1); Luísa A. Rosa (2); Walter Ihlenfeld (3); Tássia Fritoli (4); Eduardo L. Krüger (5)

(1) Dr. Eng, Arquiteta e Urbanista, rwfonseca@utfpr.edu.br
(2) Ms, Arquiteta e Urbanista, luisa.alcantara.rosa@gmail.com
(3) Eng., Engenheiro Civil, walterihlenfeld@alunos.utfpr.edu.br
(4) Acadêmica Engenharia Civil, tfritoli@alunos.utfpr.edu.br
(5) PhD, Engenheiro Civil, ekruger@utfpr.edu.br,
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Sede Ecoville, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 4900, CEP 81280-340 - Curitiba-PR, +55 (41) 3279 4534

RESUMO

O vidro é um elemento chave do projeto de iluminação natural, cuja qualidade é essencial ao bem-estar do usuário das edificações. Diversos motivos influenciam na escolha do vidro, como o seu desempenho luminoso e térmico. Contudo, a seletividade do vidro modifica o aspecto da luz, impactando não somente na percepção visual, mas também na percepção térmica do ambiente. Assim, este trabalho avaliou a influência de vidros com diferentes seletividades espectrais e do contato visual com o exterior na percepção térmica dos ocupantes de um ambiente condicionado. Para tanto, foi realizado um estudo de campo com 48 voluntários em uma câmara climática *walk-in*. Os voluntários foram divididos e alocados em duas posições, uma com e outra sem contato visual com o exterior. Então, foram expostos a 3 tipos de vidro em condições de céu claro, parcialmente encoberto e encoberto. Foram medidas variáveis térmicas ambientais e aplicados questionários de percepção térmica, posteriormente comparados ao PMV calculado. Os resultados foram analisados utilizando diagramas de caixas e análises ANOVA. Concluiu-se que as avaliações térmicas dos ocupantes, bem como o seu momento de aplicação, independem do contato visual com o exterior e das alterações na seletividade espectral do vidro. Contudo, o contato visual com o exterior maximiza o efeito do tipo de céu na percepção térmica do usuário, enquanto na ausência desse contato, o efeito da composição espectral do céu, só é percebido quando combinada à seletividade do vidro.

Palavras-chave: percepção térmica, vidros, tipo de céu, vista do exterior, edificações.

ABSTRACT

Glass is a key element in the daylighting design, whose quality is essential to the well-being of building users. Several reasons influence the choice of glass, such as its luminous and thermal performance. However, the glass' selectivity modifies the appearance of light, impacting not only the visual perception, but also the thermal perception of the environment. Thus, this work evaluated the influence of glasses with different spectral selectivity's and exterior view on the occupant's thermal perception of a conditioned space. For that, a field study was carried out with 48 volunteers in a walk-in climatic chamber. The volunteers were divided and allocated into two positions, one with and the other without exterior view. Then, they were exposed to 3 types of glass under clear, partially cloudy and overcast conditions. Environmental thermal variables were measured, and thermal perception questionnaires were applied, and later compared to the calculated PMV. Results were analyzed using box plot graphs and ANOVA analyses. It was concluded that the thermal evaluations of the occupants, as well as the questionnaire application moment, are independent of exterior view and of changes in the glass spectral selectivity. Though, the exterior view maximizes the effect of the sky type on the user's thermal perception, while in the absence of the exterior view, the effect of the spectral composition of the sky is only perceived when combined with the selectivity of the glass.

Keywords: thermal perception, glass, type of sky, views, buildings.

1. INTRODUÇÃO

A luz natural está entre os principais fatores ambientais que produzem bem-estar e manutenção da saúde humana. Inúmeros fatores advogam a favor da iluminação natural ser considerada como um norteador do projeto de edificações, como a qualidade de reprodução de cor, preferência dos usuários, melhora no desempenho escolar (DEMIR; KONAN, 2013), o aumento de produtividade (MAYHOUB; CARTER, 2010), a recuperação mais ágil de pacientes (CHOI; BELTRAN; KIM, 2012) e potencial de economia de energia. Dentre os fatores projetuais mais influentes no projeto da iluminação natural estão as aberturas, que além de captar luz, podem propiciar o contato visual com o exterior. Sua dimensão e características espectrais dos vidros são determinantes na captação de luz. Usualmente, a transmissão visível é o parâmetro que retrata a capacidade do vidro em captar a luz na faixa espectral associada ao pico de sensibilidade do sistema visual humano, contudo, depois da descoberta das células ganglionares da retina intrinsecamente fotossensíveis - ipRGCs, a seletividade dos vidros a outros comprimentos de onda passou a requerer atenção (REPPERT; WEAVER, 2002, MARTAU et al., 2010, HARB; HIDALGO; MARTAU, 2015). Isso porque vidros com a mesma transmissão visível podem ou não estimular as ipRGCs, responsáveis pelo acionamento do ciclo circadiano e estado de alerta, bem como acionar outros sistemas, ainda sob investigação científica, mas que podem mitigar o sono pós-almoço (SAHIN E FIGUEIRO, 2013).

