

Avaliação de desempenho de edificação habitacional: uma comparação do conforto térmico em três sistemas construtivos

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise comparativa do conforto térmico em três edificações habitacionais construídas com sistemas construtivos distintos: madeira, alvenaria, wood frame. Através de uma análise estatística detalhada e de uma pesquisa de percepção a respeito da sensação térmica dos usuários dos ambientes ao longo das quatro estações do ano, a pesquisa destacou os pontos positivos, negativos e diferenciais das três edificações por meio de um estudo comparativo. As edificações utilizadas como bases para este estudo fazem parte de um stand de venda de uma construtora, as quais no momento da pesquisa eram utilizadas para atividades comerciais, tal como escritório de vendas. A pesquisa traz um apontamento significativo a respeito do sistema construtivo wood frame, o qual ainda é considerado um sistema inovador para países sul-americanos. Os resultados evidenciaram o potencial do sistema construtivo wood frame com relação ao conforto térmico no clima subtropical predominantemente frio da região de Curitiba.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação de desempenho da edificação; conforto térmico; sistemas construtivos; monitoramento de longo prazo; percepção do usuário.

Leticia Sloniak de Oliveira

leticiasloniak@gmail.com

Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Paraná. Brasil.

Nicolle Christine Sotsek

sotseknicolle@gmail.com

Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Paraná. Brasil.

Eduarda Lauck Machado

eduarda.lauck@gmail.com

Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Paraná. Brasil.

Marcos Augusto Mendes Marques

marquesammarcos@gmail.com

Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Paraná. Brasil.

Márcia Maria Alves Alcântara

marcia.kimbo@gmail.com

Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Paraná. Brasil.

Adriana de Paula Lacerda Santos

adrianapls1@gmail.com

Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Paraná. Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O conforto é definido pela American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (2004) como o estado mental de satisfação com o ambiente térmico. De acordo com (LANGEVIN et al., 2013), a resposta humana ao conforto térmico é descrita usando três conceitos: sensação térmica, preferência térmica e aceitabilidade térmica. A sensação térmica é a percepção sensorial de um ocupante do ambiente imediato (ASHRAE, 2010). A preferência térmica de um residente é a condição térmica ideal em um ambiente, enquanto a aceitabilidade térmica é o nível de aprovação do ocupante do ambiente térmico (LANGEVIN et al., 2013; LANGEVIN et al., 2015). Para Kaushik et al. (2020), o ambiente físico interno é composto por diferentes fatores, como conforto térmico, qualidade do ar interno, qualidade da iluminação (conforto visual), conforto acústico e layout do ambiente, sendo o fator conforto térmico aquele que tem a maior influência no conforto dos ocupantes e inclusive em sua produtividade.

O conforto térmico é objeto de estudo de pesquisas recentes em diferentes tipos de edificações, como edifícios residenciais (DARTEVELLE et al., 2020), escolares (GUEVARA et al., 2021; RODRÍGUEZ et al., 2021) e comerciais (KIKI et al., 2020; KAUSHIK et al., 2020), bem como associado com a qualidade do sono (TSANG, 2021) e com doenças respiratórias (SUN et al., 2020).

Na revisão de literatura sobre a Avaliação Pós-Ocupação, Leitner et al. (2019) e Alcântara e Santos (2022) identificaram que as avaliações de temperatura interna e do conforto térmico estão entre os principais requisitos analisados nos estudos pesquisados. De acordo com Staveckis e Borodinecs (2021), atualmente, as pessoas passam cerca de 90% do tempo em ambientes fechados. Assim, torna-se imprescindível a garantia do conforto térmico de ambientes internos, o qual é vinculado fortemente aos sistemas de construção e pode ser aprimorado a partir da escolha desse. Considerando, portanto, que os sistemas construtivos influenciam diretamente o desempenho térmico das edificações, três sistemas construtivos foram estudados neste trabalho: a) madeira: sistema estrutural e vedações em madeira; b) alvenaria: sistema estrutural em concreto armado e vedações em alvenaria; c) light wood frame: sistema estrutural em perfis de madeira e vedações externas a edificação em placa cimentícia e internas em placas de gesso acartonado.

Nos primórdios, a madeira foi um dos principais materiais constituintes das moradias, considerando suas características de fácil trabalhabilidade e excelente desempenho térmico, acústico e boa relação resistência peso (MOLINA e JUNIOR, 2010). Entretanto, no Brasil, as edificações em estruturas de concreto armado e vedações em alvenaria tomaram um enorme espaço, tornando-se inclusive o método de construção típico no território brasileiro. As edificações construídas com este método são culturalmente afamadas como um sistema que detém uma boa durabilidade e eficiência energética, ainda que autores questionem esse benefício (NASCIMENTO, 2004). Já o wood frame é um sistema construtivo considerado inovador no Brasil, e por consequência, pouco utilizado. Muito empregado na Europa, América do Norte e Oceania, o wood frame vem sendo considerado uma alternativa promissora no Brasil, principalmente em função das suas características de racionalização de material, flexibilidade operacional, agilidade produtiva, custos competitivos e também pelos níveis eficientes de limpeza e tempo de montagem (SOTSEK e SANTOS, 2018).

As variáveis que influenciam o conforto térmico podem ser agrupadas em três conjuntos: ambientais (temperatura, vento, umidade e radiação), pessoais (taxa metabólica e roupas) e fatores contribuintes (alimentação, aclimação, forma do corpo, gordura subcutânea, idade, gênero e estado de saúde). A temperatura é o fator mais importante a ser mensurado, medido pela temperatura de bulbo seco. Isso irá determinar a dissipação do calor convectivo, juntamente com qualquer movimento de ar (AULICIEMS e SZOKOLAY, 2007). Ademais, devido a ligação clima-temperatura, o clima da região também interfere diretamente com o conforto térmico atingido.

Neste estudo, o clima referência utilizado foi o subtropical, o qual abrange os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e significativa parcela do estado do Paraná. Essas três localidades compõem a região sul, constituída por planaltos e montanhas, onde o clima subtropical é o predominante, cobrindo 13.7% da área territorial brasileira. A capital paranaense, Curitiba – localidade do estudo para essa pesquisa, é um local típico dessa categoria climática, com temperatura média de 20.5°C no mês mais quente e 13°C no mês mais frio. Suas precipitações anuais são de 1.550mm, concentradas nos meses de verão e tendo como os meses mais secos julho e agosto (inverno) (ALVARES et al., 2014).

Neste contexto, o objetivo principal deste artigo é verificar o conforto térmico do ambiente para usuários de edificações de madeira (M), alvenaria (A) e wood frame (WF) visando identificar o desempenho de cada edificação. Este estudo propõe a análise das variáveis concernentes ao conforto com a verificação das principais diferenças térmicas entre as edificações, bem como a identificação do sistema construtivo mais adequado para a região e o clima em questão.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Cidade e edificações estudadas

Esta pesquisa foi desenvolvida na cidade de Curitiba, localizada no estado do Paraná, na região sul do Brasil. (FIGURA 1). A cidade possui latitude: 25° 25' 42" Sul e longitude: 49° 16' 24" Oeste, com uma população estimada de 1.933.105 habitantes no ano de 2019. Segundo Campos (2005) cidade é a capital mais fria do Brasil, apresentando um clima temperado (Cfb de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger), com as quatro estações do ano bem definidas.

