ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Análise comparativa do desempenho de uma habitação segundo os limites da NBR 15575 e da Passive House Standard

Comparative analysis of the performance of a house according to NBR 15575 and the Passive House Standard

Julia da Cruz Lopes
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | ju-0-9@hotmail.com
Carolina de Mesquita Duarte
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | carolinademesquitaduarte@hotmail.com
Gabriela Meller
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | gabriela.meller@ufpel.edu.br
Roberta Mulazzani Doleys Soares
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | soares.roberta@ufpel.edu.br
Clarissa Sartori Ziebell
Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre | Brasil | clarissa.ziebell@ufrgs.br
Eduardo Grala da Cunha
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | eduardogralacunha@yahoo.com.br

Resumo

O desafio na construção civil é desenvolver estratégias eficazes que proporcionem conforto térmico aos usuários com consumo reduzido de energia elétrica. Portanto, este estudo teve como objetivo comparar o desempenho térmico de uma residência na Zona Bioclimática Brasileira 2, certificada pela Passive House (PH), com o modelo de referência da NBR 15575 e um modelo atendendo aos requisitos mínimos dessa norma, mediante simulações com o software EnergyPlus. Os resultados indicaram que o modelo PH obteve desempenho térmico superior, enquanto o modelo baseado nos parâmetros limites da NBR 15575 resultou em desempenho mínimo. Uma análise de conforto térmico revelou que a PH apresentou acentuado conforto térmico anual (62,6%), seguido do modelo com os requisitos mínimos da norma (54,6%) e do modelo de referência (51,9%). Desse modo, verificou-se a qualidade térmica da PH, decorrente do alto isolamento térmico e massa térmica, além da relevância do atendimento aos parâmetros impostos pela norma. Ainda, constatou-se a importância de soluções que superem os padrões estabelecidos pela norma de desempenho, visando aprimorar tanto a eficiência energética quanto o conforto térmico dos usuários.

Palavras-chave: Simulação. Desempenho térmico. Passive House. NBR 15575. EnergyPlus.

Como citar:

LOPES, J. C.; DUARTE, C. M.; MELER, G.; SOARES, R. M. D.; ZIEBELL, C. S.; CUNHA, E. G. Análise comparativa do desempenho de uma habitação segundo os limites da NBR 15575 e da Passive House Standard. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

The challenge in civil construction is to develop effective strategies that provide thermal comfort to users with reduced electricity consumption. Therefore, this research aimed to compare the thermal performance of a residence in Brazilian Bioclimatic Zone 2, certified by Passive House (PH), with the NBR 15575 reference model and a model that complies with the minimum requirements of this standard, using simulations with the EnergyPlus software. The results indicated that the PH model achieved superior thermal performance, while the model based on the limit parameters of NBR 15575 resulted in minimal performance. An analysis of thermal comfort indicated that the PH model showed significant annual thermal comfort (62.6%), followed by the model with the minimum requirements of the standard (54.6%) and the reference model (51.9%). This verified the thermal quality of the PH due to its high thermal insulation and thermal mass, as well as the importance of complying with the parameters required by the standard. In addition, the importance of solutions that improve on the standards established by the performance standard was noted to improve both energy efficiency and users' thermal comfort.

Keywords: Simulation. Thermal Performance. Passive House. Brazilian Standard NBR 15575. EnergyPlus.

INTRODUÇÃO

O alto consumo de energia do setor de edificações e a consequente emissão de gases de efeito estufa conduziram a União Europeia a publicar, em 2010, a Diretiva 2010/31/EU [1], que determina que todas as novas construções deverão ter balanço energético quase nulo (nZEB) até o final de 2020. Assim, a busca por estratégias eficazes na construção civil, visando garantir conforto térmico aos usuários com um consumo energético reduzido, é um desafio persistente. Uma abordagem viável para atingir esse objetivo é a aplicação do conceito de Casa Passiva (Passive House).

A Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações (NBR 15575) estabelece critérios e requisitos mínimos para o desempenho térmico de edificações, pretendendo assegurar o conforto dos usuários e promover a eficiência energética [2]. Além disso, há a certificação Standard Passive House (PH), reconhecida internacionalmente como um padrão de excelência em eficiência energética e conforto térmico. As PHs baseiam-se em requisitos estabelecidos de projeto [3], que objetivam minimizar o consumo de energia para aquecimento e resfriamento, garantindo, ao longo de todo o ano, um consumo mínimo de energia e, também, um ambiente interior saudável e confortável [4]. Assim, o conceito PH se baseia em cinco estratégias fundamentais: altos níveis de isolamento do envelope da edificação; janelas eficientes; estanqueidade; ventilação mecânica; ventilação mecânica com recuperação de calor; e minimização de pontes térmicas [5].

