



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

**GLEIDSON MARTINS DA COSTA**

**DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES COM  
PAREDE DE CONCRETO ARMADO MOLDADO *IN LOCO* NO  
MUNICÍPIO DE PAULO AFONSO - BA**

**Recife - PE**  
**2022**



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

**GLEIDSON MARTINS DA COSTA**

**DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES COM  
PAREDE DE CONCRETO ARMADO MOLDADO *IN LOCO* NO  
MUNICÍPIO DE PAULO AFONSO - BA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dra. Stela Fucale Sukar

Co-orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dra. Andréa Batista de Farias Dias

**Recife - PE**  
**2022**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Universidade de Pernambuco – Recife

C837d Costa, Gleidson Martins da  
Desempenho e conforto térmico em habitações com  
parede de concreto armado moldado in loco no município de  
Paulo Afonso - BA. / Gleidson Martins da Costa. – Recife:  
UPE, Escola Politécnica, 2022.

140 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Stela Fucale Sukar  
Coorientadora: Profa. Dra. Andréa B. de Farias Dias

Dissertação (Mestrado - Construção Civil) Universidade  
de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil, 2022.

1. Conforto Ambiental. 2. Semiárido. 3. Projeto  
Bioclimático. 4. Envoltória. I. Engenharia Civil –  
Dissertação. II. Sukar, Stela Fucale (orient.). III. Dias,  
Andréa Batista de Farias Dias (coorient.). IV. Universidade  
de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em  
Construção Civil. V. Título.

CDD: 690.028

**GLEIDSON MARTINS DA COSTA**

**DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES  
COM PAREDE DE CONCRETO ARMADO MOLDADO IN LOCO  
NO MUNICÍPIO DE PAULO AFONSO - BA**

**BANCA EXAMINADORA:**

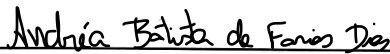
**Orientadora**



---

Profa. Dra. Stela Fucale Sukar  
Universidade de Pernambuco

**Coorientador**



---

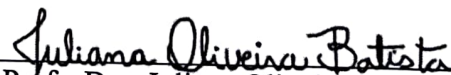
Profa. Dra. Andréa Batista de Farias Dias  
Universidade de Pernambuco

**Examinadores**



---

Profa. Dra. Yêda Vieira Póvoas  
Universidade de Pernambuco



---

Profa. Dra. Juliana Oliveira Batista  
Universidade Federal de Alagoas

Recife-PE  
2022

## AGRADECIMENTOS

Mais um ciclo que se encerra no processo de minha formação acadêmica. Durante esse período do mestrado, impactado por uma pandemia, vivi momentos de alegria e tristeza, que ajudaram na construção e consolidação do que sou hoje como profissional e pessoa. Muitos desses momentos foram compartilhados com pessoas que deixarão, para sempre, um pedaço de suas lembranças comigo.

Devo os meus agradecimentos, ao Deus, que me concedeu a oportunidade de vivenciar essa experiência.

Aos meus avós Maria de Lourdes e José Martins, pelo exemplo de dedicação, respeito e caráter e por todo esforço que dedicaram para minha criação e formação. À minha irmã Carla Malâny e minha mãe Geane Martins, por todo suporte, amor e companheirismo. Aos meus filhotes felinos Calypso, Dilma e Zeca, que me encheram/enchem de carinho, lambidas e unhas. Aos meus tios e primos, que também me deram apoio em vários momentos da vida para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus amigos, Felipe Guilherme, Danilson Rodrigues, Adriano Moraes, Jaiane Maia, Robério Satyro e Jéssika Fernandes (e família), que, mesmo distantes, se fizeram presentes em diversos momentos da minha vida, antes e durante o mestrado, enchendo os meus dias de alegria, bem como dando apoio nas ocasiões nas quais me via sem tanta energia para seguir batalhando. Também aos meus amigos do mestrado/UFAL, Eduardo Cadete e Bruna Martins, pela parceria na academia.

Ao José Marcelo, que foi meu companheiro durante essa jornada. Você foi a pessoa com quem eu compartilhei as mínimas experiências deste mestrado, desde o ingresso até o processo elaborativo desta dissertação. Agradeço por ter aceitado encarar o desafio de sair de Serra Talhada e partir para Recife, mesmo diante de tantas incertezas, por ter parado e ouvido as minhas angústias, por ter ajudado no alívio das cobras e pressões diárias e por ter se debruçado sobre a minha escrita enquanto conversávamos sobre nossas paixões: Vôlei, Teoria Queer, Conforto, Gênero, Desempenho. Não poderia deixar também de agradecer a Fia, Arleide e Rena (em nome de toda a família) por terem torcido e comemorado as minhas conquistas, pelo carinho que recebi em cada visita que fiz a Tucano-BA. Agradeço pelo modo como fui recebido em suas famílias.

Aos meus amigos e companheiros de profissão, professora Munique Silva e os professores Juliano Gonçalves, Tomaz Leal e Robervan Alves, por compartilharem seus conhecimentos acadêmicos e de vida, bem como por terem sido pilares durante a minha passagem pelo Instituto Federal do Mato Grosso do Sul. Também, aos meus amigos Luiz Jackes e professor Pablo Salomão, com quem pude voltar a experimentar bons momentos jogando e conversando sobre vôlei, uma das minhas grandes paixões. Aos meus alunos e alunas, que fazem parte da família do vôlei IFMS/Aquidauana e que me enchem de carinho e orgulho.

Às professoras Stela Fucale e Andréa Batista pela orientação, total liberdade criativa e ampla autonomia na condução da minha pesquisa. Também, às professoras Juliana Oliveira e Yêda Vieira por aceitarem o convite para participação da banca examinadora e colaborarem com o aperfeiçoamento da minha dissertação.

A todos aqueles que torceram e também deixaram alguma marca nessa caminhada. Obrigado.

## RESUMO

A demanda por novas moradias, devido ao grande déficit habitacional existente no Brasil, tem levado as empresas do ramo da construção civil a buscar métodos construtivos que permitam velocidade e praticidade na produção de novos conjuntos habitacionais. Visando tais benefícios, o sistema de vedação vertical feito de concreto moldado *in loco* passou por uma ampla difusão, sendo utilizado na construção de diversos empreendimentos em todo território nacional, como é o caso de Paulo Afonso-BA. Tendo em vista que, no ano de 2021, uma emenda foi publicada para substituir os antigos procedimentos de avaliação do desempenho térmico em edificações da NBR 15.575, bem como levando em consideração que não há registros da produção/publicação de estudos científicos sobre a avaliação do comportamento térmico do referido sistema nas condições do município de Paulo Afonso-BA, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho e o conforto térmico das habitações unifamiliares construídas com vedações verticais de concreto armado moldado *in loco* dentro das condições climáticas do especificado município. Esta pesquisa é caracterizada, quanto aos procedimentos, como um estudo de caso, estando sua metodologia amparada também pela simulação computacional a partir da ferramenta *EnergyPlus*. Como parâmetros avaliados, citam-se a temperatura operativa máxima, o percentual de horas dentro de uma faixa de temperatura operativa e a carga térmica de refrigeração para manter tais espaços condicionados ao longo do ano. Sobre esses aspectos, notou-se que a mudança da orientação do projeto tem um impacto significativo na temperatura operativa máxima constatada na unidade habitacional, ocasionando um aumento de até aproximadamente 3 °C, impactando também na carga térmica. Os resultados indicaram que o modelo da edificação feita de paredes de concreto armado moldado no local pode atingir o desempenho térmico intermediário, obtendo uma economia de aproximadamente 46,8% na carga térmica de condicionamento artificial quando comparada com um modelo de referência. Apesar de atingir tal nível, foi notado que, a depender da orientação do projeto no terreno, determinados ambientes da edificação não terão boas condições de conforto térmico, atingindo um percentual de horas ocupadas em desconforto por calor superior a 80% em um dos ambientes. Os resultados levam a concluir que, apesar do sistema vertical de concreto armado moldado *in loco* não possuir transmitância térmica superior ao indicado pelas normas, para a zona bioclimática 7, o sistema convencional feito de tijolo cerâmico apresentou ter um desempenho térmico inferior a este. Logo, o sistema de paredes de concreto armado moldado no local pode ser considerado como uma solução para as edificações da localidade tendo em vista que este permite atingir maior desempenho térmico, velocidade na execução de obra e redução nos desperdícios quando comparado com o sistema vertical feito de tijolo cerâmico, comumente empregado na região.

**Palavras-chave:** Conforto ambiental. Semiárido. Projeto bioclimático. Envoltória.

## ABSTRACT

The demand for new existing housing, due to the large housing deficit in Brazil, has led the civil construction sector to constructive measures aimed at prioritizing and practicality in the production of new housing. Aiming at benefits, the vertical construction system made of molded concrete, being used in the diffusion of several projects throughout the national territory, as is the case of Paulo Afonso-BA. Considering that, in 2021, an amendment was published for the previous procedures for evaluating the thermal performance in buildings of NBR 15.575, as well as being amended in consideration that there are no records as a replacement for the production/publication of scientific studies on the evaluation of the thermal specifications referred to the system in the conditions of the municipality of Paulo Afonso-BA, the behavior and the thermal comfort referred to in the conditions of the operating municipality and the thermal comfort of single-family dwellings built with reinforced concrete fences molded in the climatic conditions of the municipality. This tool is also computational, through the case to the procedures, as a study tool, and its tool is expanded by the EnergyPlus simulation. The parameters evaluated include the maximum operating temperature, the percentage of hours within a temperature range, and the cooling thermal load. Regarding these aspects, it was noted that the change in the design orientation has a significant impact on the maximum operating temperature found in the housing unit, causing a variation of up to approximately 3°C, also impacting the thermal load. The results indicate that the local performance wall building model can achieve the performance model, creating a savings of approximately 4, with a thermal load of setting the mold that was artificially designed with 8% reference made with a model of benchmark performance. Despite reaching such a level, it was not observed that, depending on the orientation of the project on the ground, the environmental conditions of the building will not have good thermal comfort, reaching a percentage of hours occupied in heat discomfort above 80% in one of the building space. The results lead to the conclusion that, although the vertical system of reinforced concrete cast in situ does not have higher thermal transmittance than indicated by the standards, for the bioclimatic zone 7, the conventional system made of ceramic block presented a lower thermal performance than this. Therefore, the cast-in-place reinforced concrete wall system can be considered as solution for the local buildings considering that this allows greater thermal performance, speed in the execution of the construction and reduction in the production of residues when compared with the vertical system made of ceramic brick, commonly used in the region.

**Keywords:** Environmental comfort. Semiarid. Bioclimatic project. Building envelope.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Limites aceitáveis da temperatura operativa para espaços condicionados naturalmente segundo a ASHRAE 55.....	16
Figura 2 – Ábaco e equações para a obtenção do $\Delta PHFT_{\text{mín}}$ quando o $PHFT_{UH,ref}$ for inferior a 70%.....	39
Figura 3 – Carta Bioclimática de Olgyay.....	40
Figura 4 – Carta Bioclimática de Givoni (1992).....	42
Figura 5 – Carta bioclimática de Givoni para a cidade de Paulo Afonso - BA.....	43
Figura 6 – Carta bioclimática da ZB 7.....	46
Figura 7 – Estratégias para a cidade de Paulo Afonso - BA.....	47
Figura 8 – Fluxograma simplificado do programa metodológico.....	60
Figura 9 – Carta solar de Paulo Afonso com as temperaturas de bulbo seco.....	63
Figura 10 – Rosa dos ventos da cidade de Paulo Afonso.....	64
Figura 11 – Planta baixa da habitação avaliada.....	65
Figura 12 – Cobertura do modelo real.....	66
Figura 13 – Parede do caso real.....	67
Figura 14 – Tipologia das paredes da edificação no modelo modificado.....	68
Figura 15 – Avaliação da edificação pelo método simplificado.....	70
Figura 16 – Procedimento de avaliação de desempenho térmico.....	70
Figura 17 – Classificação do nível de desempenho.....	72
Figura 18 – Perspectivas do modelo de simulação da casa: (a) modelo real (b) modelo de referência%.....	72
Figura 19 – Máscaras de sombra proporcionadas pelos protetores solares presentes na fachada principal para as quatro orientações do projeto (a) Sul (b) Oeste (c) Norte (d) Leste.....	86
Figura 20 – Perfil anual da variação de temperatura de bulbo seco e temperatura operativa por ambiente no MRef, MReal e MAdap.....	88
Figura 21 – Temperatura operativa máxima atingida nos modelos.....	92
Figura 22 – Temperatura operativa máxima atingida nos modelos considerando a abertura da porta da sala .....	93
Figura 23 – Atendimento ao critério do PHFT.....	95
Figura 24 – Atendimento ao critério do PHFT considerando a abertura da porta da sala.....	96



Figura 25 – Carga térmica total dos modelos e carga térmica pela área total do APPs .....	100
Figura 26 – Carga térmica total dos modelos e carga térmica pela área total do APPs considerando a abertura da porta da sala.....	100
Figura 27 – Percentual de horas de desconforto e conforto nos ambientes avaliados para o cenário com a fachada principal voltada para o Sul.....	104
Figura 28 – Percentual de horas de desconforto e conforto nos ambientes avaliados para o cenário com a fachada principal voltada para o Oeste.....	106
Figura 29 – Percentual de horas de desconforto e conforto nos ambientes avaliados para o cenário com a fachada principal voltada para o Norte.....	108
Figura 30 – Percentual de horas de desconforto e conforto nos ambientes avaliados para o cenário com a fachada principal voltada para o Leste.....	109

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e inverno conforme cada zona.....	23
Tabela 2 – Transmitância térmica de referência para paredes externas.....	27
Tabela 3 – Capacidade térmica de referência para paredes externas.....	27
Tabela 4 – Percentual de abertura de referência para ventilação.....	28
Tabela 5 – Proporção de referência dos elementos transparentes.....	28
Tabela 6 – Percentual de elementos transparentes em função do ângulo vertical de sombreamento para UH localizadas nas zonas bioclimáticas 3 a 8.....	29
Tabela 7 – Transmitância térmica de referência para coberturas.....	30
Tabela 8 - Intervalos de temperaturas externas de bulbo seco.....	31
Tabela 9 - Faixas de temperaturas operativas para a determinação do $PHFT_{APP}$ .....	32
Tabela 10 - Valores de temperatura operativa para o cálculo da $CgTR_{APP}$ e da $CgTA_{APP}$ .....	35
Tabela 11 - Critérios para o atendimento dos níveis de desempenho térmico intermediário e superior.....	37
Tabela 12 - Incremento mínimo do $PHFT_{UH,real}$ e redução mínima da $CgTT_{UH,real}$ para o atendimento ao nível de desempenho térmico intermediário.....	38
Tabela 13 - Incremento mínimo do $PHFT_{UH,real}$ e redução mínima da $CgTT_{UH,real}$ para o atendimento ao nível de desempenho térmico superior.....	38
Tabela 14 – Normais Climatológicas de Paulo Afonso entre 1961 – 1990.....	63
Tabela 15 – Quadro de áreas.....	66
Tabela 16 – Área dos elementos transparentes.....	68
Tabela 17 – Propriedades térmicas das pares, pisos e cobertura do modelo de referência.....	73
Tabela 18 – Propriedades dos elementos transparentes, aberturas para ventilação e perfis das esquadrias.....	73
Tabela 19 – Taxa metabólica e fração radiante para os usuários.....	74
Tabela 20 – Densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível para o sistema de iluminação.....	75
Tabela 21 – Período de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para equipamentos dos APP.....	75
Tabela 22 – Descrição dos parâmetros da ventilação natural para portas e janelas nos APPs e APTs.....	76

Tabela 23 – Análise das propriedades térmicas do SVVE pelo método simplificado.....	78
Tabela 24 – Análise do atendimento do percentual de área de ventilação nos APP pelo método simplificado.....	79
Tabela 25 – Análise do atendimento à proporção de referência dos elementos transparente nos APP pelo método simplificado.....	81
Tabela 26 – Análise das propriedades térmicas da cobertura pelo método simplificado.....	82
Tabela 27 – Distribuição do número de horas em intervalos de temperatura.....	84
Tabela 28 – Valores de $N_{hFT}$ e $PHFT_{APP}$ para os APP dos 3 modelos analisados.....	94
Tabela 29 – Valores de $N_{hFT}$ e $PHFT_{APP}$ para os APP dos 3 modelos analisados considerando a abertura da porta da sala.....	94
Tabela 30 – Atendimento ao critério de incremento no $PHFT$ .....	98
Tabela 31 – Atendimento ao critério de incremento no $PHFT$ considerando a abertura da porta da sala.....	99
Tabela 32 - Atendimento ao critério de redução $C_{gTT}$ para o nível de desempenho térmico intermediário.....	101
Tabela 33 – Percentual de horas de desconforto e conforto nos ambientes avaliados para o cenário Sul considerando a abertura da porta da sala.....	105
Tabela 34 – Percentual de horas de desconforto e conforto nos ambientes avaliados para o cenário Oeste considerando a abertura da porta da sala.....	107
Tabela 35 – Síntese dos resultados.....	110

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APP	Ambiente de permanência prolongada
ASHRA	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
AVS	Ângulo de vertical de sombreamento
FS	Fator solar
FT	Fator de correção da transmitância térmica da cobertura
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
NBR	Norma Brasileira
PBQP-P	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat
POC	Porcentagem de Horas de Ocupação em Conforto
SINAT	Sistema Nacional de Avaliações Técnicas
SVVE	Sistemas de vedações verticais externas
UH	Unidade habitacional
ZB	Zona bioclimática

## LISTA DE SIMBOLOS

$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
$t_{\text{pma(out)}}$	Temperatura média do ar exterior predominante
POC	Porcentagem de Horas de Ocupação em Conforto
$\text{W/m}^2.\text{K}$	Watt por metro quadrado vezes Kelvin – Unidade de transmitância térmica
$T_{i,\text{max}}$	Temperatura interna máxima
$T_{e,\text{max}}$	Temperatura externa máxima
$U_{\text{par}}$	Transmitância térmica da parede
$C_{T,\text{par}}$	Capacidade térmica da parede
$P_{v,\text{APP}}$	Percentual de abertura para ventilação
$P_{t,\text{APP}}$	Percentual de elementos transparentes
$U_{\text{cob}}$	Transmitância térmica da cobertura
$\alpha_{\text{par}}$	Absortância solar da superfície externa da parede
$\text{kJ/m}^2.\text{K}$	Kilo joule por metro quadrado vezes Kelvin – unidade de capacidade térmica de componente
$A_{p,\text{APP}}$	Área do piso do ambiente de permanência prolongada
$A_{t,\text{APP}}$	Área de superfície dos elementos transparentes
$\alpha_{\text{cob}}$	Absortância solar superfície externa da cobertura
$h$	Altura da abertura em beiras oposto
$\text{PHFT}_{\text{APP}}$	Percentual de horas de ocupação do ambiente de permanência prolongada que está dentro de uma faixa de temperatura operativa
$T_{\text{omáx,UH}}$	Temperatura operativa máxima dentro da unidade habitacional
$T_{\text{omín,UH}}$	Temperatura operativa mínima dentro da unidade habitacional
$\text{TBS}_m$	Média anual da temperatura externa de bulbo seco
$T_{\text{OAPP}}$	Temperatura operativa no ambiente de permanência prolongada
$T_{\text{omáxAPP}}$	Temperatura operativa máxima dentro ambiente de permanência prolongada
$N_{h\text{FT}}$	Número de horas em que o APP se encontra ocupado e com temperaturas operativas dentro da faixa de temperatura operativa determinada anteriormente
$N_{h\text{Ocup}}$	Número de horas em que o APP é ocupado ao longo do ano

$PHFT_{UH}$	Percentual de horas de ocupação da UH dentro da faixa de temperatura operativa
$Tomáx_{UH,real}$	Temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional no modelo real
$Tomáx_{UH,ref}$	Temperatura operativa anual máxima da UH no modelo de referência
$\Delta Tomáx$	Valor de tolerância da temperatura operativa anual máxima
$RedCgTT$	Redução da carga térmica total da unidade habitacional no modelo real em relação ao modelo de referência
$PHFT_{UH,real}$	Percentual de horas de ocupação da unidade habitacional no modelo real dentro da faixa de temperatura operativa
$RedCgTT_{mín}$	Redução da carga térmica total mínima
$PHFT_{UH,ref}$	Percentual de horas de ocupação da unidade habitacional no modelo de referência dentro da faixa de temperatura operativa
$CgTR_{APP}$	Somatório anual dos valores horários da carga térmica de refrigeração do ambiente de permanência prolongada
$CgTA_{APP}$	Somatório anual dos valores horários da carga térmica de aquecimento
$CgTR_{UH}$	Carga térmica de refrigeração da unidade habitacional
$CgTA_{UH}$	Carga térmica de aquecimento da unidade habitacional
kWh/ano	Quilowatts-hora por ano - unidade de carga térmica
$CgTT_{UH}$	Carga térmica total da unidade habitacional
$CgTT_{UH,real}$	Carga térmica total da unidade habitacional no modelo real
$CgTT_{UH,ref}$	Carga térmica total da unidade habitacional no modelo de referência
$Ap_{,UH}$	Área do piso de todos os ambientes de permanência prolongada
MReal	Modelo real
MAdap	Modelo adaptado
MRef	Modelo de referência
$\varphi$	Atraso térmico
W	Watt – unidade de potência

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
1.1 Justificativa.....	10
1.2 Objetivos.....	11
1.2.1 Objetivo Geral .....	11
1.2.2 Objetivos Específicos .....	12
1.3 Estrutura da dissertação .....	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Índices de conforto térmico recomendados para o Brasil.....	13
2.2 A Norma Brasileira de avaliação de desempenho térmico: NBR 15.575 .....	19
2.2.1 Críticas aos métodos de avaliação do desempenho térmico presentes na NBR 15.575/2013 .....	20
2.2.2 Novos métodos de avaliação do desempenho térmico da NBR 15.575/2021 .....	25
2.3 Bioclimatologia e desempenho e conforto térmico de edificações .....	39
2.3.1 Carta bioclimática brasileira e diretrizes construtivas para Paulo Afonso-BA .....	44
2.3.2 Diretrizes bioclimáticas para a ZB-7 .....	45
2.4 Simulação computacional e análise de desempenho térmico em projetos .....	49
2.5 Desempenho e conforto térmicos em edificações construídas com vedações verticais em concreto armado moldado no local.....	51
2.6 Considerações Finais .....	57
3 METODOLOGIA.....	59
3.1 Caracterização da cidade de Paulo Afonso.....	62
3.2 Caracterização do objeto de estudo .....	64
3.3 Análise do conforto térmico .....	69
3.4 Análise do desempenho térmico.....	69
3.4.1 Modelagem da unidade habitacional .....	72
3.4.2 Modelagem da ocupação e das cargas internas .....	74

3.4.3 Simulação com a ventilação natural .....	75
3.4.4 Simulação sem a ventilação natural.....	76
3.5 Análises comparativas .....	77
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	78
4.1 Avaliação do desempenho térmico pelo procedimento simplificado .....	78
4.2 Avaliação do desempenho térmico pelo procedimento de simulação computacional .....	83
4.2.1 Comportamento térmico da edificação ao longo do ano na condição de ventilação natural .....	83
4.2.2 Comportamento térmico da edificação ao longo do ano na condição sem ventilação natural .....	97
4.3 Avaliação do conforto térmico .....	103
5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS .....	112
5.1 Principais Conclusões.....	112
5.2 Sugestões para trabalhos futuros .....	113
REFERÊNCIAS .....	115
ANEXO A – Padrões de ocupação diários dos APP .....	125
ANEXO B - Padrões de uso do sistema de iluminação artificial dos APP .....	127
ANEXO C – Período de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para equipamentos dos APP .....	129
ANEXO D – Distribuição do número de horas em intervalos de temperatura .....	131



## 1 INTRODUÇÃO

Devido ao déficit de habitações apresentado pelo Brasil nas últimas décadas, os governantes da esfera federal têm investido em programas de construção de unidades habitacionais de interesse social em todo país, como por exemplo, o Programa Minha Casa Minha Vida, denominado, atualmente, por Casa Verde e Amarela (BRAGA, 2018). Segundo Santos, Porto e Silva (2020), as habitações de interesse social, em âmbito nacional, são projetadas para serem construídas em grande escala, havendo a reprodução do mesmo sistema construtivo em diferentes regiões, mesmo existindo diferenças significativas nas características climáticas entre as localidades como, por exemplo, variação de temperatura, umidade e ventilação. Dessa maneira, os sistemas com um maior grau de industrialização ou racionalização têm sido, comumente, empregados a fim de elevar a produção e reduzir os gastos em tais obras (BRAGA, 2018).

Muitos desses sistemas (vedações verticais de alvenaria não-estrutural de tijolos de gesso, de painéis vazados de geopolímero, entre outros) são caracterizados como não convencionais, por se apresentarem como inovadores, não serem habitualmente empregados nas construções locais ou não terem normativas que regulamentam a sua utilização. Todavia, é importante salientar que, para esses sistemas serem aplicados, devem passar por avaliações prévias de desempenho, sendo o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT), integrante do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-P), um dos responsáveis por tal avaliação.

Acerca dos métodos construtivos utilizados no Brasil, Mendes, Fabrício e Imai (2017) observam que, nos últimos anos, ocorreu um aumento no uso dos sistemas inovadores, que, sobretudo, passaram a ser aplicados em empreendimentos de interesse social financiados pelo Governo Federal. Apesar desse avanço, os autores também afirmam que o uso desses sistemas ainda é muito focado na obtenção de lucro, em detrimento da qualidade.

Dentre as inovações apresentadas no mercado da construção civil brasileiro, a vedação de parede de concreto armado é um dos sistemas utilizados para ajudar no processo de produção de novos conjuntos habitacionais de interesse social no território nacional (MENDES; FABRÍCIO; IMAI, 2017). De acordo com o Instituto Brasileiro do Concreto, uma das características mais evidentes desse sistema é a velocidade de execução, que fica mais

evidente quando comparado com o sistema convencional de paredes de alvenaria (IBRACON, 2018).

O referido método construtivo foi um dos primeiros a passar por avaliação pelo SINAT, tendo sua norma – NBR 16.055 – sido publicada apenas em 2012 (ABNT, 2012). Tal fato contribuiu com a ampliação da utilização dessa inovação em todo o território brasileiro.

Mesmo com a aprovação da referida inovação pelo SINAT, a ampliação no uso das paredes de concreto armado nas habitações, em diferentes partes do Brasil, tem levado pesquisadores a estudarem o seu desempenho a partir de diferentes aspectos. A necessidade em produzir novas residências em grande escala leva, muitas vezes, à construção/replicação de projetos e sistemas construtivos que não contemplam questões essenciais como o clima da localidade e, conseqüentemente, o desempenho e o conforto térmicos dos moradores (COSTA, 2017).

Sobre o tema, sabe-se também que a aplicação de algumas tecnologias, principalmente, aquelas que foram recentemente introduzidas no setor da construção civil, suscita dúvidas sobre a sua qualidade quando avaliadas durante o uso das edificações. Desse modo, estudos desenvolvidos na última década têm destacado questões relacionadas à adequabilidade das paredes de concreto armado em diferentes condições climáticas do Brasil, apontando aspectos negativos sobre o seu comportamento térmico.

A primeira normativa a tratar sobre o desempenho térmico de habitações foi publicada apenas em 2005, por meio da NBR 15.220 (ABNT, 2005), tendo como foco as habitações unifamiliares. Diante das indicações estabelecidas nessa norma, algumas pesquisas já indicavam que as paredes de concreto armado moldado *in loco* não atendiam às recomendações das propriedades térmicas mínimas delimitadas para algumas zonas bioclimáticas brasileiras (SANTOS; GOUVEIA, 2018).

Segundo Givoni (1992), as estratégias bioclimáticas permitem adequar as edificações ao clima da região na qual serão construídas, reduzir o consumo de energia devido ao uso dos sistemas artificiais de condicionamento do ar, bem como garantir melhores condições de conforto térmico. Tendo em vista que a NBR 15.220/2005 detinha-se a orientar estratégias para a melhoria do desempenho térmico, em 2008, iniciou-se o desenvolvimento de uma nova norma, a NBR 15.575/2013, com o intuito de estabelecer maneiras de avaliar os subsistemas

de uma edificação, a partir de diferentes aspectos, dentre os quais, cita-se o desempenho térmico. Mendes, Fabrício e Imai (2017) destacam a importância dessa norma, enfatizando a sua contribuição na avaliação prévia dos sistemas inovadores antes de eles serem empregados pelas construtoras.

De acordo com Sorgato, Melo e Lamberts (2014), a norma passou por diversas revisões até ser publicada em 2013. Os autores afirmam que, mesmo após a sua publicação, críticas e sugestões de alterações continuaram sendo feitas, direcionadas, especificamente, às seções que tratavam sobre a avaliação de desempenho térmico. Entre os motivos para essas críticas, cita-se a presença de lacunas e incoerências no texto normativo.

A respeito da norma publicada em 2013, ela apresentava três diferentes métodos para a avaliação do desempenho térmico das edificações. A partir desses procedimentos metodológicos, pesquisas também chegaram à conclusão que o sistema de paredes de concreto armado não possuía bom desempenho térmico quando submetido a determinadas condições climáticas, conforme observado por Sorgato *et al.* (2014), Sorgato, Melo e Lamberts (2014), Oliveira *et al.* (2015) e Moraga (2017). De modo análogo, o citado sistema construtivo também não se mostrou tão apropriado para algumas regiões do país, quando avaliado o atendimento aos limites do conforto térmico, conforme observaram Carvalho (2012) e Oliveira *et al.* (2015).

Esses dois aspectos (conforto e desempenho) possuem diferentes normativas e índices ao redor do mundo. Nesse sentido, pode-se citar a NBR 15.575/2013, como referência para a análise de desempenho térmico, e a Standard 55 da ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017), a ISO 7730 (2005), a ISO 7726 (2021) e a EM 15251 (2012), como exemplos de normas que tratam sobre conforto térmico.

Vários países têm trabalhado no sentido de criar uma norma de conforto térmico para estabelecer limites de aceitabilidade de temperaturas que devem ser seguidos dentro de suas edificações. Todavia, segundo Lamberts *et al.* (2013), o Brasil não possui uma norma específica sobre o tema, logo, o *Standard 55* da ASHRAE vem sendo empregado nos estudos locais, mostrando-se como uma referência adequada para analisar as edificações construídas em território brasileiro.

Uma das lacunas presentes na norma de desempenho brasileira, NBR 15.575 – 1/2013, no que concerne ao processo de avaliação do desempenho térmico, é a não consideração dos limites de conforto térmico dentro dessa análise. Isto é, estudos têm indicado que nem sempre o atendimento aos critérios mínimos estabelecidos nessa norma para o desempenho térmico permite garantir boas condições de conforto térmico para os usuários (OLIVEIRA *et al.*, 2015; SORGATO, 2009), indo de encontro ao que alguns pesquisadores da área propõem. Ou seja, o desempenho térmico determinado pelas normas deveria estar conectado com os parâmetros de conforto térmico estabelecidos para os indivíduos (GIVONI, 1992).

É consenso que as habitações devam proporcionar conforto e segurança a seus usuários, atendendo a suas necessidades ao longo do ciclo de vida das construções. Logo, ao não levar em conta tal aspecto, a NBR 15.575/2013 mostrava-se defasada. A não consideração da ocupação e ventilação natural dos espaços na modelagem, bem como delimitação de apenas dois dias típicos críticos para determinar o desempenho térmico das edificações para um ano completo fez com que a norma torna-se alvo de críticas por diversos pesquisadores como Sorgato *et al.* (2012), Marques e Chvatal (2013) e Sorgato, Melo e Lamberts (2014).

### **1.1 Justificativa**

Diante do exposto, em 2021, a emenda nº 1 da NBR 15.575 foi publicada, descrevendo novos procedimentos para avaliação do desempenho térmico das habitações (ABNT, 2021). Tais modificações referem-se tanto ao método simplificado quanto ao método de simulação computacional, vide as lacunas e incoerências da versão original da norma.

Com a publicação dessa nova proposta, percebe-se que novos estudos devem ser realizados para verificar o comportamento dos sistemas construtivos empregados nas construções do Brasil, admitindo as novas recomendações da emenda nº 1 da NBR 15.575/2021 para avaliação do desempenho térmico. Neste contexto, é importante que as várias críticas feitas sobre o comportamento térmico das habitações feitas de parede de concreto armado moldado no local sejam discutidas a fim de verificar se as observações constadas anteriormente continuam sendo validas a partir dos novos métodos de análise.

Não obstante essa realidade, no ano de 2016, estimava-se que o município de Paulo Afonso-BA necessitava de 32.578 novas residências até 2022 (PAULO AFONSO, 2016). O

município de Paulo Afonso tem recebido bastante investimento na área da construção de moradias, havendo, no ano de 2021, a inauguração de dois conjuntos, dentre os quais se destaca o conjunto habitacional Residencial Multifamiliar Manoel Josefino Texeira, construído com paredes de concreto armado moldado no local.

Ressalta-se ainda que, a partir de buscas nos bancos de dados de pesquisa Portal de Periódicos CAPES e Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, foi possível perceber que não há estudos que avaliem o comportamento térmico desse sistema levando em conta a realidade climática específica de Paulo Afonso-BA. Logo, não há elementos que comprovem que esse sistema apresenta ou não bom desempenho térmico na localidade. Da mesma forma, salienta-se que não existem pesquisas que abordam a temática de conforto térmico em residência de concreto armado moldado *in loco* tomando como referência a realidade de Paulo Afonso-BA.

Tais fatos indicam a necessidade de mais estudos para avaliação desse tipo de vedação vertical, usado no envelope das edificações, com o objetivo de verificar se ele atende a questões primordiais como o desempenho e o conforto térmico (OLIVEIRA *et al.*, 2015). Diante do exposto, a justificativa para o desenvolvimento desta pesquisa está baseada na necessidade de aprofundamento dos estudos nas edificações feitas de concreto moldado no local, a partir do atual procedimento de avaliação do desempenho térmico da emenda nº 1 da NBR 15.575 (ABNT, 2021). Além disso, o ineditismo deste trabalho está apoiado na inexistência de estudos que comprovem o adequado comportamento térmico das edificações de concreto armado moldado *in loco*, frente às exigências do conforto e desempenho térmicos previstos nas normas, considerando a realidade climática do município de Paulo Afonso – BA.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o desempenho e o conforto térmico de um modelo de habitação unifamiliar construída com vedações verticais de concreto armado moldado *in loco* no município de Paulo Afonso-BA.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Esta pesquisa contempla ainda os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as orientações construtivas indicadas para as cidades situadas na zona bioclimática na qual o município de Paulo Afonso-BA está localizado;
- Verificar o nível de referência de conforto térmico, estabelecido pela proposta do novo método de avaliação de desempenho térmico presente na emenda nº 1 da NBR 15.575, para o atendimento pelo presente estudo de caso;
- Comparar o desempenho e conforto térmico de um projeto de habitação feita de concreto armado moldado no local com o de uma edificação com vedações verticais feitas com o sistema convencional de tijolo cerâmico.

### 1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. No primeiro, é feita uma breve contextualização sobre as temáticas abordadas neste trabalho, seguida da apresentação da justificativa e da importância do desenvolvimento desta pesquisa, ressaltando os objetivos desta dissertação.

No segundo capítulo, é apresentado o Referencial Teórico, abordando os temas que direcionaram o desenvolvimento desta dissertação e foram úteis para a elaboração da metodologia. Além disso, serviu como suporte para a avaliação final do objeto de estudo desta dissertação.

No terceiro capítulo, é realizada a caracterização desta pesquisa, assim como é descrito o objeto de estudo. Nesta seção, são estabelecidos os procedimentos empregados, destacando as variáveis de entrada (independentes) e de saída (dependentes) que foram analisadas.

No quarto capítulo, está o desdobramento dos principais resultados obtidos com este trabalho. Desse modo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos com o desenvolvimento dessa dissertação.

No quinto capítulo, são apresentadas as considerações finais, bem como são descritas sugestões para futuros estudos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A presente seção versa a respeito dos assuntos que fundamentaram o desenvolvimento deste trabalho. Nesse contexto, discute-se sobre os conceitos relacionados ao conforto e desempenho térmico, as normativas e metodologias empregadas para avaliação desses dois aspectos e as recomendações construtivas e estratégias bioclimáticas indicadas para edificações segundo a região de implantação desses projetos.

### 2.1 Índices de conforto térmico recomendados para o Brasil

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), o conforto ambiental corresponde ao conjunto de condições do ambiente que permite aos indivíduos sentirem bem estar térmico, visual, acústico e antropométrico, bem como proporciona qualidade do ar e o conforto olfativo. Nesses termos, percebe-se que o conforto térmico é um dos aspectos integrantes do conforto ambiental, e, de acordo com Corbella e Yannas (2009), a preocupação com este vem desde os primórdios de nossa civilização.

Após a II Guerra Mundial, tal preocupação, evidenciada, por exemplo, na arquitetura vernacular, foi perdendo espaço com o surgimento do chamado estilo internacional, que criou o “edifício estufa” composto por grandes fachadas de vidro (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Todavia, com a crise do petróleo, em 1973, a busca pela integração entre arquitetura, clima, energia e conforto volta a tomar espaço (COBERLLA; YANNAS, 2009). Aebischer, Jakob e Catenazzi (2007) acrescentam que o debate tem se intensificado nas últimas décadas devido ao atual cenário, isto é, o aumento da temperatura global, que tem tornado o planeta e as edificações mais quentes e, conseqüentemente, tem ocasionado a elevação no consumo de energia devido ao uso dos sistemas artificiais para refrigeração dos espaços.

Antes de falar sobre tais aspectos, explica-se que o conforto térmico é definido como o estado mental que expressa a satisfação quanto ao ambiente térmico (ASHRAE, 2017). São diversas as variáveis inerentes ao conforto térmico, as quais, de acordo com Lamberts *et al.* (2016), estão classificadas em: variáveis ambientais (a temperatura, a umidade do ar, a radiação solar incidente, o movimento do ar) e humanas (metabolismo e o vestuário).

O estado de conforto térmico se encontra dentro de um intervalo que depende da combinação de todas essas variáveis. Assim sendo, alterando de modo não proporcional os valores de algumas dessas variáveis, é possível que sensações semelhantes ou parecidas sejam provadas pelas pessoas (FROTA; SCHIFFER, 2001). Logo, existem várias maneiras de combinar tais variáveis e permitir que as pessoas continuem se sentindo no mesmo estado de conforto ou desconforto térmico.

Tendo em vista as diversas possibilidades de combinação, os pesquisadores sobre a temática desenvolveram os índices de conforto térmico. De modo análogo, Lamberts *et al.* (2016) afirmam que várias normas também passaram a ser criadas, em diferentes países, a fim de estabelecer limites mínimos de conforto para os ambientes construídos em seus respectivos territórios. Como exemplo, citam-se as normas ISO 7730 (ISSO, 2005), EN 15251 (CEN, 2012), ISO 7726 (ISO, 1998), Standard 55 (ASHRAE, 2017) e NBR 16.401 (ABNT, 2008).