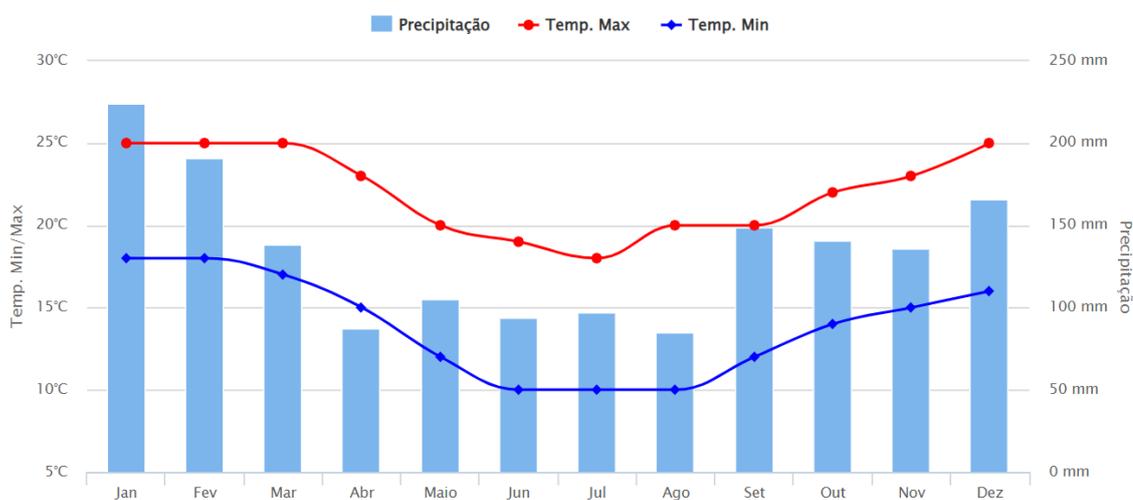
Figura 1: Localização geográfica do município de Curitiba-PR (Brasil).



Fonte: ABREU, 2006 (adaptada pelos autores, 2022).

A temperatura média do mês mais quente é inferior a 22,9 °C, e a do mais frio, abaixo de 15 °C. A Figura 2 mostra a normal no município, com médias mensais da distribuição da temperatura do ar mínimas e máximas e precipitação.

Figura 2: Médias climatológicas em Curitiba.



Fonte: Climatempo, 2022, (adaptado pelos autores, 2022).

As edificações estudadas estão localizadas no mesmo terreno de um bairro da cidade, denominado Xaxim. As edificações foram fabricadas com três sistemas construtivos diferentes. As características de cada edificação podem ser visualizadas no Quadro 1.

Quadro 1: Características das edificações estudadas

Características	Madeira	Wood Frame	Alvenaria
Área (m ²)	88,34	42	43,5
Idade da edificação (anos)	30	10	20
Material	Madeira: Lambri de Cambará e Itaúba	Pinus autoclavado, placa cimentícia e gesso acartonado	Concreto armado e alvenaria
Composição da parede	Dupla camada de madeira sem isolamento	Estrutura de madeira (LWF) e gesso acartonado	Bloco cerâmico 6 furos, rebocado e calfinado
Fundação	Concreto	Concreto	Concreto
Impermeabilização	Feltro Asfáltico	Feltro Asfáltico	Feltro Asfáltico
Cobertura	Telha cerâmica	Telha Shingle	Telha de fibrocimento (5mm)
Forro	Forro de madeira de cedrinho	Gesso e painel de OSB	Laje

Fonte: Autores, 2022.

A Figura 3 mostra a localização de cada edificação no terreno e o local de cada construção em relação ao nascer e ao pôr do sol da cidade de Curitiba.

Figura 3: Localização das edificações estudadas



Fonte: Google Maps, 2022 (adaptado pelos autores, 2022).

2.2 Medidas da variação térmica das edificações estudadas

A metodologia adotada baseia-se na integração do monitoramento dentro das edificações e na percepção dos usuários por meio do grau de satisfação em cada ambiente estudado.

Para o registro térmico de temperatura interna e externa do ar, foi empregado o Data logger Extech RHT1, com precisão de ± 1 ° C. O ambiente selecionado para alocar o instrumento tem contato direto com o meio externo. Portanto, sensores externos também foram instalados para comparar os resultados internos e externos.

O monitoramento climático foi realizado de junho de 2019 a junho de 2020, sendo coletada a temperatura a cada 15 minutos. As temperaturas ambientes nas três edificações variaram de 6°C a 40,1°C, enquanto que a temperatura externa variou de 5,5°C a 38,9°C ao longo do ano de monitoramento.

Após a coleta de dados, os resultados foram transferidos para um computador com uso do programa de software Extech RHT10 Data logger Versão 5.6, os dados foram organizados em uma planilha Excel, a qual posteriormente foi utilizada para análise estatística.

Foi elaborado um questionário a fim de mensurar a percepção dos indivíduos com relação ao conforto térmico em cada edificação, conforme estabelece a INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) nº 10551 (ISO, 1995). Estas edificações não são habitáveis, já que fazem parte de um showroom de casas à venda, portanto, os questionários foram respondidos ao longo do ano pelos próprios funcionários que circulam e encontram-se continuamente no interior dessas edificações. Os questionários foram respondidos ao longo das quatro estações do ano: inverno, primavera, verão e outono, resultando num total de 14 questionários respondidos. A aplicação dos questionários teve como objetivo analisar os indicadores de Fanger (1970), PMV (votação média prevista) e PPD (porcentagem prevista de insatisfação) e foi baseada no padrão ASHRAE 55 (2004, 2010). O ASHRAE estabelece 7 pontos de percepção, são eles: (a) com muito calor, (b) com calor, (c) com um pouquinho de calor, (d) bem, nem calor e nem com frio, (e) com um pouquinho de frio, (f) com frio e (g) com muito frio.

As respostas dos questionários foram analisadas estatisticamente através de planilhas do Excel e apresentadas na forma de gráficos. Finalmente, foram comparados a partir de cada estação do ano os resultados entre as medições, os registros in situ e as respostas dos questionários, proporcionando conclusões úteis à pesquisa.

2.3 Definição do modelo estatístico entre as respostas apresentadas e dados mensurados

As respostas com relação a percepção do conforto térmico dos indivíduos (dados qualitativos) foram coletadas durante o período em que a temperatura e umidade térmica eram mensuradas. Os valores mensurados (dados quantitativos) foram resumidos com medidas de frequência (média e desvio-padrão) para cada grupo (M, A, WF).

Para os valores obtidos a partir do questionário, foi definido que o modelo estatístico aplicado seria o método de regressão linear múltipla aplicando o índice RSV. Para as análises estatísticas foi utilizado o software Minitab 19. Inicialmente, foi verificada a aderência dos dados em relação à curva de normalidade através do teste de Anderson-Darling. Em seguida, foi realizado o teste de Levene, o qual se refere a verificação de igualdade de variâncias. Após essas análises, concluiu-se a heterocedasticidade dos dados e que esses não se ajustam a uma curva normal. Assim, considerou-se o emprego de testes não-paramétricos como o de Kruskal-Wallis (amostras não-pareadas) ou de Friedman (amostras pareadas).