Dentre as estratégias de uma PH, o isolamento térmico exterior é um dos princípios [5]. Para o clima brasileiro, a indicação do Passive House Institut é de 0,5 W/(m².K). Com relação às esquadrias, é imprescindível que estas possuam uma transmitância térmica (U_w) de 1,25 W/m².K) a 1,40 W/(m².K). O sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor precisa ser eficiente em 85%, transferindo o calor entre o ar interno (insuflamento) e o ar externo (exaustão). O sistema precisa manter a umidade relativa sob controle, manter o ambiente interno com alta qualidade em termos de emissão de CO_2 e outros gases poluentes, além de evitar a proliferação de fungos

filamentosos. A estanqueidade também é outro aspecto importante. Em uma PH o nível de infiltração deve ser muito baixo, no máximo 0,6 trocas do ar do ambiente por hora. Tanto os fechamentos opacos como transparentes juntos, deverão garantir um edifício estanque [6].

Diversos estudos têm fomentado PHs ao nível nacional [4, 7-10] e, também, internacional [11-13]. Diante de possíveis discrepâncias de desempenho térmico e da eficiência energética de habitações convencionais e de PHs, torna-se evidente a necessidade de explorar alternativas que promovam a eficiência energética e o conforto dos usuários.

Nesse contexto, o presente estudo tem o objetivo de realizar uma análise comparativa do desempenho térmico de uma habitação unifamiliar situada na Zona Bioclimática Brasileira 2 Brasileira, que recebeu certificação da PH, em comparação com o modelo de referência pré-estabelecido pela norma brasileira NBR 15575 [2] e, também, com um modelo atendendo aos requisitos mínimos da norma, pois ao aprofundar os conhecimentos na área, reforça-se o papel dos profissionais da construção civil na busca por soluções que otimizem o desempenho térmico das edificações. Além disso, contribui-se com a redução do consumo energético e para a promoção de ambientes internos mais saudáveis e confortáveis.

MÉTODO

A metodologia é composta de quatro etapas: objeto de estudo; apresentação dos modelos: MREAL, MREF e ML15575; condições de contorno das simulações e; variáveis de saída. Todos os modelos foram desenvolvidos no software SketchUp Make 2017, por meio do plugin Euclid 0.9.4.4, e foram realizadas simulações horárias ao longo do ano com o programa computacional EnergyPlus versão 9.6.

O arquivo climático utilizado nas simulações foi desenvolvido por Leitzke *et al.* [14], com base em dados coletados durante o ano de 2014 no município de Capão do Leão-RS, que faz divisa com a cidade de Pelotas-RS. Com relação a temperatura do solo, ressalta-se que os dados foram calculados por meio do pré-processador Slab.

OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo é a primeira residência certificada como Passive House no estado do Rio Grande Sul (RS). Trata-se de uma edificação unifamiliar térrea com área de 144 m² (Figura 1), localizada em Pelotas, na Zona Bioclimática Brasileira 2.

Figura 1: Planta baixa do objeto de estudo



Fonte: os autores.

APRESENTAÇÃO DOS MODELOS: MREAL, MREF E ML15575

O Modelo Real (MREAL), o Modelo de Referência (MREF), e o Modelo Limite Requerido pela NBR 15575 (ML15575) correspondem a mesma habitação unifamiliar, porém com algumas distinções: o denominado MREAL é o modelo com certificação PH; o chamado MREF é o modelo que segue as orientações da NBR 15575 [2] para a criação de um modelo de referência, exigindo peculiaridades com relação à materialidade e à área dos elementos transparentes; e por fim, o intitulado ML15575, possui paredes externas e cobertura definidas conforme os padrões mínimos descritos na norma. Diante disso, os materiais e as propriedades termofísicas adotadas em cada modelo estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Materiais e propriedades termofísicas de cada modelo (continua)

MREAL					
Material	Condutividade Térmica [W/(m.K)]	Calor específico [J(kg.K)]	Densidade (kg/m³)	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa
Piso Cerâmico 1cm	1,00	920	2000	0,4	0,90
Argamassa 5cm	1,15	920	2000	0,8	0,90

Fonte: os autores, baseado na NBR 15220 [13] e na NBR 15575 [2].

Tabela 1: Materiais e propriedades termofísicas de cada modelo (continuação)

MREAL					
Material	Condutividade Térmica [W/(m.K)]	Calor específico [J(kg.K)]	Densidade (kg/m³)	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa
XPS 3cm	0,035	1420	50	0,3	0,90
Laje Concreto 5cm	2,1	1000	2400	0,8	0,90
Laje Cerâmica 8cm	0,65	920	1400	0,2	0,90
Reboco 1cm externo e 3cm interno	1,15	920	2200	0,2	0,90
Tijolo Cerâm. 19 cm	0,6	100	1400	0,2	0,90
EPS 12,6cm parede e 25cm na cobertura	0,035	1420	50	0,2	0,90
Forro de Gesso 2cm	0,35	840	850	0,4	0,90
Telha de Aço 0,5 mm	55	460	7800	0,65	0,25
Isolamento do piso 3cm	0,03	167	40	0,2	0,25
Vidro		Fator solar (FS) 0,27		Transmitância térmica (U) 1,10W/(m².K)	
MREF					
Paredes externas	1,75	1.000	2.200	0,58	0,90
Paredes internas	1,75	1.000	2.200	Valor do Modelo Real	Valor do Modelo Real
Pisos	1,75	1.000	2.200	Valor do Modelo Real	Valor do Modelo Real

Fonte: os autores, baseado na NBR 15220 [13] e na NBR 15575 [2].

