

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**MARIANA BARROS VARJAL**

**DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NO  
LITORAL LESTE NORDESTINO: ESTUDO A PARTIR DE ALTERAÇÕES NAS  
VARIÁVEIS DE PROJETO**

JOÃO PESSOA  
2024

**MARIANA BARROS VARJAL**

**DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NO  
LITORAL LESTE NORDESTINO: ESTUDO A PARTIR DE ALTERAÇÕES NAS  
VARIÁVEIS DE PROJETO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Linha de pesquisa: Qualidade do Ambiente Construído

Orientador: Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo

**JOÃO PESSOA**

**2024**

**Catalogação na publicação  
Seção de Catalogação e Classificação**

V313d Varjal, Mariana Barros.

Desempenho térmico de habitações de interesse social no litoral leste nordestino : estudo a partir de alterações nas variáveis de projeto / Mariana Barros Varjal. - João Pessoa, 2024.

137 f. : il.

Orientação: Aluísio Braz de Melo.  
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Habitação de interesse social. 2. Desempenho térmico - habitação. 3. NBR 15575. 4. Arquitetura - projeto. 5. Simulação Computacional - arquitetura. I. Melo, Aluísio Braz de. II. Título.

UFPB/BC

CDU 351.778.532(043)



Ata de defesa final de dissertação, requisito para obtenção do diploma do curso de mestrado do PPGAU-UFPB.

Aos trinta dias do mês de janeiro de 2025, às 14:00 horas, na sala do PPGAU, Centro de Tecnologia da UFPB, houve a defesa do trabalho final de cujo título é “Desempenho térmico de Habitações de Interesse Social no litoral Leste nordestino: Estudo a partir de alterações pontuais nas variáveis de projeto” da aluna Mariana Barros Varjal, matrícula 20221016449, vinculada à linha de pesquisa Qualidade do Ambiente Construído. A Banca Examinadora foi composta pelos professores doutores: Aluísio Braz de Melo (Orientador – PPGAU/UFPB) presidente da banca; Carlos Alejandro Nome Silva (Avaliador Interno – PPGAU/UFPB) e Natália de Queiroz Nome (Avaliadora Externa – UFPB). Iniciado os trabalhos, o discente fez uma exposição oral, em seguida houve arguição pelos examinadores. Ao final da defesa, a banca se reuniu reservadamente e considerou o trabalho:

APROVADO       INSUFICIENTE       REPROVADO

Observação: *Sugere-se a revisão do título.*  
*Sugere-se a inclusão da atualização*  
*da norma 177615220. Edições dos elementos*  
*de conclusão para figurar os limites*  
*do estudo, recomendações de pesquisas futuras*  
*e custo das soluções em destaque.*  
Recomendado para concorrer premiação:  Sim  Não  
Recomendado para publicação:  Sim  Não

Nada mais havendo, os trabalhos foram encerrados e em seguida foi lavrada a presente ata que vai assinada por mim, Aluísio Braz de Melo, pelos membros da Comissão Examinadora e discente.

Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo  
(Presidente/Orientador – PPGAU/UFPB)

Prof.ª Dr.ª Natália de Queiroz Nome  
(Avaliadora Externa – UFPB)

Prof. Dr. Carlos Alejandro Nome Silva  
(Avaliador Interno – PPGAU/UFPB)

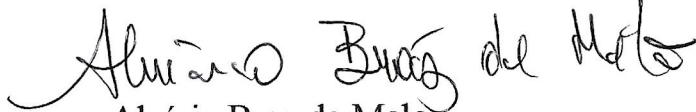
Mariana Barros Varjal  
(Discente)

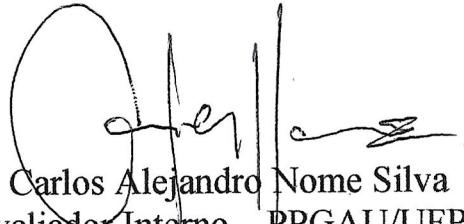
Desempenho térmico de Habitações de Interesse Social no litoral Leste nordestino: Estudo a partir  
de alterações pontuais nas variáveis de projeto

Por

Mariana Barros Varjal

Trabalho de dissertação aprovado em 30 de janeiro de 2025

  
Aluísio Braz de Melo  
(Presidente/Orientador – PPGAU/UFPB)

  
Carlos Alejandro Nome Silva  
(Avaliador Interno – PPGAU/UFPB)

  
Natália de Queiroz Nome  
(Avaliadora Externa – UFPB)

**João Pessoa/PB - 2025**

## AGRADECIMENTO

Me emociono ao chegar nesta etapa. Por muito tempo, duvidei se seria possível, pois a vida me apresentou muitas perdas e dificuldades ao longo da trajetória deste mestrado. Mas estou aqui, e só há gratidão em meu coração.

Agradeço primeiramente a Deus, que esteve comigo em todas as dificuldades. Quando pensei em desistir, Ele estava ao meu lado, me dando a fé necessária para acreditar que toda tempestade chega ao fim e que os meus planos também eram os planos d'Ele. Agradeço a Nossa Senhora Aparecida, de quem sou devota, pois sei que intercedeu por mim durante todo esse tempo de provações.

Agradeço à minha família, especialmente à minha mãe, que é minha inspiração e meu modelo de ser humano. Sem ela, certamente nada disso seria possível. Ela é minha maior incentivadora, e todas as minhas conquistas também são dela. Agradeço também ao meu pai. Embora ele não esteja mais presente neste plano terreno, sei que, assim como minha mãe, ele lutou muito por minha educação. A única vez que vi meu pai chorar foi ao receber a notícia de que eu havia sido aprovada na minha primeira graduação. Sou igualmente grata à minha irmã, que é um espelho de mulher para mim. Sei que ela torce e se alegra com cada passo que dou na jornada da vida.

Agradeço a todos os meus professores das graduações em Arquitetura e Engenharia Civil. Cada um deles me deu a honra de partilhar e aprender com seus conhecimentos. Hoje trilho o caminho da academia por me espelhar neles e por acreditar que também posso ser um vetor de bons ensinamentos para gerações futuras. Agradeço ao PPGAU da UFPB. Obrigada por me ensinar o que é a academia e por mostrar que a educação é, e sempre será, a maior riqueza que o ser humano pode ter e compartilhar.

Agradeço aos professores da pós-graduação, que enriqueceram imensamente minha trajetória, e aos servidores prestativos, que sempre me auxiliaram diante das dificuldades. Agradeço ao meu orientador, professor Aluísio Braz de Melo, não apenas por compartilhar seu vasto conhecimento, mas também por ser um exemplo de gentileza, educação, compreensão e humanidade. Por fim, agradeço à CAPES por ser um importante vetor de fomento à pesquisa nacional. Acredito que todo investimento feito na ciência retorna de forma incalculável.

## RESUMO

As Habitações de Interesse Social (HIS) no Brasil têm, historicamente, apresentado baixa qualidade em critérios de habitabilidade, frequentemente negligenciados em favor de uma produção em massa voltada para quantidade, muitas vezes à custa do bem-estar dos usuários. Esse enfoque resultou, por exemplo, em edificações com baixo desempenho térmico, evidenciando a necessidade de um novo paradigma para essas habitações. A presente pesquisa objetiva avaliar, com base na Norma Brasileira (NBR) 15575 (ABNT, 2021), a eficácia de intervenções específicas no projeto de HIS em relação ao desempenho térmico, com especial atenção ao litoral leste nordestino. Por meio de simulações computacionais, foi possível inicialmente classificar o desempenho térmico das HIS estudadas e, em seguida, realizar novas análises alterando diferentes variáveis projetuais para buscar melhorias no nível de desempenho das edificações. Foram examinadas duas tipologias: uma habitação unifamiliar e outra multifamiliar. Na primeira, as alterações focaram nos materiais da envoltória, enquanto na segunda, foram exploradas variáveis relacionadas a materiais, geometria, ocupação e orientação solar. Os resultados mostraram que o uso de materiais isolantes na cobertura das HIS unifamiliares aumentou o Percentual de Horas de ocupação dentro de uma Faixa de Temperatura operativa (PHFT), reduziu a Temperatura Operativa anual Máxima (ToMáx) e a Carga Térmica Total (CgTT), elevando o nível de desempenho para a categoria intermediária. Já nas HIS multifamiliares, a inclusão de uma bandeira na porta de acesso às unidades habitacionais, permitindo a ventilação cruzada, também contribuiu para o aumento do PHFT e a redução da ToMáx e da CgTT em todas as unidades analisadas e para todas as cidades abrangidas. Com esses achados, espera-se contribuir para futuras análises de desempenho térmico no contexto estudado, além de fomentar melhorias na habitabilidade e eficiência das HIS. Ademais, a pesquisa reforça a importância de incluir simulações térmicas ainda na fase de concepção do projeto arquitetônico, promovendo edificações mais adequadas ao clima e às necessidades dos usuários.

Palavras-chaves: Habitação de Interesse Social; Desempenho Térmico; NBR 15575; Projeto de Arquitetura; Simulação Computacional;

## ABSTRACT

Social Housing (SH) in Brazil has historically exhibited low quality in terms of habitability criteria, which are often overlooked in favor of mass production strategies focused on quantity, frequently at the expense of users' well-being. This approach has led, for example, to buildings with poor thermal performance, underscoring the need for a new paradigm in SH design. This research aims to evaluate, based on the Brazilian Standard NBR 15575 (ABNT, 2021), the effectiveness of specific design interventions in improving the thermal performance of SH, with particular focus on the eastern coast of the Northeast region. Through computer simulations, the initial thermal performance of selected SH types was assessed, followed by new analyses involving changes to various design variables to seek performance improvements. Two housing typologies were studied: a single-family dwelling and a multi-family dwelling. For the single-family dwelling, modifications were focused on envelope materials, while for the multi-family dwelling, variables such as materials, geometry, occupancy, and solar orientation were explored. The results showed that the use of insulating materials in the roofing of single-family dwellings increased the Percentage of Hours of Occupancy within an Operating Temperature Range (PHFT), and reduced both the Maximum Annual Operating Temperature (ToMáx) and the Total Thermal Load (CgTT), elevating the performance level to the intermediate category. In the case of multi-family dwellings, the inclusion of a transom above the entrance door to each unit, enabling cross ventilation, also contributed to increased PHFT and reduced ToMáx and CgTT across all units and cities analyzed. These findings aim to support future evaluations of thermal performance within the studied context and to foster improvements in the habitability and efficiency of social housing. Furthermore, the study reinforces the importance of incorporating thermal simulations during the architectural design phase, promoting buildings that are better adapted to the climate and the needs of their users.

Keywords: Social Housing; Thermal Performance; NBR 15575; Architectural Design; Computer Simulation;

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Questionário aplicado pelo CBIC quanto aos requisitos da NBR 15575...	24
Figura 2 - Influência das decisões sobre o custo de uma edificação. ....	25
Figura 3 - Conjunto Residencial Prefeito Mendes de Moraes (Pedregulho).....	30
Figura 4 - Conjunto Habitacional General Dale Coutinho.....	32
Figura 5 - Manifestações patológicas em habitações do PMCMV - (a) Trincas nos muros (b) Eflorescência .....	36
Figura 6 - Edificações entregues pelo PMCMV.....	37
Figura 7 - a. Portas abertas para o exterior; b. Uso de bandeiras nas portas. ....	41
Figura 8 - racionalização dos componentes.....	41
Figura 9 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro segundo a NBR 15575 (ABNT, 2005) e localização das HIS do estudo. ....	42
Figura 10 - Construir Frondoso. ....	43
Figura 11- Etiqueta do PBE Edifica - Validação da eficiência de edificação da UFG48	
Figura 12 - Partes da NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho .....	49
Figura 13 - Variação da zona de conforto. Carta de Givoni. ....	51
Figura 14 - Resultado do desempenho térmico das UH simuladas no artigo.....	58
Figura 15 - Variáveis independentes da simulação de desempenho térmico. ....	61
Figura 16 - Procedimento metodológico da pesquisa .....	65
Figura 17 - Características do MReal e MRef para o método de simulação computacional proposto na NBR 15575 (ABNT, 2021) .....	67
Figura 18 - Procedimento de Simulação Computacional e indicadores de desempenho térmico .....	68
Figura 19 - Média da temperatura de Bulbo Seco para as cidades de Recife-PE, João Pessoa-PB e Maceió-AL .....	68
Figura 20 - Resumo do procedimento de simulação para as edificações em estudo. ....	70
Figura 21 - Zoneamento climático Brasileiro segundo a classificação de Koppen-Geiger .....	72
Figura 22 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro segundo a classificação do CB3E – grupos climáticos 17 ao 21 .....	73

Figura 23 - Ocupação e Cargas Internas dos MReal e MRef segundo a NBR 15575 .....	74
Figura 24 - Resumo dos critérios para a ventilação passiva e mecânica .....	76
Figura 25 – Recorte do procedimento metodológico do estudo para uma HIS unifamiliar .....	77
Figura 26 - Planta baixa do modelo HIS unifamiliar (à esquerda). Disposição dos APP's e APT's (à direita).....	77
Figura 27 - MReal HIS unifamiliar utilizado na simulação do estudo (à esquerda). Zonas térmicas do MReal (à direita) .....	78
Figura 28 - Composição dos materiais – MReal e MRef HIS unifamiliar .....	79
Figura 29 - Composição das coberturas nas simulações da HIS unifamiliar.....	80
Figura 30 - Composições do SVVE e SVVI nas simulações da HIS unifamiliar.....	80
Figura 31 - Composições com alterações combinadas (coberta / SVVE e SVVI) nas simulações da HIS unifamiliar .....	81
Figura 32 - Recorte do procedimento metodológico do estudo para uma HIS multifamiliar .....	82
Figura 33 - Fachada Sul da HIS multifamiliar simulada.....	83
Figura 34 - Planta baixa do pavimento tipo da HIS multifamiliar simulada. Distribuição das UHs na lâmina. .....	83
Figura 35 - Planta baixa das UHs dos pavimentos da HIS multifamiliar simulada. Disposição dos APP's e APT. .....	84
Figura 36 - Modelo da HIS multifamiliar utilizada na simulação e distribuição das zonas térmicas no pavimento tipo.....	85
Figura 37 - Unidades Habitacionais da HIS multifamiliar escolhidas para análise dos resultados da simulação de desempenho térmico. .....	86
Figura 38 - Composição das coberturas simuladas no MReal da HIS multifamiliar ..	89
Figura 39 - Adição de bandeiras nas portas de acesso das unidades na simulação da HIS multifamiliar. ....	90
Figura 40 - Modelo de ocupação da composição B7 na simulação da HIS multifamiliar .....	91
Figura 41 - Modelo de ocupação da composição B8 na simulação da HIS multifamiliar .....	91

Figura 42 - Alteração na orientação solar das UHs na simulação da HIS multifamiliar .....	92
Figura 43 - Indicadores de desempenho térmico dos MReal e MRef para a HIS unifamiliar .....	93
Figura 44 - Indicadores de desempenho térmico para a HIS unifamiliar com alterações na coberta (C1; C2; C3) e no SVV (C4; C5).....	95
Figura 45 - Indicadores de desempenho térmico para a HIS unifamiliar com alterações combinadas na coberta e no SVV (C6; C7; C8) .....	97
Figura 46 - Indicadores de desempenho térmico dos MReal e MRef para a HIS multifamiliar .....	100
Figura 47 - Resultado dos indicadores de desempenho térmico, PHFT e CgTT, para as HIS multifamiliar (MReal e MRef) nas três cidades do estudo.....	102
Figura 48 - Indicadores de desempenho térmico para o MReal da HIS multifamiliar com alteração nas variáveis de materiais e área de ventilação das janelas – UH4 TÉRREO .....	104
Figura 49 - Indicadores de desempenho térmico para o MReal da HIS multifamiliar com alteração nas variáveis de geometria (adição de bandeira na porta de acesso), ocupação e orientação solar – UH4 TÉRREO .....	105
Figura 50 - Indicadores de desempenho térmico para o MReal da HIS multifamiliar com alteração nas variáveis de materiais e área de ventilação das janelas – UH7 PAVIMENTO 4 .....	108
Figura 51 - Indicadores de desempenho térmico para o MReal da HIS multifamiliar com alteração nas variáveis de geometria (adição de bandeira na porta de acesso), ocupação e orientação solar – UH7 PAVIMENTO 4 .....	109
Figura 52 - Indicadores de desempenho térmico para o MReal da HIS multifamiliar com alteração nas variáveis de materiais e área de ventilação das janelas – UH8 PAVIMENTO 7 .....	112
Figura 53 - Indicadores de desempenho térmico para o MReal da HIS multifamiliar com alteração nas variáveis de geometria (adição de bandeira na porta de acesso), ocupação e orientação solar – UH8 PAVIMENTO 7 .....	113
Figura 54 - Comparativo dos indicadores de desempenho térmico, PHFT e CgTT, entre a combinação B6 e o MReal e o MRef para todas as UH e as cidades do estudo. ....	116

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Metas do PMCMV e déficit habitacional acumulado por faixas de renda .....	36
Tabela 2 - Faixas de renda do PMCMV para famílias moradoras de áreas urbanas .....	38
Tabela 3 - Variáveis que definem o conforto PMV .....	52
Tabela 4 - Escala de valores dos índices PMV .....	52
Tabela 5 - Intervalos de temperatura operativa aceitável .....	68
Tabela 6 - Critério de avaliação de desempenho térmico quanto ao PHFTUH .....	69
Tabela 7 - Critério de avaliação do desempenho térmico quanto a CgTTUH .....	70
Tabela 8 - Classificação bioclimática das edificações em estudo .....	73
Tabela 9 - Propriedade dos materiais usados nas simulações do MReal e MRef da HIS unifamiliar .....	79
Tabela 10 - Propriedade dos materiais usados nas simulações com alteração das características da envoltória do MReal da HIS unifamiliar .....	81
Tabela 11 - Propriedade dos materiais utilizados na simulação de desempenho térmico do MReal da HIS multifamiliar .....	87
Tabela 12 - Propriedade dos materiais utilizados na simulação de desempenho térmico do MRef da HIS multifamiliar .....	88
Tabela 13 - Propriedade dos materiais isolantes inseridos nas simulações de desempenho térmico da HIS multifamiliar .....	89
Tabela 14 - Alterações na área de ventilação dos APP's do MReal da HIS multifamiliar .....	90
Tabela 15 - Níveis de Desempenho Térmico das HIS nas 3 cidades para o MReal da HIS unifamiliar .....	94
Tabela 16 - Níveis de Desempenho Térmico das HIS unifamiliar nas 3 cidades para o MReal com alterações nas variáveis de projeto (composição C6) .....	98
Tabela 17 - Níveis de Desempenho Térmico das UH, do MReal, nas HIS multifamiliar para as 3 cidades estudadas .....	103
Tabela 18 - Classificação do nível de desempenho térmico da UH4 - pavimento térreo (combinação B6) para todas as cidades do estudo .....	117
Tabela 19 - Classificação do nível de desempenho térmico da UH7 - pavimento 4 (combinação B6) para todas as cidades do estudo .....	118

Tabela 20 - Classificação do nível de desempenho térmico da UH8 - pavimento cobertura (combinação B6) para todas as cidades do estudo. ....	119
Tabela 21 - Custo em R\$ dos componentes inseridos nas simulações de melhor desempenho.....	121

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Varáveis de projeto utilizadas na simulação no presente estudo.....	45
Quadro 2 - Revisão da literatura sobre Desempenho Térmico para cidades de clima	
Quente e Úmido .....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Norma Técnicas
AL	Alagoas
APP	Ambiente de Permanência Prolongada
APT	Ambiente de Permanência Transitória
BA	Bahia
BNH	Banco Nacional de Habitação
Ca	Consumo para aquecimento
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CgTA	Carga Térmica de Aquecimento
CgTR	Carga Térmica de Refrigeração
CgTT	Carga Térmica Total
CLT	Cross Laminated Timber
COHABs	Companhia Habitacional
COOPHABs	Cooperativas Habitacionais
Cr	Consumo para refrigeração
DF	Distrito Federal
DIEESE	Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos
ENCAC	Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído
ENTAC	Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
EPE	Empresa de pesquisa em Energia
EPS	Poliestireno Expandido
FDT	Frequência de Desconforto Térmico
FGTS	Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
FJP	Fundação João Pinheiro
FNHIS	Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social
GhDT	Graus-hora de Desconforto Térmico
GHr	Graus-horas de Resfriamento
GWh	Gigawatt-hora

HIS	Habitação de Interesse Social
IBH	Instituto Brasileiro de Habitação
IAP	Institutos de Aposentadorias e Pensões
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LI	Limite de aceitabilidade inferior
LS	Limite de aceitabilidade superior
MA	Maranhão
MReal	Modelo Real
MRef	Modelo de Referência
NBR	Norma Brasileira
PAC	Programa de Aceleração de Crescimento
PB	Paraíba
PCVA	Programa Casa Verde e Amarela
PE	Pernambuco
PEB	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PHD	Percentual de Horas em Desconforto
PHFT	Percentual de Horas de ocupação dentro de uma Faixa de Temperatura operativa
PI	Piauí
PL	Projeto de Lei
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PNHR	Programa Nacional de Habitação Rural
PNHU	Programa Nacional de Habitação Urbana
PR	Paraná
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
Pt	Percentual de elementos transparentes
Pv	Percentual de abertura para ventilação
RedCgTT	Redução da Carga Térmica Total
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

SBPE	Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo
SC	Santa Catarina
SFH	Sistema Financeiro de Habitação
SVV	Sistema de Vedaçāo Vertical
Te,máx / mín	valor máximo / mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação
Ti,máx / mín:	valor máximo / mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação
ToMáx	Temperatura Operativa anual máxima
ToMín	Temperatura Operativa anual mínima
UH	Unidade Habitacional
ZB	Zona Bioclimática

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	23
1.2	OBJETIVOS .....	26
1.2.1	Objetivo Geral .....	26
1.2.2	Objetivos Específicos .....	26
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	27
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>29</b>
2.1	UM BREVE HISTÓRICO DAS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL .....	29
2.1.1	O Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) .....	34
2.2	ESTRATÉGIAS DE PROJETO PARA O NORDESTE: AS VARIÁVEIS DE PROJETO E A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL .....	39
2.3	NORMAS REGULAMENTADORAS DO DESEMPENHO ENERGÉTICO E A NBR 15575: EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – DESEMPENHO .....	46
2.4	DESEMPENHO X CONFORTO TÉRMICO .....	50
2.5	DESEMPENHO TÉRMICO DE HIS NO CLIMA QUENTE E ÚMIDO: UMA REVISÃO DA LITERATURA .....	55
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>64</b>
3.1	PROCEDIMENTO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL - NBR 15575 (ABNT, 2021) .....	66
3.1.1	Caracterização do clima para as cidades do estudo .....	71
3.1.2	Ocupação e Cargas Internas para as HIS unifamiliar e multifamiliar .....	74
3.1.3	Ventilação Passiva e Mecânica para as HIS unifamiliar e multifamiliar .....	75
3.2	AVALIAÇÃO DE HIS UNIFAMILIAR .....	76
3.2.1	Simulação MReal e MRef – HIS unifamiliar .....	78
3.2.2	Simulação do MReal – HIS unifamiliar com alterações nos materiais da envoltória .....	80

3.3 AVALIAÇÃO DE HIS MULTIFAMILIAR .....	81
3.3.1 Simulação com MReal e MRef – HIS Multifamiliar .....	82
3.3.2 Simulações do MReal – HIS multifamiliar com alterações nas variáveis projetuais .....	88
<b>4       RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>93</b>
4.1 SIMULAÇÃO DO MODELO REAL E MODELO DE REFERÊNCIA PARA A HIS UNIFAMILIAR.....	93
4.1.1 Simulações de desempenho térmico com alteração nos materiais da envoltória do Modelo Real (MReal) .....	94
4.2 SIMULAÇÃO DO MODELO REAL E MODELO DE REFERÊNCIA PARA A HIS MULTIFAMILIAR .....	99
4.2.1 Simulações de desempenho térmico com alterações nas variáveis de projeto do Modelo Real (MReal) .....	103
<b>5       CONCLUSÃO .....</b>	<b>120</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>124</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O déficit habitacional brasileiro figura como um dos principais desafios para o crescimento do país. Segundo a Fundação João Pinheiro, em 2019, o déficit era da ordem de 5.876.699 moradias, entre habitações precárias, coabitacões e ônus excessivos com aluguel. Ainda de acordo com esse levantamento, entre 2016 e 2019 houve uma tendência de aumento de 1,3% desse número.

Na segunda metade do século XX, foram lançados programas habitacionais com o intuito de diminuir essa lacuna. Em 2009, foi criado o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), com o objetivo central de facilitar o acesso de famílias de baixa renda à habitação por meio de subsídios e financiamentos realizados pelo governo federal. De acordo com o relatório realizado pelo Tribunal de Contas da União (2016), entre 2012 e 2015, foram entregues cerca de 732 mil habitações, porém, foram encontrados diversos problemas relativos à qualidade do produto entregue,

[...] em 9 dos 10 empreendimentos da amostra foram identificados alguns vícios construtivos sistêmicos nas moradias. Foram encontradas falhas na pintura externa, deterioração precoce de pavimento, fissuras não estruturais em empreendimentos, problemas em instalações hidrossanitárias, cimento inadequado dos pisos, problemas de estanqueidade de esquadrias e sua baixa qualidade (Tribunal de Contas da União, 2016).

Diferentes estudos atestam os problemas encontrados nas edificações entregues pelo PMCMV. Os autores elencam como principais motivos desses problemas a baixa qualidade dos materiais e a falta de comprometimento com o projeto e sua execução (Santana; Poznyakovi, 2020; Ferreira; Zambrano, 2019; Queiroga; Aquino Filho, 2018). Esses problemas comprometem a habitabilidade dessas edificações, ou seja, elas funcionam como abrigo, mas não apresentam condições salutares de vivência no espaço (Villa; Carvalho, 2012).

O desempenho térmico figura como um dos principais elementos para a garantia da habitabilidade nas habitações de interesse social, porém o que se vê, na realidade, é um “processo de execução geralmente realizado em larga escala e de forma generalizada, muitas vezes sem considerar as particularidades climáticas, sociais e tecnológicas de cada região” (Machado et al., 2020).

Os baixos índices de desempenho térmico dessas edificações, além de comprometerem a habitabilidade, também comprometem a eficiência energética. Na busca por melhorar e adequar-se à realidade cultural, climática e social de cada localidade, os usuários podem ser obrigados a compensar os problemas das

Unidades Habitacionais (UH) com o uso de refrigeração, de ventilação mecânica ou mesmo com reformas que alteram o projeto inicial, comprometendo o desempenho técnico projetado (Longsdon; Fabricio, 2020; Simões; Leder, 2022; Triana et al., 2023).

Buscando assegurar a melhoria do desempenho térmico e, consequentemente, a habitabilidade e eficiência energética das edificações, as normas regulamentadoras desempenham como importantes ferramentas para avaliar tanto o desempenho quanto o consumo energético das habitações (Krelling et al., 2023). Nesse contexto, o Brasil instituiu um programa de rotulagem de eficiência energética para edificações, desenvolvido pelo INMETRO. Conforme dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022), entre 2015 e 2020, o selo Procel Edificações contribuiu para evitar o consumo de 29,25 GWh em edificações construídas no período.

Além do programa de rotulagem, foram implementadas normas regulamentadoras para garantir padrões de qualidade nas edificações. Em 2013, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) lançou a NBR 15575, intitulada Edificações Habitacionais – Desempenho. Atualmente, a norma está em sua quinta edição, com a última revisão realizada em 2021. Seu uso é obrigatório para novas edificações habitacionais no Brasil e busca sintetizar e simplificar a avaliação de diversos aspectos construtivos, incluindo o desempenho térmico, visando à ampliação de sua aplicação em todo o território nacional.

Especificamente no que diz respeito ao critério de desempenho térmico, foco da presente pesquisa, a revisão mais recente da norma trouxe alterações significativas. Essas mudanças têm o objetivo de fomentar avaliações mais precisas e alinhadas à realidade das habitações brasileiras, contribuindo para edificações mais adequadas às condições climáticas e às necessidades dos usuários.

Apesar das revisões e consequentes alterações, a norma ainda enfrenta alguns problemas, especialmente pelo fato de o Brasil ter um tamanho de proporções continentais. O país é vasto e multicultural, por isso as diferenças de clima, de cultura e de relações sociais afetam diretamente o resultado da análise de simulação do desempenho térmico (Oliveira, 2019). A norma busca simplificar e padronizar os requisitos para facilitar a sua aplicação, porém essa simplificação afeta diretamente a acurácia dos resultados.

Borges e Sabbatini (2008) afirmam ser um grande desafio a tradução das necessidades dos usuários em requisitos e critérios para que possam ser mensurados de maneira objetiva, dentro de determinadas condições de

exposição e uso, e que sejam viáveis técnica e economicamente dentro da realidade de cada sociedade, região ou país. Isso porque as exigências do usuário são variáveis, crescentes e subjetivas, o que torna sua definição complexa. (Nunes et al., 2021)

Esse problema é visto principalmente em localidades do país onde há temperaturas mais altas, de clima quente e úmido, como no Norte e no Nordeste, onde o aumento da temperatura afeta negativamente o projeto habitacional, especialmente o de interesse social, que tem dificuldade de acesso a refrigeração mecânica (Gonçalves et al., 2023).

A falta da compreensão e da consideração das particularidades climáticas, topológicas e das demais características regionais onde as edificações serão construídas resulta em diversas intercorrências que comprometem o desempenho térmico. É comum encontrar unidades habitacionais com ventilação passiva ineficiente, causada pelo posicionamento inadequado das janelas e pelo dimensionamento incorreto das aberturas, além de edificações mal orientadas no terreno. Também se observa o uso de materiais que intensificam o calor interno dos ambientes, dificultando sua dissipação, bem como a ausência de elementos de sombreamento. Esses fatores são importantes para a melhoria do desempenho térmico nas edificações, especialmente em regiões como o litoral leste do Nordeste.

Uma das principais causas dessa problemática está associada às restrições orçamentárias na construção de Habitações de Interesse Social (HIS). Contudo, o projeto arquitetônico também desempenha um papel significativo na origem desses desafios (Machado et al., 2020; Longsdon; Fabricio, 2020). Atualmente, muitas decisões de projeto são baseadas em abordagens intuitivas, experiências passadas e padrões preestabelecidos, que nem sempre se aplicam de forma eficaz à realidade do desempenho térmico das edificações (Vanini, 2018; Berleze; Brasileiro; Silvoso, 2021).

Diante disso a simulação computacional surge como uma importante ferramenta para a análise do desempenho das edificações, especialmente em sua fase de concepção, considerando a sua complexa gama de variáveis. Ao longo dos anos, uma série de pesquisadores vem estudando e afirmando a efetividade da simulação para a avaliação do desempenho térmico e energético das habitações (Matos, 2007; Silva; Almeida; Ghisi, 2017; Santos; Porto; Silva, 2020; Gonçalves et al., 2023; Mendes et al., 2023).

Assim sendo, a presente pesquisa busca analisar a influência e a eficiência das variáveis projetuais que compõem o desempenho térmico, através do método de simulação computacional descrito na NBR 15575 (ABNT, 2021), aplicado em Habitações de Interesse Social localizadas no litoral leste nordestino, mais precisamente nas cidades de Recife-PE, João Pessoa-PB e Maceió-AL. Pretende-se compreender quais variáveis mais impactam nos indicadores previstos em norma de forma a melhorar o nível de desempenho da edificação. É importante pontuar que a edificação simulada possui uma planta típica, que é reproduzida em larga escala em todo o Brasil.

As variáveis selecionadas para alteração ou introdução nas simulações dos estudos de caso incluem: os materiais da cobertura, a área de ventilação das janelas (as janelas do projeto avaliado não dispõem de sistemas de proteção contra a insolação), o uso de bandeira na porta de acesso da unidade habitacional (com o objetivo de favorecer a ventilação cruzada) e a orientação geográfica da HIS. A simulação também considera diferentes padrões de ocupação nos Ambientes de Permanência Prolongada (APP).

Sabe-se que essas variáveis são amplamente reconhecidas na literatura como fatores determinantes para o desempenho térmico das edificações (Holanda, 1976; Oliveira-Augusto; Bragança; Almeida, 2016; ABNT, 2005; Nico-Rodrigues et al., 2015; Sorgato, 2015; Hong et al., 2016; Almeida, 2016; Barbosa, 2017) e todas elas são de fácil implementação no projeto, além de serem acessíveis e viáveis durante a construção. Finalmente, busca-se analisar se essas modificações podem efetivamente melhorar o desempenho térmico das HIS, contribuindo para uma melhoria concreta na habitabilidade e na eficiência energética das unidades habitacionais.

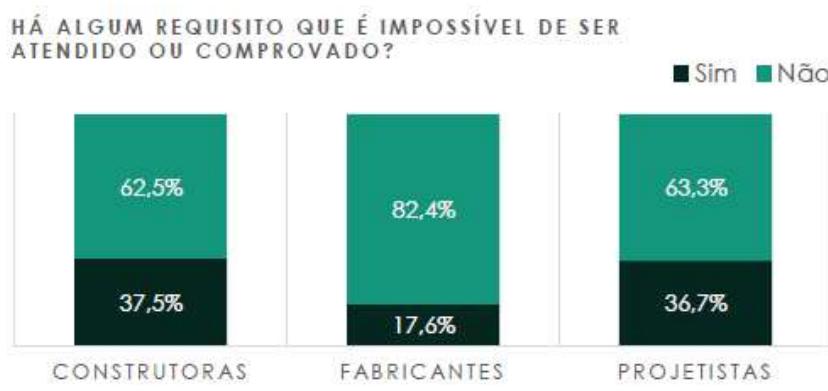
## 1.1 JUSTIFICATIVA

Conforme dito anteriormente as normas regulamentadores do desempenho energético são, ou deveriam ser, uma importante ferramenta para a avaliação e garantia do desempenho das edificações. Apesar da NBR 15575 (ABNT, 2021) já ter sido divulgada, em sua primeira versão, há mais de dez anos ela ainda é desconhecida para muitos setores da construção civil e pouco utilizada por aqueles que já a conhecem. Em 2016, a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC)

realizou um levantamento quanto à implementação da norma de desempenho, entrevistando construtores, projetistas e fabricantes. Todos pontuaram diversas dificuldades para o cumprimento dos seus requisitos.

Ainda de acordo com a CBIC (2016), na visão dos projetistas existem itens na norma que são impossíveis de serem atendidos, 36,7% deram essa opinião (figura 1). Essa avaliação dificulta e estigmatiza a aplicação dos requisitos da norma de desempenho. Eles ainda pontuaram como principais dificuldades, a falta de informações sobre os materiais e componentes construtivos, o aumento nos custos do projeto, o desconhecimento e o desinteresse sobre a norma e a falta de informações setoriais sobre o que deve ou não ser exigido. Esse é um dado alarmante, pois o projeto ocupa papel determinante na garantia do bom desempenho térmico e energético das habitações.

Figura 1 - Questionário aplicado pelo CBIC quanto aos requisitos da NBR 15575.



Fonte - CBIC (2016)

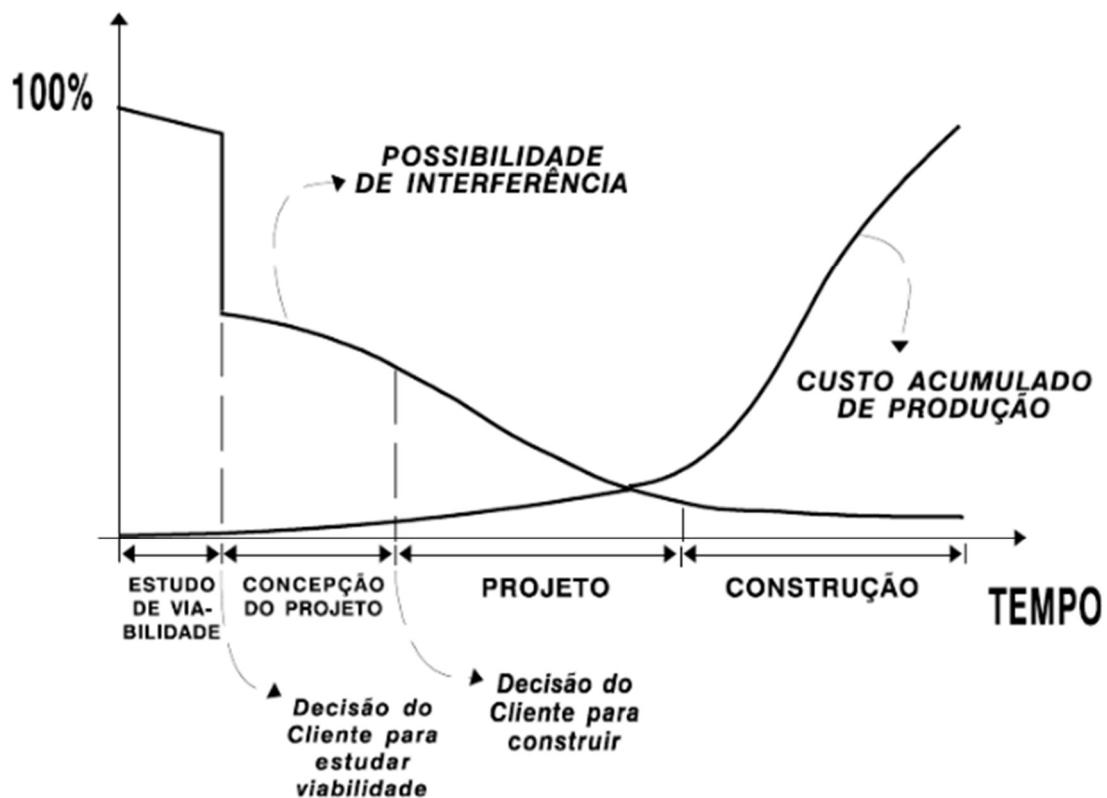
Outros pesquisadores também estudaram a aplicação da norma de desempenho nos projetos. Viana et al. (2018), após uma revisão de literatura, afirmaram que se encontraram poucos relatos de implantação da norma, em especial na gestão de projetos e que ela ainda é considerada um desafio pelos intervenientes; Belém (2018) afirma que há dificuldades para a implantação da norma e lacunas existentes para adequação do processo de projeto visando ao desempenho; Nunes et al. (2021) concluíram que os trabalhos indicaram o não atendimento aos requisitos de desempenho da norma e, consequentemente, às necessidades dos usuários.

A Norma de Desempenho propõe como um dos métodos de avaliação do desempenho térmico a simulação computacional. As simulações devem fazer parte dos primeiros estágios de concepção do projeto das edificações (visto que nesse momento há uma maior possibilidade de interferência e com um baixo custo (figura 2)) de forma a explicar e validar as decisões tomadas no processo projetual. Kjell

Anderson (2014) pontua alguns benefícios dessa prática da simulação no início das definições do projeto:

a prática recorrente dessas simulações faz o arquiteto entender de forma intuitiva como o seu projeto é afetado pela luz, calor e o fluxo de ar; as análises de desempenho podem ser feitas em alguns minutos; as simulações permitem que os arquitetos pensem na forma do uso de energia; o uso compartilhado dos softwares permite a interação da equipe com os resultados e a comparação das soluções geométricas (Anderson, 2014).

Figura 2 - Influência das decisões sobre o custo de uma edificação.



Fonte – Hammarlund & Josephson (1992), apud Melhado, S. B.; Agopyan, V. (1995)

Apesar das vantagens elencadas por Anderson (2014), a realidade das simulações de desempenho ainda é muito distante do processo projetual, especialmente nas fases iniciais de estudo preliminar, onde são tomadas importantes decisões sobre a edificação (Tamanini Junior, 2019; Brigitte; Ruschel, 2020; Costa; Alvarez; Martino, 2021).

Infelizmente, a maior parte da preocupação com o desempenho térmico final da edificação ocorre em fases mais avançadas do projeto. Nestas fases não é possível realizar alterações expressivas em parâmetros chave no desempenho térmico da edificação, como aspectos da volumetria, orientações solares dos ambientes, localização em relação ao entorno, dimensões de aberturas, entre outros. Assim, as medidas tomadas em fases posteriores dependem de materiais e tecnologias mais avançadas, e consequentemente, resultam em custos mais elevados (AIA, 2019; Nembrini; Samberger; Labelle, 2014; Samuelson et al., 2016 apud Souza; Bavaresco; Vaz; Lamberts, 2021;).

Conforme dito anteriormente as restrições orçamentárias são um dos principais fatores que acarretam os problemas atuais de baixo desempenho térmico nas HIS, porém o projeto também contribui para essa problemática. Ao aliar a concepção projetual as simulações de desempenho, tem-se uma redução no custo da edificação, pois, é possível intervir de forma pontual e eficiente nos problemas da habitação. Essa intervenção impede que futuramente sejam necessárias correções e adaptações para adequar-se as demandas dos usuários.