O tamanho amostral também foi considerado para a definição do modelo estatístico estabelecido ($n = 17710$). A partir dessa constatação, ainda que os dados não se ajustassem a uma distribuição de normalidade, optou-se pela utilização de um teste paramétrico, justificado pelo grande número de observações das amostras, tornando-se capaz de denotar robustez em relação a curva de Gauss e assim, possibilitando o uso de um teste paramétrico. Desta forma, selecionou-se para essa pesquisa o método de Análise de variância (ANOVA One-way) considerando a desigualdade de variâncias (heterocedasticidade entre as amostras), seguido por um pós-teste de Games-Howell. Escolheu-se um nível de significância de 5% para todos os testes de hipóteses efetuados.

Ademais, considerando que para ambientes climatizados e ventilados naturalmente a ASHRAE (2009) recomenda mensurar as condições ideais de temperatura pelo modelo adaptativo, usou-se como base para mensuração das condições ideais desse estudo a Equação 1:

$$t_{op} = 18,9 + 0,255 t_{ex} \quad (1)$$

Em que, o termo t_{op} corresponde a temperatura operacional de conforto, e o termo t_{ex} corresponde a temperatura externa. Os resultados são considerados adequados ao conforto humano quando a temperatura operacional estiver entre 10°C e $33,5^{\circ}\text{C}$. Estes valores podem oscilar entre $-3,2^{\circ}\text{C}$ e $+3,2^{\circ}\text{C}$ para uma taxa de aceitabilidade de 80% dos ocupantes, e entre $-2,5^{\circ}\text{C}$ e $+2,5^{\circ}\text{C}$ para uma taxa de aceitabilidade de 90% dos ocupantes. A Equação 1, foi utilizada como base para o cálculo das temperaturas de conforto ideais para as 4 estações do ano no município (TABELA 6), conforme recomendação da ASHRAE (2009).

3 RESULTADOS

Primeiramente, serão apresentados os dados referentes ao conforto térmico para cada estação do ano e para cada sistema construtivo, tanto para os dados mensurados, quanto para os dados coletados com os entrevistados. A partir disso, a análise propriamente dita dos dados será efetuada de maneira separada e em seguida, de forma conjunta.

3.1 Dados do monitoramento das temperaturas in situ mensuradas para os três sistemas construtivos e dados do ambiente externo ao longo do inverno

A Tabela 1 reúne os valores mensurados durante o período do inverno brasileiro, que ocorre entre os meses de junho a setembro.

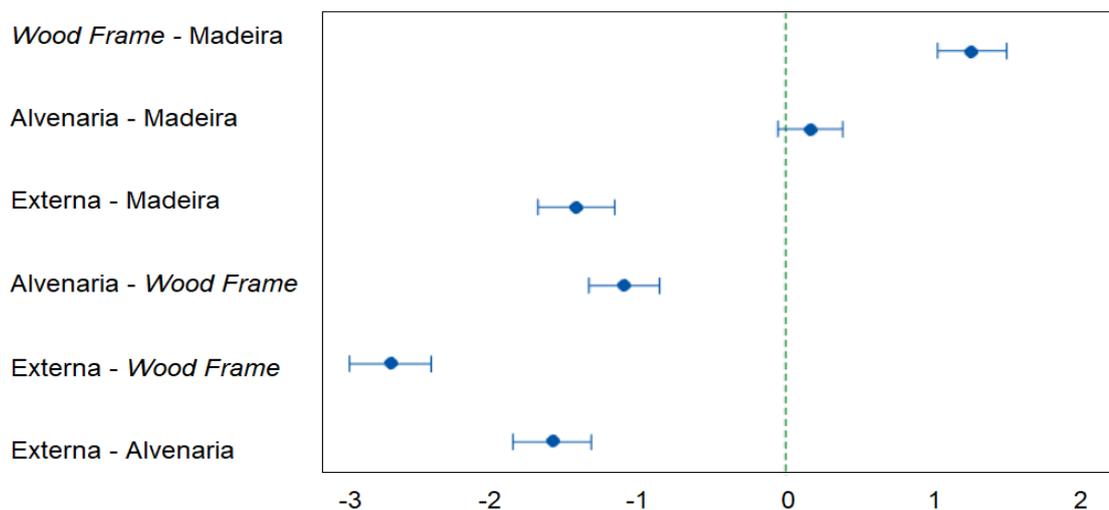
Tabela 1: Temperatura média dos diferentes sistemas de construção na estação do inverno.

Sistemas de construção	n	Temperatura em °C média (desvio padrão)	Grupo	Índice de Confiança (IC) de 95%
Madeira	4496	18,29 (3,96)	A	(18,17 – 18,41)
Alvenaria	4496	18,46 (4,14)	A	(18,33 – 18,58)
Wood Frame	4496	19,55 (4,67)	B	(19,42 – 19,69)
Externa	4496	16,87 (5,54)	C	(16,71 – 17,03)

Nota: Médias que não compartilham o mesmo grupo são significativamente diferentes ($p < 0,05$) segundo o teste estatístico ANOVA (*One-way*) seguido do teste de Games-Howell.

Durante o período do inverno, as temperaturas médias das casas de M e A se mantiveram semelhantes ($p > 0,05$). Entretanto, constatou-se uma diferença estatisticamente significativa entre os sistemas M e A, com relação ao sistema de WF (Tabela 1). No tocante, a comparação da temperatura interna das três edificações com a temperatura externa, todas apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

Figura 4: Comparações entre médias térmicas a partir do teste de Games-Howell. Se um intervalo não contiver o zero, as médias correspondentes serão significativamente diferentes.



Fonte: Autores, 2022.

Na Figura 4, é possível visualizar um gráfico com as diferenças entre as médias de temperaturas internas e a do meio externo durante o período do inverno. No eixo y tem-se as informações sobre quais os sistemas construtivos estão sendo analisados, por exemplo, a comparação entre o sistema WF e M; no eixo x tem-se uma escala numérica com objetivo de demonstrar o quão próximo ou distante estão as médias térmicas dos sistemas analisados. Quanto mais próximo ao valor 0 (zero) um intervalo de temperatura analisado estiver, mais próximo são as médias dos dois sistemas construtivos que estão sendo comparados.

Assim, se pode observar que a comparação entre as médias dos sistemas construtivos A e M foram as que se mantiveram próximas no período do inverno,

com médias respectivas de 18,46° e 18,29°. Tanto o sistema construtivo em M, quanto o sistema construtivo em A mantiveram as médias térmicas mais próximas às do ambiente externo, enquanto as médias comparadas entre o ambiente externo e o sistema WF representou a maior diferença térmica, com – 2,68° no inverno Curitibano. A comparação entre as médias térmicas dos sistemas construtivos demonstrou que os sistemas WF e M apresentaram significativas diferenças de temperaturas no inverno.

3.2 Dados do monitoramento das temperaturas in situ mensuradas para os três sistemas construtivos e dados do ambiente externo ao longo da primavera

A Tabela 2 reúne os valores mensurados durante o período da primavera no Brasil, a qual ocorre entre os meses de setembro a dezembro.