Tabela 1: Materiais e propriedades termofísicas de cada modelo (continuação)

MREF					
Material	Condutividade Térmica [W/(m.K)]	Calor específico [J(kg.K)]	Densidade (kg/m³)	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa
Telha 6 mm	0,65	840	1700	0,65	0,90
Laje 10 cm	1,75	1.000	2.200	Valor do Modelo Real	Valor do Modelo Real
Perfis das esquadrias	Condutância térmica 56W/(m².K) e largura de 50mm				
	Vidro: Fator solar (FS) 0,87 e Transmitância Térmica (U) 5,70W/(m².K)			0,58	0,90
ML15575					
Tijolo Cerâm. 6 furos (9x14x24cm)	0,90	0,92	1600	0,2	0,90
Argamassa int. e ext. (2,5 cm)	1,15	1,00	2000	0,4	0,90
Telha de Fibrocimento	0,95	0,84	1900	0,65	0,25
Laje Concreto 10cm	1,75	1,00	2200	0,8	0,90
Vidro	Fator solar (FS) 0,27			Transmitância térmica (U) 1,10W/(m².K)	

Fonte: os autores, baseado na NBR 15220 [13] e na NBR 15575 [2].

No MREAL as paredes externas são de alvenaria, revestidas com EPS e rebocadas em ambos os lados. A cobertura é composta por uma laje de concreto coberta por telhas metálicas. E sobre a laje, há uma camada de EPS, revestida com argamassa. Os fechamentos do ML15575 (Tabela 2) baseiam-se nos valores mínimos recomendados pela NBR 15575 [2] para transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) para paredes e transmitância térmica (U) para coberturas.

Tabela 2: Valores de U e CT do ML15575

Fechamento	NBR 15575	ML15575
Paredes	U≤2,70W/m².K CT≥130kJ/(m².K)	U=2,46W/m².K CT=150kJ/kg.K
Cobertura	U≤2,30W/m².K	U=2,06W/m².K CT=233kJ/kg.K

Fonte: os autores, baseado na NBR 15220 [13] e na NBR 15575 [2].

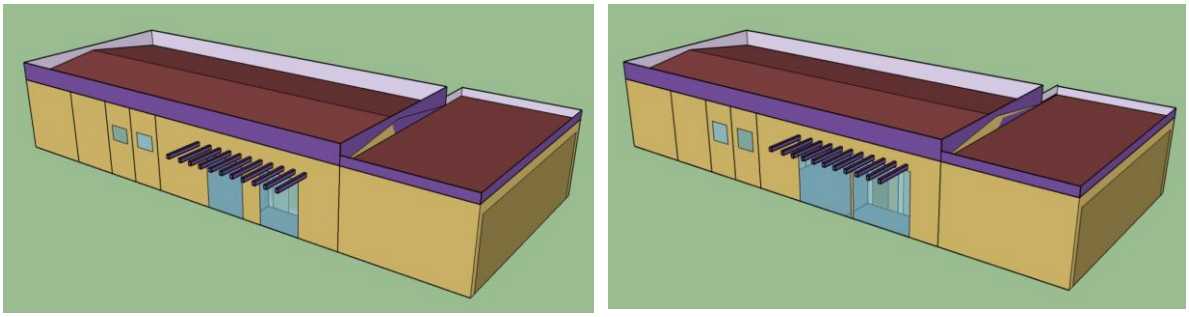
Quanto aos fechamentos do MREF, observa-se que eles foram determinados de acordo com as especificações da NBR 15575 [2], assim como as aberturas, pois os elementos transparentes foram redimensionados (Tabela 3 e Figura 2), a fim de atender os percentuais indicados pela norma.

Tabela 3: Área dos elementos transparentes dos ambientes

	ÁREA (m²)		
Ambiente	MREAL	MREF	ML15575
Sala de Estar/Jantar/Coz	8,64	6,06	8,64
Escritório	1,44	0,92	1,44
Banho Suíte	0,48	0,61	0,48
Banho Social	0,48	0,61	0,48
Suíte	1,68	2,40	1,68
Dormitório 1	1,68	1,61	1,68
Dormitório 2	1,68	2,37	1,68
Lavanderia	1,20	1,00	1,20

Fonte: os autores.

Figura 2: MREAL (à esquerda) e MREF (à direita) plugin Euclid



Fonte: os autores.

CONDIÇÕES DE CONTORNO DAS SIMULAÇÕES

As condições de contorno do MREAL, MREF e ML15575 foram baseadas na NBR 15575 [2], e incluem a modelagem das cargas internas (ocupação, iluminação e equipamentos), padrão de abertura de portas e janelas e os setpoints do ar condicionado.