Logo fica clara a importância das simulações computacionais, bem como a aplicação da NBR 15575 (ABNT, 2021), visando a melhoria do desempenho térmico das HIS. Ao simular cenários variados para uma mesma edificação, é possível entender qual a melhor decisão a ser tomada sobre o projeto. Mesmo em um panorama de baixo custo seria possível fazer intervenções específicas que possam melhorar a habitabilidade, desempenho térmico e a eficiência da HIS?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficácia de intervenções no projeto das HIS (Habitações de Interesse Social) em relação ao seu desempenho térmico, com foco particular na região do litoral leste nordestino. A análise busca identificar formas de melhorar a classificação do desempenho térmico das HIS, por meio da aplicação de modificações em variáveis projetuais específicas, consideradas essenciais para o desempenho térmico de edificações nesse contexto geográfico. Espera-se que, após as modificações, as HIS se tornem mais eficientes e sustentáveis, contribuindo para um melhor desempenho térmico e menor impacto ambiental.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar o desempenho térmico de HIS baseado em um modelo original adotado pelo mercado na região do litoral leste nordestino, em especial para as cidades de Recife-PE, João Pessoa-PB e Maceió-AL.
- Avaliar a classe de desempenho térmico alcançada pelas HIS, com características comuns em todo o país, que são construídas no contexto do recorte analisado.

- Entender quais variáveis de projeto analisadas mais afetam o desempenho térmico dessas edificações, considerando o recorte geográfico em estudo.
- Investigar a possibilidade de melhorar o desempenho térmico das HIS a partir de alterações específicas nas variáveis de projeto analisadas.
- Analisar a adequação do procedimento de simulação computacional definido na NBR 15575 (ABNT, 2021) para a avaliação do desempenho térmico de habitações sociais situadas no recorte estudado.

### 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é composta por cinco capítulos estruturados de forma a apresentar, discutir e analisar o tema proposto de maneira lógica e coesa. A seguir, são descritos os principais conteúdos de cada capítulo:

#### **Capítulo 1 – Introdução**

O primeiro capítulo contextualiza o tema e apresenta os objetivos da pesquisa. A Justificativa (1.1) destaca a relevância do estudo, considerando o cenário das Habitações de Interesse Social (HIS) no Brasil e os desafios do desempenho térmico nas edificações. Na seção de Objetivos (1.2), são delineados o Objetivo Geral (1.2.1) e os Objetivos Específicos (1.2.2), que guiam o trabalho. Por fim, a Estrutura da Dissertação (1.3) oferece uma visão geral dos capítulos subsequentes.

#### **Capítulo 2 – Referencial Teórico**

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica que sustenta a pesquisa. Inicia-se com um breve histórico das Habitações de Interesse Social no Brasil (2.1), objeto do presente estudo, seu avanço ao longo da história nacional até a criação do Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) (2.1.1) e quais os principais desafios construtivos e arquitetônicos enfrentados ao longo de décadas. Na seção estratégias de projeto para o Nordeste (2.2), são discutidas variáveis projetuais relevantes e o uso de simulações computacionais.

Em seguida, a seção (2.3) aborda as normas regulamentadoras do desempenho energético, em especial a NBR 15575 (ABNT, 2021) que será utilizada na presente pesquisa. Esta seção visa aprofundar o conhecimento sobre a norma e elencar aspectos positivos e limitações do regulamento. Por fim, são abordados os conceitos de Desempenho e Conforto Térmico (2.4), importantes para a interpretação dos resultados da pesquisa, e o panorama do Desempenho Térmico em Habitações

de Interesse Social no clima quente e úmido (2.5), onde é apresentada uma revisão bibliográfica com pesquisas relevantes para o estudo e que foram realizadas na última década.

### **Capítulo 3 – Metodologia**

No terceiro capítulo, são descritos os procedimentos adotados para a realização da pesquisa. A seção inicial apresenta o Procedimento da Simulação Computacional (3.1), fundamentado na NBR 15575 (ABNT, 2021), incluindo a Caracterização Climática (3.1.1), a Ocupação e as Cargas Internas (3.1.2) e as estratégias de Ventilação Passiva e Mecânica (3.1.3).

Após o detalhamento dos aspectos gerais do procedimento utilizado, são apresentadas as questões específicas relacionadas à Avaliação da HIS Unifamiliar (3.2), que abrange as simulações do Modelo Real (MReal) e do Modelo de Referência (MRef) (3.2.1), além das alterações nos materiais da envoltória (3.2.2). Já a Avaliação da HIS Multifamiliar (3.3) adota abordagem semelhante, explorando as alterações nas variáveis projetuais (3.3.2).

### **Capítulo 4 – Resultados e Discussões**

Os resultados das simulações computacionais são apresentados e analisados neste capítulo. Inicialmente, discute-se o desempenho térmico da HIS Unifamiliar (4.1), com análises detalhadas das alterações nos materiais da envoltória do MReal (4.1.1). Em seguida, abordam-se os resultados da HIS Multifamiliar (4.2), destacando os impactos das mudanças nas variáveis projetuais (4.2.1).

### **Capítulo 5 – Conclusão**

O último capítulo sintetiza os principais achados da pesquisa, destacando as contribuições do estudo para o desempenho térmico das HIS no litoral leste nordestino. Além disso, apresenta recomendações para futuros estudos e reforça a importância de integrar simulações computacionais no processo de concepção de projetos das HIS. Essa estrutura proporciona um encadeamento claro e objetivo entre os capítulos, facilitando a compreensão dos aspectos teóricos, metodológicos e práticos abordados na pesquisa.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo busca apresentar os principais conceitos e fundamentos indispensáveis para uma melhor compreensão do presente estudo. Ele fornece a base conceitual e metodológica necessária para compreender as decisões tomadas nas diversas etapas da pesquisa e para interpretar os resultados de forma consistente e embasada. A partir da articulação das ideias aqui apresentadas, realizou-se o alinhamento entre os estudos já consolidados e os resultados encontrados na pesquisa. Dessa forma foi possível chegar em conclusões fundamentadas em argumentos respaldados pela literatura existente.

O percurso da fundamentação teórica, com encadeamento de assuntos relevantes, trata da temática da Habitação de Interesse Social com um foco maior no PMCMV; aborda as variáveis de projeto e as estratégias projetuais que visam o desempenho térmico das HIS; destaca as normas regulamentadoras do desempenho energético, em especial a NBR 15575 (ABNT, 2021); discute os conceitos de Desempenho e Conforto Térmico; e sintetiza a pesquisa bibliográfica sobre o desempenho térmico de HIS no clima quente e úmido.

### 2.1 UM BREVE HISTÓRICO DAS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL

No Brasil da República Velha (1889 – 1930), o Estado era ausente na questão da produção habitacional e na regulamentação do mercado de locação residencial. Voltado para o liberalismo, o governo privilegiava a produção privada e se recusava a intervir na questão da construção de moradias para a classe operária. Essa camada da população era obrigada a viver em um sistema de aluguel que beneficiava apenas o setor privado. Em 1920, na cidade de São Paulo, apenas 19% dos prédios eram habitados pelos seus proprietários, predominando a moradia por aluguel (Bonduki, 1994).

Objetivando diminuir os custos da mão de obra nacional, os empresários queriam a redução do custo das moradias, porém, para eles, apenas o estado seria capaz de solucionar o problema. Na era Vargas (1930 – 1945), a questão das habitações populares foi tratada de forma diferente, havia um consenso de que o

estado precisava garantir condições dignas de moradia. Dessa forma, se fez necessário o investimento em recursos público e fundos sociais (Rubin; Bolfe, 2014).

[...] o objetivo dos governos desenvolvimentistas era estimular a criação de uma solução habitacional de baixo custo na periferia, visto ser ela conveniente para o modelo de capitalismo que se implantou no país a partir de 1930, por manter baixos os custos de reprodução da força de trabalho e viabilizar o investimento na industrialização do país (Bonduki, 2004 apud Rubin; Bolfe, 2014).

Os Institutos de Aposentadorias e Pensões (IAP) foram as primeiras instituições públicas a viabilizar o financiamento de moradias. Além da questão habitacional, eles investiram em projetos estratégicos para o crescimento nacional. Segundo Bonduki (1994), a visão da questão habitacional como uma pauta social reformulou não só a arquitetura e urbanismo, mas também a forma de produção. Tem-se a introdução da lógica modernista de produção em série, padronização e pré-fabricação.

Além dos IAP's, alguns órgãos governamentais foram importantes para a introdução da produção habitacional, a exemplo do Departamento de Habitação do Distrito Federal, responsável pela construção do Conjunto Pedregulho (figura 3), no Rio de Janeiro, dos arquitetos Affonso Eduardo Reidy e Carmem Portinho. Esse projeto foi considerado um marco vanguardista para a época, pois introduziu a primeira geração de arquitetos e urbanistas modernistas do Brasil (Blumenschein et al., 2015).

Figura 3 - Conjunto Residencial Prefeito Mendes de Moraes (Pedregulho)



Fonte - Fracalossi (2011)

Ainda hoje, o Conjunto Pedregulho é um referencial para os profissionais da área devido à sua qualidade, embora na época não tenha sido considerado uma solução viável. A lógica do baixo custo, produção em série e grande escala tomou

conta do cenário da época, produzindo edificações de baixa qualidade e que não atendiam de forma satisfatória às demandas dos usuários.

Em 1940, houve uma produção de moradias para grandes cidades, que se estruturava em três categorias: “a produção popular, estruturada no loteamento nas periferias e no sistema de autoconstrução da moradia, a produção estatal direta e indireta e a produção empresarial sob o domínio do regime da incorporação imobiliária” (Wegrzynovski, 2016). De acordo Bonduki (2011) apud Wegrzynovski (2016), essa estrutura acarretou a segregação da população mais pobre e periférica.

No governo de Eurico Gaspar Dutra (1946 – 1950), adotou-se uma política populista com a criação e aprovação da Fundação Casa Popular, que tinha por objetivo a provisão de fundos para a construção de casas populares para as classes mais baixas. Esse mecanismo foi considerado muito importante para a época e perdurou até os governos de Jânio Quadros e João Goulart (1961 – 1964). Nesse período, sua atuação foi intensificada e foi criado o Plano de Assistência Habitacional, que depois foi chamado de Instituto Brasileiro de Habitação (IBH) (Wegrzynovski, 2016).

Apesar de sua importância, a Fundação Casa Popular sofreu com uma série de problemas, como a carência de recursos, a desarticulação com outros órgãos e a falta de uma ação coordenada para enfrentar, de forma global, o problema da habitação. O fracasso dessa instituição como órgão central para o gerenciamento da política habitacional não muda o fato de sua relevância para o reconhecimento da obrigação do Estado no enfrentamento do problema da falta de moradias (Bonduki, 1994).

Em 1964, após o golpe militar, é criada a primeira política habitacional efetiva, válida para todo o território nacional, com regras e investimentos estabelecidos e mecanismos que definiam tanto o planejamento como a operacionalização da construção das habitações populares. O Sistema Financeiro de Habitação (SFH), assim como o Banco Nacional de Habitação (BNH), funcionava como banco social com recursos do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) e do Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimos (SBPE), este último destinado a rendas superiores (Balbim; Krause, 2014).

Faziam parte do subsistema social como responsáveis pela execução das obras as Companhias Habitacionais Estaduais e Municipais (COHABs), as Cooperativas Habitacionais (COOPHABs) e Caixas de Pensão. Mesmo com uma

importante produção de habitações nesse período, o quantitativo de moradias entregues estava muito aquém da real necessidade gerada pela aceleração da urbanização.

No período de funcionamento do BNH (1964-1986), foram financiadas 25% das novas moradias no país, porcentagem baixa frente à demanda por habitação, historicamente maior nas classes mais pobres, revelando a insuficiência e o descolamento da ação pública (Balbim; Krause, 2014 apud Brasil, 2009).

A lógica utilizada pelo BNH era de uma construção seriada e massificada (figura 4) de forma a tentar atender à demanda por moradia, porém, além de não atender ao quantitativo necessário, essa lógica fez com que a qualidade da habitação caísse de forma acentuada.

Figura 4 - Conjunto Habitacional General Dale Coutinho



Fonte - Novo milênio (2008)

[...] as residências construídas utilizavam uma solução arquitetônica padronizada, muitas vezes de baixa qualidade e as áreas de construção eram afastadas dos equipamentos urbanos, em um processo de periferização, pois a ideia era estimular a criação de uma solução habitacional de baixo custo, visto ser ela conveniente para o modelo de capitalismo que se implantou no país (Bonduki, 2017 apud Hokama; Oliveira; Matias, 2022).

Apesar do crescimento econômico na primeira metade do período compreendido entre 1964 e 1986, a segunda metade foi marcada por uma grave crise econômica que levou ao fechamento do BNH em 1986. Na década de 1980, as ações relativas ao problema da moradia ficaram centradas nos estados e municípios, as condições de vida nas cidades foram se deteriorando e o problema da moradia foi se

agravando em um contexto em que a população não podia se manifestar politicamente.

A partir da luta e mobilização da sociedade em 1983, foi enviado ao congresso nacional o Projeto de Lei de Desenvolvimento Urbano (PL no 775/1983), este considerado o “pai” do Estatuto das Cidades e que também fundamentou o capítulo da política urbana na Constituição de 1988. Esse momento demonstra a importância da resistência crítica dos movimentos sociais, fundamentais para o avanço da legislação urbana (Balbim; Krause, 2014).

A Nova República trouxe um novo cenário para a realidade nacional, as atribuições do BNH foram transferidas para a Caixa Econômica Federal e a Política de Habitação passou a fazer parte do Ministério de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Em 1988, com a criação da Constituição Federal, houve uma descentralização das demandas das habitações de interesse social, onde os estados e municípios passaram a ser responsáveis por sua implantação e efetivação (Wegrzynovski, 2016).

O governo de Itamar Franco (1992 – 1994) voltou a investir na política de habitação, criando os programas Habitar Brasil e o Morar em Município, todavia a burocracia para que os municípios conseguissem o financiamento acarretou a falência desses programas. O governo de Fernando Henrique Cardoso manteve o Habitar Brasil e criou a Secretaria de Política Urbana vinculada ao Ministério do Planejamento. Eles foram responsáveis pela instauração de novos programas, como o Pró-moradia, Apoio à produção, carta de crédito individual e associativa e o Programa de Arrendamento Residencial (Wegrzynovski, 2016).

Em 2003, com o primeiro governo de Luís Inácio Lula da Silva, houve a criação do Ministério das cidades, antiga reivindicação dos movimentos sociais de luta pela reforma urbana e fato inovador por ter superado o recorte setorial da habitação, do saneamento e dos transportes para integrá-los ao uso e ocupação do solo. O Ministério das Cidades buscou uma política nacional de desenvolvimento urbano em consonância com todos os entes federativos, demais poderes do estado e a participação da sociedade (Ferreira, 2015).

Em 2004, é aprovada a Política Nacional de Habitação e, em 2005, foi criado o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social (FNHIS). Neste mesmo ano, houve um expressivo aumento nos investimentos para financiamento de habitações para a população de baixa renda. Em 2007, o Governo Federal implanta o Programa

de Aceleração de Crescimento (PAC), que trouxe um alto investimento para o setor de habitação e, em 2009, é criado o Programa Minha Casa, Minha Vida, objeto de estudo deste trabalho e que será melhor discutido na seção seguinte.

### 2.1.1 O Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV)

No dia sete de julho de 2009, passou a vigorar a Lei Federal nº 11.977, que instituía o Programa Minha Casa, Minha Vida, cujo objetivo era criar mecanismos para a produção e aquisição de novas moradias ou requalificação de imóveis urbanos e para a produção ou reforma de habitações rurais para famílias de classes sociais mais baixas. A ideia era subvencionar o valor do imóvel (até 90% para o público de baixa renda – faixa 01) e os juros (com o uso do FGTS).

O PMCMV também tratava da regularização fundiária de assentamentos por meio de dois programas: o Programa Nacional de Habitação Urbana (PNHU) e o Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR). O PNHU visava a atender às demandas de moradias no meio urbano e tinha por principais requisitos a localização do terreno inserido na malha urbana ou em área de expansão, a adequação ambiental, a disponibilidade de infraestrutura básica e o comprometimento do poder público em aumentar a disponibilidade de equipamentos que beneficiassem os moradores (Ferreira, 2015).

A disponibilidade e a gestão dos recursos empregados no programa eram da Caixa Econômica Federal, que, além de dar incentivos aos usuários, concedia uma redução da carga tributária para as construtoras. A ideia inicial do Governo Federal era construir 1 milhão de moradias para famílias com renda de até dez salários-mínimos, um investimento da ordem de R\$ 34 bilhões. Essa meta foi cumprida e 483 mil habitações foram entregues à população pertencente a faixa 1 (renda de até três salários-mínimos, R\$ 1.395,00 na época) (Balbim; Krause, 2014; Araújo, 2016).

Em 2011, no governo de Dilma Rousseff, foi instituída a fase 2 do Programa Minha Casa, Minha Vida, cuja meta era construir 2 milhões de moradias até o ano de 2014. Desse total, 60 % seriam destinadas à faixa 1; 30%, à faixa 2 e 10%, à faixa 3. Além da elevação da meta para a classe de menor poder aquisitivo, a etapa 2 do PMCMV aumentou a renda nas faixas a serem subsidiadas e passou a atender municípios com 100 a 50 mil habitantes. Além do alto investimento na produção de

moradias, o programa foi responsável por fomentar 1,3 milhão de empregos em todo território nacional (Ramos; Noia, 2015; Araújo, 2016).

Em 2015, no segundo governo de Dilma Rousseff, foi instituída a fase 3 do PMCMV. Novamente, o governo reajustou as faixas de renda das famílias a receberem subsídios e criou um grupo intermediário entre as faixas 1 e a 2, mas o programa não teve grande êxito devido à crise econômica e ao impeachment da presidente. Em 2020, no governo Bolsonaro, o PMCMV foi extinto, dando lugar ao Programa Casa Verde e Amarela (PCVA), que tinha objetivos similares ao PMCMV, porém com um orçamento bem menor, de acordo com um estudo

[...] realizado pelo Dieese em parceria com a Fundação Friedrich Ebert Stiftung Brasil, indicam que o governo encolheu o orçamento do programa habitacional Casa Verde e Amarela de R\$ 1,5 bilhão em agosto de 2020, quando foi criado, para R\$ 27 milhões em 2021 (DIEESE, 2021 apud Câmara, 2023).

De acordo com o Ministério da Economia (2020), o PMCMV entregou mais de 5 milhões de moradias, soma-se mais de R\$ 129,8 bilhões em subsídios financeiros e tributários e outros R\$ 98 bilhões em subsídios do FGTS (preços de 2019). Apesar da importante contribuição do programa para solucionar o problema habitacional do país, de acordo com o relatório de avaliação do PMCMV elaborado pelo Ministério da Economia (2020),

o déficit habitacional quantitativo está estagnado desde 2015 perto de 6 milhões de domicílios. Acredita-se que o PMCMV tenha desempenhado um papel relevante para conter esse indicador no nível atual, porém é pouco crível que tenha sido muito eficiente nessa tarefa, uma vez que os critérios de seleção dos beneficiários não contemplam a necessidade de pertencer ao déficit (Ministério da Economia, 2020).

Nabil Bonduki (2014) já afirmava que a projeção do Governo Federal seria insuficiente para acabar com o déficit habitacional, pois, de acordo com os dados de 2009, a faixa 01 (que representava uma renda de até 3 salários-mínimos) concentrava 91% do déficit, mas recebeu 40% da meta global do programa, o que correspondia a apenas 6% do déficit acumulado. Apesar do aumento expressivo no quantitativo de habitações da faixa 1 a serem entregues pela fase 2 do PMCMV, percentualmente, esse número ainda estava muito aquém do total do déficit para a referida faixa de renda e distante da realidade contemplada nas outras duas faixas (tabela 1).

Tabela 1 - Metas do PMCMV e déficit habitacional acumulado por faixas de renda

PMCMV I					
Faixas de renda*	Déficit acumulado (em %)	Metas do PMCMV I (em %)	Déficit acumulado** (em mil)	Metas do PMCMV I (em mil)	% Déficit acumulado atendido
Faixa 1	91	40	6550	400	6
Faixa 2	6	40	430	400	93
Faixa 3	3	20	210	200	95
Total	100	100	7190	1000	14
PMCMV II					
Faixas de renda*	Déficit acumulado (em %)	Metas do PMCMV II (em %)	Déficit acumulado*** (em mil)	Metas do PMCMV II (em mil)	% Déficit acumulado atendido
Faixa 1	72	60	4698,76	1440	31
Faixa 2	15	30	941,05	720	77
Faixa 3	13	10	850,19	240	28
Total	100	100	6490	2400	37

Fonte - Klintowitz (2016)

\* As faixas de renda do Programa MCMV não são as mesmas faixas estabelecidas pela metodologia da Fundação João Pinheiro (FJP) para coleta dos dados. Enquanto o MCMV trabalha com a faixa 2 para famílias com rendimento entre 3 e 6 SM, a FJP faz o cálculo do déficit para famílias com rendimento entre 3 e 5 SM. Optou-se por estabelecer esta relação como proxy, já que estas são as únicas informações disponíveis. No entanto, as análises precisam considerar esta pequena distorção.

\*\* com base no déficit habitacional 2000 (FJP, 2004).

\*\*\*com base no déficit habitacional 2010 (FJP, 2013).

Além do problema do déficit habitacional, o PMCMV enfrenta outras problemáticas, como a baixa qualidade do produto entregue (figura 5), questão que vem sendo estudada ao longo dos anos por vários pesquisadores (Carraro; Dias, 2014; Queiroga; Aquino Filho, 2018; Ferreira; Zambrano, 2019; Sant'ana; Poznyakov, 2020). Bonduki (2014) afirmou que embora o programa tenha sido bem-sucedido na questão da retomada da produção habitacional, ele enfrentou o problema da moradia, predominantemente “com a construção de casinhas e prediozinhos nas periferias urbanas, com projetos de baixa qualidade arquitetônica e urbanística”.

Figura 5 - Manifestações patológicas em habitações do PMCMV - (a) Trincas nos muros (b) Eflorescência



Fonte - Queiroga; Aquino Filho (2018)

Apesar das décadas que separam a criação dos programas habitacionais do BNH e o Minha Casa, Minha Vida, a lógica construtiva é a mesma: há uma valorização da produção em série, da padronização e da pré-fabricação (figura 6), sempre na

busca por quantidade e baixo custo em detrimento da qualidade (Blumennschein et. al, 2015; Logsdon; Fabricio, 2020). Essa execução em larga escala acaba por negligenciar aspectos importantes da edificação, como o clima local, as questões sociais e culturais da população, os materiais disponíveis no lugar onde será inserida a moradia, o bom desempenho dos sistemas construtivos e a eficiência energética (Machado; Sirtuli; Rodrigues; Alvarez, 2020; Berleze; Brasileiro; Silvoso, 2021; Oliveira; Alves, 2021).

Figura 6 - Edificações entregues pelo PMCMV



Fonte - Ministério das cidades (2023)

Todas essas características elencadas trouxeram para a realidade das Habitações de Interesse Social, incluindo as do PMCMV, uma padronização do projeto arquitetônico. A mesma solução projetual é utilizada em todo território nacional, independente das características regionais onde a moradia será construída (Villa; Saramago; Garcia, 2015; Mororó; Romcy; Cardoso; Neto, 2016; Simões, 2018; Logsdon; Fabricio, 2020).

Na esteira desses problemas, o desempenho e o conforto térmico das habitações entregues pelo PMCMV são afetados de forma negativa. O Ministério da Economia (2020), em seu relatório de avaliação do programa, aponta como esse vem sendo um dos principais entraves do Programa para que ele possa atender às demandas do usuário e, consequentemente, às questões de habitabilidade das edificações entregues.

Alguns estudos técnicos também apontam problemas de conforto térmico, acústico e de iluminação natural nas unidades habitacionais e o não atendimento a especificidades climáticas regionais. Com relação ao conforto térmico, a falta de ventilação é apontada como problema em algumas das zonas climáticas. [...] Sobre a configuração monótona, o texto da Portaria nº 660/2018 explica que é desejável que o projeto do empreendimento preveja diferentes tipos de implantação e tipologias de edificação (casas térreas, sobrados, casas sobrepostas e edifícios de apartamentos), porém não há determinação quanto a este aspecto. [...] Quanto ao atendimento de especificidades regionais de conforto ambiental, o texto contém instruções para que o projeto do empreendimento adote estratégias para proporcionar melhores condições de conforto ambiental térmico, de acordo com as condições climáticas e características físicas e geográficas na zona bioclimática do sítio físico selecionado. Mais especificamente, determina que em unidades localizadas nas zonas bioclimáticas mais quentes, haja garantia de ventilação cruzada (escoamento de ar entre pelo menos duas fachadas diferentes, opostas ou adjacentes) e de ventilação noturna com segurança em ambientes de longa permanência, que são dormitórios e sala, e que a pintura das paredes externas seja predominantemente em cores claras, com cores escuras admitidas apenas nos detalhes (Ministério da Economia, 2020).

Em 13 de julho de 2023, o Governo Federal (Luís Inácio Lula da Silva) sancionou a Lei nº 14.620, que retoma o Programa Minha Casa, Minha Vida, cuja meta é entregar 2 milhões de moradias até 2026. A nova lei altera as faixas de renda das famílias (tabela 2), diminui as taxas de juros de financiamento dos imóveis, amplia o subsídio pago para ajudar na compra da moradia e eleva o valor final do imóvel a ser financiado.

Tabela 2 - Faixas de renda do PMCMV para famílias moradoras de áreas urbanas

<b>FAIXAS DE RENDA DO NOVO PMCMV</b>	
Faixa Urbano 1	renda bruta familiar mensal até R\$ 2.640,00
Faixa Urbano 2	renda bruta familiar mensal de R\$ 2.640,01 até R\$ 4.400,00
Faixa Urbano 3	renda bruta familiar mensal de R\$ 4.400,01 até R\$ 8.000,00

Fonte - Brasil (2023)

Para adquirir esses imóveis, as famílias da Faixa 01 devem se cadastrar na prefeitura da cidade onde residem e aguardar o sorteio das unidades disponíveis; nas faixas 02 e 03, as famílias devem escolher o imóvel e fazer a simulação do financiamento. De acordo com o Senado Federal, a nova lei também acaba com a exclusividade da Caixa Econômica Federal como operadora do PMCMV. Com a mudança, bancos privados, digitais e cooperativas de crédito poderão operar no programa, desde que forneçam informações sobre as transferências ao Ministério das Cidades.

A nova lei do PMCMV vem com algumas alterações importantes na tentativa de melhorar a qualidade das habitações entregues aos usuários e,

consequentemente, a melhoria do desempenho térmico e da eficiência energética das edificações. Destaque para o Art. 2º (Objetivos do Programa), Parágrafo IV –

estimular a modernização do setor habitacional e a inovação tecnológica com vistas à redução dos custos e prazos de produção e entregas, à sustentabilidade ambiental, climática e energética e à melhoria da qualidade da produção habitacional, com a finalidade de ampliar o atendimento habitacional (Brasil, 2023).

De forma mais objetiva, a lei acompanha a Portaria Nº 725 de Julho de 2023, que versa sobre as especificações urbanísticas, de projeto e de obra. Destaque para o Art. 3º (Diretrizes), Parágrafo II –

os projetos dos empreendimentos habitacionais devem ser elaborados visando à promoção de condições dignas de habitabilidade, observando o adequado atendimento a critérios de mobilidade urbana, acessibilidade, sustentabilidade, conforto ambiental e eficiência energética, diversidade de acesso a comércios e serviços, bem como sua conectividade com o entorno (Ministério das Cidades, 2023).

O Anexo II da mesma Portaria ainda descreve as especificações do projeto do empreendimento habitacional, de acordo com a tabela I, item b,

Devem ser atendidas as especificações de desempenho em empreendimentos com base na NBR 15.575 vigente. Podem ser utilizadas as Fichas de Avaliação de Desempenho (FAD) de sistemas convencionais, como dado de entrada quanto ao desempenho potencial esperado, bem como para manter evidências dos meios definidos para o atendimento dos requisitos da ABNT NBR 15.575 (Ministério das Cidades, 2023).

Todas essas mudanças têm como objetivo corrigir os problemas associados à baixa qualidade dos projetos arquitetônicos das Habitações de Interesse Social (HIS) e melhorar o desempenho térmico e energético dessas construções.

## 2.2 ESTRATÉGIAS DE PROJETO PARA O NORDESTE: AS VARIÁVEIS DE PROJETO E A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

De acordo com Farrely (2014), na arquitetura existem princípios universais que transcendem épocas ou estilos, estes são divididos em três grupos: a geometria, a forma e o percurso. A geometria descreve o ordenamento e a organização dos espaços, a forma expressa o conceito da arquitetura e o percurso define as interações que o usuário terá com a edificação. Ainda para a autora o projeto arquitetônico de uma edificação percorre um longo caminho que envolve conceito, o uso do espaço, as exigências funcionais da edificação e de seu entorno, o uso de materiais, as estratégias de calefação, refrigeração, ventilação e iluminação.

As decisões referentes a esse tipo de questões precisam reforçar o conceito da arquitetura inicial. É essencial que o conceito principal seja preservado

durante o projeto e que o processo de tomada de decisão não comprometa a integridade da ideia (Farrelly, 2014).

Na etapa do projeto os projetistas devem solucionar as diversas demandas envolvidas na edificação. Esta etapa é caracterizada pela interlocução do projetista com o cliente, pelas demandas e características de terreno, clima, tecnologia e mão de obra, além das referências arquitetônicas que serão trabalhadas no processo de criação (Ceron, 2011 apud Moraes; Picchi; Granja, 2016).

Para Brown e Dekay (2004), as decisões tomadas no estudo preliminar do projeto afetam de forma determinante o consumo energético e por consequência o desempenho de uma edificação. Os autores explicam que as estratégias de projeto são muito importantes na tomada de decisão sobre o conceito, eles as classificam de acordo com os elementos arquitetônicos, como: a rua, quadras, espaços internos, janelas e paredes e pelo relacionamento entre esses elementos e as camadas e zoneamentos da edificação.

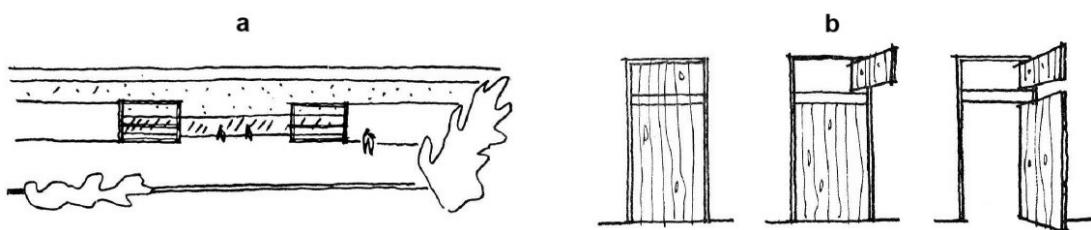
Este enfoque foi usado porque os elementos arquitetônicos são o denominador comum das questões consideradas durante os estudos preliminares. Eles são aquilo que um projetista manipula para desenvolver um conceito de projeto. Por exemplo, ao considerar a função das janelas, o projetista pode encontrar estratégias de aquecimento, esfriamento e iluminação natural reunidas sob as categorias de orientação, tamanho, localização e forma das janelas. Estas estratégias podem ser consideradas conjuntamente ou com outras considerações típicas de fenestração, como as vistas proporcionadas ou a composição das fachadas (Brown; Dekay, 2004).

As questões relacionadas a eficiência energética, ao desempenho e a relação da edificação com o clima e o contexto em que se insere ganharam grande enfoque ao final do século XX, com o aumento no aparecimento de eventos causados por mudanças climáticas (Zaccara, 2010). Porém, antes dessa visão globalizada da necessidade de um “construir mais sustentável”, a região Nordeste já apresentava alguns desses ideais desde a década de 1930, expressos nas obras de Luís Nunes, Mario Russo e seus colaboradores (Woensel, 2016).

O legado construído por esses arquitetos foi perpassado ao longo das décadas e teve continuidade no trabalho de Acacio Gil Borsoi e Delfim Fernandes Amorim, estes que foram grandes expoentes deste seguimento, e ao final culminou na obra de Armando de Holanda, o “Roteiro para Construir no Nordeste: arquitetura como um lugar ameno nos trópicos ensolarados” (Naslavsky, 2003). Apesar de seu caráter mais genérico e objetivo, este livro influenciou e ainda hoje influencia arquitetos a projetar de forma mais eficiente para a realidade do clima nordestino, em especial para a região litorânea (Woensel, 2016; Vieira; Morais, 2023).

Ao longo do Roteiro (1976), Armando de Holanda descreve nove princípios importantes para construir no clima quente e úmido do Nordeste. No presente trabalho três desses princípios foram escolhidos como variáveis projetuais a serem testadas nas simulações. O primeiro deles é chamado de “abrir as portas”, o autor propõe a integração dos espaços internos e externos e explica a necessidade de manter as esquadrias abertas e protegidas de forma a permitir o fluxo de entrada e saída do ar (figura 7.a). Ele recomenda o uso de bandeiras nas portas (figura 7.b), facilitando a renovação do ar nos ambientes.

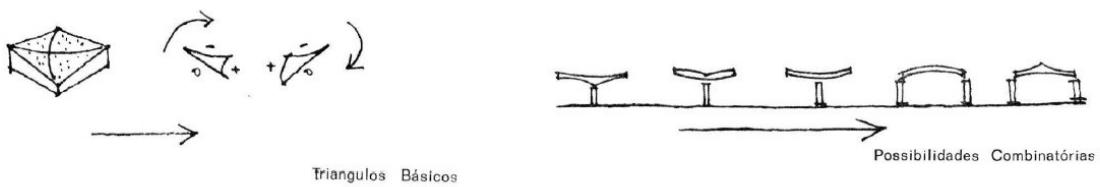
Figura 7 - a. Portas abertas para o exterior; b. Uso de bandeiras nas portas.



Fonte - Holanda (1976)

O segundo princípio analisado nesta pesquisa é denominado “construir com pouco”. O autor propõe o uso de materiais “refrescantes” que busquem amenizar os extremos de luz e temperatura dos trópicos. Ele ainda pontua que se deve evitar a utilização de uma grande variedade de materiais e propõe a racionalização e a padronização de componentes (figura 8) e da construção de uma forma geral, levando a uma redução dos custos.

Figura 8 - racionalização dos componentes.



Fonte - Holanda (1976)

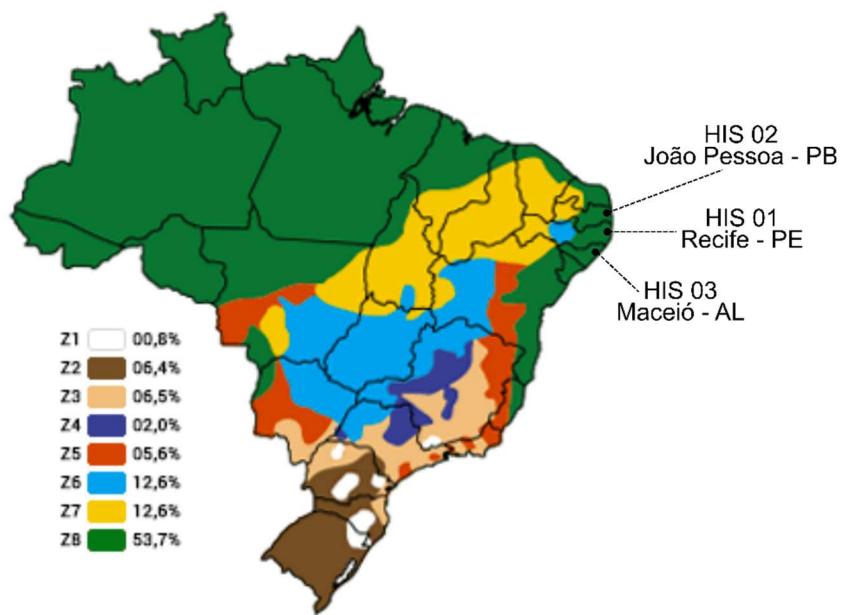
Nas simulações da pesquisa utilizou-se materiais isolantes buscando amenizar a insolação recebida pelas coberturas. Atualmente os isolantes são a solução mais utilizada para reduzir a alta condutividade térmica dos materiais comumente utilizados na construção civil (Oliveira-Augusto; Bragança; Almeida, 2016).

Esses materiais, de diferentes tipos, densidades e espessuras, permitem que a envolvente, cobertura, fundações e paredes enterradas sejam isoladas de

modo a garantir a funcionalidade das instalações, o conforto térmico dos ocupantes e a redução das emissões de carbono (Oliveira-Augusto; Bragança; Almeida, 2016).

É importante entender como esses materiais se comportam na realidade do litoral nordestino, especialmente porque a NBR 15575 (ABNT, 2021) impõe seu uso no modelo de referência da Zona Bioclimática 8 (ZB), zona esta que inclui o recorte estudado (figura 10). Este zoneamento foi definido na NBR 15220-3 Desempenho térmico de Edificações (ABNT, 2005), porém esta norma foi revisada em dezembro de 2024, alocando a região do estudo para a ZB 5A (clima quente e úmido). A caracterização do clima será detalhada na seção 3.1.1. Algumas das pesquisas apresentadas na seção 2.5 abordam o uso desse material e sua relação com o clima da área em estudo.

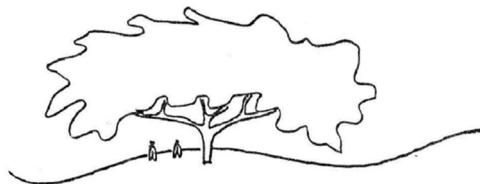
Figura 9 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro segundo a NBR 15575 (ABNT, 2005) e localização das HIS do estudo.



Fonte – Adaptado de UGREEN (2021)

O terceiro princípio aqui abordado é chamado de “Construir Frondoso” (figura 9), este último tópico sintetiza os demais. O autor aborda a importância de uma arquitetura livre e espontânea, que seja uma clara expressão da cultura do local. Ele defende a “criação de espaços com conteúdo humano, sensibilidade social e adequação ao meio”.

Figura 10 - Construir Frondoso.



Fonte - Holanda (1976)

Apesar da subjetividade do conceito, este foi analisado através da variável de ocupação. Esta variável reflete o comportamento social e o uso que as famílias fazem da habitação. O comportamento do usuário desempenha um papel fundamental no desempenho térmico e energético das edificações, pois suas interações com os diversos sistemas construtivos influenciam a maneira como o ambiente interno interage com o meio externo (Sorgato, 2015; Hong et al., 2016).

As preferências dos usuários podem alterar-se de acordo com as condições climáticas externas a edificação. Desta forma, as possíveis interações dos usuários em relação a abertura de janelas e persianas, acionamento do sistema de iluminação e condicionamento artificial são de extrema importância na avaliação do desempenho termoenergético das edificações. Estudos tem mostrado que o comportamento dos usuários pode resultar em variações importantes no desempenho termoenergético das edificações (Hoes et al., 2009; Schweiker e Shukuya, 2010 apud Sorgato, 2015).

A variável de ocupação é um desafio para as simulações de desempenho, pois, as normas tendem a padronizar e simplificar o comportamento do usuário, porém esta é uma variável complexa e que depende de fatores aleatórios (Eli et al., 2021). Devido as incertezas associadas aos dados de entrada relacionados a ocupação, os resultados da simulação geralmente variam do consumo de energia real do edifício (Hong, 2015). Egularas-Martínez et al. (2014) apud Hong et al. (2016) "sugeriram que a inclusão ou exclusão do comportamento do ocupante em simulações resultou em diferenças de até 30% nos resultados".

Assim como no Roteiro para Construir no Nordeste a NBR 15220-3 Desempenho térmico de Edificações (ABNT, 2005) apresenta algumas diretrizes construtivas para as habitações localizadas nas diversas zonas bioclimáticas do Brasil. É importante pontuar que apesar de haver uma revisão desta norma, suas diretrizes ainda são utilizadas em diversas edificações.

Dentre as diretrizes construtivas para a ZB 8 a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) recomenda que as aberturas para ventilação sejam grandes e sombreadas. Diante disso a abertura das ventilações foi escolhida como a quarta variável a ser simulada, pois,

as janelas, como componentes da edificação, representam em muitos casos a parte da edificação que possui menor isolamento térmico da envoltória e, portanto, são um elemento-chave para o alcance do menor consumo de energia em edifícios, sendo também as responsáveis por grande parte das perdas e ganhos de calor no ambiente (Nico-Rodrigues et al., 2015).

A norma ainda apresenta como estratégia de condicionamento térmico passivo a ventilação cruzada permanente; esta variável será analisada em conjunto com a estratégia do uso de bandeiras nas portas externas.

A quinta variável selecionada foi a orientação solar da edificação, considerando que “o ganho de calor devido à absorção solar é uma das principais causas de desconforto térmico em climas tropicais” (Corbella; Yannas, 2003 apud Barbosa, 2017). A orientação do edifício determina a quantidade de radiação solar recebida, tornando a envoltória um elemento crucial para otimizar ou comprometer o desempenho térmico e energético da construção (Bekouche et al., 2013). A locação e orientação da edificação no terreno é uma das primeiras decisões de projeto que deve ser tomada, pois proteger os Ambientes de Permanência Prolongada (APP) da incidência direta do sol reduz significativamente a carga térmica no interior do edifício (Barbosa, 2017).