De modo geral, os estudos sobre conforto térmico são agrupados em duas linhas de pesquisa. A primeira linha admite que o ser humano é um ser receptor passivo, sendo seus estudos realizados em câmaras climatizadas artificialmente. Humphreys e Nicol (1998) explicam que tais estudos deram origem aos índices de conforto racionais, a exemplo do modelo de Fanger, que se baseia essencialmente nas trocas de calor realizadas entre o corpo e o ambiente.

Segundo Lamberts, Goulart e Vecchi (2011) as equações e os métodos provenientes dos estudos de Fanger (1970) têm sido utilizados em escala global para a elaboração de normas. Contudo, eles ressaltam que o modelo estático de Fanger passou a ser discutido à medida que outras pesquisas foram sendo desenvolvidas, refutando a ideia de um modelo universal para o conforto.

Assim, surgiu a segunda linha de pesquisa, definida como modelo adaptativo. Esta, por sua vez, realizou seus estudos em campo, em ambientes ventilados naturalmente, considerando as pessoas desenvolvendo as suas atividades cotidianas (LAMBERTS *et al.*, 2016). Conforme Marçal *et al.* (2018), diferentemente da primeira linha, tal abordagem admite que o ser humano é um sujeito ativo, que tem a capacidade de interferir no ambiente em que está inserido para garantir a sua adaptação ao ambiente térmico. Nesses termos, outros fatores, além das trocas térmicas existentes entre o corpo e o meio, são levados em consideração, pois



influenciam diretamente no estado de conforto térmico dos sujeitos. Lamberts *et al.* (2016) agrupam esses fatores em três categorias:

- Ajustes comportamentais: estão relacionados com as alterações que podem ser realizadas pelas pessoas, consciente ou inconscientemente, modificando as trocas de calor envolvidas em uma situação. Eles estão subdivididos em ajustes pessoais (roupas, atividades, postura), ajustes tecnológicos ou ambientais (abrir/fechar a porta) e ajustes culturais;
- Ajustes fisiológicos: estão ligados com as respostas fisiológicas das pessoas. Eles estão subcategorizados em adaptação genética (proveniente da herança genética) e aclimação (mudanças inerentes ao sistema termorregulador do ser humano); e
- Ajustes psicológicos: são relativos à percepção e reação das informações sensoriais ao clima.

Cada um desses fatores irá variar de indivíduo para indivíduo. Entendendo essa capacidade de ajuste das pessoas, alguns índices passaram a considerar tais fatores na determinação dos limites de conforto térmico (HUMPHEYS; NICOL, 1998). Diante da variabilidade desses ajustes entre os indivíduos, os índices buscaram estabelecer as condições em que o maior número de pessoas estará em estado de conforto térmico, compreendendo que, em um mesmo ambiente, é impossível que todas as pessoas experimentem a mesma sensação de conforto térmico.

No que se refere ao Brasil, ainda não há, no país, uma norma que trate, especificamente, sobre a avaliação de conforto térmico. Conforme estudos desenvolvidos por Lamberts *et al.* (2013), as únicas normas que tratam sobre o assunto, de maneira mais abrangente, são a Norma Regulamentadora 17/2021 – Ergonomia e a NBR 16.401-2 - Instalações de ar condicionado (ABNT, 2008). Segundo os pesquisadores, ambas as normas não fazem referência ao modelo adaptativo, ou seja, não levam em conta as questões de aclimação/ajustes nas suas recomendações.

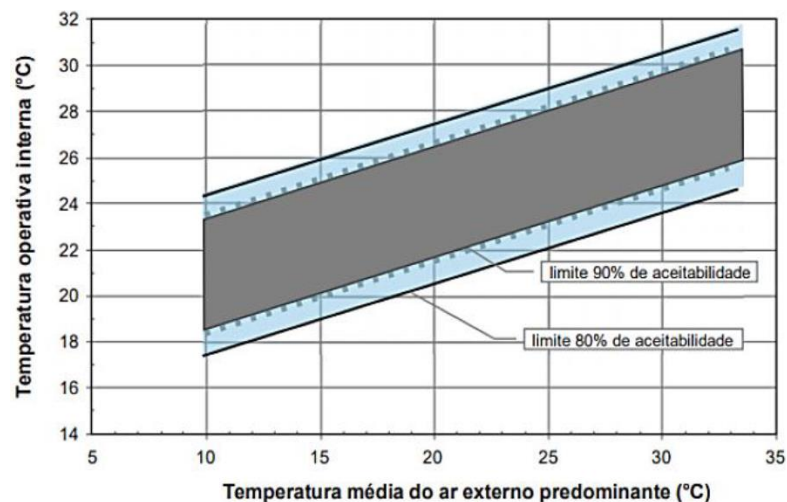
Em vista disso, por considerar os conceitos de adaptação, a norma americana ASHRAE 55 tem sido utilizada como base para o desenvolvimento de uma proposta de norma específica

para o país (LAMBERTS *et al.*, 2013). Até o momento, pesquisas considerando o modelo adaptativo da ASHRAE 55 têm concluído que esse índice tem se mostrado eficaz para a avaliação do conforto térmico em edificações, tanto ventiladas naturalmente quanto com ventilação híbrida, subordinadas às condições climáticas do país (VECCHI, 2015; RUPP; GHISI, 2019).

Nesse contexto, os resultados das pesquisas têm demonstrado similaridade entre o comportamento predito pela norma e as tendências de aceitabilidade obtidas em experimentos realizados em ambientes ventilados naturalmente de edificações em território nacional (RUPP; DE DEAR; GHISI, 2018). Todavia, como afirmam Rupp e Ghisi (2019), ainda há a necessidade de realizar mais estudos para que tal averiguação seja feita de maneira mais ampla, contemplado, por exemplo, a variedade de climas existente no Brasil.

Na Figura 1, é possível observar o índice que está presente na norma americana, que relaciona a temperatura média do ar externo predominante com a temperatura operativa do ambiente interno, delimitando uma região no gráfico que é caracterizada como a zona de conforto térmico. A temperatura operativa é a média aritmética entre as temperaturas radiante média e do ar interior (CHVATAL, 2014). Givoni (1992) explica que a zona de conforto térmico corresponde à faixa de condições climáticas dentro da qual a maioria das pessoas não terá desconforto térmico, seja devido ao calor ou ao frio. No índice da ASHRAE (2017), as temperaturas são classificadas em dois níveis de aceitabilidade.

**Figura 1 – Limites aceitáveis da temperatura operativa para espaços condicionados naturalmente segundo a ASHRAE 55**



Fonte: ASHRAE, 2017.

A região mais interna, pintada na cor cinza escura, corresponde às temperaturas em que 90% das pessoas estão em estado de conforto. Segundo a norma, esse limite é definido como informativo. Por sua vez, a linha mais externa representa o limite de temperatura para a aceitabilidade de 80%, sendo importante explicitar que tal limite é considerado obrigatório (Figura 1). Conforme observado por Fountain *et al.* (1994), a alteração na ventilação muda a forma como o ser humano percebe o ambiente, bem como a sua sensação em relação ao conforto térmico. Dessa maneira, segundo a ASHRAE (2017), o limite de aceitabilidade da temperatura pode ser ampliando através do aumento da velocidade do ar. Tal impacto não é representado no gráfico.

A temperatura média externa predominante pode ser determinada de duas maneiras distintas para realizar o cálculo dos limites de aceitabilidade para cada região. Assim, os limites máximo e mínimo da temperatura operativa, chamados também de neutralidade térmica, podem ser calculados com base na média aritmética das médias das temperaturas exteriores ou através da média ponderada, sendo esse último o método presente na proposição da norma NBR 16.401-2 (DE VECCHI, 2015).

No uso do primeiro método, a temperatura média do ar externo predominante pode ser encontrada a partir de uma média aritmética dos valores médios diários da temperatura do ar externo (representado por  $t_{pma(out)}$ ), admitindo no cálculo um intervalo de dados sequenciais entre 7 e 30 dias em relação ao dia em questão (ASHRAE, 2017). Quanto ao segundo método, na proposta da norma brasileira (ABNT, 2021), a temperatura média predominante do ar externo é calculada usando um coeficiente de ponderação pré-definido para levar em conta as características de adaptabilidade do ser humano, que são mais influenciadas pelas temperaturas dos dias mais recentes do que por aquelas mais remotas. A ASHRAE (2017) também traz esse método de cálculo em seu apêndice, mas destaca que o uso da média ponderada, com coeficiente sendo determinado pelo projetista a depender das características climáticas da região, é de caráter apenas informativo.

Como pode ser verificado no índice da ASHRAE 55, as temperaturas operativas não podem extrapolar o limite inferior de 10 °C e superior de 33,5 °C definido para a temperatura média do ar externo predominante. Por conseguinte, valores que estão, respectivamente, abaixo ou acima desses não são avaliados pela norma. Além disso, não é necessário verificar os limites

de umidade e velocidade do ar no processo de avaliação pelo supracitado índice. Ademais, as temperaturas operativas dos espaços avaliados deverão estar dentro dos limites de aceitabilidade expressos abaixo, para serem julgadas como termicamente confortáveis ou não:

- Limite superior para 80% aceitabilidade (°C):  $0,31 \cdot t_{pma(out)} + 21,3$       Equação (1)

- Limite inferior para 80% aceitabilidade (°C):  $0,31 \cdot t_{pma(out)} + 14,3$       Equação (2)

Esses valores de limites são os mesmos adotados para o índice de conforto térmico presente na proposta da atualização da NBR 16.401-2, como pode ser observado no projeto de revisão da ABNT (2021). Para o presente trabalho, será considerado o primeiro método para determinação dos limites de aceitabilidade visto que a avaliação será feita com base na norma 55 da ASHRAE (2017). Ou seja, eles serão calculados a partir da média aritmética das temperaturas externas dos últimos sete dias, obtidos a partir de arquivos climáticos horários anuais.

A norma americana, a partir da definição dos limites de temperatura que caracterizam a zona de conforto térmico, permite avaliar as condições do ambiente e definir a Porcentagem de Horas de Ocupação em Conforto (POC) que o ambiente terá. Alguns estudos têm indicado a existência de correspondência entre os processos utilizados para avaliação de conforto térmico dos indivíduos e análise desempenho térmico das edificações.

Nessa direção, Santos, Porto e Silva (2020), em estudo realizado em habitações de interesse social do Mato Grosso do Sul, puderam notar a existência de correlação entre os resultados encontrados na avaliação de conforto térmico dessas edificações, utilizando a ASHRAE 55 (2017), e os obtidos na avaliação de desempenho térmico, baseado na NBR 15.575 (2013). Eles perceberam, em algumas situações, que quanto maior o desempenho melhor é a porcentagem de horas de conforto. Todavia, em determinados casos, a avaliação do conforto apresenta-se mais rigorosa. Nesse contexto, eles afirmam que existiam situações em que o desempenho mínimo da edificação podia ser atendido, mas não havia condições adequadas de conforto térmico e também em certas situações o inverso poderia acontecer.

Seguindo essa linha de raciocínio, existem estudos que admitem que o método estabelecido pela NBR 15.575, versão 2013, para avaliação do desempenho térmico, não possuía

correlação com o conforto térmico (DELL-SANTO, ALVAREZ, NICO-RODRIGUES, 2013). Pereira e Ferreira (2014) justificam tal aspecto, afirmando que o procedimento que era utilizado na norma 15.575, estabelecendo a avaliação do desempenho térmico da edificação levando em conta apenas um dia do ano, não era representativo para correlacionar com o conforto térmico.

Diante do exposto, na seção a seguir, será discutido sobre o processo de avaliação do desempenho térmico de edificações, focando na metodologia definida por norma para a análise das edificações no Brasil.

## **2.2 A Norma Brasileira de avaliação de desempenho térmico: NBR 15.575**

Quando se trata das condições internas no ambiente construído, espera-se que o conforto e o desempenho térmicos possuam uma relação proporcional, para que ambos sejam atendidos de maneira concomitante. Tais áreas de estudo, apesar de terem definições parecidas e se apropriarem das mesmas variáveis (ambientais e climáticas), em seus escopos, estão baseadas em metodologias diferentes, bem como possuem objetos de pesquisa distintos. Enquanto a primeira tem como seu principal objeto o ser humano, a segunda foca sua avaliação no funcionamento da edificação.

Assim, antes de definir o conceito de desempenho térmico, para que fique compreensível o entendimento dessa área de estudo, salienta-se que a avaliação do desempenho, na construção civil, deve ocorrer tomando como referência a edificação enquanto está em uso (ABNT, 2013). Nesse sentido, o desempenho térmico pode ser definido como o comportamento térmico mínimo que se espera de uma edificação, levando em consideração as respostas ao clima externo e as condições de uso dos ambientes, objetivando melhores condições de conforto térmico interior (MATTOS, 2015).

Conforme Pereira e Ghisi (2010), um edifício possui bom desempenho térmico quando apresenta características físicas e construtivas (volumetria, materiais, aberturas) que possibilitam a manutenção do conforto para os usuários, necessitando o mínimo possível do uso de equipamentos mecânicos para isso (condicionadores de ar, ventiladores). A respeito do conforto térmico, Frota e Schiffer (2001) acrescentam que a economia de energia tem uma relação relevante com a adequação das características construtivas da edificação ao clima,

podendo tornar os sistemas artificiais de condicionamento dispensáveis ou menos necessários tanto para aquecimento quanto para resfriamento dos ambientes.

O conforto térmico e a eficiência energética devem ser ponderados ao se avaliar o nível de desempenho térmico de uma edificação. Nesse sentido, a norma que traz os métodos de avaliação do desempenho térmico no Brasil, a NBR 15.575 (ABNT, 2013), durante a sua elaboração, passou por várias modificações visando a um melhor atendimento das questões supracitadas. Após a sua publicação, em 2013, continuou sendo alvo de diversos estudos e críticas para a melhoria das metodologias empregadas na avaliação do desempenho térmico.

A seguir, serão apresentados alguns pontos relevantes da norma, no que concerne à avaliação do desempenho térmico. Para tanto, serão discutidas as críticas e as proposições de alteração que foram feitas, nos últimos anos, a respeito das metodologias de avaliação de desempenho térmico propostas pela norma até chegar na versão mais atual, publicada no ano de 2021.

### ***2.2.1 Críticas aos métodos de avaliação do desempenho térmico presentes na NBR 15.575/2013***

Em 2008, foi publicada a primeira versão da NBR 15.575, responsável por estabelecer os requisitos mínimos de desempenho, de vida útil e de garantia para os sistemas das habitações, que possuía um período de carência de dois anos, a partir de então, para que as empresas do setor da construção civil pudessem se adequar para atendê-la. Contudo, a norma não chegou a entrar em vigor, pois não teve uma boa aceitabilidade de imediato pela indústria da construção civil, devido ao seu caráter não prescritivo e ao impacto que poderia causar no mercado da construção ao estabelecer um desempenho mínimo que deveria ser atendido pelas construtoras.

Após intensas discussões, finalmente, ela foi publicada com alterações, em 19 de fevereiro de 2013, passando a vigorar apenas a partir de julho do referente ano (SORGATO *et al.*, 2014). Seus critérios e requisitos não podiam ser aplicados/exigidos nas obras que estavam em andamento ou que fossem concluídas até a sua entrada em vigor. Ou seja, apenas os projetos elaborados e construídos após julho de 2013 deveriam atender a um desempenho mínimo.

Essa normativa encontra-se, atualmente, dividida em seis partes, estando a primeira responsável por tratar dos requisitos gerais. As demais partes abordam cada um dos subsistemas das edificações habitacionais: 2– Estrutura; 3 – Pisos; 4 – Vedações Verticais Internas e Externas; 5 – Coberturas; e 6 - Hidrossanitário. Tendo em vista tal organização, o desempenho térmico é abordado na primeira, quarta e quinta partes dos documentos. Ou seja, os subsistemas vedações e coberturas são componentes avaliados quanto ao atendimento do desempenho térmico.

A NBR 15.575/2013 estabelecia dois procedimentos normativos (simplificado e simulação computacional) para a avaliação do desempenho térmico nas habitações e um terceiro (medição em campo) de caráter informativo/não normativo. O primeiro método, definido como procedimento simplificado ou normativo, avaliava o desempenho térmico através da análise do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos para as propriedades térmicas dos materiais ou componentes dos sistemas de vedações verticais e coberturas. Além disso, indicava que fosse verificado o atendimento das áreas de aberturas ao critério mínimo estabelecido na normativa, como forma de cumprir ao requisito de ventilação (ABNT, 2013).

Antes da publicação da versão que entrou em vigor em 2013, Grigoletti e Sattle (2010), já tinham percebido que, por se deter apenas às propriedades das paredes e cobertas e não à edificação como um todo, o método simplificado não expressaria o comportamento térmico da edificação de modo real. Após a publicação da norma, constatou-se também que os valores de algumas propriedades térmicas, prescritos no procedimento simplificado para as paredes e cobertas, não correspondiam com os parâmetros indicados em outras normativas e regulamentos nacionais vigentes (OLIVEIRA; SOUZA; SILVA, 2013). Por exemplo, tem-se o valor limite de transmitância térmica, para a zona bioclimática 7, que segundo NBR 15.220 deve ser igual ou inferior a  $2,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  e o conforme a NBR 15.575 deve ser igual ou inferior a  $3,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

A respeito do assunto, Chvatal (2014) indicou, a partir dos resultados de sua pesquisa sobre a avaliação da norma NBR 15.575/2013, que o impacto conjugado da transmitância e da absorvância não era representado de forma adequada nos limites estabelecidos pelo procedimento simplificado. Além disso, alertou que a capacidade térmica influenciava esses limites, havendo, assim, a necessidade da realização de ajustes nas recomendações das propriedades térmicas limites da norma.

Retomando a discussão sobre o texto do documento, de acordo com a NBR 15.575-1/2013, caso fosse verificado um desempenho insatisfatório dos requisitos e critérios (transmitância e capacidade térmica), conforme sugeria o procedimento simplificado, por parte dos sistemas de vedação e cobertas em uma edificação, recomendava-se a avaliação global da edificação pelo método de simulação computacional (ABNT, 2013). Desse modo, o texto normativo induzia à interpretação de que havia uma conexão entre as metodologias de avaliação sugeridas.

Sobre a relação entre os dois procedimentos supracitados, Sorgato *et al.* (2014) afirmam que estes (métodos simplificado e de simulação) não apresentavam equivalência após realizarem uma análise crítica sobre ambos. Isto é, na sua pesquisa, percebeu-se que a edificação que atendia ao desempenho mínimo através da avaliação pelo método simplificado não atenderia, necessariamente, esse mesmo nível de desempenho na avaliação pelo método de simulação, notando-se assim uma contradição na norma.

Sobre o método de simulação, a versão de 2013 estabelecia para a análise do desempenho térmico dos projetos que, tanto no verão quanto no inverno, as condições térmicas no interior do edifício habitacional fossem melhores ou, dependendo da situação, iguais às do ambiente externo. À luz disso, era definido como critério, para o dia típico de verão, que o valor máximo diário da temperatura do ar interior dos recintos de permanência prolongada (salas e dormitórios), sem admitir a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deveria ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior a fim de atender ao nível mínimo de desempenho. Para atingir aos níveis intermediário e superior de desempenho térmico, o limite da diferença entre as temperaturas dos espaços era ampliado. (ABNT, 2013).

De modo análogo, para o inverno, era definido que, para o atendimento do desempenho mínimo, os ambientes de permanência prolongada deveriam ter temperaturas iguais ou superiores a temperatura externa acrescida de 3 °C. Por sua vez, para atender aos outros dois níveis de desempenho, essa diferença deveria ser de 5 e 7 °C, respectivamente (Tabela 1).



**Tabela 1 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e inverno conforme cada zona**

Nível de desempenho	Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
Mínimo	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
Intermediário	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1^{\circ}\text{C})$
Superior	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,max} + 1^{\circ}\text{C})$
Nível de desempenho	Critério de desempenho térmico para condições de inverno	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimática 6,7 e 8
Mínimo	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
Intermediário	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ}\text{C})$	
Superior	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ}\text{C})$	

Fonte: Adaptado da ABNT (2013).

A despeito desse critério, alguns trabalhos criticaram a adoção desse parâmetro de diferença de temperatura, bem como ressaltaram a necessidade de um maior detalhamento sobre as variáveis de entrada no processo de simulação. Ao avaliar o desempenho térmico dos ambientes de permanência prolongada, através da análise da diferença entre as temperaturas externa e interna, Santos, Porto e Silva (2020) afirmam que a norma não considerava de modo direto o conforto térmico dos usuários, indo, dessa forma, de encontro ao que se espera de um ambiente com um bom desempenho térmico (MATTOS, 2015).

Na mesma direção, Oliveira *et al.* (2015) perceberam que os limites estabelecidos na NBR 15.575/2013, para o atendimento do nível mínimo de desempenho, são distantes dos limites estabelecidos pela ASHRAE 55 para atendimento do conforto térmico a partir da comparação dos resultados obtidos com aplicação das duas normas em um mesmo projeto. Logo, a observância às condições mínimas da norma brasileira pode contribuir para a adoção inapropriada de soluções construtivas na perspectiva do conforto térmico, subestimando assim

o consumo de energia na edificação pelos usuários para a melhoria do conforto (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

A norma determinava que a comparação entre as temperaturas deveria ser realizada, a depender da localidade, apenas para um ou dois dias do ano, definidos como dia típico de verão e dia típico de inverno (ABNT, 2013). Tais dias representavam, respectivamente, o dia mais quente e mais frio do ano segundo a média calculada para o período dos últimos 10 anos.

De acordo com observações feitas por Sorgato *et al.* (2012) e Dell-Santo, Alvarez, Nico-Rodrigues (2013), em estudos para apreciar as recomendações presentes na norma, a respeito da simulação computacional, era necessário que esse método fosse realizado considerando não apenas dois dias, mas sim as 8.760 horas do ano na avaliação do desempenho. Além disso, deveria considerar as variações horárias na ocupação dos espaços, as potências de iluminação e equipamentos, a ventilação natural, dentre outros aspectos, para tornar a avaliação pelo método citado mais realístico.

Ao retomar seus estudos sobre o processo de simulação da norma, publicada em 2013, Sorgato *et al.* (2014), mais um vez perceberam a presença de lacunas no procedimento de simulação computacional, sinalizando, dessa vez, para a falta de estabelecimento de condições para o piso da edificação dentro da normativa, pois, segundo eles, a maneira como o contato entre o solo e o piso é modelado pode causar mudanças significativas na avaliação do desempenho térmico da edificação.

A NBR 15.575/2013, no que diz respeito à avaliação do desempenho térmico em habitações, representa um avanço para o país. Todavia, como pode ser observado, desde a sua elaboração e mesmo após a sua publicação, em 2013, várias críticas continuaram sendo feitas devido aos procedimentos de avaliação estabelecidos para o desempenho térmico das habitações. Em vista disso, alterações passaram a ser discutidas para o texto normativo com o intuito de melhorar a sua metodologia de análise do desempenho térmico.

Assim, a supracitada norma passou, recentemente, por um processo de revisão e consulta pública, tendo uma emenda publicada em 03 de março de 2021. As alterações realizadas no documento estão relacionadas, especificamente, às seções que tratam sobre a avaliação do desempenho térmico das edificações, ou seja, a primeira, a quarta e a quinta partes da NBR

15.575. As atualizações citadas não devem ser consideradas na avaliação de projetos que tenham sido protocolados, para aprovação no órgão competente de licenciamento, anteriormente à data de publicação ou que tenham sido protocolados no prazo de até 180 dias após a publicação da emenda nº 1 (ABNT, 2021).

A atual norma, assim como a versão antiga, cita em diferentes momentos a questão do conforto do usuário nas edificações. Diante da recente divulgação do novo método de avaliação do desempenho térmico em edificações, torna-se importante verificar como a atual versão da NBR 15.575 irá atender aos limites sugeridos para o conforto térmico previstos em outras normativas, como por exemplo, a ASHRAE 55.

Antes de iniciar a discutir sobre a atualização, salienta-se que na versão de 2013 havia também o método de medição. Nesse molde, a verificação do atendimento dos requisitos e critérios era feita por meio da realização de medições na própria edificação ou em protótipos. Esse método não se sobrepunha aos dois procedimentos citados anteriormente, logo, tinha um caráter apenas informativo. Na próxima subseção, serão apresentados aspectos relevantes do atual texto normativo, no que concerne à avaliação do desempenho térmico das edificações.

### ***2.2.2 Novos métodos de avaliação do desempenho térmico da NBR 15.575/2021***

O novo texto sobre avaliação do desempenho térmico de edificações da NBR 15.575 foi publicado em 30 de março de 2021, fazendo alterações as parte 1, 4 e 5. Ela passou a valer para projetos protocolados após 180 dias dessa data de publicação. A emenda nº 1 classifica o desempenho térmico das edificações em três níveis, mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), sendo obrigatório que as edificações atendam aos requisitos e critérios para o desempenho mínimo. Segundo a norma, a avaliação do desempenho pode ser feita através de dois procedimentos, não havendo mais referência ao método de medição *in loco*.

O procedimento simplificado ocorre por meio da comparação das características geométricas dos ambientes de permanência prolongada (APP) e das propriedades térmicas dos sistemas construtivos em relação aos valores de referência, ou seja, valores que são recomendados para a edificação conforme a zona bioclimática (ZB) em que ela está/estará situada. A inovação nesse método, em relação ao texto publicado no ano 2013, está na inserção de critérios para a

área de superfície de elementos transparentes nos APP, tomando como base a área do piso de cada um desses espaços.

Caso a edificação avaliada não atenda a algum dos critérios do procedimento simplificado, através de um ou mais APP, ela deverá, então, ser avaliada pelo procedimento de simulação computacional. De modo similar ao texto antigo, enquanto o procedimento simplificado pode ser utilizado para verificar apenas o atendimento do nível mínimo (obrigatório), o atendimento aos níveis intermediário e superior só pode ser verificado por meio do procedimento de simulação computacional.

Já o procedimento de simulação computacional, adotado neste trabalho, pode ser aplicado para avaliar o atendimento aos três níveis de desempenho térmico. A norma indica que o software utilizado para a realização da simulação computacional atenda a determinados critérios que serão apresentados na subseção seguinte.

De acordo com a emenda nº 1 da NBR 15.575 (ABNT, 2021), o software para avaliação do desempenho deverá atender a determinados critérios, dentre os quais se destacam:

- ser capaz de estimar as variações da temperatura operativa, das cargas térmicas de refrigeração e de aquecimento e o uso da ventilação natural na UH (unidade habitacional), separadamente para as 8.760 horas ao longo do ano, levando em conta as variações horárias de ocupação, de potência de iluminação e de equipamentos.
- estar de acordo com a ASHRAE 140;
- permitir modelar os efeitos de inércia térmica, as trocas de calor entre a edificação e o solo;
- calcular cargas térmicas latente e sensível;
- ter a capacidade de simular o efeito do sombreamento de elementos externos às zonas térmicas;
- ter a capacidade de simular os efeitos da ventilação cruzada entre os ambientes.

#### *2.2.2.1 Procedimento simplificado*

Os aspectos que são avaliados pelo presente método são a transmitância térmica ( $U_{par}$ ), a capacidade térmica ( $CT_{par}$ ), o percentual de abertura para ventilação ( $P_{v,APP}$ ), o percentual de elementos transparentes ( $P_{t,APP}$ ) e a área de superfície dos elementos transparentes ( $A_{t,APP}$ ),

para os sistemas de vedações verticais externas (SVVE), comparando os valores adotados para edificação avaliada com critérios de referência para esses parâmetros que são estabelecidos pela norma.

Para as coberturas, avalia-se a transmitância térmica ( $U_{cob}$ ), também por meio da comparação com valores normativos. Na avaliação de ambos os sistemas de vedação, para a determinação dos valores de referência das variáveis acima, recomenda-se considerar o zoneamento bioclimático brasileiro, especificado na ABNT NBR 15.220-3 (ABNT, 2005).

Comparando a versão antiga e o novo método simplificado da emenda nº 1 da NBR 15.575, observa-se que existem alguns critérios semelhantes, havendo o aprimoramento a partir da inserção de novos critérios para avaliação do atendimento do desempenho mínimo, de caráter obrigatório, pelas edificações. Assim, a respeito dos SVVE, continua-se adotando os mesmos valores para transmitância térmica que varia conforme a zona bioclimática (Tabela 2).

**Tabela 2 – Transmitância térmica de referência para paredes externas**

<b>Transmitância térmica de paredes (<math>U_{par}</math>)</b>		
<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>		
<b>Zona bioclimáticas 1 e 2</b>	<b>Zonas bioclimáticas 3 e 8</b>	
$U_{par} \leq 2,7$	$\alpha_{par} \leq 0,6$	$\alpha_{par} > 0,6$
	$U_{par} \leq 3,7$	$U_{par} \leq 2,5$

Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.

A transmitância térmica dependerá também da absorvância à radiação solar da superfície externa da parede, sendo recomendada a consideração da degradação no desempenho. Além disso, se houver matérias com diferentes valores de transmitância térmica e absorvância no SVVE, a norma sugere fazer uma ponderação em função da área para determinar o valor dessas propriedades para as edificações avaliadas. O mesmo ocorre para a capacidade térmica do SVVE, que terá valor de referência conforme a zona bioclimática (Tabela 3).

**Tabela 3 – Capacidade térmica de referência para paredes externas**

<b>Capacidade térmica de paredes (<math>CT_{par}</math>)</b>	
<b>kJ/(m<sup>2</sup>.K)</b>	
<b>Zonas bioclimáticas 1 a 7</b>	<b>Zona bioclimática 8</b>
$CT_{par} \geq 130$	Sem requisito

Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.

Na Tabela 3, percebe-se que não há mudança entre os valores presentes na versão anterior e na atual. Caso a edificação avaliada tenha paredes com capacidades térmicas distintas, os

valores deverão ser ponderados para encontrar um valor de capacidade térmica equivalente. Outro critério em que não houve modificação nos valores foi o percentual de abertura para ventilação (Tabela 4).

**Tabela 4 – Percentual de abertura de referência para ventilação**

<b>Percentual de abertura para ventilação (<math>P_{v,APP}</math>)</b>		
<b>%</b>		
<b>ZB 1 a 7</b>	<b>ZB 8 – Região Norte do Brasil</b>	<b>ZB 8 – Regiões Nordeste e Sudeste do Brasil</b>
$P_{v,APP} \geq 7,0\%$ da área do piso	$P_{v,APP} \geq 12,0\%$ da área do piso	$P_{v,APP} \geq 8,0\%$ área de piso

Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.

Os valores de percentual de abertura de referência para ventilação permanecem variando com base no zoneamento bioclimático. E, o cálculo desta propriedade para o projeto avaliado é realizado determinando a razão entre a área efetiva de abertura para a ventilação do ambiente de permanência prolongada e a área do piso desse ambiente.

A novidade no novo método simplificado é a adoção de critérios para avaliação dos elementos transparentes. Os limites desses elementos irão variar de acordo com: a área de piso do ambiente de permanência prolongada; a latitude da cidade em que a unidade habitacional está/será construída e a orientação da abertura; e a adoção de vidros com alto desempenho ou o uso de elementos de sombreamento horizontais nas aberturas.

Nesses termos, para ambientes de permanência prolongada com área igual ou inferior a  $20,0 \text{ m}^2$ , o percentual deve ser inferior ou igual a 20% e, para ambientes com área maior, a área da superfície dos elementos transparentes deve ser igual ou inferior a  $4,0 \text{ m}^2$  (Tabela 5).

**Tabela 5 – Proporção de referência dos elementos transparentes**

<b>Percentual de elementos transparentes (<math>P_{t,APP}</math>)</b>	<b>Área de superfície dos elementos transparentes (<math>A_{t,APP}</math>)</b>
$A_{p,APP} \leq 20,0 \text{ m}^2$	$A_{p,APP} > 20,0 \text{ m}^2$
$P_{t,APP} \leq 20\%$	$A_{t,APP} \leq 4,0 \text{ m}^2$

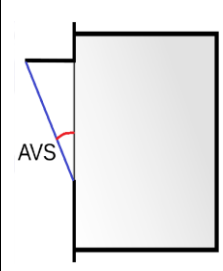
Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.

Para edificações, localizadas em latitude inferior a  $-15^\circ$  e abertura orientada para o sul, o percentual acima estabelecido para os ambientes de permanência prolongada para as duas

condições descritas acima passam a ser 30% e 6,0 m<sup>2</sup>. Caso a edificação possua vidros com alto desempenho térmico, ou seja, fator solar inferior (FS) a 0,64 ou nível de etiqueta superior a D estabelecido pela NBR 10.821 (ABNT, 2017) – Esquadrias externas para edificações – o limite do percentual da área de elementos transparentes é ampliado.

Quando o elemento transparente possuir dispositivo de sombreamento horizontal sobre ele, o limite máximo do percentual de elemento transparente irá variar segundo o ângulo de vertical de sombreamento (AVS) conforme Tabela 6. O AVS é representado pelo ângulo formado entre dois planos que contêm a base da abertura: o plano vertical na base da folha de vidro (ou material translúcido) e o plano formado pela extremidade mais distante da proteção solar horizontal até a base da folha de vidro (ou material translúcido).

**Tabela 6 – Percentual de elementos transparentes em função do ângulo vertical de sombreamento para UH localizadas nas zonas bioclimáticas 3 a 8**

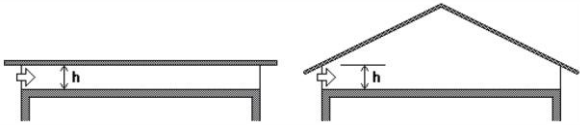
Representação	Percentual de elementos transparentes ( $P_{t,APP}$ )			
	Ângulo vertical de sombreamento (AVS) °	Fachada Leste e Oeste	%	
Latitudes < -15°			Latitudes ≥ -15°	
			Fachada Norte	Fachadas Norte e Sul
	30	22	24	23
	35	23	27	23
	40	25	29	24
	45	27	33	25

Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.

Para ambientes com área superior a 20,0 m<sup>2</sup>, o limite de referência será igual ao produto do percentual de elementos transparentes pela área de 20,0 m<sup>2</sup>. Se o elemento horizontal se prolongar por menos que 90% da extensão horizontal dos elementos transparentes, adota-se o critério apresentado inicialmente como referência para limitação.

Para os critérios supracitados, se a edificação estudada adotar valores que não atendem ao determinado, é sugerida a avaliação pelo método de simulação computacional. Ademais, para o sistema de vedação, também é analisado o atendimento a valores limites de transmitância térmica da cobertura ( $U_{cob}$ ) nos ambiente de permanência prolongada, para verificação da observância ao nível de desempenho mínimo. Os valores de referência estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Transmitância térmica de referência para coberturas

Transmitância térmica de coberturas ( $U_{cob}$ ) $W/m^2.K$				
Zonas bioclimáticas 1 e 2	Zonas bioclimáticas 3 e 6		Zonas bioclimáticas 7 e 8	
$U_{cob} \leq 2,30$	$\alpha_{cob} \leq 0,6$	$\alpha_{cob} > 0,6$	$\alpha_{cob} \leq 0,4$	$\alpha_{cob} > 0,4$
	$U_{cob} \leq 2,3$	$U_{cob} \leq 1,5$	$U_{cob} \leq 2,3.FT$	$U_{cob} \leq 1,5.FT$
<b>Representação</b>	 <p> <math>FT = 1,17 - 1,07 \cdot h^{-1,04}</math>  Onde:  FT = fator de correção;  h = altura (cm) da abertura em beiras opostas. </p>			

Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.

Os valores de transmitância térmica variam com base na zona bioclimática e absorvância solar. Além disso, é aplicado um fator de correção (FT) da transmitância para as edificações que estão nas zonas bioclimáticas 7 e 8 quando a edificação possui ático ventilado na cobertura. Esse fator de correção é a equação expressa na Tabela 7. Se este critério não for atendido pela edificação avaliada, ela deverá passar pelo método de simulação computacional.

#### 2.2.2.2 Procedimento de simulação computacional

Para avaliar o desempenho de uma edificação, o método de simulação computacional deve ser aplicado em dois modelos com o intuito de realizar a comparação de desempenho térmico da envoltória entre eles. Assim, para fazer a análise, é necessário modelar:

- Modelo real: são utilizadas as características da unidade habitacional com as propriedades térmicas e as composições dos elementos transparentes, paredes e cobertura; e
- Modelo de referência: é utilizada a geometria do modelo real, mas com as características/propriedades térmicas recomendadas para as edificações da zona bioclimática na qual unidade habitacional está inserida.

Para verificar o atendimento ao nível mínimo, considera-se que as edificações estão apenas ventiladas naturalmente. Por sua vez, para verificar o atendimento aos níveis intermediário e superior, as edificações devem ser simuladas considerando o uso dos ambientes de permanência prolongada (APP) das habitações tanto na condição de ventilação natural quanto



sem ventilação natural. A seguir, serão detalhadas as especificações para cada um desses níveis.

#### 2.2.2.2.1 Atendimento ao desempenho térmico de nível mínimo

Na primeira simulação, para verificar o atendimento ao nível mínimo, é necessário determinar o percentual de horas de ocupação dos APP que está dentro de uma faixa de temperatura operativa ( $PHFT_{APP}$ ) e as temperaturas operativas máxima ( $Tomáx_{UH}$ ) e mínima ( $Tomín_{UH}$ ), esta última apenas para edificações localizadas nas zonas bioclimáticas 1 a 4, ou seja, localizada em regiões de clima mais frio no Brasil.

A seleção da faixa de temperatura operativa considerada para calcular o percentual de horas de ocupação irá depender do clima do local, sendo possíveis três intervalos. Nesses termos, a determinação do intervalo dependerá da média anual da temperatura externa de bulbo seco ( $TBS_m$ ) – temperatura do ar sem considerar o teor de umidade - do arquivo climático que será utilizado para a simulação. A Tabela 8 traz os três intervalos de trabalho conforme a  $TBS_m$  calculada para a localidade.

**Tabela 8 - Intervalos de temperaturas externas de bulbo seco**

<b>Intervalos de temperaturas externas</b>	<b>Média anual de temperatura externa de bulbo seco (<math>TBS_m</math>) °C</b>
Intervalo 1	$TBS_m < 25,0 \text{ °C}$
Intervalo 2	$25,0 \text{ °C} \leq TBS_m < 27,0 \text{ °C}$
Intervalo 3	$TBS_m \geq 27,0 \text{ °C}$

Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.

A partir da definição do intervalo em que a cidade se enquadra, é possível delimitar a faixa de temperatura operativa que servirá como base para a avaliação dos ambientes das edificações (Tabela 9). Krelling *et al.* (2020) explicam que os limites apresentados na Tabela 9 não são necessariamente convertidos em conforto térmico para os usuários da edificação tendo em vista que este deve considerar questões como, por exemplo, as variáveis psicológicas e fisiológicas. Todavia, eles asseguram que as faixas de temperatura estão baseadas em estudos de campo sobre preferências térmicas de ocupantes de residência.

**Tabela 9 - Faixas de temperaturas operativas para a determinação do PHFT<sub>APP</sub>**

<b>Intervalos de temperaturas externas</b>	<b>Faixa de temperatura operativa a ser considerada</b>
Intervalo 1	18,0 °C < T <sub>OAPP</sub> < 26,0 °C
Intervalo 2	T <sub>OAPP</sub> < 28,0 °C
Intervalo 3	T <sub>OAPP</sub> < 30,0 °C

Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.