Nesse viés, a variação da seletividade espectral dos vidros pode implicar na aparência da cor da luz que transmitem, assim, podem fazer que o ambiente tenha um aspecto visual associados a “cores quentes" ou “cores frias” e influenciar na percepção térmica dos usuários, conhecida como a hipótese matiz-calor (Bennett e Rey, 1972). Tal hipótese defende que as cores influenciam a percepção térmica subjetiva das pessoas, sendo o azul relacionado à percepção de frio e o vermelho ao calor, passando pelas cores intermediárias em uma relação escalar entre esses dois extremos. Efeitos fisiológicos dessa hipótese também já foram reportados em estudos da área. Chinazzo (2019) conduziu uma revisão de literatura acerca de temas que investigaram o efeito de estímulos relacionados às cores, quando provenientes de fontes distintas, nas respostas térmicas subjetivas e fisiológicas dos ocupantes. A autora obteve que a cor da luz, e não as de objetos, como móveis ou componentes arquitetônicos (paredes, teto e piso) tem maior probabilidade de resultar em um efeito significativo. Outro fator que pode influenciar a percepção térmica é a condição climática externa, estando dias de sol com céu claro associados ao calor e dias nublados ou chuvosos ao frio.

A ASHRAE 55 (2017) observa que o conforto térmico consiste em um estado de espírito de satisfação com o ambiente térmico no qual o indivíduo está. A combinação ou adaptação de fatores ambientais e do corpo humano resultam no conforto térmico do indivíduo (PEETERS et al., 2009). O conforto térmico envolve fatores psicológicos e comportamentais (DE FREITAS, 1985; HÖPPE e SEIDL, 1991; CHEN e NG, 2012).

A sensação de conforto térmico é influenciada pelas variáveis climáticas, aspectos individuais, fatores psicológicos e socioculturais. A transferência de calor que ocorre entre o corpo humano e o meio em que se encontra está relacionada aos fatores físicos, enquanto os aspectos fisiológicos estão relacionados às mudanças na reação fisiológica do organismo, já os aspectos psicológicos têm relação com as experiências e expectativas do indivíduo quanto às percepções e respostas sensoriais (LAMBERTS et al., 2016). Em estudo realizado por Rohles (1980), a percepção de conforto térmico dos usuários de uma câmara controlada foi alterada após a inserção de elementos, como tapetes, painéis e mobiliários mais confortáveis, sendo se mantiveram inalteradas as condições térmicas do ambiente, o que denota a influência dos aspectos psicológicos. Eisler, Eisler e Yoshida (2003) observam que a cultura é formada por aspectos que proporcionam um padrão para aqueles que fazem de uma determinada cultura e que as diferenças culturais geram ações e crenças distintas em relação à natureza e ao meio ambiente, sendo assim, é um aspecto que interfere na percepção do indivíduo.

Por meio das variáveis ambientais (temperatura do ar, TRM, umidade relativa e velocidade do vento) e fatores pessoais (metabolismo e vestimenta) pode-se realizar a avaliação do conforto térmico (ISO 7730, 2005). Os índices térmicos são empregados para estimar os níveis de estresse térmico e para auxiliar na compreensão da percepção térmica humana nos ambientes nos quais estão inseridos. Krüger et al. (2018) observam que os índices térmicos possibilitam avaliar o conforto térmico e as condições climáticas verificadas em um local. O índice térmico *Predicted Mean Vote* (PMV - Voto Médio Predito) (FANGER, 1970; ISO 7730, 2005) foi originalmente desenvolvido para avaliar ambientes internos. O PMV é calculado a partir dos valores das variáveis temperatura do ar, temperatura radiante média (TRM), umidade relativa, velocidade do vento, taxa metabólica e isolamento térmico da vestimenta. O PMV é expresso numericamente por meio da escala de sete pontos, que apresenta variação entre -3 e +3. Essa escala utilizada varia entre muito frio, que corresponde a -3, e muito calor (+3). O índice PMV está presente na norma ISO 7730 (ISO, 2005). Diante do exposto, o presente trabalho aplica o índice PMV para avaliar a influência dos vidros com diferente seletividade espectral e do contato visual com o exterior na percepção térmica dos ocupantes.

2. OBJETIVO

Avaliar a influência dos vidros com diferente seletividade espectral e do contato visual com o exterior na percepção térmica dos ocupantes de um ambiente condicionado.

3. MÉTODO

Os procedimentos metodológicos envolveram medições ambientais e aplicação de questionários acerca da percepção térmica de um ambiente em uma câmara climática *walk in* a 48 voluntários alocados em duas posições, uma com vista para o exterior e a outra sem, frente a três tipos de vidro. O experimento foi realizado entre 16 e 25 de novembro de 2022, contemplando três condições de céu: céu claro, parcialmente nublado e nublado.

O ambiente adotado foi o Módulo Experimental (ME) da Câmara Climática de Baixo Custo (CBBC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) (TREVISAN, 2019). A câmara foi escolhida pela tipologia *walk in*, por ser rotacionável, permitindo a escolha da orientação solar, e por possibilitar o controle das variáveis ambientais. O módulo foi avaliado sob 3 condições: com um vidro simples (condição de referência) e com dois vidros de controle solar de transmissão visível aproximadamente 35%, mas distribuição espectral distinta. O critério de distinção entre os vidros foi que tivessem quantidade de energia diferente para os comprimentos de onda de 490 nm, pico de sensibilidade das células ipRGCs, e 640 nm, pico da sensibilidade para o estado de alerta pós-almoço (SAHIN E FIGUEIRO, 2013). A Figura 1 mostra a distribuição espectral dos vidros, denominados: Referência; OL - predominância de energia em ondas longas; e OC – predominância em ondas curtas. O contato visual com o exterior foi controlado colocando-se duas estações de trabalho paralelas, uma voltada para a janela e a outra na direção oposta, voltada para a parede, ver Figura 2.