Com relação à ventilação, a NBR 15575 [2] fornece duas possibilidades de avaliação: simulação do modelo com o uso da ventilação natural ou sem o uso da ventilação natural, sendo climatizada artificialmente. O padrão de abertura das janelas e portas, tanto para o modelo com ventilação natural, quanto para o modelo climatizado artificialmente, foi definido de acordo com as especificações da NBR 15575 [2]. A única diferença entre os modelos em termos de configuração foi em relação aos coeficientes e expoentes, que nos modelos MREAL e ML15575 foram obtidos de Liddament [16], enquanto que no modelo MREF foram utilizados os valores definidos pela NBR 15575 [2].

VARIÁVEIS DE SAÍDA

As variáveis de saídas foram a temperatura externa (Text), a temperatura operativa (To), a carga térmica de aquecimento (CgTA), carga térmica de refrigeração (CgTR) e a carga térmica total (CgTT). Essas variáveis foram solicitadas na condição horária ao longo do ano e, com exceção da Text, foram inseridas na planilha de cálculo dos indicadores desenvolvida pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) [17].

A inclusão das variáveis de cada ambiente de permanência prolongada (APP) na planilha permitiu obter o percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa (PHFT), mediante a consideração da To dos modelos com ventilação natural. Destaca-se que foi adotado como parâmetro de intervalo para a To a faixa de 18°C a 26°C. Para a verificação das cargas térmicas, baseou-se nos dados advindos dos modelos sem ventilação natural. Todos esses resultados permitiram determinar o nível de desempenho térmico do MREAL.

Quanto à avaliação do conforto térmico, foi utilizado o modelo adaptativo descrito na ASHRAE 55 de 2023 [18], onde a temperatura neutra de conforto térmico (Tconf) está diretamente relacionada com a temperatura média exterior (Ta,ext), conforme a

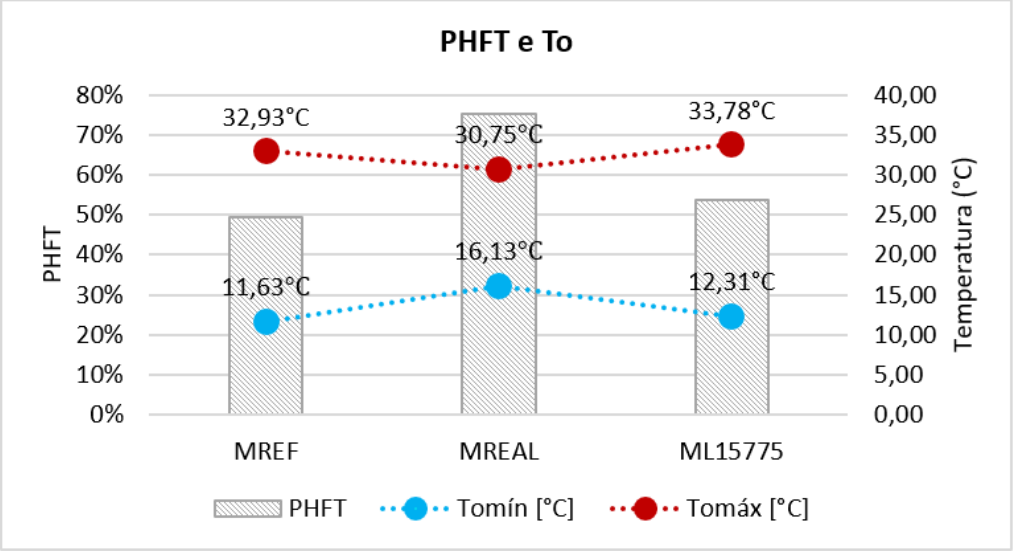
Equação 1. As faixas de aceitabilidade de 90% e 80% dos ocupantes - obtidas a partir da soma de 2,5°C e 3,5°C à Tconf - delimitam a zona de conforto.

$$Tconf = 0{,}31\ x\ Ta, ext + 17{,}8 \qquad \text{Equação 1}$$

RESULTADOS

Os resultados referem-se ao PHFT, às Tos, às cargas térmicas e à definição do nível de desempenho térmico. Deste modo, a Figura 3 apresenta o comparativo do PHFT e a To máxima e mínima do MREF, MREAL e do ML15575; a Figura 4 ilustra a CgTR, CgTA e a CgTT de cada um dos modelos; e a Figura 5 expõe o nível de desempenho térmico do MREAL.

Figura 3: PHFT e To do MREAL, MREF e do ML15575



Fonte: os autores.

Observa-se pela Figura 3 que o MREAL apresentou um PHFT elevado quando comparado com os demais modelos, sendo superior em 26% ao MREF e 22% ao ML15575. Quanto à To, verifica-se que em todos os modelos, a To mínima resultou abaixo do limite de 18°C, estando inferior em 6°C no MREF e no ML15575, já no MREAL ficou 2°C abaixo da temperatura base. Esses resultados denotam que o MREAL apresenta qualidade térmica superior ao MREF e ao ML15575, devido à envoltória composta por materiais isolantes. Também se verifica que o ML15575 é superior termicamente ao MREF, pois suas paredes são de tijolo cerâmico furado e rebocado em ambas as faces, enquanto que o MREF é bloco de concreto e sem nenhum revestimento.