Ao final foram escolhidas cinco variáveis projetuais a serem simuladas no estudo. Estas foram divididas em variáveis de geometria, de materiais, de ocupação e de orientação (quadro 1). É importante pontuar que mesmo após o Roteiro para Construir no Nordeste e outras literaturas que abordam a arquitetura bioclimática e mesmo com o avanço das tecnologias e das simulações, o que se vê atualmente ainda é um cenário de edificações desconectadas da realidade local, em especial no que concerne as questões climáticas (Vieira; Morais, 2023).

Quadro 1 - Varáveis de projeto utilizadas na simulação no presente estudo.

VARIÁVEIS DE PROJETO DA SIMULAÇÃO	PARÂMETRO ALTERADO
GEOMÉTRIA	ADIÇÃO DE BANDEIRA NAS PORTAS EXTERNAS (VENTILAÇÃO CRUZADA)
	AUMENTO DA ÁREA DE VENTILAÇÃO DAS JANELAS DA FACHADA
MATERIAIS	INSERÇÃO DE MATERIAL ISOLANTE NA COBERTURA
OCUPAÇÃO	ALTERAÇÃO NAS CARGAS INTERNAS BASEADO NO COMPORTAMENTO DE USUÁRIOS LOCAIS
ORIENTAÇÃO	ALTERAÇÃO DA POSIÇÃO DO NORTE DA EDIFICAÇÃO

Fonte - Autor.

A simulação computacional se apresenta como uma importante ferramenta para reparar este problema, pois a partir dela é possível simular dinâmicas de fenômenos de calor, de luz, ventilação, massa, som, condições climáticas, interação com o entorno, condicionamento ambiental e tantas outras variáveis que compõem a complexa relação da edificação com o meio (Anderson, 2014; Sorgato, 2015). Essa elaborada tarefa do cálculo de interações entre a edificação e o ambiente externo, podendo ser simulado vários cenários para o mesmo edifício, auxilia na tomada de decisões relativas à eficiência e ao desempenho do projeto, especialmente na fase de concepção (Turrin; Buelow; Stouffs, 2011; Celani, 2012; Oliveira; Rêgo; Frutuoso; Rodrigues, 2016; Salgado; Silvoso; Grabois, 2020).

A partir dessa ferramenta é possível simular diferentes estratégias para melhorar o desempenho e a eficiência da edificação, considerando que os simuladores são capazes de analisar e apresentar uma série de indicadores, como a média da temperatura de bulbo seco, a temperatura operativa nas diversas zonas térmicas da edificação, a carga térmica de refrigeração (todos esses indicadores foram utilizados no presente estudo) e tantos outros dados. Apesar da simulação computacional ser uma ferramenta poderosa, rápida e de baixo custo,

Hensen e Lamberts (2011) e Korolija e Zhang (2013) indicaram a alta propensão a erros neste processo, salientando a importância de mão-de-obra altamente qualificada e experiente no domínio de softwares de alta complexidade para que haja confiabilidade nos resultados obtidos por meio de simulação [...] Tais dificuldades se refletem no hábito apontado por Dogan e Reinhart (2013), no qual a simulação computacional, quando utilizada, ocorre apenas para avaliar conformidades de desempenho de projetos em suas fases finais de concepção (Garcia et al., 2019.).

Hong et al. (2016) observam que, ao comparar o consumo de energia estimado durante a fase de projeto com o consumo real medido em edifícios certificados pelo LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) nos Estados Unidos, foi identificado um erro significativo (erro quadrático médio de 18%) em um grupo de 62 edificações. Esse desvio de previsão é ainda mais acentuado em edificações de baixo consumo energético que utilizam estratégias passivas, com ventilação natural, e dependem em maior medida das interações dos ocupantes. A compreensão desses pontos de fragilidade, levando em conta as limitações da ferramenta, é importante para buscar a realização de uma simulação com maior acurácia.

### 2.3 NORMAS REGULAMENTADORAS DO DESEMPENHO ENERGÉTICO E A NBR 15575: EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – DESEMPENHO

De acordo com a Empresa de Pesquisa em Energia (EPE) em seu relatório do balanço energético nacional (2023), o consumo de energia elétrica aumentou 2,3% em 2022 e a projeção é de um aumento médio de 2,2% ao ano até 2030 (EPE, 2021). As edificações brasileiras, residenciais, comerciais e públicas, consomem 50% da eletricidade do país (EPE, 2022), portanto são peças-chaves na redução da utilização de energia, na redução da emissão de CO<sub>2</sub> e no combate às alterações climáticas (Krelling et al., 2023).

Essa alta demanda por energia também representa uma oportunidade para a implementação de medidas que visam a diminuir esse consumo. Em relação ao desempenho térmico, essa redução de consumo é ainda mais atrativa na realidade dos usuários de habitações de interesse social, visto que há uma dificuldade financeira por parte dessa população para adquirir um sistema de climatização artificial (Soares; Silva, 2013).

As normas regulamentadoras do desempenho energético surgem como uma importante ferramenta para auxiliar na redução do consumo de energia das edificações. De acordo com Krelling et al. (2023), muitas vezes essas normas são a única possibilidade existente para a avaliação do consumo energético nas edificações, bem como do seu desempenho. Elas devem ser claras e compreensíveis para técnicos e usuários. Além das questões do consumo, estas normas devem considerar o conforto daqueles que irão usar o espaço.

Apesar de sua importância, os códigos de eficiência energética para edificações ainda enfrentam certa resistência para sua implementação, como no exemplo do Brasil, pontuado na Justificativa deste trabalho, e no contexto da América Latina e do Caribe.

Nas grandes áreas urbanas dos países em desenvolvimento da América Latina e do Caribe, os códigos de eficiência energética para edificações raramente são desenvolvidos e, mesmo onde estão disponíveis, não são implementados. Os edifícios nestas regiões necessitam de energia principalmente para refrigeração, com exceção do sul da Argentina e do Chile. [...] Além disso, na maioria dos casos, o governo toma as decisões relacionadas com os regulamentos, com pouca ou nenhuma participação de entidades não governamentais. Como resultado, há um desenvolvimento lento dos regulamentos nestas regiões em comparação com aquelas com uma abordagem integrada e em consenso. (Fossati et al., 2016)

Geralmente, as normas que regulamentam o consumo e o desempenho das edificações são baseadas em duas metodologias, a definição do resultado mínimo a ser alcançado ou a certificação de níveis de eficiência. O primeiro método geralmente compõe as legislações que orientam as novas construções e a reforma de edifícios existentes (Fossati et al., 2016).

Em meados da década de 1970, começam a aparecer na Europa as primeiras normas energéticas com o objetivo de diminuir o alto consumo de energia causado pela necessidade de aquecimento dos edifícios. Em 1975, nos Estados Unidos, é publicada a *ASHRAE Standard 90*, que tem por objetivo informar os padrões mínimos aceitáveis para a eficiência energética de edificações. Em 2001, ela foi dividida em duas partes: *ASHRAE 90.1 – Energy Standard for Buildings* e a *ASHRAE 90.2 – Energy Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings*. É importante salientar que essa norma serviu de base para muitos códigos de eficiência energética e que sua aplicação é opcional nos Estados Unidos.

No Brasil, o primeiro mecanismo relacionado à conservação de energia surgiu em 1984 com a criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PEB), por parte do INMETRO, cujo objetivo era informar ao consumidor o gasto relacionado ao produto através de níveis de consumo informados em uma etiqueta. Em 1985, foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), por parte da Eletrobras, e seu objetivo era racionalizar a produção e o consumo de energia elétrica.

Em 2003, foi criado o PROCEL Edifica com o objetivo de construir as bases para a redução do consumo de energia em edificações (figura 11). Apenas em 2005, foi divulgada a primeira norma relativa ao desempenho térmico de edificações, a NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005). O grande marco dessa

norma foi a classificação dos climas brasileiros em zonas associando-os a diretrizes construtivas voltadas para as Habitações de Interesse Social através do condicionamento térmico passivo (Santo; Alvarez; Nico-Rodrigues, 2013).

Figura 11- Etiqueta do PBE Edifica - Validação da eficiência de edificação da UFG



Fonte - Universidade Federal de Goiás (2020)

Em 2013, é divulgada a NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho, a primeira norma a definir os padrões mínimos de desempenho para as edificações residenciais. Ela visa a atender não só a prerrogativas técnicas, mas também às demandas expostas pelos usuários, que “buscam conforto, estabilidade, vida útil adequada da edificação, segurança estrutural e contra incêndios” (CBIC, 2013). Seu foco está no comportamento da edificação habitacional e seus sistemas no momento do uso e não em uma metodologia de como os sistemas devem ser construídos.

A fundamentação dessa norma se deu através de normas técnicas internacionais e estudos elaborados por meio de órgãos da construção civil no Brasil, porém “as normas de desempenho são estabelecidas buscando atender às exigências dos usuários, diferentemente das normas técnicas prescritivas, que estabelecem requisitos à construção dos sistemas” (Moreira, 2018). A partir da análise desses documentos, o conceito de desempenho foi definido por meio de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e por meio de métodos de avaliação que possibilitem uma mensuração clara dos resultados a serem alcançados (Possan; Demoliner, 2013; ABNT, 2021).

Como as NBR's fazem parte do código de defesa do consumidor, a aplicação da NBR 15575 (ABNT, 2021) é obrigatória em todo território nacional para qualquer edificação de uso habitacional, construída a partir da data em que a norma passou a vigorar, independentemente do número de pavimentos. Ela não se aplica a projetos que estavam sendo protocolados nos órgãos competentes, nem a edificações já construídas, obras de reforma ou *retrofit* e de edificações provisórias.

A NBR 15575 (ABNT, 2021) é composta por seis partes, conforme a figura 12. Na primeira parte, estão definidos os critérios para a avaliação do desempenho térmico das edificações. A norma teve uma revisão em 2021, que acarretou algumas alterações nesses critérios, especialmente na análise por simulação computacional. Pela primeira vez, foram consideradas fontes internas de calor, como a ocupação dos usuários, a iluminação e os equipamentos em geral. Também foram modificados os indicadores de desempenho, utilizando padrões mais similares aos de normas internacionais.

Figura 12 - Partes da NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho



Fonte - Adaptado da NBR 15575\_Parte 1, ABNT (2021)

Apesar das alterações realizadas, a norma ainda enfrenta desafios, especialmente devido à dimensão continental do Brasil. Por se tratar de um país extenso e multicultural, as variações climáticas, culturais e nas relações sociais influenciam significativamente os resultados das análises de simulação do desempenho térmico (Oliveira, 2019). Embora a norma procure padronizar e simplificar os requisitos para tornar sua aplicação mais acessível, essa simplificação compromete, em certa medida, a precisão dos resultados obtidos.

Mesmo com os desafios elencados anteriormente, e outros que serão abordados ao longo da dissertação, a NBR 15575\_Parte 1 (ABNT, 2021) foi escolhida como método para a análise do desempenho térmico das Habitações de Interesse Social do presente estudo. Essa escolha se deve ao caráter compulsório da norma e por ser o único regulamento nacional que trate do desempenho de edificações

residenciais, logo seu uso se torna indispensável no contexto do recorte geográfico definido.

## 2.4 DESEMPENHO X CONFORTO TÉRMICO

Os conceitos de desempenho térmico e conforto térmico são necessários para a compreensão dos resultados da simulação computacional proposta na NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2021). O desempenho e o conforto térmico estão relacionados à temperatura e ao ambiente, porém representam parâmetros distintos. A compreensão dessa diferença é importante para solucionar os problemas vinculados a questões térmicas do edifício, tanto na condição de melhoria de sua eficiência como de sua habitabilidade.

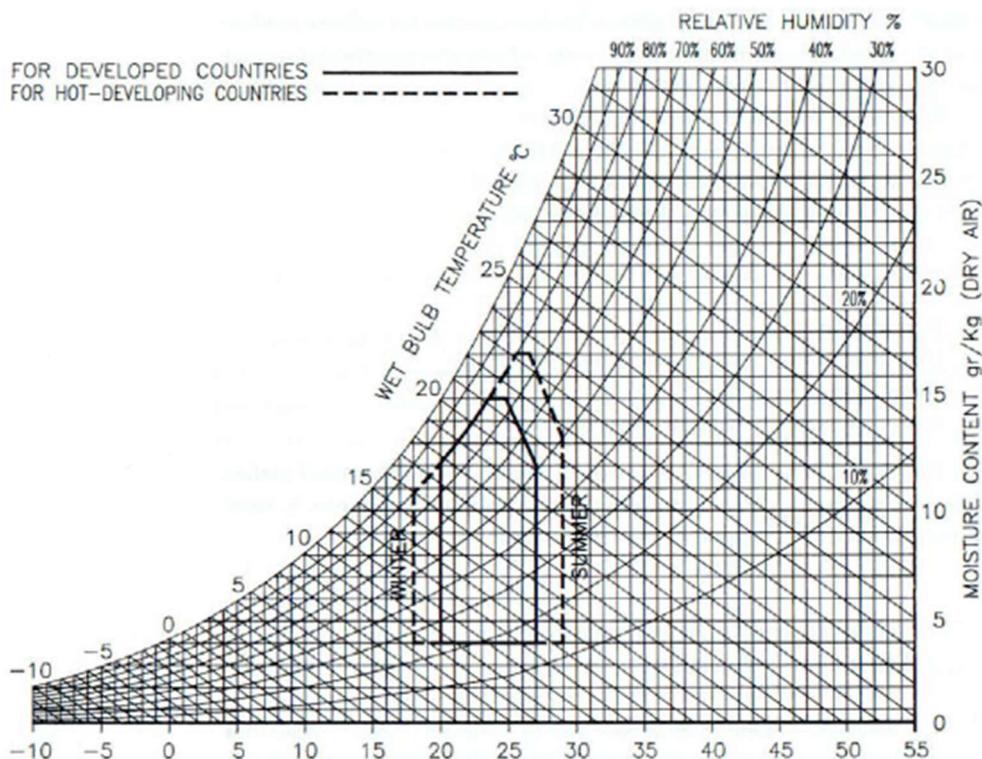
Uma série de normas e autores já conceituaram o conforto térmico, Olgay (1963) apud Utimura (2011) afirma que o conforto térmico envolve diversas áreas interrelacionadas, com o objetivo de estabelecer parâmetros que atendam às expectativas dos ocupantes. Essa análise deve considerar fatores socioeconômicos, culturais e tecnológicos, buscando resolver questões funcionais, ergonômicas e psicológicas. Frota e Schiffer (2003) apud Fernandes (2009) afirma que o conceito de conforto térmico define a sensação que o organismo humano experimenta quando “perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade”.

Para Bittencourt e Cândido (2008) apud Fernandes (2009) “conforto térmico pode ser definido como a satisfação psicológica com as condições térmicas de um ambiente onde a manutenção da homeostase humana é obtida.” A norma ASHRAE (2004) apud Fernandes (2009) define o conforto térmico como a situação em que uma pessoa se sente satisfeita com as condições do ambiente ao seu redor, ela afirma que “o ambiente deve apresentar condições térmicas tais que pelo menos 80% dos ocupantes expressem satisfação com o ambiente térmico.”

Essa subjetividade advém das variáveis que influenciam essa sensação de conforto, pois tanto fatores físicos (que permitem as trocas do corpo com o meio), fisiológicos (alterações naturais do organismo na busca por se adequar ao ambiente) e psicológicos (relativos à percepção e resposta do indivíduo) podem afetar a forma como o usuário se sente no ambiente (Lamberts et al., 2016).

Diante dessa subjetividade muitos pesquisadores tentaram definir parâmetros e índices que expressassem o conforto térmico. Um dos primeiros foi Victor Olgay (1963), ele elaborou uma carta bioclimática que associava informações climáticas aos limites do conforto térmico, visando identificar estratégias de projeto (Maciel, 2006). Em 1973 Givoni desenvolve uma carta bioclimática mais aperfeiçoada que a apresentada por Olgay (figura 13), ela adotou estratégias relacionadas ao volume da edificação e as temperaturas internas ao ambiente (Fernandes, 2009).

Figura 13 - Variação da zona de conforto. Carta de Givoni.



Fonte - Givoni (1994) apud Fernandes (2011)

Em 1972 Fanger desenvolve uma equação que define o índice chamado de PMV (Voto Médio Preditivo), ele foi baseado na opinião de um numeroso grupo de pessoas sobre a sensação térmica experienciada em uma estadia prolongada em determinadas condições térmicas. São consideradas seis variáveis (tabela 3) avaliadas em uma escala de sete índices (tabela 4) (Castilla et al., 2010). Esse método foi incluído na ISO 7730 - *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*.

Tabela 3 - Variáveis que definem o conforto PMV

VARIÁVEIS QUE DEFINEM O CONFORTO		
Parâmetro	Intervalo	Unidade
Atividade Metabólica	0.8 a 4	met, (W/m <sup>2</sup> )*
Isolamento da roupa	0 a 2	clo, (m <sup>2</sup> °C/W)**
Temperatura do ar	10 a 30	°C
Temperatura radiante média	10 a 40	°C
Velocidade do ar	0 a 1	m/s
Humidade Relativa	30 a 70	%

Fonte - Castilla et al. (2010)

\*1 met = 58.15 W/ m<sup>2</sup>\*\*1 clo = 0.155 m<sup>2</sup> °C /W

Tabela 4 - Escala de valores dos índices PMV

ESCALA DE VALORES ÍNDICE PMV	
PMV	Sensação
+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente quente
±0	Neutralidade Térmica
-1	Fresco
-2	Frio
-3	Muito frio

Fonte - Castilla et al. (2010)

Apesar de sua popularidade, o PMV considera apenas parâmetros relacionados ao ambiente interno e ao usuário, negando qualquer relação com o ambiente externo. Esse modelo foi pensado para ambientes com uma temperatura controlada, fato que torna sua aplicação inadequada para edifícios com ventilação passiva, ou seja, que não têm a temperatura controlada por sistema de refrigeração; e para a realidade de ocupantes com uma variedade de comportamentos e atividades (Sicurella; Evola; Wurtz, 2012).

Também na década de 1970, Nicol e Humpreys propuseram o modelo adaptativo, em que há uma interação do usuário com o ambiente interno e externo. Os autores afirmam que as pessoas são capazes de se adaptar e mudar em condições de desconforto de forma a reestabelecer sua sensação de conforto. O método adaptativo é mais apropriado para a análise de edifícios com ventilação passiva e foi incluído na *ASHRAE Standard 55* e em outras normas internacionais (Sicurella; Evola; Wurtz, 2012).

Para reduzir o consumo de energia e ao mesmo tempo melhorar o conforto térmico e a qualidade da temperatura interna dos ambientes, a ventilação natural tem sido bem recebida como uma estratégia viável de refrigeração

passiva. Edifícios com ventilação natural representam edifícios sem sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado, que dependem do seu design e da interação com o ambiente local para proporcionar condições internas adequadas aos seus usuários (Sakiyama; Carlo; Frick; Garrecht, 2020).

Na oposição da subjetividade das variáveis que envolvem o conforto térmico, o desempenho térmico é um método quantitativo e mensurável. Ele mede os diversos indicadores de desempenho do espaço interno, através de requisitos e critérios, considerando a resposta dos edifícios a fatores externos que influenciam as condições climáticas dos ambientes internos. O desempenho térmico é um requisito de habitabilidade e depende de seus componentes (paredes e coberturas), das cargas térmicas internas, das aberturas, da sua volumetria, da sua orientação no lote, da presença de elementos de sombreamento, do clima e outras características (Sales et. al, 2014; NBR 15575, 2021; Cândido; Dornelles; Lukiantchuki, 2023; Dias et al., 2023; Mendes; Cruz; Gomes; Mendes, 2023).

Várias normas e códigos especificam os padrões que deverão ser alcançados pelo edifício para ter seu desempenho térmico considerado satisfatório. Além dos padrões, esses regulamentos estabelecem os métodos e os requisitos que deverão ser avaliados em cada edificação. Hoje, a simulação computacional desponta como o principal método para a avaliação dos requisitos do desempenho térmico. Devido à grande quantidade de variáveis, a mecanização do processo o torna mais confiável e rápido (Mendes; Cruz; Gomes; Mendes, 2023).

Após um estudo de revisão dos métodos empregados para a avaliação do desempenho térmico em edifícios, ficou constatado que a maioria das pesquisas utilizam o “*Thermal Load Method*” (Cálculo da Carga Térmica) (Mendes; Cruz; Gomes; Mendes, 2023). Esse método é empregado em importantes normativas como *ASHRAE Standard 90.1* (USA), *Document L Building Regulation* (UK) e a NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho, a partir da sua versão publicada em 2021.

Embora estas normas apresentem disparidades em aspectos como dados de entrada, parâmetros de simulação e critérios de avaliação, todas convergem na avaliação da procura da carga térmica de arrefecimento e/ou aquecimento pelo sistema de refrigeração artificial para manter a temperatura interna do edifício dentro de um intervalo predefinido (Mendes; Cruz; Gomes; Mendes, 2023).

A NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2021) analisa o desempenho térmico através de parâmetros, o Percentual de Horas de ocupação dentro de uma Faixa de Temperatura operativa (PHFT), a Temperatura Operativa anual Máxima e Mínima (ToMáx e ToMín) e o somatório anual dos valores horários de Carga Térmica de Refrigeração e Aquecimento (CgTR e CgTA). De acordo

com a NBR 15575\_Parte 1 (ABNT, 2021), a temperatura operativa é a média entre a temperatura do ar (temperatura de bulbo seco) e a temperatura radiante média do ambiente; o PHFT demonstra o período em que um ambiente ocupado está dentro dos limites aceitáveis estabelecidos em norma e a ToMáx e a ToMín indicam as condições extremas (Krelling et al., 2023).

A NBR 15575\_Parte 1 (ABNT, 2021) ainda define a Carga Térmica Total (CgTT) como a quantidade total de calor fornecida e/ou retirada (CgTR e CgTA) do ar para manter as condições desejadas em um ambiente. Esse indicador também é muito importante para a definição da eficiência energética do edifício. É valido pontuar que a norma de desempenho teve uma evolução no critério de desempenho térmico da versão 2013 para a 2021.

A norma de 2021 apresenta etapas mais detalhadas e com uma maior variedade de indicadores, entretanto ainda há muito a se evoluir, observa-se que a metodologia proposta, embora não seja mais flexível que a anterior ao se considerarem os níveis de desempenho, assegura que a unidade habitacional alcance, no mínimo, o desempenho básico (Peixoto; Souza, 2021). De forma mais detalhada, os limites estabelecidos para o modelo de referência no novo texto podem ser um elemento significativo para esse resultado (Peixoto; Souza, 2021).

Em um estudo realizado em 2023, que visava a analisar a eficiência das mudanças dos requisitos de desempenho térmico propostos pela NBR 15575\_Parte 1 (ABNT, 2021), os autores pontuaram

Os principais indicadores de desempenho devem ser cuidadosamente escolhidos com base no público-alvo. Especialmente em edifícios de funcionamento livre e de modo misto, muitas vezes é possível um julgamento abrangente apenas através de um conjunto de indicadores, em vez de apenas um. Por exemplo, apontando para a demanda de energia e a ocorrência de superaquecimento. Estes indicadores devem funcionar em conjunto para identificar os problemas que precisam de ser resolvidos, por exemplo, pelas equipes de design. [...] As melhores práticas internacionais são bem-vindas para apoiar o desenvolvimento de um novo método. No entanto, estas práticas muitas vezes não representam corretamente o contexto dos países tropicais, o que pode levar à seleção de estratégias que são ineficazes ou que não serão utilizadas adequadamente durante a fase de operação. As características culturais, comportamentais e climáticas devem orientar cada etapa da análise (Krelling et al., 2023)

Resta claro que o desempenho térmico pode ser estabelecido através de um método quantitativo e mensurável, mas que deve levar o conforto térmico e seus fatores subjetivos como meta final a ser alcançada ao atingir os padrões estabelecidos. Atingir o desempenho térmico previsto para um edifício não garante alcançar o conforto térmico desejável pelo usuário (Santos; Porto; Silva, 2020; Triana

et al., 2023). Essas diferenças de resultados estão, na maioria das vezes, atreladas ao comportamento dos usuários,

Na publicação de 21 discrepâncias entre o desempenho predito e o desempenho real, Norford et al. (1994) mostraram que a escolha dos ocupantes sobre como usar luzes e equipamentos de escritório, além da maneira como operam os equipamentos de climatização tem um alto impacto sobre o desempenho do edifício. Atualmente, a inserção de dados que representam o comportamento do usuário ainda é um fator limitante, pois este é reconhecido como a principal fonte de discrepância entre o desempenho da construção real e a sua previsão resultante de modelos de simulação computacional (Fabi et al., 2012; Chen et al., 2015 apud Oliveira, 2019).

Buscando melhorar a acurácia dos resultados da presente pesquisa, o padrão comportamental dos usuários foi selecionado como uma das variáveis da simulação a ser alterada e analisada quanto a sua influência no resultado dos indicadores.

## 2.5 DESEMPENHO TÉRMICO DE HIS NO CLIMA QUENTE E ÚMIDO: UMA REVISÃO DA LITERATURA.

Para uma melhor compreensão do contexto dos estudos relacionados ao desempenho térmico, foi realizada uma revisão da literatura produzida ao longo da última década. Como base de dados nacional utilizou-se o Scielo Brasil, os anais de congresso do ENTAC (Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído), os anais de congresso do ENCAC (Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído), a revista Ambiente Construído, as bases internacionais do Google Acadêmico, do Science Direct e do Compendex.

Foram selecionados trabalhos que analisassem o desempenho térmico por meio de simulação computacional, abordassem Habitações de Interesse Social (ou similares) e estivessem inseridos no contexto da Zona Bioclimática 8 (as pesquisas analisadas são anteriores a revisão da classificação das zonas bioclimáticas de 2024, por isso utilizou-se a classificação de 2005 para o recorte), ou seja, localidades com clima quente e úmido e que preferencialmente estivessem no Nordeste.

Ao final, foram encontradas 13 publicações consideradas relevantes para o contexto deste estudo. As principais informações obtidas nas pesquisas estão apresentadas no Quadro 2, onde é possível visualizar o método empregado, o sistema construtivo, a tipologia da HIS, a localização, a classificação bioclimática conforme a NBR 15220\_Parte 3 (ABNT, 2005 e 2024), a classificação climática de Köppen-Geiger e, por fim, os resultados encontrados.

Quadro 2 - Revisão da literatura sobre Desempenho Térmico para cidades de clima Quente e Úmido

Nº	REFERÊNCIA	MÉTODO	SISTEMAS CONSTRUTIVOS	TIPOLOGIA	LOCAL E CLIMA	PRINCIPAIS RESULTADOS
1	Batista; Peixoto; Cavalcante; Lima, 2013	- NBR 15575 (ABNT, 2013) - RTQ-R (INMETRO, 2012) - Simulação computacional - $T_{e,máx}$ - $T_{e,mín} = \Delta T$ - $T_{e,mín} = T_{e,máx} - \Delta T$ - GHR;	Coberta = Telha de Fibrocimento + câmara de ar + laje de concreto; SVV = bloco cerâmico + reboço interno e externo; Piso = laje de concreto maciça;	HIS Multifamiliar	Maceió - AL ZB8*; ZB5A**; Am***	- De acordo com a classificação da NBR 15575 todos os ambientes do térreo atingiram o nível intermediário ou superior, porém, na cobertura dois ambientes foram classificados no nível mínimo, logo toda a edificação foi classificada no nível mínimo. - Na classificação do RTQ-R os ambientes do pavimento térreo foram classificados com "D" ou "E". Os ambientes do pavimento da cobertura foram todos classificados como "E" e a edificação de forma geral recebeu a mesma classificação.
2	Bavaresco; Kamimura; Gerald; Melo; Lamberts, 2022	- NBR 15575 (ABNT, 2021) - Simulação computacional - PHFT; ToMáx; ToMín; CgTT;	Coberta = Telha de fibrocimento + isolante + laje de concreto maciça; SVV = paredes de concreto; Piso = laje de concreto maciça;	HIS Unifamiliar	São Luis - MA ZB8*; ZB6A**; Am***	- Os indicadores de desempenho térmico obtiveram os piores resultados com a ausência do forro ou da laje, as HIS não atingiram o nível mínimo. - O modelo de referência obteve resultados melhores. - Baseando-se em um recorte econômico, moradias de baixa renda são afetadas diretamente pela ausência desses elementos.
3	Gonçalves; Melo; Zemero; Barata, 2021	- RTQ-R (INMETRO, 2012) - Simulação Computacional - GHR; Cr;	Coberta = telha cerâmica + câmara de ar + Laje de concreto moldado in loco ou concreto celular + forro de gesso; Laje entre pisos = Laje de concreto moldado in loco ou concreto celular; SVV = concreto moldado in loco ou concreto celular + reboço interno e externo; Piso = Laje de concreto moldado in loco ou concreto celular + revestimento cerâmico;	HIS Multifamiliar	Belém - PA ZB8*; ZB6A**; Af***	- O resultado do GHR permitiu a classificação da HIS no nível "C", mesmo alterando o tipo de concreto a classificação permaneceu a mesma. - O resultado para o uso de refrigeração mecânica foi similar ao da ventilação passiva. A variação do concreto não resultou em grandes alterações. - As edificações com concreto moldado in loco e com concreto celular foram consideradas ineficientes. O concreto celular apresentou os piores resultados.
4	Invidiata; Souza; Melo; Fossati; Lamberts, 2016	- RTQ-R (INMETRO, 2012) - Simulação Computacional - GHR; Cr; Ca;	O artigo estuda a variação dos materiais da cobertura e do SVV.	HIS Unifamiliar	Salvador - BA ZB8*; ZB5A**; Af***	- O caso 1 teve o pior desempenho, ele é composto por paredes de concreto maciço, cobertura de forro de PVC e telha cerâmica. - O caso 17 teve o melhor resultado, sua coberta é composta por laje pré-moldada, isolante térmico e telha cerâmica e as paredes são de bloco cerâmico com isolante. - O caso 17 recebeu a classificação "A"
5	Knop; Disconzi; 2023	- NBR 15575 (ABNT, 2021) - Simulação computacional - PHFT; ToMáx; ToMín; CgTT;	Coberta = telha cerâmica + câmara de ar + isolante + laje de CLT; SVV = CLT + placa de gesso;	HIS Unifamiliar	Recife - PE ZB8*; ZB 5A**; Am***	- A habitação com o uso do CLT apresentou um PHFT e uma ToMáx melhor do que a do modelo de referência, entretanto foi uma melhoria de menos de 7%. - Para a Carga térmica o CLT reduziu de forma substancial o gasto de energia, a redução foi da ordem de 35.03%. - O CLT performou melhor em edificações de clima ameno.
6	Kreeling; Eli; Olinger; Machado; Melo; Lamberts, 2023	- NBR 15575 (ABNT, 2021) - Simulação computacional - PHFT; ToMáx; ToMín; CgTT;	Coberta = Telha cerâmica + câmara de ar + forro de PVC; SVV = Tijolo cerâmico + reboço interno e externo; Piso = Laje de concreto + cerâmica;	HIS Unifamiliar	São Luis - MA ZB8*; ZB6A**; Am***	- Os indicadores de desempenho não obtiveram grandes alterações com a mudança nos perfis de ocupação. A carga térmica teve o maior aumento. - A ToMáx é registrada durante o dia nas primeiras horas de ocupação e a ToMín é registrada a noite enquanto todos os usuários estão nos quartos. Mesmo com a variação da ocupação esse resultado se manteve. - Envoltórios com materiais pesados não performaram bem no clima da cidade. Materiais muito leves e sem isolamento podem não oferecer resistência suficiente. - O modelo de referência precisa de melhorias para se adaptar à realidade das regiões Norte e Nordeste.
7	Machado; Sirtuli; Rodrigues; Alvarez, 2020	- Método desenvolvido por Nico Rodrigues (2015) - Simulação Computacional - FDT; GHR;	Coberta = Telha de fibrocimento + câmara de ar + laje maciça de concreto; Laje entre piso - Laje maciça de concreto armado; SVV = Bloco de concreto, bloco cerâmico, bloco cerâmico maciço, <i>light steel frame</i> ;	HIS Multifamiliar	Vitória - ES ZB8*; ZB4A**; Aw***	- A composição que utilizou o <i>light steel frame</i> como SVV teve os piores resultados, apresentando mais horas em desconforto. - A mudança na orientação da HIS não trouxe uma melhoria significativa no resultado da composição com <i>light steel frame</i> no SVV. - A composição com bloco de cerâmico obteve os melhores resultados. Apesar disso o resultado dos indicadores para SVV com bloco de concreto e bloco cerâmico maciço, não teve uma diferença significativa. - O desempenho térmico dos materiais variou inversamente aos valores das transmittâncias térmicas, ou seja, os materiais que apresentaram as menores transmittâncias foram aqueles que mostraram pior desempenho térmico

## LEGENDA:

**RTQ-R:** Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética  
 **$T_{e,máx} / mín$ :** é o valor máximo / mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação  
 **$T_{e,máx} / mín$ :** é o valor máximo / mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação  
**GHR:** graus-hora de resfriamento

**PHFT:** Percentual de Horas de Ocupação dentro de uma Faixa de Temperatura operativa  
**ToMax / Min:** Temperatura Operativa Máxima / Mínima  
**CgTT:** Carga Térmica Total  
**Cr:** Consumo para refrigeração  
**SVV:** Sistema de Vedação Vertical

**Ca:** Consumo para Aquecimento  
**FDT:** Frequência de Desconforto Térmico  
**GhDT:** Graus-hora de Desconforto Térmico  
**LS:** Limite de aceitabilidade Superior a 80%  
**LI:** Limite de aceitabilidade Inferior a 80%  
**PHD:** Percentual de Horas em Desconforto  
**HIS:** Habitação de Interesse Social

\* Classificação bioclimática segundo a NBR 15220 Parte 3 (ABNT, 2005)  
\*\* Classificação bioclimática segundo a NBR 15220 Parte 3 (ABNT, 2024)  
\*\*\* Classificação climática segundo Koppen Geiger

## NOTA:

Nº	REFERÊNCIA	MÉTODO	SISTEMAS CONSTRUTIVOS	TIPOLOGIA	LOCAL E CLIMA	PRINCIPAIS RESULTADOS
8	Moreno; Moraes; de Souza, 2016	- NBR 15575 (ABNT, 2013) - RTQ-R (INMETRO, 2012) - Simulação computacional - $T_{e,máx} - T_{e,mín} = \Delta T$ - $T_{e,mín} - T_{e,mín} = \Delta T$ - GHR;	O artigo estuda a variação dos materiais da cobertura e do SVV.	HIS Unifamiliar	Salvador - BA ZB8*; ZB5A**; Af***	- O SVV composto por bloco cerâmico + reboco obtiveram os melhores resultados dentre as paredes. O SVV de bloco de concreto teve o pior desempenho. - Para as coberturas o sistema composto por telha cerâmica + forro de gesso obteve o melhor desempenho. As combinações com telha de fibrocimento tiveram os piores desempenhos. - Na classificação do RTQ-R as combinações para Salvador ficaram entre os níveis "C" e "D".
9	Santos; da Cunha Junior; Silva, 2019	- NBR 15575 (ABNT, 2013) - RTQ-R (INMETRO, 2012) - Simulação computacional - $T_{e,máx} - T_{e,mín} = \Delta T$ - $T_{e,mín} - T_{e,mín} = \Delta T$ - LS; Li;	O artigo estuda a variação dos materiais da cobertura e do SVV.	HIS Unifamiliar	Corumbá - MS ZB8*; ZB5A**; Aw***	- A absorvância das paredes foi a variável independente que mais influenciou nos resultados para o verão/calor, tanto no quesito desempenho térmico quanto conforto térmico dos usuários. - Para o caso do inverno/frio, as variações do tipo das coberturas e da absorvância das paredes, no caso de desempenho para as salas, foram as mais influentes nos resultados.
10	Santos; Porto; Silva, 2020	- NBR 15575 (ABNT, 2013) - Simulação computacional - $T_{e,máx} - T_{e,mín} = \Delta T$ - $T_{e,mín} - T_{e,mín} = \Delta T$	O artigo estuda a variação dos materiais da cobertura e do SVV.	HIS Unifamiliar	Ladário - MS ZB8*; ZB5A**; Aw***	- As variáveis que mais influenciaram no desempenho térmico da HIS foram: Variação do Componente Construtivo da Cobertura (CCcob) e a Alteração na Absorvância da Cobertura (ACcob). - As coberturas com menor absorvância tiveram os melhores resultados de desempenho.
11	Torres, 2015	- Simulação Computacional - GHR; PHD;	Coberta = Telha cerâmica; SVV = Tijolo cerâmico + reboco interno e externo; Piso = Laje de concreto + cerâmica;	HIS Unifamiliar	Maceió - AL ZB8*; ZB5A**; Am***	- A cidade de Maceió apresentou uma porcentagem de 38,2% de horas em desconforto. - Os meses de março e dezembro apresentaram a maior porcentagem de horas em desconforto. - Como a cidade apresenta uma umidade relativa acima de 50% o uso da ventilação natural é capaz de diminuir a sensação de desconforto.
12	Vecchio; Veloso, 2020	- RTQ-R (INMETRO, 2012) - Simulação Computacional - GHR;	Coberta = Laje de concreto maciça + câmara de ar + forro de gesso; SVV = bloco cerâmico + reboco interno e externo; Piso = Laje de concreto maciça + contrapiso + piso cerâmico;	Habitação Unifamiliar	Aracaju - SE ZB8*; ZB5A**; As****	- O resultado do GHR classificou a edificação como "E", o nível mais baixo do regulamento. - Foram feitas alterações na emissividade da cobertura, sombreamento na fachada Noroeste, inserção de vidro duplo e redução da área envidraçada, porém nenhuma das alterações foram suficientes para melhorar a classificação da edificação. - A simulação que reduziu a área envidraçada obteve os melhores resultados.
13	Veiga; Eli; Geraldi; Melo, 2024	- NBR 15575 (ABNT, 2021) - Simulação computacional - PHFT, ToMáx; ToMín; CgTT;	Materiais conforme modelo de referência descrito na NBR 15575.	HIS Multifamiliar	Maceió - AL ZB8*; ZB5A**; Am***	- A adição da varanda na fachada virada para Oeste trouxe uma melhoria sutil para os indicadores de desempenho térmico. - A presença da varanda atuando como elemento de sombreamento foi importante para a redução da carga térmica.

## LEGENDA:

**RTQ-R:** Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética  
 **$T_{e,máx} / mín:$**  é o valor máximo / mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação  
 **$T_{i,máx} / mín:$**  é o valor máximo / mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação  
**GHR:** graus-hora de resfriamento

**PHFT:** Percentual de Horas de Ocupação dentro de uma Faixa de Temperatura operativa  
**ToMáx / Mín:** Temperatura Operativa Máxima / Mínima  
**CgTT:** Carga Térmica Total  
**C:** Consumo para refrigeração  
**SVV:** Sistema de Vedação Vertical

**Ca:** Consumo para Aquecimento  
**FDT:** Frequência de Desconforto Térmico  
**GhDT:** Graus-hora de Desconforto Térmico  
**LS:** Limite de aceitabilidade Superior a 80%  
**Li:** Limite de aceitabilidade Inferior a 80%  
**PHD:** Percentual de Horas em Desconforto  
**HIS:** Habitação de Interesse Social

\* Classificação bioclimática segundo a NBR 15220 Parte 3 (ABNT, 2005)  
\*\* Classificação bioclimática segundo a NBR 15220 Parte 3 (ABNT, 2024)  
\*\*\* Classificação climática segundo Koppen Geiger

## Fonte - Autor

Sorgato (2015) afirma que

as pesquisas relacionadas com o desempenho termoenergético em edificações residenciais podem ser classificadas em três níveis: 1º identificar as condições promissoras para proporcionar economia de energia e melhorar as condições de conforto térmico; 2º Analisar o desempenho das condições promissoras em protótipos de edificações; 3º avaliar o desempenho das condições promissoras em condições reais de uso (Sorgato, 2015).

O autor ainda explica que normalmente as pesquisas que se utilizam de simulações termoenergéticas pertencem ao 1º nível. Esse perfil traçado pelo autor se encaixa na realidade de todas as pesquisas selecionadas para esta revisão de literatura e algumas delas apresentam resultados importantes para a compreensão e

análise dos dados que serão apresentados nos próximos capítulos desta dissertação. Diante disso alguns resultados serão apresentados de forma mais completa na sequência.