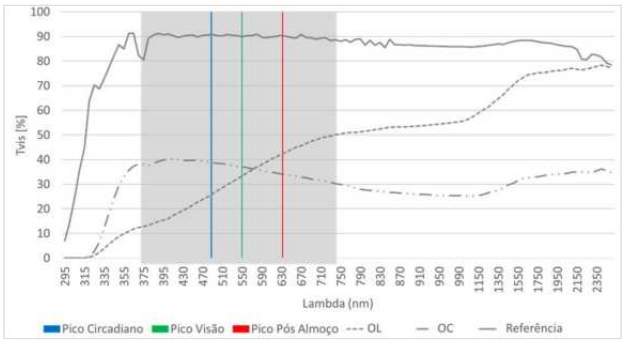


Figura 1 - Distribuição espectral dos vidros escolhidos

3.1. Descrição do ambiente

O módulo experimental da CBBC tem área interna de 5,39 m² e fica localizado no estacionamento do Campus da UTFPR, sede Ecoville, em Curitiba (25.4372° S, 49.2700° O), conforme ilustra a Figura 2.



Figura 2 - CBBC: vista interna e externa frontal e de fundos

Os módulos foram orientados a Norte. A única abertura é vedada por um vidro temperado claro comum com 6mm de espessura do qual não se possuíam as informações técnicas. Não foi possível remover este vidro para o experimento, assim, optou-se por sobrepor os vidros a serem avaliados externamente a ele, de modo que a sua influência fosse a mesma em todas as variações do estudo. Como o vidro não tem nenhum tipo de tratamento a sua influência na distribuição espectral da luz captada do exterior é mínima. As Tabelas 1 e 2 mostram as propriedades internas das superfícies internas do ME e dos vidros utilizados no experimento. Adotaram-se vidros de 4mm de forma a reduzir o peso das folhas, devido à manipulação necessária à etapa experimental. As refletâncias das superfícies internas foram medidas com o espectrômetro ALTA II,

desenvolvido pelo *Lunar and Planetary Institute* (LUNAR..., 2011). Os dados técnicos dos vidros avaliados foram fornecidos pelo fabricante. A transmissão luminosa dos conjuntos do vidro interno, original da CBBC, câmara de ar e vidro externo (objeto do estudo) foram medidas no local com o espectrofotômetro. Os valores obtidos constam na última linha da Tabela 2.

Tabela 1 - Propriedades das superfícies

Superfície	cor	Refletância medida [%]	Desvio superior [+10%]	Desvio inferior [-10%]
Parede	branco gelo (Suvinil)	62	72	52
Teto	branco neve (Suvinil)	78	88	68
Piso	piso vinílico *Tarkett Imagine Wood Classic Oak Natural 008*	32	42	22
Porta	branco liso (verniz)	66	76	56
Mesa	tampo branco	71	81	61

Tabela 2 - Dados técnicos dos vidros

Superfície	Vidro externo (4 mm)		
Vidro	Referência	Predominância ondas longas (640 nm) - OL	Predominância ondas curtas (490 nm) - OC
Aspecto externo	transparente	reflexivo champagne	semi-refletivo prata
Transmissão luminosa [%] - CIE (15-2004)	91	34	36,7
Transmissão energética [%] - EN 410 (2011-01)	90	43,9	32,1
Absorção energética EN410 (2011-01)	2	24,4	50,4
Fator solar EN410 (2011-01)	0,9046	0.4966	0.4355
Coeficiente de sombreamento	1.0397	0.5708	0.5006
Transmissão térmica [Ug - W/m²K]	5.751	5.752	5.532
Rendimento de cor - Transmissão CIE (15-2004)	99.6	80.9	94,9
Transmissão luminosa do conjunto medida in loco (vidro interno CBBC, câmara de ar, vidro externo)	81.7	37.2	35.8

Para a manutenção da temperatura interna um condicionador de ar split Philco, modelo PH9000TQFM5, ciclo frio e quente (de 16 °C a 31 °C), capacidade de 9.000 BTU/h, vazão de ar de 500 m³/h, foi ligado a 23° C. A cada turno, manhã e tarde, era feita a renovação de ar total da sala e o aparelho era ligado no mínimo meia hora antes do experimento. Durante as sessões foi mantido ligado constantemente um sistema de renovação de ar para controle dos níveis de CO2. A velocidade do ar interna foi medida com um anemômetro de fio quente portátil da Omega, modelo HHF-SD1 (OMEGA 2023), obtendo-se o valor de 0,3 m/s.

3.2. Descrição do experimento

O trabalho baseou-se no protocolo proposto por Giraldo e Toftum (2022), com adaptações aos objetivos do estudo e ao contexto local. As medições ambientais ocorreram entre 8h e 17h, em intervalos de 1 minuto. Mediram-se a temperatura de bulbo seco, temperatura de globo e umidade relativa do ar com um Hobo da Onset de 4 canais, modelo U12 Temp/RH/Light/External Data Logger. As características espectrais foram obtidas por dois espectrofotômetros UPRtek, modelos MK350S e MK350S *Premium* (UPRTEK, 2023). Os equipamentos foram emprestados pelo Laboratório de Conforto Ambiental do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina. A Figura 3 mostra a localização dos equipamentos. O Hobo foi instalado em um tripé à altura de 1m localizado no fundo da sala, indicado com o número 7 na Figura 3 e os espectrofotômetros em um tripé no centro da sala, cada um voltado para uma das direções analisadas, indicados na mesma figura por E1 e E2.



Figura 3 - CBBC: alocação dos Hobos light e Espectrofotômetros

Para a definição do tamanho da amostra de voluntários utilizou-se o programa G*Power v.3.1.9.7 (FAUL, 2020). Realizou-se uma análise prévia para ANOVA fatorial de medidas repetidas com variáveis independentes entre participantes e dentre participantes, adotando-se os seguintes parâmetros: tamanho do efeito igual a 0,25; significância igual a 0,05; poder estatístico igual a 0,97; considerando-se 2 grupos (com e sem vista do exterior); 3 medidas repetidas (os 3 tipos de vidro), correlação entre as medidas repetidas igual a 0,5; e correção de não esfericidade igual a 1. Assim, obteve-se uma amostra de 48 voluntários agrupados por posição na sala, ou seja, 24 em cada posição.