A norma determina que seja encontrado o percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT) para os dois modelos (real e referência). Além disso, no modelo com ventilação natural, deve-se identificar também o valor de temperatura operativa máxima de cada APP (Tomáx<sub>APP</sub>) durante o seu respectivo período de ocupação. Para ambos os valores (PHFT e Tomáx), os resultados devem ser arredondados, adotando-se sempre uma casa decimal.

A partir da equação (3), é possível determinar a porcentagem de horas que o ambiente de permanência prolongada estará dentro do intervalo previamente estabelecido.

$$\text{PHFT}_{\text{APP}} = \frac{\text{Nh}_{\text{FT}}}{\text{Nh}_{\text{Ocup}}} \cdot 100 \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

PHFT<sub>APP</sub>: é o percentual de horas de ocupação do APP dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em porcentagem (%);

Nh<sub>FT</sub>: é o número de horas em que o APP se encontra ocupado e com temperaturas operativas dentro da faixa de temperatura operativa determinada anteriormente.

Nh<sub>Ocup</sub>: é o número de horas em que o APP é ocupado ao longo do ano, equivalente a 2.920 horas para salas e 3.650 horas para dormitórios.

Após isto, é possível determinar o percentual de horas de ocupação da UH dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT<sub>UH</sub>). Para tanto, aplica-se a equação:

$$\text{PHFT}_{\text{UH}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{PHFT}_{\text{APP},i}}{n} \cdot 100 \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$PHFT_{UH}$ : é o percentual de horas de ocupação da UH dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em porcentagem (%);

$PHFT_{APP,i}$ : é o percentual de horas de ocupação do APP i dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em porcentagem (%);

n: é o número de ambientes de permanência prolongada da UH.

Para que a unidade habitacional atenda ao nível mínimo, é necessário que o  $PHFT_{UH,real}$  seja superior a 90% do obtido para o modelo de referência ( $PHFT_{UH,ref}$ ). Para o atendimento dos níveis intermediário e superior, são considerados incrementos nesse valor, que serão abordados na seção posterior.

O segundo critério avaliado dentro do desempenho mínimo são as temperaturas operativas anuais máxima ( $Tomáx_{UH}$ ) e mínima ( $Tomín_{UH}$ ). É necessário determinar a temperatura operativa anual máxima ( $Tomáx_{APP}$ ) de cada APP, considerando somente os períodos em que eles estão ocupados. Isto é, a temperatura operativa máxima da UH é definida a partir da comparação  $Tomáx_{APP}$  dos ambientes de permanência prolongada, adotando-se o maior valor entre eles.

Como a edificação avaliada encontra-se localizada na zona bioclimática 7, a norma salienta que não é necessário determinar a temperatura operativa anual mínima ( $Tomín_{APP}$ ) de cada APP (ABNT, 2021). Os dados de saída da simulação devem ser obtidos para cada hora, em ambos os modelos, resultando em um total de 8.760 valores para cada variável.

Para todos os níveis de desempenho (mínimo, intermediário ou superior), a temperatura operativa anual máxima do modelo real deve ser menor ou igual ao modelo de referência, após ser adicionado um valor de tolerância ( $\Delta Tomáx$ ), conforme equação.

$$Tomáx_{UH,real} \leq Tomáx_{UH,ref} + \Delta Tomáx \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

$Tomáx_{UH,real}$ : é a temperatura operativa anual máxima da UH no modelo real, expressa em graus Celsius ( $^{\circ}C$ );

$Tomáx_{UH,ref}$ : é a temperatura operativa anual máxima da UH no modelo de referência, expressa em graus Celsius ( $^{\circ}C$ );

$\Delta T_{\text{omáx}}$ : é o valor de tolerância da temperatura operativa anual máxima, expressa em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Nesse contexto, considera-se um incremento igual a  $2^{\circ}\text{C}$  para as UH unifamiliares e para as UH em edificações multifamiliares localizadas no pavimento de cobertura. Por sua vez, para UH localizada no térreo ou pavimento tipo, deve-se adotar um incremento igual a  $1^{\circ}\text{C}$ .

#### 2.2.2.2.2 *Atendimento ao desempenho térmico de nível médio e superior*

Para atender aos níveis médio e superior, o modelo real deve observar os critérios do desempenho mínimo, considerando incrementos tanto no  $\text{PHFT}_{\text{UH}}$  quanto na redução da carga térmica total ( $\text{RedCgTT}$ ). A observação da capacidade de incrementos no valor  $\text{PHFT}_{\text{UH,real}}$  ( $\Delta\text{PHFT}$ ) e  $\text{RedCgTT}$  é feita através da comparação deste valor com incrementos mínimos no  $\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$  e  $\text{RedCgTT}_{\text{mín}}$  estabelecidos conforme será apresentado adiante. Lembrando que, assim como no atendimento do desempenho mínimo, os critérios de temperaturas operativas anuais máximas e mínimas também devem ocorrer para a obtenção dos níveis intermediário e superior.

O incremento do  $\text{PHFT}_{\text{UH,real}}$  do modelo real em relação ao  $\text{PHFT}_{\text{UH,ref}}$  do modelo de referência é determinado pela equação 4:

$$\Delta\text{PHFT} = \text{PHFT}_{\text{UH,real}} - \text{PHFT}_{\text{UH,ref}} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

$\Delta\text{PHFT}$ : é o incremento do  $\text{PHFT}_{\text{UH,real}}$  em relação ao  $\text{PHFT}_{\text{UH,ref}}$ , expresso em porcentagem (%);

$\text{PHFT}_{\text{UH,real}}$ : é o percentual de horas de ocupação da UH no modelo real dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em porcentagem (%);

$\text{PHFT}_{\text{UH,ref}}$ : é o percentual de horas de ocupação da UH no modelo de referência dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em porcentagem (%).

O valor do incremento mínimo que deve ser utilizado para a comparação com a variável acima, para atendimento do nível intermediário ou superior, será apresentado no final desta subseção.

Como destacado, a edificação deverá atender ao critério da carga térmica total da UH no modelo de simulação, no caso, desconsiderando a ventilação natural nos momentos em que os APP do modelo com ventilação natural estiverem ocupados e com a temperatura operativa dentro dos intervalos apresentados na Tabela 10.

Assim, na segunda simulação, sem considerar a ventilação natural, deve ser determinado o somatório anual dos valores horários da carga térmica de refrigeração ( $CgTR_{APP}$ ). Salienta-se que para as edificações localizadas em regiões cuja média anual da temperatura externa de bulbo seco  $TBS_m$  é inferior a  $25^{\circ}C$  (intervalo 1), é necessário calcular também o somatório anual dos valores horários da carga térmica de aquecimento ( $CgTA_{APP}$ ). Destaca-se que esse não é o intervalo considerado para a cidade de Paulo Afonso-BA.

É importante salientar que a norma recomenda que os valores de saída precisam ser horários, bem como deve ser calculado o somatório anual dos valores de carga térmica de refrigeração ( $CgTR_{APP}$ ) - e aquecimento ( $CgTA_{APP}$ ) se a cidade estudada estiver no intervalo 1 - do modelo sem ventilação natural, quando os modelos estiverem atendendo às seguintes condições:

- a) O ambiente de permanência prolongada precisa estar ocupado;
- b) A temperatura operativa do APP, no modelo com ventilação natural, encontra-se dentro dos limites de temperaturas operativas estabelecidas na Tabela 10.

**Tabela 10 - Valores de temperatura operativa para o cálculo da  $CgTR_{APP}$  e da  $CgTA_{APP}$**

<b>Intervalos de temperaturas externas</b>	<b>Faixa de temperatura operativa para cálculo da <math>CgTR_{APP}</math></b>	<b>Faixa de temperatura operativa para cálculo da <math>CgTA_{APP}</math></b>
Intervalo 1	$T_{O_{APP}} \geq 26,0^{\circ}C$	$T_{O_{APP}} \leq 26,0^{\circ}C$
Intervalo 2	$T_{O_{APP}} \geq 28,0^{\circ}C$	Não considera
Intervalo 3	$T_{O_{APP}} \geq 30,0^{\circ}C$	Não considera

Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.

Atendendo a esses critérios, o valor da carga térmica é considerado para integrar o somatório da carga térmica do APP. No presente caso, apenas é levado em conta a  $CgTR_{APP}$ . Em seguida, é determinado o somatório anual dos valores horários da carga térmica de refrigeração ( $CgTR_{UH}$ ) da unidade habitacional conforme a equação:

$$CgTR_{UH} = \sum_{i=1}^n CgTR_{APP,i} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

$CgTR_{UH}$ : é a carga térmica de refrigeração da UH, expressa em quilowatts-hora por ano (kWh/ano);

$CgTR_{APP,i}$ : é a carga térmica de refrigeração do APP i, expressa em quilowatts-hora por ano (kWh/ano);

n: é o número de ambientes de permanência prolongada da UH.

Assim, a carga térmica total ( $CgTT_{UH}$ ) das unidades habitacionais, que atendem ao intervalo 1 de verificação e daquelas que não se enquadram nesse intervalo, será calculada, respectivamente, pelas equações:

- Para intervalo 1:

$$CgTT_{UH} = CgTR_{UH} + CgTA_{UH} \quad \text{Equação (8)}$$

- Para intervalos 2 e 3:

$$CgTT_{UH} = CgTR_{UH} \quad \text{Equação (9)}$$

Como a cidade de Paulo Afonso possui média anual da temperatura externa de bulbo seco no intervalo 2, não é considerado o uso de carga térmica para aquecimento no cálculo da carga térmica total, logo, utiliza-se a equação 8.

O presente critério é usado para avaliar o atendimento aos desempenhos intermediário e superior, cujo atendimento não é caracterizado como obrigatório. A classificação da UH, quanto ao seu nível de desempenho em relação a esse critério é realizada, então, verificando a redução de carga térmica total em relação a um valor mínimo ( $RedCgTT_{\min}$ ). Portanto, esse valor representa o percentual mínimo da redução da  $CgTT_{UH,real}$  em relação à  $CgTT_{UH,ref}$ , que a edificação deve atender para estar dentro do nível intermediário ou superior.

Assim, a unidade habitacional estará classificada dentro do desempenho intermediário ou superior se atender às condições dos intervalos apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11 - Critérios para o atendimento dos níveis de desempenho térmico intermediário e superior**

<b>Nível de desempenho</b>	<b>Critérios</b>
Intermediário (I)	$\Delta\text{PHFT} \geq \Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$ $\text{Tomáx}_{\text{UH,real}} \leq \text{Tomáx}_{\text{UH,ref}} + \Delta\text{Tomáx}$ $\text{Tomín}_{\text{UH,real}} \geq \text{Tomín}_{\text{UH,ref}} - \Delta\text{Tomáx}$ $\text{RedCgTT} \geq \text{RedCgTT}_{\text{mín}}$
Superior (S)	$\Delta\text{PHFT} \geq \Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$ $\text{Tomáx}_{\text{UH,real}} \leq \text{Tomáx}_{\text{UH,ref}} + \Delta\text{Tomáx}$ $\text{Tomín}_{\text{UH,real}} \geq \text{Tomín}_{\text{UH,ref}} - \Delta\text{Tomáx}$ $\text{RedCgTT} \geq \text{RedCgTT}_{\text{mín}}$

Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.

A redução da  $\text{CgTT}_{\text{UH,real}}$  do modelo real em relação à  $\text{CgTT}_{\text{UH,ref}}$  do modelo de referência é dada pela equação (10):

$$\text{RedCgTT} = \left[ 1 - \frac{(\text{CgTT}_{\text{UH,real}})}{(\text{CgTT}_{\text{UH,ref}})} \right] \cdot 100 \quad \text{Equação (10)}$$

Onde:

$\text{RedCgTT}$ : é a redução da carga térmica total da UH no modelo real em relação ao modelo de referência, expressa em porcentagem (%);

$\text{CgTT}_{\text{UH,real}}$ : é a carga térmica total da UH no modelo real, expressa em quilowatts-hora por ano (kWh/ano);

$\text{CgTT}_{\text{UH,ref}}$ : é a carga térmica total da UH no modelo de referência, expressa em quilowatts-hora por ano (kWh/ano).

Assim, tanto para atender ao nível intermediário, quanto ao superior, a edificação precisará observar os incrementos no  $\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$  no percentual mínimo de redução da carga térmica total ( $\text{RedCgTT}_{\text{mín}}$ ). Tais incrementos devem estar de acordo com os valores das Tabelas 12 e 13.

**Tabela 12 - Incremento mínimo do  $PHFT_{UH,real}$  e redução mínima da  $CgTT_{UH,real}$  para o atendimento ao nível de desempenho térmico intermediário**

Critérios		Tipologia			
		Unifamiliar	Multifamiliar		
		-	Pavimento térreo	Pavimento tipo	Pavimento cobertura
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref}/A_{p,UH}$  kWh/(ano.m <sup>2</sup> )	$\Delta PHFT_{min}$ %			
$PHFT_{UH,ref} < 70\%$	Todos os valores	Obtido do ábaco ou das equações da Figura 2			
$PHFT_{UH,ref} \geq 70\%$	Todos os valores	0	0	0	0
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref}/A_{p,UH}$  kWh/(ano.m <sup>2</sup> )	$RedCgTT_{min}$ %			
$PHFT_{UH,ref} < 70\%$	Todos os valores	0	0	0	0
$PHFT_{UH,ref} \geq 70\%$	$CgTT_{UH,ref}/A_{p,UH} < 100$	17	15	22	15
	$CgTT_{UH,ref}/A_{p,UH} \geq 100$	27	20	25	20

Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.

**Tabela 13 - Incremento mínimo do  $PHFT_{UH,real}$  e redução mínima da  $CgTT_{UH,real}$  para o atendimento ao nível de desempenho térmico superior**

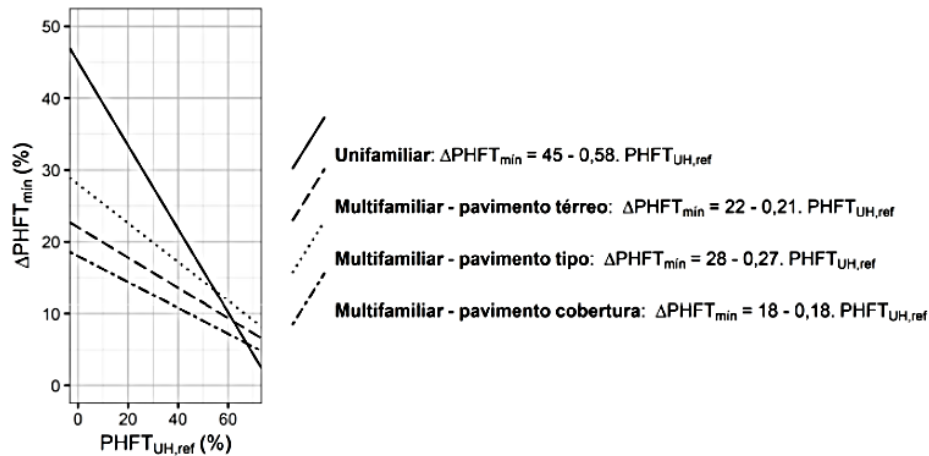
Critérios		Tipologia			
		Unifamiliar	Multifamiliar		
		-	Pavimento térreo	Pavimento tipo	Pavimento cobertura
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref}/A_{p,UH}$  kWh/(ano.m <sup>2</sup> )	$\Delta PHFT_{min}$ %			
$PHFT_{UH,ref} < 70\%$	Todos os valores	Obtido do ábaco ou das equações da Figura 4			
$PHFT_{UH,ref} \geq 70\%$	Todos os valores	0	0	0	0
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref}/A_{p,UH}$  kWh/(ano.m <sup>2</sup> )	$RedCgTT_{min}$ %			
Critério		Unifamiliar	Multifamiliar		
		-	Pavimento térreo	Pavimento tipo	Pavimento cobertura
Todos os valores	$CgTT_{UH,ref}/A_{p,UH} < 100$	35	30	45	30
	$CgTT_{UH,ref}/A_{p,UH} \geq 100$	55	40	50	40

Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.

Como pode ser observado nas Tabelas 12 e 13, para selecionar adequadamente o incremento  $\Delta PHFT_{min}$  é necessário determinar a relação entre  $CgTT_{UH,ref}$  e  $A_{p,UH}$ , que representa a soma das áreas dos pisos de todos os APP da UH ( $A_{p,UH}$ ) em metros quadrados. Os valores que não estão discriminados nas Tabelas 12 e 13, ou seja, quando  $PHFT_{UH,ref}$  for menor que 70%, serão encontrados através do ábaco (Figura 2).



**Figura 2 - Ábaco e equações para a obtenção do  $\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$  quando o  $\text{PHFT}_{\text{UH,ref}}$  for inferior a 70%**



Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.

Parte dos dados de entrada para simulação então na emenda da NBR 15.575-1 (ABNT, 2021). Desse modo, os valores que devem ser considerados para o modelo de referência estão discriminados na norma, assim como os valores para os padrões de ocupação dos APP, as taxas metabólicas e frações radiantes para os usuários, os padrões de uso da iluminação artificial dos APP, a densidade de cargas internas dos equipamentos e de potência instalada da iluminação e demais detalhes que devem ser considerados na simulação.

### 2.3 Bioclimatologia e desempenho e conforto térmico de edificações

O sistema de ar condicionado, como os demais sistemas mecânicos de resfriamento, necessita da energia para poder gerar as melhorias desejadas aos usuários. Assim, as edificações que não são adaptadas ao clima em que estão construídas tendem a ter pior desempenho térmico. A consequência disso é o aumento no consumo de energia elétrica com o uso dos sistemas artificiais de condicionamento e ventilação mecânica (DELL-SANTO; ALVAREZ; NICORRODRIGUEZ, 2013). Diante dessa realidade, diretrizes construtivas são elaboradas visando a melhorias no desempenho nas edificações, sem que haja aumento no consumo de energia e redução no conforto térmico dos usuários.

Conforme Al-Azri, Zurigat e Al-Rawahi (2013), de modo geral, a seleção das estratégias construtivas de condicionamento térmico passivo pode ser feita com base na análise das

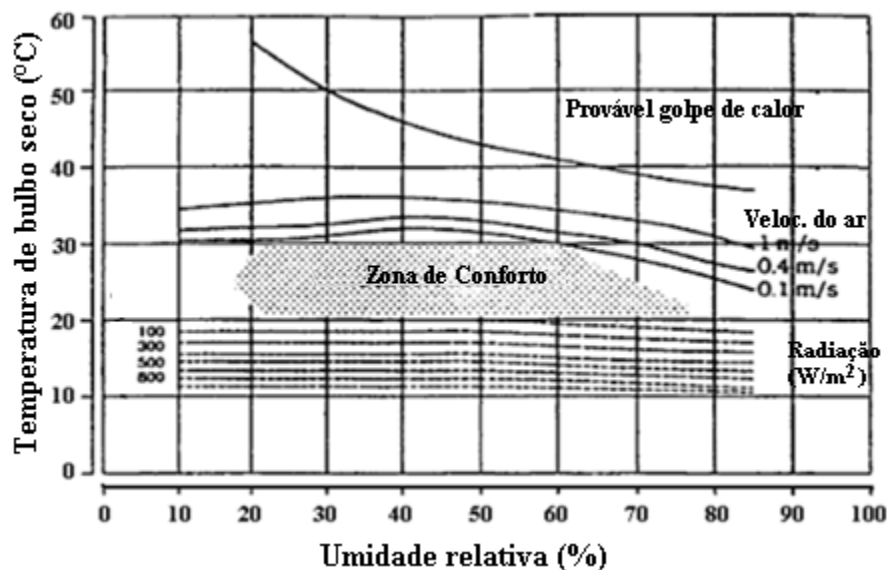
condições climáticas do local em que se deseja construir. Desse modo, a escolha adequada dessas estratégias pode ser feita usando as Cartas Bioclimáticas (GIVONI, 1992).

No que concerne à proposição de diretrizes construtivas para a obtenção do conforto térmico em edificações, os irmãos Olgay são considerados os primeiros a propor um Diagrama Bioclimático (PRIZIBELA, 2011). Dessa maneira, são tidos como precursores do conceito de Arquitetura Bioclimática, área de estudo que relaciona o clima, o ser humano e a construção.

Corbella e Yannas (2009) explicam que o objetivo do projeto bioclimático é proporcionar uma edificação com conforto físico, sadio e agradável, adequada ao clima, que possibilite minimizar o consumo energético convencional e necessite da instalação da menor potência elétrica possível, bem como minimize a produção de poluição. Dessa forma, fica perceptível o caráter interdisciplinar da Arquitetura Bioclimática.

Na Figura 3, é possível observar a carta elaborada pelos irmãos Olgay. Conforme apresentado na imagem, a carta de Olgay relaciona valores de umidade relativa do ar com temperatura de bulbo seco, para delimitar uma zona de conforto térmico. Além disso, está representada na carta, acima da zona de conforto, a estratégia de ventilação recomendada para os períodos de altas temperaturas e, abaixo da zona de conforto, a estratégia de radiação indicada para os dias frios (GIVONI, 1992; AL-AZRI; ZURIGAT; AL-RAWAHI, 2013).

**Figura 3 – Carta Bioclimática de Olgay**



Fonte: Adaptado de Olgay, 1963.

Com a evolução dos estudos sobre a temática, algumas limitações passaram a ser observadas na carta proposta pelos irmãos Olgyay. Cita-se, como exemplo, a sua aplicação; isto é, ela era indicada especificamente para as condições externas às edificações e para as regiões localizadas na latitude de 40° Norte, que corresponde à região de clima temperado dos Estados Unidos (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; MACIEL, 2002).

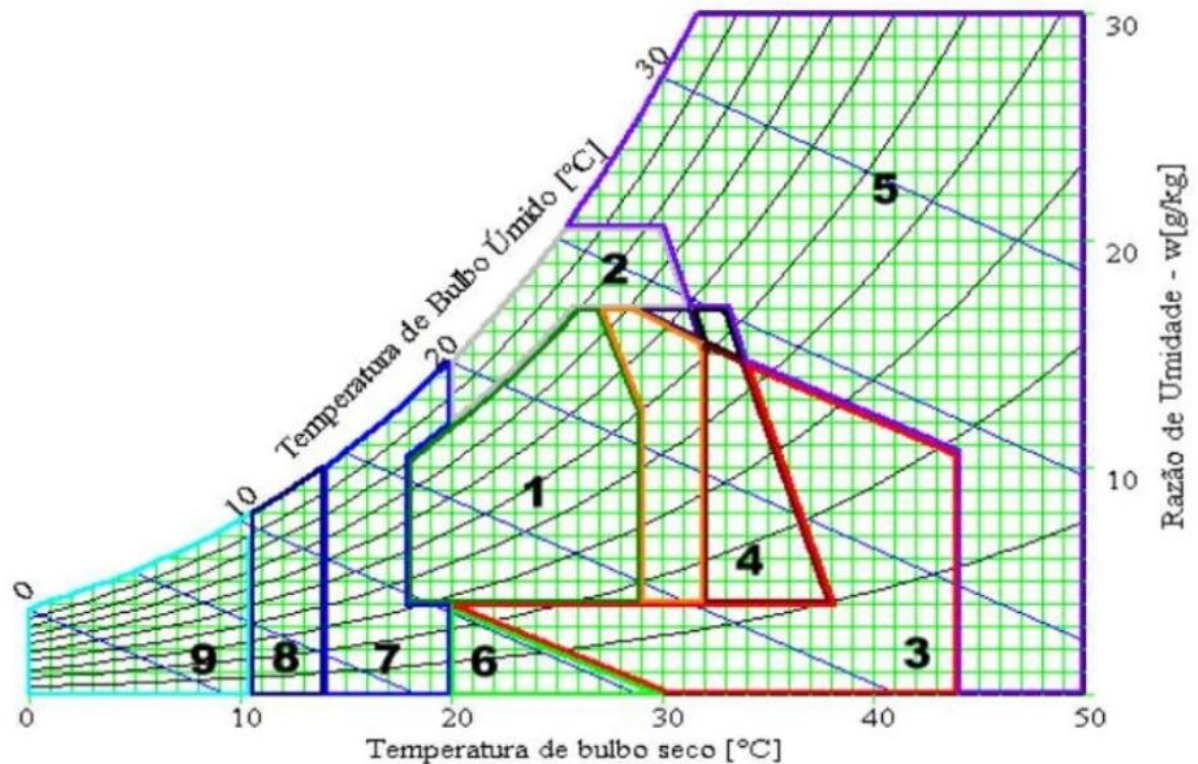
Observando tais problemas, Visitsak e Haberl (2004) explicam que Givoni realizou pesquisas para a proposição de adequações para carta de Olgyay, objetivando a ampliação dos espaços de aplicação desse instrumento. Nesse sentido, no primeiro momento, foram feitos ajustes na carta de Olgyay para levar em conta as temperaturas internas das edificações, a partir da utilização de métodos analíticos que projetassem os valores das temperaturas externas para o interior dos ambientes construídos. Outra modificação realizada pelo pesquisador foi a adaptação dos dados climáticos sobre a carta psicrométrica.

Assim, através da carta psicrométrica, é possível determinar os limites de eficácia de cada estratégia de projeto para atender às necessidades das condições de conforto térmico para o interior das edificações (VISITSAK; HABERL, 2004). Em 1992, Givoni realizou novas modificações, dessa vez, para levar em consideração os conceitos de adaptação humano do conforto térmico (ALVES, 2011).

Conforme observações feitas por Givoni (1992), pessoas que vivem em edificações ventiladas naturalmente, geralmente, têm mais tolerância às grandes variações de temperatura e umidade do ar durante o verão. O autor afirma ainda que essa é a realidade da maior parte dos países em desenvolvimento de clima quente. Ou seja, a maioria das edificações não é condicionada artificialmente, e as pessoas apresentam características de aclimatação e tolerância melhor às altas temperaturas e à umidade.

Na Figura 4, é apresentada a Carta Bioclimática de Givoni. Nela, estão destacadas as estratégias recomendadas para as edificações.

Figura 4 – Carta Bioclimática de Givoni (1992)

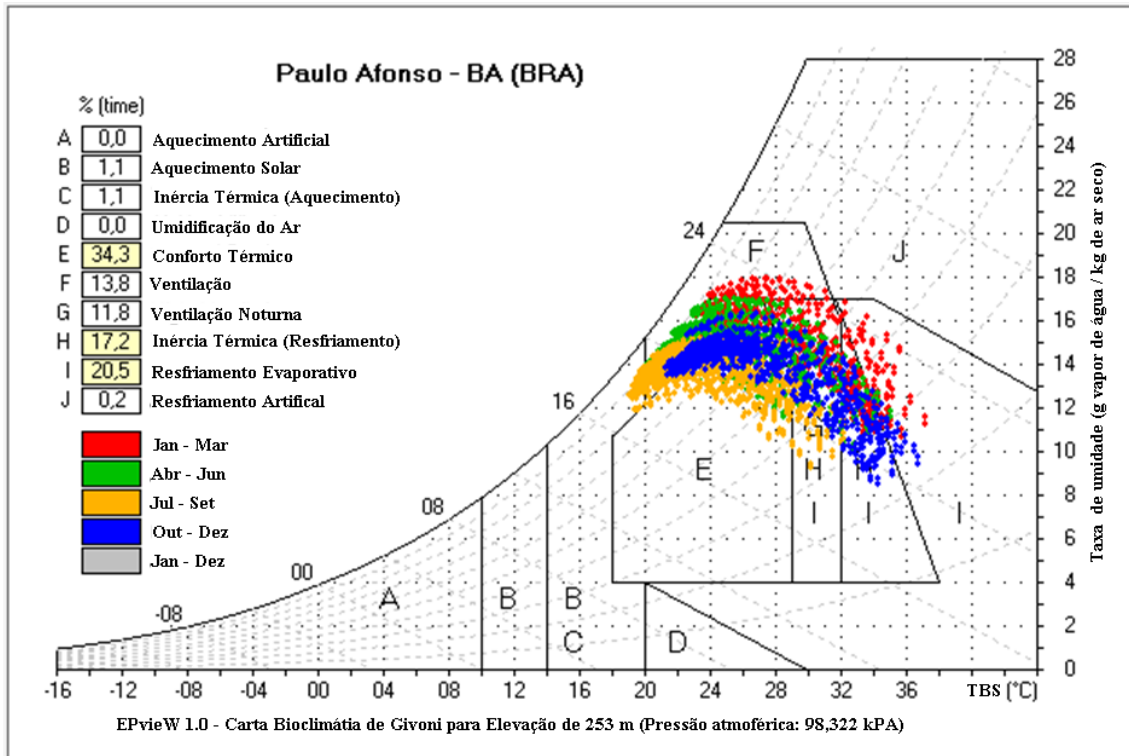


Fonte: Pereira e Souza, 2007.

Na Carta Bioclimática de Givoni, plotada em um diagrama psicrométrico, que relaciona temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e umidade relativa, é possível verificar a zona de conforto térmico e as estratégias construtivas e de condicionamento térmico passivo que são recomendadas para que seja atingido o estado de conforto térmico. Nesse contexto, tem-se: 1- Zona de Conforto; 2- Zona de Ventilação; 3- Zona de Resfriamento Evaporativo; 4- Zona de Massa Térmica para Resfriamento; 5- Zona de Ar Condicionado; 6- Zona de Umidificação; 7- Zona de Massa Térmica e Aquecimento Solar Passivo; 8- Zona de Aquecimento Solar Passivo; e 9- Zona de Aquecimento Artificial.

Tendo em vista que a Carta Bioclimática de Givoni (1992) leva em consideração a realidade do Brasil, país em desenvolvimento e de clima quente, ela foi usada como referência para o desenvolvimento de uma carta bioclimática brasileira (LAMBERTS *et al.*, 2016). Na Figura 5, está a carta bioclimática de Givoni com dados climáticos da cidade de Paulo Afonso plotados no diagrama.

Figura 5 – Carta bioclimática de Givoni para a cidade de Paulo Afonso - BA



Fonte: Software EPview.

Na carta, pode-se perceber a plotagem dos dados climáticos da referida cidade, delimitando as estratégias recomendadas para as edificações de Paulo Afonso-BA. Nessa direção, como principais estratégias de condicionamento térmico passivo, indica-se o resfriamento evaporativo em 20,5% do ano e a utilização da inércia térmica para resfriamento em 17,2% das horas. Outras estratégias são recomendadas com menor frequência, como a ventilação seletiva, principalmente, no período noturno (11,8%), e o condicionamento artificial em 0,2% do ano.

Retomando a discussão sobre o desenvolvimento das cartas bioclimáticas, pesquisas realizadas na mesma década de 1990 chegaram a ser desenvolvidas para verificar qual carta teria um melhor comportamento para ser empregada nos estudos realizados sobre o tema aqui no Brasil.

Conforme Bogo *et al.* (1994), dentre os métodos de projeto bioclimático avaliados, a carta de Givoni (1992) foi a que melhor atendeu ao contexto climático local, como era esperado. Todavia, a partir dos achados dos estudos, os pesquisadores indicaram que algumas

adaptações deveriam ser efetuadas nos limites das estratégias presentes na carta de Givoni (1992) para que as recomendações fossem melhor empregadas nas edificações locais.

Tais considerações ajudaram na elaboração de uma carta específica para o Brasil. Ela está presente na NBR 15.220/2005, que será objeto de discussão da próxima subseção.

### ***2.3.1 Carta bioclimática brasileira e diretrizes construtivas para Paulo Afonso-BA***

A NBR 15.220/2005 foi a primeira norma brasileira a tratar sobre o tema do desempenho térmico de habitações no país. Ela encontra-se dividida em cinco partes, sendo a parte três responsável por tratar do Zoneamento Bioclimático Brasileiro.

A referente seção, intitulada Desempenho Térmico de Edificações, apresenta a caracterização climática brasileira, dividindo o país em oito zonas bioclimáticas. Além disso, ela destaca algumas diretrizes construtivas e recomenda estratégias de condicionamento térmico passivo para a melhoria do desempenho térmico nas habitações de interesse social pertencentes a cada uma das zonas.

Os parâmetros e diretrizes podem ser listados da seguinte forma: a) tamanho das aberturas para ventilação (expressas como percentual de área de piso); b) proteção das aberturas; c) vedações externas e cobertura, informando o tipo de vedação (leve ou pesada, refletora ou isolada); e d) estratégias de condicionamento térmico passivo. Dessa maneira, o objetivo da norma é proporcionar melhorias no desempenho térmico das edificações a partir da adoção das recomendações nos projetos (ABNT, 2005).

Nos termos da norma, essas sugestões são definidas de acordo com as características climáticas do local em que a edificação está/será implantada, baseando-se na plotagem de dados climáticos sobre a carta bioclimática adaptada de Givoni (1992), bem como nas planilhas de Mahoney (KOENIGSBERGER *et. al*, 1977). Diante disso, Lamberts *et al.* (2016) explicam que os limites das propriedades térmicas dos elementos/materiais de construção (fator solar, atraso térmico e transmitância térmica) indicados para cada zona foram definidos com o auxílio das planilhas de Mahoney.

A NBR 15.220/2005 trouxe muitas contribuições para os estudos sobre desempenho térmico no Brasil. Entretanto, é sabido que limitações também são encontradas nessa norma, das quais algumas serão apresentadas a seguir.

O primeiro aspecto levantado é sobre o zoneamento estabelecido pela norma. Para esse processo, o país foi dividido em 6.500 células, sendo cada uma delas caracterizada pela posição geográfica e pelas variáveis climáticas (médias mensais das temperaturas máximas, médias mensais das temperaturas mínimas e médias mensais das umidades relativas do ar). Para 330 dessas células, contou-se com dados medidos por estações meteorológicas, enquanto que para outra parcela os dados foram obtidos a partir da interpolação (ABNT, 2005).

Tal fato representa uma limitação na caracterização das cidades. Isso se deve a ausência de séries históricas completas de dados climáticos para muitas cidades do Brasil e um número reduzido de estudos sobre esse tema em várias localidades do país (MARTINS; BITTENCOURT; KRAUSE, 2011). Acerca do assunto, Bogo (2016) salienta que a limitação quanto a esses dados fez com que cidades com altitude e rigor térmico diferentes fossem classificadas dentro de uma mesma zona. A cidade de Paulo Afonso está entre umas das 330 células, cujos dados das normais climatológicas foram medidos desde 1961 a 1990 e foram disponibilizados pelo INMET para identificação da zona em que o município pertenceria.

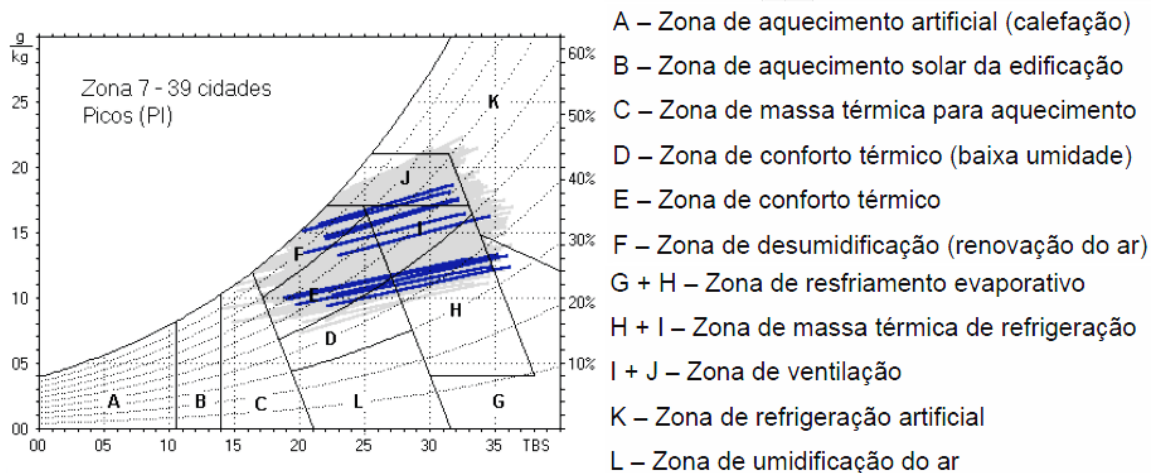
Apesar dessas limitações, a NBR 15.220/2015 ainda é um dos principais instrumentos de orientação para as habitações de interesse social do Brasil no que se refere à otimização do desempenho térmico nas edificações, trazendo exemplos de paredes e coberturas, com seus valores de propriedades térmicas. Tais dados podem ser utilizados para verificar se a tipologia de vedação vertical ou coberta atende às recomendações para cada zona bioclimática. Por conseguinte, na próxima subseção serão apresentadas as recomendações para a cidade de Paulo Afonso-BA.

### ***2.3.2 Diretrizes bioclimáticas para a ZB-7***

Nesta subseção, apresenta-se as diretrizes construtivas e recomendações de estratégias de condicionamento passivo indicadas, pela NBR 15.220/2005, para a zona bioclimática 7. De antemão, destaca-se que, segundo a norma, a cidade de Paulo Afonso, Bahia, está situada na referente zona.

Assim, a partir de dados climáticos, foram delimitadas as estratégias construtivas que melhor se adequam ao clima da cidade. Na Figura 6, é possível observar a carta bioclimática da ZB-7, com as normais climatológicas (dados de umidade do ar e temperatura) de uma cidade pertencente a tal zona plotadas no diagrama, bem como as estratégias que cada região do diagrama representa.

**Figura 6 – Carta bioclimática da ZB-7**



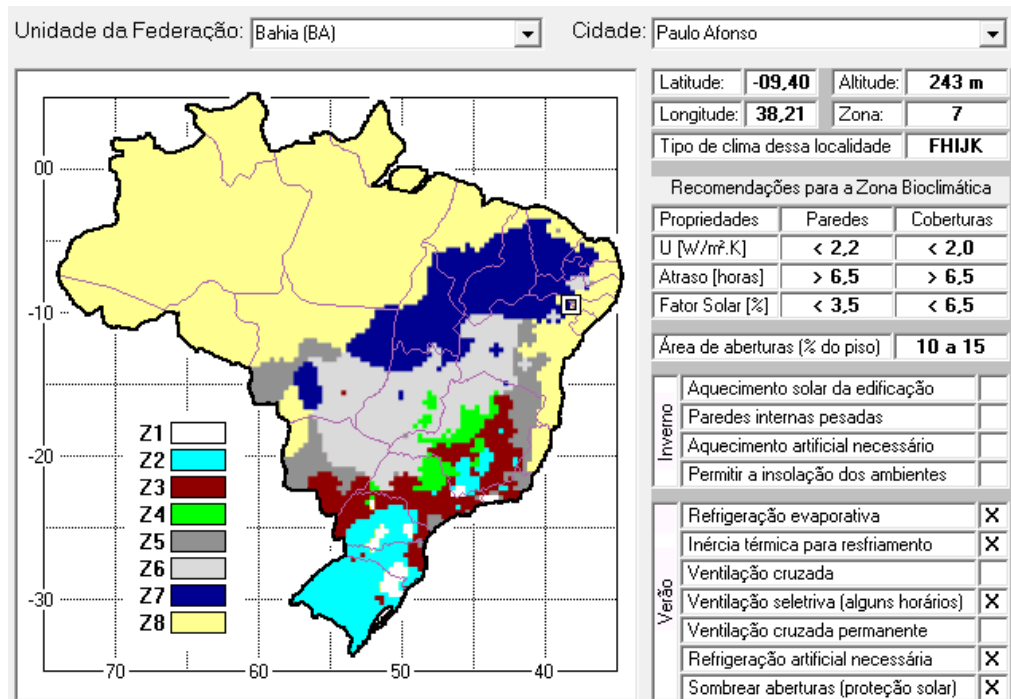
Fonte: Adaptado da ABNT, 2005.