O artigo apresentado por Batista et al. (2013) teve por objetivo avaliar o desempenho térmico de uma HIS multifamiliar, situada na cidade de Maceió-AL, a partir dos métodos de simulação computacional descritos na NBR 15575 (ABNT, 2013) e do RTQ-R (INMETRO, 2012) de forma a confrontar os resultados encontrados nas duas metodologias. Após as simulações os autores classificaram as unidades habitacionais do 1º pavimento (térreo) e do 4º pavimento (cobertura) quanto ao seu nível de desempenho. Em ambos os métodos as unidades do térreo obtiveram melhores resultados do que aqueles encontrados para as UH da cobertura (figura 14).

Figura 14 - Resultado do desempenho térmico das UH simuladas no artigo

			NBR 15575-1 (ABNT, 2013)		RTQ-R (INMETRO, 2013)	
Pavto.	Ambientes	No. UH	Ti-máx (°C) 23/01	Classificação de Desempenho	GHR (°C) Anual	Nível de Eficiência Energética da envoltória
1	Salas	1	30,6	Intermediário	9.895,0	D
		2	29,5	Superior	9.787,0	D
		3	29,7	Superior	10.124,9	D
		4	30,3	Intermediário	9.987,7	D
	Quartos	1	29,9	Superior	10.644,6	E
		2	29,4	Superior	10.538,2	D
		3	29,3	Superior	10.933,8	E
		4	29,6	Superior	10.719,0	E
4	Salas	1	31,5	Mínimo	18.579,4	E
		2	31,1	Intermediário	20.837,8	E
		3	30,9	Intermediário	21.334,4	E
		4	31,5	Mínimo	20.685,1	E
	Quartos	1	30,9	Intermediário	20.659,2	E
		2	31,0	Intermediário	22.864,6	E
		3	30,8	Intermediário	22.921,2	E
		4	30,8	Intermediário	21.169,4	E
CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO			Nível Mínimo		Nível E	

Fonte - Batista et al. (2013)

Na classificação feita a partir da NBR 15575 (ABNT, 2013) as unidades do térreo ficaram entre os níveis intermediário e superior, apenas duas UH da cobertura obtiveram o nível mínimo, diante disso toda a edificação foi classificada no nível mínimo. Na classificação segundo o RTQ-R as UH do térreo ficaram entre os níveis D e E (sendo o nível E o pior na escala do regulamento) e as unidades da cobertura foram todas classificados no nível E, dessa forma toda a edificação foi classificada como E. Os autores concluem afirmando que o método apresentado pela NBR 15575

(ABNT, 2013) possui sérias limitações quanto a sua avaliação de desempenho térmico e que o RTQ-R possui um método mais completo e com um maior número de variáveis.

Na pesquisa elaborada por Invidiata et al. (2016) o objetivo dos autores foi avaliar o desempenho termoenergético de diferentes soluções construtivas aplicadas a envoltória de uma HIS unifamiliar. As cidades escolhidas para o estudo foram Curitiba-PR (ZB1 / ZB1M), Florianópolis-SC (ZB3 / ZB3A) e Salvador-BA (ZB8 / ZB5A), utilizou-se o método de simulação computacional proposto no RTQ-R (INMETRO, 2012).

Para Salvador-BA, que está situada na zona bioclimática definida para a revisão, o caso 01 com paredes de concreto maciço, cobertura de forro de PVC e telha cerâmica e janelas de vidro simples translucido, teve o pior desempenho com relação ao indicador GHr (Graus-horas de resfriamento). O caso 17 com paredes de bloco cerâmico e isolante térmico, cobertura de laje pré-moldada, isolante térmico e telha cerâmica e janelas com vidro simples translucido, teve o melhor desempenho para o mesmo indicador. A HIS simulada com as características do caso 17 alcançou a classificação A, quanto a seu nível de desempenho térmico (o melhor segundo o regulamento utilizado como método), em todos os APP's.

Em relação ao indicador de consumo de refrigeração, o caso 9 composto por paredes de bloco cerâmico, cobertura de laje pré-moldada e telha cerâmica e janela de vidro translucido, teve o pior desempenho. O caso 07 com paredes de bloco cerâmico com isolante térmico, cobertura de forro de PVC e telha cerâmica e janelas de vidro simples, obteve o melhor desempenho. Ao final os autores concluíram que,

Envoltória com baixa absorção, janelas com grande abertura para ventilação e persianas integradas, aliados à baixa transmitância térmicas nas paredes e alta capacidade térmica na cobertura, reduzem a necessidade de condicionamento de ar nas zonas bioclimáticas de clima predominantemente quente (Invidiata et al., 2016).

A pesquisa apresentada por Knop e Disconzi (2023) tinha por objetivo analisar o desempenho termoenergético de um sistema construtivo composto por CLT (*Cross Laminated Timber*), através do procedimento de simulação computacional descrito na NBR 15575 (ABNT, 2021), em uma HIS unifamiliar situada nas cidades de Curitiba-PR (ZB1 / ZB1M), Brasília-DF (ZB4 / ZB3B), Recife-PE (ZB8 / ZB5A) e Teresina-PI (ZB7 / ZB6A). A HIS simulada tinha paredes externas e internas compostas por CLT e reboco interno e externo e a laje de cobertura composta por CLT, isolante térmico e

telha cerâmica. O modelo de referência seguiu as características dispostas na norma de desempenho.

Na cidade de Recife-PE o modelo real obteve um PHFT melhor do que o do modelo de referência, porém, essa diferença foi de menos de 7%. Com relação ao indicador de Carga Térmica Total (CgTT) o modelo real também obteve melhores resultados do que o de referência, porém, nesse caso a redução foi 35,03%, reduzindo de forma expressiva o consumo de energia na edificação. A HIS de Recife-PE, com o uso do CLT, foi classificada no nível mínimo de desempenho térmico, a HIS de Teresina-PI recebeu a mesma classificação. As HIS situadas nas cidades de Brasília-DF e Curitiba-PR atingiram o nível superior. Ao final os autores concluíram que as construções utilizando o CLT performaram melhor em climas amenos e que para climas mais quentes são necessários mais estudos que associem novos elementos construtivos e outras estratégias climáticas.

O estudo realizado por Krelling et al. (2023) tinha por objetivo analisar o critério de desempenho térmico e o procedimento de simulação computacional descritos na NBR 15575, na sua versão de 2021, por meio de cinco tipos de análise: a representação do comportamento do usuário, a representação do clima e a aceitabilidade térmica, as características do modelo de referência, os indicadores de desempenho e os níveis de desempenho. Na simulação foi utilizada uma HIS unifamiliar situada nas cidades de Curitiba-PR (ZB1 / ZB1M), Florianópolis-SC (ZB3 / ZB3A) e São Luís-MA (ZB8 / ZB6A).

Para a primeira análise foi feita a simulação da HIS utilizando-se 4 tipos diferentes de perfis de ocupação e cargas internas, além do perfil já determinado pela norma. Os autores constataram que os indicadores baseados nos valores de temperatura operacional, como PHFT, ToMáx e ToMín, demonstraram menor sensibilidade em comparação com as cargas de resfriamento e aquecimento. A maior variação do PHFT na cidade de São Luís, para os perfis do estudo, foi de apenas 3,9%. Por fim os autores concluíram que o procedimento é robusto para traduzir o desempenho das edificações operadas de forma passiva, mesmo com padrões de ocupação diferentes.

Na terceira análise buscou-se compreender a adequação das características do modelo de referência. Primeiro foi avaliado o desempenho térmico nos diversos climas brasileiros (foram considerados 411 arquivos meteorológicos de diversas cidades) e depois comparou-se o desempenho obtido com componentes construtivos

alternativos. Os autores afirmam que casas com envoltórias pesadas e sem isolamento não são adequadas para todos os climas, mesmo sendo uma prática comum em todo o Brasil, especialmente nas HIS. As características do modelo de referência garantem o nível mínimo para regiões de climas mais amenos, porém, para as regiões Norte e Nordeste essa edificação precisa passar por melhorias para se adequar as altas temperaturas apresentadas ao longo do ano.

Eles ainda recomendam o uso de características diferentes para o modelo de referência em novas revisões da norma. Essas características devem variar de acordo com a zona bioclimática, práticas construtivas regionais e custo-benefício. E pontuam que o rigor exigido para o atendimento do patamar mínimo deve ser ajustado progressivamente de forma a ser mais realista quanto a sua classificação de desempenho.

A pesquisa desenvolvida por Santos, Porto e Silva (2019) investigou as correlações e divergências entre o desempenho térmico, avaliado pelo método de simulação computacional descrito na NBR 15575 (ABNT, 2013), e o conforto térmico dos usuários de uma HIS unifamiliar situada em cidades pertencentes as Zona Bioclimáticas 6, 8, 3 e 5, todas no mesmo estado do Mato Grosso do Sul. Nas simulações de desempenho térmico os autores avaliaram quinze variáveis independentes (figura 15) e ao final fizeram a análise de sensibilidade das variáveis alteradas.

Figura 15 - Variáveis independentes da simulação de desempenho térmico.

Variável	Significado
AbCob	Variação da absorção da cobertura
AbPar	Variação da absorção das paredes
AP:AC	Interação entre AbPar e AbCob
Ori	Variação da orientação solar da edificação
Ori:AC	Interação entre Ori e AbCob
Ori:AP	Interação entre Ori e AbPar
VarCob	Variação do componente construtivo das coberturas
VC:AC	Interação entre VarCob e AbCob
VC:AP	Interação entre VarCob e AbPar
VC:Ori	Interação entre VarCob e Ori
VC:VP	Interação entre VarCob e VarPar
VarPar	Variação do componente construtivo das paredes externas
VP:AC	Interação entre VarPar e AbCob
VP:AP	Interação entre VarPar e AbPar
VP:Ori	Interação entre VarPar e Ori

Fonte - Santos; Porto; Silva (2019)

Para a cidade de Ladário-MS (ZB8 / ZB5A), no período do verão, a variação da absorção da coberta (AbCob) teve a maior influência no resultado dos indicadores de desempenho térmico. No período do inverno a variação do componente construtivo da cobertura (VarCob) teve a maior influência no resultado

da simulação de desempenho térmico. Ao final os autores concluem que essas duas variáveis são as que mais influenciam no resultado do desempenho térmico e do conforto térmico. Ainda assim os resultados das análises da relação de desempenho e conforto demonstram que os ambientes podem possuir bom desempenho térmico e mesmo assim proporcionar baixos níveis de conforto térmico.

De modo geral, é importante destacar que, inicialmente, a revisão bibliográfica tinha como foco apenas cidades de clima quente e úmido na região Nordeste. No entanto, devido à escassez de estudos específicos para essa área, foi necessário ampliar o recorte geográfico da revisão. Ainda assim, foram considerados apenas estudos inseridos na Zona Bioclimática 8, devido às similaridades climáticas dessas localidades.

Mesmo após a reclassificação das zonas bioclimáticas, todas as cidades analisadas nos artigos permaneceram classificadas com o clima quente e úmido, variando apenas em intensidade. No Quadro 2, também está apresentada a classificação climática de Köppen-Geiger, permitindo uma compreensão mais detalhada das variações climáticas entre os locais selecionados.

Como método a grande maioria dos estudos apresentados no quadro 2 optaram pela utilização do Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de eficiência energética (RTQ-R), elaborado pelo INMETRO em 2012, ou pela NBR 15575 (ABNT). Todos eles usaram a simulação computacional para analisar os indicadores de desempenho térmico pedidos em norma. A maioria dos estudos tinha por finalidade a classificação dos níveis de desempenho das HIS, seja a classificação para o modelo real ou para um modelo que tinha suas propriedades alteradas.

Quando era alterada alguma propriedade, quase sempre a escolha foi pela variável dos materiais, sejam eles na cobertura ou no Sistema de Vedação Vertical (SVV). Também foram selecionados estudos que introduziram elementos arquitetônicos como a varanda, ou que alteraram o tamanho das janelas e que simularam outros perfis de ocupação, estes muito importantes para embasar a presente pesquisa.

Quanto a classificação dos níveis de desempenho térmico, é notório que a NBR 15575 do ano de 2013 carecia de elementos mais detalhados para essa avaliação. O nível mínimo, e mesmo os superiores, era atingido de forma muito simplificada por quase todas as HIS. A versão da norma de 2021 permite uma análise mais ampla, porém, como pontuado na seção anterior e nos estudos aqui

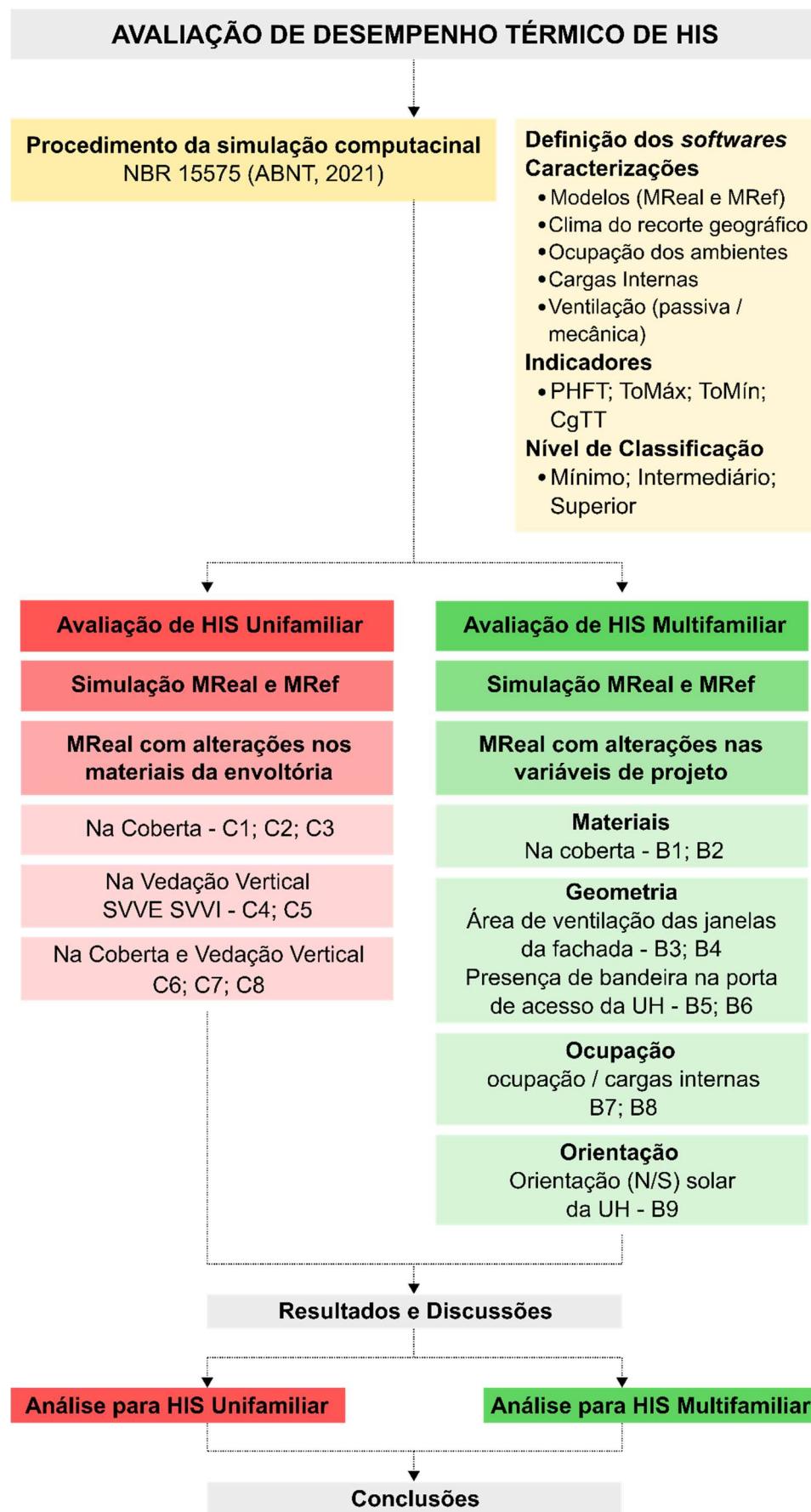
apresentados, ela ainda carece de melhorias. Já o RTQ-R possui uma avaliação mais completa, introduzindo elementos vinculados ao conforto térmico.

Com relação aos sistemas construtivos os estudos (quadro 2) apresentaram diversas variações, foram utilizados materiais comuns na construção civil e materiais ainda excepcionais para o contexto do mercado. Ao considerar o foco no clima quente e úmido a introdução dos materiais isolantes na cobertura, ou em outros sistemas, esteve presente em quase todas as simulações. A tipologia mais utilizada foram as habitações de interesse social unifamiliares, uma vez que a casa torna a simulação mais simples de se obter os dados necessários.

### 3 METODOLOGIA

Uma vez apresentado o referencial teórico para fundamentar a presente pesquisa foram definidos os procedimentos metodológicos para se atingir o objetivo geral do trabalho, que visa avaliar a eficiência de intervenções nas variáveis de projeto das HIS (Habitações de Interesse Social) em relação ao seu desempenho térmico, no recorte geográfico definido como a região do litoral leste nordestino. Assim, foi definida a adoção da simulação computacional como processo de avaliação, sendo o percurso da pesquisa conforme o fluxograma a seguir (figura 16).

Figura 16 - Procedimento metodológico da pesquisa



Conforme visto na figura 16, fez-se a escolha da forma de avaliação por simulação computacional, prevista na NBR 15575\_Parte 1 (ABNT, 2021), sendo definidos os softwares utilizados nas simulações e identificados os dados de entrada e saída no processo. Tais dados representam as características dos modelos da HIS (geometria, tipologia e materiais) em estudo, do clima do recorte geográfico, dos modos de ventilação considerados, da forma de ocupação dos ambientes da HIS e das cargas internas adotadas, bem como foram considerados os cálculos dos indicadores de análise e a determinação do nível de classificação do desempenho térmico.

O estudo contempla dois percursos, sendo um deles com a simulação computacional de desempenho térmico em uma HIS unifamiliar, de forma a realizar uma análise inicial dos resultados para o recorte geográfico em estudo, precisamente para as cidades de Recife-PE, de João Pessoa-PB e de Maceió-AL, localizadas na ZB8 (ABNT NBR 15220-3, 2005) / ZB5A (ABNT NBR 15220-3, 2024). Nesse momento do estudo as simulações foram feitas primeiramente com os Modelos Real (MReal) e de Referência (MRef) e depois considerando o MReal com alterações de alguns materiais da envoltória, precisamente na coberta e nas vedações verticais.

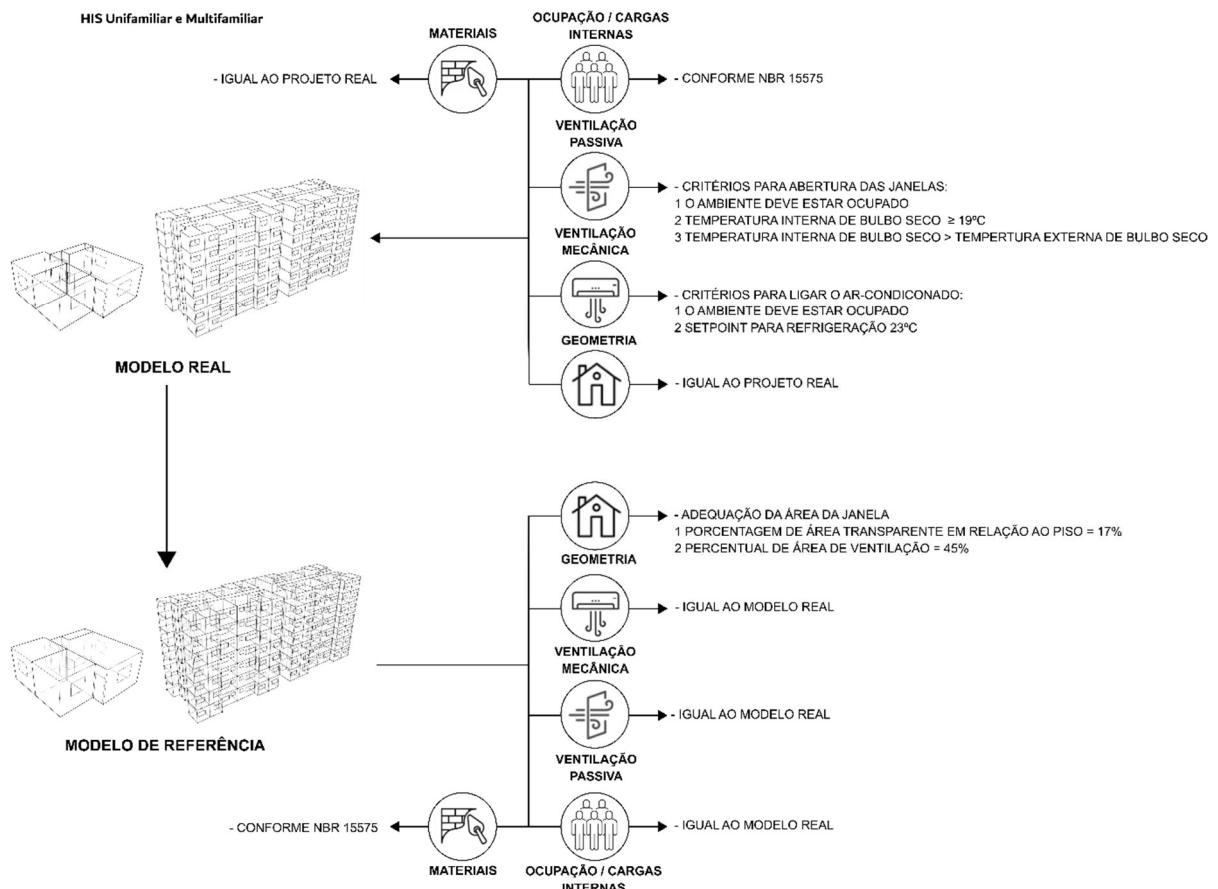
No outro percurso, realizou-se a simulação computacional de desempenho térmico de uma HIS Multifamiliar. Novamente, no primeiro momento, buscou-se estabelecer o nível de desempenho da edificação da HIS multifamiliar com suas características reais (MReal) e com as características preconizadas pela NBR 15575 (ABNT, 2021), Modelo de Referência (MRef). Em seguida, foram feitas as simulações com alterações nas variáveis de projeto do MReal da HIS multifamiliar, considerando aspectos dos materiais, geometria, ocupação e orientação. Esta parte contemplou as seguintes simulações explorando essas variáveis: 1 – Alteração nos materiais da cobertura; 2 – Aumento da área de ventilação das janelas; 3 – Adição de bandeira na porta de acesso das Unidades Habitacionais (UHs); 4 – Alteração na ocupação e cargas internas; 5 – Alteração na orientação solar da edificação.

### 3.1 PROCEDIMENTO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL - NBR 15575 (ABNT, 2021)

A análise do desempenho térmico das edificações em estudo foi baseada na NBR 15575\_Parte 1 (ABNT, 2021), que considera duas possibilidades de avaliação:

o procedimento simplificado e o procedimento por simulação computacional. No caso deste último procedimento, a norma solicita que sejam comparados dois modelos (figura 17), o Modelo Real (MReal), que conserva as características da edificação, e o Modelo de Referência (MRef), que deve representar a edificação real, porém com as características descritas em norma.

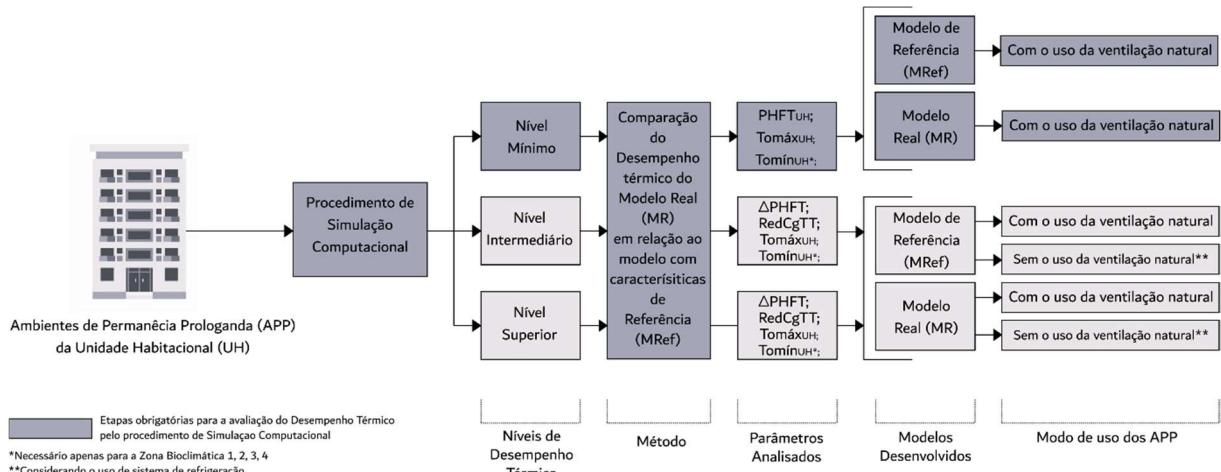
Figura 17 - Características do MReal e MRef para o método de simulação computacional proposto na NBR 15575 (ABNT, 2021)



Fonte - Adaptado de Varjal; Melo (2024)

Após a modelagem do MReal e do MRef, foram realizadas duas simulações em ambas as edificações (unifamiliar e multifamiliar): uma, onde a HIS funciona de forma passiva, ou seja, considerando apenas a ventilação natural, e outra com refrigeração mecânica, considerando um sistema de ar-condicionado ideal, isto é, sem perdas de carga térmica. As simulações geraram quatro indicadores de desempenho (figura 18): o Percentual de Horas de ocupação dentro de uma Faixa de Temperatura operativa (PHFT), a Temperatura Operativa anual Máxima e Mínima (ToMáx e ToMín) e a Carga Térmica Total (CgTT). Todos esses parâmetros foram explicados detalhadamente na seção 2.4.

Figura 18 - Procedimento de Simulação Computacional e indicadores de desempenho térmico



Fonte - Varjal; Melo (2024)

Para o cálculo desses indicadores, a norma define intervalos de temperaturas externas de bulbo seco, sendo considerada a média dessa temperatura que é dada através do arquivo climático (figura 19). A partir dela, é possível classificar os intervalos referentes à faixa de temperatura operativa para o cálculo do PHFTUH e da CgTTUH. As edificações do estudo ficaram dentro do intervalo 02 (tabela 5).

Figura 19 - Média da temperatura de Bulbo Seco para as cidades de Recife-PE, João Pessoa-PB e Maceió-AL



Fonte - Varjal; Melo (2024)

Tabela 5 - Intervalos de temperatura operativa aceitável

Intervalos de temperatura externa	Média anual de temperatura externa de Bulbo Seco (TBSm) °C	Faixas de temperatura operativa (To)	Faixa de temperatura operativa (To) para o cálculo da CgTRAPP	Faixa de temperatura operativa (To) para o cálculo da CgTAAPP
Intervalo 01	TBSm < 25,0 °C	18,0 °C < To < 26,0 °C	To ≥ 26,0 °C	To ≤ 18,0 °C
Intervalo 02	25,0 °C ≤ TBSm < 27,0 °C	To < 28,0 °C	To ≥ 28,0 °C	Não Considera
Intervalo 03	TBSm ≥ 27,0 °C	To < 30,0 °C	To ≥ 30,0 °C	Não Considera

Fonte - Adaptado da NBR 15575\_Parte 1, ABNT (2021)

O cálculo do PHFTUH é dado pela equação (1), onde o percentual de horas de ocupação dos Ambientes de Permanência Prolongada (APP) dentro da faixa de temperatura operativa, determinada na tabela 5, é dividido pelo número de APP's na

UH (n). O cálculo do PHFTAPP é dado pela equação (2), onde NhFT é o número de horas no ano em que o APP se encontra ocupado e com temperaturas operativas dentro da faixa estabelecida e NhOcup é o número de horas em que o APP é ocupado ao longo do ano.

$$(1) PHFTUH = \frac{\sum_{i=1}^n PHFTAPP,i}{n}$$

$$(2) PHFTAPP = \frac{NhFT}{NhOcup} * 100$$

A norma considera que este indicador atinge o nível mínimo de aceitação quando o PHFTUH,real é maior que 90% do valor de PHFTUH,ref (valor do percentual para o modelo de referência). Os níveis intermediário e superior são dados a partir de um incremento calculado por meio do PHFTUH,real em relação ao PHFTUH,ref (tabela 6).

Tabela 6 - Critério de avaliação de desempenho térmico quanto ao PHFTUH

Nível de Desempenho	Critério
Mínimo	PHFTUHreal > 0,9 PHFTUHref
Intermediário	$\Delta PHFTa \geq \Delta PHFTminb$
Superior	$\Delta PHFT \geq \Delta PHFTmin$

Fonte - Adaptado da NBR 15575\_Parte 1, ABNT (2021)

a –  $\Delta PHFT$  é o incremento do PHFTUHreal em relação ao PHFTUHref

b –  $\Delta PHFTmin$  é o incremento do PHFTUHreal em relação ao PHFTUHref de acordo com valores dados em norma

A ToMáxUH,real é dada pela equação (3), na qual ToMáxUH,ref é a temperatura operativa máxima no modelo de referência e  $\Delta Tomáx$  é o valor de tolerância da temperatura operativa anual máxima. A ToMáxUH deve ser dada dentro do período de ocupação, a partir da comparação da ToMáxAPP de cada APP, adotando-se o maior valor entre os APP's. A ToMínUH,real, dada pela equação (4), só deve ser analisada para as zonas bioclimáticas 1, 2, 3 ou 4 (ABNT, 2005), logo não foi utilizada no presente estudo.

$$(3) ToMáxUH,real \leq ToMáxUH,ref + \Delta Tomáx$$

$$(4) ToMínUH,real \geq ToMínUH,ref - \Delta Tomín$$

A CgTTUH é dada pelas equações (5) e (6), onde CgTRUH corresponde à Carga Térmica de Refrigeração e a CgTAUH, à Carga Térmica de Aquecimento. A equação 6 se aplica apenas ao intervalo 1 da tabela 5, logo esta equação também não foi utilizada neste estudo. A CgTRUH resulta da equação (7), onde CgTRAPP é a Carga Térmica de Refrigeração dos APP's e "n" é o número de ambientes de permanência prolongada. O somatório da carga térmica de refrigeração anual é

extraído do modelo com refrigeração mecânica quando os APP's estiverem ocupados e quando a temperatura operativa do modelo passivo estiver acima do intervalo previsto no cálculo do PHFT ou abaixo, no caso dos ganhos de carga térmica de aquecimento.

$$(5) CgTTUH = CgTRUH$$

$$(6) CgTTUH = CgTRUH + CgTAUH$$

$$(7) CgTRUH = \sum_{i=1}^n CgTRAPP,i$$

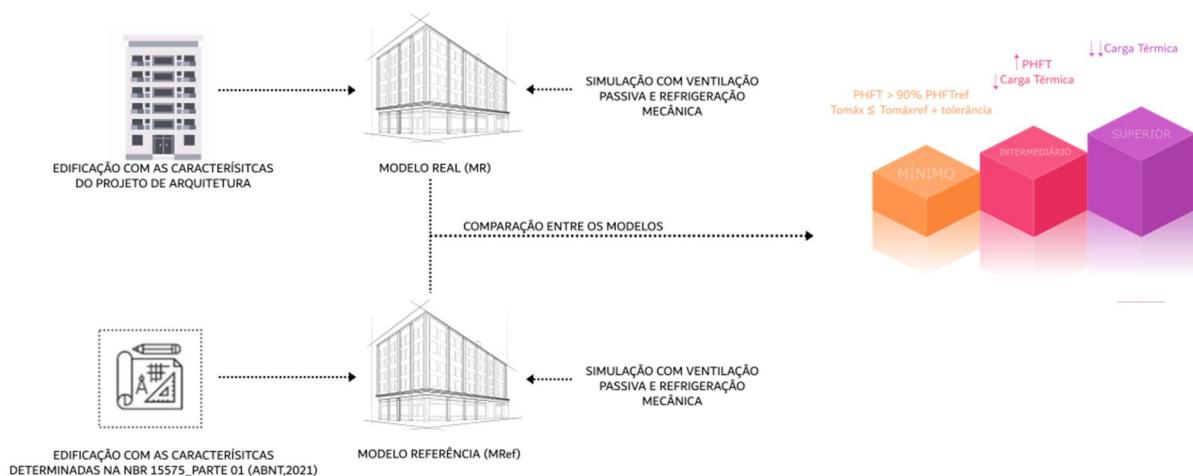
A CgTTUH não é avaliada quanto ao seu nível mínimo, pois a norma considera apenas a ventilação passiva nesse caso. Em relação aos níveis intermediário e superior, ela é atingida quando a redução da carga térmica total do modelo real (RedCgTT) é maior ou igual à redução mínima da CgTTUH,real em relação à CgTTUH,ref (tabela 7). A porcentagem da redução da carga térmica para os níveis intermediário e superior é dada na norma. Para a simulação do desempenho térmico da edificação, utilizou-se o software *EnergyPlus* versão 9.4.0, a figura 20 resume os procedimentos aqui elencados.

Tabela 7 - Critério de avaliação do desempenho térmico quanto a CgTTUH

Nível de Desempenho	Críterio
Mínimo	Não Considera
Intermediário	$RedCgTTa \geq RedCgTTminb$
Superior	$RedCgTT \geq RedCgTTmin$

Fonte - Adaptado da NBR 15575 Parte 1, ABNT (2021)

Figura 20 - Resumo do procedimento de simulação para as edificações em estudo.



Fonte - Adaptado da NBR 15575\_Parte 1, ABNT (2021)

### 3.1.1 Caracterização do clima para as cidades do estudo

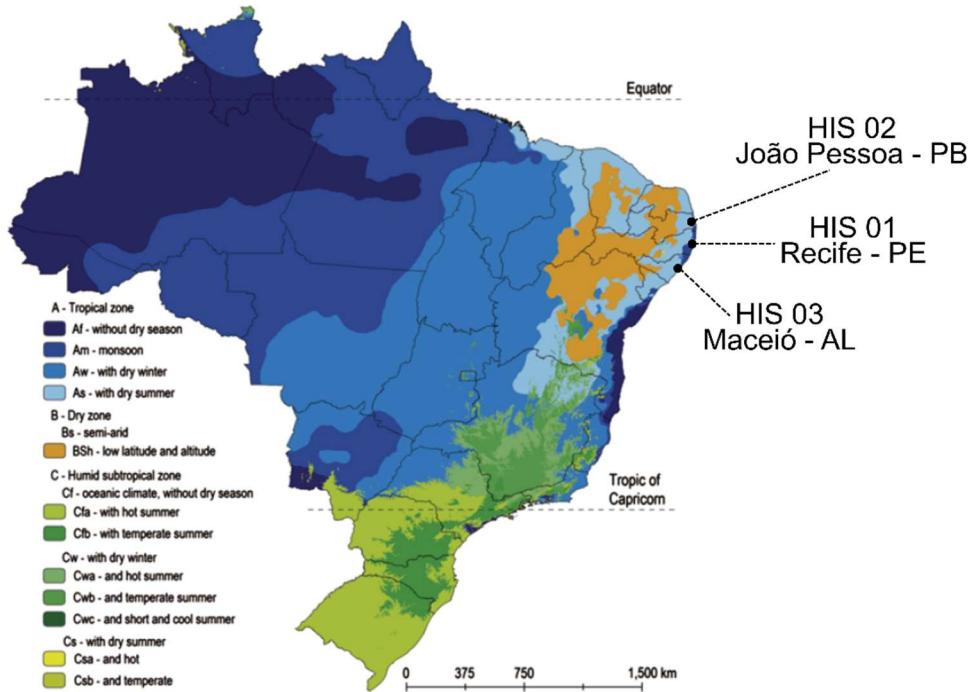
O desempenho térmico tem uma forte relação com o clima e para a sua análise é preciso saber a variação de temperatura e a umidade relativa do ar, a direção e a velocidade do vento e a radiação solar para todas as horas do ano. A composição dessas informações é disponibilizada em arquivos climáticos e estes são utilizados nas simulações previstas em norma (Siqueira; Akutsu; Lopes; Souza, 2005).

Conforme já referido as HIS do estudo estão localizadas na Zona Bioclimática ZB8 (ABNT NBR 15220-3, 2005) / ZB5A (ABNT NBR 15220-3, 2024), mais precisamente no litoral leste do Nordeste, nas cidades de Recife-PE, João Pessoa-PB e Maceió-AL. Essa padronização do Brasil em zonas bioclimáticas é definida pela ABNT na NBR 15220\_Parte 3, cujo zoneamento foi produzido levando em consideração as médias mensais de temperaturas máximas, médias mensais de temperaturas mínimas e as médias mensais da umidade relativa. A NBR 15575 (ABNT, 2021), que é utilizada na presente metodologia, utiliza a classificação bioclimática de 2005, locando as cidades do estudo na ZB8.

Em dezembro de 2024 a NBR 15220\_Parte 3 foi revisada e foi apresentada uma nova classificação bioclimática para as cidades brasileiras. Apesar da revisão, as três cidades do estudo permaneceram na mesma zona, estas reclassificadas como 5A. A norma define esta zona como de clima quente e úmido, com temperatura externa variando entre  $25^{\circ}\text{C} \leq \text{TBSm} < 27^{\circ}\text{C}$  e média anual de umidade relativa igual a  $\text{UR} > 68,7\%$ .

Na classificação de Koppen-Geiger, que é fundamentada na vegetação de cada área geográfica e baseada em elementos meteorológicos da precipitação e da temperatura, as cidades de João Pessoa (PB), Recife (PE) e Maceió (AL) são consideradas Am (figura 21) (Alvares et al., 2013). Essa classificação é caracterizada por um clima tropical chuvoso (quente e úmido), monçônico (chuvas o ano todo, com uma estação seca) e com temperaturas elevadas (médias entre  $25^{\circ}\text{C}$  e  $27^{\circ}\text{C}$ ) (Marinho et al., 2022).

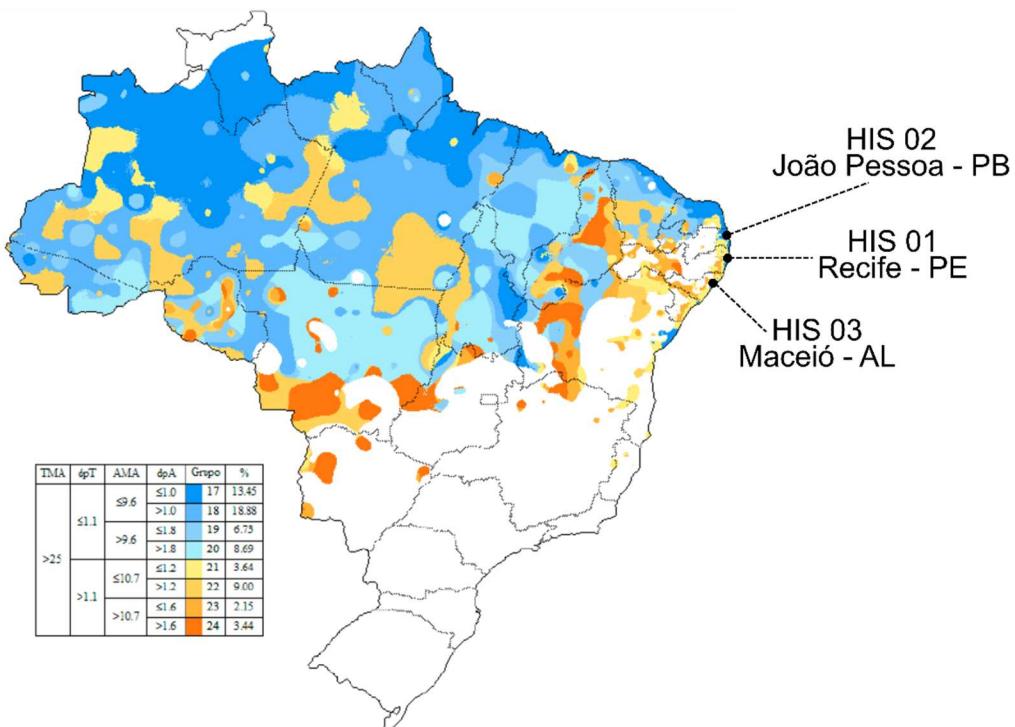
Figura 21 - Zoneamento climático Brasileiro segundo a classificação de Koppen-Geiger



Fonte - Adaptado de Alvares et al. (2013)

Bavaresco et al. (2017) elaboraram um documento para o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) com o intuito de revisar a classificação bioclimática do país nos Regulamentos Técnicos de Qualidade. O relatório divide o clima nacional em quatro parâmetros: a temperatura média anual, o desvio padrão da temperatura média, a amplitude média anual e o desvio padrão da amplitude. Ao final, foram propostos 24 grupos climáticos, ficando as cidades do estudo classificadas no mesmo grupo, o de número 21 (figura 22), com temperatura média anual acima de 25 °C e amplitude média anual menor ou igual a 10,7 °C.