O experimento foi do tipo *mixed design* em que os 48 participantes foram divididos em 6 blocos, cada um com 8 participantes. Para o balanceamento do projeto, 6 sequências de exposição, baseadas em permutação simples, foram atribuídas aleatoriamente a cada bloco para reduzir os efeitos de ordem. Metade dos sujeitos foi exposta à vista da janela (iluminação direta) e a outra metade à vista da parede oposta (iluminação indireta). Cada sujeito foi exposto aos três tipos de vidro, em dias diferentes, mas no mesmo horário. Portanto, o fator intra-sujeitos é o tipo de vidro, enquanto o fator entre-sujeitos é a condição de iluminação, direta ou indireta. Assim, o número de condições para cada bloco é 8. O total de sessões experimentais foi de 72 (24 com cada tipo de envidraçamento) realizadas ao longo de 9 dias, 8 sessões por dia e dois sujeitos por sessão (16 sujeitos por dia). Metade das sessões ocorreram pela manhã, entre 8h e 12h, e a outra metade à tarde, entre 13h e 17h. O tempo de participação dos voluntários foi estimado em 45 minutos, sendo os 15 minutos iniciais para a aclimatação térmica e luminosa e para estabilizar seu metabolismo ao nível de atividade, e a meia hora seguinte, para o experimento propriamente dito. Os 15 minutos restantes foram utilizados para higienização e organização da sala para a sessão seguinte.

A população consistiu em discentes voluntários da UTFPR Curitiba, Campus Ecoville. O recrutamento foi feito entre estudantes de graduação e pós-graduação, e a divulgação, por distribuição de material da pesquisa on-line e presencialmente, com slides e projetor em aulas dos cursos de arquitetura e engenharia. Os alunos participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE aprovado pelo comitê de ética da UTFPR - Dois Vizinhos sob o Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) nº 63969422.0.0000.0177. As instruções de preparação para as sessões experimentais trouxeram como principais preparativos: dormir bem na noite anterior à sua participação; não ingerir álcool; minimizar a ingestão de cafeína; não realizar atividades extenuantes incomuns antes dos experimentos; e não comparecer se gripado. Os indivíduos também foram instruídos a usar roupas que garantissem um nível de roupa de 0,61, a saber: uma camisa de manga comprida, roupas íntimas, calças (jeans), meias de cano alto, sapatos (tênis, mocassins, sem botas ou sandálias).

No período inicial de aclimatação os participantes receberam instruções sobre os procedimentos do experimento e puderam tirar dúvidas com os pesquisadores. Também foram coletadas algumas informações pessoais pertinentes à pesquisa e tiveram a sua altura e massa corpórea medidos por uma balança antropométrica. Depois da preparação, os pesquisadores deixavam a câmara e aguardavam os 30 minutos do experimento do lado de fora. Como intervenção, foram aplicados questionários de Avaliação de Pós Ocupação sobre a percepção térmica do ambiente em dois momentos, um no início da sessão, nos primeiros 5 minutos após findada a aclimatação, e o outro, na segunda metade da sessão, nos últimos 5 minutos. Foi permitido aos participantes trazer seu próprio material de leitura, em papel, para mantê-los entretidos no tempo livre entre as rodadas de perguntas.

3.3. Estruturação do questionário

A percepção e preferência térmica dos usuários foi registrada por meio de perguntas com opções de resposta fechadas. A questão apresentada na Tabela 3 foi utilizada para determinar a percepção térmica dos participantes, sendo que a escala de sete pontos compreende as respostas possíveis.

Tabela 3 - Registro da percepção térmica dos participantes

Como você se sente agora?						
-3	-2	-1	0	1	2	3
Com muito frio	Com frio	Levemente com frio	Neutro	Levemente com calor	Com calor	Com muito calor

Além da questão acerca da percepção térmica dos participantes, o questionário também contempla perguntas sobre a preferência térmica, percepção e preferência visual da sala, tolerância pessoal, desempenho autorreferido e avaliação do estado pessoal. Para a estruturação dos questionários foram consideradas as normas ISO 10551 (2015), 7730 (2005), 8996 (2004) e 9920 (2007).

3.4. Determinação dos valores de PMV

Para a determinação dos valores de PMV foi utilizado o site do *Center for the Built Environment Thermal Comfort Tool* (https://comfort.cbe.berkeley.edu/), desenvolvido pela *Berkeley University of California*. Os resultados para cada entrevista realizada foram obtidos a partir dos valores de temperatura do ar, TRM, umidade relativa, velocidade do vento, taxa metabólica e clo, adotados como variáveis de entrada. Os valores de TRM foram calculados a partir da equação estabelecida para convecção forçada (ISO 7726, 1998). O valor da taxa metabólica adotado para todos os questionários foi 1 met, correspondente a uma pessoa exercendo uma atividade leve de escritório. O isolamento térmico da vestimenta adotado para todos os voluntários corresponde a 0,61 clo, valor que equivale a vestimenta previamente estabelecida como padrão para os entrevistados utilizarem durante a participação no experimento. A partir de uma planilha que continha as informações necessárias, o algoritmo do site utilizado pôde determinar os valores de PMV.