Na Figura 6, as zonas representadas pelas letras correspondem às estratégias presentes no diagrama, e as linhas na cor azul se referem aos dados climáticos da cidade em questão. As regiões nas quais tais traçados sobrepõem correspondem às estratégias indicadas para a cidade, bem como a porcentagem de horas que devem ser aplicadas. As zonas representadas pelas letras D e E são caracterizadas como zonas de conforto. Ou seja, os dados climáticos que ficam dentro dessas regiões representam estados de temperatura e umidade do ar, nos quais a maioria das pessoas se sente em estado de conforto térmico (COBERLLA; YANNAS, 2009).

Assim, conforme a norma, as estratégias indicada para a cidade de Paulo Afonso – BA são: F – desumidificação; H + I – massa térmica de refrigeração; I+J – ventilação; e K – refrigeração artificial. O software ZBBR, versão 1.1 traz, de modo detalhado, as recomendações para a referida cidade, destacando os valores para as propriedades térmicas dos materiais e os períodos para utilização dessas estratégias (Figura 7).



**Figura 7 – Estratégias para a cidade de Paulo Afonso-BA**



Fonte: *software ZBBR*.

Com base na Figura 7, destaca-se que para a supracitada são recomendadas vedações externas - paredes e coberturas - pesadas, sendo tal aspecto traduzido pelos valores de transmitância térmica (U) inferiores, respectivamente, a 2,2 e 2,0 W/m<sup>2</sup>.K para as paredes e coberturas. Nesse contexto, explica-se que a transmitância térmica corresponde à quantidade de calor, por unidade de tempo, que atravessa uma superfície de área unitária de um elemento da envolvente, por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que este separa (SILVA, 2010). Isto é, representa o inverso da resistência térmica.

Para os valores de atraso térmico ( $\phi$ ), sugere-se que tanto as paredes quanto as coberturas tenham um valor maior ou igual a 6,5h. Por sua vez, essa variável simboliza o tempo que se passa para que uma variação térmica ocorrida em um meio se manifeste na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor (ABNT, 2005).

Além disso, é indicado um fator solar inferior ou igual a 3,5% para as paredes e 6,5% para as coberturas das edificações construídas na ZB-7. A respeito desse aspecto, explica-se que ele representa a razão entre a quantidade de energia solar que passa por um elemento pelo total que nele incide (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A partir das propriedades térmicas apresentadas, pode-se chegar a uma tipologia de parede recomendada para a zona em que a cidade se encontra. Assim, uma das configurações disponibilizadas pela NBR 15.220 (ABNT, 2005) que atende as características estabelecidas é a parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão (10,0 cm x 15,0 cm x 20,0 cm), com argamassa de emboço de 2,5 cm, que possui como propriedades térmicas:  $U = 1,52 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ,  $C_T = 248 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$  e  $\varphi = 6,5 \text{ h}$ . Para a cobertura, uma possibilidade seria a cobertura de telhado de barro com laje de concreto de 20 cm, cujas propriedades térmicas resultantes seriam:  $U = 1,84$ ,  $C_T = 458 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$  e  $\varphi = 8 \text{ h}$ .

Paredes e coberturas pesadas, como as citadas, geram impactos não somente estruturais, mas também nos custos devido à adoção de materiais isolantes ou utilização de sistemas construtivos como as paredes duplas (BATISTA, 2020). Quanto às aberturas, as janelas devem ser pequenas e estar limitadas a uma porcentagem entre 10 e 15% da área do piso do ambiente onde estão instaladas (ABNT, 2005).

No verão, algumas estratégias de condicionamento térmico passivo são propostas para tal cidade. Nesse sentido, a refrigeração evaporativa é sugerida como forma de melhorar o conforto térmico nos ambientes construídos (Figura 7). Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), essa estratégia consiste na remoção do calor do ar através da evaporação da água ou evapotranspiração das plantas.

A segunda estratégia indicada, conforme a NBR 15.220/2005, é a inércia térmica para resfriamento, propriedade que está relacionada com a capacidade térmica dos materiais (ABNT, 2005). O uso de materiais com alta inércia térmica faz com que os picos de temperatura verificados no exterior da edificação não sejam percebidos internamente, sendo essa estratégia recomendada para locais de clima quente e seco, onde a temperatura atinge valores muito altos durante o dia e baixos durante a noite (LAMBERRS *et al.*, 2016). Dessa maneira, a capacidade térmica dos materiais possibilita o atraso da onda de calor, fazendo com que ele incida no ambiente interno apenas no período noturno, ou seja, quando as temperaturas estão mais amenas.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) e Batista (2011) enfatizam que tal mecanismo deve ser usado de maneira associada ao sombreamento das aberturas para evitar os ganhos térmicos e ventilação noturna para potencializando os efeitos da massa térmica para resfriamento. Além

disso, ressaltam que a ventilação deve ser evitada no período diurno tendo em vista que ela pode provocar a elevação da temperatura interna ao trazer o ar quente do exterior para o interior da edificação durante o dia. Entretanto, no período noturno, a ventilação seletiva é desejável para retirar o acúmulo de calor que ocorreu durante o dia e garantir temperaturas internas mais baixas para o dia seguinte.

Ademais, destaca-se que a NBR 15.220/2005 também indica a necessidade de resfriamento artificial em uma pequena porcentagem de horas do ano. Sobre esse aspecto, Lamberts *et al.* (2016) justificam que os mecanismos artificiais de refrigeração devem ser usados quando as estratégias de condicionamento passivo (ventilação, resfriamento evaporativo e massa térmica) não conseguem proporcionar as condições almejadas de conforto. Logo, nem sempre é possível evitar o uso desses sistemas para a obtenção do conforto térmico no ambiente construído. No entanto, muito pode ser feito para reduzir a demanda de condicionamento artificial e o consumo de energia, sem comprometer o conforto térmico, apenas aplicando as estratégias bioclimáticas de projetos mencionadas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

## **2.4 Simulação computacional e análise de desempenho térmico em projetos**

Nesta subseção, é realizada uma breve discussão sobre a importância da simulação computacional no processo de avaliação do desempenho e do conforto térmicos nos projetos de edificações, dando destaque para a ferramenta que será empregada neste trabalho.

No que se refere à simulação, existe uma grande variedade de ferramentas computacionais disponíveis no mercado que possibilitam estudar o desempenho energético, térmico, acústico e lumínico das edificações. Pereira (2009) destaca que o processo de modelagem energética da edificação (*Building Energy Modeling* – BEM) ajuda na construção de edifícios mais eficientes. A pesquisadora acrescenta ainda que o programa mais utilizado para análises termoenergéticas é o *EnergyPlus*, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, com o objetivo de avaliar as trocas térmicas, o nível de iluminação e o consumo de energia em edifícios a partir da modelagem física de seus sistemas de ventilação, iluminação, aquecimento e resfriamento.

Diante da abrangência da atuação da simulação computacional, esse método tem sido o mais indicado para avaliação termoenergética dos projetos, sendo bastante utilizado para, a partir

da entrada de dados climáticos, variáveis da edificação e característica da ocupação, estimar as saídas como consumo de energia, desempenho térmico e o conforto térmico das pessoas (SANTOS; PORTO; SILVA, 2020).

Queiroz, Grigoletti e Santos (2019) mencionam que para a construção de um modelo energético, é necessário ter conhecimento sobre algumas informações como, por exemplo, a geométrica (base do modelo, onde as propriedades físicas serão aplicadas), as propriedades dos materiais, os sistemas das edificações, as condições do local e as informações de operação/uso da edificação. No caso do *EnergyPlus*, ele permite realizar simulações para diferentes climas através da utilização de dados climáticos horários do local que o usuário pretende estudar, obtendo-se, como resposta da simulação, as temperaturas internas, as temperaturas superficiais, o fluxo de calor pelos componentes da edificação, os ganhos internos de calor, o consumo de energia, as trocas de ar, entre outras informações (PEREIRA, 2009).

Queiroz, Grigoletti e Santos (2019) admitem que os modelos digitais de edificações são, comumente, utilizados para finalidades distintas da simulação de desempenho, exemplificando a utilização para representação visual da construção. Visitsak e Haberl (2004) acrescentam que raramente a simulação computacional é utilizada pelos projetistas no processo inicial de desenho, pois ela é considerada de complexa compreensão. Pereira (2009) corrobora tal premissa acrescentando que as ferramentas de simulação apresentam resistência na utilização por parte dos profissionais da construção civil devido a sua complexidade e dificuldade na aprendizagem.

Apesar dessa dificuldade e resistência, a partir da simulação computacional é possível notar problemas relacionados ao consumo de energia na fase de projeto e, quando necessário, modificá-lo, evitando danos e alterações após a construção, garantindo resultados satisfatórios de desempenho térmico para construção (SOARES; ADAMS; ULLMANN; 2016). Conforme Queiroz, Grigoletti e Santos (2019), essa ferramenta apresenta-se como um instrumento valioso no desenvolvimento das pesquisas de desempenho termoenergético, sendo necessário destacar a importância de saber interpretar os resultados da simulação para a elaboração de projetos de edificações energeticamente eficientes, que garantam a satisfação dos usuários.

Tendo em vista as necessidades e exigências estabelecidas pela NBR 15.575/2021, para a modelagem das habitações estudadas no presente trabalho, inicialmente, foi selecionado o *OpenStudio*, software cujo motor de simulação é o *EnergyPlus*. Segundo Rosa (2019), o *EnergyPlus* é uma das ferramentas que apresenta melhor qualidade para a finalidade deste tipo pesquisa.

Além disso, Rosa (2019) explica que o diferencial da ferramenta é a possibilidade de criar padrões de ocupação e de comportamento dos usuários, compondo o sistema de operação do edifício. Isso permite o gerenciamento da potencialidade do projeto arquitetônico, possibilitando, por exemplo, modelar o acionamento de dispositivos passivos, como janelas, cortinas e protetores solares, condicionados a valores de variáveis ambientais internas e externas, o que torna a avaliação do desempenho mais realística.

Um das questões levantadas pelos usuários no processo de programação do *EnergyPlus* é a sua interface pouco amigável. Por essa razão, o *OpenStudio* foi criado, por pesquisadores do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), com o intuito de superar os obstáculos presentes na modelagem e análise com o *EnergyPlus*, facilitando, assim, o processo de simulação (BRACKNEY *et al.*, 2018).

## **2.5 Desempenho e conforto térmicos em edificações construídas com vedações verticais em concreto armado moldado no local**

Discutido sobre o processo de avaliação e as diretrizes construtivas, o trabalho versa sobre o objeto de estudo dessa pesquisa, qual seja, o comportamento das edificações feitas com vedações verticais de concreto armado moldado *in loco*.

Os avanços tecnológicos na construção civil têm possibilitado a criação de uma variedade de métodos construtivos para serem empregados nas edificações. Tais avanços têm trazido benefícios para as empresas da construção civil, que acabam podendo escolher o método construtivo que melhor se adequará ao seu empreendimento, ponderando questões como a velocidade de execução, a redução de custos, a minimização na produção de resíduos, entre outras.

Nesse contexto, o sistema de vedações de concreto armado moldado *in loco* surgiu como uma alternativa ao método convencional para produção de habitações no Brasil, sendo umas das suas principais características/benefícios a velocidade para a execução (IBRACON, 2018).

Porém, trabalhos publicados antes da NBR 15.575 (ABNT, 2013) entrar em vigor salientavam sobre o desempenho térmico desse sistema construtivo, destacando que a adequabilidade do método ao local em que a edificação será construída também deve ser colocada em questão, principalmente, tratando-se do comportamento desta durante o uso. Nesses termos, Carvalho (2012), através de medições realizadas em habitações de interesse social, construídas em Santa Maria (ZB-2), Rio Grande do Sul, percebeu que o supracitado tipo de vedação tinha um adequado desempenho durante o verão da localidade, mas não obtinha um comportamento tão positivo durante as condições de inverno da região.

O mesmo comportamento foi notado para o conforto térmico. Isto é, segundo Carvalho (2012), durante o período mais frio, as temperaturas internas da habitação não ficavam em nenhum momento dentro do limite de 80% de aceitabilidade sugerido pela ASHRAE, enquanto que, no verão, as temperaturas ficavam por 76,39% do tempo no pré-estabelecido limite de aceitabilidade.

Diante do exposto, para apresentar o estado da arte sobre o objeto de estudo deste trabalho, ou seja, as vedações verticais feitas de concreto armado, esta subseção focará na questão de desempenho e conforto térmicos do referente tipo de método construtivo. Em busca realizada no Portal de Periódico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes/MEC) e no Catálogo de Teses e Dissertações da Capes, utilizando as palavras-chave “desempenho térmico”, “conforto térmico”, “parede” e “concreto armado”, combinados pelos operadores booleanos “AND” e “OR”, não foi encontrada nenhuma publicação acerca da avaliação do conforto e do desempenho térmico de edificações constituídas de vedações verticais feitas de concreto armado moldado no local a partir do novo método de simulação estabelecido pela emenda nº 1 da NBR 15.575/2021.

Dessa maneira, serão apresentados observações e resultados que foram obtidos sobre a temática, mas que se referem à avaliação do desempenho térmico a partir de outras metodologias. Ou seja, análises conforme o método da NBR 15.575/2013 e outros métodos desenvolvidos pelos próprios pesquisadores para analisar tais aspectos.

O primeiro trabalho que será apresentado foi desenvolvido por Sorgato, Melo e Lamberts (2014), cujo objeto de estudo foi uma casa com 36 m<sup>2</sup>, com paredes feitas de concreto moldado no local, com espessura de 5 cm, localizada em Florianópolis (zona bioclimática 3). Para a simulação, eles utilizaram o programa *EnergyPlus*, considerando dois procedimentos. O primeiro corresponde, exatamente, à metodologia que estava presente na NBR 15.575, versão 2013.

Por sua vez, o segundo método foi uma proposta desenvolvida por Sorgato *et al.* (2012), a qual admitia padrões para a ocupação dos espaços e o uso da iluminação e a ventilação natural na edificação. Nesse sentido, a avaliação foi feita comparando a quantidade de graus-horas de resfriamento e aquecimento obtidos para o modelo original da edificação e para um modelo de referência. Salienta-se que o segundo procedimento adotado por Sorgato, Melo e Lamberts (2014) vai ao encontro do método que está proposto na emenda n<sup>o</sup> 1 da NBR 15.575 (ABNT, 2021), apresentando algumas similaridades.

A partir da simulação pelo método da NBR 15.575, versão 2013, Sorgato, Melo e Lamberts (2014) perceberam que as inconsistências presentes no texto dessa norma dificultaram o estabelecimento realístico do desempenho da edificação mencionada. Segundo os pesquisadores, a escolha do dia típico para a simulação e a adição de cargas internas podem alterar completamente o resultado da simulação, fazendo com que o modelo avaliado atenda ao desempenho térmico mínimo ou não.

Com o uso da metodologia proposta, foi observado que a edificação apresentou um valor de graus-horas de aquecimento de cerca de 60% superior ao modelo de referência. Concluiu-se, assim, que o sistema construtivo avaliado tem um desempenho térmico inferior ao desejado no período de inverno. Para o período de verão, notou-se que o modelo real obteve um valor de grau-horas de resfriamento 70% superior ao modelo de referência (SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2014). Em vista disso, foi possível inferir que, para o clima de Florianópolis, as vedações verticais de concreto armado moldado no local não são tão vantajosas em termos de desempenho térmico por requererem uma necessidade de sistemas artificiais para manter a edificação com temperaturas dentro dos limites da NBR 15.575/2013.

Sorgato *et al.* (2014) realizaram, posteriormente, outro estudo, com o mesmo projeto de edificação, considerando as mesmas configurações e propriedades térmicas para as vedações,

mas alterando as condições do contato do piso com o solo. O projeto foi simulado aplicando as duas metodologias mencionadas, tanto para a cidade de Florianópolis (ZB 3) quanto para as cidades de Curitiba (ZB 1) e São Luís (ZB 8).

Para a simulação, obedecendo aos procedimentos propostos pela NBR 15.575, versão 2013, Sorgato *et al.* (2014) perceberam que o comportamento do desempenho térmico da edificação variou conforme o tipo de contato do piso da edificação, tanto para a cidade de Florianópolis quanto para Curitiba. E, de modo geral, ambas atingiram o desempenho térmico mínimo pré-estabelecido pela normativa da época. Para São Luís, independentemente de como estava configurado o piso, a edificação com parede de concreto armado de 5 cm moldado *in loco* não atendeu ao critério de desempenho mínimo, mostrando-se, assim, um sistema construtivo não indicado para a localidade.

Configurando a modelagem conforme sua proposição de metodologia, que considera a ocupação e a ventilação natural na habitação, Sorgato *et al.* (2014) perceberam que, em Curitiba, o número de grau-horas de aquecimento do modelo real foi 30% maior que o número de grau-horas de aquecimento do modelo de referência. Da mesma forma, para o verão, o modelo avaliado não teve desempenho superior ao modelo de referência, logo, eles afirmam que a tipologia de edificação com parede de concreto armado não é indicada para tal cidade.

Para a cidade de Florianópolis, mesmo mudando a configuração do piso, Sorgato *et al.* (2014) comprovaram o que havia sido observado em estudo anterior, apresentado inicialmente. Por fim, para cidade de São Luís, os dados obtidos também corroboraram, através da metodologia proposta, que o sistema construtivo analisado não atende ao desempenho térmico mínimo, havendo situações em que a carga horária de refrigeração é superior tanto ao modelo de referência quanto à carga necessária para as condições do clima externo.

Na revisão, encontraram-se também estudos sobre habitações multifamiliares. Nesse sentido, Oliveira *et al.* (2015) realizaram a avaliação de uma edificação de interesse social, construída com paredes de concreto armado com 10 cm de espessura, conforme o procedimento da NBR 15.575/2013 e RTQ-R. A simulação computacional foi feita no *software EnergyPlus* para oito cidades, cada uma delas situada em uma das oitos zonas bioclimáticas do Brasil.



O estudo de caso refere-se a um edifício com formato H, com quatro pavimentos e quatro apartamentos por andar, tendo cada um deles área de 40 m<sup>2</sup>. Antes de rodar a simulação, os pesquisadores observaram que, de acordo com o método prescritivo, a parede de concreto armado não atenderia ao desempenho mínimo devido às propriedades térmicas desse tipo de parede. Em vista disso, a norma recomendava a realização da simulação para verificar como ficaria o desempenho térmico da edificação (ABNT, 2013). As unidades que foram analisadas nesse prédio correspondem à situação mais crítica de temperatura da edificação, ou seja, os apartamentos localizados no pavimento superior, que possuem janelas voltadas para o oeste.

Com base nos resultados obtidos para o dia típico de verão, Oliveira *et al.* (2015) afirmam que a parede de concreto armado pode atingir o desempenho térmico mínimo, da NBR 15.575/2013, para todas as cidades analisadas, exceto para a cidade da ZB 8. Ao ampliar a taxa de renovação do ar, eles perceberam que há uma melhoria no desempenho da ZB 8, enquanto que para as demais zonas ocorre uma redução. Quando adicionadas persianas nos quartos e isolamento térmico no telhado, geralmente, as unidades possuem melhorias no desempenho, atingindo em alguns casos o desempenho térmico intermediário.

Santos e Gouveia (2018) também desenvolveram estudo em uma UH com paredes de concreto, localizada na ZB-8, em Tucuruí-PA, aplicando os três métodos da NBR 15.575/2013. A partir da aplicação do método simplificado, as autoras afirmam que a parede de concreto armado tem um desempenho térmico insatisfatório tendo em vista o seu valor de transmitância térmica, diferentemente da parede convencional de tijolo cerâmico, que possui um desempenho satisfatório. Por meio do procedimento informativo (medição *in loco*), perceberam que o ambiente interno fica a maior parte do tempo com temperaturas superiores ao externo. No método de simulação computacional, concluíram que, para a situação crítica (janela da sala voltada para o Oeste), o desempenho térmico mínimo é atingido, havendo uma pequena melhoria em comparação a edificação feita com alvenaria.

Para o dia típico de inverno, a norma determinava realizar a simulação apenas para as ZB 1, 2, 3, 4 e 5. Nesses termos, os pesquisadores perceberam que todas as unidades conseguiam atingir pelo menos o desempenho térmico mínimo, com a ZB 1 (zona mais fria) atendendo ao desempenho superior para algumas das habitações. Dessa maneira, concluiu-se que o sistema de vedações verticais de concreto armado moldado no local indica ter um melhor comportamento para cidades de clima frio. Destaca-se aqui que tal fato vai de encontro ao que

foi notado por Carvalho (2012), que percebeu um melhor comportamento para edificação da ZB-2 no verão.

Além de avaliar o desempenho térmico, Oliveira *et al.* (2015) analisaram o conforto térmico da edificação, verificando o atendimento aos limites estabelecidos pela ASHRAE 55. Assim, o sistema de paredes de concreto armado apresentou uma taxa de atendimento de horas de conforto térmico inferior a 60%, havendo pequena melhoria nesse percentual quando adotado isolamento na cobertura e persianas nas aberturas. Os piores resultados (horas de conforto inferior a 50%) foram obtidos para as ZB-7 e ZB-8, que, mesmo ao adicionar o isolamento e persiana, tiveram melhorias consideradas insignificantes no conforto térmico dos usuários. Em vista disso, Oliveira *et al.* (2015) recomendam que mais estratégias construtivas, como a ventilação, sejam adotadas nas edificações de concreto armado, construídas nas cidades da ZB-7 e ZB-8, analisadas por eles, para que as melhorias nas condições de conforto possam ser superiores.

A respeito da ZB-7, Ferreira e Pereira (2012), perceberam, a partir dos seus estudos, que o modelo de habitação de interesse social simulado, na cidade de Petrolina-PE, com paredes de concreto de 10 cm teria um desempenho térmico insatisfatório, mas que poderia ser atingido o desempenho mínimo se a parede tivesse a espessura aumentada em 2 cm. Além disso, concluíram que a parede de alvenaria convencional atingiria o mesmo desempenho térmico desta última, mas com uma pequena redução na temperatura constada internamente.

Álvares (2018) realizou um estudo de caso em habitações com paredes de concreto armado, localizadas na cidade de São Carlos (ZB-4), fazendo medições *in loco*, e pôde notar que as vedações desse tipo apresentam baixa inércia térmica, logo, as temperaturas internas das casas variam em consonância com a externa. Diante disso, no verão, a temperatura no ambiente construído é maior que a externa e, no inverno, a interna fica praticamente idêntica à externa.

Tais observações impactam diretamente na eficiência energética das habitações. Assim, em estudo para verificar o consumo de energia necessário para aquecimento e arrefecimento, em diferentes tipologias de envoltória, Moraga (2017) concluiu que as edificações feitas com parede de concreto têm uma maior necessidade de sistemas artificiais de condicionamento de ar para atender aos níveis de desempenho térmico que eram estabelecidos pela NBR 15.575/2013.

Com base no exposto, percebe-se que há uma variação nos resultados do desempenho térmico das edificações feitas de concreto armado moldado no local, mesmo para cidades que estão situadas na mesma zona bioclimática. Além disso, nota-se que as avaliações apresentadas, baseadas na metodologia proposta pela NBR 15.575/2013 e outros métodos, indicam que, em grande parte dos casos, esse tipo de sistema não apresenta adequabilidade às condições climáticas do Brasil.

Em vista disso, considerando a falta de estudos baseados no novo procedimento de avaliação do desempenho térmico da NBR 15.575 (ANBT, 2021), fica evidente a necessidade de maiores estudos sobre o supracitado sistema construtivo a fim de estabelecer melhores diretrizes para a construção de edificações no país.

## **2.6 Considerações Finais**

Os estudos sobre conforto térmico têm buscado delimitar o conjunto de condições que levam as pessoas a se sentirem satisfeitas com o ambiente térmico que o circunda. Não apenas as condições climáticas contribuem para atingir tal estado, os ajustes pessoais (roupas, atividades, postura) e ajustes tecnológicos ou ambientais (abrir/fechar a porta) também são capazes de interferir nesse processo.

Nesse contexto, alguns países recorrem em suas normativas, acerca do tema, aos índices que levam em conta a adaptabilidade dos indivíduos, como é o caso da Standard 55 da ASHRAE, utilizada nos Estados Unidos. O Brasil, diferentemente, ainda não possui uma norma específica que trate sobre o assunto e possa ser utilizada em sua realidade. Logo, muitas pesquisas têm se baseado na citada normativa, visto que ela tem atendido de maneira satisfatória aos estudos.

Para avaliação do ambiente interno construído, a norma NBR 15.575 também tem dado subsídio às pesquisas, sendo a principal ferramenta para analisar o comportamento térmico das edificações brasileiras. Foi a partir dos procedimentos de avaliação que estavam presentes na versão dessa normativa, publicada em 2013, assim como nas diretrizes da NBR 15.220, que muitos estudiosos teceram críticas contra o sistema de vedações verticais feitas de concreto armado moldado no local, destacando sua inadequação para as edificações construídas na diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, como a ZB-7.

Apesar da sua importância, a NBR 15.575/2013 tem algumas inconsistências, como a não consideração dos preceitos do conforto térmico ao se determinar o nível de desempenho térmico de uma edificação. Em vista disso, uma nova versão foi publicada em 2021, alterando os procedimentos utilizados para a avaliação do desempenho térmico, a fim de torná-la mais próxima da realidade. Nesse sentido, as alterações ocorreram, principalmente, no procedimento de simulação computacional.

Dentre as modificações cita-se, por exemplo, a verificação do número de horas em que os ambientes internos construídos ficam dentro de uma faixa de temperatura operativa, considerada como ideal. Essa delimitação de intervalo, apesar de não ser traduzida, necessariamente, em conforto térmico, está baseada em estudos sobre as melhores condições climáticas para os usuários. Outro aspecto nesse sentido que pode ser citado é a consideração da operação das aberturas (ajuste tecnológico), que, de certa forma, busca reproduzir o comportamento de adaptabilidade humana.

Diante dessas considerações, bem como da falta de estudos sobre a temática para a cidade de Paulo Afonso-BA, conclui-se que é necessário que pesquisas sejam desenvolvidas para melhor compreender o comportamento do supracitado sistema construtivo na localidade. Assim, é possível afirmar, por exemplo, se as edificações feitas de concreto armado moldado in loco possuem desempenho térmico inferior ao sistema convencionalmente utilizado nas edificações brasileiras, de alvenaria de tijolo cerâmico.

Além disso, ajudará a concluir se a utilização desse sistema pelas construtoras tem como resultado a redução de custo, tempo de obra e desperdícios em detrimento do conforto térmico dos usuários. Ademais, poderá contribuir da proposição de diretrizes construtivas para a região.

### 3 METODOLOGIA

Nesta seção, está detalhada a metodologia empregada na presente dissertação. Para caracterizar o tipo da pesquisa, utilizam-se as definições apresentadas por Lakatos e Marconi (2003); Gil (2002) e Fonseca (2002). Assim, o presente trabalho é caracterizado como uma pesquisa aplicada, visto que os conceitos sobre conforto e desempenho térmico são utilizados para compreender a relação entre os materiais, a variação de temperatura e a adequabilidade dos espaços construídos.

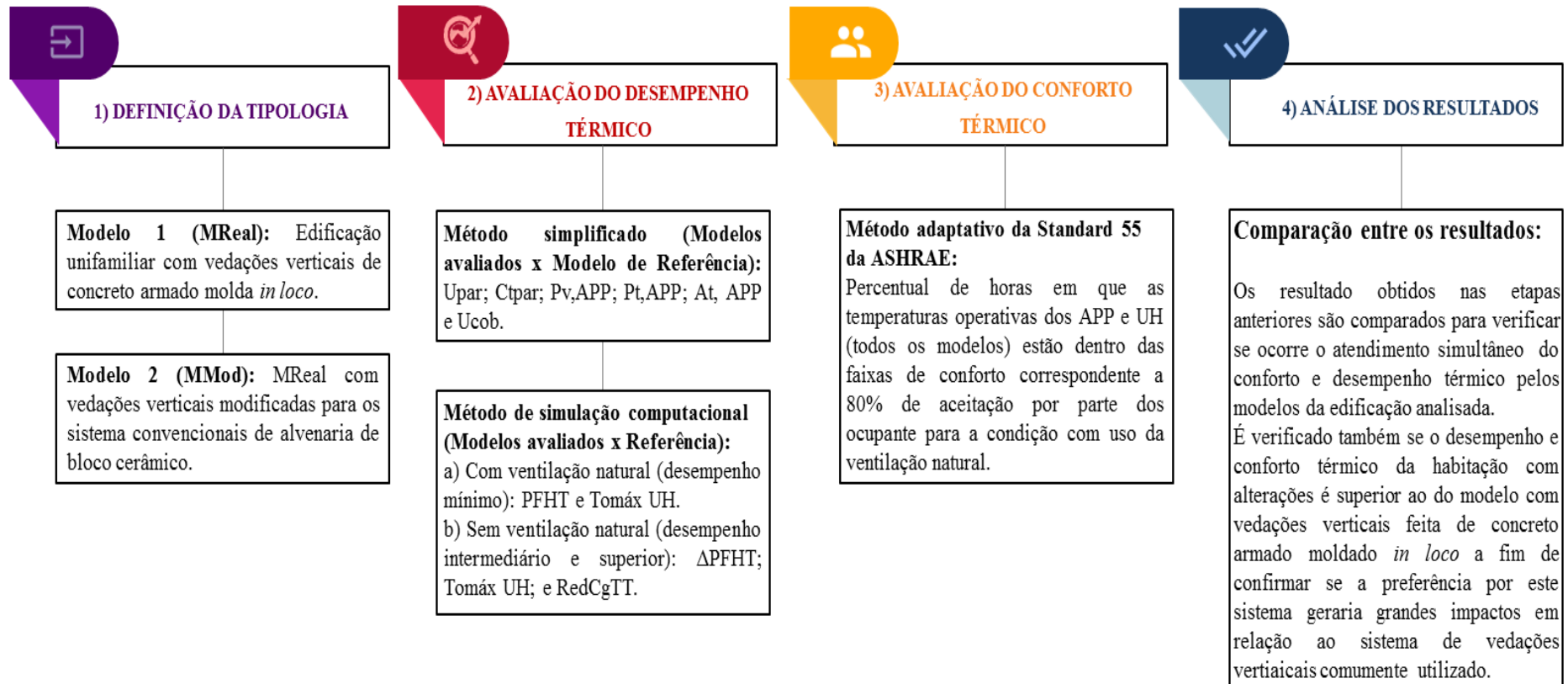
Quanto ao objetivo, tem-se uma pesquisa descritiva e exploratória à medida que buscou, respectivamente, estabelecer inter-relações entre as variáveis estudadas e proporcionar maior familiaridade com um problema ainda pouco explorado. Neste estudo, as propriedades térmicas dos materiais são consideradas como as variáveis independentes enquanto que os dados representativos do conforto e desempenho térmicos representam as variáveis dependentes.

Além disso, no que se refere ao procedimento, este trabalho é caracterizado como um estudo de caso, pois se detém a observar uma realidade específica. Isto é, o comportamento térmico de um projeto de uma habitação que deverá ser construído dentro das condições climáticas de Paulo Afonso-BA.

Na Figura 8, estão esquematizadas as etapas contempladas neste trabalho. Nesse sentido, é possível identificar, de modo sintetizado, os principais aspectos que foram tratados em cada fase até atingir o objetivo final deste trabalho.

A pesquisa está dividida em quatro etapas (Figura 8). Na primeira fase, foi definida a tipologia da edificação que foi avaliada neste trabalho. Dessa maneira, utilizou-se como objeto de estudo o modelo de uma edificação unifamiliar, pertencente ao programa Casa Verde Amarela, que foi aprovada para construção no ano de 2021 pela Prefeitura do Município de Paulo Afonso-BA. O projeto da edificação foi disponibilizado pelo respectivo ente municipal e será apresentado nas próximas seções.

Figura 8 – Fluxograma simplificado do programa metodológico



Fonte: O autor.

Na segunda etapa, foi feita a avaliação da edificação quanto ao desempenho térmico. Para tanto, tomou-se como referência os dois métodos de avaliação presentes na emenda nº 1 da NBR 15.575/2021. O método simplificado foi aplicado no primeiro momento a fim de verificar se a edificação estudada atende ao desempenho térmico mínimo, de caráter obrigatório, fazendo a comparação das características dos modelos do edifício com os valores de referência normativos.

Em seguida, foi realizada a avaliação pelo método da simulação computacional com o intuito de verificar se os outros níveis de desempenho térmico também seriam atingidos pela unidade habitacional unifamiliar avaliada para as duas configurações determinadas. Tais configurações serão apresentadas adiante com os detalhes das volumetrias, das propriedades dos materiais e das cargas térmicas que foram introduzidas na simulação computacional.

Para a simulação foi utilizado o software *EnergyPlus*, versão 9.3, ferramenta responsável por calcular as temperaturas internas e trocas de calor na modelagem da edificação, atendendo as exigências da emenda nº1 da NBR 15.575 (ABNT, 2021).

A proposta inicial deste trabalho era utilizar o *OpenStudio* como programa para simulação dos modelos. Apesar de possuir uma interface gráfica mais intuitiva do que outros *softwares* e atender às características estabelecidas pela norma para a seleção da ferramenta de simulação computacional, durante o processo de modelagem, notou-se que esse aplicativo computacional tem uma limitação quanto à adição das propriedades de ventilação natural.

Os coeficientes presentes na norma são diferentes das informações de entrada permitidas pelo *OpenStudio*. Nesse contexto, toda a simulação deste trabalho foi feita no *EnergyPlus*, na versão mencionada.

Na modelagem da edificação, foi utilizado o arquivo climático do tipo TMY (*Typical Meteorological Year*), conforme sugere a norma (ABNT, 2021), com dados horários referentes à cidade de Paulo Afonso (ZB-7), obtidos a partir de Crawley e Lawrie (2022). O arquivo usado neste trabalho está baseado em dados climáticos que foram extraídos de estações meteorológicas entre os anos de 2004 e 2018.

A terceira etapa, avaliação do conforto térmico, consistiu na determinação do percentual de horas em que as temperaturas operativas dos APPs estão dentro da faixa de conforto térmico

correspondente a 80% de aceitação por parte dos ocupantes, para a condição de simulação em que os modelos avaliados encontravam-se utilizando a ventilação natural, conforme estabelece a Standard 55 (ASHRAE, 2017). As temperaturas operativas dos ambientes de permanência prolongada são dados de saída da simulação computacional. Destaca-se que a verificação do comportamento do conforto térmico da habitação foi feita para todos os modelos (MReal, MMod e MRef) a fim de verificar o comportamento de cada uma das configurações.

Na última etapa, realizou-se a análise comparativa dos resultados. Desse modo, foi possível identificar qual o nível de desempenho e conforto térmico que cada modelo deve atingir após construído. Além disso, possibilitou verificar se a partir dos parâmetros estabelecidos para o método de simulação computacional, presentes no novo procedimento da NBR 15.575 (2021), sobre avaliação do desempenho térmico de edificações, é possível obter boas condições de conforto térmico para a edificação avaliada, conforme recomenda o índice de conforto térmico definido através da norma da ASHRAE.

### **3.1 Caracterização da cidade de Paulo Afonso**

Paulo Afonso é um município localizado no nordeste do estado da Bahia, na mesorregião do Vale do São Francisco, que possui como bioma principal a Caatinga (PARAHYBA et al., 2004), característico de regiões de clima quente e seco. Pela sistemática de Köppen, no município, prevalece o tipo climático BWh, ou seja, clima árido (SEPLAN-BA, 1998).

De acordo com as normais climatológicas, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referente ao município de Paulo Afonso, a temperatura média anual do município é de 26,2 °C, com média anual máxima e mínima de 32,2 °C e 21,7 °C, respectivamente. As temperaturas mais baixas ocorrem no meio do ano, período de inverno, momento no qual se percebe um aumento na umidade relativa do ar na região.

Inclusive, nesse período, a umidade relativa do ar na região tende a ultrapassar a média anual de 65,6%, especialmente, entre os meses de abril e agosto, como pode ser observado na Tabela 14.



**Tabela 14 – Normais Climatológicas de Paulo Afonso entre 1981 – 2010**

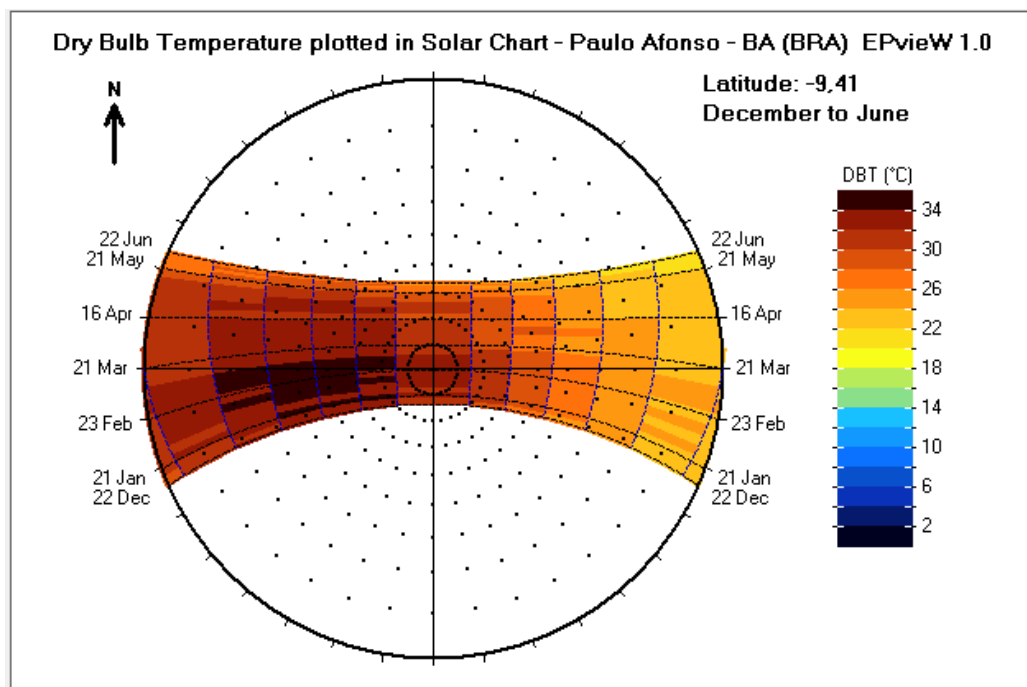
UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
<b>Máx. Abs.</b> (°C)	39,2	38,6	38,5	37,2	36,8	33,6	33,8	34,5	37,3	38,9	39,1	38,7	<b>39,2</b>
<b>Máx. Méd.</b> (°C)	34,4	34,3	33,7	32,5	30,7	28,5	27,9	29,1	31,7	33,8	34,68	34,6	<b>32,2</b>
<b>Méd. Comp.</b> (°C)	28,0	28,0	27,8	26,9	25,5	23,7	22,9	23,3	25,1	26,8	27,8	28,0	<b>26,2</b>
<b>Mín. Méd.</b> (°C)	23,1	23,2	23,3	22,8	21,9	20,5	19,5	19,4	20,3	21,6	22,5	22,8	<b>21,7</b>
<b>Mín. Abs.</b> (°C)	19,6	20,4	19,2	19,0	18,8	16,3	14,6	15	12,4	18,2	19,5	19,0	<b>12,4</b>
<b>UR</b> (%)	58,7	59,6	63,2	67,7	73,4	78,7	77,7	72,7	63,6	58,9	56,1	57,1	<b>65,6</b>
<b>Precip. (mm)</b>	49,2	38,3	76,8	75,3	54,2	62,6	49,3	29,0	11,7	17,1	19,5	30,0	<b>513,0</b>
<b>Insola.</b> (hrs)	256,0	232,2	236,3	222,6	195,3	151,5	167,9	194,0	236,6	271,7	273,7	267,0	<b>2704,8</b>

Fonte: INMET, 2022.