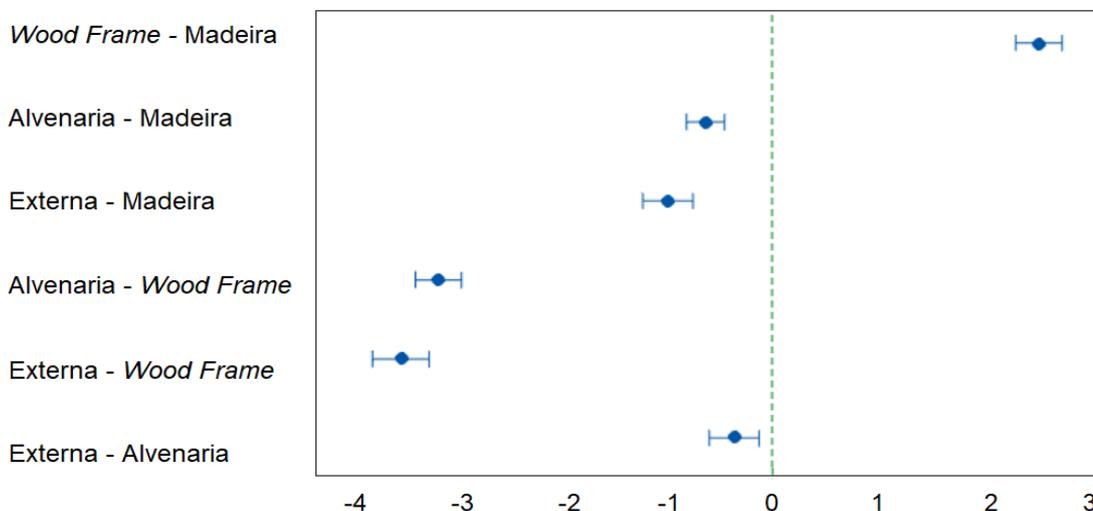
Sistemas de construção	n	Temperatura média em °C (desvio padrão)	Grupo	IC de 95%
Madeira	4313	22,09 (3,33)	A	(21,99 - 22,19)
Alvenaria	4313	21,45 (3,22)	B	(24,50 - 24,78)
Wood Frame	4313	24,64 (4,60)	C	(21,35 - 21,55)
Externa	4313	21,09 (5,16)	D	(20,94 - 21,24)

Nota: Médias que não compartilham o mesmo grupo são significativamente diferentes ($p < 0,05$) segundo o teste estatístico Anova (*One-way*) seguido do teste de Games-Howell.

No decorrer da primavera, constatou-se diferenças estatisticamente significativas entre os três diferentes tipos de edificações (Tabela 2). Referente a comparação com a temperatura externa das construções, todas verificaram seus valores de $p < 0,05$, por conseguinte, apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

As diferenças entre as médias de temperaturas internas e a do meio externo durante o período da primavera são apresentadas na Figura 5.

Figura 5: Comparação entre médias térmicas a partir do teste de Games-Howell. Se um intervalo não contiver o zero, as médias correspondentes serão significativamente diferentes.



Fonte: Autores, 2022.

Assim, a Figura 5 demonstra que, como no inverno, os sistemas construtivos A e M apresentaram médias de temperaturas próximas. Enquanto o sistema em WF apresentou médias de temperaturas relevantes em comparação com os sistemas construtivos M e A. As médias de temperatura do ambiente externo com relação ao sistema construtivo A foram as que demonstraram menor diferença, já as análises das médias de temperaturas do ambiente externo com o sistema WF demonstrou a maior variação nas comparações durante a primavera.

3.3 Dados do monitoramento das temperaturas in situ mensuradas para os três sistemas construtivos e dados do ambiente externo ao longo do verão

A Tabela 3 reúne os valores mensurados durante o período do verão no Brasil, que ocorre entre os meses de dezembro a março.

Tabela 3: Temperatura média dos diferentes sistemas de construção na estação do verão.

Sistemas de construção	n	Temperatura em °C média (desvio padrão)	Grupo	IC de 95%
Madeira	4271	23,87 (2,98)	A	(23,78 - 23,96)
Alvenaria	4271	23,11 (2,81)	B	(26,77 - 27,03)
Wood Frame	4271	26,90 (4,35)	C	(23,03 - 23,20)
Externa	4271	23,06 (4,84)	B	(22,92 - 23,21)

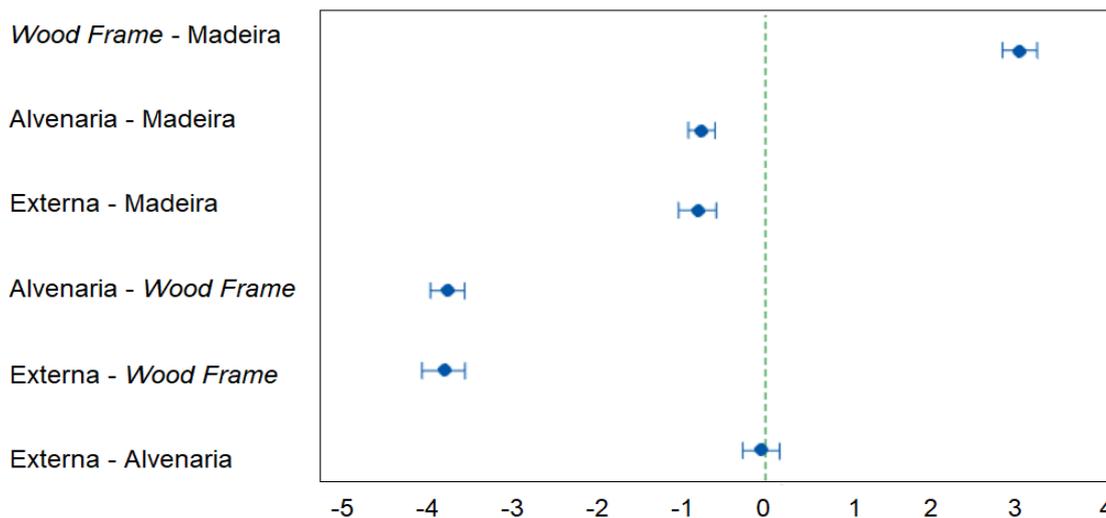
Nota: Médias que não compartilham um mesmo grupo são significativamente diferentes ($p < 0,05$) segundo o teste estatístico Anova (*One-way*) seguido do teste de Games-Howell.

Durante a estação do verão, as temperaturas médias das casas de M, A e WF se averiguaram estatisticamente diferentes entre si. Entretanto, a comparação

entre a temperatura do meio externo com as casas M e WF expressa uma diferença significativa em termos estatísticos, enquanto não há um grande contraste quanto aos dados da casa A em relação a temperatura externa (Tabela 3).

As diferenças entre as médias de temperaturas internas e a média do meio externo durante o período do verão estão apresentadas na Figura 6.

Figura 6: Comparação entre médias térmicas a partir do teste de Games-Howell. Se um intervalo não contiver o zero, as médias correspondentes serão significativamente diferentes.



Fonte: Autores, 2022.

A análise da Figura 6 demonstra que os sistemas construtivos A e M mantiveram temperaturas com médias mais próximas também durante o verão. Enquanto entre os sistemas construtivos M e WF as médias de temperaturas foram as mais distantes.

3.4 Dados do monitoramento das temperaturas in situ mensuradas para os três sistemas construtivos e dados do ambiente externo ao longo do outono

A Tabela 4 reúne os valores mensurados durante o período de outono no Brasil, o qual ocorre entre os meses de março a junho.

Tabela 4: Temperatura média dos diferentes sistemas de construção na estação do outono.