3.5. Análise da percepção térmica do ambiente

Para a análise da percepção térmica, inicialmente foram calculados os PMVs, conforme item 3.4 e então, tais resultados foram comparados ao voto dos participantes dado à questão explicitada no item 3.3 por meio do cálculo erro absoluto entre os votos, onde:

$$EA = |Z_t - \hat{Z}_t| \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:

EA: erro absoluto;
Z_t representa o valor observado no período t, o voto de percepção térmica real relatado no momento da entrevista; e
$\hat{Z}_t$: corresponde ao valor estimado pelo modelo no período t, o valor de PMV calculado com base nos dados registrados.

Em um segundo momento foi feita a análise estatística dos dados por meio de ANOVA fatorial de medidas repetidas com variáveis independentes. Foram feitas 3 ANOVAs visando avaliar as seguintes hipóteses:

a) Se a seletividade do vidro afeta da mesma forma a percepção térmica dos ocupantes que tem ou não vista para o exterior (iluminação direta ou difusa)
   - H0: As avaliações térmicas dos ocupantes são incondicionais ao contato visual com o exterior e às alterações na seletividade espectral do vidro.
   - H1: As respostas pessoais sobre a percepção térmica do ambiente são afetadas pela ocorrência ou não de contato visual com o exterior, independentemente da seletividade do vidro. [amostras]
   - H2: As respostas pessoais sobre a percepção térmica do ambiente são afetadas pela seletividade do vidro, independentemente do contato visual com o exterior. [colunas]
   - H3: As respostas pessoais sobre a percepção térmica do ambiente são afetadas pela ocorrência ou não de contato visual com o exterior, dependendo das características de seletividade do vidro [interação]
b) Se o momento em que foi aplicado o questionário, no início ou no final da sessão, afetou o voto dos participantes quanto à percepção térmica quando da alteração da seletividade do vidro.
   - H0: O voto acerca da percepção térmica ambiental independe do momento em que foi aplicado o questionário e da seletividade do vidro.
   - H1: As respostas pessoais sobre a percepção térmica do ambiente são afetadas pelo momento de aplicação do questionário, independentemente da seletividade do vidro. [amostras]
   - H2: As respostas pessoais sobre a percepção térmica do ambiente são afetadas pelo tipo de seletividade do vidro, independentemente do momento de aplicação dos questionários. [colunas]
   - H3: As respostas pessoais sobre a percepção térmica do ambiente são afetadas pelo momento de aplicação do questionário, conforme o tipo de seletividade do vidro. [interação]
c) Se a seletividade do vidro afeta a percepção térmica ambiental da mesma forma, para condições de céu distintas. Esta avaliação foi repetida, uma vez para os dados de ocupantes com contato visual com o exterior e, outra, sem.
   - H0: As avaliações térmicas dos ocupantes independem do tipo de céu e da seletividade dos vidros.
   - H1: As respostas pessoais sobre a percepção térmica do ambiente são afetadas pela condição do céu independentemente da seletividade dos vidros. [amostras]
   - H2: As respostas pessoais sobre a percepção térmica do ambiente são afetadas pela seletividade dos vidros, independentemente da condição do céu. [colunas]

- H3: As respostas pessoais sobre a percepção térmica do ambiente são afetadas pela condição do céu em função da seletividade dos vidros. [interação]

4. RESULTADOS

Para a avaliação dos resultados, primeiramente apresenta-se os valores de PMV calculados e o erro absoluto entre os votos dos indivíduos e esses valores. Os dados foram agrupados conforme o contato visual com o exterior. Assim, a Figura 4 traz os gráficos *box plot* do PMV dos indivíduos cujo campo visual era voltado para a parede dos fundos da sala, ou seja, sem contato visual com o exterior e recebendo exclusivamente iluminação indireta. Já a Figura 5 ilustra os resultados do PMV dos indivíduos cujo campo visual incluía a janela, logo, com contato visual com o exterior.

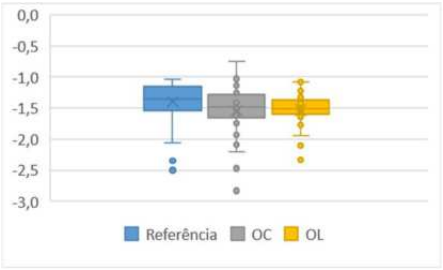


Figura 4 – *BoxPlot* PMV – Vista para parede

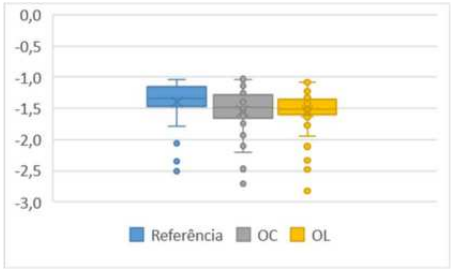


Figura 5 – *BoxPlot* PMV – Vista para janela

Da mesma forma, as Figuras 6 e 7 apresentam o erro absoluto para os indivíduos voltados para a parede e voltados para a janela, respectivamente. O PMV calculado aponta que em todos os momentos os usuários foram expostos à condição de frio. Contudo, o erro absoluto mostra a contradição com a percepção dos voluntários, com valores positivos. Nas quatro figuras percebe-se uma menor variação no intervalo interquartílico para o vidro com predominância de ondas longas (OL), denotando menor variação entre as respostas, contudo observa-se para esse mesmo tipo de vidro a maior ocorrência de valores discrepantes. A particularidade deste vidro é ter menos energia em comprimentos de onda mais curtos do que nos mais nos longos, resultando em uma percepção visual "mais quente" do ambiente. Observando-se os gráficos do erro absoluto, nota-se também maior amplitude dos dados para as respostas dos indivíduos voltados para a janela, Figura 7, do que para a parede, Figura 6, indicando que o contato com o exterior afeta a percepção térmica dos ocupantes. A mediana varia minimamente entre uma condição e outra, notando-se o aumento da amplitude de todos os quartis para a condição de vista para o exterior.