Figura 22 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro segundo a classificação do CB3E – grupos climáticos 17 ao 21



Fonte – Adaptado de Bavaresco et al. (2017)

A ASHRAE 90.1 Standard (2013), em seu Anexo B, classifica a cidade de Recife (PE) como pertencente a zona bioclimática 1A. Como Recife-PE pertence a mesma zona bioclimática das cidades em estudo, a classificação 1A também foi atribuída a João Pessoa-PB e Maceió-AL. A tabela 8 apresenta as classificações climáticas de forma resumida, sendo interessante perceber que a partir de suas características similares, foi possível compreender qual a melhor abordagem para o desempenho térmico das edificações nesse recorte geográfico.

Tabela 8 - Classificação bioclimática das edificações em estudo.

EDIFICAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO BIOCLIMÁTICA				
	NBR 15220 (2005)	NBR 15220 (2024)	ASHRAE 90.1	Koppen-Geiger	CB3E
Recife - PE	8	5A	1A	Am	21
João Pessoa - PB	8	5A	1A	Am	21
Maceió - AL	8	5A	1A	Am	21

Fonte – Autor

A partir da definição do clima das cidades em estudo e baseando-se na NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1-1: Base – padrão de arquivos climáticos para a avaliação do desempenho térmico por meio do procedimento de simulação computacional; o arquivo climático utilizado na simulação foi o disponibilizado pelo Inmet, para os anos de 2001 a 2010, no formato EPW.

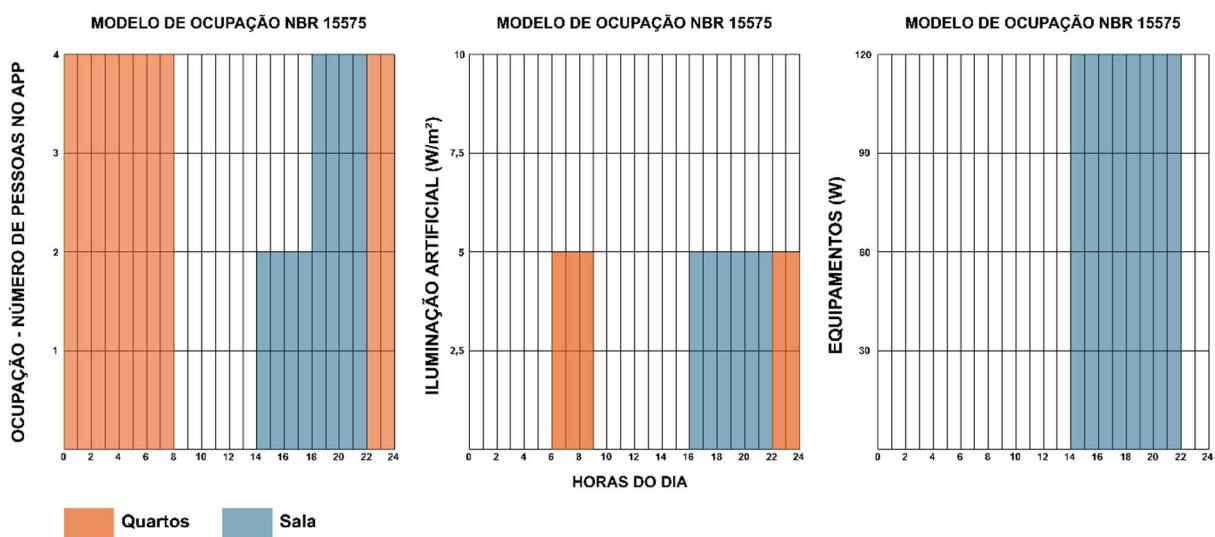
### 3.1.2 Ocupação e Cargas Internas para as HIS unifamiliar e multifamiliar

Com relação a ocupação, seguindo o exposto na NBR 15575\_Parte 1 (ABNT, 2021), os dormitórios devem ter 100% de ocupação no período de horas entre 22:00 – 07:59, correspondente ao total de duas pessoas no APP. Em relação à sala, considera-se uma ocupação de 50% no período entre 14:00 – 17:59 e de 100% no horário de 18:00 – 21:59 h. A ocupação de 50% corresponde a dois usuários e a de 100%, a quatro usuários para as salas.

A NBR 15575\_Parte 1 (ABNT, 2021) ainda detalha as atividades realizadas nos dormitórios no período de ocupação, onde o usuário deverá estar dormindo ou descansando, gerando um calor metabólico de 45 W/m<sup>2</sup>. Para as salas, a norma define que o usuário deverá estar sentado, assistindo à TV, gerando um calor de 60 W/m<sup>2</sup>.

Quanto as cargas internas, em relação à iluminação artificial, a NBR 15575\_Parte 1 (ABNT, 2021) prevê seu uso no período das 06:00 – 07:59 e das 22:00 – 23:59 nos dormitórios e das 16:00 – 21:59 nas salas. A norma ainda define a densidade de potência instalada de 5 W/m<sup>2</sup> para todos os APP. Quanto a carga interna de equipamentos, ela indica que só deverá ser computada para o APP referente à sala, devendo ser considerada no período de 14:00 – 21:59, com uma potência de 120 W. Este perfil de ocupação e cargas internas (figura 23) foi utilizado para a simulação dos MReal e MRef.

Figura 23 - Ocupação e Cargas Internas dos MReal e MRef segundo a NBR 15575



Fonte - Varjal; Melo (2024)

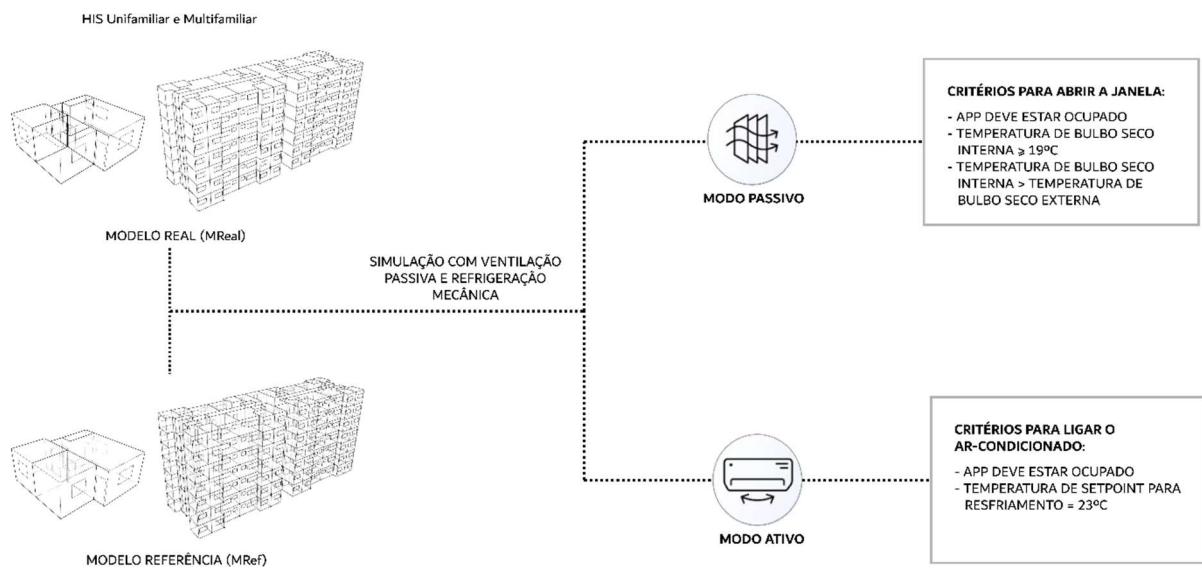
### 3.1.3 Ventilação Passiva e Mecânica para as HIS unifamiliar e multifamiliar

Conforme já afirmado, o Modelo Real (MReal) e o Modelo de Referência (MRef) foram simulados de duas formas: a primeira, por meio de ventilação passiva, ou seja, contando apenas com a ventilação natural e a segunda simulação, usando um sistema de refrigeração. Na primeira simulação, que serviu de base para a avaliação de todos os níveis de desempenho, utilizou-se a ventilação natural, permitindo a abertura das janelas apenas quando o APP estivesse ocupado, quando a temperatura de bulbo seco interno do APP fosse igual ou superior a 19°C (temperatura esta que não é representativa para o clima da ZB8 (ABNT NBR 15220-3, 2005) / ZB5A (ABNT NBR 15220-3, 2024), visto que nesse local as temperaturas são quase sempre mais elevadas do que o referido valor de referência) ou quando esta mesma temperatura fosse superior à temperatura de bulbo seco externa.

A NBR 15575\_Parte 1 (ABNT, 2021) ainda informa que deve ser considerada a infiltração por frestas e que as janelas dos Ambientes de Permanência Transitória (APT) devem ser consideradas fechadas, exceto para as janelas de banheiro. Esses critérios são válidos tanto para a simulação do Modelo Real (MReal) quanto para o Modelo de Referência (MRef). No Modelo de Referência (MRef), após o redimensionamento dos elementos transparentes, a abertura para a ventilação deverá ser de 45% para cada elemento. A configuração da ventilação natural foi feita através da ferramenta *AirflowNetwork* do software *EnergyPlus*. É importante pontuar que as janelas foram simuladas conforme padrão entregue nos habitacionais do PMCMV, ou seja, uso de vidro simples translucido e sem proteção contra a insolação direta.

Na segunda simulação, considerando o uso de ventilação mecânica, a norma prevê 23°C como temperatura de *setpoint*, porém com acionamento apenas quando o APP estiver ocupado. Nessa simulação, todas as portas e janelas foram consideradas fechadas durante todo o ano, com exceção do banheiro, e os coeficientes de infiltração também foram aplicados. O sistema de cálculo de cargas térmicas de refrigeração foi considerado ideal. A figura 24 resume os critérios utilizados na simulação para o acionamento da ventilação natural e mecânica.

Figura 24 - Resumo dos critérios para a ventilação passiva e mecânica



Fonte - Adaptado da NBR 15575 (ABNT, 2021)

### 3.2 AVALIAÇÃO DE HIS UNIFAMILIAR

Nesse primeiro percurso da pesquisa buscou-se avaliar o desempenho térmico através da simulação computacional no contexto do recorte em estudo, aplicando-se o procedimento aqui elencado em uma HIS unifamiliar<sup>1</sup>.

De modo a atender ao objetivo geral da pesquisa a ideia foi avaliar o desempenho térmico de habitações de interesse social unifamiliares situadas na ZB8 (ABNT NBR 15220-3, 2005) / ZB5A (ABNT NBR 15220-3, 2024), mais precisamente nas cidades de Recife-PE, João Pessoa-PB e Maceió-AL, a partir do método de simulação computacional com foco na variável projetual de materiais da envoltória. No caso, foram testadas composições de materiais que acarretassem uma melhoria no nível de desempenho térmico da HIS em estudo. O recorte dessa etapa da metodologia pode ser visto na figura 25.

<sup>1</sup> Esta primeira análise do desempenho originou um artigo intitulado “Desempenho térmico de HIS: estudo comparativo com composições de materiais da envoltória”, publicado nos Anais do ENTAC 2024 (Varjal; Melo, 2024)

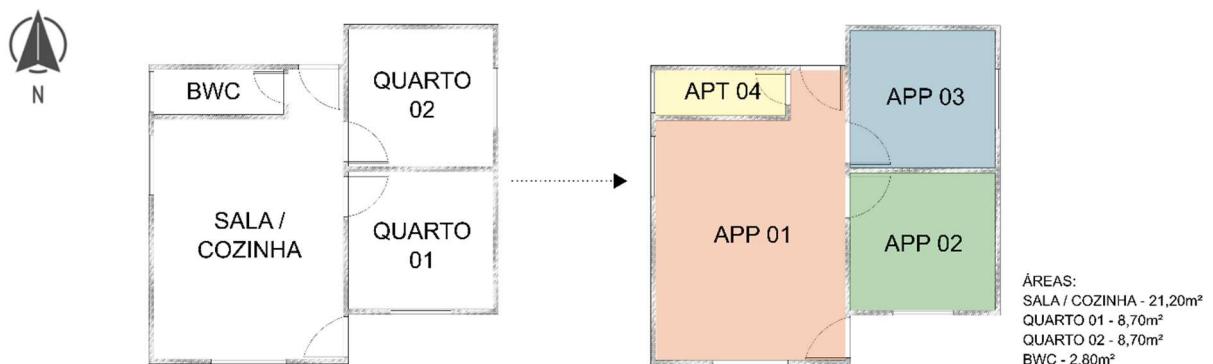
Figura 25 – Recorte do procedimento metodológico do estudo para uma HIS unifamiliar



Fonte - Adaptado de Varjal; Melo (2024)

Para o modelo da edificação foi escolhida uma HIS típica dos programas habitacionais do país, a planta se baseou no estudo realizado por Triana; Lamberts; Sassi (2015). Ela consiste em uma habitação unifamiliar, térrea e com uma área construída de 41,40 m<sup>2</sup>. A planta é composta por dois quartos (figura 26), uma sala integrada a cozinha (estes foram considerados Ambientes de Permanência Prolongada (APP)), e um banheiro (este último foi configurado como um Ambiente de Permanência Transitória (APT)).

Figura 26 - Planta baixa do modelo HIS unifamiliar (à esquerda). Disposição dos APP's e APT's (à direita).

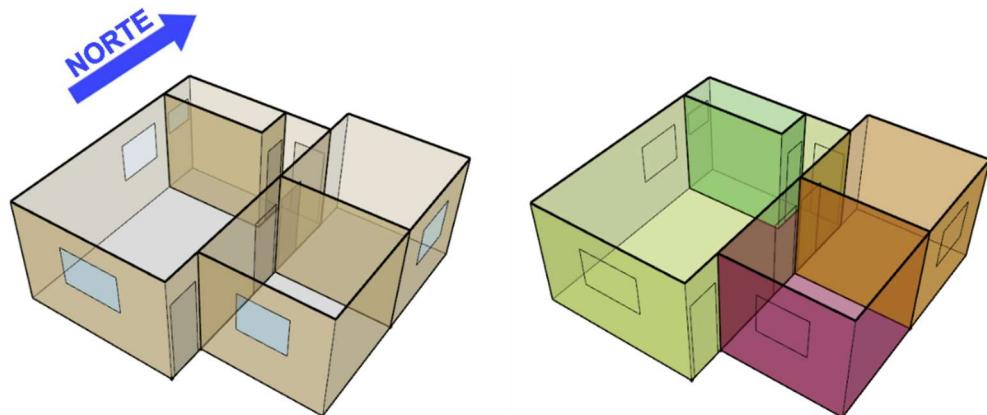


Fonte - Adaptado de Varjal; Melo (2024)

A configuração da planta deu origem a quatro zonas térmicas (figura 27). A modelagem da edificação foi feita no software *OpenStudio* versão 1.1.0 associado ao software *Sketchup* versão 2019. Para a simulação do desempenho térmico da edificação, utilizou-se o software *EnergyPlus* versão 9.4.0. Com relação as trocas térmicas entre a edificação e o solo, foi utilizada a ferramenta *GroundTemperature* do software *EnergyPlus*, considerando que esta ferramenta se baseia nas médias

mensais de temperatura do solo disponibilizadas no arquivo climático. Este modelo foi simulado com as mesmas características e orientação para as três cidades do estudo.

Figura 27 - MReal HIS unifamiliar utilizado na simulação do estudo (à esquerda). Zonas térmicas do MReal (à direita)

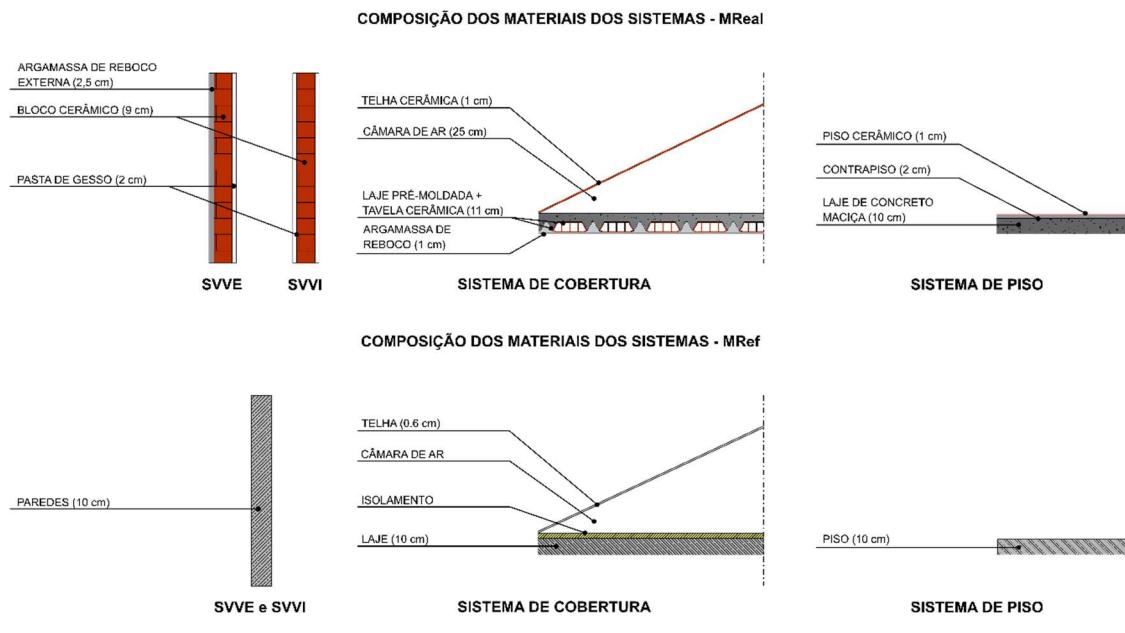


Fonte - Varjal; Melo (2024)

### 3.2.1 Simulação MReal e MRef – HIS unifamiliar

A simulação do desempenho térmico do MReal e do MRef para a HIS unifamiliar, no caso das três cidades, considerou aqueles materiais que são usualmente empregados pela construção civil, especialmente pelo mercado de habitação social. A ideia era compreender como esses materiais afetam o desempenho térmico dessa tipologia de edificação construída em larga escala. A figura 28 demonstra a composição dos materiais utilizados para os Sistemas de Vedação Vertical Externa (SVVE), de Vedação Vertical Interna (SVVI), de Cobertura e de Piso. A tabela 9 apresenta as propriedades desses materiais.

Figura 28 - Composição dos materiais – MReal e MRef HIS unifamiliar



Fonte - Varjal; Melo (2024)

Tabela 9 - Propriedade dos materiais usados nas simulações do MReal e MRef da HIS unifamiliar

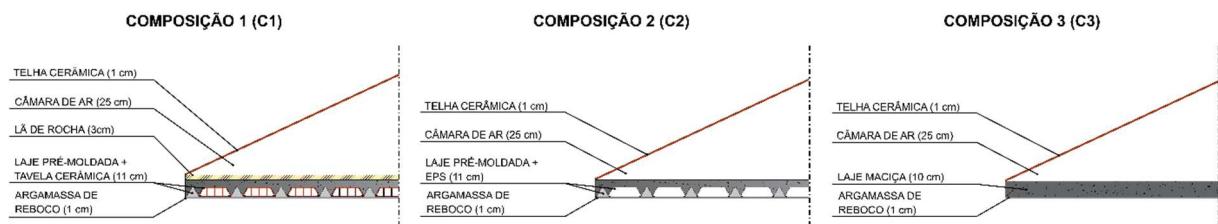
<b>SIMULAÇÕES COM OS MReal e MRef - HIS UNIFAMILIAR</b>							
<b>MReal</b>							
	e (cm)	$\lambda$ (W/mK)	$\rho$ (kg/m³)	c (kJ/kgK)	Rt (m²K/W)	$\alpha$	$\epsilon$
SVVI (13 cm)							
Gesso Projetado	2.0	0.35	900	0.870	0.057	0.2	0.9
Bloco cerâmico 8 furos	1.30	0.900	1600	0.920	0.014	0.7	0.9
Câmara de ar (interno ao bloco)	6.40	0.356	-	-	0.18	-	-
SVVE (13,5 cm)							
Argamassa de Reboco - (pintura amarela)	2.5	1.15	2000	1.000	0.022	0.3	0.9
PISO (13 cm)							
Piso cerâmico	1.0	1.05	2000	0.920	0.0071	0.4	0.9
Contrapiso	2.0	1.15	2000	1.000	0.0174	0.7	0.9
Laje de concreto maciça (RADIER)	10	1.75	2400	1.000	-	0.75	0.9
COBERTURA (38 cm)							
Telha cerâmica	1.0	1.05	2000	0.920	0.0095	0.75	0.9
Câmara de ar	25.0	1.190	-	-	0.2100	-	-
Concreto - pré moldado	4.0	1.75	2200	1.00	0.023	0.75	0.9
Tavela Cerâmica	1.20	1.05	2000	0.920	0.011	0.7	0.9
Câmara de ar (interna a tavela cerâmica)	4.60	0.565	-	-	0.081	-	-
Argamassa de Reboco	1.0	1.15	2000	1.000	0.009	0.7	0.9
<b>MRef</b>							
PAREDES (10 cm)							
SVVI	10.0	1.75	2200	1000	-	0.2	0.9
SVVE						0.58	0.9
PISO (10 cm)							
Piso	10.0	1.75	2200	1000	-	0.4	0.9
COBERTURA							
Telha	0.6	0.65	1700	840	-	0.65	0.9
Câmara de ar	-	-	-	-	0.21	-	-
Isolamento	-	-	-	-	0.67	-	-
Laje	10.0	1.75	2200	1000	-	0.7	0.9

Fonte - Adaptado de Varjal; Melo (2024)

### 3.2.2 Simulação do MReal – HIS unifamiliar com alterações nos materiais da envoltória

Na sequência do estudo com HIS unifamiliar, para analisar a influência da alteração dos materiais no resultado dos indicadores de desempenho térmico, foram feitas primeiramente alterações nos materiais da cobertura, sendo testadas três composições diferentes (figura 29). Todos os demais sistemas da envoltória permaneceram iguais ao MReal.

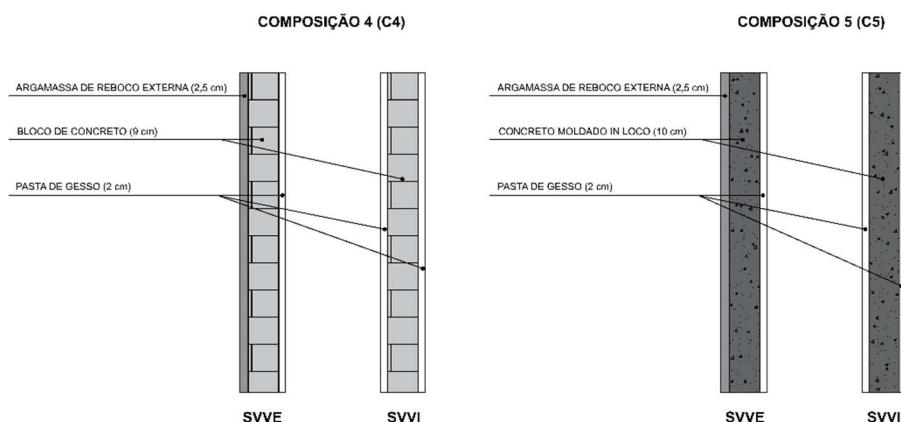
Figura 29 - Composição das coberturas nas simulações da HIS unifamiliar



Fonte - Varjal; Melo (2024)

Em um segundo teste realizado com a HIS unifamiliar, foram modificados os materiais dos sistemas de vedação vertical externa e interna. Assim como na etapa anterior, as características dos demais sistemas foram mantidas na simulação, iguais às do MReal. Nesse caso, foram analisadas duas composições (figura 30), optando-se novamente pelo uso de materiais amplamente utilizados no mercado de HIS.

Figura 30 - Composições do SVVE e SVVI nas simulações da HIS unifamiliar

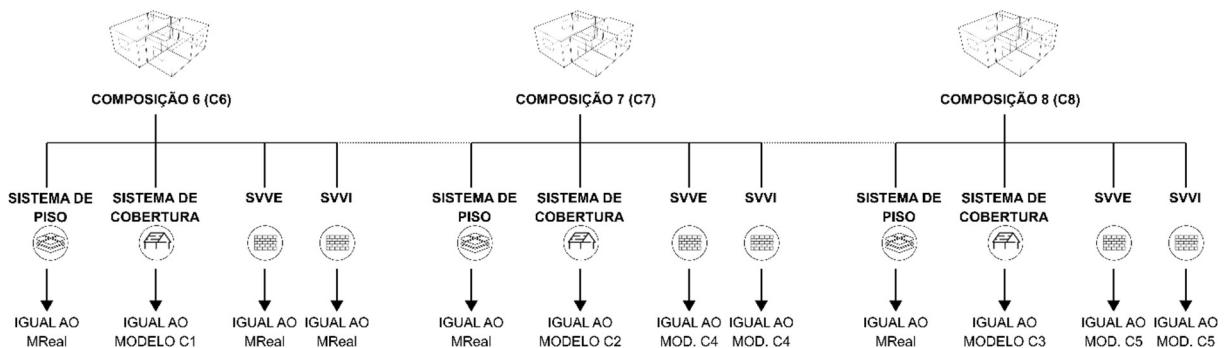


Fonte - Varjal; Melo (2024)

No terceiro teste, foram analisadas três combinações, associando os materiais utilizados nas etapas anteriores da simulação de desempenho térmico (figura 31). As alterações foram aplicadas simultaneamente aos sistemas de cobertura, vedação externa e vedação interna. Entretanto, as características do piso permaneceram inalteradas em todas as simulações, sendo mantidas iguais às do

MReal. A tabela 10 apresenta as propriedades dos materiais utilizados na etapa de alteração das características da envoltória do MReal.

Figura 31 - Composições com alterações combinadas (coberta / SVVE e SVVI) nas simulações da HIS unifamiliar



Fonte - Varjal; Melo (2024)

Tabela 10 - Propriedade dos materiais usados nas simulações com alteração das características da envoltória do MReal da HIS unifamiliar

SIMULAÇÕES COM ALTERAÇÕES DOS MATERIAIS DA ENVOLTÓRIA NO MReal - HIS UNIFAMILIAR							
NAS COBERTURAS (ETAPA II.1)							
<b>C1</b> - Adição de Lã de Rocha (sobre a laj	3.0	0.035	40	-	0.8500	-	-
<b>C2</b> - EPS (substitui a tavela cerâmica)	7	0.223	373	1.000	0.314	0.75	0.9
<b>C3</b> - Laje de concreto maciça (substitui laje com tavela cerâmica)	10	2.5	2400	1.000	-	0.75	0.9
NAS VEDAÇÕES VERTICais (ETAPA II.2)							
<b>C4</b>							
Bloco de concreto 2 furos (substitui os blocos cerâmicos)	1.73	1.75	2400	1.000	0.010	0.75	0.9
Câmara de ar (interno ao bloco de concreto)	5.54	0.438	-	-	0.126	-	-
<b>C5</b> - Parede de concreto moldado in loc	10	2.3	2300	1.000	-	0.75	0.9

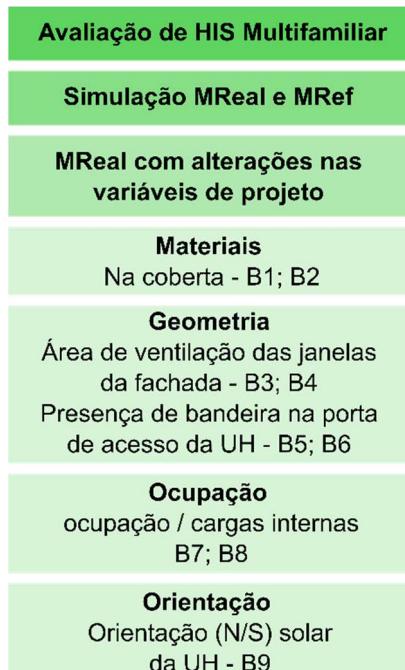
Fonte - Adaptado de Varjal; Melo (2024)

### 3.3 AVALIAÇÃO DE HIS MULTIFAMILIAR

No segundo percurso da pesquisa, buscou-se avaliar o desempenho térmico, agora aplicado a HIS multifamiliar, mantendo as análises para as mesmas cidades (Recife-PE, João Pessoa-PB e Maceió-AL), a partir do método de simulação computacional. Num primeiro momento, fez-se a simulação para avaliar o desempenho térmico da HIS multifamiliar com as características do MReal e MRef (figura 32). Posteriormente, foram feitas simulações com alterações nas variáveis de projeto do MReal da HIS multifamiliar, considerando aspectos dos materiais, geometria, ocupação e orientação. Buscou-se alcançar maior nível de classificação do desempenho térmico, explorando as seguintes alterações: 1 – Alteração nos

materiais da Cobertura; 2 – Aumento da área de ventilação das janelas; 3 – Adição de bandeira na porta de acesso da Unidade Habitacional (UH); 4 – Alteração na ocupação e cargas internas; 5 – Alteração na orientação solar da edificação.

Figura 32 - Recorte do procedimento metodológico do estudo para uma HIS multifamiliar



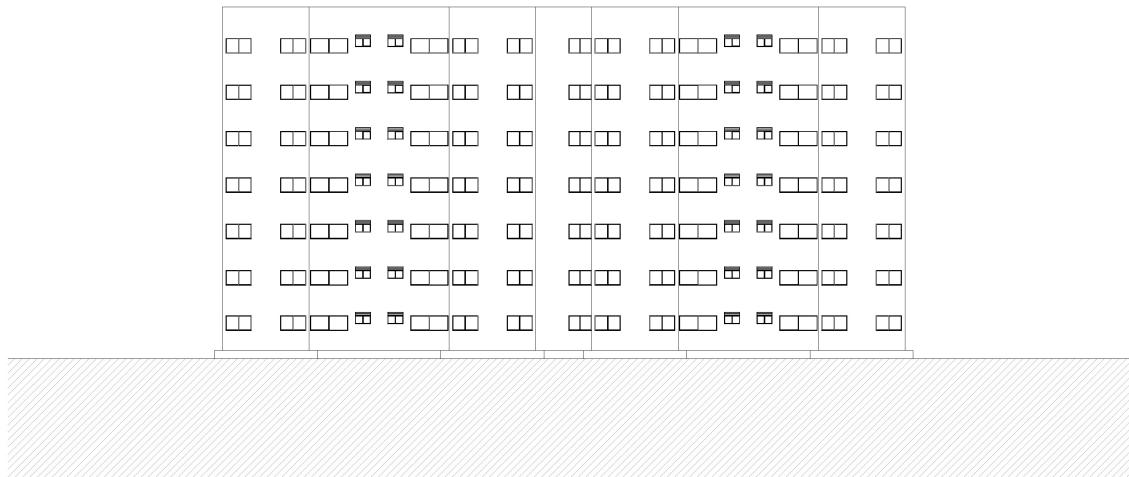
Fonte - Autor

### 3.3.1 Simulação com MReal e MRef – HIS Multifamiliar

Assim como no estudo da HIS unifamiliar, para a simulação de desempenho térmico da HIS multifamiliar, foi escolhido um projeto de uma edificação típica do Programa Minha Casa Minha Vida para analisar os MReal e MRef. É importante salientar que a planta escolhida é baseada em um projeto real do PMCMV e que sua escolha se deve ao fato do projeto se repetir nas três cidades do estudo e em outras cidades do Brasil. A ideia foi compreender o nível do desempenho térmico dessas edificações construídas em larga escala no contexto do recorte geográfico do estudo.

A edificação consiste em uma habitação multifamiliar, composta por sete pavimentos, destes um pavimento térreo, cinco pavimentos tipo e um pavimento de cobertura (figura 33). Cada lâmina tem uma área equivalente à 424,65m<sup>2</sup>, totalizando uma área construída de 2.972,55m<sup>2</sup>.

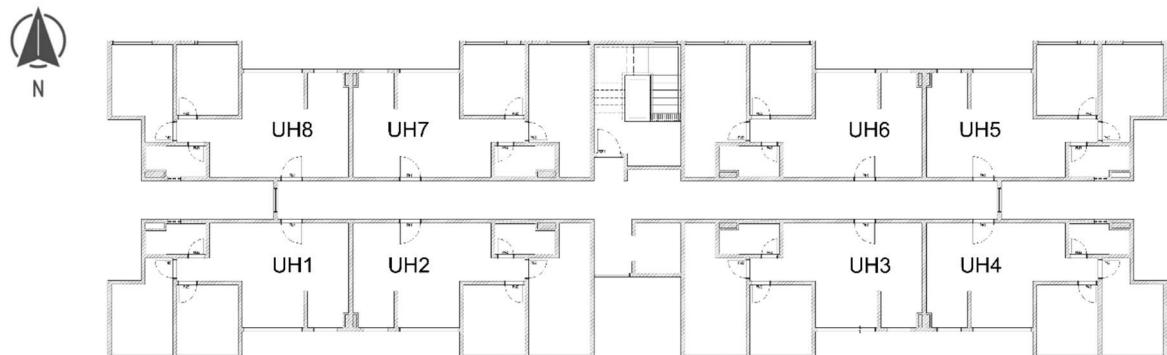
Figura 33 - Fachada Sul da HIS multifamiliar simulada



Fonte - Autor

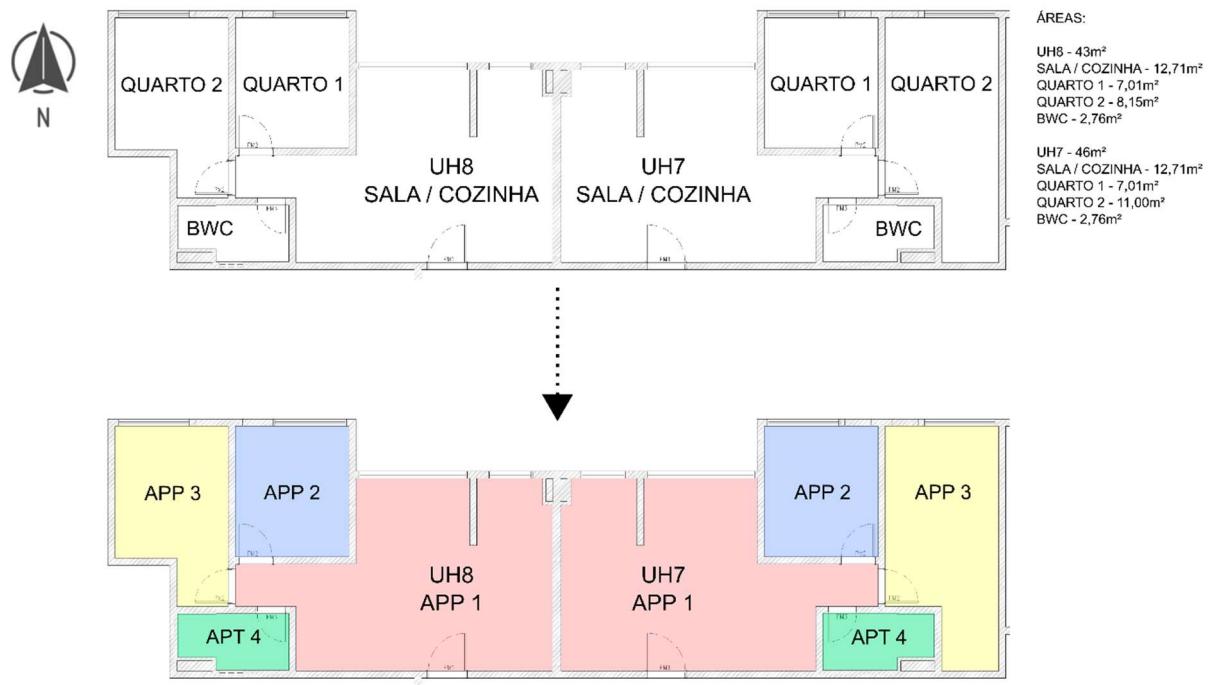
Todos os pavimentos são compostos por oito unidades habitacionais (figura 34), destas unidades existem dois tipos de planta baixa, as unidades da periferia contam com uma área de 43m<sup>2</sup> e as do centro da lâmina possuem 46m<sup>2</sup>. Os dois tipos de planta baixa possuem uma sala integrada a cozinha, dois quartos e um banheiro (figura 35). Os três primeiros cômodos foram considerados Ambientes de Permanência Prolongada (APP's) e o último como um Ambiente de Permanência Transitória (APT).

Figura 34 - Planta baixa do pavimento tipo da HIS multifamiliar simulada. Distribuição das UHs na lâmina.



Fonte – Autor

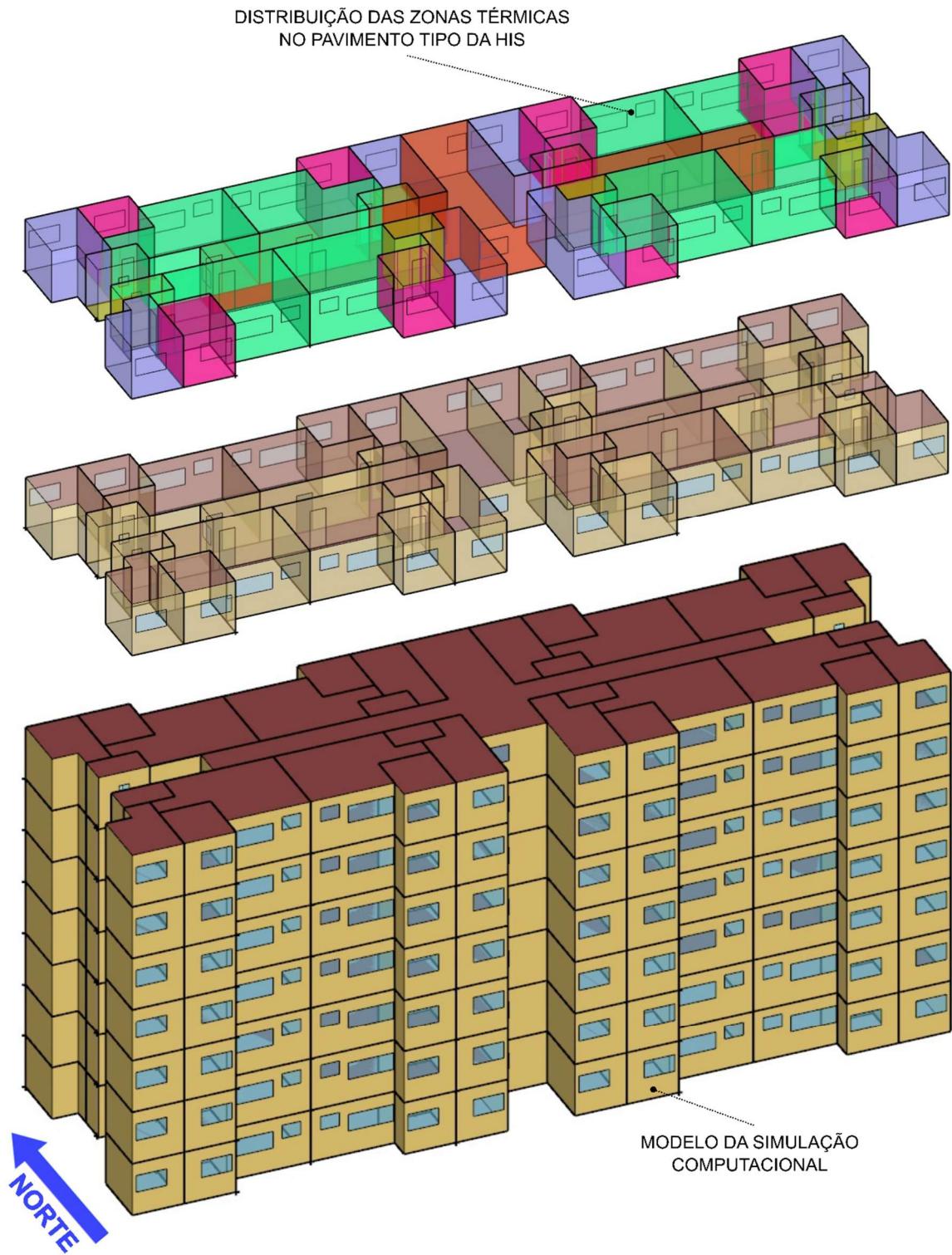
Figura 35 - Planta baixa das UHs dos pavimentos da HIS multifamiliar simulada. Disposição dos APP's e APT.



Fonte – Autor

Cada UH foi simulada com quatro zonas térmicas derivadas dos APP's e APT's, mas além das zonas referentes aos apartamentos, em cada pavimento foi considerado um APT, logo uma zona térmica, correspondente a circulação. A NBR 15575 (ABNT, 2021) permite uma simplificação dos pavimentos tipo, porém, buscando uma maior acurácia dos resultados, todos os pavimentos foram modelados (figura 36). A modelagem da edificação foi feita no *software OpenStudio* versão 1.1.0 associado ao *software Sketchup* versão 2019.

Figura 36 - Modelo da HIS multifamiliar utilizada na simulação e distribuição das zonas térmicas no pavimento tipo.