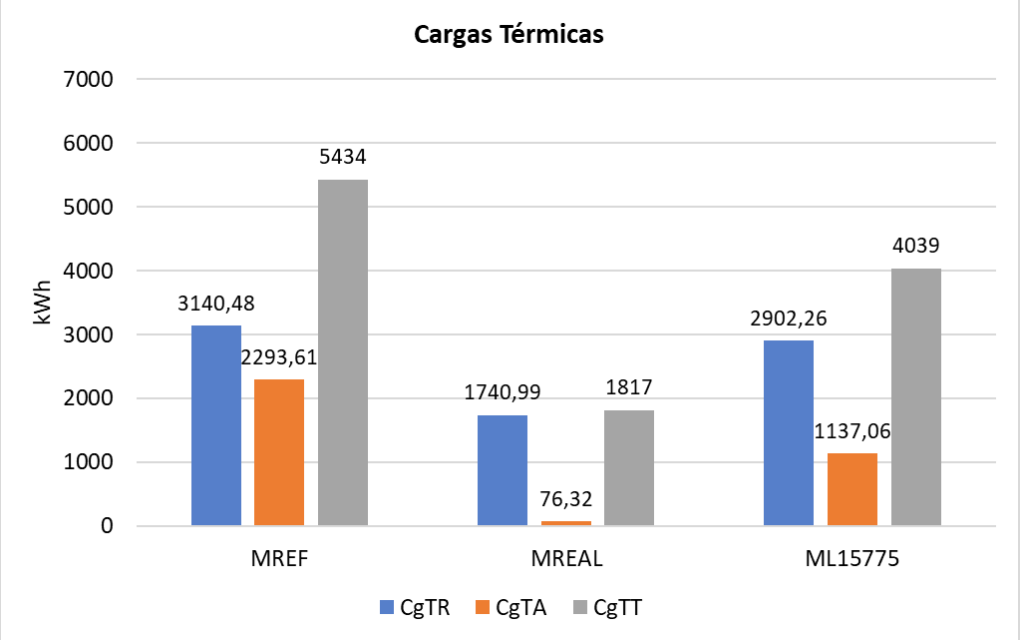
Em relação à To máxima, analisa-se que os três modelos resultaram em temperaturas superiores ao limite de 26°C. No MREF a temperatura excede em 7°C, no MREAL está 5°C acima da temperatura base, enquanto que no ML15575 obteve-se 8°C. Esses dados não foram significativamente discrepantes entre os três modelos, pois em uma

situação de temperaturas altas, os fechamentos isolados do MREAL dificultam a saída do calor, já no caso do MREF e do ML15575 as paredes mais leves facilitam a remoção do calor do interior dos ambientes.

Ao associar a To com os resultados do PHFT, constata-se que a ocorrência de temperaturas inferiores e superiores aos limites estabelecidos foi mais significativa no MREF e no ML15575 do que MREAL.

A Figura 4 ilustra as cargas térmicas resultantes do MREAL, MREF e do ML15575.

Figura 4: Cargas térmicas do MREAL, MREF e do ML15575



Fonte: os autores.

No que se refere à CgTR, o MREAL apresentou uma redução de demanda equivalente a aproximadamente 45% em comparação com o MREF e de 40% em relação ao ML15575. A CgTA do MREAL se comparada com o MREF e o ML15775 é inferior em 97% e 93%, respectivamente. Esse foi um dado expressivo, decorrente da alta capacidade dos materiais isolantes em reter o calor, ocasionando condições térmicas mais favoráveis no período de temperaturas mais baixas. Diante desses dados de cargas térmicas, analisa-se que a CgTT do MREAL é inferior em aproximadamente 67% ao MREF e em 55% em relação ao ML15575.

A Figura 5 apresenta o nível de desempenho térmico obtido pelo MREAL, o qual resultou em nível superior.

Figura 5: Nível de desempenho térmico do MREAL

Níveis	Critério	Atendimento
MÍNIMO	PHFT UH	Atende ao Nível Mínimo
	Tomáx UH	Atende ao Nível Mínimo
	Tomín UH	Atende ao Nível Mínimo
INTERMEDIÁRIO	PHFT UH	Atende ao Nível Intermediário
	CgTT UH	Atende ao Nível Intermediário
SUPERIOR	PHFT UH	Atende ao Nível Superior
	CgTT UH	Atende ao Nível Superior

NÍVEL DA EDIFICAÇÃO	
A edificação é nível mínimo?	Atende ao Nível Mínimo
A edificação é nível Intermediário?	Atende ao Nível Intermediário
A edificação é nível superior?	Atende ao Nível Superior

Fonte: os autores, adaptada da planilha de cálculo dos indicadores [16].

A partir de uma análise detalhada do atendimento de cada nível e dos dados expostos nas Figuras 3 e 4, constatou-se que o nível mínimo foi alcançado pelo cumprimento dos seguintes critérios:

- PHFTREAL maior que 44,59% do MREF e 48,20% do ML15575, conforme o preceito PHFTREAL > 0,9 x PHFTREF.
- A temperatura anual máxima do MREAL foi menor que a dos outros modelos, somada ao valor de tolerância (2°C).
- A temperatura anual mínima do MREAL foi maior que a dos outros modelos, subtraída do valor de tolerância (1°C).