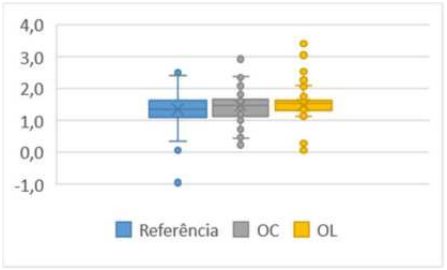


Figura 6 – *BoxPlot* Erro Absoluto – Vista para parede

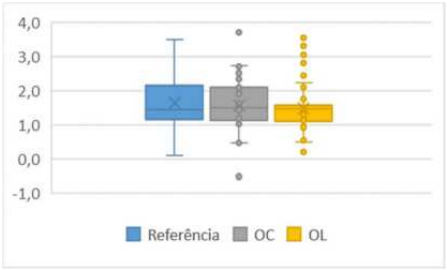


Figura 7 – *BoxPlot* Erro Absoluto – Vista para janela

Já os gráficos ilustrativos do momento do voto da percepção térmica, ver Figura 8 e Figura 9, mostram pouca variação do PMV calculado entre o primeiro e o segundo momento de aplicação dos questionários, notando-se apenas uma variação do último quartil (valor máximo) e no discretamente mínimo para o grupo sem contato visual com o exterior.

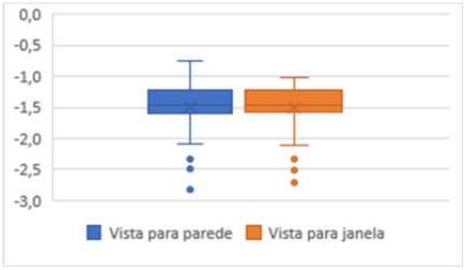


Figura 8 – *BoxPlot* PMV – Percepção térmica 1

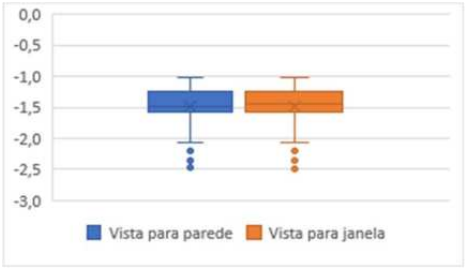


Figura 9 – *BoxPlot* PMV – Percepção térmica 2

Contudo, ao observar os gráficos do erro absoluto, ver Figura 10 e 11, fica clara a maior variação de percepção para os indivíduos que tiveram contato visual com o exterior, embora não haja diferença significativa aparente entre as duas aplicações, exceto pela maior presença de discrepantes na segunda aplicação dos questionários.

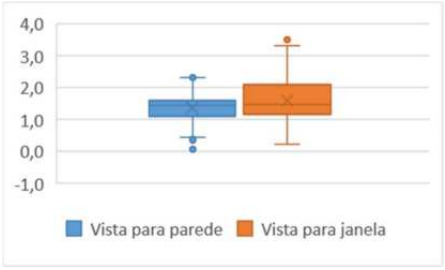


Figura 10 – *BoxPlot* Erro Absoluto – Percepção térmica 1

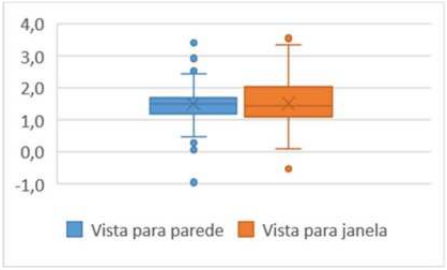


Figura 11 – *BoxPlot* Erro Absoluto – Percepção térmica 2

A Tabela 4 traz os resultados da ANOVA para a verificação: "Se a seletividade do vidro afeta da mesma forma a percepção térmica dos ocupantes que tem ou não vista para o exterior (iluminação direta ou difusa)". Os valores de F inferiores aos valores de F crítico tanto para amostra (condição de contato visual com o exterior), como para colunas (tipo de vidro) e interações entre ambas, indicam que a hipótese H0 de que "As avaliações térmicas dos ocupantes são incondicionais ao contato visual com o exterior e às alterações na seletividade espectral do vidro" deve ser aceita, considerando-se um erro de 5%.

Tabela 4 - ANOVA para avaliação da relação entre percepção térmica, tipo de vidro e contato visual com o exterior

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	1,069453	1	1,069453	2,264201	0,133514	**3,874645**
Colunas	0,042553	2	0,021276	0,045045	0,955961	**3,027783**
Interações	1,0687	2	0,53435	1,131303	0,324072	**3,027783**
Dentro	133,1975	282	0,472331			
Total	135,3782	287				

A Tabela 5 apresenta os resultados da ANOVA para a verificação: "Se o momento em que foi aplicado o questionário, no início ou no final da sessão, afetou o voto dos participantes quanto à percepção térmica, quando da alteração da seletividade do vidro". Da mesma forma que no caso anterior, os valores de F inferiores aos valores de F crítico tanto para amostra (momento de aplicação do questionário), como para colunas (tipo de vidro) e interações entre ambas, indicam que a hipótese H0, neste caso, de que "O voto acerca da percepção térmica ambiental independe do momento em que foi aplicado o questionário e da seletividade do vidro" deve ser aceita, com a mesma significância mencionada anteriormente.