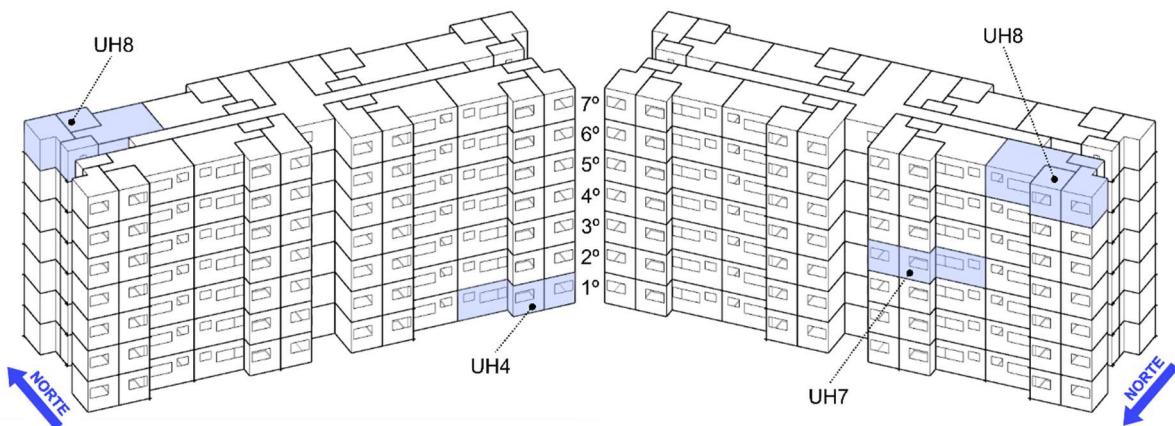
Fonte - Autor

Após as simulações de desempenho térmico na HIS unifamiliar, ficou perceptível uma forte influência da troca de calor da edificação com o solo nos resultados dos indicadores. Krarti (1999) apud Resende; Souza; Gomes (2019)

verificou que a “análise da transferência de calor envolvendo o solo tem um efeito significativo nas avaliações de desempenho térmico de edificações familiares e comerciais terreas, chegando a contribuir com até 30% do total das cargas de aquecimento e arrefecimento da edificação.” Diante disso para a simulação da HIS multifamiliar optou-se por utilizar a ferramenta *GroundDomain* do software *EnergyPlus*, através do procedimento elaborado por Xing (2014) que necessita de uma gama maior e mais complexa de dados (Eli et al., 2019), permitindo uma maior acurácia dos resultados.

Para a simulação do desempenho térmico da edificação multifamiliar, utilizou-se o software *EnergyPlus* versão 9.4.0. Toda a edificação foi modelada e simulada, porém, para efeito de resultados foram escolhidas três unidades habitacionais (figura 37). A primeira foi a UH4 situada no pavimento térreo e com suas janelas orientadas para a fachada Sul, a segunda foi a UH7 situada no 4º pavimento e com as janelas orientadas para a fachada Norte, a terceira foi a UH8 situada no pavimento de cobertura e com suas janelas também orientadas para a fachada Norte.

Figura 37 - Unidades Habitacionais da HIS multifamiliar escolhidas para análise dos resultados da simulação de desempenho térmico.



Fonte - Autor

Essas unidades foram escolhidas devido as suas diferenças de interação com o entorno. A UH4 tem contato direto com o solo e está com seus APP's orientados para a fachada Sul, sendo esperada uma redução da carga térmica nesse apartamento; a UH7 está situada no meio dos pavimentos (4º andar) e no centro da lâmina, entre as demais unidades, além de ter sua fachada principal voltada para o Norte; a UH8 está na cobertura e com sua fachada principal voltada também para Norte. Considera-se que esta última unidade (UH8) deve receber a maior insolação, devido a exposição da coberta, comparado com as demais escolhidas. Essas

diferenças permitem compreender cenários diversos sobre as unidades habitacionais de moradias sociais verticais (HIS).

Quanto a questão dos materiais, assim como na UH unifamiliar, optou-se pelo uso de materiais comumente empregados pelo mercado da construção civil. Dessa forma é possível entender a real situação do desempenho térmico nessas edificações e qual a melhor forma de melhorá-lo. A tabela 11 demonstra a composição e as propriedades dos materiais utilizados para o Sistema de Vedação Vertical Externa (SVVE), o Sistema de Vedação Vertical Interna (SVVI), o Sistema de Cobertura e o Sistema de Piso do MReal nessa simulação.

Tabela 11 - Propriedade dos materiais utilizados na simulação de desempenho térmico do MReal da HIS multifamiliar

MODELO REAL - PROPRIEDADE DOS MATERIAIS							
SVVE (13.5 cm)	e (cm)	λ (W/mK)	ρ (kg/m³)	c (kJ/kgK)	Rt (m²K/W)	α	ε
Reboco Externo - (pintura amarela)	2.5	1.00	1800	1.000	0.022	0.3	0.9
Bloco de concreto (9x19x39)	9.0	1.15	1800	1.000	0.010	0.75	0.9
Gesso Interno	2.0	0.18	600	0.870	0.057	0.2	0.9
SVVI (13 cm)	e (cm)	λ (W/mK)	ρ (kg/m³)	c (kJ/kgK)	Rt (m²K/W)	α	ε
Gesso Interno	2.0	0.18	600	0.870	0.057	0.2	0.9
Bloco de concreto (9x19x39)	9.0	1.15	1800	1.000	0.010	0.75	0.9
Gesso Interno	2.0	0.18	600	0.870	0.057	0.2	0.9
LAJE ENTRE PISOS (28.65 cm)	e (cm)	λ (W/mK)	ρ (kg/m³)	c (kJ/kgK)	Rt (m²K/W)	α	ε
Piso cerâmico	1.0	1.05	2000	0.920	0.0071	0.4	0.9
Contrapiso	2.0	1.15	2000	1.000	0.0174	0.7	0.9
Laje Maciça	10	2.50	2400	1.000	-	0.75	0.9
Camara de Ar	12.65	1.19	-	-	0.1063	-	-
Forro de Gesso	3.00	0.21	700	0.870	0.086	0.2	0.9
PISO (14 cm)	e (cm)	λ (W/mK)	ρ (kg/m³)	c (kJ/kgK)	Rt (m²K/W)	α	ε
Piso cerâmico	1.0	1.05	2000	0.920	0.0071	0.4	0.9
Contrapiso	2.0	1.15	2000	1.000	0.0174	0.7	0.9
Laje Maciça	10	2.50	2400	1.000	-	0.75	0.9
COBERTURA (55 cm)	e (cm)	λ (W/mK)	ρ (kg/m³)	c (kJ/kgK)	Rt (m²K/W)	α	ε
Telha de Fibrocimento	0.8	0.65	1800	0.840	0.0084	0.58	0.9
Camara de Ar	25.0	1.19	-	-	0.21	-	-
Contrapiso	2.0	1.15	2000	1.000	0.0174	0.7	0.9
Impermeabilização (Membrana Betuminosa)	0.5	0.23	1000	1.460	-	-	-
Regularização	1.0	1.15	2000	1.000	0.0174	0.7	0.9
Laje Maciça	10	2.50	2400	1.000	-	0.75	0.9
Camara de Ar	12.65	1.19	-	-	0.1063	0.7	0.9
Forro de Gesso	3.00	0.21	700	0.870	0.086	0.7	0.9

Fonte - NBR 15220\_Parte 2 (ABNT, 2005); Weber et al. (2017); CB3E (2022)

A norma de desempenho ainda especifica a composição e a propriedade dos materiais que foram utilizados na simulação do MRef (tabela 12). Para a janelas, considerou-se o uso de vidro translúcido de 3 mm para ambos os modelos. Ainda no MRef o Percentual de Elementos Transparentes (Pt,APP) foi alterado para atender aos 17% solicitado pela NBR 15575 (ABNT, 2021), bem como, o Percentual de abertura

para Ventilação (P<sub>v,APP</sub>) foi corrigido para 7,65%, aumentando assim a área das janelas do modelo.

Tabela 12 - Propriedade dos materiais utilizados na simulação de desempenho térmico do MRef da HIS multifamiliar

MODELO DE REFERÊNCIA - PROPRIEDADE DOS MATERIAIS							
	e (cm)	λ (W/mK)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	c (J/kgK)	Rt (m <sup>2</sup> K/W)	α	ε
Paredes internas	10.0	1.75	2200	1000	-	0.2	0.9
SVVE (10 cm)	e (cm)	λ (W/mK)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	c (J/kgK)	Rt (m <sup>2</sup> K/W)	α	ε
Paredes externas	10.0	1.75	2200	1000	-	0.58	0.9
PISO / LAJE ENTRE PISOS (10 cm)	e (cm)	λ (W/mK)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	c (J/kgK)	Rt (m <sup>2</sup> K/W)	α	ε
Piso	10.0	1.75	2200	1000	-	0.4	0.9
COBERTURA	e (cm)	λ (W/mK)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	c (J/kgK)	Rt (m <sup>2</sup> K/W)	α	ε
Telha	0.6	0.65	1700	840	-	0.65	0.9
Câmara de ar	-	-	-	-	0.21	-	-
Isolamento	-	-	-	-	0.67	-	-
Laje	10.0	1.75	2200	1000	-	0.7	0.9

Fonte - NBR 15575\_Parte 1 (ABNT, 2021)

### 3.3.2 Simulações do MReal – HIS multifamiliar com alterações nas variáveis projetuais

Nessa etapa da pesquisa foram realizadas as alterações nas variáveis projetuais da simulação de desempenho térmico do MReal – HIS multifamiliar. A primeira alteração consistiu na modificação dos materiais que compunham o sistema de cobertura. Embasado nos resultados encontrados no estudo da HIS unifamiliar, optou-se por inserir um material isolante na cobertura e por não analisar os sistemas de vedação vertical. Assim como nos demais materiais, foram escolhidos dois tipos de isolantes comumente encontrados no mercado, sendo eles a lã de rocha (B1) e o Poliestireno Expandido (EPS) (B2). A tabela 13 apresenta as propriedades dos materiais inseridos e a figura 38 demonstra as composições de cobertura simuladas.

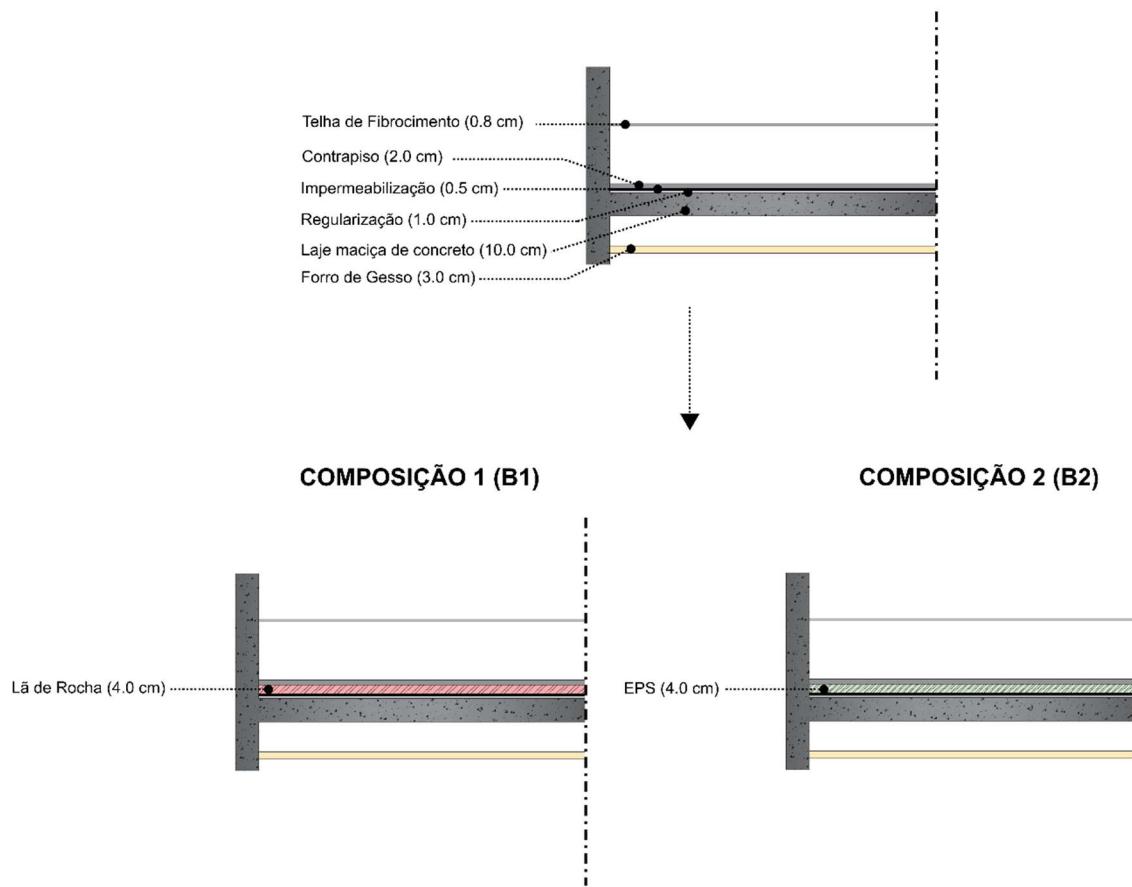
Tabela 13 - Propriedade dos materiais isolantes inseridos nas simulações de desempenho térmico da HIS multifamiliar

SIMULAÇÕES COM ALTERAÇÕES NOS MATERIAIS DA COBERTURA							
COBERTA	e (cm)	$\lambda$ (W/mK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	c (J/kgK)	Rt (m <sup>2</sup> K/W)	$\alpha$	$\varepsilon$
Lã de Rocha	4.0	0.035	40	-	1.1	-	-
EPS	4.0	0.042	-	-	0.9	-	-

Fonte - FIBROSOM (2018)

Figura 38 - Composição das coberturas simuladas no MReal da HIS multifamiliar

#### MODELO REAL (MReal)



Fonte - Autor

Outra alteração avaliada na simulação foi a área de ventilação das janelas das UHs. A primeira composição (B3) usou o mesmo índice de Pt,APP e Pv,APP utilizado no MRef, e a segunda composição (B4) aumentou ainda mais esses percentuais. A tabela 14 apresenta os índices utilizados na simulação. É importante salientar que as demais variáveis permaneceram conforme o MReal, inclusive o sistema de cobertura, e que as janelas do modelo não possuem elementos de sombreamento.

Tabela 14 - Alterações na área de ventilação dos APP's do MReal da HIS multifamiliar

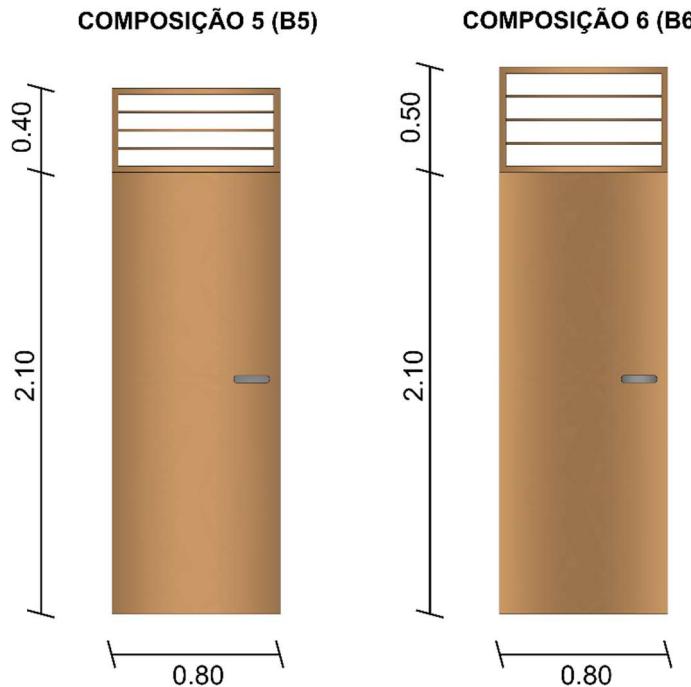
ÍNDICES	AMBIENTE	ALTERAÇÕES NA ÁREA DE VENTILAÇÃO DAS JANELAS - ETAPA IV.2						QUARTO 2		
		SALA / COZINHA		QUARTO 1		QUARTO 2				
		ÁREA DE ELEMENTOS TRANSPARENTES (m <sup>2</sup> )	Pt,APP (%)	Pv,APP (%)	ÁREA DE ELEMENTOS TRANSPARENTES (m <sup>2</sup> )	Pt,APP (%)	Pv,APP (%)	ÁREA DE ELEMENTOS TRANSPARENTES (m <sup>2</sup> )	Pt,APP (%)	Pv,APP (%)
Modelo Real (MReal)		2.22	9.52	4.76	1.12	14.24	7.12	1.12	12.01	6.00
Composição 3 (B3)		3.96	17.01	8.50	1.34	17.04	8.52	1.59	17.05	8.52
Composição 4 (B4)		4.44	19.06	9.53	1.54	19.58	9.79	1.79	19.19	9.60

LEGENDA:  
 Pt,APP = Percentual de elementos transparentes na envoltória do APP  
 Pv,APP = Percentual de abertura para ventilação do APP

Fonte - Autor

Na sequência das análises foram adicionadas bandeiras nas portas de acesso das unidades habitacionais. A utilização deste elemento arquitetônico se deu para possibilitar a ventilação cruzada nos apartamentos. Foram feitas duas composições com bandeiras nas portas, a primeira com uma área de 0,32m<sup>2</sup> (B5) e a segunda com uma área de 0,40m<sup>2</sup> (B6). A figura 39 ilustra as composições utilizadas na simulação.

Figura 39 - Adição de bandeiras nas portas de acesso das unidades na simulação da HIS multifamiliar.

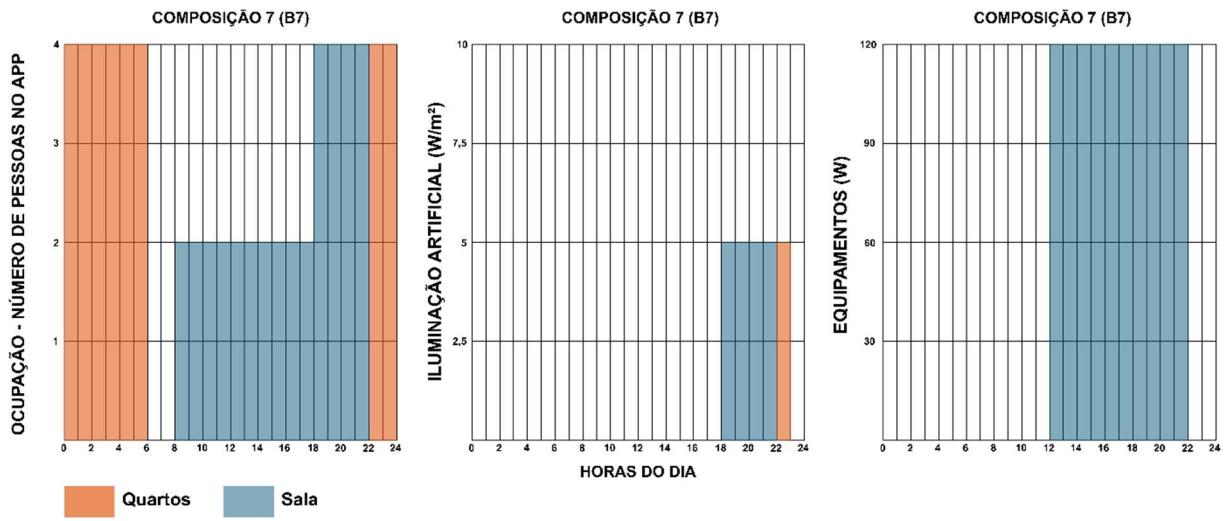


Fonte - Autor

Em outra análise feita procurou-se alterar o perfil de ocupação e as cargas internas da simulação de desempenho térmico do MReal da HIS multifamiliar, sendo feitas duas composições. A primeira variação (B7) se baseou nos padrões descritos no relatório de pesquisa que trata sobre “posse e hábitos de uso de equipamentos elétricos na classe residencial para a região Nordeste”, elaborado pela Eletrobrás (2019) (figura 40). Foram considerados os usos de equipamentos para as classes C1,

C2 e B2 (com um poder aquisitivo dentro da faixa de atendimento dos programas de HIS).

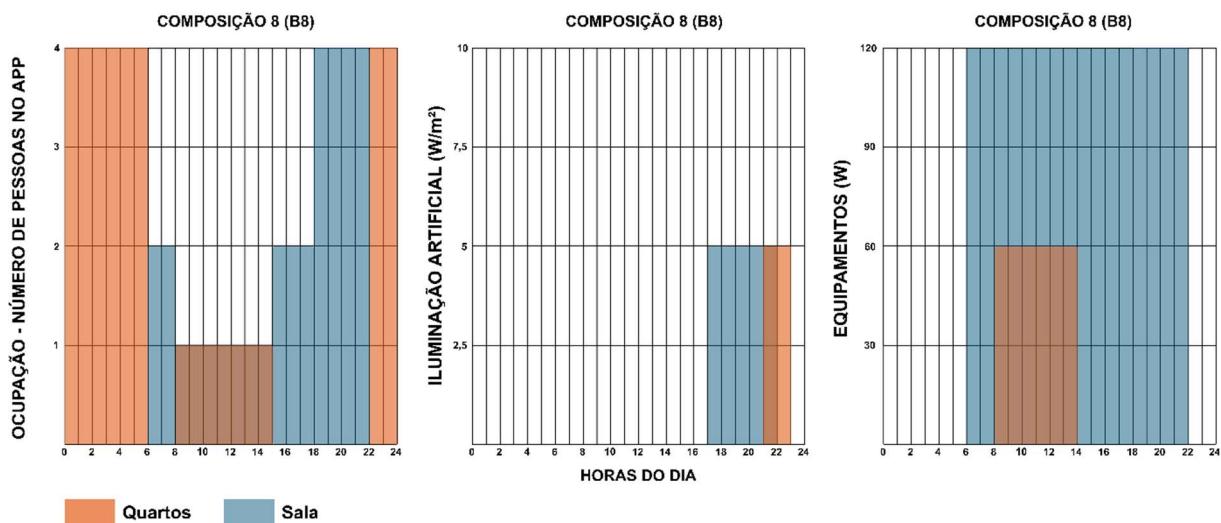
Figura 40 - Modelo de ocupação da composição B7 na simulação da HIS multifamiliar



Fonte - Autor

A segunda variação do modelo de ocupação (B8) foi pensada para uma habitação com usuários que trabalhassem em sistema de home office (na região Nordeste), considerando que este modelo é cada vez mais comum no país após o período da pandemia de COVID-19. Ele foi escolhido porque é um caso em que a unidade habitacional está sempre ocupada, gerando um aumento das cargas internas (figura 41).

Figura 41 - Modelo de ocupação da composição B8 na simulação da HIS multifamiliar

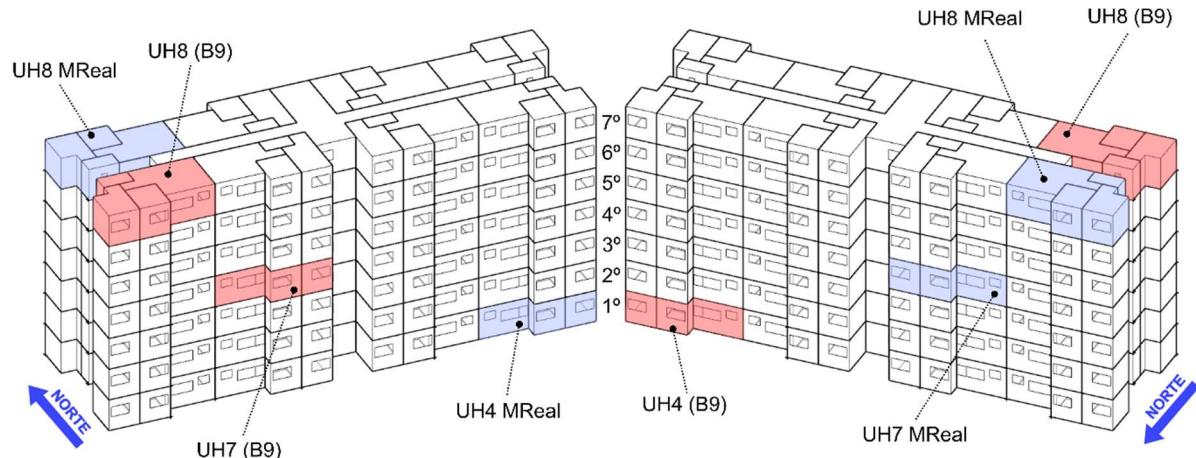


Fonte - Autor

Finalizando as análises com a HIS multifamiliar foi alterada a orientação solar das unidades habitacionais simuladas. Nesta etapa foi feita apenas uma composição (B9) onde a UH 4 passou a ter sua fachada com aberturas para os APP's voltadas

para o Norte e a UH7 e a UH8 tiveram as suas fachadas voltadas para o Sul. A figura 42 ilustra a posição da unidade na simulação de desempenho térmico do MReal e na composição B9.

Figura 42 - Alteração na orientação solar das UHs na simulação da HIS multifamiliar



Fonte – Autor

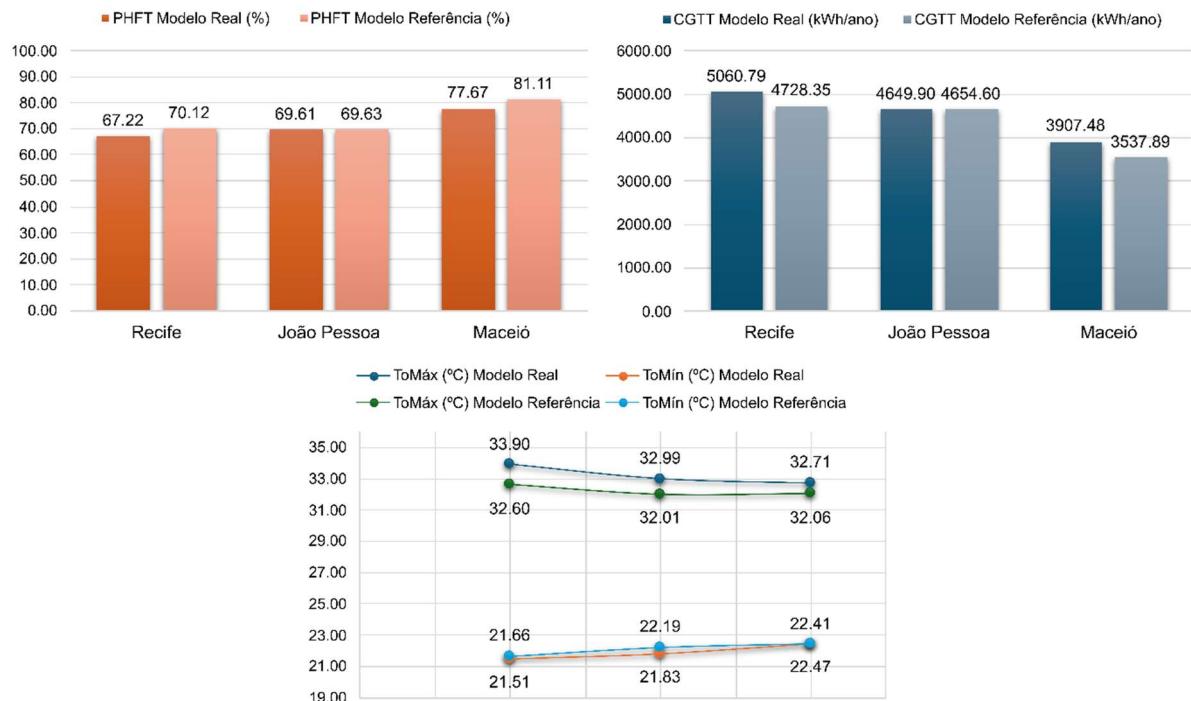
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização das simulações de desempenho térmico para as Habitações de Interesse Social (HIS) unifamiliares e multifamiliares, foram obtidos os resultados e a classificação do nível de desempenho das edificações no contexto geográfico analisado. Em ambos os casos, o estudo iniciou com uma análise comparativa entre o Modelo Real (MReal) e o Modelo de Referência (MRef), conforme estabelecido pela norma. Após a classificação do desempenho das edificações, foram implementadas alterações nas variáveis de projeto para avaliar seu impacto.

### 4.1 SIMULAÇÃO DO MODELO REAL E MODELO DE REFERÊNCIA PARA A HIS UNIFAMILIAR

Após as simulações de desempenho térmico do MReal e do MRef, chegou-se aos resultados dos indicadores de PHFT, ToMáx, ToMín e CgTT conforme apresentado nos gráficos da figura 43.

Figura 43 - Indicadores de desempenho térmico dos MReal e MRef para a HIS unifamiliar



Fonte - Adaptado de Varjal; Melo (2024)

É possível perceber uma tendência onde o MRef apresenta resultados melhores em relação ao MReal nas três cidades, apesar disso a diferença entre o resultado dos modelos é muito pequena. Os materiais do MRef possuem uma

condutividade térmica maior, porém, nesse modelo utilizou-se de um material isolante na coberta, atenuando a carga térmica decorrente da insolação da cobertura, e houve um aumento da área de ventilação das janelas. Ao final das simulações foi possível classificar as HIS quanto ao seu nível de desempenho térmico de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2021) (tabela 15).

Tabela 15 - Níveis de Desempenho Térmico das HIS nas 3 cidades para o MReal da HIS unifamiliar

INDICADOR	NÍVEL			NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO RESULTANTE
	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR	
PHFT (%)	ATENDE	NÃO ATENDE	NÃO ATENDE	
ToMáx (°C)	ATENDE	-	-	
ToMín (°C)*	-	-	-	MÍNIMO
CGTT (Kwh/ano)	-	NÃO ATENDE / ATENDE**	NÃO ATENDE	

Nota: \*Dispensável para a ZB8. \*\*Apenas João Pessoa. Fonte - Varjal; Melo (2024)

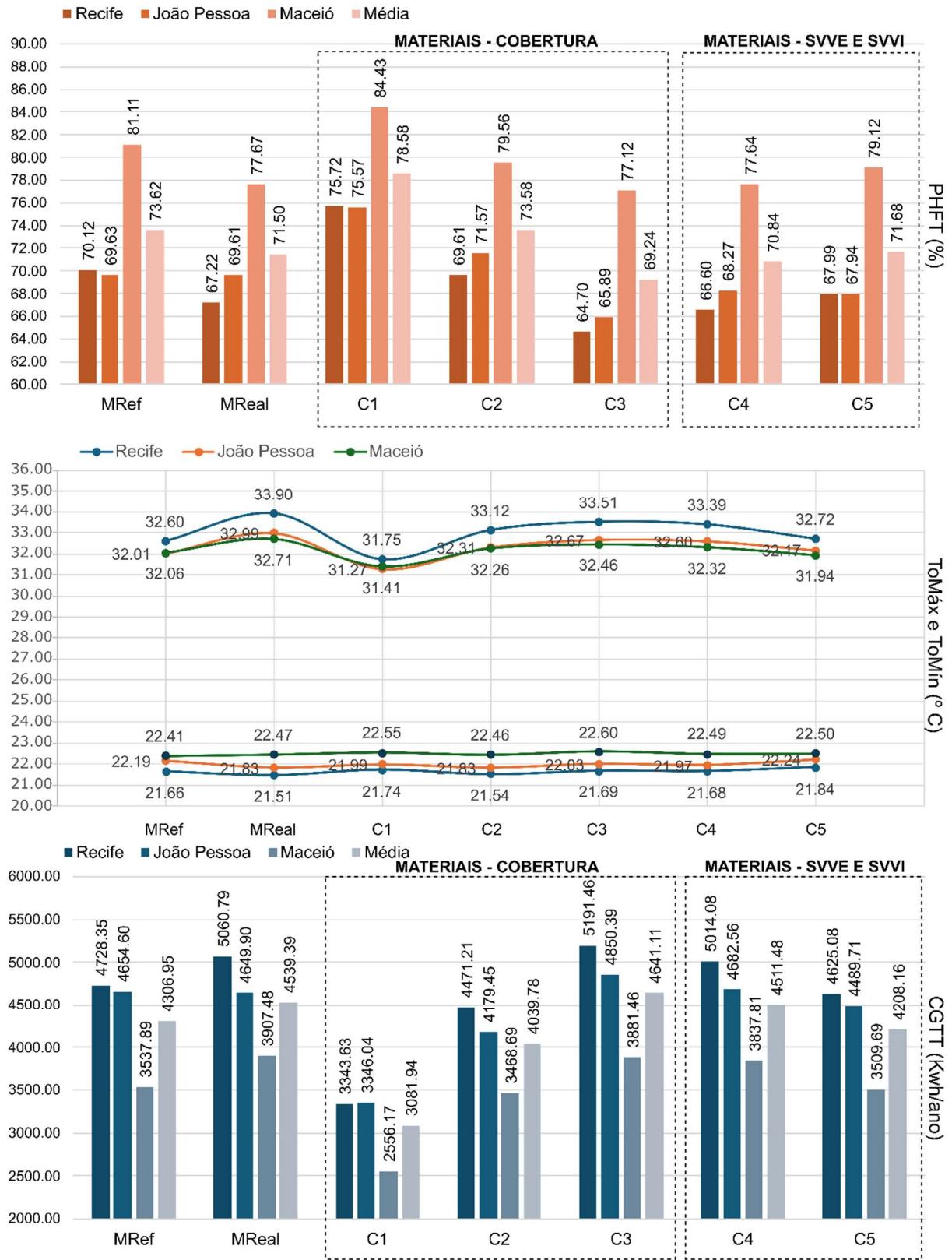
Todas as HIS foram classificadas no nível mínimo de atendimento aos requisitos da norma. Analisando de forma mais objetiva, é necessário perceber que a exemplo da cidade de Recife-PE, que atingiu o nível mínimo, a edificação está 32,78% do ano fora da faixa de temperatura considerada “ideal” (< 28,0°C, ver tabela 5), percentagem que representa 2.872 horas. Também é importante assinalar que a ToMáx nessa cidade chega a quase 34°C, temperatura considerada elevada para o ser humano.

O mesmo critério que considera o PHFT de Recife-PE como mínimo, atribui o mesmo nível ao PHFT de Maceió-AL, que é 10,45% superior. Essas disparidades suscitam questionamentos ao método de categorização utilizado pela NBR 15575 (ABNT, 2021), o mesmo foi observado por Peixoto e Souza (2021) e Krelling et al. (2023).

#### 4.1.1 Simulações de desempenho térmico com alteração nos materiais da envoltória do Modelo Real (MReal)

Após as simulações de desempenho térmico do MReal e do MRef, foram feitas as simulações com alteração dos materiais da cobertura, do SVVI e do SVVE. Os gráficos da figura 44 apresentam os novos resultados para os indicadores das HIS unifamiliares em estudo.

Figura 44 - Indicadores de desempenho térmico para a HIS unifamiliar com alterações na cobertura (C1; C2; C3) e no SVV (C4; C5)



Fonte – Adaptado de Varjal; Melo (2024)

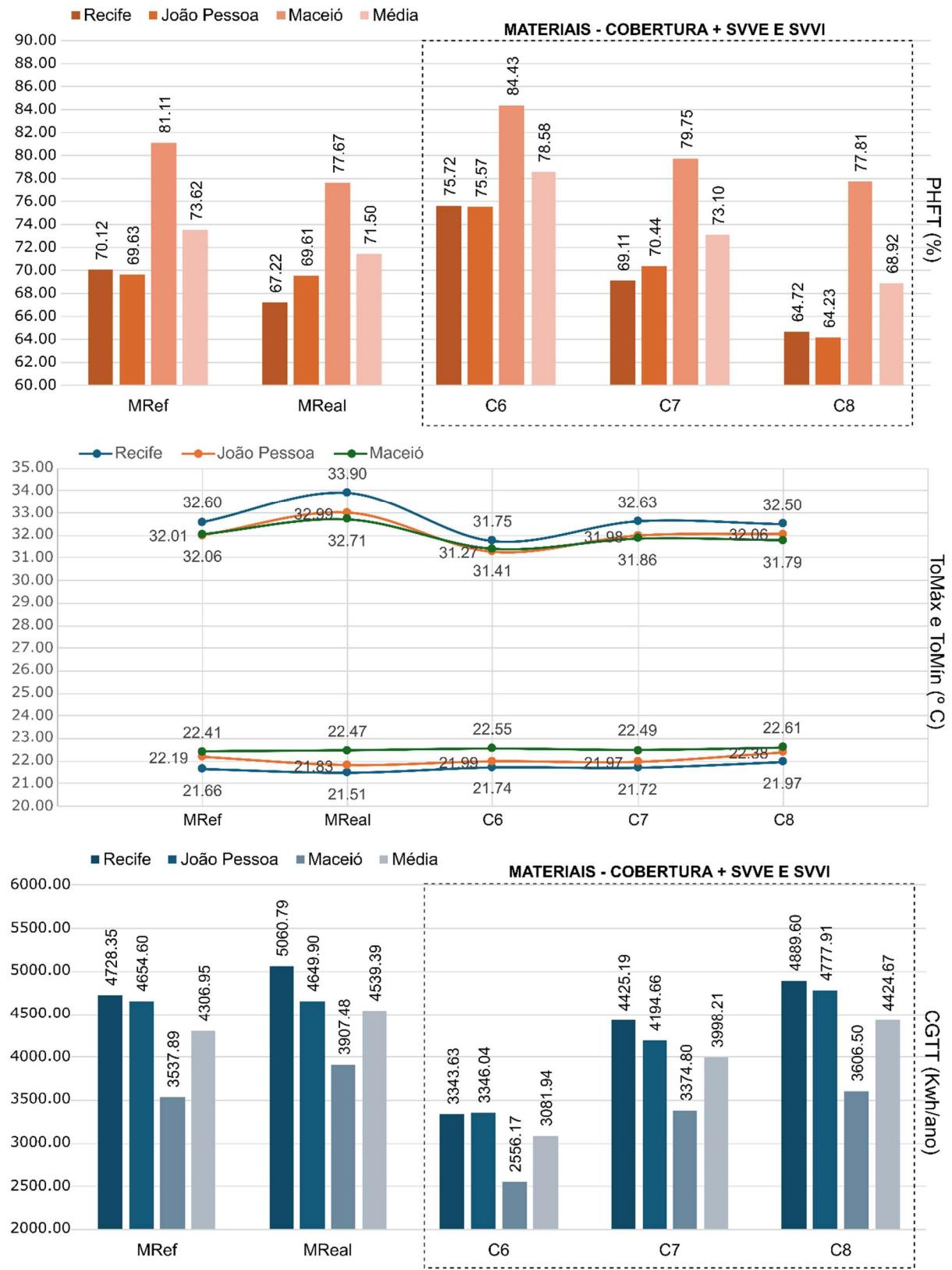
Os resultados das simulações com alterações nos materiais da coberta indicam que a configuração C1 (utilização de lã de rocha na cobertura) apresentou os melhores desempenhos em todas as cidades analisadas. O PHFT registrou um aumento médio de 7,08%. Além disso, os materiais da configuração C1 contribuíram para uma redução no consumo de energia para refrigeração, com uma diminuição média de 1.457,45 kWh/ano, e mantiveram a ToMáx dentro da faixa de 31°C em todas as cidades. A composição C3 (laje maciça de concreto) apresentou os piores resultados para as três cidades do estudo.

Um resultado similar foi encontrado no estudo de Invidiata et al. (2016), o caso de melhor desempenho para cidade de Salvador-BA (ZB8 / ZB5A) tinha uma cobertura composta por laje pré-moldada, telha cerâmica e isolante térmico, esta edificação foi classificada no nível A do RTQ-R. O caso com o pior desempenho tinha as paredes compostas por concreto maciço e cobertura de forro de PVC e telha cerâmica.

Nas simulações com mudanças nos materiais do SVVE e do SVVI, os resultados obtidos para os indicadores foram semelhantes aos encontrados no MReal. A variação média do PHFT foi de 0,66% para C4 e de apenas 0,18% para C5. Esses dados evidenciam que os materiais da cobertura têm maior impacto no desempenho térmico das HIS, uma vez que estão mais expostos à radiação solar ao longo do ano. O mesmo foi evidenciado no estudo de Machado et al. (2020), onde o SVV com bloco cerâmico teve melhor desempenho, porém, a troca do material não acarretou uma diferença significativa no indicador.

Após as simulações de desempenho térmico com alteração nos materiais da cobertura e do SVVE e do SVVI, foram feitas novas simulações com a combinação dos materiais dos dois sistemas. Os gráficos da figura 45 apresentam os novos valores dos indicadores de desempenho.

Figura 45 - Indicadores de desempenho térmico para a HIS unifamiliar com alterações combinadas na cobertura e no SVV (C6; C7; C8)



Fonte – Adaptado de Varjal; Melo (2024)

Os resultados obtidos nesta etapa (alterações combinadas nos materiais da coberta e do SVVE e SVVI) foram semelhantes aos encontrados nas simulações realizadas com a modificação dos materiais da cobertura. A composição C6, que utiliza lã de rocha na cobertura e bloco cerâmico nas paredes, apresentou os melhores indicadores. Por outro lado, a composição C8, que combina laje maciça de concreto e paredes de concreto, obteve os piores resultados. Esse padrão foi consistente nas três cidades, evidenciando a uniformidade do comportamento dos materiais em relação ao clima e ressaltando a importância da resistência térmica do material isolante da cobertura para otimizar o desempenho térmico das HIS no litoral leste Nordestino. Gonçalves et al. (2021) também atesta que, independentemente do tipo de concreto, as edificações que se utilizam desse material na envoltória tiveram um desempenho ineficiente.