O nível intermediário foi atingido ao cumprir os critérios do nível mínimo e o critério relacionado ao ΔPHFT. O incremento do ΔPHFT (PHFTREAL - PHFTREF) foi de 25,84%, superior ao ΔPHFTmín (MREF) de 16,26%. Além disso, o incremento do ΔPHFT (PHFTREAL - PHFTL15575) foi de 21,83%, superior ao ΔPHFTmín (ML15575) de 13,93%. O ΔPHFTmín foi calculado com base no ábaco e nas equações apresentadas na norma quando os PHFT dos modelos comparados ao MREAL for inferior a 70%.

O nível intermediário e o nível superior consideram a avaliação na redução da carga térmica total (RedCgTT), porém o MREAL atendeu ao nível superior devido à elevada redução da CgTT, pois a RedCgTTmín (obtida pelas tabelas da norma) foi de 35%, a qual provém da relação entre a CgTT do MREF e do ML15575 pela área de piso de todos os APPs (74,1m²). E associando-a com a RedCgTT, que considera a CgTT do MREAL com a CgTT do MREF, obteve-se 66,56%, e a RedCgTT calculada com base na CgTT do MREAL e do ML15575, resultou em 55,01%, ou seja, ambas foram superiores a RedCgTTmín. Portanto, o atendimento a todos os requisitos vinculados ao PHFT, às To mínimas e máximas, assim como a significativa RedCgTT, ocasionaram o nível superior do MREAL.

Os estudos estimularam a verificação do nível de desempenho térmico também do modelo ML15575. Deste modo, os dados desse modelo foram relacionados com os resultados do MREF, obtendo-se o exposto na Figura 6. Verifica-se que o ML15575

resultou em nível mínimo de desempenho térmico, corroborando com os limites estipulados pela norma.

Figura 6: Nível de desempenho térmico do ML15575

Níveis	Critério	Atendimento
MÍNIMO	PHFT UH	Atende ao Nível Mínimo
	Tomáx UH	Atende ao Nível Mínimo
	Tomín UH	Atende ao Nível Mínimo
INTERMEDIÁRIO	PHFT UH	Não Atende ao Nível Intermediário
	CgTT UH	Atende ao Nível Intermediário
SUPERIOR	PHFT UH	Não Atende ao Nível Superior
	CgTT UH	Não Atende ao Nível Superior

NÍVEL DA EDIFICAÇÃO	
A edificação é nível mínimo?	Atende ao Nível Mínimo
A edificação é nível Intermediário?	Não atende ao Nível Intermediário
A edificação é nível superior?	Não Atende ao Nível Superior

Fonte: os autores, adaptada da planilha de cálculo dos indicadores [15].

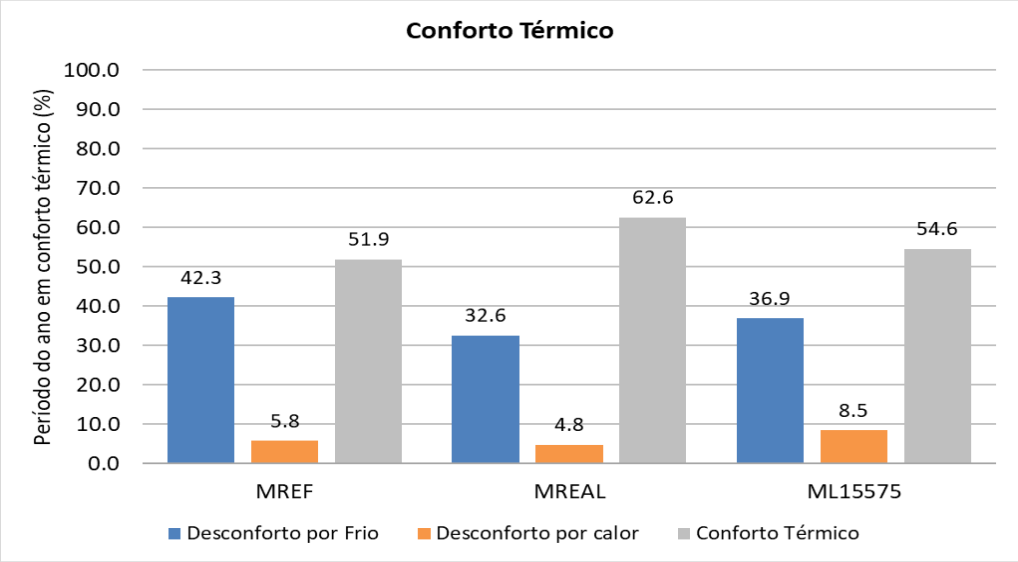
Quanto ao nível intermediário, observa-se que não houve atendimento, pois o ΔPHFT é de 4%, sendo inferior a diferença mínima exigida entre o PHFT obtido pelo ML15575 em relação ao PHFT do MREF (ΔPHFTmín), o qual compreende 16,26%.