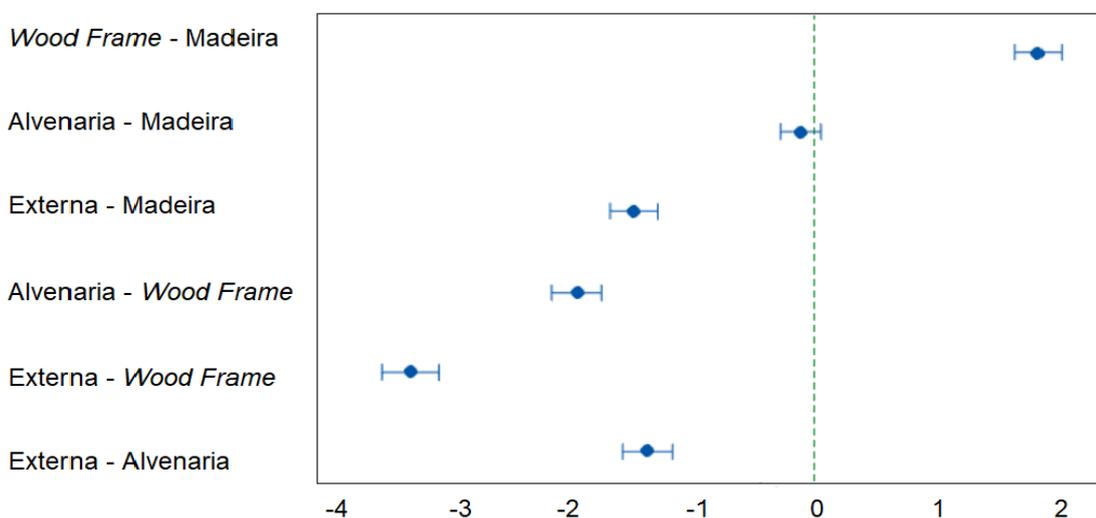
Sistemas de construção	n	Temperatura em °C média (desvio padrão)	Grupo	IC de 95%
Madeira	4488	19,83 (2,96)	A	(19,75 - 19,92)
Alvenaria	4488	19,72 (3,39)	A	(21,60 - 21,84)
Wood Frame	4488	21,72 (4,22)	B	(19,62 - 19,82)
Externa	4488	18,32 (4,39)	C	(18,19 - 18,45)

Nota: Médias que não compartilham um mesmo grupo são significativamente diferentes ($p < 0,05$) segundo o teste estatístico Anova (*One-way*) seguido do teste de Games-Howell.

Durante a estação de outono, as temperaturas médias das casas de M e A abordaram resultados semelhantes ($p > 0,05$). Todavia, esses sistemas certificaram uma diferença estatística significativa no que diz respeito à construção de WF (Tabela 4). Acerca da comparação da temperatura de cada edificação com a temperatura externa a elas, todas apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

A distinção entre as médias de temperaturas internas e a do meio externo durante o período do outono estão presentes na Figura 7.

Figura 7: Comparação entre médias térmicas a partir do teste de Games-Howell. Se um intervalo não contiver o zero, as médias correspondentes serão significativamente diferentes.



Fonte: Autores, 2022.

A análise da Figura 7 demonstra que os sistemas construtivos A e M mantiveram temperaturas com médias mais próximas também durante o outono. Enquanto que entre os sistemas construtivos M e WF as médias de temperaturas foram as mais distantes. A comparação das médias de temperatura entre o ambiente externo e os sistemas construtivos também evidenciou que as maiores diferenças foram observadas na residência construída em WF durante o outono.

3.5 Dados das percepções dos usuários sobre as condições térmicas nos três sistemas construtivos durante as quatro estações do ano

Quatorze funcionários do showroom responderam ao questionário contendo perguntas de 1 a 5 concernente à percepção térmica. Dentre os entrevistados, 8 são do sexo feminino e 6 do sexo masculino, com idades que variam de 21 a 50 anos.

Assim, durante as quatro estações do ano, os funcionários da construtora responderam as questões escolhendo uma das respostas predefinidas pelos pesquisadores, votando na opção de resposta que melhor representava a sensação térmica sentida por eles no momento da aplicação do questionário para cada sistema construtivo analisado. Os resultados qualitativos de cada pergunta proposta estão expressos em valores absolutos e percentuais, a partir de uma avaliação sazonal e podem ser verificados na Tabela 5.

Tabela 5: Respostas dos usuários ao questionário qualitativo de percepção térmica nos diferentes sistemas construtivos analisados durante as quatro estações do ano.

Tabela 5 - Respostas do questionário qualitativo de percepção térmica nos diferentes modelos de sistemas de construção por estações do ano.

Sistemas de Construção		Alvenaria				Madeira				Wood Frame			
Questionário	Estações do ano	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono
Como você descreveria a maneira que está se sentindo nesse momento?													
	Com muito calor	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	Com calor	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (66,7%)	0 (0%)	0 (0%)
	Com um pouquinho de calor	0 (0%)	0 (0%)	2 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (66,7%)	1 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (50%)	0 (0%)
	Bem, nem com calor nem com frio	1 (33,3%)	3 (100%)	1 (25%)	1 (25%)	3 (100%)	1 (33,3%)	2 (50%)	1 (25%)	3 (100%)	1 (33,3%)	2 (50%)	3 (75%)
	Com um pouquinho de frio	2 (66,7%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)
	Com frio	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	Com muito frio	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Qual a sua opinião sobre a sua exposição ao sol neste local?													
	Muito desconfortável	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	Desconfortável	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (33,3%)	0 (0%)	0 (0%)
	Um pouco desconfortável	2 (66,7%)	1 (33,3%)	1 (25%)	2 (50%)	1 (33,3%)	2 (66,7%)	2 (50%)	1 (25%)	3 (100%)	2 (66,7%)	1 (25%)	0 (0%)
	Neutro	1 (33,3%)	2 (66,7%)	3 (75%)	2 (50%)	2 (66,7%)	1 (33,3%)	2 (50%)	3 (75%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (75%)	4 (100%)
Qual a sua opinião sobre a ventilação neste lugar?													
	Nenhuma	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	Insuficiente	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	Pouco ventilado	1 (33,3%)	3 (100%)	2 (50%)	2 (50%)	0 (0%)	1 (33,3%)	1 (25%)	1 (25%)	1 (33,3%)	3 (100%)	1 (25%)	0 (0%)
	Ventilado	2 (66,7%)	0 (0%)	1 (25%)	2 (50%)	3 (100%)	1 (33,3%)	2 (50%)	2 (50%)	2 (66,7%)	0 (0%)	2 (50%)	4 (100%)
	Ligeiramente ventilado	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (33,3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)	0 (0%)
	Muito ventilado	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)	1 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Qual a sua opinião sobre a umidade neste lugar?													
	Umidade excessiva	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	Úmido	2 (66,7%)	2 (66,7%)	1 (25%)	1 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (66,7%)	0 (0%)	0 (0%)
	Neutro	1 (33,3%)	1 (33,3%)	3 (75%)	2 (50%)	1 (33,3%)	3 (100%)	3 (75%)	2 (50%)	2 (66,7%)	1 (33,3%)	3 (75%)	2 (50%)
	Seco	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)	2 (66,7%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (50%)	1 (33,3%)	0 (0%)	1 (25%)	2 (50%)
Como você gostaria de estar se sentindo nesse momento?													
	Bem mais quente	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	Mais quente	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (75%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)
	Um pouco mais quente	2 (66,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	Assim mesmo, nem mais quente ou frio	1 (33,3%)	1 (33,3%)	0 (0%)	1 (25%)	3 (100%)	2 (66,7%)	0 (0%)	1 (25%)	2 (66,7%)	0 (0%)	2 (50%)	2 (50%)
	Um pouquinho mais frio	0 (0%)	2 (66,7%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (33,3%)	4 (100%)	0 (0%)	1 (33,3%)	1 (33,3%)	1 (25%)	1 (25%)
	Mais frio	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (66,7%)	1 (25%)	0 (0%)
	Bem mais frio	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