A HIS com a composição C6 (que apresentou os melhores resultados) foi classificada de acordo com seu nível de desempenho térmico (Tabela 16).

Tabela 16 - Níveis de Desempenho Térmico das HIS unifamiliar nas 3 cidades para o MReal com alterações nas variáveis de projeto (composição C6)

INDICADOR	NÍVEL			NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO RESULTANTE
	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR	
PHFT (%)	ATENDE	ATENDE	ATENDE	
ToMáx (°C)	ATENDE	-	-	
ToMín (°C)*	-	-	-	INTERMEDIÁRIO
CGTT (Kwh/ano)	-	ATENDE	NÃO ATENDE	

Nota: \*Dispensável para a ZB8. Fonte: Varjal; Melo (2024).

A modificação no sistema de cobertura das HIS C6 foi suficiente para reclassificar as construções para o nível intermediário (válido para as três cidades), além de garantir o nível superior no que diz respeito ao indicador de PHFT. É importante pontuar que esta combinação conta apenas com a inserção do material isolante na cobertura e que os demais materiais foram conservados conforme o MReal.

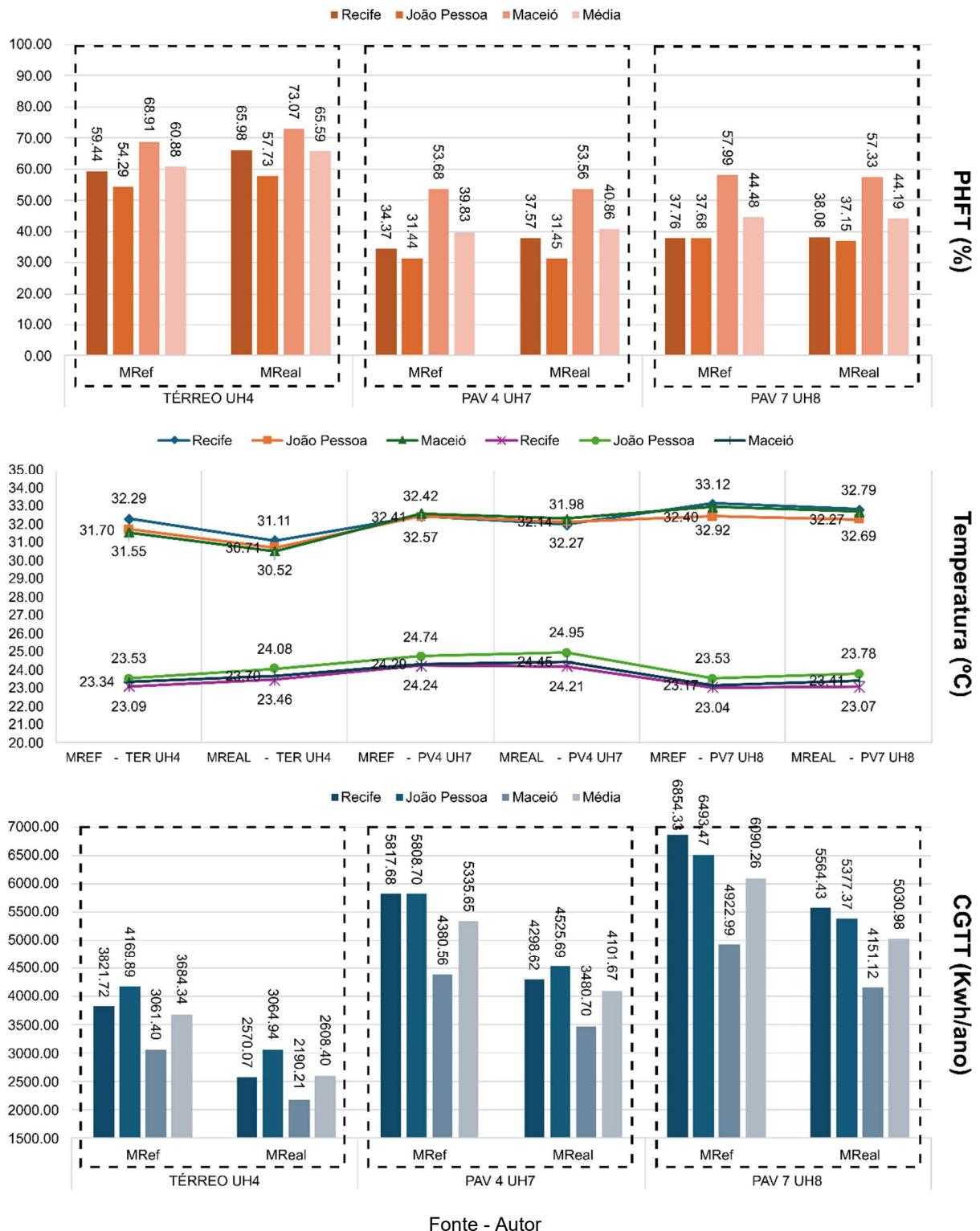
Embora tenha ocorrido uma melhoria no desempenho térmico, ao analisar os indicadores de forma mais detalhada, percebe-se que o aumento não é expressivo. Especificamente no caso do PHFT, a variação média de aumento da HIS C6 em relação ao MRef foi de 4,96%, o que foi suficiente para alcançar o nível superior desse critério. O estudo realizado por Knop e Disconzi (2023) na cidade de Recife-PE,

demonstrou que apesar do uso de materiais isolantes na envoltória, no caso da pesquisa com o CLT, acarretarem uma melhoria nos indicadores, estes também não foram tão expressivos. Isso levanta questionamentos sobre a metodologia de classificação da norma quanto aos níveis de desempenho e sobre a adequação do modelo de referência às reais necessidades das cidades brasileiras, Krelling et al. (2023) também faz considerações sobre esse “modelo de referência” e sua adaptabilidade aos diversos climas.

#### 4.2 SIMULAÇÃO DO MODELO REAL E MODELO DE REFERÊNCIA PARA A HIS MULTIFAMILIAR

Conforme explicado na metodologia, no segundo percurso da pesquisa foi feita a avaliação do desempenho térmico para uma HIS multifamiliar. Os resultados das simulações de desempenho térmico serão apresentados para as UH4 do pavimento térreo, UH7 do pavimento quatro e UH8 do pavimento sete. Os gráficos da figura 46 apresentam os resultados dos indicadores dos MReal e MRef para o recorte geográfico em estudo.

Figura 46 - Indicadores de desempenho térmico dos MReal e MRef para a HIS multifamiliar



Fonte - Autor

A partir da análise dos resultados do gráfico é possível inferir primeiramente que o PHFT do MReal foi melhor que o do MRef para a unidade térrea (UH4), nas três cidades do estudo. A média do PHFT do MReal teve um aumento de 4,71% para esta unidade. Com relação ao PHFT do MRef e do MReal para as unidades do 4º

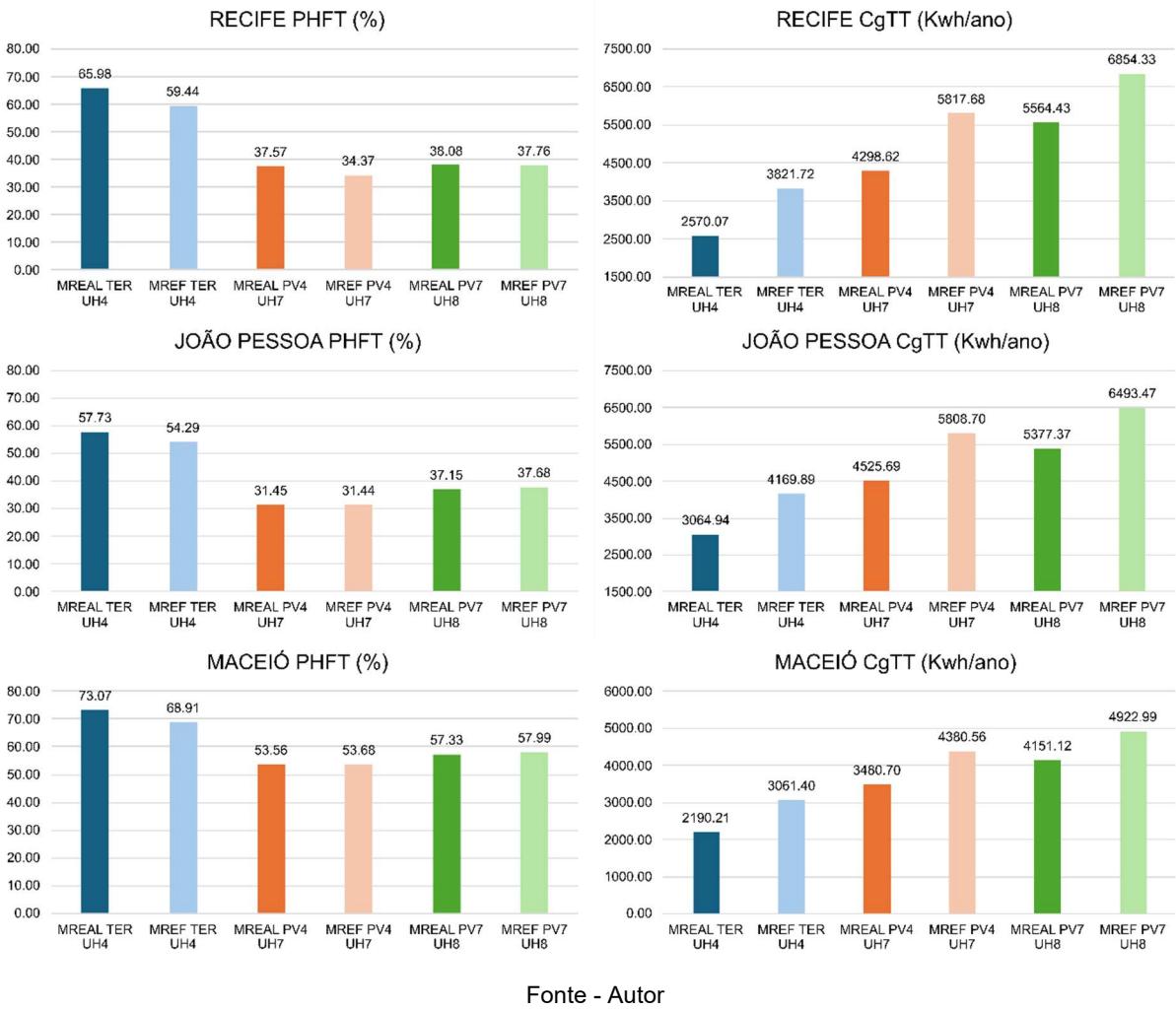
pavimento (UH7) e da cobertura (UH8), este apresentou uma variação pequena, a média das três cidades variou 1,03% para a UH7 e apenas 0,29% para a UH8. Na unidade de cobertura (UH8) o MRef da cidade de João Pessoa-PB e de Maceió-AL apresentou um PHFT um pouco maior que o do MReal, essa tendência se assemelha a encontrada nas simulações da HIS unifamiliar.

É valido destacar que apesar do MRef e do MReal possuírem materiais com valores de condutividade térmica similares (um pouco maior para o MRef), o primeiro modelo teve a sua área de ventilação aumentada para atender ao preconizado em norma e teve um isolante térmico adicionado ao sistema de cobertura. Apesar do uso dessas estratégias projetuais o MReal ainda obteve melhores resultados no pavimento térreo (UH4) e resultados similares no pavimento intermediário (UH7) e no de cobertura (UH8). Esses resultados nos fazem questionar se o modelo de referência é de fato representativo para o recorte geográfico analisado, essa mesma observação foi feita no estudo de Krelling et al. (2023).

Ainda observando o PHFT é possível perceber que as unidades mais altas ficaram mais tempo fora da faixa de temperatura operativa recomendada apresentando piores indicadores de desempenho. O estudo de Batista et al. (2013) também chegou à conclusão de que as unidades mais altas possuem pior desempenho do que aquelas situadas no térreo. A unidade intermediária (UH7) apresentou o pior desempenho, ela está situada no meio da lâmina do pavimento 4. Além disso, o banheiro desse apartamento não possui ventilação passiva, apenas exaustão mecânica. Quanto a Temperatura Operativa Máxima, as unidades situadas em Recife-PE apresentaram os maiores valores e as de Maceió-AL os menores, e em nenhuma circunstância a ToMáx variou acima de 1°C.

Analizando a Carga térmica da ventilação mecânica é possível perceber que ela segue uma tendência inversa aquela encontrada nos gráficos do PHFT. Quanto maior o PHFT, menor o CgTT. Novamente as unidades térreas (UH4) obtiveram o melhor desempenho para o MReal e para o MRef, já as unidades do pavimento superior (UH8) tiveram o pior desempenho, apresentando um maior consumo energético de refrigeração. As unidades de cobertura (UH8) do MRef tiveram o maior consumo de energia entre todas as outras, apesar do uso do isolante térmico o aumento da área envidraçada permite que uma maior quantidade de calor adentre no ambiente. A despeito das variações nos resultados dos indicadores é possível perceber uma tendência similar para as três cidades do estudo (figura 47).

Figura 47 - Resultado dos indicadores de desempenho térmico, PHFT e CgTT, para as HIS multifamiliar (MReal e MRef) nas três cidades do estudo.



Fonte - Autor

Os gráficos da figura 47 demonstram que as três cidades seguem a mesma tendência de resultados para os indicadores de desempenho térmico. Maceió-AL apresenta os melhores valores e Recife-PE e João Pessoa-PB os piores. De forma geral, as unidades mais altas possuem os piores desempenhos. É importante em estudos futuros tentar compreender o quanto a troca térmica com o solo afeta o resultado das simulações de desempenho térmico das unidades terreas. Essa mesma inclinação do resultado dos indicadores de desempenho térmico foi percebida na simulação da HIS unifamiliar.

Após as simulações do MReal e do MRef nas três cidades, foi possível classificar o nível de desempenho térmico das Unidades Habitacionais. Todas as unidades foram enquadradas no nível mínimo (tabela 17), apesar de uma delas apresentar 31,45% de PHFT (MReal Pav4 UH7) e outra atingir 73,07% de PHFT (MReal TER UH4). Apesar da disparidade entre os resultados e do fato de a UH7

permanecer fora da faixa recomendada de temperatura operativa por quase 70% das horas do ano, todas as unidades receberam a mesma classificação. Mais uma vez, assim como apontado por Peixoto e Souza (2021) e Krelling et al. (2023), é necessário questionar os critérios estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2021) para a classificação dos níveis de desempenho térmico das habitações.

Tabela 17 - Níveis de Desempenho Térmico das UH, do MReal, nas HIS multifamiliar para as 3 cidades estudadas.

INDICADOR	NÍVEL			NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO DAS UNIDADES HABITACIONAIS
	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR	
PHFT (%)	ATENDE	NÃO ATENDE	NÃO ATENDE	
ToMáx (°C)	ATENDE	-	-	
ToMín (°C)*	-	-	-	MÍNIMO
CGTT (Kwh/ano)	-	ATENDE**	NÃO ATENDE	

Nota - \*Dispensável para a ZB8. \*\*Todas as UH também alcançaram o nível intermediário para o indicador de Carga térmica. Fonte – Autor

#### 4.2.1 Simulações de desempenho térmico com alterações nas variáveis de projeto do Modelo Real (MReal)

Após as simulações de desempenho térmico do MReal e do MRef, segundo o procedimento padrão da NBR 15575 (ABNT, 2021), foram realizadas as simulações com alterações das variáveis de projeto. Foram alteradas cinco variáveis: material (adição de material isolante na cobertura), geometria (aumento da área da janela e inserção de bandeira na porta de acesso), ocupação (alteração nos perfis de ocupação e cargas internas) e orientação solar (unidades rotacionadas para Norte ou Sul). Os resultados dos indicadores de desempenho serão apresentados por unidade habitacional, sendo a primeira a UH4 do pavimento térreo com fachada principal voltada para o Sul (figura 48 e 49).

Figura 48 - Indicadores de desempenho térmico para o MReal da HIS multifamiliar com alteração nas variáveis de materiais e área de ventilação das janelas – UH4 TÉRREO

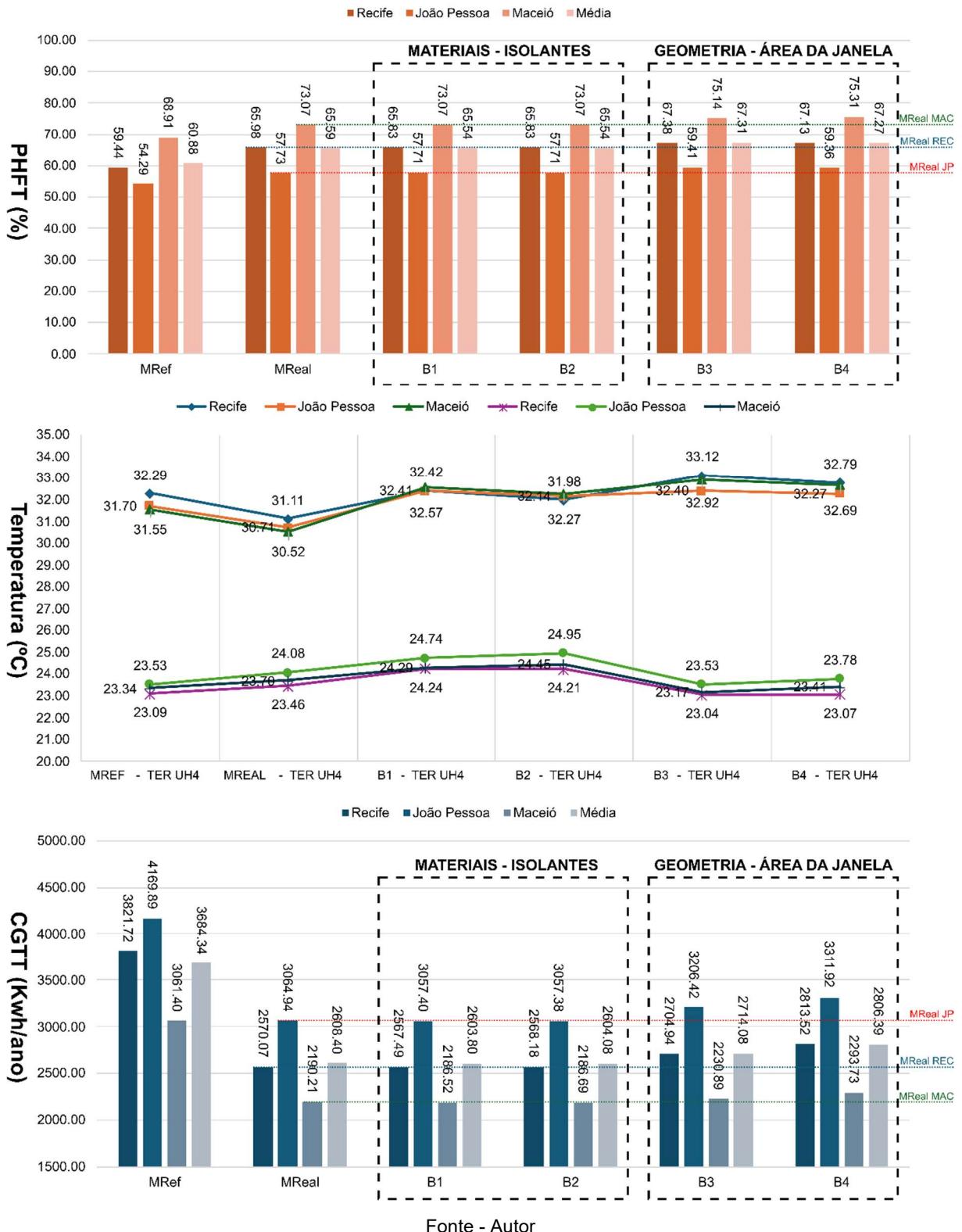
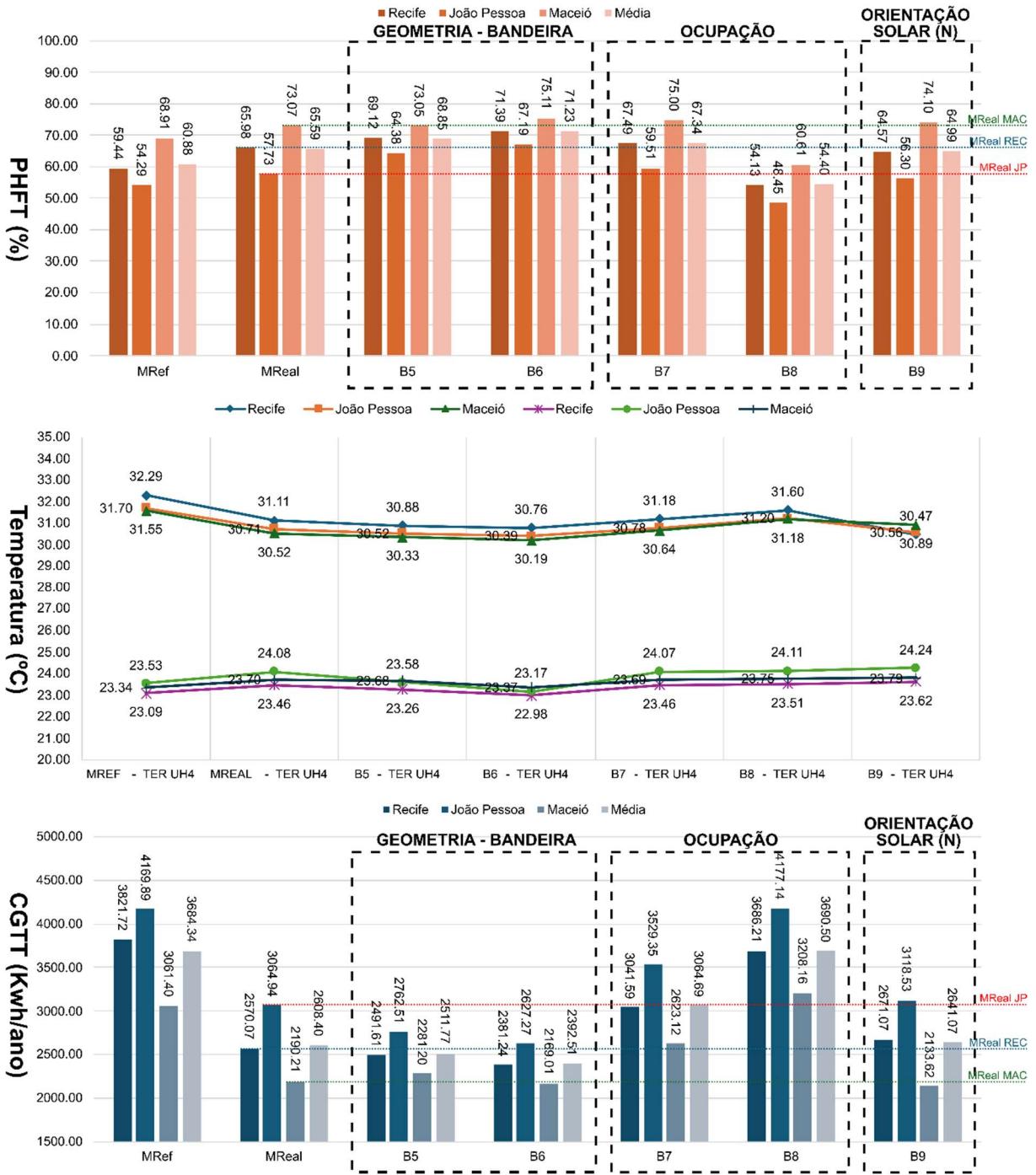


Figura 49 - Indicadores de desempenho térmico para o MReal da HIS multifamiliar com alteração nas variáveis de geometria (adição de bandeira na porta de acesso), ocupação e orientação solar – UH4 TÉRREO



Fonte - Autor

Analisando primeiramente os gráficos da figura 48 é possível inferir que as variáveis alteradas, materiais e área de ventilação das janelas, não tiveram grande impacto nos resultados do PHFT e da ToMáx. A variação média do PHFT para as composições B1 e B2 foi de apenas 0,05%, diferente do que foi visto na análise da HIS unifamiliar o material isolante na cobertura não proporcionou grandes alterações

para a unidade térrea da HIS multifamiliar (já esperado, visto que a coberta nesse caso não está exposta à insolação), o mesmo padrão se repete para a média da carga térmica.

Quanto as composições B3 e B4 a maior variação do PHFT foi da ordem de 1,72% para o modelo com o menor aumento na área das janelas. É importante pontuar no caso das janelas que apesar do PHFT ter aumentado de forma inexpressiva, a carga térmica teve um acréscimo considerável, isso se deve ao aumento das áreas envidraçadas e das mesmas não possuírem sistemas de proteção contra a insolação direta. A composição B4, com a maior área de janela, teve o pior desempenho para o indicador CgTT.

Vecchio e Veloso (2020), em seu estudo do desempenho térmico de uma habitação situada em Aracaju-SE (ZB8/ZB5A), afirmaram que as grandes aberturas recomendadas em diversas normas, não obtiveram grande influência nos indicadores a ponto de reclassificar a edificação. As autoras ainda afirmam que a redução da área das aberturas proporcionou os melhores resultados dos indicadores.

Com relação aos gráficos da figura 49 é possível perceber que a composição B9, que trata da orientação solar, também não trouxe alterações relevantes para o resultado dos indicadores. Nessa análise, como a UH4 (térreo) foi alterada para a orientação solar Norte, era esperada uma piora dos resultados, o PHFT teve uma redução média de apenas 0,6%.

O perfil de ocupação B7, que tem a ocupação como variável alterada, também teve uma variação média do PHFT de apenas 1,75%, já a composição B8, que simulava um caso em que a UH deveria estar ocupada 100% do tempo, teve uma redução média de 11,19%, obtendo os piores resultados para a UH4 (térreo). Os perfis de ocupação tiveram maior influência na piora do indicador de carga térmica, isso se deve ao fato de que a simulação da ventilação mecânica considera apenas as horas em que o ambiente está ocupado. Krelling et al. (2023) afirma em seu estudo que apesar dos perfis de ocupação não trazerem alterações robustas para o PHFT, estes têm forte influência no resultado do consumo da carga térmica.

As composições B5 e B6, com inserção de bandeira na porta de acesso, obtiveram os melhores resultados para os indicadores de desempenho térmico, especialmente para as cidades de Recife-PE e João Pessoa-PB que possuem médias de temperaturas maiores que as da cidade de Maceió-AL. O aumento médio do PHFT foi de 5,64% na composição B6, maior área de ventilação, e para a cidade de João

Pessoa-PB foi da ordem de 9,46%. Essas composições também apresentaram o melhor desempenho para a ToMáx e para a CgTT.

Acredita-se que esta melhoria nos indicadores se deve ao fato de as bandeiras proporcionarem uma ventilação cruzada para as UHs e por consequência uma renovação do ar e uma redução do calor interno. Silva e Toledo (2021), em um estudo que analisou o efeito do aumento da taxa de renovação de ar no desempenho térmico de uma edificação multifamiliar situada na cidade de Maceió-AL (ZB8/ZB5A), concluiu que elevar a taxa de renovação do ar contribui para melhorar o comportamento das temperaturas internas após o pico de calor externo. Além disso, essa medida diminui a diferença entre as temperaturas internas e externas durante a noite e a madrugada, favorecendo o conforto térmico. Isso ocorre devido ao aumento da circulação do ar nos ambientes, o que promove o resfriamento estrutural do edifício por meio do processo de resfriamento natural noturno.

Após as simulações da UH4 Térreo, foram feitas as mesmas alterações nas variáveis projetuais da UH7 Pavimento 4. Os gráficos das figuras 50 e 51 apresentam os resultados dos indicadores de desempenho térmico dessa unidade.

Figura 50 - Indicadores de desempenho térmico para o MReal da HIS multifamiliar com alteração nas variáveis de materiais e área de ventilação das janelas – UH7 PAVIMENTO 4

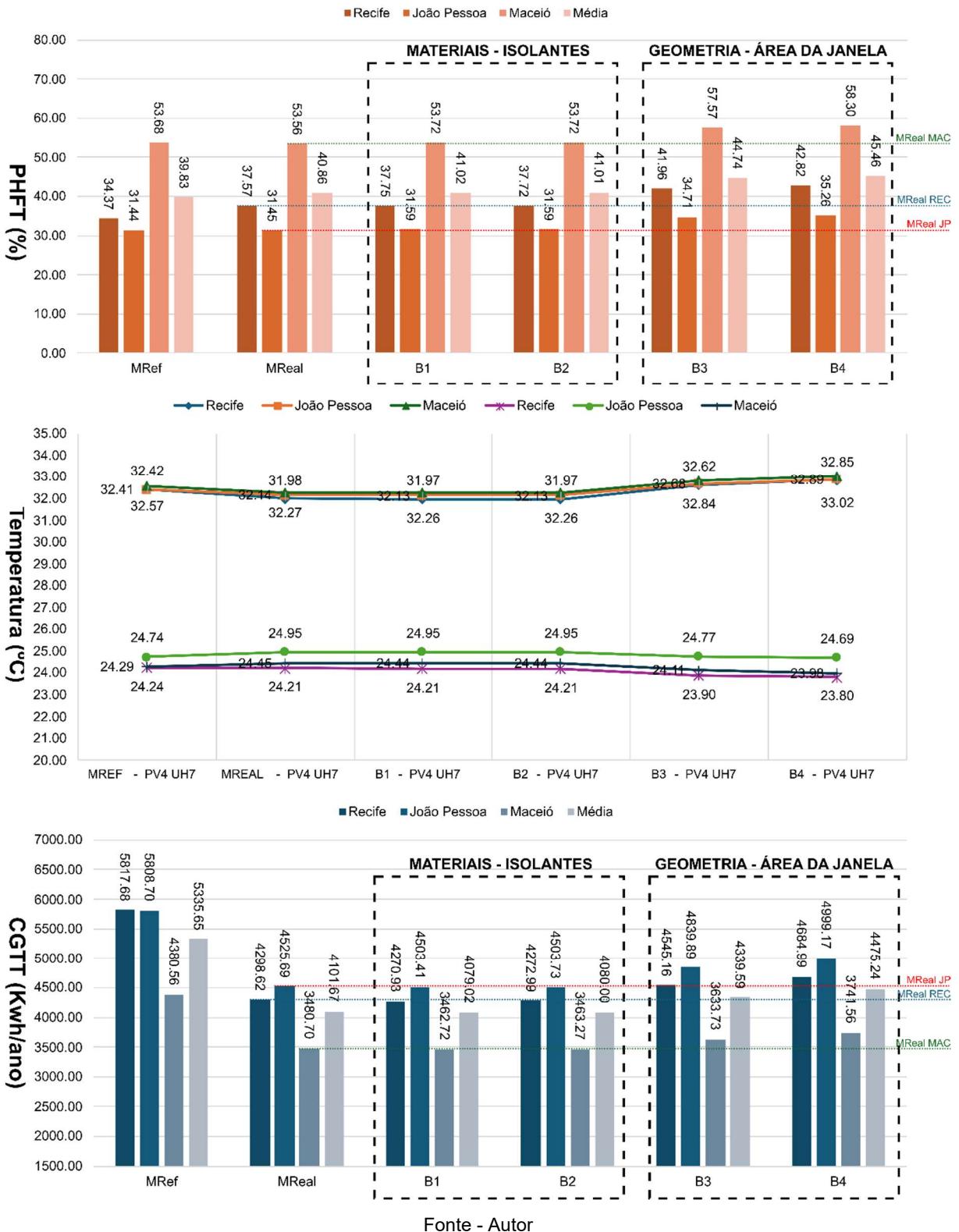
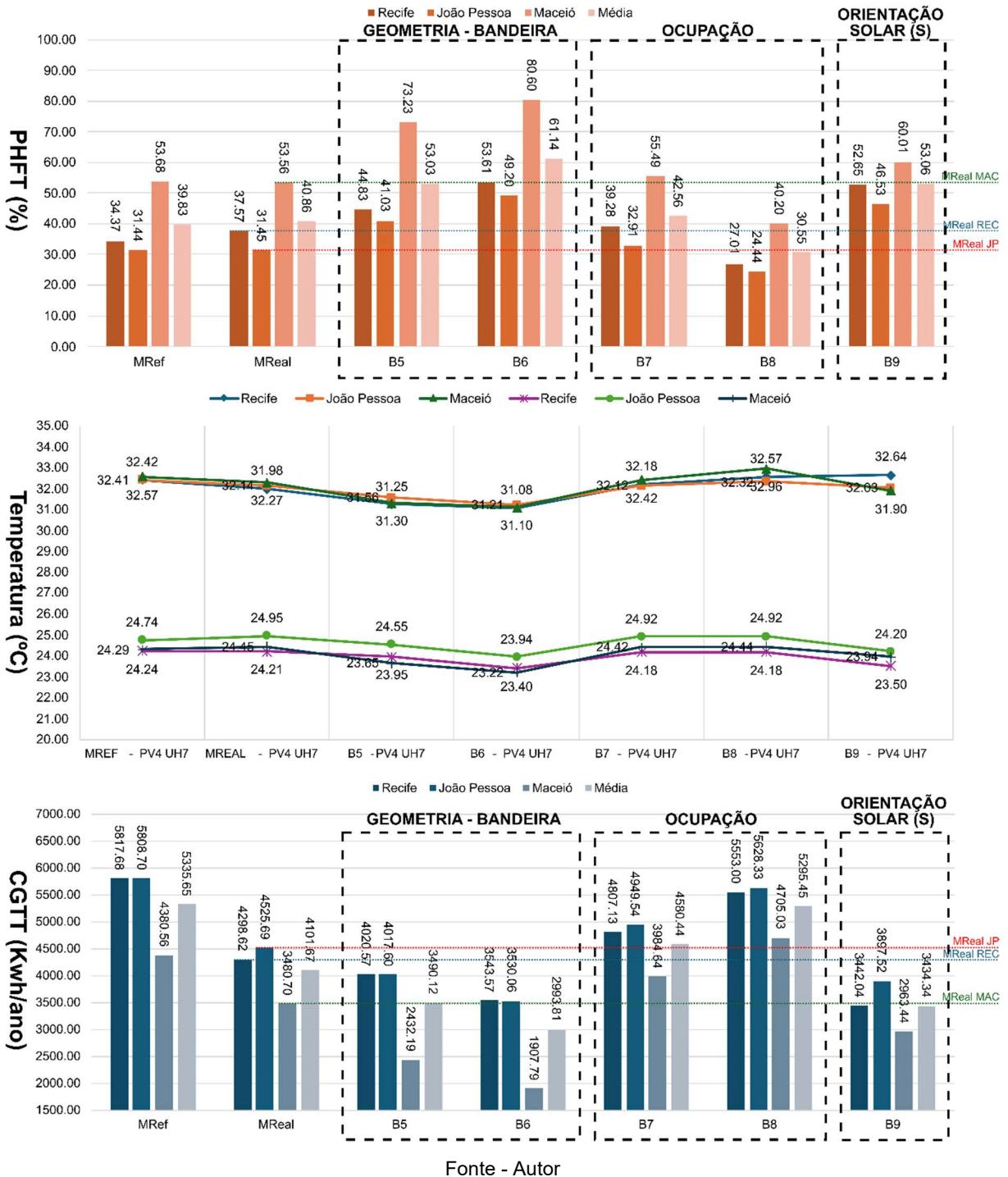


Figura 51 - Indicadores de desempenho térmico para o MReal da HIS multifamiliar com alteração nas variáveis de geometria (adição de bandeira na porta de acesso), ocupação e orientação solar – UH7 PAVIMENTO 4



Ao analisar os gráficos da Figura 50, observa-se que, similarmente à unidade habitacional (UH4) do térreo, a alteração na variável de materiais teve baixa efetividade em modificar os indicadores de desempenho térmico quando comparada aos resultados do modelo real. Em relação à variável de geometria – aumento da área das janelas, as combinações B3\_UH7 e B4\_UH7 apresentaram, respectivamente, um aumento médio de 3,88% e 4,60% no PHFT, uma variação modesta, mas superior à

observada no pavimento térreo (UH4). Esse resultado pode ser atribuído ao fato de a unidade superior ter sua ventilação natural menos obstruída pelo entorno.

Em relação ao ToMáx, o aumento da área das janelas resultou em uma elevação da temperatura interna, atingindo 33,02°C na combinação B4\_UH7 para a cidade de Maceió-AL. Esse incremento na temperatura do ambiente também impactou os resultados da CgTT, com um aumento na carga térmica de refrigeração em ambas as combinações, sendo o pior desempenho registrado no modelo B4\_UH7, que apresentava a maior área envidraçada. Esse padrão de comportamento também foi observado na UH4 do térreo.

Analizando os gráficos da figura 51 é possível inferir que a combinação B9\_UH7, relativa à orientação solar da unidade, acarretou um aumento médio de 12,20% no PHFT. A ToMáx se manteve com aumento abaixo de 1°C e a CgTT teve uma redução de 667,33 kWh/ano. A unidade no MReal tem sua fachada principal voltada para o Norte, na combinação B9\_UH7 esta foi orientada para o Sul. Diferentemente do resultado encontrado para a UH4 térrea, a orientação solar foi uma variável importante no resultado dos indicadores de desempenho térmico da unidade intermediária UH7.

Quanto as combinações B7\_UH7 e B8\_UH7, relativas à ocupação e cargas internas, estas tiveram um resultado similar aquele encontrado na UH4 térrea. A combinação B7\_UH7 teve um aumento médio de apenas 1,7% no PHFT e a combinação B8\_UH7 teve uma redução média de 10,31% no PHFT. A combinação B8\_UH7 também registrou um aumento na ToMáx e na CgTT, este último teve um aumento médio de 1.193,78 kWh/ano. Assim como na UH4, esta combinação teve os piores resultados para os indicadores de desempenho térmico da unidade em avaliação.

Com relação as combinações B5\_UH7 e B6\_UH7, que tiveram alteração na variável de geometria – adição de bandeira na porta de acesso, estas obtiveram os melhores resultados para os indicadores de desempenho térmico. O mesmo comportamento foi encontrado na unidade térrea UH4. A combinação B6\_UH7, com a maior área de ventilação, obteve um aumento médio de 20,28% para o PHFT, a cidade de Maceió-AL atingiu um PHFT de 80,60% com a mesma combinação (B6\_UH7). A combinação B6\_UH7 também registrou o menor ToMáx e uma redução média de 1.107,86 kWh/ano na carga térmica de refrigeração. Novamente considera-

se que este resultado está atrelado a ventilação cruzada e a maior disponibilidade de ventilação natural devido à redução de obstruções ocasionadas pelo entorno.

Após as simulações com alteração nas variáveis de projeto da UH7, o mesmo procedimento foi feito para a UH8 do pavimento de cobertura. Os gráficos das figuras 52 e 53 apresentam os resultados dos indicadores de desempenho da UH8.