Os maiores níveis de precipitações ocorrem, sobretudo, no intervalo que vai de janeiro a junho, com valores que variam de 49,2 a 76,8 mm por mês. O nível de precipitação anual está próximo dos 500mm, típico do clima semiárido.

A insolação é mais intensa no período do verão, com destaque para o mês outubro. Conforme a carta solar da cidade de Paulo Afonso, as temperaturas seguem essa tendência, notando-se os maiores valores no período que se estende entre setembro e março, das 13 horas às 17 horas, com temperaturas de bulbo seco superando os 34 °C (Figura 9).

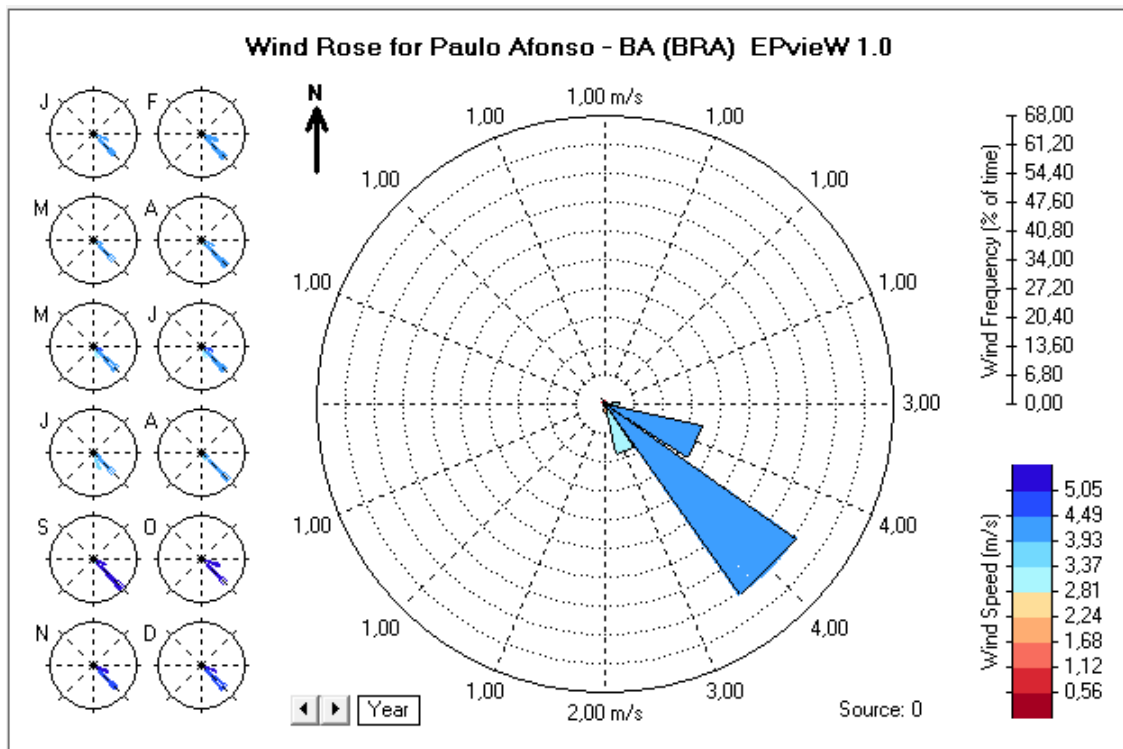
**Figura 9 – Carta solar de Paulo Afonso com as temperaturas de bulbo seco**



Fonte: Software EPview.

Além disso, destaca-se que os ventos no mencionado município são predominantes sudestes, com frequência máxima de 54,40% para essa orientação. Acerca da velocidade, nota-se que eles estão dentro de uma média mensal de 2,81 m/s a 4,49 m/s, com os maiores valores averiguados entre setembro e dezembro (Figura 10).

**Figura 10 – Rosa dos ventos da cidade de Paulo Afonso**



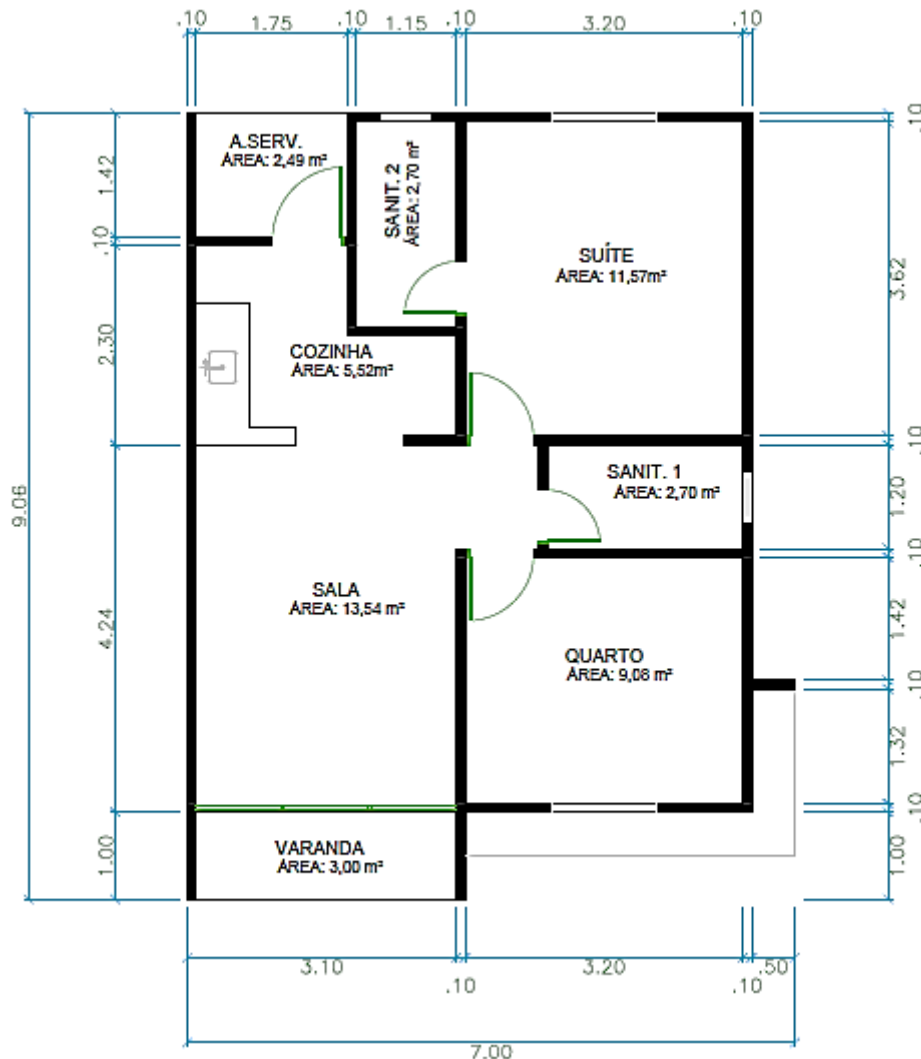
Fonte: *Software* EPview.

### 3.2 Caracterização do objeto de estudo

Nesta subseção, trata-se a respeito do projeto que foi utilizado como estudo de caso. Como salientado inicialmente, trata-se de um projeto de uma residência unifamiliar pertencente ao Programa Casa Verde Amarela.

O modelo selecionado para a avaliação do desempenho e conforto térmicos tem como destino de implantação o município de Paulo Afonso, estado da Bahia, fazendo parte do Loteamento Reserva do Parque. Esse projeto foi aprovado em 21 de novembro de 2021, pela prefeitura local, estando o início de sua construção previsto para o ano de 2022 (Figura 11).

Figura 11 – Planta baixa da habitação avaliada



Fonte: Paulo Afonso, 2021.

Sobre o objeto de estudo desta dissertação, destaca-se que o projeto cedido pela prefeitura não possuía indicação da orientação da implantação das residências no terreno. Logo, a avaliação do projeto foi feita considerando a edificação com a fachada principal direcionada para o norte geográfico, bem como admitindo a sua orientação para leste, sul e oeste. Ou seja, cada modelo foi simulado em quatro cenários de orientação tendo em vista as possibilidades que podem ser adotadas para a locação da obra. Dessa maneira, foi possível estudar a influência da orientação geográfica da edificação no nível de conforto e desempenho térmico.

Depois de construída, a habitação possuirá uma área de aproximadamente 47,74 m<sup>2</sup>. Tal área estará distribuída entre seis espaços conforme expresso na Tabela 15.

Tabela 15 – Quadro de áreas

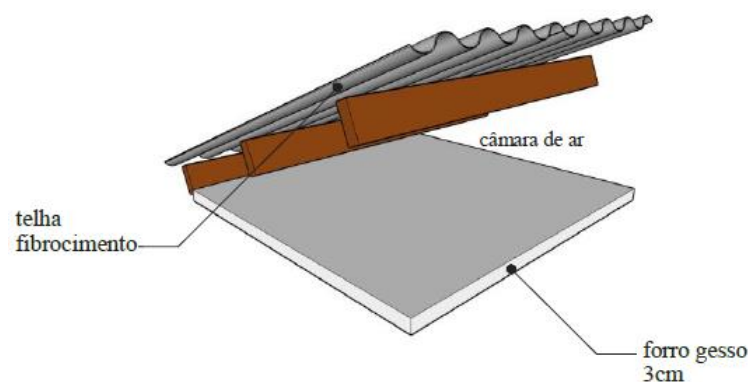
Ambiente	Área (m <sup>2</sup> )
Sala e Cozinha	19,20
Área de Serviço	2,49
Quarto 1	9,08
Banheiro 1	2,70
Quarto 2 (suíte)	11,57
Banheiro 2	2,70
<b>Total</b>	<b>47,74</b>

Fonte: O autor.

De acordo com o projeto aprovado na prefeitura, a cobertura da edificação será de telha de fibrocimento, com forro de gesso, representando, assim, o modelo real (MReal) estudado nesta dissertação. Tendo em vista tal configuração, salienta-se que as propriedades térmicas que foram inseridas na modelagem da simulação computacional estão presentes no Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas produzido por Morishita *et al.* (2011) e no trabalho de Weber *et al.* (2017).

Segundo Morishita *et al.* (2011), a citada configuração do telhado tem transmitância térmica (U) igual a 1,95 W/(m<sup>2</sup>K), capacidade térmica (C<sub>T</sub>) igual a 32 kJ/m<sup>2</sup>, absorvância (α) de 0,4, fator de calor solar (FCS) de 3,1 e emissividade de onda longa (ε) igual a 0,9. Na Figura 12, está exposto o modelo do telhado que será construído nas habitações conforme o projeto.

Figura 12 – Cobertura do modelo real

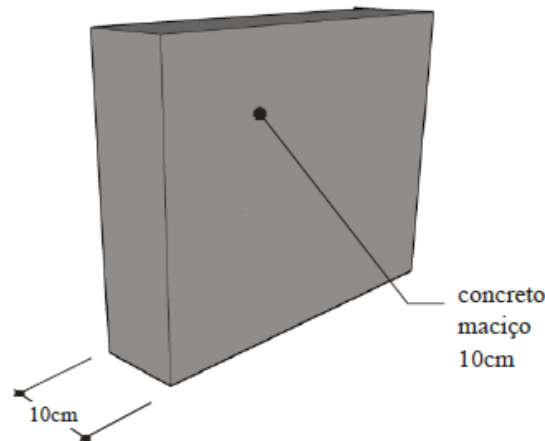


Fonte: Morishita *et al.*, 2011.

Sobre as vedações verticais, as paredes adotadas pelos projetistas têm espessuras de 10 cm. O sistema das paredes do modelo real será de concreto armado moldado *in loco*. As propriedades térmicas desse sistema construtivo, inseridas na simulação computacional,

também foram obtidas dos trabalhos de Morishita *et al.* (2011) e Weber *et al.* (2017). Na Figura 13, está representada a tipologia de parede utilizada para a modelagem, correspondente à a configuração definida como real para a edificação.

**Figura 13 – Tipologia das paredes da edificação no modelo real**

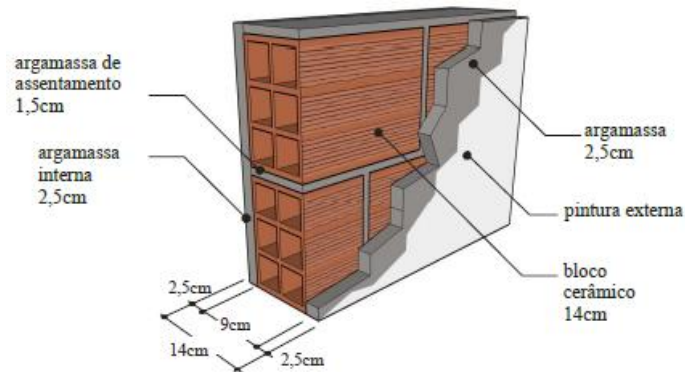


Fonte: Morishita *et al.*, 2011.

Essa tipologia de vedação possui transmitância térmica ( $U$ ) de  $4,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , capacidade térmica ( $C_T$ ) igual a  $240 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$ , absorvância solar ( $\alpha$ ) de  $0,2$ , fator de calor solar (FS) de  $3,5$  e emissividade de onda longa igual a  $0,9$ . A fim de verificar se o tipo de sistema construtivo adotado no projeto original terá diferenças significativas, em termos de conforto térmico e desempenho térmico em comparação a uma habitação que é construída com o sistema de vedações verticais de alvenaria convencional, foi avaliado também um segundo projeto.

Nesses termos, o modelo modificado (MMod) tem as mesmas propriedades termo físicas e arquitetônicas do projeto real com exceção das paredes. Para este, adotou-se as paredes externas e internas feitas de tijolo cerâmico de seis furos ( $9,0 \text{ cm} \times 14,0 \text{ cm} \times 24,0 \text{ cm}$ ) e argamassa interna e externa com  $2,5 \text{ cm}$  de espessura. Segundo Morishita *et al.* (2011) e Weber *et al.* (2017), este possui transmitância térmica igual a  $2,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , capacidade térmica igual a  $159 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$ , atraso térmico de  $3,3$  horas, absorvância solar igual a  $0,8$ , fator de calor solar igual a  $1,9$  e emissividade igual a  $0,9$ . A câmara de ar do elemento é representada por uma resistência térmica de  $0,175 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$  (Figura 14).

**Figura 14 – Tipologia das paredes da edificação no modelo modificado**



Fonte: Morishita *et al.*, 2011.

As paredes possuem revestimento interno e externo (2,5 cm) com argamassa como pode ser identificado na Figura 14. Foram admitidas as seguintes propriedades térmicas para o revestimento: emissividade de onda longa igual a 0,9 e absorvância solar de 0,2 (ABNT, 2005; MORISHITA *et al.*, 2011; WEBER *et al.*, 2017).

As janelas adotadas para os quartos possuem 1,20 m x 1,20 m e são de correr com folha dupla e peitoril a 1,00 m do piso, possuindo, assim, uma abertura para ventilação de 50% (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Esse modelo encontra-se instalado nos dois quartos. As janelas adotadas para os banheiros são do tipo maxim ar, com dimensão 0,60 m x 0,60 m, peitoril de 1,60 m e configuração de abertura para ventilação de 50% (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). A porta de entrada principal da sala é completamente de vidro. A área dos elementos transparentes está detalhada na Tabela 16.

**Tabela 16 – Área dos elementos transparentes**

Ambiente	Área dos elementos transparentes (m <sup>2</sup> )
Quarto 1	1,44
Quarto 2	1,44
Sala/cozinha	7,20
Banheiro	0,36

Fonte: O autor.

Em todos os ambientes de permanência prolongada, os elementos transparentes são constituídos de vidro comum com transmitância térmica de 5,7 W/m<sup>2</sup>.K, fator solar (FS) igual a 0,87 e espessura de 6 mm. As portas dos ambientes internos e cozinha foram consideradas de madeira com valores de propriedades térmicas iguais ao do modelo de referência, assim

como os caixilhos das janelas e a configuração do piso. Essas informações serão apresentadas adiante.

### 3.3 Análise do conforto térmico

O índice da *Standard 55* da ASHRAE (2017) foi utilizado para avaliar o conforto térmico nas habitações modeladas. Baseado nessa norma, destaca-se que os limites de conforto térmico superior e inferior foram calculados a partir dos dados de temperatura de bulbo seco, extraídos do arquivo climático com dados horários utilizado na simulação computacional. Tais limites foram determinados a partir da média aritmética das temperaturas externas dos últimos sete dias.

O parâmetro utilizado para análise do atendimento ao conforto térmico são os valores de temperatura operativa dos ambientes de permanência prolongada da edificação, dados que foram obtidos a partir das simulações computacionais dos modelos. Nesse molde, foi verificado se os resultados calculados pelo *software* para tais ambientes estavam ou não dentro dos limites pré-estabelecidos.

Com essas informações, foi calculada a porcentagem de horas em que cada ambiente dos modelos (MReal e MMod) está dentro dos limites de 80% estabelecidos conforme índice adaptativo da ASHRAE (2017). Ressalta-se que somente foi levado em consideração para o cálculo dos percentuais os momentos em que os ambientes possuíam uma taxa de ocupação diferente de zero, ou seja, os horários em que os APPs estavam efetivamente ocupados conforme é estabelecido na emenda nº 1 da NBR 15.575 (ABNT, 2021) para avaliação do desempenho térmico no método de simulação computacional (Anexo A).

### 3.4 Análise do desempenho térmico

A edificação foi analisada com base no procedimento simplificado, bem como no procedimento de simulação computacional.

- Procedimento simplificado: Neste procedimento, é possível verificar apenas se a edificação atende ao desempenho térmico mínimo. Ele é realizado a partir da comparação das seguintes propriedades térmica e características geométricas:  $U_{par}$ ;  $CT_{par}$ ;  $P_{v,APP}$ ;  $P_{L,APP}$ ;  $A_{t, APP}$  e  $U_{cob}$ .

No presente trabalho, foi avaliada a edificação real (MReal) e esse mesmo projeto considerando modificações (MMod). As alterações estão relacionadas aos valores de transmitância térmica da parede. Na Figura 15, está representado o processo de avaliação do procedimento simplificado.

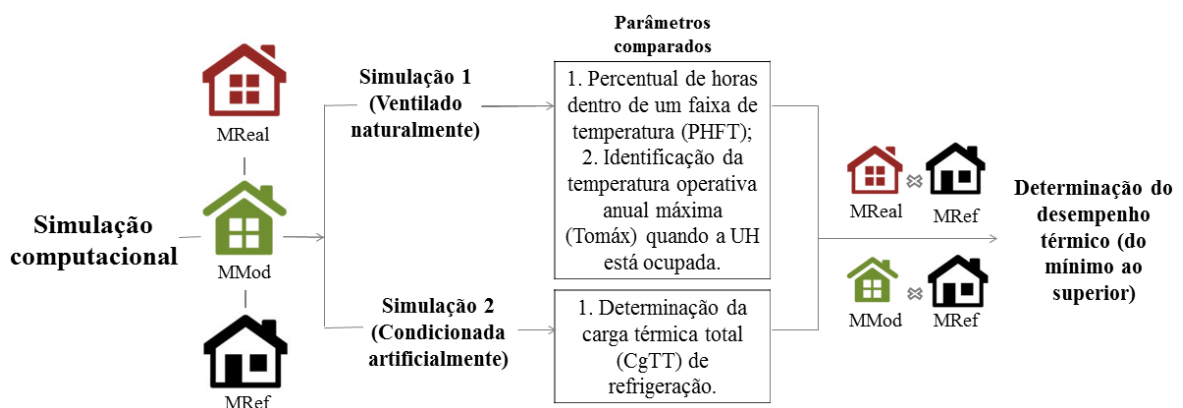
**Figura 15 – Avaliação da edificação pelo método simplificado**



Fonte: O autor.

- Procedimento de simulação computacional: O desempenho térmico foi também avaliado de acordo com os critérios e requisitos estabelecidos no novo procedimento de simulação computacional da emenda nº 1 da NBR 15.575 (ABNT, 2021), conforme apresentado na subseção 2.2.2. A Figura 16 apresenta uma síntese dos procedimentos e critérios que serão avaliados.

**Figura 16 – Procedimento de avaliação de desempenho térmico pelo método de simulação computacional**



Fonte: O autor.

O método de simulação computacional pode ser aplicado para analisar qual dos três níveis de desempenho térmico a edificação irá atender. Para avaliação com base nesse procedimento,



foram modelados três configurações para a edificação estudada, sendo dois desses modelos os projetos avaliados (real e modificado) e o terceiro, o de referência. A determinação do atendimento ao nível de desempenho térmico mínimo, de caráter obrigatório, é feita a partir da comparação dos valores obtidos para  $PHFT_{UH}$  e  $Tomáx_{UH}$  dos modelos analisados com o de referência, conforme discutido na subseção 2.2.2.3.

Para o desempenho térmico intermediário e superior, é necessário que o critério anterior seja satisfeito, ou seja, a  $Tomáx$  do modelo real seja inferior ao do modelo de referência. E, para o critério do  $PHFT_{UH}$ , o percentual deve ter incrementos nos valores dos modelos avaliados em relação ao do modelo de referência.

Além disso, para verificação desses dois níveis, é preciso analisar o critério da carga térmica total da unidade habitacional ( $CgTT_{UH}$ ), modelando a edificação sem o uso da ventilação natural. Desta forma, determina-se a redução de carga térmica dos modelos avaliados (real e adaptado) em relação ao modelo de referência ( $RedCagTT$ ) e faz-se uma comparação desse valor calculado com a redução de carga térmica mínima ( $RedCagTT_{\min}$ ) estabelecida segundo a norma. Para o presente trabalho, foram modeladas três configurações, sendo elas:

- a) Modelo Real (MReal): foram consideradas as características da edificação que constam no projeto arquitetônico disponibilizado pela Prefeitura de Paulo Afonso. As propriedades térmicas inseridas na ferramenta computacional estão descritas na subseção 3.2;
- b) Modelo Adaptado (MMod): toma-se como base a volumetria do modelo real, alterando a tipologia das paredes. Os valores adotados no modelo para essa situação estão presentes na subseção 3.2 e corresponde à configuração com paredes externas e internas simples, ambas feitas de tijolos cerâmicos com revestimento de 2,5 cm de argamassa; e
- c) Modelo de Referência (MRef): são admitidas as características e propriedades do modelo de referência que estão presente na emenda nº 1 da NBR 15.575 (ABNT, 2021).

Diante do exposto, os modelos avaliados, real e modificado, foram comparados com o modelo de referência para definir o desempenho de cada um deles. Para o desempenho térmico mínimo, é verificado apenas o atendimento aos parâmetros pertencentes à condição de simulação com ventilação natural. Já para o desempenho intermediário e superior é considerada a simulação sem a ventilação natural e são analisados os respectivos critérios expostos na Figura 17.

**Figura 17 – Processo para determinação do nível de desempenho térmico dos modelos avaliados**

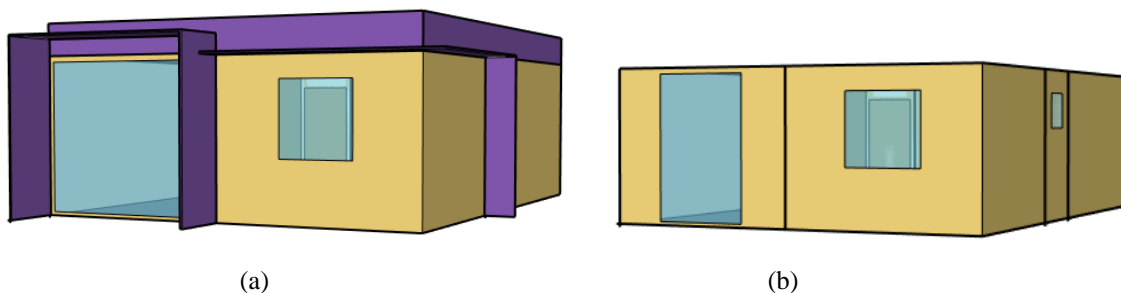
Parâmetro	Desempenho térmico mínimo	Desempenho térmico intermediário	Desempenho térmico Superior
Temperatura operativa anual máxima (Tomax)	Menor que a referência + tolerância	Atendimento ao nível mínimo	Atendimento ao nível intermediário
Percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura (PFHT)	Maior que 90% do valor de referência	Aumento no PFHT em comparação ao nível mínimo	Aumento no PFHT em comparação ao nível intermediário
Carga térmica total (CgTT)	-	CgTT do modelo inferior ao referencial	Ampliação da redução da CgTT em comparação ao nível intermediário

Fonte: O autor

### 3.4.1 Modelagem da unidade habitacional

Na Figura 18, estão representados os modelos (real, modificado e de referência) virtuais utilizados nas simulações. Para a geometria dos modelos de simulação, foi considerada a habitação como um todo, sendo cada ambiente uma zona térmica, com exceção da sala e da cozinha, que é um espaço conjugado e foi simulado como uma única zona térmica.

**Figura 18 – Perspectivas do modelo de simulação da casa: (a) modelo real e modificado (b) modelo de referência**



Fonte: O autor.

No modelo real e modificado, foram mantidas as características volumétricas, os percentuais de elementos transparentes e de aberturas para ventilação, as propriedades térmicas dos sistemas construtivos e a presença de elementos de sombreamento externos fixos, conforme descrito na subseção 3.4. Tanto nos modelos real e modificado quanto no modelo de referência, as propriedades dos caixilhos seguiram o recomendado ao modelo de referência tendo em vista que as especificações não estavam presentes no projeto. Também foi admitida a mesma condição de contato com o solo para todas as modelagens.

No modelo de referência, a volumetria corresponde à mesma do modelo real. Já os percentuais de elementos transparentes e aberturas para ventilação e as propriedades térmicas foram alterados para os valores estabelecidos pelo novo procedimento da NBR 15.575 para configuração do modelo de referência (Tabela 17).

**Tabela 17 – Propriedades térmicas das paredes, pisos e cobertura do modelo de referência**

Elemento	Condutividade térmica W/(m.K)	Calor específico J/(kg.K)	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	Densidade kg/m <sup>3</sup>
<b>Paredes externas</b>	1,75	1000	0,58	0,90	2200
<b>Paredes internas</b>	1,75	1000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	2200
<b>Pisos</b>	1,75	1000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	2200
<b>Telha com 6 mm de espessura</b>	0,65	840	0,65	0,90	1700
<b>Laje com 100 mm de espessura</b>	1,75	1000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	2200

Fonte: Adaptada da ABNT, 2021.

A Tabela 17 apresenta os valores das propriedades dos materiais do modelo de referência. Como pode ser observado, alguns dos valores precisam ser iguais aos do modelo real. Estes estão discriminados em subseção anterior. Sobre os percentuais de elementos transparentes ( $P_{t,APP}$ ) e percentual de abertura para ventilação ( $P_{v,APP}$ ), tais propriedades foram redimensionados no modelo de referência para atender os valores da norma (Tabela 18).

**Tabela 18 – Propriedades dos elementos transparentes, aberturas para ventilação e perfis das esquadrias**

<b>Características dos elementos transparentes nas esquadrias para o modelo de referência</b>				
Elemento	Fator solar (FS)	Transmitância térmica (U) W/(m <sup>2</sup> .K)	Percentual de elementos transparentes ( $P_{t,APP}$ ) %	
Elementos transparentes	0,87	5,70	17,00	
<b>Percentual de abertura para ventilação nas esquadrias para modelos de referência</b>				
Elemento	Percentual de abertura para ventilação ( $P_{v,APP}$ )			
Abertura para ventilação	7,65			
<b>Características dos perfis das esquadrias para o modelo de referência</b>				
Elemento	Absortância à radiação solar dos perfis	Emissividade de onda longa dos perfis	Condutância térmica W/(m <sup>2</sup> .K)	Largura dos perfis da esquadria mm
Perfis das esquadrias	0,58	0,90	56,00	50,00

Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.

A norma explica que o percentual de abertura para ventilação deve ser igual a 45% da área de cada elemento transparente, para as janelas dos quartos, no modelo de referência, para que se atinja o percentual sugerido de 7,65%. Para os modelos real e modificado, foi utilizado o percentual de ventilação de 50% para as janelas dos quartos e 50% para as janelas (maxim ar) dos banheiros como salientado anteriormente.

O percentual de elementos transparentes, percentual de abertura para ventilação, transmitância térmica e fator solar dos elementos transparentes dos ambientes de permanência transitória (banheiros) foram configurados da mesma forma em todos os modelos, adotando as características do modelo real. Assim, todo o processo de modelagem seguiu o que está especificado na norma.

### 3.4.2 Modelagem da ocupação e das cargas internas

Segundo a emenda nº 1 da NBR 15.575, a modelagem da ocupação e das cargas térmicas deve ser realizada de maneira similar para todos os modelos. Nesse contexto, o padrão de ocupação dos APP, o calor dissipado por pessoa e a fração radiante foram considerados os mesmos para todos os dias do ano, seguido a orientação da norma (Tabela 19).

**Tabela 19 – Taxa metabólica e fração radiante para os usuários**

<b>Ambiente</b>	<b>Período de uso</b>	<b>Atividade realizada</b>	<b>Calor produzido por área superfície corporal W/m<sup>2</sup></b>	<b>Calor produzido por uma pessoa com 1,80 m<sup>2</sup> de área de superfície corporal W</b>	<b>Fração radiante</b>
<b>Dormitório</b>	00:00 – 07:59 e 22:00 – 23:59	Dormindo ou descansando	45	81	0,30
<b>Sala</b>	14:00 – 21:59	Sentada ou assistindo TV	60	108	0,30
<b>Uso misto</b>	00:00 – 07:59 e 22:00 – 23:59	Dormindo ou descansando	45	81	0,30
	14:00 – 21:59	Sentada ou assistindo TV	60	108	0,30

Fonte: Adaptada da ABNT, 2021.

Tendo em vista que é recomendada a adoção de dois ocupantes por dormitório, a ocupação de 100% da sala corresponde a presença de quatro pessoas no presente estudo de caso. Os dados de horário de ocupação citados acima estão no Anexo A.

A emenda n° 1 da NBR 15.575 também especifica o padrão de uso do sistema de iluminação, o valor de densidade de potência instalada de iluminação e o valor de fração radiante e visível que devem ser considerados para todos os dias do ano para os modelos simulados (Tabela 20).

**Tabela 20 – Densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível para o sistema de iluminação**

<b>Ambiente</b>	<b>Densidade de potência instalada W/m<sup>2</sup></b>	<b>Fração radiante</b>	<b>Fração visível</b>
<b>Dormitório</b>	5,00	0,32	0,23
<b>Sala</b>	5,00	0,32	0,23
<b>Uso misto</b>	5,00	0,32	0,23

Fonte: Adaptada da ABNT, 2021.

Os horários respectivos de utilização da iluminação para cada um dos tipos de ambiente estão dispostos no Anexo B. Além disso, o novo texto normativo traz os dados de carga interna dos equipamentos, que devem se admitidos apenas no ambiente da sala ou quando esse tiver uso misto, e os horários de uso dos equipamentos (Tabela 21).

**Tabela 21 – Período de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para equipamentos dos APP**

<b>Ambiente</b>	<b>Período</b>	<b>Potência W</b>	<b>Fração radiante</b>
<b>Sala</b>	14:00 – 21:59	120	0,30
<b>Uso misto</b>	14:00 – 21:59	120	0,30

Fonte: Adaptada da ABNT, 2021.

### **3.4.3 Simulação com a ventilação natural**

Para verificar o atendimento do desempenho mínimo, a edificação é simulada sem condicionamento artificial, para calcular os valores de  $PHFT_{UH}$  e  $Tomá_{UH}$ . Assim, para a modelagem com a ventilação natural, a norma delimita quais os momentos em que as janelas devem ser consideradas abertas (ABNT, 2021):

- quando a temperatura de bulbo seco interna do APP for igual ou superior a 19 °C; e
- quando a temperatura de bulbo seco interna for superior à temperatura de bulbo seco externa.

A norma diz que as portas internas entre os APP e APT devem ser mantidas abertas, com exceção da porta do banheiro que deve estar sempre fechada. Além disso, o novo texto normativo indica que as portas externas devem ser consideradas fechadas com exceção das portas transparentes localizadas em sacadas, que terão aberturas similares as das janelas. Como no modelo tem-se uma edificação térrea, sem sacada, admitiu-se que a porta externa (sala) deve ficar fechada durante todo o ano.

O último aspecto indicado na norma para a modelagem é sobre a infiltração de ar pelas frestas das portas e janelas. Os valores recomendados estão apresentados na Tabela 22.

**Tabela 22 – Descrição dos parâmetros da ventilação natural para portas e janelas nos APPs e APTs**

Parâmetros	Portas	Janelas
Coeficiente de fluxo de ar por frestas, quando a abertura está fechada kg/(s.m)	0,0024	0,00063
Expoente de fluxo de ar por frestas quando a abertura está fechada (adimensional)	0,59	0,63
Coeficiente de descarga ( $C_d$ )	0,60	0,60

Fonte: Adaptada da ABNT, 2021.

#### **3.4.4 Simulação sem a ventilação natural**

A condição de simulação com adoção do condicionamento artificial dos APPs deve ser feita para calcular as cargas térmicas anuais de refrigeração ( $CgTR_{UH}$ ) dos modelos que, por sua vez, são necessários para avaliar a satisfação aos níveis de desempenho térmicos intermediário e superior. Para a modelagem da edificação sem a ventilação natural, a emenda nº 1 da NBR 15.575 (ABNT, 2021) especifica que todas as portas e janelas devem estar fechadas durante todo o ano, com exceção da janela do banheiro que deverá ser mantida sempre aberta.

Nessa condição de simulação, o sistema de cálculo da carga térmica de refrigeração deve ser do tipo ideal, ou seja, que opere sem perdas de energia na retirada do calor do APP. Deve ser modelado o funcionamento do sistema para que ele opere somente quando o APP estiver ocupado com temperatura de *setpoint* de 23 °C para manter o ambiente refrigerado. Ademais,

nas portas e janelas devem ser utilizados os mesmos coeficientes de infiltração utilizados para o modelo com o uso da ventilação natural.

### **3.5 Análises comparativas**

Após realização de todos os procedimentos descritos, os modelos puderam ser classificados quanto ao atendimento ou não dos parâmetros normativos expostos para avaliação do desempenho e conforto térmico segundo as respectivas normas. Desta maneira, foi possível verificar se o comportamento mínimo é ou não satisfeito pela unidade habitacional avaliada, bem como identificar em qual configuração ele possui um melhor funcionamento dentro do clima estudado.

É importante explicar que o resultado da avaliação do conforto térmico advém dos dados obtidos para avaliação do desempenho mínimo visto que somente nessa situação a edificação terá o uso da ventilação natural, condição estabelecida para avaliação do conforto adaptativo do Standard 55 da ASHRAE.

A partir dessa comparação, foi possível verificar o percentual de horas que o modelo de referência encontra-se dentro do limite de conforto térmico. Desse modo, permitiu afirmar o nível de conforto térmico que é estabelecido de acordo com o novo procedimento da NBR 15.575/2021 visto que esse modelo é utilizado como referência para avaliações dos diferentes modelos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados obtidos com o desenvolvimento desta dissertação. A seção está organizada segundo cada procedimento aplicado para avaliação.

### 4.1 Avaliação do desempenho térmico pelo procedimento simplificado

Esta subseção aborda sobre a avaliação do desempenho térmico da edificação, realizada a partir do método simplificado presente na emenda nº 1 da NBR 15.575/2021, partes 4 e 5. Assim, são realizadas comparações entre as propriedades térmicas e características geométricas do MReal e MMod com os valores de referência (MRef) determinados para as edificações destinadas à zona bioclimática 7.

A avaliação inicia com a análise do sistema de vedações verticais externas, seguida da análise da cobertura. As propriedades térmicas que a emenda nº 1 da NBR 15.575/2021 determina que sejam avaliadas para o sistema de vedações verticais (SVVE) são a transmitância térmica ( $U$ ) e a capacidade térmica ( $C_T$ ) das paredes.

A edificação estudada, quando construída, terá na composição das paredes externas um único material (concreto armado moldado *in loco*), com a cor branca ( $\alpha = 0,2$ ), e um único tipo de revestimento, não havendo, assim, a necessidade de calcular uma transmitância e capacidade térmica equivalente para toda a edificação como recomenda a norma quando são utilizados diferentes tipos de revestimento.

A comparação dos valores das propriedades térmicas da parede está presente na Tabela 23, admitindo os critérios para a situação em que a absorvância térmica da parede é inferior e 0,6.

**Tabela 23 – Análise das propriedades térmicas do SVVE pelo método simplificado**

<b>Critério</b>	<b>MReal</b>	<b>Atendimento</b>	<b>MMod</b>	<b>Atendimento</b>
$U_{par} \leq 3,7 \text{ W/m}^2.K$	$U = 4,40 \text{ W/m}^2.K$	Não satisfaz	$U = 2,39 \text{ W/m}^2.K$	Satisfaz
$C_{T,par} \geq 130 \text{ kJ/m}^2.K$	$C_T = 240 \text{ kJ/m}^2.K$	Satisfaz	$C_T = 150 \text{ kJ/m}^2.K$	Satisfaz

Fonte: O autor.

O valor da transmitância térmica da parede do MReal é superior ao limite de referência, não atendendo ao primeiro critério. Enquanto isso, a capacidade térmica da parede de concreto



armado moldado *in loco* está dentro do intervalo de referência estabelecido para a zona bioclimática 7.

A tipologia de vedação vertical com tijolo cerâmico e revestimento em ambas as faces atende aos dois critérios. Nota-se que o MReal tem um capacidade térmica superior ao do MMod, podendo impactar positivamente no comportamento de MReal. Além disso, a configuração do MMod está dentro dos limites da NBR 15.575/2021, mas não atende as recomendações da NBR 15.220 para a ZB-7, que recomenda uma U inferior a 2,2 W/m<sup>2</sup>.K.

Se fosse aplicado o método simplificado da versão antiga da norma, as observações feitas aqui seriam mantidas, considerando as alterações que ocorreram no texto atual. Assim dizendo, os parâmetros para avaliação das paredes, cobertas e abertura para ventilação permanecem os mesmos, havendo apenas a inclusão do critério de percentual de área para ventilação. Nesse contexto, conforme Santos e Gouveia (2018), o sistema de paredes do MReal tem desempenho insatisfatório enquanto do MMod é caracterizado como satisfatório.