Nota: os dados estão descritos por número de pessoas (n) e percentual (%)

4 DISCUSSÃO

Tratando-se do conforto térmico conferido no período do inverno, constatou-se que a casa produzida pelo modelo WF apresentou uma temperatura média ligeiramente mais alta. Nota-se também que a temperatura interna neste sistema de construção está 2,68°C acima da temperatura média do meio externo (16,87°C), enquanto os modelos M e A se apresentaram acima da temperatura média do meio externo em apenas 1,42°C e 1,59°C, respectivamente. Ademais, a casa em WF certificou a média mais próxima indicada pela vigilância sanitária brasileira - “para condições internas no inverno, a faixa recomendável de operação deverá ser de 20°C a 22°C” segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (BRASIL, 2003). Tendo em vista o fato das temperaturas durante esse período serem as mais baixas do ano, somando isto à circunstância da cidade na qual as casas estão localizadas possuir naturalmente temperaturas menores, é possível verificar que o modelo WF apresenta estatisticamente valores mais próximos ao considerado termicamente confortável para o período do inverno conforme recomendado pela ASHRAE (2009).

Considerando o conforto térmico a partir dos dados qualitativos (TABELA 5) no inverno, as edificações em WF e M obtiveram resultados bastante satisfatórios. Em contrapartida, a casa A indicou ser um ambiente um pouco frio para 66,7% dos entrevistados, vale notar que sua temperatura no momento foi registrada em 23°C, muito próxima aos 23,3°C da casa WF. Com relação à exposição ao sol, a casa M, com 20,5°C, não obteve resultados extremamente satisfatórios, entretanto, se manteve acima dos níveis dos outros dois modelos. Todavia, as casas WF e A assimilaram-se em relação a ventilação do ambiente, com ambas indicando uma boa ventilação para 66,7% das respostas e o restante, a falta de um pouco de ventilação. Já na casa M, todos os entrevistados apontaram o local como bem ventilado. A partir das respostas referentes à umidade, pode-se notar que a construção em Alvenaria assinalou ser um ambiente aparentemente úmido, enquanto as casas com a madeira como matéria-prima um ambiente seco (para 2/3 das respostas da casa M e 1/3 da WF).

Na estação primavera foi possível observar que mesmo não apresentando semelhanças estatísticas os valores das temperaturas médias da casa A e da temperatura externa se aproximaram, o que se trata de uma tendência que pôde ser averiguada sobretudo nas Tabelas 2 e 3. A construção M obteve uma média de 1°C acima da temperatura externa. A casa em WF novamente se manteve com a maior média, contrastando valores considerados ideais para o conforto térmico de um ambiente fechado em períodos mais quentes, recomendados por Brasil (2003, já que “a faixa recomendável de operação das Temperaturas de Bulbo Seco, nas condições internas de verão, deverá variar de 23°C a 26°C. A seleção da faixa depende da finalidade e do local de instalação” (BRASIL, 2003). No entanto, foi a temperatura média que mais se aproximou dos valores recomendados pela ASHRAE (2009), conforme valores calculados para a top demonstrados na Tabela 6.

A casa WF possui uma tendência em notificar as temperaturas mais altas, ao longo do período de aplicação do questionário, o que foi percebido pelos funcionários ao apresentarem um número alto de respostas indicando estarem com calor, a qual foi seguida pela casa M. As três edificações não obtiveram

respostas satisfatórias para o tópico concernente à ventilação. As casas A e WF apuraram as maiores porcentagens como úmidas e a A, obteve resultados superiores quando tratada a exposição ao sol. Dessa maneira, correlacionando a percepção de conforto térmico, a casa A obteve um maior destaque, contrariando a constatação verificada no quesito quantitativo do período em questão.

No decorrer da estação mais quente do ano - o verão -, a temperatura média da casa A se mostrou extremamente próxima à média da temperatura externa, inclusive não contendo diferenças estatisticamente significativas, como já apresentado na Tabela 3. Novamente a casa M permaneceu com média ligeiramente maior que a casa A, constatando que durante a estação do verão, obteve os resultados estatísticos mais satisfatórios. A construção em WF se retratou pouco acima da taxa de temperatura ideal (23°C a 26°C) sugerida pela ANVISA (BRASIL, 2003) em períodos de temperaturas elevadas. O mesmo ocorreu em comparação às recomendações da ASHRAE (2009), a edificação WF teve a temperatura média (26,90°C) mais distante dos valores recomendados (24,78°C), conforme apresentado na Tabela 6.

Para os entrevistados, as edificações WF e M foram tidas como ventiladas por 50% dos interrogados, enquanto que para A, essa porcentagem representou a resposta “pouco ventilado”. Em 75%, todos os sistemas apresentaram ser neutros em relação a umidade, com apenas uma resposta “úmido” para A e M, e “seco” para WF. Apesar de as médias térmicas do sistema WF se manterem as mais altas ao longo do ano e de sua temperatura no momento da realização do questionário ser de 27,5°C (1,6°C acima da temperatura da casa A e 4,5°C, da M), a percepção térmica dos funcionários em relação a casa foi a mais favorável dentre os modelos estudados.

No outono, época em que as temperaturas começam a baixar, a casa de WF se exibiu com a maior média termal, como já esperado. Os valores também foram os que se mantiveram mais próximos aos valores recomendados pela ASHRAE (2009). Por esse fator, o modelo de construção torna-se mais favorável para essa estação em específico. As casas M e A, como já constatado na Tabela 4, possuem valores significativamente semelhantes e médias em torno de 1,5°C acima da média externa, enquanto a média da WF supera em 3,4°C. Dessa forma, por meio das respostas qualitativas do questionário, os usuários demonstraram melhor conforto térmico com o sistema WF se comparado com os sistemas A e M. Ademais, o WF obteve 100% das respostas indicando um ambiente ventilado, enquanto as outras duas edificações obtiveram apenas 50% dessa. No que diz respeito a umidade, os três modelos atingiram ½ de respostas “neutro”, porém enquanto a casa A auferiu duas respostas divergentes, as casas com estruturas de madeira foram consideradas como ambientes secos.

Na Tabela 6 é possível comparar o desempenho térmico dos diferentes sistemas construtivos com os valores de referência para temperaturas em ambientes fechados (públicos ou coletivos e climatizados) para as quatro estações do ano. Na Tabela 6, são apresentados os valores de principal recomendados para as edificações de acordo com a Equação 1 da ASHRAE (2009) e para os valores das temperaturas recomendados pela ANVISA (BRASIL, 2003) em cada estação do ano.

Tabela 6: Comparação dos desempenhos térmicos entre os diferentes sistemas construtivos durante as estações do ano.