Analisa-se que houve o atendimento do critério de RedCgTT, pois como o PHFT do MREF é inferior a 70%, a RedCgTTmín é zero, ou seja, a CgTT do ML15575 (4039 kWh) é menor que a CgTT do MREF (5434 kWh), conforme apresentado na Figura 4.

A Figura 7 apresenta os dados de conforto térmico para o ambiente que engloba a sala de jantar/estar e a cozinha, considerando a faixa de 80% de aceitabilidade. Esse espaço foi escolhido por ter a maior área e também por possuir janelas voltadas para duas orientações solares diferentes (sudeste e noroeste).

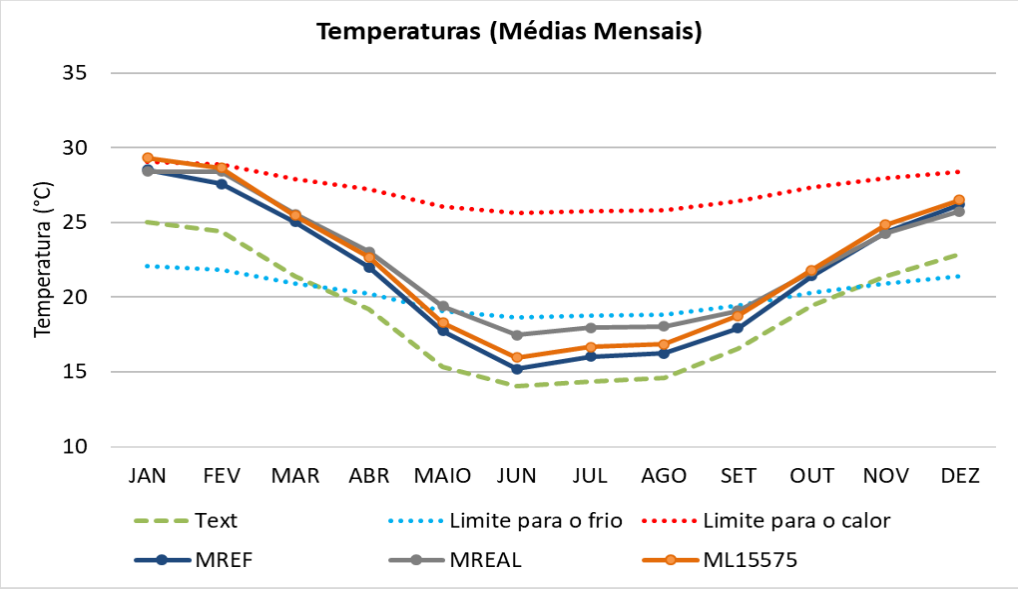
Os resultados expostos na Figura 7 demonstram que o MREAL foi o modelo com maior porcentagem do ano em conforto térmico (62,6%), seguido pelo ML15575 (54,6%) e pelo MREF (51.9%), resultado esse que ocorreu devido ao maior isolamento térmico e maior massa térmica da envoltória do MREAL. Observa-se, portanto, que o padrão da PH, seguido pelo MREAL, leva a um maior nível de conforto térmico do que o padrão mínimo exigido pela NBR 15575 [2] para a Zona Bioclimática 2. Ainda, ao comparar a Figura 7 com a Figura 8, observa-se que no MREAL, mesmo durante o período de desconforto por frio, as temperaturas médias encontram-se muito próximas da temperatura de limite de conforto. Ou seja, apesar de haver desconforto por frio, esse será menor do que o desconforto sentido nos modelos MREF e ML15575.

Figura 7: Conforto térmico MREAL, MREF e ML15575



Fonte: os autores.

Figura 8: Temperaturas médias mensais dos três modelos e faixa de conforto térmico



Fonte: os autores.

CONCLUSÃO

A pesquisa objetivou avaliar o desempenho térmico de uma edificação unifamiliar certificada como Passive House com base nos preceitos da NBR 15575. A residência foi denominada Modelo Real (MREAL), e foi comparada com um Modelo de Referência (MREF) e com um Modelo Limite Requerido pela NBR 15575 (ML15575), o qual possuía fechamentos com propriedades térmicas próximas aos limites mínimos estabelecidos pela norma.

Constatou-se que o MREAL apresentou dados satisfatórios de carga térmica e do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa, fatores que

condicionaram a obtenção do nível superior de desempenho térmico. A partir do estudo, foi revelada a importância de uma envoltória com condições construtivas adequadas termicamente, pois quando os fechamentos possuem pouco controle sobre as trocas térmicas, todo o calor produzido ou removido é facilmente perdido, denotando baixo impacto sobre o conforto térmico.

Em condição de temperaturas mais altas, uma edificação composta de materiais isolantes pode apresentar efeitos negativos sobre o conforto térmico, devido à dificuldade da remoção do calor dos ambientes, porém, diante de uma climatização, tem-se um efeito mais eficaz nesse tipo de envoltória, o que acaba ocasionando em menor consumo de energia. Em contraposição, ou seja, de temperaturas mais baixas, um envelope isolado minimiza perdas térmicas e retém mais facilmente o calor, aspectos que demandam menos energia para o condicionamento térmico.