O percentual de abertura é o segundo critério presente no texto normativo atual. Para o atendimento do desempenho térmico mínimo, a NBR 15.575/2021 estabelece-se que o percentual de abertura para ventilação seja igual ou superior a 7% em relação à área do piso do ambiente de permanência prolongada (Tabela 24).

**Tabela 24 – Análise do atendimento do percentual de área de ventilação nos APP pelo método simplificado**

<b>Critério</b>	<b>MReal/MMod</b>	<b>Atendimento</b>
<b><math>P_{v,APP} \geq 7,0\% \text{ do } A_{p,APP}</math></b>	$P_{v,quarto1} = 7,93\%$	Satisfaz
	$P_{v,quarto2} = 6,22\%$	Não satisfaz
	$P_{v,sala/coz} = 0,00\%$	Não satisfaz
	$P_{v,sala/coz} = 12,50\%$	Satisfaz

Fonte: O autor.

Cada quarto possui uma janela de correr, cuja área de ventilação corresponde a 50% da sua superfície da esquadria. A emenda n° 1 NBR 15.575-4 (ABNT, 2021) não trata sobre a consideração de portas nos cálculos do percentual de área para ventilação. Porém, há uma menção ao assunto na seção do método de avaliação de simulação computacional, de emenda n° 1 NBR 15.575-1 (ABNT, 2021), de modo que no APP que possuir portas balcão ou semelhantes, com elementos transparentes e fixadas nas paredes externas, deve ser

considerada para a ventilação toda a área de abertura resultante do deslocamento da folha móvel da porta na ventilação. Desse modo, foram consideradas as duas opções para a porta da sala (fechada e aberta).

Dentre os ambientes avaliados na edificação, o quarto 1 e a sala/cozinha, admitindo a abertura da porta, são os APPs que têm um percentual acima do intervalo de referência, satisfazendo o critério da norma. A sala/cozinha, com porta fechada, e quarto 2 não atendem ao limite mínimo do percentual de ventilação. Tal condição (porta da sala sempre fechada) deve gerar impactos negativos no desempenho térmico da edificação, bem como no conforto térmico dos usuários, logo, deve ser observado na simulação computacional.

Para a ZB-7, o percentual de abertura para ventilação recomendado pela NBR 15.220 (ABNT, 2005) é entre 10 e 15%. Mais uma vez, percebe-se que o percentual de área de ventilação da NBR 15.575/2021 difere das orientações do zoneamento bioclimático brasileiro, que sugere um percentual maior de área para ventilação.

O último requisito a ser observado para o SVVE é a proporção de elementos transparentes. Esse critério poderá variar a depender da latitude em que se encontra a edificação, da adoção de vidros de alto desempenho e/ou do uso de elementos de sombreamento horizontais nas aberturas.

A edificação avaliada será construída na cidade de Paulo Afonso-BA, a uma latitude superior a  $-15^{\circ}$  Sul, e não possuirá vidros de alto desempenho. Ela terá elementos de proteção horizontal na fachada principal, com configuração especificada no projeto. Verificou-se que o ângulo vertical de sombreamento formado entre a extremidade do elemento horizontal e a base da porta de vidro é de  $19^{\circ}$ , e o ângulo formado entre o elemento de proteção solar horizontal situado ao longo do quarto 1 e a base da janela desse ambiente é igual a  $17^{\circ}$ . Por sua vez, a janela do quarto 2 não possuirá nenhum tipo de elemento de proteção solar.

Com a determinação desses ângulos, observou-se que eles não correspondem aos valores presentes na Tabela 6, que delimita o percentual de elementos transparentes em função do ângulo vertical de sombreamento da parte 4 da emenda n<sup>o</sup> 1 da NBR 15.575 (ABNT, 2021). Nesse contexto, os limites de referência para área dos elementos transparentes devem estar

dentro do intervalo estabelecido para a situação em que não é considerada a presença dos protetores solares. Os resultados da análise estão apresentados na Tabela 25.

**Tabela 25 – Análise do atendimento à proporção de referência dos elementos transparentes nos APP pelo método simplificado**

Área do ambiente	Critério	MReal/MMod	Atendimento
$A_{\text{quarto1}} = 9,08 \text{ m}^2$	$P_{t,APP} \leq 20\%$	$P_{t,\text{quarto1}} = 15,85\%$	Satisfaz
$A_{\text{quarto2}} = 11,57 \text{ m}^2$	$P_{t,APP} \leq 20\%$	$P_{t,\text{quarto2}} = 12,45 \%$	Satisfaz
$A_{\text{sala/coz}} = 19,20 \text{ m}^2$	$P_{t,APP} \leq 20\%$	$P_{t,\text{sala/coz}} = 37,5 \%$	Não satisfaz

Fonte: O autor.

A partir da comparação dos valores adotados no MReal com os valores de referência, notou-se que os quartos possuem uma porcentagem de elementos transparentes adequada diante do que está prescrito na norma, pois é estabelecido que para os ambientes de permanência prolongada com área inferior ou igual a  $20,0 \text{ m}^2$  o  $P_{t,APP}$  seja inferior ou igual a 20%. Tal diretriz não foi atendida para o ambiente sala/cozinha, cuja área de elementos transparentes é de aproximadamente o dobro do que permite a norma. O desempenho insatisfatório para esse critério deve ser notado na simulação computacional. A NBR 15.220 (ABNT, 2005) não traz recomendações sobre o percentual de elementos transparentes que pode ser usado nas fachadas.

Analisado os aspectos sobre o SVVE, verificou-se o atendimento do desempenho térmico mínimo pela cobertura da edificação através do método simplificado, presente na NBR 15.575-5/2021. O único critério que deve ser averiguado para esse sistema de vedação é o valor da transmitância térmica, que dependerá do valor da absorvância e da zona bioclimática em que se encontra a edificação.

O sistema de cobertura do projeto real será de telha de fibrocimento com forro de gesso, possuindo uma câmara de ar maior do que 5 cm e absorvância solar de 0,4. Para essa configuração, a transmitância térmica (U) da cobertura corresponde a  $1,95 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ . O valor de referência deverá ser multiplicado ainda por um fator de correção, quando o ático é ventilado (Tabela 26).

**Tabela 26 – Análise das propriedades térmicas da cobertura pelo método simplificado**

<b>Critério</b>	<b>MReal/MMod</b>	<b>Atendimento</b>
$U_{cob} \leq 2,3 \cdot FT \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$U = 1,95 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Satisfaz

**Dados:**  
 $FT = 1,17 - 1,07 \cdot h^{-1,04}$ , sendo FT = 1 para ático não ventilado.

Fonte: O autor.

Para uma edificação construída na ZB-7, cuja absorvância solar da cobertura é inferior ou igual a 0,4, a cobertura deverá ter um valor de U menor ou igual a 2,3 W/(m².K). Dessa maneira, a tipologia de cobertura adotada no projeto analisado (MReal) satisfaz ao intervalo de referência.

Com base no procedimento aplicado, destaca-se que, apesar de alguns ambientes da edificação no MReal terem atendido aos critérios estabelecidos para o desempenho térmico mínimo segundo o método simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2021), a não observância ao primeiro critério, transmitância térmica do SVVE, já indicaria a necessidade de fazer a análise do objeto de estudo pelo método de simulação computacional para que seja possível verificar o comportamento global da edificação. Se fosse adotada a parede simples de tijolo cerâmico, o SVVE iria satisfazer os critérios, mas o percentual de elementos transparentes e ventilação não permitiria o atendimento do desempenho térmico mínimo pelo presente método.

A partir dos dados discutidos nesta subseção, é possível fazer algumas recomendações para o projeto, visando à melhoria no comportamento térmico da edificação e, conseqüentemente, ao atendimento do desempenho térmico mínimo pelo procedimento simplificado.

A primeira recomendação diz respeito à tipologia das vedações verticais externas. As paredes de concreto armado moldado *in loco*, como já foi observado por Oliveira *et al.* (2015), possuem valor de transmitância térmica alto quando comparado aos limites preestabelecidos por normas. Para reduzir esse valor, a opção seria a adoção da parede de concreto armado moldado no local combinada com camadas de materiais isolantes, para aumentar a resistência térmica do sistema, o que nem sempre é possível devido aos custos que estes materiais implicam (BATISTA, 2020). Outra opção é adotar tipologias de paredes com propriedades termo físicas diferentes (pesadas). A parede comumente empregada no Brasil com tijolo cerâmico é um opção, no que se refere à avaliação através do método simplificado.

Sobre as aberturas, o percentual de área de ventilação do quarto 2 é inferior a 7%, exigindo soluções para adequar ao recomendado pela norma de desempenho. Nesse contexto, é possível adaptar a tipologia da janela, adotando uma que possibilite uma maior área efetiva para ventilação, assim como pode ser mantido o mesmo tipo de janela, desde que possua dimensões que permitam uma área maior para ventilação, atingindo o percentual desejado conforme a área do piso do ambiente.

Com base nos valores expostos, afirma-se que a porta de entrada principal deve impactar significativamente nos ganhos de calor por causa da sua grande área envidraçada. Assim, para que seja atendido o critério mínimo referente ao percentual de elementos transparentes, na avaliação pelo método simplificado, é necessário optar por outro tipo de porta. Uma opção seria instalar uma janela de vidro, com área condizente aos limites da norma, e uma porta opaca para reduzir a proporção de área transparente do APP sala/cozinha. Encerrada a discussão sobre o presente método de análise, o trabalho seguirá com a análise pelo método de simulação computacional.

## **4.2 Avaliação do desempenho térmico pelo procedimento de simulação computacional**

Esta subseção trata sobre a avaliação da edificação pelo método de simulação computacional segundo a emenda nº 1 da NBR 15.575-1 (ABNT, 2021).

### ***4.2.1 Comportamento térmico da edificação ao longo do ano na condição de ventilação natural***

Apresenta-se a análise da edificação com o uso da ventilação natural, que corresponde à condição para análise do atendimento ao desempenho térmico mínimo. Antes de apresentar o atendimento aos critérios de referente nível, são expostas algumas informações gerais obtidas em cada um dos modelos, fazendo uma comparação sobre os projetos. Os resultados apresentados a seguir foram obtidos considerando a porta da sala sempre fechada. Todavia, posteriormente, será apresentado o nível de desempenho que a edificação obtém ao considerar a operação de abertura da porta da sala.

A distribuição da quantidade de horas que cada modelo se encontra dentro de um determinado intervalo de temperatura operativa está indicada na Tabela 27. Os dados referentes a cada modelo correspondem à soma dos três APP que são avaliados na simulação, logo, contabilizam 26.280 horas por modelo simulado. A análise da distribuição das 8.760 horas para cada ambiente de permanência prolongada dos projetos pode ser vista no anexo D.

A partir dos resultados, constatou-se que a temperatura média anual de bulbo seco externa é inferior à temperatura operativa média encontrada para todos os casos simulados. O modelo de referência sempre tem os maiores valores de temperatura operativa média anual quando comparado com os modelos reais e modificados, nos quatros cenários (orientação da edificação), tendo uma maior frequência de temperaturas superiores a 40 °C. Além disso, a temperatura operativa média anual deste modelo atinge uma diferença superior a 1 °C em relação aos modelos avaliados nos quatro cenários (Tabela 27).

**Tabela 27 – Distribuição do número de horas em intervalos de temperatura.**

Modelo	T < 20	20- 22	22- 24	24- 26	26- 28	28- 30	30- 32	32- 34	34- 36	36- 38	38- 40	T ≥ 40	Média (°C)
<b>SUL</b>													
<b>MRef</b>	0	89	567	1840	3875	5413	5252	3695	2945	2024	549	31	<b>30,7</b>
<b>MReal</b>	44	570	1703	4423	6322	5494	3923	3128	664	9	0	0	<b>28,2</b>
<b>MMod</b>	44	558	1643	4239	5897	5341	3877	3177	1467	37	0	0	<b>28,5</b>
<b>OESTE</b>													
<b>MRef</b>	0	60	483	1638	3830	5419	5258	3619	2812	2166	891	104	<b>31,0</b>
<b>MReal</b>	19	383	1376	3723	5948	5656	3834	3189	1786	353	13	0	<b>28,8</b>
<b>MMod</b>	13	334	1274	3341	5410	5473	3750	3216	2354	963	150	2	<b>29,3</b>
<b>NORTE</b>													
<b>MRef</b>	0	71	512	1723	3762	5333	5328	3722	3019	2205	573	32	<b>30,9</b>
<b>MReal</b>	34	527	1663	4293	6270	5585	3936	3165	793	14	0	0	<b>28,3</b>
<b>MMod</b>	30	494	1569	4066	5803	5503	3891	3266	1608	50	0	0	<b>28,6</b>
<b>LESTE</b>													
<b>MRef</b>	0	46	432	1570	3842	5443	5249	3856	3126	2132	557	27	<b>30,9</b>
<b>MReal</b>	19	418	1430	3855	5981	5664	4121	3224	1496	72	0	0	<b>28,7</b>
<b>MMod</b>	16	375	1326	3497	5443	5466	3975	3399	2379	398	6	0	<b>29,1</b>
<b>TEMPERATURA DE BULBO SECO</b>													
<b>Externa</b>	450	630	1490	1659	1361	1084	785	645	463	173	16	4	<b>26,7</b>

Fonte: O autor.

A pior situação, em termos de orientação da edificação no terreno, está no posicionamento da fachada principal em direção ao Oeste, constando-se, por exemplo, uma temperatura média anual de 29,3 °C no MMod. Por sua vez, o cenário com a orientação da fachada principal da

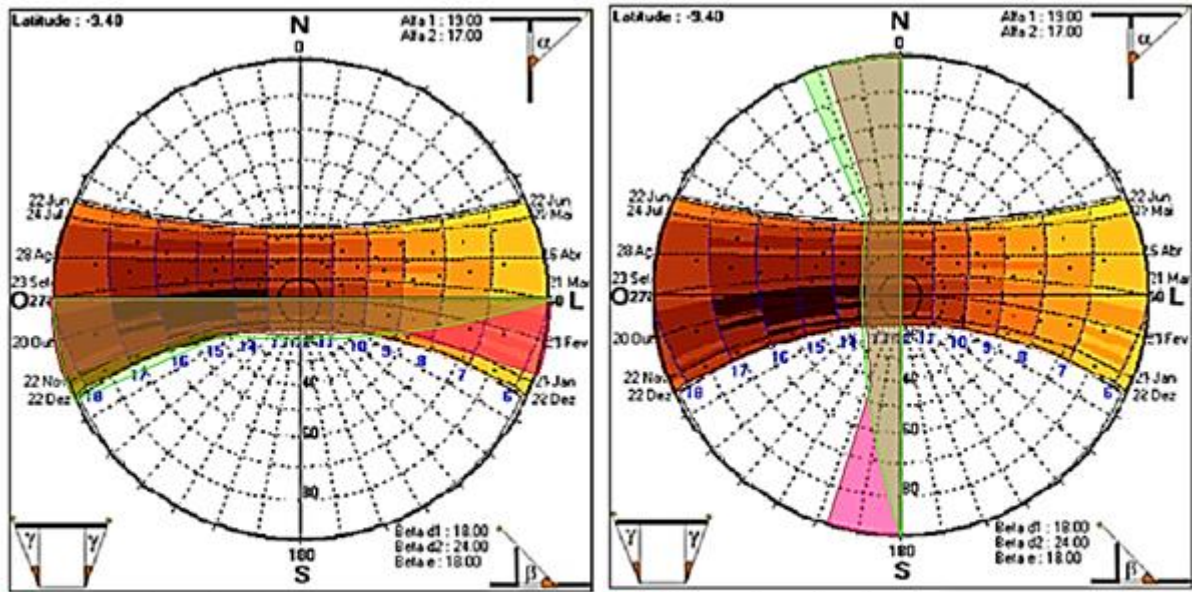
edificação direcionada para o Sul é o que tem os valores de temperatura operativa mais amenos, seguido pelo cenário Norte.

A distribuição de temperatura dentro dos intervalos também evidencia que o MReal possui uma frequência de temperaturas inferiores a 20 °C relativamente maior que o MMod ao se avaliar os casos, admitindo-se cada um dos quatro cenários isoladamente. Conseqüentemente, o modelo real apresenta temperaturas operativas médias anuais sempre inferiores, com destaque para o MReal no cenário Sul, onde se constata a menor temperatura operativa média anual dentre todos os modelos simulado, com um valor de 28,2 °C. A segunda situação na qual se nota uma temperaturas operativa média relativamente mais amena, considerando todos os contextos, está no MReal no cenário Norte, tendo inclusive valor inferior ao MMod com fachada principal orientada para o Sul.

É necessário salientar que os elementos de sombreamento instalados na fachada principal também tem um papel importante na minimização dos ganhos de calor devido a incidência direta da radiação solar, tanto na sala quanto no quarto 1. Como foi discutido anteriormente, as maiores temperaturas de bulbo seco são averiguadas entre as 13 horas e 17 horas, durante o verão, no Hemisfério Sul. As máscaras de sombras geradas pelos elementos de proteção solar, verticais e horizontais, presentes exclusivamente na fachada principal, conseguem proteger os seus respectivos APPs do referido período, com uma melhor eficiência quando a edificação está com a fachada principal orientada para o sul geográfico.

Diferentemente desse cenário, nas situações em que a edificação encontra-se com a entrada principal direcionada para o Oeste, submetida às temperaturas mais altas, ou para leste, exposta a radiação solar direta no momento em que as temperaturas são mais amenas durante o dia, os protetores conseguem barrar a radiação solar direta somente quando o Sol atinge as maiores altitudes, ou seja, próximo ao meio-dia. Todas as máscaras de sombras geradas pelos protetores solares para os quatros cenários analisados estão apresentadas na Figura 19.

Figura 19 – Máscaras de sombra proporcionadas pelos protetores solares presentes na fachada principal para as quatro orientações do projeto (a) Sul (b) Oeste (c) Norte (d) Leste

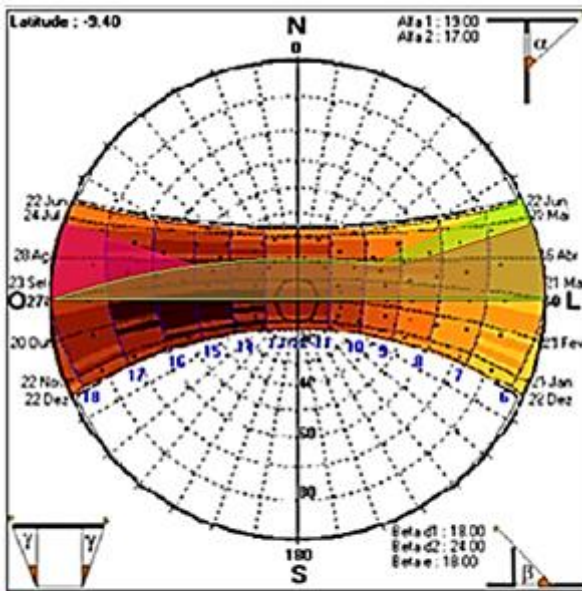


- Máscara de sombra sala  
 $\alpha = 19^\circ / \beta = 18^\circ$  (esq. e dir.)
- Máscara de sombra quarto 1  
 $\alpha = 17^\circ / \beta = 24^\circ$  (dir.)

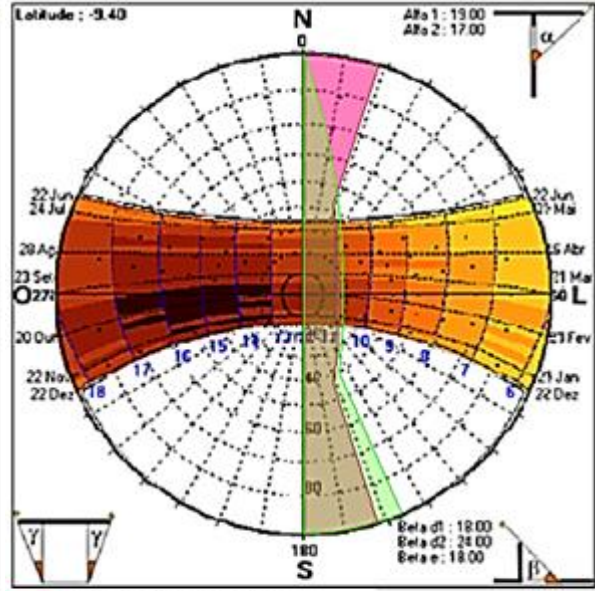
- Máscara de sombra sala  
 $\alpha = 19^\circ / \beta = 18^\circ$  (esq. e dir.)
- Máscara de sombra quarto 1  
 $\alpha = 17^\circ / \beta = 24^\circ$  (dir.)

(a)

(b)



- Máscara de sombra sala  
 $\alpha = 19^\circ / \beta = 18^\circ$  (esq. e dir.)
- Máscara de sombra quarto 1  
 $\alpha = 17^\circ / \beta = 24^\circ$  (dir.)



- Máscara de sombra sala  
 $\alpha = 19^\circ / \beta = 18^\circ$  (esq. e dir.)
- Máscara de sombra quarto 1  
 $\alpha = 17^\circ / \beta = 24^\circ$  (dir.)

(c)

(d)

Fonte: O autor.

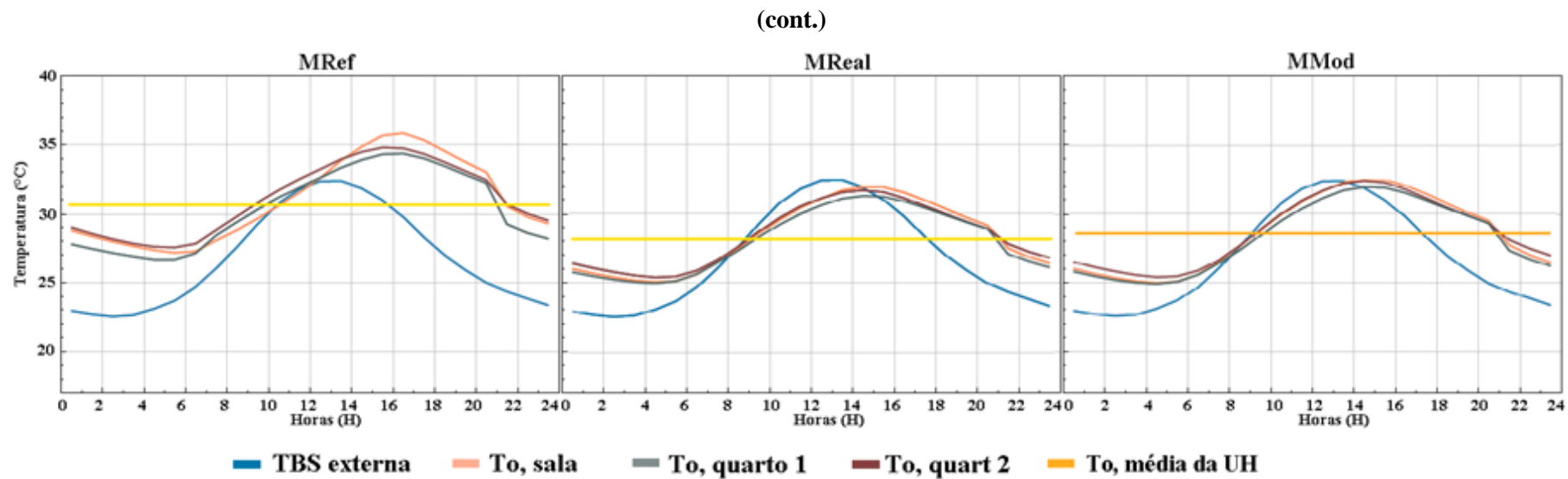


Para o posicionamento da fachada principal da habitação em direção ao norte, os elementos de sombreamento têm sua eficiência reduzida conforme os dias se aproximam do solstício de inverno, meses com temperaturas mais amenas ao longo do ano.

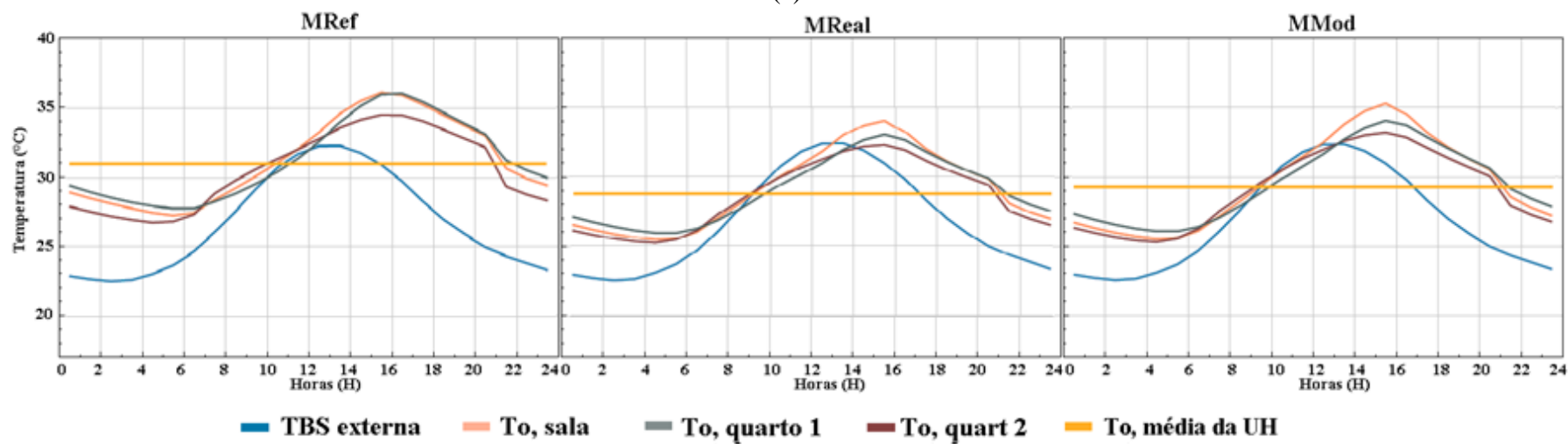
Com base nos resultados das simulações, ou seja, os resultados das 8.760 horas obtidos para cada APP, foram gerados gráficos com o perfil anual da temperatura de bulbo de seco e os perfis anuais das temperaturas operativas dos ambientes de permanência prolongada de cada modelo, para as quatro disposições da edificação no terreno. A partir desses, é possível observar a influência que cada configuração (orientação e tipo de vedação vertical) tem sobre o comportamento térmico dos projetos ao longo do ano, bem como identificar, previamente, o impacto que cada ambiente pode acarretar no desempenho térmico da unidade habitacional.

Na Figura 20, estão os perfis anuais da temperatura de bulbo de seco e das temperaturas operativas dos ambientes de permanência prolongada de cada modelo, para as quatro disposições da edificação no terreno.

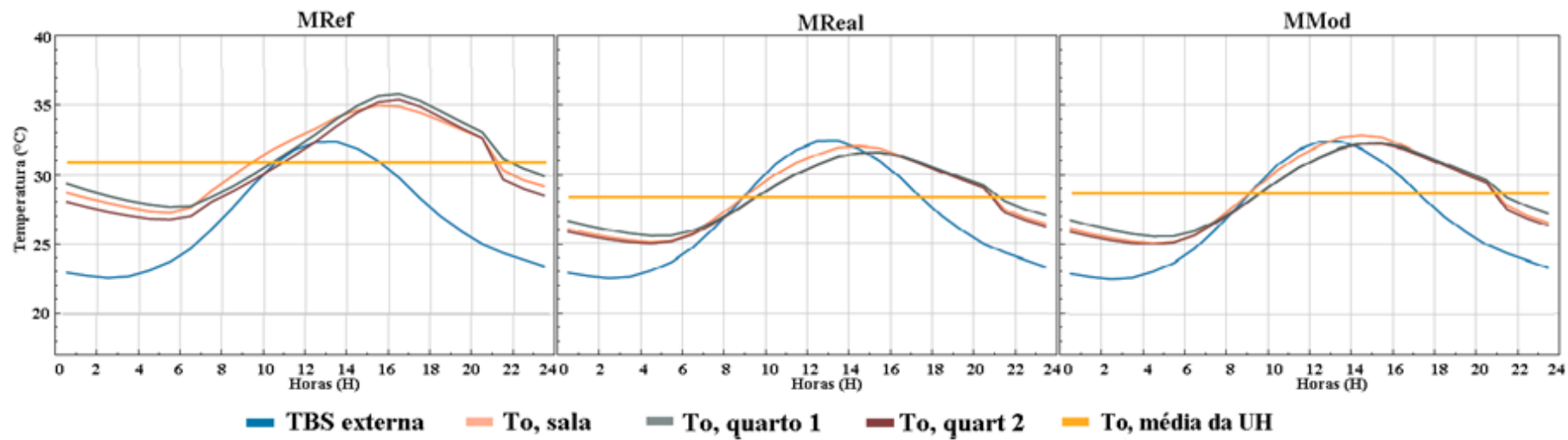
Figura 20 – Perfil anual da variação de temperatura de bulbo seco e operativa dos modelos nos quatro cenários: (a) Sul (b) Oeste (c) Norte (d) Leste



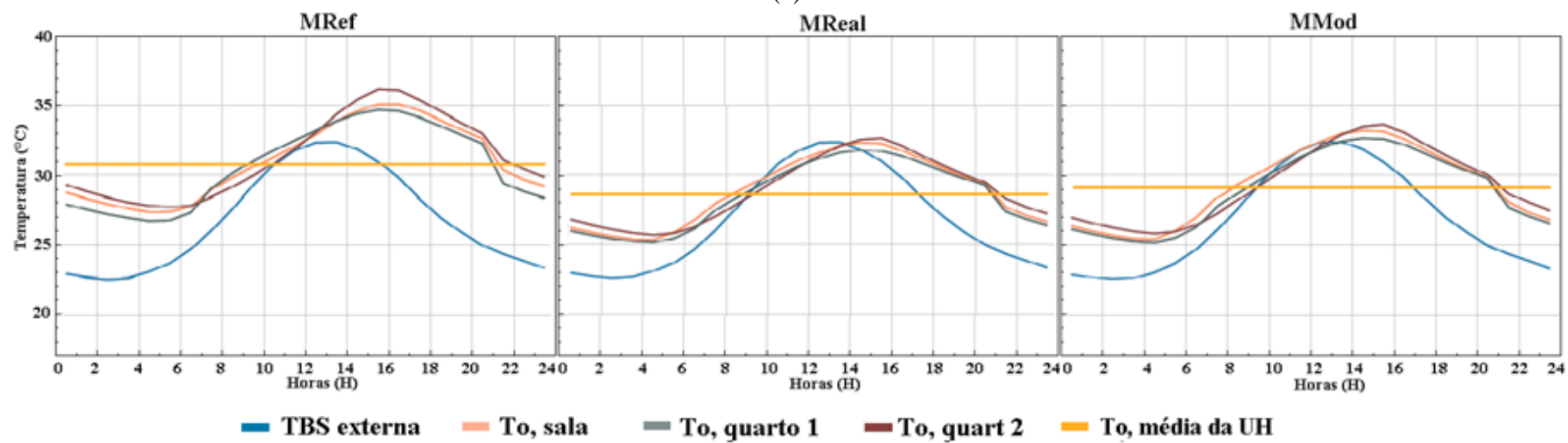
(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: O autor.

Nota-se que as temperaturas operativas dos ambientes no MRef, de modo geral, superaram ou se aproximam dos 35 °C após às 12 horas, enquanto que nos outros dois casos tal variável tende a ficar abaixo desse valor, conforme Figura 20. Dentre os APPs avaliados, a sala é o espaço em que são observadas as temperaturas mais elevadas. Tal fato deve-se, provavelmente, à existência da esquadria com grande área em vidraça, que facilita a passagem da radiação direta para dentro da edificação ajudando, conseqüentemente, com os ganhos térmicos. Além disso, o fato desse ambiente ter sido simulado sem considerar a abertura da porta, impedindo que a ventilação natural ajude na retirada do calor, deve contribuir com a ocorrência de elevadas temperaturas nesse espaço da habitação.

A Figura 20 também mostra o efeito da inércia térmica no comportamento das temperaturas operativas da edificação. O MReal, que possui uma capacidade térmica mais elevada, consegue minimizar a amplitude térmica, proporcionando um leve amortecimento e atraso nos picos de temperatura quando comparado ao MMod, que tem menor valor de transmitância térmica.

Sobre a orientação do projeto, percebe-se que, quando a fachada principal está voltada para o Sul, os espaços têm uma variação de temperatura parecida. Ao rotacionar a edificação 90° no sentido horário, as temperaturas operativas dos APPs tendem a se distanciarem, com a sala atingindo maiores valores enquanto que o quarto 2 fica com temperatura com o menor pico. Posicionando a habitação com a fachada principal para o Norte ou Leste, os perfis anuais das temperaturas operativas dos ambientes voltam a se aproximar, com a sala tendo um pico maior no primeiro cenário e o quarto 2 possuindo um pico de temperatura maior no segundo cenário.

Ademais, para avaliar o desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional, conforme os critérios preestabelecidos pela NBR 15.575-1/2021, é necessário determinar o intervalo de temperaturas externas que serve como referência para a análise da temperatura nos APPs (ABNT, 2021). Esse intervalo é identificado por meio da média anual da temperatura externa de bulbo seco ( $TBS_m$ ) do arquivo climático utilizado na simulação. Para o presente caso, o  $TBS_m$  calculado foi de 26,7 °C (Tabela 27), que corresponde ao intervalo 2 de temperaturas externas como pode ser observado na Tabela 8.

A partir da identificação do intervalo de referência, fica estabelecido um dos critérios de avaliação do desempenho térmico para o nível mínimo, isto é, o percentual de horas em que a UH se encontrará dentro da faixa de temperatura operativa ( $PHFT_{UH}$ ) durante o seu respectivo período de ocupação. A faixa de temperatura indicada pelo intervalo 2 corresponde à  $To_{APP}$  menor que  $28,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , que deve ser considerada como referência para contabilizar o percentual de horas em que cada APP se encontra ocupado dentro desse limite. Em outros termos, esse valor é considerado como um limite de temperatura operativa no qual o ambiente é tido como adequado para ser ocupado e atender ao nível mínimo.

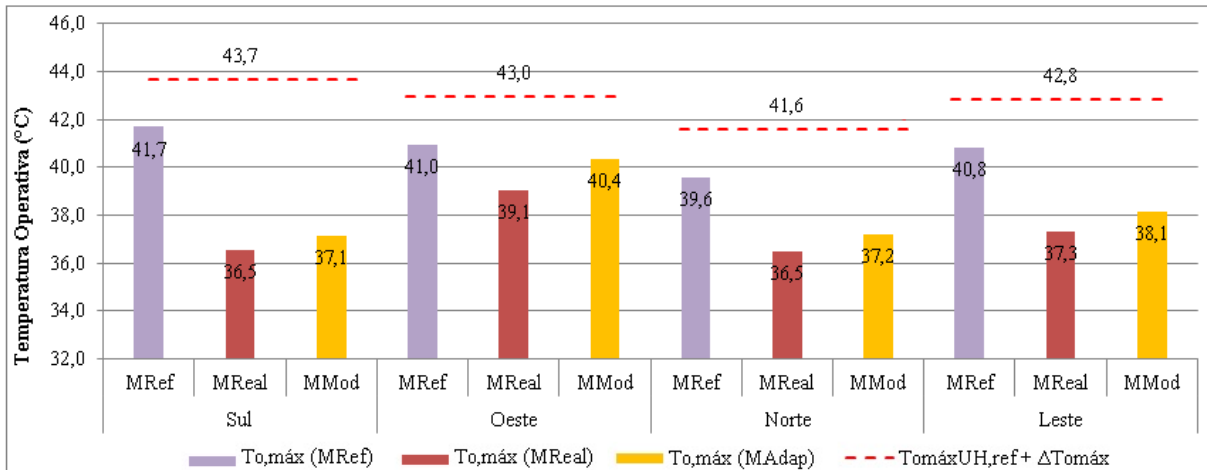
- Atendimento ao nível mínimo:

Para atender ao nível mínimo de desempenho térmico,  $PHFT_{UH,real}$  deve ser maior que 90% do obtido para o modelo de referência ( $PHFT_{UH,ref}$ ). Além disso, a UH avaliada precisa atender ao critério de  $Tomáx_{UH}$ .

Assim, para atingir o desempenho térmico mínimo, a temperatura operativa máxima do modelo avaliado deve ser menor ou igual que a temperatura operativa máxima observada no modelo de referência, adicionando um incremento ( $Tomáx_{UH,real} \leq Tomáx_{UH,ref} + \Delta Tomáx$ ). Esse incremento na temperatura operativa, feito sobre o resultado do modelo de referência, é igual a  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  tendo em vista que o presente caso de estudo trata-se de uma UH unifamiliar térrea. Como a residência será construída dentro da ZB-7, a norma afirma que não é necessário verificar o  $Tomín_{UH}$ .

As temperaturas operativa máximas encontradas nos modelos de referência e nos modelos avaliados (MReal e MMod), bem como as temperaturas operativas limites, as quais os projetos devem atender para cumprir ao primeiro critério de avaliação do desempenho térmico mínimo, organizando-os segundo os quatro cenários, são mostradas na Figura 21.

**Figura 21 – Temperatura operativa máxima atingida nos modelos**



Fonte: O autor.

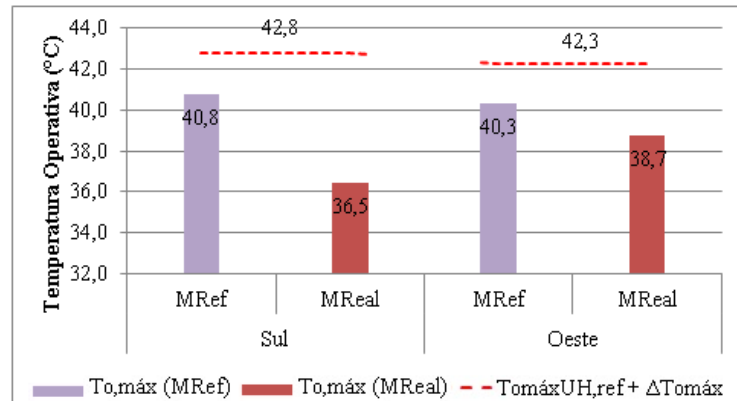
As oito configurações dos modelos avaliados passaram pelo primeiro critério (Figura 21). Em todas as simulações, a  $To,máx$  foi observada na sala. Fato esperado visto que esse é o APP que se encontra ocupado no período da tarde, ou seja, quando acontecem as maiores TBS. A depender da orientação do projeto, o limite de referência para esse parâmetro ( $To,máx$ ) sofrerá variação, que necessariamente não é acompanhada, de forma proporcional, pela temperatura operativa máxima constatada nas UHs.

À título de ilustração, comparando-se os cenários Sul e Norte, percebe-se que os modelos reais e os modelos modificados possuem valores próximo de  $To,máx$ , respectivamente, 36,5 °C e 37,1°C. Todavia, os limites de referência para a avaliação desses modelos não são os mesmos, sendo de 43,7 °C para o cenário Sul e 41,6 °C para o Norte, ou seja, uma diferença superior a 2 °C. Logo, é possível afirmar que o parâmetro adotado para avaliar a UH no cenário norte acaba sendo mais rigoroso à medida que o MRef tem uma  $To,máx$  menor entre as quatro orientações.