Tabela 5 - ANOVA para avaliação da relação entre percepção térmica, tipo de vidro e momento de aplicação dos questionários

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	0,069689	1	0,069689	0,146983	0,701724	**3,874645**
Colunas	0,058455	2	0,029227	0,061645	0,94023	**3,027783**
Interações	0,462201	2	0,2311	0,487422	0,614725	**3,027783**
Dentro	133,7042	282	0,474128			
Total	134,2945	287				

Nas Tabelas 6 e 7 são apresentados os resultados para as ANOVAs visando a avaliação da relação entre percepção térmica frente a vidros de diferentes seletividades com tipos de céu distintos, considerando-se usuários sem e com contato visual com o exterior, respectivamente. Para esses casos, a amostra trata dos tipos de céu e, as colunas, dos vidros. Assim, em função da comparação entre F e F crítico da condição SEM contato visual com o exterior (iluminação indireta), Tabela 6, pode-se aceitar que não há variação entre as médias quando comparadas as percepções frente à diferentes tipos de céu ou frente aos 3 tipos de vidro, entretanto refuta-se a hipótese de que não há interação entre essas variáveis, ou seja, diferentes tipos de céu, observados por vidros de seletividade diferentes afetam a percepção térmica ambiental dos usuários.

Tabela 6 - ANOVA para avaliação da relação entre percepção térmica frente a vidros de diferentes seletividades com tipos de céu distintos, considerando-se usuários SEM contato visual com o exterior

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	0,081806	2	0,040903	0,10918	0,896648	**3,063204**
Colunas	0,511043	2	0,255522	0,682053	0,507312	**3,063204**
Interações	6,443444	4	1,610861	**4,299804**	0,002634	2,438739
Dentro	50,57586	135	0,374636			
Total	57,61215	143				

Já para a condição em que há contato visual COM o exterior, a comparação entre os valores de F e F crítico indicam rejeitar a hipótese de que as avaliações térmicas dos ocupantes independem do tipo de céu. Por outro lado, aceita-se a hipótese de que elas não variam em função da seletividade do vidro. Da mesma forma, aceita-se que não há variação na percepção térmica dos ocupantes devido às interações entre o tipo de céu e a seletividade do vidro.

Tabela 7 - ANOVA para avaliação da relação entre percepção térmica frente a vidros de diferentes seletividades com tipos de céu distintos, considerando-se usuários COM contato visual com o exterior

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	3,928817	2	1,964408	**3,753534**	0,025916	3,063204
Colunas	1,531279	2	0,76564	1,462962	0,235197	**3,063204**
Interações	3,767367	4	0,941842	1,799644	0,132506	**2,438739**
Dentro	70,65211	135	0,523349			
Total	79,87958	143				

5. CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou a influência dos vidros com diferentes seletividades e do contato visual com o exterior na percepção térmica dos ocupantes de um ambiente condicionado. Para atingir o objetivo proposto foi realizado um estudo de campo com 48 voluntários em uma câmara climática *walk in*, entre 16 e 25 de novembro de 2022, em Curitiba, tendo como base o protocolo de experimento de Giraldo e Toftum (2022). Os voluntários foram divididos e alocados em duas posições na sala, uma com e outra sem contato visual com o exterior. Então, todos os participantes foram expostos a 3 tipos de vidro em condições de céu claro, parcialmente encoberto e encoberto. Foram medidas variáveis térmicas ambientais e aplicados questionários de percepção térmica. A partir dos resultados obtidos, calculou-se o PMV e comparou-se este com os votos de percepção do ambiente térmico obtidos nos questionários. Foram então realizadas análises ANOVA para o estudo das hipóteses estipuladas.

Concluiu-se que embora os gráficos *box plot* possibilitem a identificação de diferença de amplitude entre as respostas para cada vidro analisado, e também entre as posições com ou sem contato visual com o exterior, a pouca variação entre as médias levou à análise de ANOVA indicar aceitar a hipótese de que as avaliações térmicas dos ocupantes são incondicionais ao contato visual com o exterior e às alterações na seletividade espectral do vidro. Da mesma forma, o momento de aplicação do questionário não apresentou influência nas respostas dos ocupantes, o que indica que o período de aclimatação foi efetivo.

Já as análises ANOVA que englobam a influência da seletividade do vidro e das condições de céu na percepção térmica, considerando as duas posições na sala, levaram à conclusão de que o contato visual com o exterior maximiza o efeito do tipo de céu na percepção do usuário, tornando-o inclusive preponderante à seletividade do vidro e anulando o seu efeito. Já no caso em que não há contato visual com o exterior, a variação do tipo de céu ou de seletividade do vidro, independentemente, não são percebidas. Todavia, o efeito da composição espectral do céu, combinada à seletividade do vidro, acabam por sensibilizar a percepção térmica dos ocupantes.

Por fim, entende-se que o objetivo do trabalho foi cumprido, contribuído para a caracterização da percepção térmica frente a vidros com características espectrais distintas, diferentes condições climáticas e de contato visual com o exterior, sendo útil no para a reflexão acerca da escolha projetual de vidros e conformação de layout.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENNETT, C.A., REY, P. What's so hot about red? Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc. 14 (2) (Apr. 1972) 149–154.
CHEN, L.; NG, E. Outdoor thermal comfort and outdoor activities: a review of research. Cities; v. 29, p. 118-125, 2012.