Períodos do Ano	Temperaturas em °C					
	Ambiente Externo	Recomendado ¹		Madeira ²	Alvenaria ²	Wood Frame ²
		ASHRAE	ANVISA			
Inverno	16,87	23,20	20 a 22	18,29	18,46	19,55
Primavera	21,09	24,28	23 a 26	22,09	21,45	24,64
Verão	23,06	24,78	23 a 26	23,87	23,11	26,90
Outono	18,32	23,57	20 a 22	19,83	19,72	21,72

Notas: ¹valores de referência para o conforto humano segundo ASHRAE (2009) e Brasil (2003);

² temperaturas médias dos valores coletados in situ.

Na Tabela 6, é apresentada uma síntese da avaliação do melhor dentre os sistemas construtivos avaliados pelos usuários quanto a percepção de conforto térmico em cada estação, através da somatória dos votos dados as respostas do questionário (TABELA 5) que melhor define a sensação de conforto.

Tabela 7: As melhores percepções dos usuários quanto ao conforto térmico dos diferentes sistemas construtivos durante as estações do ano.

Períodos do Ano	Sistemas Construtivos		
	Madeira	Alvenaria	Wood Frame
Inverno	X		
Primavera	X ¹	X ¹	
Verão			X
Outono			X

Notas: ¹ sistemas construtivos que alcançaram o mesmo número de votos favoráveis quanto ao conforto térmico.

Logo, através das análises dos dados da Tabelas 6 e 7 é possível afirmar que o sistema WF apresenta um desempenho relevante para o clima Curitibano, tanto pela análise técnica das médias alcançadas durante as quatro estações do ano comparada com os valores de referências recomendados pela ASHRAE (2009) e ANVISA (BRASIL, 2003), tanto pela percepção de conforto dos usuários.

4.1 Análise geral

Ao analisar os três sistemas construtivos de forma qualitativa e quantitativa, abordados a partir das quatro estações anuais, houve um destaque atinente a casa WF, sobretudo concernente as estações mais frias, em razão da madeira possui alta resistência específica e boas características de isolamento térmico (ZENID, 2011)

De maneira geral, pode-se observar uma propensão da casa A abranger as medidas mais similares à temperatura externa, o que indica que para localidades onde prevalecem temperaturas com certa extremidade o sistema não seria o ideal, já que esse modelo de construção possui maior capacidade térmica comparado ao WF (VOGADO, 2019) e ter seu desempenho higrotérmico fortemente afetado pelas condições climáticas locais (ZHOU et al., 2018).

Apesar da presença de janelas em todos os cômodos, as quais sempre são mantidas abertas, devido a atuação dos funcionários no local, a ventilação natural do ambiente do sistema M não foi um fator de destaque. Agrupando os resultados de todas as estações e dado o fato anterior tratado, nota-se que a casa em WF obteve um melhor resultado.

A madeira é um material higroscópico, devido à estrutura química da parede celular, onde contém diversos polímeros de celulose, hemicelulose e lignina, que formam os grupos hidroxílicos. Dentre esses polímeros, a hemicelulose é a mais hidrófila, favorecendo a troca de água com o meio, que contribui para a variação dimensional da madeira (HILL, 2006). Esse fator, justifica os ambientes construídos a partir da madeira como matéria prima se tratarem de ambientes perceptivelmente mais secos (como observado nos resultados da Tabela 5, já que o material tende a absorver a água quando o ambiente sinaliza estar úmido).

A participação dos usuários por meio das respostas ao questionário foi essencial para alcançar resultados efetivos. Uma vez que, Alcântara e Santos (2022b, 2022c) destacaram a importância da participação do usuário nos estudos de Avaliação Pós-Ocupação para construir edificações confortáveis e como esta participação pode contribuir para gestão eficiente de recursos naturais.

Além dos fatores já tratados, também pode se levar em conta a coloração da fachada de cada construção, já que as cores mais fortes absorvem mais calor (VOGADO, 2019). A casa A é colorida em uma tonalidade de rosa forte, a WF em bege e a M em azul claro. Sendo assim, pode ter influenciado, ainda que de maneira leve, a mensuração do calor.

Ademais, diferentes fatores de design, materiais e condições operacionais também podem influenciar no processo térmico (MOUSLI e SEMPRINI, 2015), entretanto, as casas estudadas tratam-se de estruturas com designs distintos, e dado esse fato, esse quesito não pôde ser estudado.

5 CONCLUSÃO

Este estudo teve o intuito de analisar levantamentos dos seguintes parâmetros: sensação térmica, umidade, ventilação, exposição solar e, com maior destaque, a temperatura - compondo um estudo sobre o conforto térmico. A pesquisa levou em conta três modalidades de edificações - WF, A e M -, tendo em vista o clima e tendências da região. Doravante, foi possível destacar os pontos positivos, negativos e diferenciais das três casas a partir de uma análise estatística detalhada e de um questionário abrangendo tópicos relevantes para o conforto térmico. A pesquisa possibilita trazer à tona os benefícios e críticas de um sistema construtivo sustentável, ágil e econômico – o WF - não comum ao país de origem do estudo, possibilitando uma reflexão sobre os prós e contras importantes para a disseminação de seu uso. Assim também, foi possível compará-lo aos sistemas de construção M e A, tradicionais para a população.

Foi possível concluir que para localidades onde as temperaturas tendem a ser mais rigorosas no inverno ou se mantêm frias em boa parte do ano – como é o caso de Curitiba -, o uso do WF se manifestou vantajoso, uma vez que sua temperatura média permanece a mais alta durante o decorrer do ano. Posto isso, para regiões mais gélidas, a casa WF tende a ser a melhor opção, propondo um ambiente mais isolado e aquecido, com um bom conforto térmico. No decurso dos meses em que as temperaturas mais quentes foram registradas, sucedeu um contraponto quanto ao questionário e os dados estatísticos, por esse efeito, não foi possível constatar de forma concreta a edificação mais favorável para essas épocas e locais com temperaturas elevadas. Entretanto, independente do período anual, as edificações A e M alcançaram médias térmicas muito semelhantes.

Pela razão de o ambiente selecionado para a pesquisa se tratar de uma empresa, a quantidade de questionários aplicados foi limitada, não havendo a disponibilidade de avaliar constantemente o conforto dos funcionários. Conjuntamente, houve impedimentos ao investigar a questão da ventilação, visto que não foi viável detectar concretamente o ambiente onde cada entrevistado se situava nas edificações. Outros quesitos sobre os quais não se pôde analisar com profundidade e estão diretamente ligados a sensação térmica são as vestimentas, o estado de saúde e o peso de cada colaborador entrevistado.

Por motivo da desigualdade arquitetônica das casas, a análise dos dados e interpretação referente a ventilação e passagem do ar foram comprometidas. Dessa mesma forma, não se pode saber até qual ponto a coloração distinta de cada casa influenciou na percepção dos dados. Esses apuramentos geram pontos de partida convenientes para pesquisas futuras, as quais virão a agregar positivamente ao estudo de conforto térmico referente a cada sistema.

Residential building performance assessment: a comparison of thermal comfort in three construction systems

ABSTRACT

This article presents a comparative analysis of thermal comfort in three residential buildings built with different construction systems: wood, masonry, wood frame. Through a detailed statistical analysis and a perception survey regarding the thermal sensation of the users of the environments throughout the four seasons of the year, the research highlighted the positive, negative and differentiating points of the three buildings through a comparative study. The buildings used as bases for this study are part of a construction company's sales stand, which at the time of the research were used for commercial activities, such as a sales office. The research brings a significant note regarding the wood frame construction system, which is still considered an innovative system for South American countries. The results highlighted the potential of the wood frame construction system in relation to thermal comfort in the predominantly cold subtropical climate of the Curitiba region.