A Figura 21 mostra que as  $Tomáx_{UH,Real}$  e as  $Tomáx_{UH,Mod}$  atendem ao critério da temperatura operativa máxima da UH, sem a necessidade de considerar o incremento ( $\Delta Tomáx$ ) de 2 °C sobre o modelo de referência. Permite também afirma que as  $Tomáx_{UH,Real}$  são sempre inferiores as  $Tomáx_{UH,Mod}$ , com um diferença que varia entre 1,3 (cenário Oeste) e 0,6 (cenário Sul). As menores  $To,máx$  acontecem nos MReal, cenários Sul e Norte, e as maiores  $To,máx$  nos MMod cenários Oeste e Leste.

Para verificar se a abertura da porta da sala impacta, significativamente, no desempenho térmico da unidade habitacional avaliada, foram realizadas simulações, admitindo essa possibilidade, para o pior e melhor cenário observado no MReal, ou seja, cenários Sul e Oeste (Figura 22).

**Figura 22 - Temperatura operativa máxima atingida nos modelos considerando a abertura da porta da sala**



Fonte: O autor.

Como pode ser observado na Figura 22, os modelos atendem ao critério da temperatura operativa máxima em ambos os cenários. Além disso, nota-se que, de modo geral, ocorre uma pequena redução nas temperaturas operativas e nos parâmetros avaliativos.

O segundo critério analisado foi o percentual de horas de ocupação em que os modelos se encontram dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT). No presente caso, foram contabilizados os valores de  $TO_{APP}$  inferiores a 28 °C, apenas dos momentos em que os APPs devem se encontrar ocupados.

Os números de horas em que cada APP encontra-se ocupado e com temperatura operativa dentro da faixa de temperatura ( $N_{h_{FT}}$ ) supracitada, calculados considerando-se o período de um ano estão apresentados na Tabela 28. Com tais informações, foi determinado o percentual de horas de ocupação em que o APP está dentro da faixa de temperatura operativa ( $PHFT_{APP}$ ) conforme especifica a Equação 3. Os resultados a seguir estão discriminados por cenário, modelo e ambientes.

Tabela 28 – Valores de  $Nh_{FT}$  e  $PHFT_{APP}$  para os APP dos 3 modelos analisados

Modelo	MRef	MReal	Mod	MRef	MReal	Mod
Cenário	Sul			Norte		
NhFT sala	41	460	338	38	439	283
PHFTsala	1,4%	15,8%	11,6%	1,3%	15,0%	9,7%
NhFT quarto 1	2027	3106	3074	1273	2759	2686
PHFT quarto 1	55,5%	85,1%	84,2%	34,9%	75,6%	73,6%
NhFT quarto 2	1408	2857	2788	1930	3061	3034
PHFT quarto 2	38,6%	78,3%	76,4%	52,9%	83,9%	83,1%
Cenário	Oeste			Leste		
NhFT sala	28	268	166	44	422	276
PHFT sala	1,0%	9,2%	5,7%	1,5%	14,5%	9,5%
NhFT quarto 1	1234	2476	2336	1980	3014	2922
PHFT quarto 1	33,8%	67,8%	64,0%	54,2%	82,6%	80,1%
NhFT quarto 2	1975	2946	2847	1270	2624	2498
PHFT quarto 2	54,1%	80,7%	78,0%	34,8%	71,9%	68,4%

Fonte: O autor.

Os  $PHFT_{APP}$  foram calculados considerando que cada sala permanece ocupada por 2.920 horas e que cada dormitório encontra-se ocupado durante 3.650 horas ao longo do ano. Independente do modelo ou cenário, o número de horas em que a sala encontra-se dentro daquele limite considerado desejável não ultrapassa 16%. Assim, mais uma vez, fica evidente o baixo desempenho térmico da sala. Além disso, percebe-se que o MReal no cenário Sul tem ligeiramente os melhores valores para os três ambientes dentre todos os modelos.

Para verificar se a abertura da porta da sala impacta, significativamente, no desempenho térmico da unidade habitacional avaliada, foram organizados os resultados das simulações, admitindo essa possibilidade, para o pior e melhor cenário observado no MReal, ou seja, cenários Sul e Oeste (Tabela 29).

Tabela 29 – Valores de  $Nh_{FT}$  e  $PHFT_{APP}$  para os APP considerando a abertura da porta da sala

Modelo	MRef	MReal	MRef	MReal
Cenário	Sul		Oeste	
NhFT sala	123	696	96	498
PHFTsala	4,2%	23,8%	3,3%	17,1%
NhFT quarto 1	2132	3154	1332	2588
PHFT quarto 1	58,4%	86,4%	36,5%	70,9%
NhFT quarto 2	1478	2930	2069	3027
PHFT quarto 2	40,5%	80,3%	56,7%	82,9%

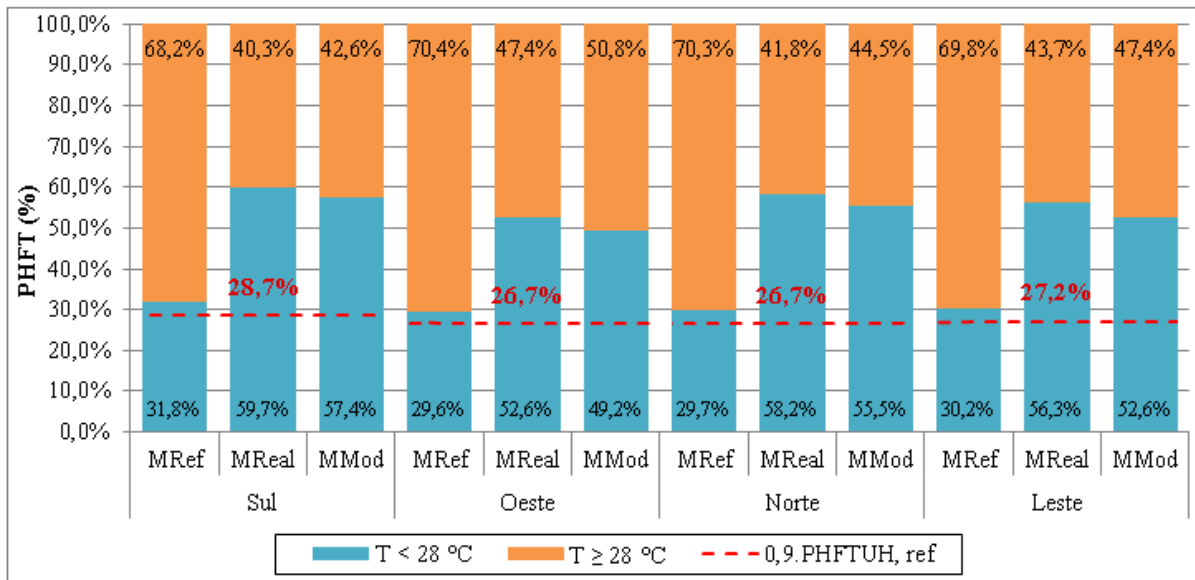
Fonte: O autor.



Nota-se na Tabela 29 que para o cenário Sul, há um leve aumento no PHFT dos ambientes, principalmente, da sala no MReal, com elevação de aproximadamente 8%. Analogamente, no cenário Oeste, ocorre um aumento parecido no critério avaliado para todos os APPs.

A partir desse dado, foi possível calcular a  $PHFT_{UH,ref}$  por meio da Equação 4. Por fim, foi verificado se os modelos atendem ao segundo critério para satisfazer aos requisitos necessários para obter o desempenho térmico mínimo, de caráter obrigatório segundo a norma (Figura 23).

**Figura 23 – Atendimento ao critério do PHFT**



Fonte: O autor.

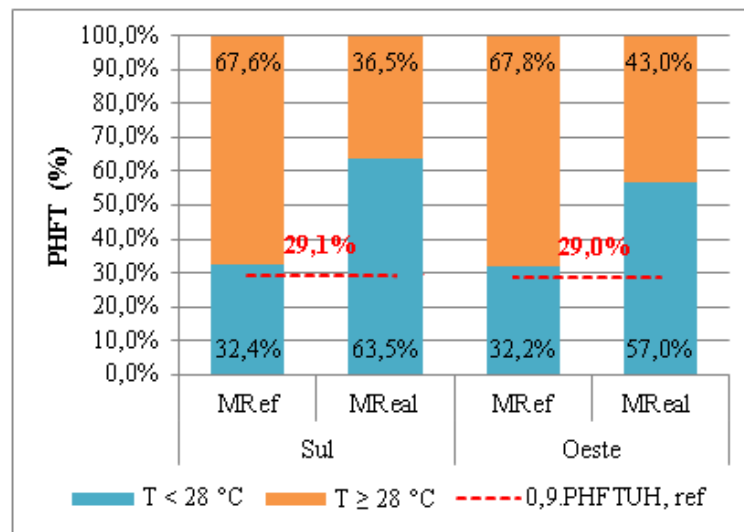
Na Figura 23, observa-se que o  $PHFT_{UH,ref}$  sofreu uma pequena variação entre os cenários, conseqüentemente, os parâmetros para avaliação também tiveram uma baixa variação ao rotacionar a edificação, ficando entre mínimo de 26,7% (Oeste e Note) e máximo de 28,7% (Oeste). O gráfico destaca que os modelos avaliados (MReal e MMod) atendem ao critério do PHFT, atingindo valores bem maiores do que os 90% dos  $PHFT_{UH,ref}$ .

Mais uma vez, o melhor cenário foi o MReal com fachada principal voltada para o Sul. Em segundo lugar, ficou o mesmo modelo no cenário Norte, superando, inclusive, o MMod com fachada principal direcionada para o Sul. Tal fato evidencia a capacidade que o SVVE, feito de concreto armado moldado *in loco*, tem sobre o sistema convencional feito de alvenaria de tijolo cerâmico. Por outro lado, a pior situação é representada pelo MMod cenário Oeste,

seguido pelo MReal no cenário Oeste e pelo MMod no cenário Leste que obtiveram o mesmo valor de PHFT.

Foram calculados também os PHFTs para os cenários Sul e Oeste, considerando a abertura da porta da sala. Na Figura 24, observa-se que há um aumento do PHFT em relação à simulação com a porta da sala mantida sempre fechada.

**Figura 24 – Atendimento ao critério do PHFT considerando a abertura da porta da sala**



Fonte: O autor.

Com base nos resultados (Figura 24), percebe-se que o uso da ventilação natural, por meio da abertura da porta da sala, ajuda na ampliação do percentual de horas de temperaturas operativa abaixo de 28 °C. O maior impacto ocorre no MReal com a fachada voltada para Oeste, ampliando em cerca de 5% o PHFT. O processo de modelagem sugerido pela norma, que pode ser traduzida pela adoção da estratégia de ventilação seletiva, ideal para as regiões de clima semiárido (BATISTA, 2020), é o que possibilita tal melhoria nos critérios apresentados.

Visto que os dois critérios pertinentes à avaliação do desempenho térmico mínimo foram atendidos, afirma-se que os modelos estudados estão de acordo com os parâmetros normativos obrigatórios conforme determina o novo procedimento de avaliação de desempenho térmico. Os dados corroboram para confirmação de que MReal, apesar das propriedades térmicas de seus SVVE não atender algumas indicações para a ZB-7, é possível a sua utilização de modo que sejam satisfeitas as medidas mínimas de desempenho térmico. Em outras palavras,

percebe-se que uma edificação feita de parede de concreto armado moldado *in loco*, apesar de não ter transmitância térmica (U) para o SVVE, é considerada adequada às condições climáticas da região, quando avaliada de modo global, observando-se o projeto em sua totalidade, podendo atender aos critérios mínimos de desempenho térmico.

#### ***4.2.2 Comportamento térmico da edificação ao longo do ano na condição sem ventilação natural***

Apresenta-se a avaliação dos modelos a partir dos critérios estabelecidos para o atendimento do desempenho térmico intermediário e superior. A análise para esses dois níveis somente pode ser feita quando for atingido o desempenho térmico mínimo, satisfeito pelos modelos avaliados.

Como salientado anteriormente, para atender a esses níveis, é averiguada a capacidade do modelo avaliado de atingir incrementos no percentual de horas dentro de uma faixa de temperatura operativa ( $\Delta PHFT$ ) e a redução da carga térmica total ( $RedCgTT$ ) do modelo avaliado em relação ao modelo de referência, que, posteriormente, devem ser comparados com valores mínimos ( $\Delta PHFT_{\min}$  e  $RedCgTT_{\min}$ ). O primeiro critério já foi calculado na simulação dos modelos na condição com ventilação natural.

Por sua vez, o segundo critério, carga térmica total, deve ser calculado na condição sem ventilação natural. Em vista disso, seguiram-se as orientações da norma que destaca que, nessa condição, todas as portas e janelas devem ser mantidas fechadas durante todo o ano, com exceção das janelas dos banheiros, que devem ser mantidas sempre abertas. Os coeficientes de infiltração devem ser mantidos os mesmos que os da condição anterior.

Adotaram-se também, nesta simulação, as recomendações quanto ao tipo de sistema de refrigeração, temperatura de *setpoint* e período de acionamento do sistema. Nesses termos, foi utilizado um sistema de cálculo de carga térmica de refrigeração considerado ideal, com temperatura de *setpoint* de refrigeração igual a 23 °C e acionamento do sistema apenas quando o APP estivesse ocupado. Além disso, para o cálculo do somatório anual dos valores de carga térmica de refrigeração do APP ( $CgTR_{APP}$ ), a norma indica que é necessário considerar os valores de carga apenas nos instantes em que a temperatura operativa do APP, do modelo na condição de ventilação natural, encontra-se dentro dos limites de temperaturas

operativas preestabelecidos (Tabela 10). No presente caso, quando a  $To_{APP}$  é igual ou superior a 28 °C.

- Atendimento ao nível intermediário:

O valor do incremento no percentual de horas dentro de uma faixa de temperatura operativa ( $\Delta PHFT$ ), primeiro critério analisado na avaliação do presente nível, foi calculado por meio da Equação 6. Dessa maneira, foi determinada a diferença entre o PHFT dos modelos avaliados em relação aos modelos de referências, para as quatro orientações geográficas adotadas para o projeto, obtendo-se os resultados dos incrementos ( $\Delta PHFT$ ). Feito isso, seguiu-se determinando os valores dos incrementos mínimos utilizados para avaliação do atendimento ao primeiro critério utilizado para a análise do atendimento ao presente nível de desempenho térmico.

Para as situações em que  $PHFT_{UH,ref}$  é inferior a 70%, como foi calculado para os modelos de referência neste trabalho, os  $\Delta PHFT_{mín}$  que devem ser usados como parâmetro para verificar a satisfação ao nível intermediário é calculado pelo ábaco da Figura 2. Na tabela 30 estão listados os valores dos  $\Delta PHFT_{mín}$ , parâmetro que deve ser superado para que atinja o nível intermediários de desempenho térmico, e dos  $\Delta PHFT$  de cada um dos modelos, segundo os diferentes cenários.

**Tabela 30 – Atendimento ao critério de incremento no PHFT**

<b>Cenário</b>	<b><math>\Delta PHFT_{mín}</math></b>	<b><math>\Delta PHFT_{Real}</math></b>	<b>Atendimento</b>	<b><math>\Delta PHFT_{Mod}</math></b>	<b>Atendimento</b>
<b>Sul</b>	26,5%	27,9%	Satisfaz	25,6%	Não satisfaz
<b>Oeste</b>	27,8%	22,9%	Não satisfaz	19,6%	Não satisfaz
<b>Norte</b>	27,8%	28,5%	Satisfaz	25,8%	Não satisfaz
<b>Leste</b>	27,5%	26,1%	Não satisfaz	22,5%	Não satisfaz

Fonte: O autor.

Conforme Tabela 29, afirma-se que o  $M_{Mod}$ , independente do cenário, não tem  $\Delta PHFT_{Mod}$  superior ao  $\Delta PHFT_{mín}$ , conseqüentemente, não satisfaz o presente critério. O cenário Sul desse modelo foi o que mais se aproximou do limite. Por outro lado, nota-se que o  $M_{Real}$ , nos cenários Sul e Norte, possuem valores de incremento de percentual do horas dentro da faixa de temperatura operativa superior ao mínimo, logo, satisfazem ao parâmetro de referência,

atendendo ao primeiro critério necessário para obter o nível de desempenho térmico intermediário.

Os resultados do MReal, para o cenário Sul e Oeste, considerando a porta da sala sendo aberta nos horários determinados pela norma, estão apresentados na Tabela 31.

**Tabela 31 – Atendimento ao critério de incremento no PHFT considerando a abertura da porta da sala**

<b>Cenário</b>	$\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$	$\Delta\text{PHFT}_{\text{Real}}$	<b>Atendimento</b>
<b>Sul</b>	26,2%	31,1%	Satisfaz
<b>Oeste</b>	26,3%	24,8%	Não satisfaz

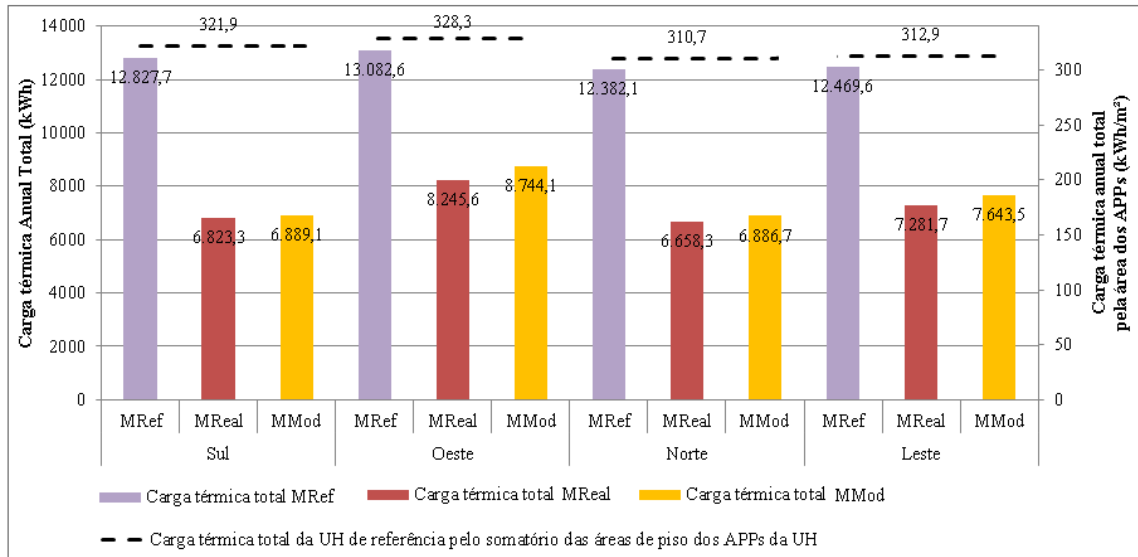
Fonte: O autor.

Para o melhor cenário (Sul), ocorre um distanciamento entre o incremento mínimo e o do modelo avaliado. Com relação ao pior cenário (Oeste), o incremento obtido para o modelo real aumenta, mas não supera o limite mínimo.

O segundo critério, calculado para verificar o atendimento ao citado nível de desempenho térmico intermediário, foi a carga térmica total da unidade habitacional ( $C_{gTT_{UH}}$ ). Para tanto, as cargas térmicas de refrigeração de cada APP dos três modelos ( $C_{gTR_{APP}}$ ), nos quatro cenários, foram calculadas a partir da aplicação das condições de simulação salientadas inicialmente.

A carga térmica total, no presente caso, é equivalente à carga térmica de refrigeração ( $C_{gTR_{UH}}$ ), visto que não são considerados sistemas de aquecimento artificial para as edificações localizadas na cidade de Paulo Afonso-BA. Na Figura 25, estão detalhadas as cargas térmicas totais para cada um dos três modelos simulados e os valores da razão da carga térmica total pelo somatório das áreas dos ambientes de permanência prolongada que foram avaliados na simulação. Como pode ser observado, o modelo de referência tem uma necessidade de uma carga térmica total que variou, de acordo com o cenário, entre a mínima de 12.469,6 kWh/ano (Leste) e máxima de 13.082,6 kWh/ano (Oeste).

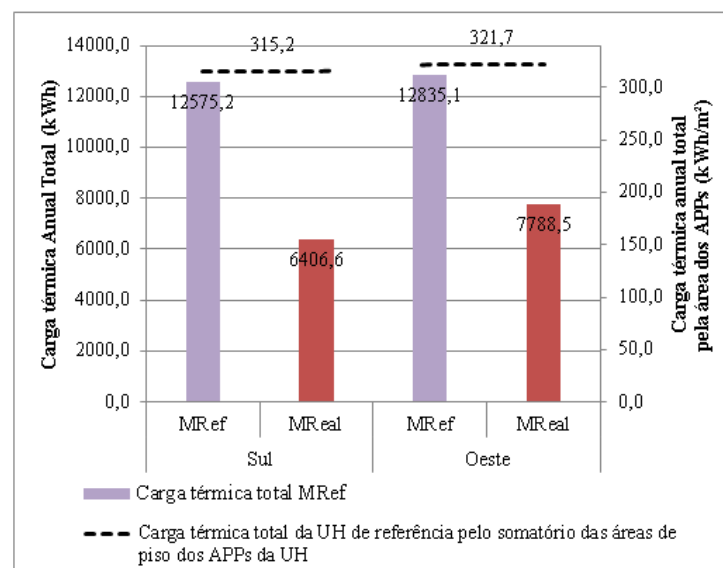
**Figura 25 – Carga térmica total dos modelos e carga térmica pela área total do APPs**



Fonte: O autor.

Por outro lado, os modelos avaliados obtiveram uma demanda que variou entre 6.658,3 kWh/ano (MReal no cenário Norte) e 8.744,1 kWh/ano (MMod no cenário Oeste) para refrigeração da unidade habitacional. Destaca-se que, desta vez, o MReal no cenário Sul não foi aquele que obteve o melhor resultado, em termos de desempenho térmico, dentre todas as variáveis que foram apresentadas até então. Os resultados das cargas térmicas para as simulações considerando a abertura da porta da sala estão na Figura 26.

**Figura 26 – Carga térmica total dos modelos e carga térmica pela área total do APPs considerando a abertura da porta da sala**



Fonte: O autor.

O uso da ventilação natural, por meio da porta da sala, contribui com a minimização das cargas térmicas, mas de maneira não tão significativa. Conforme exposto na Figura 25 e 26, a razão entre carga térmica total da UH de referência e o somatório das áreas de piso dos APPs da UH ( $Ap_{UH}$ ) é superior a  $100 \text{ kWh/m}^2$ . A partir desse valor, é encontrada a redução mínima de carga térmica ( $RedCgTT_{mín}$ ), parâmetro que deve ser superado para a edificação atender ao nível de desempenho térmico intermediário e superior.

Tendo em vista que no presente estudo a razão entre  $CgTT_{UH,ref}$  e  $Ap_{UH}$  é superior a  $100 \text{ kWh/m}^2$ , bem como que a  $PHFT_{UH,ref}$  foi inferior que 70%, fica estabelecido, conforme a Tabela 12, que a  $RedCgTT_{mín}$  é de 0% para o desempenho térmico intermediário. Através da Equação 10, foram calculadas as  $RedCgTT$  dos modelos avaliados. Na tabela 32, está exposta a redução de carga térmica que cada modelo avaliado obtém em relação ao modelo de referência, salientado se o critério é atendido ou não.

**Tabela 32 - Atendimento ao critério de redução  $CgTT$  para o nível de desempenho térmico intermediário**

Cenário	$RedCgTT_{mín}$	$RedCgTT_{MReal}$	Atendimento	$RedCgTT_{MMod}$	Atendimento
<b>Sul</b>	0%	46,8%	Satisfaz	46,3%	Satisfaz
<b>Oeste</b>		37,0%	Satisfaz	33,2%	Satisfaz
<b>Norte</b>		46,2%	Satisfaz	44,4%	Satisfaz
<b>Leste</b>		41,6%	Satisfaz	38,7%	Satisfaz

Fonte: O autor.

Segundo a Tabela 32, os modelos avaliados obtiveram valor de  $RedCgTT$  superior ao valor da  $RedCgTT_{mín}$ , logo, afirma-se que o critério é atendido por todos eles. A maior redução de carga térmica é observada no  $MReal$ , no cenário Sul, enquanto que a menor é constatada no  $MMod$ , no cenário Oeste. Isso significa que o primeiro modelo é o que conseguirá minimizar de maneira mais eficiente o consumo de energia com o sistema de refrigeração, quando comparado com o modelo de referência.

Apesar de todos os modelos terem superado facilmente o limite da  $RedCgTT_{mín}$ , somente o modelo real, nos cenários Sul e Norte, atingiram o desempenho térmico intermediário visto que foram os únicos a satisfazerem os dois critérios pertinentes ao presente nível de desempenho.

Considerando a abertura da porta, o MReal nos cenários Sul e Oeste também atenderam ao critério de redução de carga térmica mínima, gerando uma redução de 49,1% e 39,3%, respectivamente. Entretanto, este último não satisfaz o critério do incremento no PFHT. Logo, a adoção da ventilação natural não foi suficiente para elevar o nível de desempenho térmico do MReal no pior cenário (Oeste).

- Atendimento ao nível superior:

Para a verificação do atendimento ao desempenho térmico superior, segundo o texto da NBR 15.575/2021, o processo de simulação computacional corresponde ao mesmo utilizado para analisar o atendimento do desempenho térmico intermediário. Todavia, os valores do  $\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$  e  $\text{RedCgTT}_{\text{mín}}$  devem ser os que constam na Tabela 13.

Nesse panorama, tendo em vista que o  $\text{PHFT}_{\text{UH,ref}}$  para o modelo avaliado neste estudo foi superior a 70%, define-se que o  $\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$  continua sendo igual aos valores calculados para o nível intermediário (Tabelas 30 e 31). Dessa forma, afirma-se que o primeiro critério avaliado, para a análise do desempenho térmico superior, é satisfeito somente pelo modelo real, nos cenários Sul e Norte, visto os resultados apresentados anteriormente.

Quanto à redução de carga térmica total, por meio do  $\text{PHFT}_{\text{UH,ref}}$  e da razão entre a  $\text{CgTT}_{\text{UH,ref}}$  e a  $\text{Ap}_{\text{UH}}$ , determina-se, conforme a Tabela 13, que para atender ao nível superior os modelos avaliados deverão superar ou atingir a  $\text{RedCgTT}_{\text{mín}}$  de 55%. Nesses termos, visto que a  $\text{RedCgTT}$  dos respectivos modelos MReal nos cenários Sul (com e sem abertura da porta da sala) e Norte não superam o referido limite, conclui-se que os dois projetos avaliados não atendem ao desempenho térmico superior, ou seja, possuem desempenho térmico intermediário.

Diante do exposto, confirma-se que, para o presente estudo de caso, apesar do SVVE feito de concreto armado moldado *in loco* não ter valor de transmitância térmica dentro dos intervalos estabelecidos por normas para a ZB-7, ele poderá ser utilizado sem que haja prejuízo ao desempenho térmico da edificação a ponto de impedir que a unidade habitacional atinja o desempenho térmico intermediário. Deve-se destacar que a orientação do MReal implica em seu desempenho térmico, levando-o, por exemplo, a atingir o nível inferior nos cenários Oeste



e Leste. Isso corrobora com as observações de Oliveira *et al.* (2015) ao aplicar o antigo método de avaliação.

Não obstante, vai de encontro ao que os pesquisadores observaram em relação à ampliação da taxa de renovação do ar nas simulações. Isto é, Oliveira *et al.* (2015) concluíram que, para a ZB-7, o aumento a taxa de 1 ren/h para 5 ren/h causaria uma diminuição no nível de desempenho térmico de alguns ambientes da UH. Nesse contexto, acredita-se que a mudança na forma como é considerada a operação das aberturas, do método antigo de avaliação da NBR 15.575 para o atual, tornando-a mais próximo do comportamento humano, é responsável por esse contra ponto no comportamento térmico.

Além disso, é notório, mais uma vez, que a edificação com vedações verticais convencionais, feitas de alvenaria de tijolo cerâmico, mesmo possuindo, no geral, valores transmitância térmica inferior ao MReal, não terá desempenho térmico superior ao de concreto armado moldado no local. Tal fato fica evidente com desempenho térmico mínimo sendo atingido para todos os cenários desse modelo.

Os resultados obtidos com esse trabalho diferem dos achados, por exemplo, de Ferreira e Pereira (2012) que, ao aplicar o antigo método de avaliação (simulação computacional) do desempenho térmico antigo, concluíram que, para a ZB-7, especificamente à cidade de Petrolina-PE, o desempenho térmico de uma UH feita de concreto armado com parede de 10 cm era insatisfatório. Elas perceberam que somente aumentando a espessura da parede para 12 cm, era possível atingir o desempenho térmico mínimo, mesmo nível de desempenho da parede de alvenaria de tijolo cerâmico. Porém, para este último, houve uma diferença entre temperatura externa e interna um pouco menor, ou seja, um melhor desempenho.

### **4.3 Avaliação do conforto térmico**

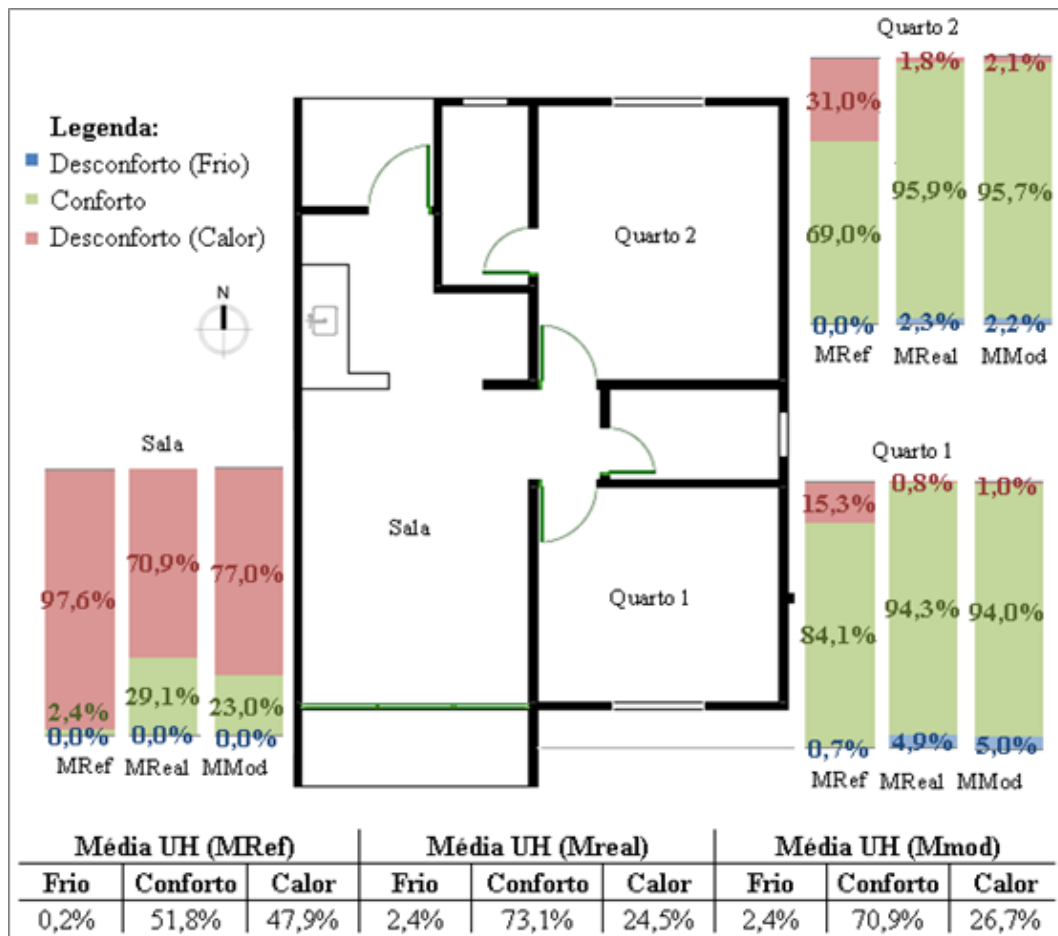
Nesta subseção, são apresentados e discutidos os resultados obtidos com análise do conforto térmico, baseado no *Standard* da ASHRAE 55. As informações avaliadas foram: temperaturas operativas dos ambientes internos, dados de saída da simulação computacional para os três modelos, nos quatro cenários. Consideraram-se, na análise, apenas os dados de temperatura operativa que estão dentro do limite de temperatura externa predominante que vai de 10 °C até 33,5 °C, conforme recomenda a citada norma. Além disso, foram apreciados apenas os valores

correspondentes aos momentos em que cada ambiente de permanência prolongada encontra-se ocupado, como determina a emenda nº 1 da NBR 15.575-1/2021.

A partir da verificação desses dois intervalos de dados de saída, identificou-se que deveriam ser analisadas as temperaturas operativas internas correspondentes a 2.920 horas, calculadas para a sala, e 3.650 horas, calculadas para cada um dos quartos.

Os resultados obtidos para a simulação considerando o primeiro cenário, ou seja, a edificação implantada no terreno com sua fachada principal voltada para o Sul, são mostrados na Figura 27. Os dados estão organizados segundo o ambiente (sala, quarto 1 e quarto 2) e modelo (MRef, MReal e MMod), identificando o percentual de horas ocupadas em desconforto térmico (por frio ou calor) e conforto térmico obtido.

**Figura 27 – Percentual de horas de desconforto e conforto nos ambientes avaliados para o cenário com a fachada principal voltada para o Sul**



Fonte: O autor.

Neste primeiro cenário, é possível notar que o percentual de horas de conforto dos modelos avaliados é sempre superior ao modelo de referência. Para o quarto 1 e 2, a quantidade de horas ocupadas dentro do limite de conforto térmico está próximo de 100%, havendo uma pequena diferença entre o MReal e MMod.

A sala é o espaço em que se observa uma maior quantidade de horas de desconforto, neste caso, devido exclusivamente ao calor. Tal fato, provavelmente, pode decorrer da exposição da fachada Oeste para a radiação solar direta durante os períodos mais quentes do ano. Como explica Bastista (2020), os projetos construídos na ZB-7 devem ser pensados de modo que os APPs da edificação recebam o sol da manhã. Assim, nos modelos avaliados, o percentual de horas por conforto da sala não ultrapassa os 29,1% (851 horas), tendo uma diferença de 6,1% do MReal em relação ao MMod, que ficou com o pior resultado.

Salienta-se que, no presente cenário, o modelo real obteve o melhor desempenho térmico dentre todos simulados, ou seja, o nível intermediário. Por sua vez, o MMod conseguiu apenas atender o desempenho térmico mínimo.

A abertura da porta da sala implica também em mudanças no percentual de horas de conforto dos ambientes. Os resultados obtidos com a simulação do MReal para os cenários Sul estão indicados na Tabela 33.

**Tabela 33 – Percentual de horas de desconforto e conforto nos ambientes avaliados para o cenário Sul considerando a abertura da porta da sala**

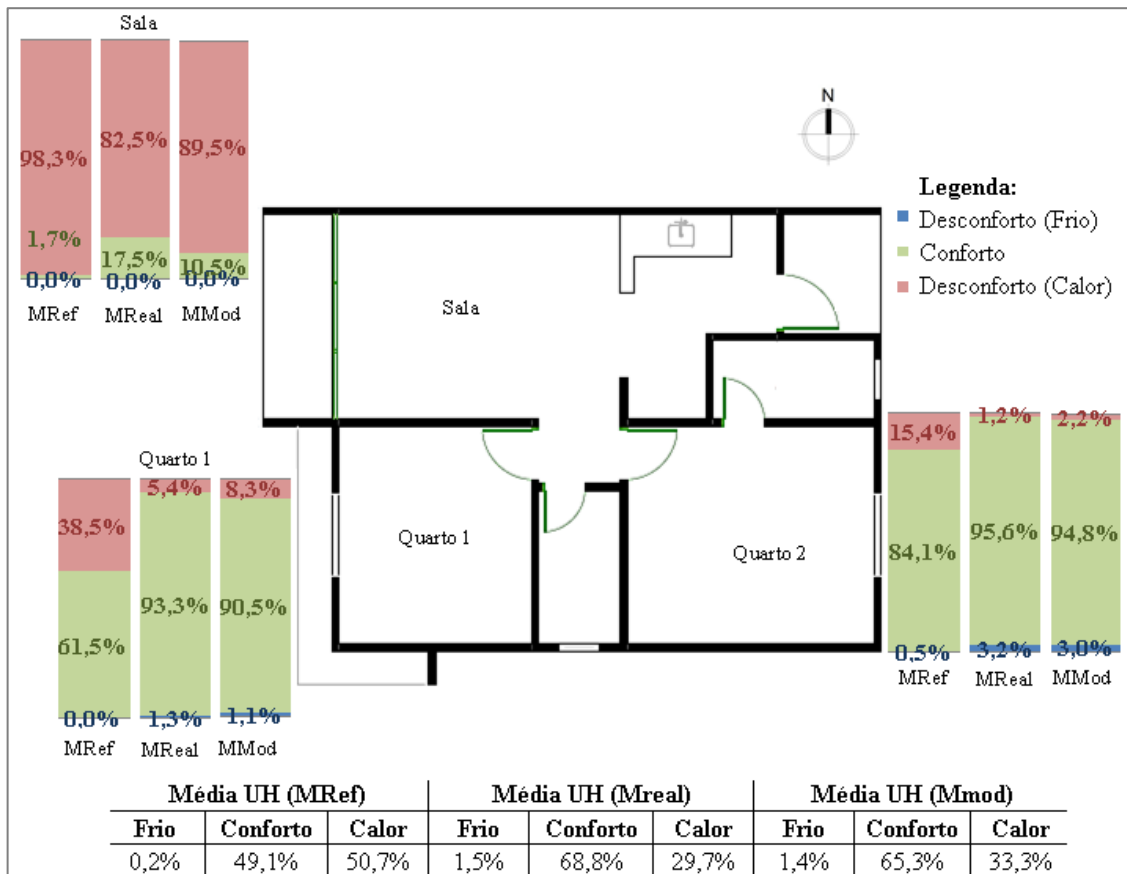
<b>Ambiente</b>	<b>Desconf. por frio</b>	<b>Desconf. por calor</b>	<b>Total desconf.</b>	<b>Total conf.</b>
<b>Sala</b>	0,0%	59,8%	59,8%	40,2%
<b>Quarto 1</b>	5,5%	0,6%	6,1%	93,9%
<b>Quarto 2</b>	2,6%	1,1%	3,7%	96,3%
<b>Média UH</b>	<b>2,7%</b>	<b>20,5%</b>	<b>23,2%</b>	<b>76,8%</b>

Fonte: O autor.

A consideração da ventilação natural na sala melhora o conforto térmico do ambiente. Nesse sentido, há um aumento de aproximadamente 11% nas horas de conforto térmico do espaço, um ganho maior do que é visto no PHFT para esse APP.

Os dados para o cenário 2, ou seja, aquele que considera a fachada principal posicionada em direção ao Oeste, são mostrados na Figura 28. Nesse caso, as variáveis analisadas tiveram os resultados menos favoráveis em termos de conforto térmico.

**Figura 28 – Percentual de horas de desconforto e conforto nos ambientes avaliados para o cenário com a fachada principal voltada para o Oeste**



Fonte: O autor.