As avaliações também integraram a investigação do nível de desempenho térmico do ML15575. Os resultados demonstraram que este modelo, ao conter fechamentos com propriedades térmicas com valores próximos aos limites impostos à norma, foi possível garantir um desempenho térmico mínimo. Entretanto, ao analisar o conforto térmico, observou-se que o MREAL, mesmo no período de desconforto por frio, permite manter as temperaturas internas mais próximas da zona de conforto do que o ML15575. Logo, torna-se interessante construir edificações com um isolamento térmico superior ao mínimo exigido pela norma.

Destaca-se como principal contribuição da pesquisa, o fomento à área ligada às edificações do tipo Passive House, avaliando-as quanto ao desempenho e conforto térmico nas condições climáticas do sul do país. Além disso, o estudo prosseguirá para análises da qualidade do ar interior, a fim de ampliar os conhecimentos sobre esse tipo de edificação no que diz respeito ao bem-estar dos habitantes.

Com relação à norma, atualmente a NBR 15575, para a Zona Bioclimática Brasileira 2, estabelece requisitos mínimos que são importantes para atender as condições necessárias de habitabilidade. Contudo, ainda se pode avançar na qualidade das edificações por meio de uma envoltória com maior isolamento e massa térmica, seguindo os preceitos da Passive House.

REFERÊNCIAS

[1] PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. Directiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de maio de 2010 Relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios (Reformulação). **Jornal Oficial da União Europeia**, 2010.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

[3] PASSIVE HOUSE INSTITUTE. **Criteria for Buildings:** Passive House- EnerPHit - PHI Low Energy Building. 2024. Disponível em: <https://passiv.de/downloads/03_building_criteria_en.pdff>. Acesso em: 05 abr. 2024.

[4] DALBEM, R.; CUNHA, E. G. da; VICENTE, R.; FIGUEIREDO, A. J.; SILVA, A. C. S. B. da. Discussão do desempenho da envoltória de uma passive house adaptada à zona

bioclimática 2 em acordo com o RTQ-R. **Ambiente Construído,** Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 201-222, jan./mar. 2017.

[5] WASSOUF, M. **Da casa Passiva à norma PassivHaus: A arquitetura passiva em climas quentes**. Gustavo Gili, Barcelona, 143 p., 2014.

[6] PASSIVE HOUSE BRASIL. **Associação Casa Passiva Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.passivehousesbrasil.com/>. Acesso em: 05 abr. 2024.

[7] DALBEM, R. **Desempenho de edificação residencial no Sul do Brasil sob a ótica energética e econômica:** da NBR 15575 à Passive House. 2018. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

[8] VETTORAZZI, E.; FIGUEIREDO, A.; REBELO, F.; VICENTE, R.; CUNHA, E. G. da (2021). Optimization of the passive house concept for residential buildings in the South-Brazilian region. **Energy and Buildings**, 240, 110871. doi:10.1016/j.enbuild.2021.110871

[9] RODRIGUES, T.; AIRES, K.; KNOP, S.; MACARTHY, M.; CUNHA, E. da. Otimização simplificada de uma Passive House observando o comportamento termo energético da edificação ENTAC 2020. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais…** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

[10] VETTORAZZI, E. **Contribuições das estratégias do conceito Passive House para edificações energeticamente mais eficientes na Região Sul-Brasileira**. 2019. 371 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

[11] COLCLOUGH, S.; SALARIS, C. (2024) Quantifying Overheating in nZEB Irish residential buildings. **Energy and Building**s, 303, 113571. doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113571

[12] BORRALLO-JIMÉNEZ, M.; LOPEZDEASIAIN, M. ESQUIVIAS, P. M.; DELGADO-TRUJILLO, D. (2022). Comparative study between the Passive House Standard in warm climates and Nearly Zero Energy Buildings under Spanish Technical Building Code in a dwelling design in Seville, Spain. **Energy and Buildings**, 254, 111570. doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111570

[13] ROJAS, G.; FLETCHER, F.; JOHNSTON, D.; SIDDALL, M. (2024) A review of the indoor air quality in residential Passive House dwellings. **Energy and Buildings**, 306, 113883. doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113883

[14] LEITZKE, R.K., et al. Optimization of the Traditional Method for Creating a Weather Simulation File: the pelotas.epw case. **Journal Of Civil Engineering And Architecture**, [S.L.], v. 12, n. 10, p. 741-756, 28 out. 2018. David Publishing Company. doi: 10.17265/1934-7359/2018.10.006.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

[16] LIDDAMENT, M. W. **Air Infiltration Calculation Techniques:** An Applications Guide. Bracknell: Berkshire, 1986. Disponível em: https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Guides/GU02%20AIR%20INFILTRATION%20CALCULATION%20TECHNIQUES.PDF. Acesso em: 13 abr. 2024.

[17] LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LABEEE). **NBR 15575-2021:** Desempenho térmico. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/Planilha_NBR15575_Oficial_R02.xlsm. Acesso em: 13 abr. 2024.

[18] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE Standard 55-2023: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2023.