KEYWORDS: Building performance assessment; thermal comfort; construction systems; long-term monitoring; user perception.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA M. M. A.; SANTOS, A. P. L. Avaliação pós-ocupação em edificação habitacional: uma revisão sistemática da literatura. 2022a. No prelo.

ALCÂNTARA M. M. A.; SANTOS, A. P. L. Avaliação Pós-Ocupação (APO): um retrofit baseado na percepção do usuário. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - CONTECC. Goiânia, 2022b.

ALCÂNTARA M. M. A.; SANTOS, A. P. L. Uma contribuição da Avaliação Pós-Ocupação (APO) para o desenvolvimento sustentável. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - CONTECC. Goiânia, 2022c.

ABREU, R. L. Mapa do Estado do Paraná. 2006. Disponível:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Parana_MesoMicroMunicip.svg.
Acesso em: 11 de set. de 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução n. 9 de 16 de janeiro de 2003. Brasília: ANVISA; 2003.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. DE M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22(6), 711–728, 2014.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, Atlanta, 2004.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). ASHRAE Handbook Fundamentals. Atlanta, 2009.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). ASHRAE Standard 55. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2010.

AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S. V. Thermal comfort. Passive and Low Energy Architecture International, v.2, 2007. Disponível em:
<https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Szokolay%20e%20Auliciems,%201997.pdf>. Acesso em 15 de out. de 2021.

CAMPOS, R. F. Análise da influência da orientação da testada dos lotes na ocupação do setor estrutural de Curitiba. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/2157>. Acesso em 11 de set. de 2022.

CLIMATEMPO. Climatologia em Curitiba, BR. 2022. Disponível em: <https://www.climatepo.com.br/climatologia/271/curitiba-pr>. Acesso em: 14 de out. de 2022.

DARTEVELLE, O.; VAN MOESEKE, G.; MLECNIK, E.; ALTOMONTE, S. Long-term evaluation of residential summer thermal comfort: Measured vs perceived thermal conditions in nZEB houses in wallonia. *Building and Environment*, p. 107531, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107531>

GOOGLE MAPS. 2022. Disponível: <https://www.google.com.br/maps>. Acesso em 17 de out. de 2022.

GUEVARA, G.; SORIANO, G.; MINO-RODRIGUEZ, I. Thermal comfort in university classrooms: An experimental study in the tropics. *Building and Environment*, v. 187, p. 107430. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107430>

HILL, C. Wood modification: chemical, thermal and other processes. John Wiley e Sons. 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 10551: ergonomics of the thermal environments: assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. Genève, 1995

KAUSHIK, A.; ARIF, M.; TUMULA, P.; EBOHON, O. J. Effect of thermal comfort on occupant productivity in office buildings: response surface analysis. *Building and Environment*, v. 180, p.107021, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107021>

KIKI, G.; KOUCHADÉ, C.; HOUNGAN, A.; ZANNOU-TCHOKO, S. J.; ANDRÉ, P. Evaluation of thermal comfort in an office building in the humid tropical climate of Benin. *Building and Environment*, v. 185, p. 107277. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107277>

LANGEVIN, J.; GURIAN, P. L.; WEN, J. Tracking the human-building interaction: A longitudinal field study of occupant behavior in air-conditioned offices. *Journal of Environmental Psychology*, v. 42, p. 94-115. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2015.01.007>

LANGEVIN, J.; WEN, J.; GURIAN, P. L. Modeling thermal comfort holistically: Bayesian estimation of thermal sensation, acceptability, and preference distributions for office building occupants. *Building and Environment*, v. 69, p. 206-226. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.07.017>

LEITNER, D.; SOTSEK, N.; SANTOS, A. Post occupancy Evaluation in Buildings: Systematic Literature Review. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, v. 34, p. 03119002, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338973372_Postoccupancy_Evaluation_in_Buildings_Systematic_Literature_Review. Acesso em: 24 de fev. 2022.

MOLINA, J. C.; JUNIOR, C. C. Wood frame system for wood homes. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 31, p. 143–156. 2010. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/9cf8/041d550e46a7e8e9d9532e2da0b9d6d5cbeb.pdf>. Acesso em: 20 de set. de 2022.

MOUSLI, K.; SEMPRINI, G. Thermal performances of traditional houses in dry hot arid climate and the effect of natural ventilation on thermal comfort: A case study in Damascus. *Energy Procedia*, v. 78, p. 2893–2898. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.661>

NASCIMENTO, O. L. do. *Alvenarias*. IBS, CBCA, 2004.

RODRÍGUEZ, C.; CORONADO, M. C.; MEDINA, J. M. Thermal comfort in educational buildings: The Classroom-Comfort-Data method applied to schools in Bogotá, Colombia. *Building and Environment*, p. 107682. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107682>

SOTSEK, N., C.; SANTOS, A. P. L. Panorama do sistema construtivo light wood frame no Brasil. *Ambiente construído*, v. 18, p. 309-326, 2018. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000300283>

STAVECKIS, A.; BORODINECS, A. Impact of impinging jet ventilation on thermal comfort and indoor air quality in office buildings. *Energy and Buildings*, v. 235, p. 110738. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110738>

SUN, C.; CAI, G.; LIU, W.; ZOU, Z.; HUANG, C. Thermal Comfort in Residences Related to Respiratory Diseases among Preschool Children in Shanghai. *Energy and Buildings*, p. 110729. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110729>

TSANG, T. W.; MUI, K. W.; WONG, L. T. Investigation of thermal comfort in sleeping environment and its association with sleep quality. *Building and Environment*, v. 87, p. 107406. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107406>

VOGADO, F. Casas pré-fabricadas modulares sustentáveis: Análise do sistema construtivo e conforto térmico. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ). DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS. CURSO DE Engenharia Civil, Ijuí, 2019. Disponível em: <http://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/handle/123456789/6739>. Acesso em: 05 de set. de 2021.

ZENID, J. G. Madeira na construção civil. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.estruturas.ufpr.br/wp-content/uploads/2015/02/madeira-na-constru%c3%87%c3%83o-civi.pdf>. Acesso em: 01 de out. de 2022.

ZHOU, X.; CARMELIET, J.; DEROME, D. Influence of envelope properties on interior insulation solutions for masonry walls. *Building and Environment*, v. 135, p. 246–256. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.047>

Recebido: 20 fev. 2023.

Aprovado: 25 mar. 2023.

DOI: 10.3895/rbpd.v12n3.16090

Como citar: OLIVEIRA, L. S.; SOTSEK, N. C.; MACHADO, E. L.; MARQUES, M. A. M.; ALCÂNTARA, M. M. A.; SANTOS, A. P. L. Avaliação de desempenho de edificação habitacional: uma comparação do conforto térmico em três sistemas construtivos. *R. Bras. Planej. Desenv.* Curitiba, v. 12, n. 03, p. 859-882, set./dez. 2023. Disponível em: <<https://periodicos.ufpr.edu.br/rbpd>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Márcia Maria Alves Alcântara

R. XV de Novembro, 1299 - Centro, Curitiba - PR

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