CHINAZZO, G. Visual and Thermal Interactions in Buildings: Effects on Human Comfort and Performance, PhD thesis Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, 2019.
CHOI, J.-H.; BELTRAN, L. O.; KIM, H.-S. Impacts of indoor daylight environments on patient average length of stay (ALOS) in a healthcare facility. **Building and Environment**, v. 50, p. 65-75. 2012.
DE FREITAS, C. R. Assessment of human bioclimate based on thermal response. International Journal of Biometeorology, v. 29, n. 2, p. 97-119, 1985.
DEMIR, A.; KONAN, N. Impact of Daylighting on Student and Teacher Performance. **Journal of Educational and Instructional Studies in the World**, v.3, n.1, fev. /mar. /abr. 2013. 7 p.
EISLER, A. D.; EISLER, H.; YOSHIDA, M. Perception of human ecology: crosscultural and gender comparisons. Journal of Environmental Psychology, v. 23, n.1, p. 89-101, 2003.
FANGER, P. O. Thermal comfort – Analysis and applications in environmental engineering. McGraw Book Company, New York, 1970.
FAUL, F. G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. Disponível em: < https://www.psychologie.hhu.de/arbeitsgruppen/allgemeine-psychologie-und-arbeitspsychologie/gpower >. Acessso em 29 de maio de 2023.
GIRALDO, N. V.; TOFTUM, J. **Experiment to test hypothesis that spectral selectivity of glazing and window views affects people's thermal assessment, physiological and psychological responses**. Protocolo para pequisa. Technical University of Denmark, Department of Environment and Resource Engineering, International Centre for Indoor Environment and Energy, Lyngby, Denmark. 2022. 34p.
HARB, F., HIDALGO, M. P. E MARTAU, B. **Lack of exposure to natural light in the workspace is associated with physiological, sleep and depressive symptoms.** Chronobiology International, 32:3, 368-375. 2015. DOI: 10.3109/07420528.2014.982757
HÖPPE, P. R.; SEIDL, H. A. J. Problems in the assessment of the bioclimate for vacationists at the seaside. International Journal of Biometeorology, v. 35, n. 2, p. 107-110, 1991.
ISO. International Organization for Standardization. ISO 10551. Ergonomics of the thermal environments – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. Genève: ISO, 2015.
ISO. International Organization for Standardization. ISO 7726. Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities. Genève: ISO, 1998.
ISO. International Organization for Standardization. ISO 7730. Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genève, 2005.
ISO. International Organization for Standardization. ISO 8996. Ergonomics of the thermal environments – Determination of thermal metabolic rate. Genève: ISO, 2004.
ISO. International Organization for Standardization. ISO 9920. Ergonomics of the thermal environments – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. Genève: ISO, 2007.
KRÜGER, E. L.; ROSSI, F. A.; CRISTELI, P. S.; SOUZA, H. A. de.Calibração do índice de conforto para espaços externos Physiological Equivalent Temperature (PET) para Curitiba. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 135 - 148, jul./set. 2018.
LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P.; CARLO, J. C.; BATISTA, J. O.; MARINOSKI, D. L.; NARANJO, A.; DUARTE, V. C. P. Desempenho térmico de edificações. UFSC, Apostila Disciplina: ECV 5161, Florianópolis, SC, 2016.
LUNAR AND PLANETARY INSTITUTE. ALTA Reflectance Spectrometer. 2011. Disponível em: <http://www.lpi.usra.edu/education/products/spectrometer>. Acesso em: 29 mai. 2023. »
MAYHOUB, M. S.; CARTER, D. J. Towards hybrid lighting systems: A review. **Lighting Research & Technology**, v. 42, n. 1, p. 51-71. Mar. 2010.
MARTAU, B.; SCARAZZATO, P.S.; HIDALGO, M.P.L; TORRES, I.; LUZ, CLARICE. **Lighting Design: Non-visual impacts and its influence on employees' health and well-being.** In DRS 2010 proceedings, 13p. Montreal, 2010. Disponível em: <http://www.drs2010.umontreal.ca/data/PDF/082.pdf>. Acesso em 28 de novembro de 2020.
ONSET. Doc # 7661-B, MAN-U12-012 Onset Computer Corporation.
OMEGA. OMEGA™ HHF-SD1 hot wire and standard thermistor anemometer. Disponível em: < https://assets.omega.com/spec/HHF-SD1.pdf >. Acesso em 29/05/2023.
PEETERS, L; DEAR, R.; HENSEN, J.; D'HAESELEER, W. Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. Applied Energy, v. 86, n. 5, maio, p. 772-780, 2009.
REPPERT, S. M. e WEAVER, D. R. Coordination of circadian timing in mammals. **Nature,** v.418, n. 6901, 29 de Agosto, p.935-941. 2002.
ROHLES, H. Temperature or temperament: a psychologist looks at thermal comfort. ASHRAE Transactions, v. 86, n. 1, p. 5-13, 1980.
Sahin L, Figueiro MG. 2013. Alerting effects of short-wavelength (blue) and long-wavelength (red) lights in the afternoon. Physiology & Behavior, 116-117:1-7.
TREVISAN, Livia Yu Iwamura. Concepção, construção e verificação da aplicabilidade de uma Câmara Bioclimática de Baixo Custo em estudos de conforto ambiental. 2019. 209 f. **Tese** (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.
UPRTEK. UPRtek handheld spectrometers MK350S Premium and MK350S Advanced Lighting Measurement Handheld Spectrometer. Disponível em:< https://www.uprtek.com/en/product/handheld-spectrometers >. Acesso em 29/05/2023.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e do CNPQ, Bolsista do CNPq - Brasil (nº 152080/2022-8, PQ2 304620/2021-1). Agradecimentos à vidraçaria Irmão Bosa pelo apoio logístico, ao LabCon/UFSC pelo empréstimo dos equipamentos e ao Prof. Fernando O. R. Pereira pelas valiosas discussões a respeito do tema.