No que se refere ao conforto térmico, os modelos avaliados apresentam resultados superiores ao de referência. Comparando o impacto da mudança na orientação do projeto, em relação ao mesmo modelo, afirma-se que, para os quartos do MReal, há uma redução que não ultrapassa 1% e no MMod essa mudança na orientação chega a gerar uma redução de 5% no percentual de horas ocupadas em conforto térmico no quarto 1.

Para a sala, a rotação do projeto para o Oeste ampliam o percentual de horas ocupadas em desconforto por calor em mais de 10%. Com isso, o MReal tem apenas 17,5% de horas

ocupadas em conforto térmico e MMod fica com 10,5% de horas. Valores baixos pensando na qualidade do espaço.

O MRef apresenta, na sala, um percentual de 1,7% de horas ocupadas em conforto térmico. Sendo o modelo base para avaliação dos demais, afirma-se que não são garantidos bons níveis de conforto térmico para os usuários nos momentos de utilização desse espaço. Não obstante, para esse cenário, os modelos conseguiram atender ao desempenho térmico inferior, de caráter obrigatório.

A abertura da porta da sala implica também em mudanças no percentual de horas ocupadas em conforto térmico dos ambientes no cenário mais crítico (Oeste). Na Tabela 34, estão detalhados os resultados obtidos com a simulação do MReal para tal cenários.

**Tabela 34 – Percentual de horas de desconforto e conforto nos ambientes avaliados para o cenário Oeste considerando a abertura da porta da sala**

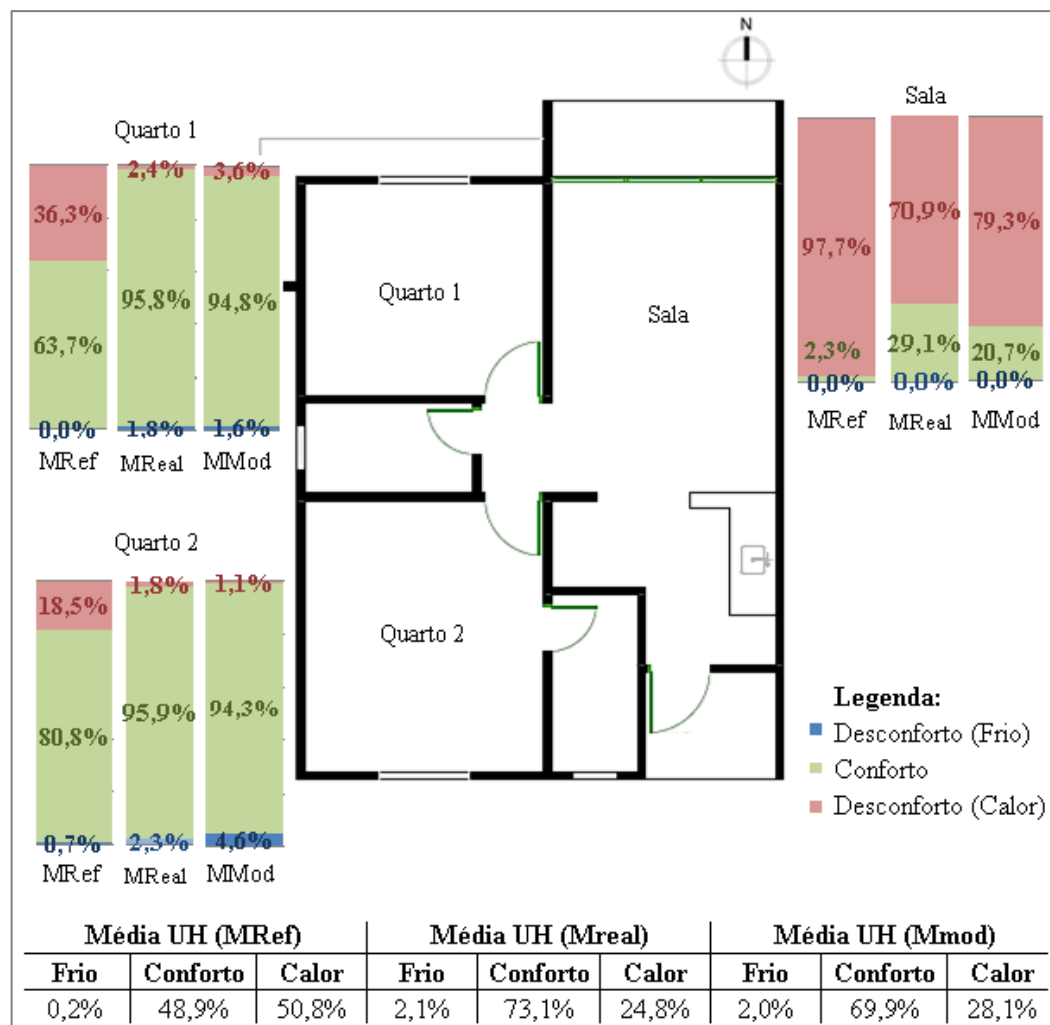
<b>Ambiente</b>	<b>Desconf. por frio</b>	<b>Desconf. por calor</b>	<b>Total desconf.</b>	<b>Total conf.</b>
<b>Sala</b>	0,0%	70,0%	70,0%	30,0%
<b>Quarto 1</b>	1,5%	4,0%	5,5%	94,5%
<b>Quarto 2</b>	3,5%	1,0%	4,5%	95,5%
<b>Média UH</b>	2,7%	25%	27,7%	73,3%

Fonte: O autor.

O uso da ventilação natural na sala ajuda na minimização das altas temperaturas, logo, com o conforto térmico do ambiente. Nesse sentido, há um aumento de aproximadamente 12% nas horas de conforto térmico desse espaço. Um ganho também maior do que é visto no PHFT para esse APP.

O próximo cenário avaliado possui a fachada principal voltada para o norte. Nesse contexto, os ambientes possuem uma pequena melhoria no conforto térmico em relação ao anterior. Além disso, tende a se aproximar do que foi observado no primeiro cenário (Figura 29)..

**Figura 29 – Percentual de horas de desconforto e conforto nos ambientes avaliados para o cenário com a fachada principal voltada para o Norte**



Fonte: O autor.

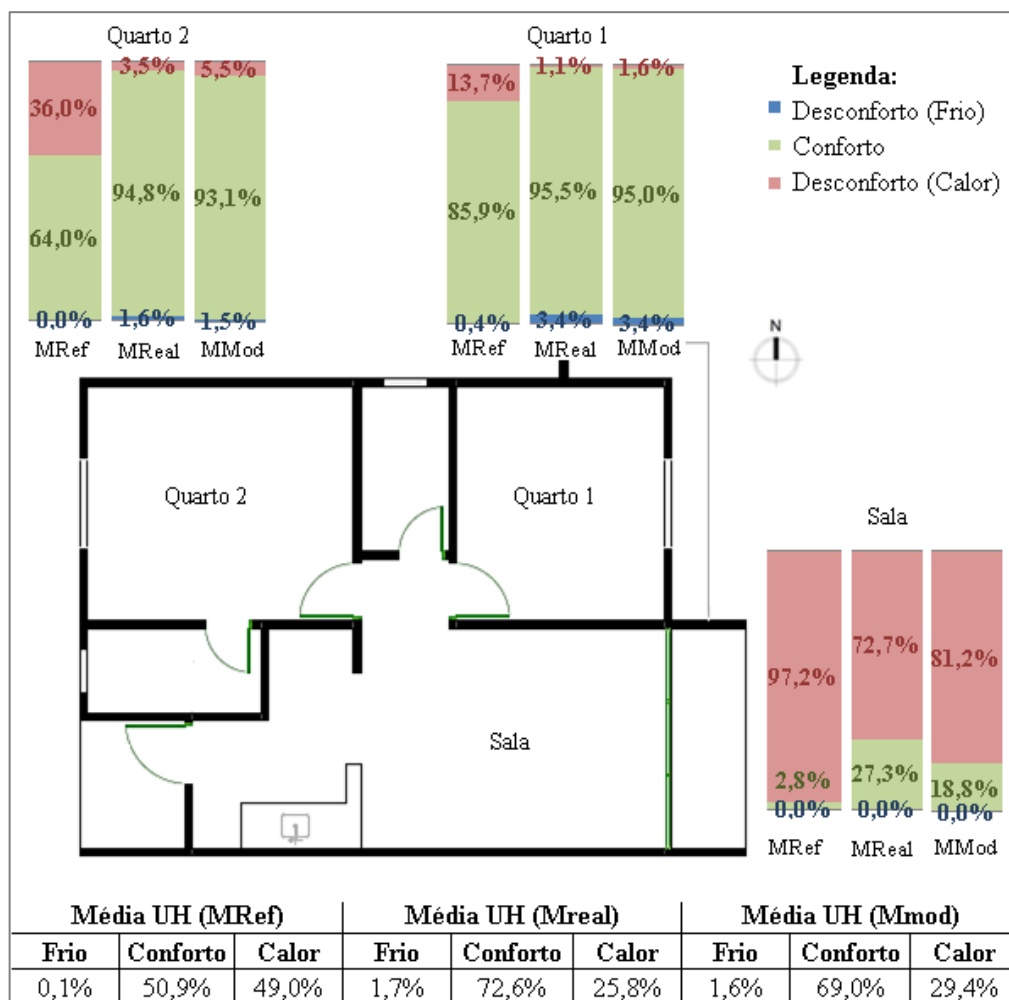
Diante do exposto na Figura 29, percebe-se que os dois modelos que atenderam ao desempenho térmico intermediário (MReal nos cenários Sul e Norte) possuem a mesma média de horas ocupadas em conforto térmico (73,1%). Provavelmente, seria melhorado com a consideração da ventilação pela porta da sala.

As tendências vistas anteriormente se mantêm. Assim sendo, o MReal continua superando as horas ocupadas em conforto térmico do MMod e o MRef, que apresenta os maiores valores para o percentual de horas ocupadas em desconforto.

O último cenário corresponde ao da edificação com a fachada principal voltada para Leste. Com essa variação no posicionamento do projeto, o percentual de horas ocupadas em conforto

térmico tende, de modo geral, a diminuir em relação ao cenário anterior para alguns ambientes (Figura 30).

**Figura 30 – Percentual de horas de desconforto e conforto nos ambientes avaliados para o cenário com a fachada principal voltada para o Leste**



Fonte: O autor.

Observa-se que, enquanto na maioria dos espaços o número de horas ocupadas em desconforto por calor aumenta em relação ao cenário anterior, no quarto 1, há um aumento no percentual de horas ocupadas em desconforto por frio. O motivo deve-se a exposição desse ambiente a radiação solar direta apenas nos primeiros horários do dia.

Diante do exposto, afirma-se que o comportamento menos adequado se dá no modelo de referência e o mais adequado ocorre no modelo real. Nos modelos avaliados (real e modificado), o problema de desconforto, predominantemente, é devido ao calor. Em todos os

modelos e cenários, o APP com comportamento mais desfavorável, em termos de conforto térmico, é a sala.

Os modelos com paredes de concreto armado moldado *in loco* (cenário Sul e Norte) atingiram uma maior quantidade de horas ocupadas em conforto térmico. Nesse sentido, o melhor resultado para o MMod ocorreu, no cenário Sul, com um percentual de 70,9% das horas em conforto térmico. É possível observar a síntese dos resultados na tabela 35.

**Tabela 35 – Síntese dos resultados**

<b>Modelo</b>	<b>Orientação</b>	<b>Desempenho térmico</b>	<b>Conforto térmico</b>
MReal	Sul	Intermediário	73,1%
MMod		Mínimo	70,9%
MReal	Oeste	Mínimo	68,8%
MMod		Mínimo	65,3%
MReal	Norte	Intermediário	73,1%
MMod		Mínimo	69,9%
MReal	Leste	Mínimo	72,6%
MMod		Mínimo	69,0%

Fonte: O autor.

Os modelos que atingiram o nível intermediário de desempenho térmico foram os que obtiveram um maior percentual de horas em conforto térmico. Os dados apresentados para a cidade de Paulo Afonso-BA são melhores do que aqueles foram observados por Oliveira *et al.* (2015) para a cidade de Cuiabá-MT, que esta situada na mesma zona bioclimática. Em seu estudo de caso, o número de horas ocupadas em desconforto por calor superou os 50%.

Ademais, foi possível observar que os PFHT seguem uma proporcionalidade em relação aos percentuais de horas ocupadas em conforto térmico. Todavia, esse último atinge sempre valores superiores. Isso decorre do fato de que no PHFT é estabelecido um limite fixo para calcular seu percentual enquanto que esse último possui limites que iram variar conforme a oscilação das temperaturas horárias registradas para a localidade.

Os resultados também conduziram à conclusão de que bons níveis de conforto térmico não são necessariamente atendidos pelos modelos avaliados conforme a NBR 15.575/2021, mesmo quando eles satisfazem o desempenho térmico intermediário, como foi observado com este estudo de caso. Dessa maneira, explica-se que, no presente estudo, apesar de a unidade



habitacional com a configuração do modelo real atender ao desempenho térmico citado, observou-se que a sala desses modelos terá um percentual de desconforto bastante elevado, superando os 70% em todos os cenários.

## 5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

### 5.1 Principais Conclusões

A pesquisa avaliou o desempenho e conforto térmico de uma habitação unifamiliar, constituída de paredes de concreto armado moldado *in loco*, a partir de duas normas. O primeiro aspecto foi analisado a partir da norma NBR 15.575, que publicou, no ano de 2021, um novo procedimento para avaliação do desempenho térmico das edificações por meio do método simplificado e de simulação computacional. O segundo foi feito por meio do índice de conforto térmico adaptativo presente na *Standard 55* da ASHRAE.

A alteração presente no procedimento simplificado da norma de desempenho está na inserção do critério de percentual de elementos transparentes. Diante disso, os sistemas de vedações verticais constituídos de concreto armado moldado *in loco*, isoladamente, continuam sendo avaliados como inadequados para todas as zonas bioclimáticas brasileiras, tendo em vista o alto valor de transmitância térmica que possuem.

Devido às condições impostas pela emenda nº 1 da NBR 15.575/2021, haverá sempre a necessidade de avaliar, pelo método de simulação computacional, as edificações que forem construídas utilizando o SVVE de concreto armado moldado no local, para que se possa verificar o impacto de todas as propriedades do projeto (geometria, materiais, sombreamento, etc.) sobre o desempenho térmico da unidade habitacional.

No que diz respeito ao estudo de caso, além do SVVE, o percentual de elementos transparentes e área para ventilação do presente modelo indicou também a necessidade de realizar avaliação do modelo pelo procedimento de simulação para identificar qual o nível de desempenho térmico que o projeto.

Os modelos obtiveram o desempenho térmico mínimo ou intermediário a depender da orientação do projeto. Tal fato mostra que, apesar de as paredes de concreto armado moldado no local não terem valor de transmitância térmica abaixo do limite normativo, outros aspectos do projeto da edificação podem impactar positivamente no desempenho térmico do modelo, levando a um comportamento térmico mediano. Neste estudo de caso, ao se permitir a utilização da ventilação natural, através da abertura da porta da sala, há uma pequena

melhoria no desempenho térmico. Todavia, não é ainda suficiente para elevar o desempenho térmico do pior e melhor cenário para um nível mais elevado.

Para os resultados obtidos, é possível admitir que, de modo geral, os modelos apresentaram um elevado número de horas de desconforto térmico em alguns ambientes, que deve ocorrer principalmente devido o calor, e a sala é o principal espaço impactado por tal problema. Acredita-se que o elevado percentual de elementos transparentes seja o fator complicador nesse sentido.

Tendo em vista tal cenário, percebe-se que o atendimento ao desempenho térmico intermediário não assegurará que boas condições de conforto térmico sejam atingidas para todos os espaços quando esses estiverem ocupados. Conclui-se também que o SVVE feito de concreto armado moldado *in loco* não tem um comportamento térmico inferior ao utilizado convencionalmente nas edificações brasileira. Logo, não justifica o fato desse sistema construtivo ser preterido em relação ao de paredes feita de tijolo cerâmico. Inclusive, o sistema construtivo de concreto permite alguns benefícios como redução de desperdício e rapidez na execução da obra, devendo as construtoras refletir sobre qual seria o melhor em termos de desempenho e conforto térmico e custo-benefício.

Ademais, levando em consideração que o atual texto da norma estabelece que a classificação do desempenho térmico seja feita para a habitação como um todo, e que tal fato dificulta a observação de problemas pontuais e importantes para a qualidade dos espaços, sugere-se que ajustes possam ser realizados no texto normativo para que a classificação também seja realizada para cada espaço, a fim de que melhores condições sejam perseguidas nos projetos habitacionais.

## **5.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se a realização de estudos *in loco*. Isto é, recomenda-se o desenvolvimento de medições de temperatura dentro das unidades habitacionais, após sua construção, a fim de verificar seu comportamento dentro da realidade local. Assim, será possível constatar a diferença de temperatura entre o ambiente interno e externo e identificar se as temperaturas no interior estão próximas dentro dos limites recomendados tanto para o desempenho térmico quanto para o conforto térmico.

Além disso, sugere-se a aplicação de questionário junto aos moradores do conjunto habitacional. A partir deste, pode-se identificar a percepção dos indivíduos quanto ao conforto térmico de suas habitações.

## REFERÊNCIAS

AEBISCHER, B.; JAKOB, M.; CATENAZZI, G. Impact of climate change on thermal comfort, heating and cooling energy demand in Europe. **Saving energy-just do it!**. ECEEE Summer Study, La Colle sur Loup, France, June 4-9, 2007.

ÁLVARES, S. M. **Desempenho térmico de habitações do PMCMV em paredes de concreto**: estudo de caso em São Carlos-SP e diretrizes de projeto para a Zona Bioclimática 4. São Carlos, 2018. 143 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

AL-AZRI, N.; ZURIGAT, Y.; AL-RAWAHI, N. Development of Bioclimatic Chart for Passive Building Design in Muscat-Oman. **International Journal of Sustainable Energy**, v. 32, n. 6, p. 713-723, 2013.

ALVES, R. R. Métodos de Avaliação do Conforto Térmico Humano. 2011. 124 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.575**: Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.575**: Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.575**: Desempenho - Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **Emenda nº 1 da NBR 15.575-1**: Desempenho - Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. **Emenda Nº 1 da NBR 15.575-4**: Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. **Emenda Nº 1 da NBR 15.575-5**: Desempenho - Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. **3º Projeto de Revisão da ABNT NBR 16.401-2**. 2021. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/210126%20PROJETO%2016401-2.pdf>. Acesso em: 01 de maio 2022.

\_\_\_\_\_. **NBR 16.401-2**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários – Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 16.055**: Paredes de concreto armado moldado no local. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 10.821**: Esquadrias para edificações – Parte 2: Requisitos e classificação. Rio de Janeiro, 2012.

ASHRAE - THE AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS IS AN AMERICAN. **Standard 55 - 2017**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, Georgia, 2017. ISSN 1041-2336.

BARBOSA, M. J.; et al. Aperfeiçoamento e desenvolvimento de novos métodos de avaliação de desempenho para subsidiar a elaboração e revisão de normas técnicas. *In*: RAMON, H.; BONIN, L. C. (org.). **Coletânea Habitare** - Normalização e Certificação na Construção Habitacional. v. 3, 2003, p 135 - 173.

BATISTA, J. O. **Eficácia da ventilação mecânica noturna para resfriamento: impacto de estratégias híbridas de ventilação no desempenho térmico de residência em Florianópolis-SC**. 286 f. Tese (Programa de pós-graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

BATISTA, J. O. **Zona Bioclimática 07**: sua importância, aplicação e regulamentação em projetos de HIS. 2020. Disponível em:< [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/APOSTILA\\_DialogoEE\\_ZB.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/APOSTILA_DialogoEE_ZB.pdf)>. Acesso em 14 de junho 2022.

BRACKNEY, L.; PARKER, A.; MACUMBER, D.; BENNE, K.. **Building Energy Modeling with OpenStudio: A Practical Guide for Students and Professionals**. 1. ed. Springer International Publishing, 2018, 325 p.

BRAGA, N. K. M. **Potencial de aquecimento global de paredes de concreto a partir da avaliação do ciclo de vida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

BRASIL. **NR 17: Ergonomia**. Brasília/DF, BR: Ministério do Trabalho, 2021.

BOGO, A. J. Reflexões críticas quanto às limitações do texto das normas brasileiras de desempenho NBR 15220-3 e NBR 15575. **HOLOS**, v. 7, n. 32, 2016.

BOGO, A.; PIETROBON, C. E.; BARBOSA, M. J.; GOULART, S. PITTA, T.; LAMBERTS, R. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico**. 1994. Trabalho apresentado como requisito parcial para aprovação na Disciplina Tópicos Avançados em Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico, Núcleo de Pesquisa em Construção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

CARVALHO, P. P. **Desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social com paredes de concreto armado na zona bioclimática 2 brasileira**. Santa Maria, 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 119-134, out./dez. 2014.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. **EN 15251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics**.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos: Conforto Ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro: Revan, 2009.

COSTA, G. M. Desempenho térmico em edificações: proposta de brise-soleil para redução de carga térmica em habitações de interesse social do município de Paulo Afonso – BA.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, 2017.

CRAWLEY, D.B.; LAWRIE, L.K. **Climate One Building**. Disponível em:

<http://climate.onebuilding.org>. Acesso em: 15 abr. 2020.

DELL-SANTO, A.; ALVAREZ, C. E.; NICO-RODRIGUES, E. A.. de. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575. **Cadernos do PROARQ** (UFRJ), v. 20, p. 115-136, 2013

DE VECCHI, R. **Avaliação de Conforto Térmico em Edificações Comerciais Que Operam Sob Sistemas Mistos de Condicionamento Ambiental em Clima Temperado e Úmido**. Florianópolis, 2015. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering**. United States, Mc-Graw-Hill Book Company.

FERREIRA, C. C.; PEREIRA, I. M. Avaliação do desempenho térmico de habitação de interesse social de acordo com a NBR 15575, para as diversas zonas bioclimáticas. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 14, 2012, Juiz de Fora. **Anais [...]**. p. 3590 - 3595.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da Pesquisa Científica**. Fortaleza: UEC, 2002.

FOUTAIN, M.; ARENS, E.; DE DEAR, R.; BAUMAN, F.; MIURA, K. Locally controlled air movement preferred in warm isothermal environments. **ASHRAE Transactions**, v. 100, n. 2, p. 937-952, 1994.

FROTA, B. A.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.



GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

GRIGOLETTI, G. C.; SATTTLER, M. A. Método de Avaliação Global de Desempenho Higrotérmico de Habitações de Interesse Social Para Porto Alegre, RS, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 101-114, abr./jun. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO. Sistemas construtivos paredes de concreto, alvenaria estrutural e pré-fabricados de concreto. **Concreto e Construção**, ed. 90, 2018. Disponível em: < [http://ibracon.org.br/Site\\_revista/Concreto\\_Construcoes/pdfs/revista90.pdf](http://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/revista90.pdf)>. Acesso em: 31 jan. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil 1981 – 2010**. [S.I.]. 201. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 01 maio 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7726: Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities. 2021.

KRELLING, A. F.; ELI, L. G.; OLINGER, M. S.; VEIGA, R. K. S.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Proposta de método de avaliação de desempenho térmico de residências: NBR 15575. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. V.; Viviendas y Edificios em Zonas Cálidas y Tropicales. Paraninfo, 323 p. Madri, 1977.

HUMPHREYS, M. A.; NICOL, J. F. Understanding the adaptive approach to thermal comfort. **ASHRAE Technical Data Bulletin**, v. 14, n. 1, p. 1-14, 1998.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. D. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LAMBERTS, R.; CANDIDO, C.; DEAR, R.; VECCHI, R. Towards a Brazilian Standard on Thermal. 2013. Disponível em:<  
[https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/RP\\_Towards\\_a\\_Brazilian\\_Standard\\_Complete\\_Version\\_0.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/RP_Towards_a_Brazilian_Standard_Complete_Version_0.pdf)>. Acesso em: 08 de jan. 2022.

LAMBERTS, R., GOULART, S.; DE VECCHI, R. Conforto e Stress Térmico. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2011. Disponível em:<  
[https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200\\_apostila%202011.pdf\\_2.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pdf)>. Acesso em: 17 de jan 2021.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energetica na Arquitetura**. 3. ed. São Paulo: PW Gráfica e Edit. Associados LTDA, 2014. 366 p.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P.; CARLO, J. C.; BATISTA, J. O.; MORISNOSKI, D. L.; NARANJO, A.; DUARTE, V. C. P. **Desempenho técnico de edificações**. Florianópolis: UFSC, 2016. Disponível em:<<http://www.labeee.usfc.br>>. Acesso em 02 set. 2016.

MACIEL, A. **Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de Caso em Edifício de Escritórios**. 2002. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MATTOS, T. L. **Análise do desempenho térmico de habitações populares da Microrregião de Guaratinguetá – SP**. 2015. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

MARÇAL, V. G.; SOUZA, H. A.; COELHO, F. F. M.; MARÇAL, C. C. S. Relevância e Percepção do Conforto Térmico no Processo de Aprendizagem em Sala de Aula. **Boletim Técnico do Senac**, Rio de Janeiro, v. 44, n. 2, maio/ago. 2018.

MARQUES, T. H. T. ; CHVATAL, K. M. S. **A review of the Brazilian NBR 15.575 Norm: applying the simulation and simplified methods for evaluating a social house thermal performance**. In: 4th Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design., 2013, San Diego, CA USA. 4th Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design., 2013.

MARTINS, T. A. L.; BITTENCOURT, L. S.; KRAUSE, C. M. de L. B. Contribuição ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro: reflexões sobre o semiárido nordestino. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 59-75, abr./jun. 2012.

MENDES, M. C. M. ; FABRICIO, M. M. ; IMAI, C. . **Sistemas Construtivos Inovadores no Contexto do SiNAT: Normativas, Produção e Aplicações de Painéis de Vedação**. In: Márcio Minto Fabricio; Adriana C. Brito; Fúlvio Vittorino. (Org.). Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Conforto Ambiental, Durabilidade e Pós-Ocupação. 1ed. Porto Alegre: ANTAC / Editora Scienza, 2017, v., p. 169-193.

MORAGA, G. L. **Avaliação do Ciclo de Vida e simulação termoenergética em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida**. Porto Alegre, 2017. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MORISHITA, C.; SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; TRIANA, M. A.; MORINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. **Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas. Florianópolis: Laboratório em Edificações do Departamento de Engenharia Civil da UFSC**. Florianópolis 2011.

OLGYAY, V. **Design with Climate, Bioclimatic Approach and Architectural Regionalism**. New Jersey: Princeton University Press, 1963.

OLIVEIRA, R. D.; SOUZA, R. V. G.; SILVA, R. M. Desempenho Térmico: qual valor devemos atender para a legislação brasileira? In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., Brasília, 2013. **Anais...** Brasília: ANTAC, 2013.

OLIVEIRA, R. D.; SOUZA, R. V. G.; MAIRINK, A. J. M.; RIZZI, T. G.; SILVA, R. M. Thermal Comfort for users according to the Brazilian Housing Buildings Performance Standards. **Energy Procedia**, v. 78, p. 2923 – 2928, 2015.

PAULO AFONSO. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Paulo Afonso – Bahia: Diagnóstico do Município**. 2016.

PAULO AFONSO. **Projeto de Habitação Unifamiliar**. 2021.

PARAHYBA, R. B. V.; SILVA, F. H. B.; SILVA, F. B. R.; LOPES, P. R. C. **Diagnóstico Agroambiental do Município de Paulo Afonso – Estado da Bahia**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2004. 69p.

PEREIRA, C. D. **A influência do envelope no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente**. 2009. 124 f. Dissertação (Engenharia Civil) – Universidade de Santa Catarina, Santa Catarina, 2009.

PEREIRA, I.; FERREIRA, C. Avaliação dos impactos da ABTN NBR 15575 no conforto térmico e no consumo de energias nas novas edificações habitacionais brasileiras. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 15, 2014, Maceió. **Anais [...]**. p. 518- 527.

PEREIRA, D. M.; SOUZA, S. I. S. **Determinação os Indicadores de Grau de Conforto Térmico, PMV e do PPD, para os Laboratórios do Prédio 11 da URI Campus de Santo Ângelo**. 2007. Disponível em: <[http://www.reitoria.uri.br/~vivencias/Numero\\_005/artigos/artigos\\_vivencias\\_05/artigo\\_006.htm](http://www.reitoria.uri.br/~vivencias/Numero_005/artigos/artigos_vivencias_05/artigo_006.htm)>. Acesso em: 15 de nov. 2021.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. **Simulações da Casa Eficiente após sua Construção**. In: LAMBERTS, R; GHISI, R; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. (Org.). **Casa Eficiente: Simulação Computacional do Desempenho Termo-Energético**. 1ed. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010, v., p. 27-50.

PRIZIBELA, S. C. C. **Aplicação de princípios de sustentabilidade em empreendimentos de grande porte: posicionamento dos arquitetos**. 2011. 207 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2011.

QUEIRÓZ, G. R.; GRIGOLETTI, G. C.; SANTOS, J. C. P. Interoperabilidade entre os Programas Revit e EnergyPlus para a Simulação Térmica de Edificações. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019005-1-e019005-17, 2019.

ROSA, L. S. **Avaliação de conforto térmico eficiente em edificações de interesse social na zona bioclimática 2: simulação computacional do desempenho da envoltória**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2019.

RUPP, R. F.; DE DEAR, R.; GHISI, E. Field Study of Mixed-Mode Office Buildings in Southern Brazil Using an Adaptive Thermal Comfort Framework. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1475–1486, 2018.

RUPP, R. F.; GHISI, E. Avaliação de modelos preditivos de conforto térmico em escritórios no clima subtropical brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 2, p. 91-107, abr./jun., 2019.

SANTOS, T. L. ; PORTO, F. H. F. S. ; SILVA, A. S. Análise da correlação entre conforto e desempenho térmico em habitações de interesse social por simulação computacional. **Ambiente Construído**, v. 20, p. 211-229, 2020.

SANTOS, M. B.; GOUVEIA, F. P. Análise do desempenho térmico de habitações de interesse social construídas em paredes de concreto: Um estudo de caso em Tucuruí – PA. **Revista de Engenharia Civil**, v. 18, n. 55, p. 5 – 18, 2018.

SEPLAN BA, Secretaria De Planejamento, Ciência E Tecnologia Da Bahia. Mapa de Tipologia Climática Köppen, Estado da Bahia 1998. Disponível em: <[http://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/mapas/pdf/tipologia\\_climatica\\_segundo\\_koppen\\_2014.pdf](http://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/mapas/pdf/tipologia_climatica_segundo_koppen_2014.pdf)>. Acesso em: 24 de ago. 2021.

SILVA, P. M. A. Aplicação do programa EnergyPlus como ferramenta do *projeto* de comportamento térmico de edifício de habitação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Porto, Porto, 2010.

SOARES, R. M. D.; ADAMS, B.; ULLMANN, V. Desempenho térmico de habitação social: norma NBR 15.575. **Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, v. 5, n. 2, p. 53 – 64, 2016.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. **Paranoá (UnB)**, v. 12, p. 13-21, 2014.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de

edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83-101, out./dez. 2014.

SORGATO, M. J.; MARINOSKI, D. L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética de Edificações do Departamento de Engenharia Civil da UFSC, 2012.

UNITED NATIONS CENTER FOR FOR HUMAN SETTLEMENTS (HABITAT). National Design Handbook Prototype on Passive Solar Heating and Natural Cooling of Buildings. Nairobi, 1990.

VISITSAK, S.; HABERL, J. S. An analysis of design strategies for climate-controlled residences in selected climates. SimBuild 2004, IBPSA-USA National Conference Boulder, CO, August 4-6, 2004.

VECCHI, R. DE. **Avaliação de conforto térmico em edificações comerciais que operam sob sistemas mistos de condicionamento ambiental em clima temperado e úmido**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2015.

WEBER, F. S.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; GUTHS, S.; LAMBERTS, R. Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa *EnergyPlus*. 2017. Disponível em: [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_pesquisa/Biblioteca\\_ComponentesConstrutivos\\_0.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Biblioteca_ComponentesConstrutivos_0.pdf) >. Acesso em: 16 fev. 2022.

**ANEXO A – Padrões de ocupação diários dos APP**

<b>Horário</b>	<b>Ocupação</b>		
	<b>Dormitório %</b>	<b>Sala %</b>	<b>Uso misto %</b>
00:00 - 00:59	100	0	100
01:00 - 01:59	100	0	100
02:00 - 02:59	100	0	100
03:00 - 03:59	100	0	100
04:00 - 04:59	100	0	100
05:00 - 05:59	100	0	100
06:00 - 06:59	100	0	100
07:00 - 07:59	100	0	100
08:00 - 08:59	0	0	0
09:00 - 09:59	0	0	0
10:00 - 10:59	0	0	0
11:00 - 11:59	0	0	0
12:00 - 12:59	0	0	0
13:00 - 13:59	0	0	0
14:00 - 14:59	0	50	50
15:00 - 15:59	0	50	50
16:00 - 16:59	0	50	50
17:00 - 17:59	0	50	50
18:00 - 18:59	0	100	100
19:00 - 19:59	0	100	100
20:00 - 20:59	0	100	100
21:00 - 21:59	0	100	100
22:00 - 22:59	100	0	100
23:00 - 23:59	100	0	100

Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.



## **ANEXO B - Padrões de uso do sistema de iluminação artificial dos APP**

<b>Horário</b>	<b>Iluminação</b>		
	<b>Dormitório %</b>	<b>Sala %</b>	<b>Uso misto %</b>
00:00 - 00:59	0	0	0
01:00 - 01:59	0	0	0
02:00 - 02:59	0	0	0
03:00 - 03:59	0	0	0
04:00 - 04:59	0	0	0
05:00 - 05:59	0	0	0
06:00 - 06:59	100	0	100
07:00 - 07:59	100	0	100
08:00 - 08:59	0	0	0
09:00 - 09:59	0	0	0
10:00 - 10:59	0	0	0
11:00 - 11:59	0	0	0
12:00 - 12:59	0	0	0
13:00 - 13:59	0	0	0
14:00 - 14:59	0	0	0
15:00 - 15:59	0	0	0
16:00 - 16:59	0	100	100
17:00 - 17:59	0	100	100
18:00 - 18:59	0	100	100
19:00 - 19:59	0	100	100
20:00 - 20:59	0	100	100
21:00 - 21:59	0	100	100
22:00 - 22:59	100	0	100
23:00 - 23:59	100	0	100

Fonte: Adaptado da ABNT, 2021.

**ANEXO C – Período de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para  
equipamentos dos APP**

<b>Ambiente</b>	<b>Período de uso</b>	<b>Potência W</b>	<b>Fração radiante</b>
Sala	14:00 – 21:59	120	0,30
Usos misto	14:00 – 21:59	120	0,30

Fonte: Adaptado da ABNT, 2021

## ANEXO D – Distribuição do número de horas em intervalos de temperatura

(Continua)

Orientação	APP	T < 20	20 - 22	22 - 24	24 - 26	26 - 28	28 - 30	30 - 32	32 - 34	34 - 36	36 - 38	38 - 40	T ≥ 40	Média APP (°C)	Média UH (°C)
Sul	MRef														
	Sala	0	23	185	613	1261	1805	1741	1174	881	693	357	27	30,9	30,7
	Quarto 1	0	58	269	771	1456	1827	1627	1061	901	649	137	4	30,3	
	Quarto 2	0	8	113	456	1158	1781	1884	1460	1163	682	55	0	31,0	
	MReal														
	Sala	14	205	581	1451	2082	1759	1266	1025	368	9	0	0	28,3	28,2
	Quarto 1	26	228	633	1600	2117	1757	1241	1038	120	0	0	0	28,0	
	Quarto 2	4	137	489	1372	2123	1978	1416	1065	176	0	0	0	28,4	
	MMod														
	Sala	14	201	574	1414	1921	1695	1256	1039	626	20	0	0	28,5	28,5
	Quarto 1	28	228	602	1533	1995	1720	1218	1045	383	8	0	0	28,2	
	Quarto 2	2	129	467	1292	1981	1926	1403	1093	458	9	0	0	28,6	
Oeste	MRef														
	Sala	0	11	139	487	1189	1772	1792	1217	1008	792	334	19	31,2	31,0
	Quarto 1	0	6	121	475	1183	1816	1843	1274	838	686	437	81	31,2	
	Quarto 2	0	43	223	676	1458	1831	1623	1128	966	688	120	4	30,5	
	MReal														
	Sala	5	130	460	1218	1918	1798	1240	1062	657	260	12	0	29,0	28,8
	Quarto 1	0	97	408	1107	2034	2065	1320	1040	612	76	1	0	28,9	
	Quarto 2	14	156	508	1398	1996	1793	1274	1087	517	17	0	0	28,5	
	MMod														
	Sala	4	117	439	1109	1754	1723	1171	1058	766	485	132	2	29,5	29,3
	Quarto 1	0	80	363	968	1833	2001	1348	1043	758	349	17	0	29,5	
	Quarto 2	9	137	472	1264	1823	1749	1231	1115	830	129	1	0	29,0	

Orientação	APP	T < 20	20 - 22	22 - 24	24 - 26	26 - 28	28 - 30	30 - 32	32 - 34	34 - 36	36 - 38	38 - 40	T ≥ 40	Média APP (°C)	Média UH (°C)
Norte	MRef														
	Sala	0	11	158	534	1164	1737	1822	1348	1137	767	82	0	31,0	30,9
	Quarto 1	0	5	93	442	1133	1790	1900	1340	1066	776	206	9	31,2	
	Quarto 2	0	55	261	747	1465	1806	1606	1034	816	662	285	23	30,5	
	MReal														
	Sala	9	187	559	1418	2021	1794	1334	1072	359	7	0	0	28,4	28,3
	Quarto 1	0	120	479	1319	2163	2035	1402	1082	160	0	0	0	28,4	
	Quarto 2	25	220	625	1556	2086	1756	1200	1011	274	7	0	0	28,1	
	MMod														
	Sala	10	175	533	1360	1868	1726	1318	1086	658	26	0	0	28,7	28,6
	Quarto 1	0	109	437	1235	1994	2019	1380	1151	428	7	0	0	28,7	
	Quarto 2	20	210	599	1471	1941	1758	1193	1029	522	17	0	0	28,4	
Leste	MRef														
	Sala	0	10	145	505	1251	1878	1830	1259	926	743	203	10	30,9	30,9
	Quarto 1	0	31	184	638	1441	1766	1555	1290	1208	609	38	0	30,6	
	Quarto 2	0	5	103	427	1150	1799	1864	1307	992	780	316	17	31,3	
	MReal														
	Sala	5	146	463	1263	1948	1868	1376	1059	607	25	0	0	28,8	28,7
	Quarto 1	13	162	527	1438	2008	1791	1371	1113	328	9	0	0	28,4	
	Quarto 2	1	110	440	1154	2025	2005	1374	1052	561	38	0	0	28,8	
	MMod														
	Sala	4	128	434	1133	1772	1773	1349	1152	863	150	2	0	29,2	29,1
	Quarto 1	12	151	491	1330	1823	1742	1287	1152	733	39	0	0	28,8	
	Quarto 2	0	96	401	1034	1848	1951	1339	1095	783	209	4	0	29,3	
Temperatura de bulbo seco															
<b>Externa</b>		450	630	1490	1659	1361	1084	785	645	463	173	16	4	26,7	