Figura 52 - Indicadores de desempenho térmico para o MReal da HIS multifamiliar com alteração nas variáveis de materiais e área de ventilação das janelas – UH8 PAVIMENTO 7

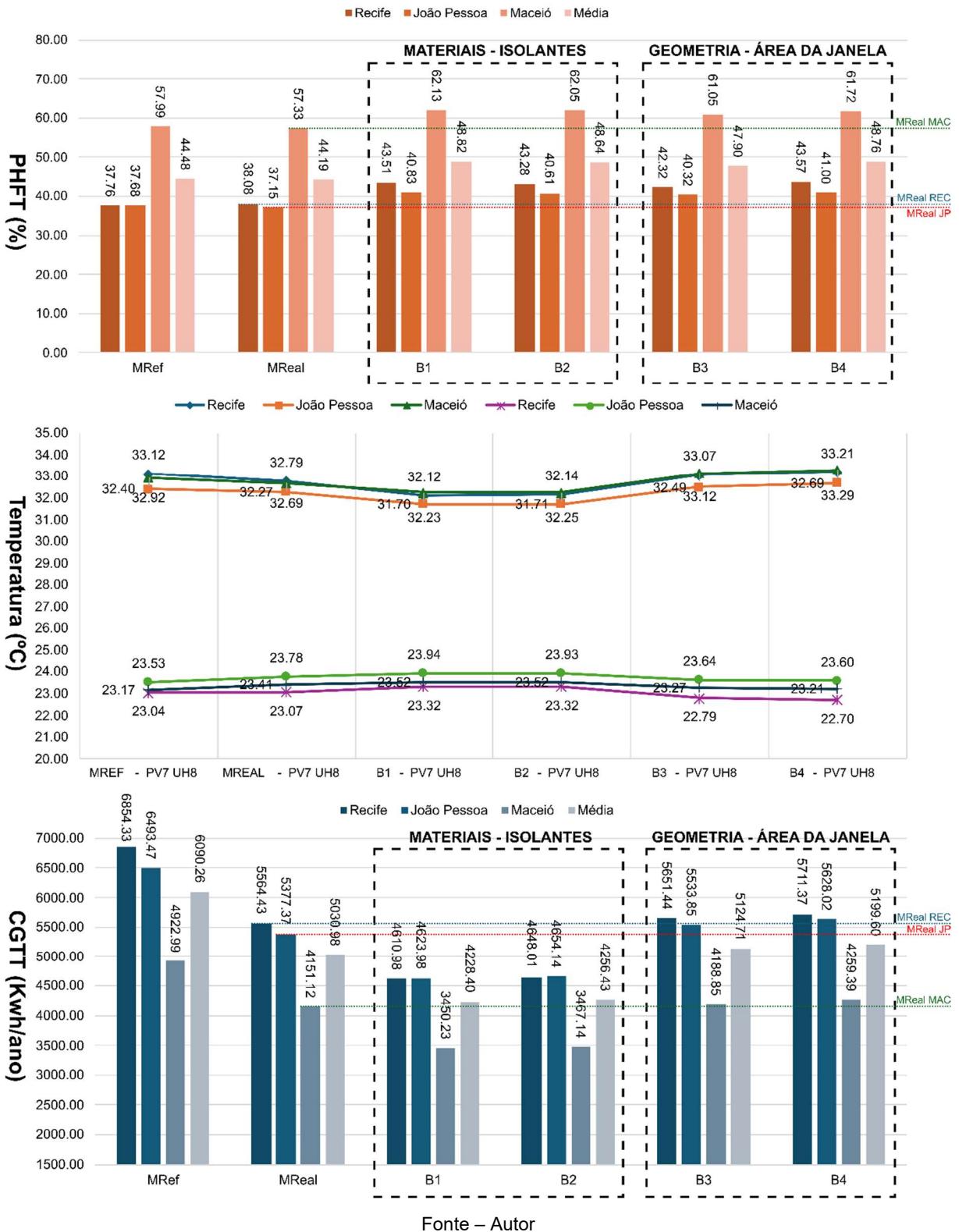
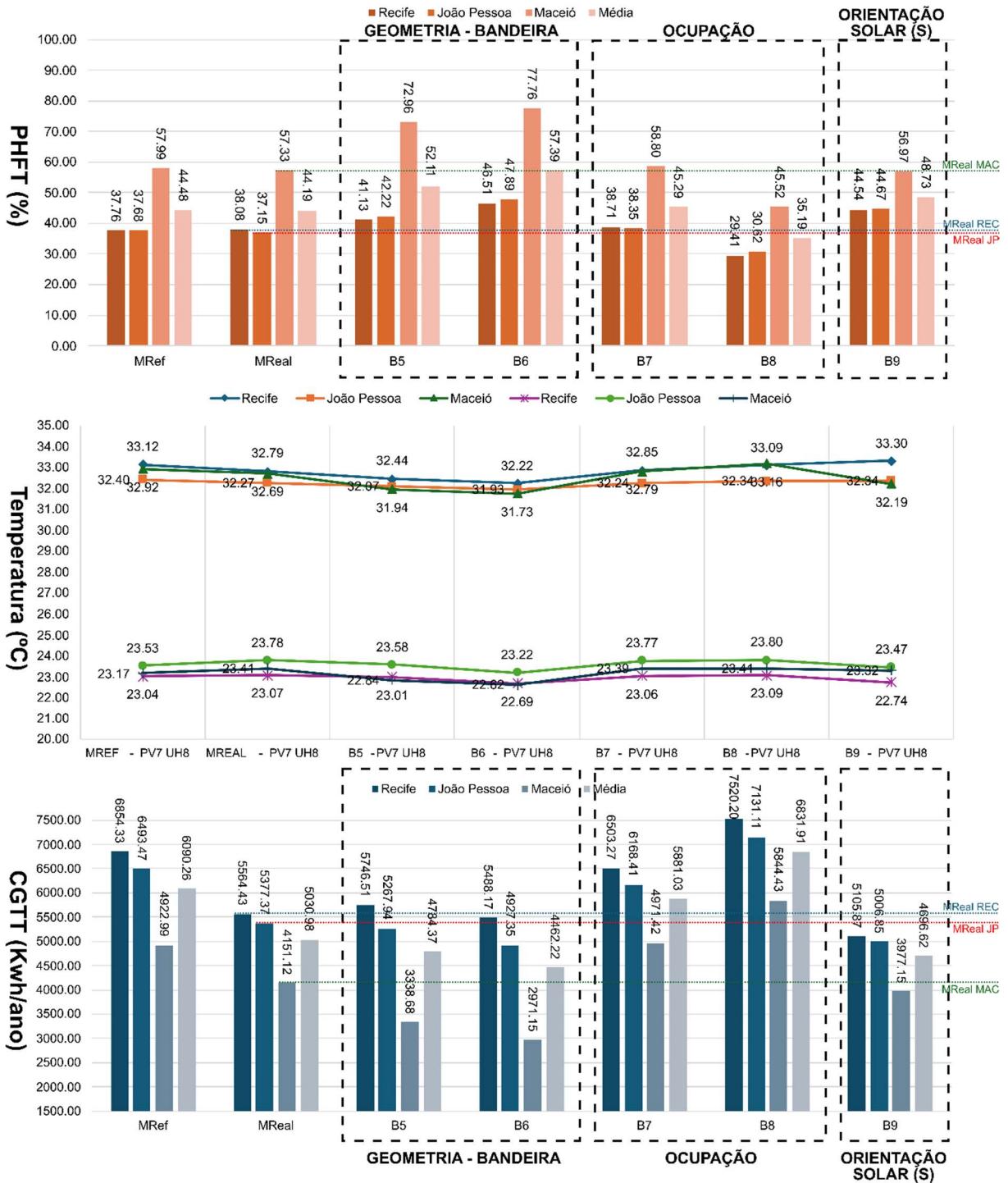


Figura 53 - Indicadores de desempenho térmico para o MReal da HIS multifamiliar com alteração nas variáveis de geometria (adição de bandeira na porta de acesso), ocupação e orientação solar – UH8 PAVIMENTO 7



Fonte - Autor

Ao analisar os gráficos da figura 52 é possível perceber que no caso da UH do pavimento de cobertura as combinações B1\_UH8 e B2\_UH8, com adição de material isolante na coberta, tiveram uma maior influência no resultado dos indicadores de desempenho térmico do que nas UHs anteriormente analisadas. A lâ

de Rocha e o EPS obtiveram um resultado similar no aumento médio do PHFT, sendo da ordem de 4,63% e 4,45% respectivamente.

O material isolante também foi capaz de reduzir a temperatura máxima do ambiente interno, a ToMáx da cidade de Recife-PE teve uma variação de 33,12°C (MReal) para 32,12°C (combinação B1\_UH8). Essa redução na temperatura também afetou o resultado da carga térmica total, a combinação B1\_UH8 obteve uma redução média de 802,58 kWh/ano e a combinação B2\_UH8 obteve uma redução média de 774,55 kWh/ano. Esse comportamento se assemelha ao encontrado nas simulações da HIS unifamiliar. Assim como no estudo de Santos, Porto e Silva (2020) os componentes da cobertura tem uma maior influência nos indicadores de desempenho da UH quando esta tem a coberta com exposição direta ao Sol.

No contexto das combinações B3\_UH8 e B4\_UH8, estas tiveram um comportamento similar ao das outras UHs analisadas. Elas proporcionaram uma pequena ampliação no resultado médio do PHFT, porém, o aumento da área das janelas também acarretou uma elevação da temperatura máxima interna e da carga térmica total. Novamente a combinação com o maior aumento de área envidraçada teve também o maior acréscimo na carga térmica e na temperatura interna.

Com relação aos gráficos da figura 53 e a combinação B9\_UH8, referente a orientação Solar, esta obteve um aumento médio de 4,54% no PHFT das unidades habitacionais em análise. Destaca-se os resultados das cidades de Recife-PE e João Pessoa-PB, elas obtiveram os maiores incrementos no PHFT ao se considerar a mudança da fachada principal para a orientação Sul.

A combinação B9\_UH8 também resultou em uma redução da CgTT, com média de 334,36 kWh/ano, e os aumentos nas temperaturas máximas foram inferiores a 1°C. O comportamento da unidade de cobertura, nessa combinação, assemelha-se ao da unidade intermediária UH7. No entanto, por receber maior insolação ao longo do ano devido à exposição da coberta, a orientação solar não exerce a mesma influência nos resultados obtidos na unidade UH8 como ocorre na unidade intermediária UH7.

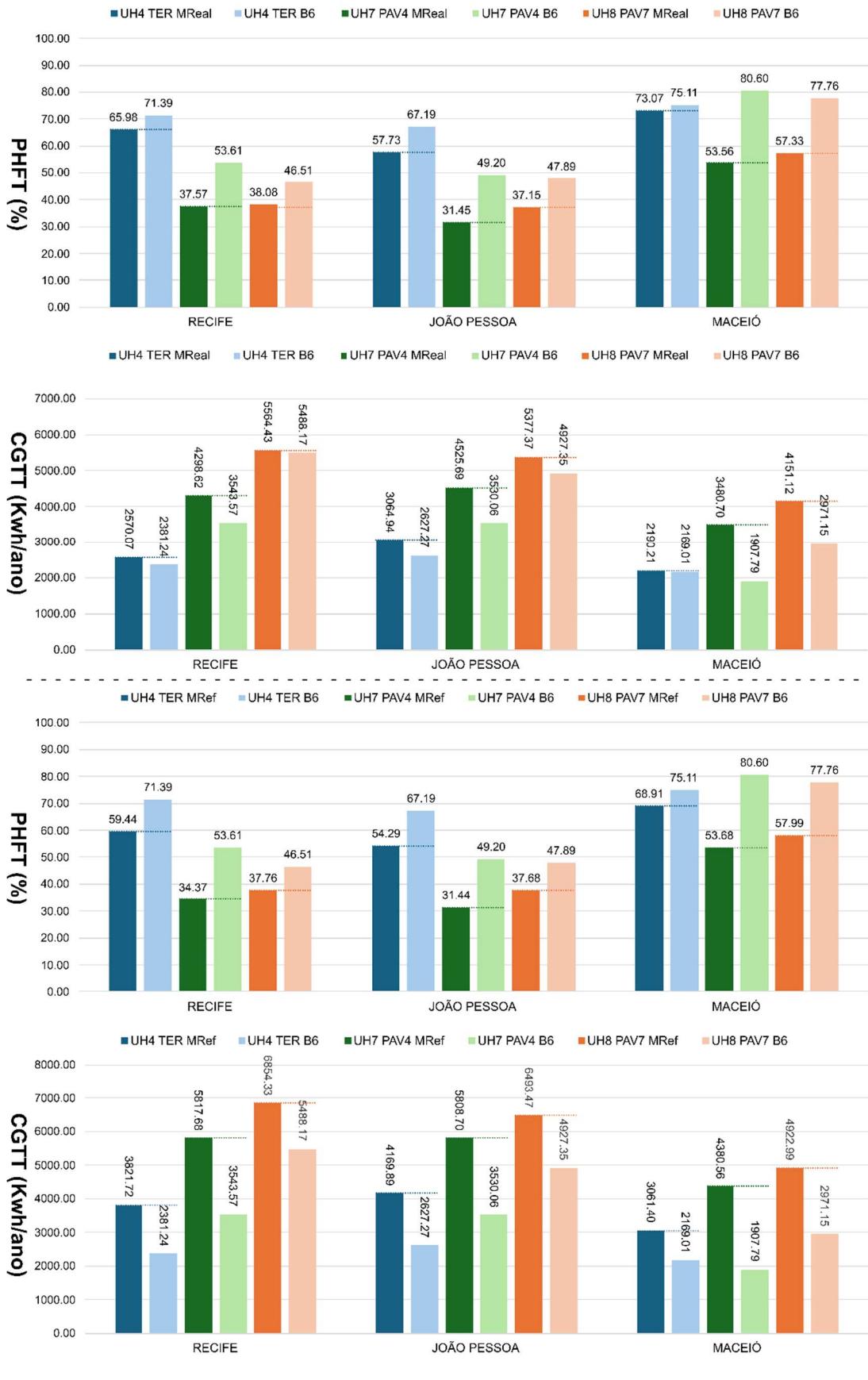
Com relação as combinações B7\_UH8 e B8\_UH8, que alteram a variável de ocupação, estas obtiveram um comportamento similar ao das demais UHs analisadas. A combinação B7\_UH8 obteve variações muito pequenas dos indicadores de desempenho térmico. A combinação B8\_UH8 acarretou uma redução média do PHFT de 9%, ela também obteve as maiores temperaturas internas da UH8 e os maiores

valores da CgTT, o aumento médio foi de 1.800,93 kWh/ano. Assim como nas demais unidades analisadas, a combinação B8\_UH8 obteve os piores indicadores de desempenho térmico.

As combinações B5\_UH8 e B6\_UH8, referente a geometria – adição de bandeira na porta de acesso, também apresentaram o mesmo comportamento das demais UH analisadas. Essas combinações obtiveram os melhores indicadores de desempenho térmico, com destaque para a combinação B6\_UH8, ela atingiu um aumento médio de 13,20% no PHFT, redução na ToMáx e redução da CgTT, este último reduzindo o consumo em 568,76 kWh/ano.

Novamente a combinação B6 com adição de bandeira na porta de acesso e viabilizando a ventilação cruzada na UH, alcançou o melhor desempenho entre todas as combinações analisadas. De forma geral, a combinação B6 foi capaz de melhorar todos os indicadores de desempenho térmico, em todas as unidades habitacionais, para todas as cidades do estudo e tanto para o MReal quanto para o MRef (figura 54).

Figura 54 - Comparativo dos indicadores de desempenho térmico, PHFT e CgTT, entre a combinação B6 e o MReal e o MRef para todas as UH e as cidades do estudo.



Fonte - Autor

Por fim as unidades habitacionais da composição B6 foram classificadas quanto ao seu nível de desempenho segundo os critérios da NBR 15575 (ABNT, 2021). A UH4 do pavimento térreo foi classificada conforme a tabela 18.

Tabela 18 - Classificação do nível de desempenho térmico da UH4 - pavimento térreo (combinação B6) para todas as cidades do estudo.

NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO - UH4 TÉRREO RECIFE				
INDICADOR	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR	NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO DA UNIDADE HABITACIONAL
PHFT (%)	ATENDE	ATENDE	ATENDE	
ToMáx (°C)	ATENDE	-	-	
ToMín (°C)*	-	-	-	INTERMEDIÁRIO
CGTT (Kwh/ano)	-	ATENDE	NÃO ATENDE	
NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO - UH4 TÉRREO JOÃO PESSOA				
INDICADOR	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR	NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO DA UNIDADE HABITACIONAL
PHFT (%)	ATENDE	ATENDE	ATENDE	
ToMáx (°C)	ATENDE	-	-	
ToMín (°C)*	-	-	-	INTERMEDIÁRIO
CGTT (Kwh/ano)	-	ATENDE	NÃO ATENDE	
NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO - UH4 TÉRREO MACEIÓ				
INDICADOR	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR	NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO DA UNIDADE HABITACIONAL
PHFT (%)	ATENDE	NÃO ATENDE	-	
ToMáx (°C)	ATENDE	-	-	
ToMín (°C)*	-	-	-	MÍNIMO
CGTT (Kwh/ano)	-	ATENDE	-	

Fonte – Autor

A combinação B6, que inseriu uma bandeira na porta de acesso das unidades, foi capaz de reclassificar as UH4 da cidade de Recife-PE e João Pessoa-PB para o nível intermediário e atender ao nível superior do indicador relativo ao PHFT. As duas cidades que melhoraram o nível de classificação tinham os resultados mais baixos para os indicadores de desempenho. A UH4 de Maceió-AL se manteve no nível mínimo, porém, também atingiu ao nível intermediário para o critério relativo a CgTT. A UH4 de Maceió-AL tinha os melhores resultados para os indicadores de desempenho.

Cabe destacar que as equações relativas à classificação do nível intermediário consideram os resultados do MRef, e não do MReal, pois, teoricamente o primeiro deveria apresentar os resultados para uma edificação “ideal” a ser usada de referência. E que as equações são diferentes para as HIS unifamiliar e multifamiliar,

e nesta última ainda há diferenças de acordo com o pavimento da UH em análise. Após a classificação da UH4 – pavimento térreo, foi feita a classificação da UH7 – pavimento 4 (tabela 19).

Tabela 19 - Classificação do nível de desempenho térmico da UH7 - pavimento 4 (combinação B6) para todas as cidades do estudo.

NÍVEL DE DESEMPENHOS TÉRMICO - UH7 PAVIMENTO 4 RECIFE				NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO DA UNIDADE HABITACIONAL
INDICADOR	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR	
PHFT (%)	ATENDE	ATENDE	ATENDE	
ToMáx (°C)	ATENDE	-	-	
ToMín (°C)*	-	-	-	INTERMEDIÁRIO
CGTT (Kwh/ano)	-	ATENDE	NÃO ATENDE	
NÍVEL DE DESEMPENHOS TÉRMICO - UH7 PAVIMENTO 4 JOÃO PESSOA				
INDICADOR	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR	NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO DA UNIDADE HABITACIONAL
PHFT (%)	ATENDE	NÃO ATENDE	NÃO ATENDE	
ToMáx (°C)	ATENDE	-	-	
ToMín (°C)*	-	-	-	MÍNIMO
CGTT (Kwh/ano)	-	ATENDE	NÃO ATENDE	
NÍVEL DE DESEMPENHOS TÉRMICO - UH7 PAVIMENTO 4 MACEIÓ				
INDICADOR	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR	NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO DA UNIDADE HABITACIONAL
PHFT (%)	ATENDE	ATENDE	ATENDE	
ToMáx (°C)	ATENDE	-	-	
ToMín (°C)*	-	-	-	SUPERIOR
CGTT (Kwh/ano)	-	ATENDE	ATENDE	

Fonte - Autor

Assim como no pavimento térreo, a UH7 – pavimento 4 (B6) de Recife-PE, foi classificada no nível intermediário e atingiu o nível superior para o PHFT. A UH7 intermediária na cidade de João Pessoa-PB permaneceu no nível mínimo, porém, atingiu o nível intermediário do critério de carga térmica total. Para a cidade de Maceió-AL a unidade habitacional UH7 alcançou o nível de desempenho térmico superior, utilizando apenas a bandeira na porta de acesso (B6) e viabilizando a ventilação cruzada nos ambientes. Por último classificou-se a UH8 – pavimento de cobertura, considerando a combinação B6 (tabela 20).

Tabela 20 - Classificação do nível de desempenho térmico da UH8 - pavimento cobertura (combinação B6) para todas as cidades do estudo.

NÍVEL DE DESEMPENHOS TÉRMICO - UH8 COBERTURA RECIFE				NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO DA UNIDADE HABITACIONAL
INDICADOR	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR	
PHFT (%)	ATENDE	NÃO ATENDE	NÃO ATENDE	
ToMáx (°C)	ATENDE	-	-	
ToMín (°C)*	-	-	-	MÍNIMO
CGTT (Kwh/ano)	-	ATENDE	NÃO ATENDE	
NÍVEL DE DESEMPENHOS TÉRMICO - UH8 COBERTURA JOÃO PESSOA				
INDICADOR	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR	NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO DA UNIDADE HABITACIONAL
PHFT (%)	ATENDE	NÃO ATENDE	NÃO ATENDE	
ToMáx (°C)	ATENDE	-	-	
ToMín (°C)*	-	-	-	MÍNIMO
CGTT (Kwh/ano)	-	ATENDE	NÃO ATENDE	
NÍVEL DE DESEMPENHOS TÉRMICO - UH8 COBERTURA MACEIÓ				
INDICADOR	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR	NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO DA UNIDADE HABITACIONAL
PHFT (%)	ATENDE	ATENDE	ATENDE	
ToMáx (°C)	ATENDE	-	-	
ToMín (°C)*	-	-	-	INTERMEDIÁRIO
CGTT (Kwh/ano)	-	ATENDE	NÃO ATENDE	

Fonte – Autor

As unidades habitacionais UH8 (combinação B6) localizadas em Recife-PE e João Pessoa-PB mantiveram-se no nível mínimo de desempenho geral, embora tenham alcançado o nível intermediário no critério específico das cargas térmicas. Já a UH8 localizada na cobertura em Maceió-AL atingiu o nível intermediário geral e, considerando o critério do PHFT, chegou ao nível superior. As unidades de cobertura estão mais expostas à radiação solar ao longo do ano, o que resulta em temperaturas internas mais elevadas. Apesar da melhoria na ventilação promovida pela inclusão da bandeira (combinação B6), essa estratégia não foi suficiente para reduzir as temperaturas internas de todas as UH8 a ponto de elevá-las ao nível intermediário de desempenho térmico.

Em estudos futuros recomenda-se a associação da combinação B6 (adição de bandeira na porta de acesso e viabilizando a ventilação cruzada na UH) com a combinação B1 ou B2 (adição de material isolante na coberta).

## 5 CONCLUSÃO

Ao final do presente estudo, pode-se afirmar que as simulações computacionais figuram como uma ferramenta essencial para a obtenção e aprimoramento do desempenho térmico das edificações. Esse método permite a análise de diversos cenários, considerando diferentes variáveis, o que pode resultar em melhorias significativas na habitabilidade e no desempenho energético das construções. Seu uso se mostra ainda mais eficaz quando empregado na fase de concepção do projeto.

As simulações realizadas, seguindo os padrões estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2021) para modelos reais e de referência, demonstraram que o modelo de referência apresenta um desempenho muito semelhante ao praticado amplamente pela construção civil atualmente. As estratégias projetuais sugeridas pela norma para aprimorar esse modelo mostraram-se pouco eficazes no contexto regional estudado. Além disso, ficou evidente que as Habitações de Interesse Social (HIS), especialmente as multifamiliares comumente construídas pelo mercado imobiliário, apresentam um padrão de desempenho térmico insatisfatório. Mesmo quando classificadas no nível “mínimo”, essa avaliação não garante um desempenho apropriado das habitações, evidenciando a necessidade de aprimoramentos substanciais no método de classificação.

O estudo das HIS unifamiliares e multifamiliares também revelou que alterações específicas em variáveis projetuais podem ser altamente eficazes na melhoria do desempenho térmico das habitações. No caso das Habitações de Interesse Social, onde a redução de custos frequentemente se sobrepõe à qualidade do produto, intervenções específicas e práticas podem fazer uma grande diferença para os usuários. Elementos simples, como o uso de materiais isolantes e portas com bandeiras (permitindo a ventilação cruzada nos ambientes), devem ser incorporados como práticas comuns na construção civil, especialmente dentro da realidade do recorte estudado.

A análise das diversas variáveis projetuais também chama atenção para as concepções consolidadas ao longo das décadas na arquitetura e refletidas em normas que, muitas vezes, não consideram as especificidades regionais do país. No litoral nordestino, por exemplo, é comum encontrar edificações com amplos panos de vidro e grandes aberturas, sem mecanismos de proteção contra a insolação direta, que

embora tais soluções sejam adotadas sob a justificativa de melhorar a ventilação dos ambientes internos, os resultados do estudo indicam que essa estratégia, na verdade, contribui para o aumento das temperaturas internas e da carga térmica de refrigeração. Além de não proporcionar melhorias na habitabilidade das edificações, essa abordagem torna os edifícios ineficientes, contrariando os princípios da sustentabilidade.

A ventilação cruzada destacou-se como uma solução eficaz para as unidades habitacionais em edificações verticais com funcionamento passivo, uma vez que a renovação do ar desempenha um papel fundamental no resfriamento dos ambientes. O custo adicional para a adoção de uma bandeira na porta de acesso dos apartamentos da HIS é de aproximadamente R\$ 315,00 (trezentos e quinze reais), com base em uma cotação simples realizada em abril de 2025 junto a um fornecedor localizado em João Pessoa-PB (Fecimal Arte e Madeira, 2025). Esse valor representa um acréscimo de 52% em relação ao custo de uma porta sem bandeira (tabela 21).

O isolamento térmico também se consolidou como uma estratégia essencial para reduzir a entrada de calor nos ambientes com cobertura exposta à radiação solar direta. Na simulação com os melhores indicadores, foi utilizada placa de lã de rocha como material isolante. Segundo cotação realizada em maio de 2025, o custo do metro quadrado desse material equivale a R\$ 65,25 (sessenta e cinco reais e vinte e cinco centavos) (Portal da Acústica, 2025), o que representa um aumento de 39,64% em comparação ao custo por metro quadrado da laje pré-moldada utilizada como cobertura, cotação realizada por meio da tabela SINAPI para março de 2025 no estado da Paraíba (BRASIL, 2025) (tabela 21).

Tabela 21 - Custo em R\$ dos componentes inseridos nas simulações de melhor desempenho.

CUSTO EM R\$ DOS MATERIAIS SIMULADOS		
INSUMO	UNIDADE	PREÇO UNITÁRIO (R\$)
FORRA SEM BANDEIRA CUMARU (380)	UN.	600,00
FORRA COM BANDEIRA (378)	UN.	915,00
LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA, PARA FORRO, ENCHIMENTO EM CERÂMICA, VIGOTA CONVENCIONAL, ALTURA TOTAL DA LAJE "LT" = 11 CM	M <sup>2</sup>	164,60
PLACA DE LÃ DE ROCHA 1200 x 600 x 51mm - 48kg/m <sup>3</sup>	M <sup>2</sup>	65,25

Fonte - Fecimal Arte e Madeira, 2025; BRASIL, 2025; Portal da Acústica, 2025.

O custo-benefício dessa medida deve considerar o baixo impacto do acréscimo no valor do custo por metro quadrado das unidades habitacionais de interesse social, especialmente quando comparado à melhora dos indicadores de desempenho térmico viabilizada pela ventilação cruzada e pelo isolamento das coberturas. A inserção desses dois elementos no projeto das HIS, no contexto

analisado, pode proporcionar um aumento significativo no conforto térmico e na eficiência energética das edificações. Recomenda-se que estudos futuros avaliem a combinação dessas e de outras variáveis, a fim de ampliar o conhecimento sobre soluções construtivas mais eficientes.

Outro fator relevante analisado foi o comportamento semelhante das variáveis da simulação nas três cidades estudadas. Em todos os gráficos, observou-se uma tendência similar de aumento ou redução nos indicadores de desempenho térmico. A principal diferença residiu na intensidade da variação dos resultados, e não nos próprios resultados, que se apresentaram de maneira uniforme para Recife-PE, João Pessoa-PB e Maceió-AL. Essa tendência é fundamental para compreender as melhores estratégias projetuais para o litoral leste nordestino.

A análise do procedimento estabelecido pela NBR 15575 (ABNT, 2021) também se revelou relevante. Durante a execução das simulações e a análise dos resultados, assim como na revisão da literatura, constatou-se que, apesar de a norma de 2021 apresentar um nível maior de detalhamento, ainda há espaço para diversas melhorias. Em especial, recomenda-se aprimoramentos no Modelo de Referência, nos perfis de ocupação e nos critérios de classificação. Além disso, sugere-se a inclusão de indicadores relacionados ao conforto térmico, e não apenas ao desempenho do edifício.

É válido destacar algumas limitações do procedimento adotado na pesquisa. Algumas variáveis da simulação e procedimentos de análise dependem das escolhas do operador do software, o que pode afetar a padronização da métrica utilizada e, consequentemente, a precisão dos resultados. Isso foi perceptível em variáveis como a interação da edificação com o solo e a escolha do arquivo climático. Além disso, a expertise do operador desempenha um papel fundamental no resultado da simulação, uma vez que a configuração do software afeta diretamente os dados obtidos.

Por fim, recomenda-se a realização de novas pesquisas para um aprofundamento na análise do desempenho térmico das HIS no clima quente e úmido, especialmente no litoral leste nordestino. É essencial investigar e simular novas variáveis e estratégias projetuais, bem como a combinação dessas estratégias, a fim de identificar as melhores soluções para o contexto estudado e adaptá-las à realidade das Habitações de Interesse Social. Como prosseguimento das pesquisas podem ser destacadas, por exemplo, outras variáveis para explorar em novos estudos com simulações computacionais para avaliar o desempenho térmico das HIS:

- Janelas (tipo, tamanho, forma de abertura, posição fora do eixo da parede externa e proteção contra insolação direta);
- Porta de acesso às unidades de apartamento com venezianas móveis;
- Cores claras nas paredes externas e telhas na cobertura;
- *Setpoint* com temperatura de 26°C para considerar uso de ventilação mecânica na simulação.

## REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: [http://143.107.18.37/material/mftandra2/ACA0225/Alvares\\_et al\\_Koppen\\_climate\\_classesBrazil\\_MeteoZei\\_2014.pdf](http://143.107.18.37/material/mftandra2/ACA0225/Alvares_et al_Koppen_climate_classesBrazil_MeteoZei_2014.pdf). Acesso em: 14/08/2023.

ANDERSON, K. **Design energy simulation for architects**: Guide to 3D graphics. 1. ed. Nova York: Routledge, 2014. ISBN: 978-0-415-84065-1.

ARAÚJO, D. C. **A qualidade de vida na habitação social verticalizada a partir da avaliação pós-ocupação**: o caso do conjunto habitacional cidade verde. 2016. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/17914>. Acesso em: 14/08/2023.

ASHRAE. **Standard 55-2020 -- Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy** (ANSI Approved) 2020. Disponível em: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy>. Acesso em: 14/08/2023.

ASHRAE. **Standard 90.1-2022 (I-P Edition) -- Energy Standard for Sites and Buildings Except Low-Rise Residential Buildings** (ANSI Approved; IES Co-sponsored). 2020. Disponível em: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>. Acesso em: 14/08/2023.

ASHRAE. **Standard 90.2-2018 -- Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings** (ANSI Approved). 2018. Disponível em: <https://www.ashrae.org/news/esociety/newly-revised-standard-90-2-includes-new-performance-specifications-more>. Acesso em: 14/08/2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1\_Desempenho térmico de edificações**; Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2\_Desempenho térmico de edificações**; Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3\_Desempenho térmico de edificações**; Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho. Rio de Janeiro, 2024

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1\_Edificações habitacionais – Desempenho**; Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1\_Edificações habitacionais – Desempenho**; Parte 1-1: Base – padrão de arquivos climáticos para a avaliação do desempenho térmico por meio do procedimento de simulação computacional. Rio de Janeiro, 2021.

BALBIM, R.; KRAUSE, C. Produção social da moradia: um olhar sobre o planejamento da Habitação de Interesse Social no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 189, 2014. DOI: 10.22296/2317-1529.2014v16n1p189. Disponível em: <https://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/4905>. Acesso em: 14/08/2023.

BARBOSA, K. H. **Avaliação da influência da orientação solar, associada ao comportamento do usuário, no desempenho térmico de uma tipologia de residência unifamiliar em Goiânia**. Florianópolis: Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/176798>. Acesso em: 12/03/2024.

BATISTA, J. O.; PEIXOTO, I. M. L.; CAVALCANTE, K. E. L.; LIMA, I. M. de; Desempenho térmico de habitação multifamiliar do programa minha casa minha vida em Maceió-AL. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 15., 2013. **Anais** [...] Maceió: ANTAC, 2013. Disponível em: [http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper\\_246.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_246.pdf). Acesso em: 03/12/2024.

BAVARESCO, M.; KAMIMURA, A.; GERALDI, M.S. MELO, A.P.; LAMBERTS, R. Impacto da ausência de forros ou lajes no desempenho termoenergético de habitações de interesse social. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 19., 2022. **Anais** [...] Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-15. DOI: 10.46421/entac.v19i1.2239. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2239>. Acesso em: 03/12/2024.

BAVARESCO, M. V.; MAZZAFERRO; L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Classificação de climas brasileiros empregada na atualização dos Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações**. Florianópolis: CB3E, Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, 2017. Disponível em: [https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio\\_GruposClimaticos.pdf](https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio_GruposClimaticos.pdf). Acesso em: 14/08/2023.

BELÉM, K. G. de S. **Impactos e desafios da implantação da norma de desempenho NBR 15.575/2013 em empresas construtoras de edificações multifamiliares**. 2018. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/RAOA-BATKF8>. Acesso em: 14/08/2023.

BERLEZE, A. S.; BRASILEIRO, A. de B. H.; SILVOSO, M. M. Multi-objective optimization of the geometry of single-family housing to improve thermal

performance. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 41 - 65, 2021. DOI: 10.1590/s1678-86212021000200514. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/FwsQJm5Bhd8Yjz3yNGmQK6H/?format=html>. Acesso em: 14/08/2023.

BLUMENSCHEN, R. N.; PEIXOTO, E. R.; GUINANCIO, C.; AMORIM, C. N. D.; IKEDA, D. F. R.; ANDRADE, L.; BUSON, M.; LEMOS, N.; ZANONI, V. A. G. **Avaliação da qualidade da habitação de interesse social**: projetos urbanístico e arquitetônico e qualidade construtiva. 1. ed. Brasília: UnB, FAU, 2015. ISBN 978-85-60762-20-0.

BONDUKI, N. G. Origens Da Habitação Social No Brasil. **Análise Social**, [s. l.], v. 29, n. 127, p. 711–32, 1994. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/41011028>. Acesso em: 14/08/2023.

BONDUKI, N. G. **Os pioneiros da habitação social**: cem anos de construção de política pública no Brasil. 1. ed. São Paulo: UNESP; SESC, 2014. ISBN 8539305224.

BRASIL. Caixa Econômica Federal. SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. **Relatório de custos de composições – encargos sociais sem desoneração, valores para março - PB**. Brasília, DF: CAIXA, 2025. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br>. Acesso em: 7/05/2025.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Brasília, 2012.

BRASIL. **Lei nº 14.620, de 13 de Julho de 2023**. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida [...] e revoga dispositivos da Lei nº 14.118, de 12 de janeiro de 2021. Brasília, DF: Presidência da República, 2023. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2023-2026/2023/Lei/L14620.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Lei/L14620.htm). Acesso em: 14/08/2023.

BRÍGITTE, G. T. N.; RUSCHEL, R. C. Operacionalização de parâmetros de projeto por meio do enriquecimento semântico em modelos BIM de habitação de interesse social. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 20-32, 2020. DOI: 10.11606/gtp.v15i2.159857. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/159857>. Acesso em: 14/08/2023.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2009.

CÂMARA BRASILEIRA DE INDUSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho das edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento a NBR 15575/2013**. 1. ed. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDUSTRIA DA CONSTRUÇÃO; SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Norma de desempenho: panorama central e desafios futuros**. Brasília, 2016. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp>

content/uploads/2017/11/Norma\_de\_Desempenho\_Panorama\_Atual\_e\_Desafios\_Futuros\_2016.pdf. Acesso em: 14/08/2023.

CÂMARA, M. G. A. P. da. **Análise comparativa entre programas governamentais de habitação:** Programa Minha Casa Minha Vida e programa Casa Verde e Amarela sob uma perspectiva jurídica. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Direito) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/27644>. Acesso em: 14/08/2023.

CÂNDIDO, C. D.; DORNELLES, K. A.; LUKIANTCHUKI, M. A. Impacto da absorção no conforto térmico em três zonas bioclimáticas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 14, n. 00, p. e023003, 2023. DOI: 10.20396/parc.v14i00.8668202. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8668202>. Acesso em: 14/08/2023.

CARRARO, C. L.; DIAS, J. F. Diretrizes para prevenção de manifestações patológicas em Habitações de Interesse Social. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 125 - 139, 2014. DOI: 10.1590/S1678-86212014000200009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/tY3Fy9WSrh9Ky7GVwQPVQqB/?lang=pt>. Acesso em: 14/08/2023.

CASTILLA, M.; ÁLVAREZ, J. D.; BERENGUEL, M.; PÉREZ, M.; RODRÍGUEZ, F.; GUZMÁN, J. L. Técnicas de control del confort en edificios. **Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 5 - 24, 2010. DOI: 10.1016/S1697-7912(10)70038-8. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791210700388>. Acesso em: 14/08/2023.

CELANI, G. Além da avaliação energética e ambiental nas etapas iniciais do processo de projeto. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 3, n. 2, p. 63–71, 2012. DOI: 10.20396/parc.v3i2.8634568. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634568>. Acesso em: 03/12/2024.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Cálculo da transmitância térmica de componentes construtivos usuais segundo a NBR 15220:2:2022.** Florianópolis, 2022. Disponível em: [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas\\_tecnicas/RI%2010-2022-02.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas_tecnicas/RI%2010-2022-02.pdf). Acesso em: 14/08/2023.

COSTA, L. M. da; ALVAREZ, C. E. de; MARTINO, J. A. de. Proposta de método de projeto baseado no desempenho para edifícios energeticamente eficientes. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 409-433, 2021. DOI: 10.1590/s1678-86212021000200533. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/95xwmsf99rHJ7cFHvy7cRcM/?format=html>. Acesso em: 14/08/2023.

DIAS, L. de S.; SOUZA, H. A. de; GOMES, A. P.; CAETANO, L. F.; CAMARGOS, B. H. L.; TRIBESS, A. Simulação termoenergética e lumínica de fachadas com brises no

clima tropical. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 14, n. 00, p. e023001, 2023. DOI: 10.20396/parc.v14i00.8667538. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8667538>. Acesso em: 14/08/2023.

**ELETROBRAS. Pesquisa de posse e hábitos de uso de equipamentos elétricos na classe residencial para - Região Nordeste.** Brasília, 2019. Disponível em: <https://q.eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx>. Acesso em: 14/08/2023.

ELI, L. G.; KRELLING, A. F.; MENDES, L. S.; MAURÍCIO, R.; MAZZAFERRO, S. L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto ground domain no programa EnergyPlus-Versão 9.0. 1. **Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**, 2019. Disponível em: [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_pesquisa/Manual\\_GroundDomain\\_E%2Bversao9.0.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Manual_GroundDomain_E%2Bversao9.0.pdf). Acesso em: 03/12/2024.

ELI, L. G.; KRELLING, A. F.; OLINGER, M. S.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Thermal performance of residential building with mixed-mode and passive cooling strategies: The Brazilian context. **Energy and Buildings**, [s. l.] v. 244, 2021. ISSN 0378-7788. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111047>. Acesso em: 03/12/2024.

**EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Atlas da Eficiência Energética – relatório de indicadores.** Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-de-eficiencia-energetica-brasil-2022>. Acesso em: 14/08/2023.

**EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional – relatório síntese.** Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em: 14/08/2023.

**EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Decenal de Expansão de Energia - 2030.** Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030\\_RevisaoPosCP\\_rv2.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf). Acesso em: 14/08/2023.

**FARRELLY, L. Fundamentos de arquitetura.** 2 ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2014.

**FECIMAL ARTE E MADEIRA. Cotação de preço para porta com bandeira nas unidades habitacionais.** João Pessoa, 2025. Cotação realizada diretamente pelo autor em 9 de abril de 2025.

**FERNANDES, J. T. Código de obras e edificações do DF: inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética.** 2009. 249 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/7281>. Acesso em: 03/12/2024.

FERREIRA, A. D. D. **Habitação de interesse social**: aspectos históricos, legais e construtivos. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. ISBN: 978-85-7193-375-0.

FERREIRA, K.; ZAMBRANO, L. Avaliação de Qualidade de Habitações do Programa Minha casa Minha Vida. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2019, Uberlândia. **Anais** [...] Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019. p. 1074-1087. DOI 10.14393/sbqp19098. Disponível em: [https://eventos.ufu.br/sites/eventos.ufu.br/files/documentos/098\\_avaliacao\\_da\\_qualidade\\_149.pdf](https://eventos.ufu.br/sites/eventos.ufu.br/files/documentos/098_avaliacao_da_qualidade_149.pdf). Acesso em: 14/08/2023.

FIBROSOM. **Catálogo geral de produtos – isolamentos EPS**. Cabeçudos, 2018. Disponível em: <https://fibrosom.com/ficheiros/pdfs/PoliestirenoExpandidoPlacas.pdf>. Acesso em: 14/08/2023.

FIBROSOM. **Catálogo geral de produtos – isolamentos Lã de rocha**. Cabeçudos, 2018. Disponível em: [https://www.fibrosom.com/ficheiros/pdfs/La\\_de\\_Rocha.pdf](https://www.fibrosom.com/ficheiros/pdfs/La_de_Rocha.pdf). Acesso em: 14/08/2023.

FOSSATI, M.; SCALCO, V. A.; LINCZUK, V. C. C.; LAMBERTS, R. Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 65, p. 1216-1231, 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2016.06.048. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116302805>. Acesso em: 14/08/2023.

FRACALOSSI, I.; **Clássicos da Arquitetura**: Conjunto Residencial Prefeito Mendes de Moraes (Pedregulho) - Affonso Eduardo Reidy. ArchDaily Brasil, 2011. ISSN 0719-8906. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/01-12832/classicos-da-arquitetura-conjunto-residencial-prefeito-mendes-de-moraes-pedregulho-affonso-eduardo-reidy>. Acesso em: 14/08/2023.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil – 2016 - 2019**. Belo Horizonte, 2021. Disponível em: [http://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/04/21.05\\_Relatorio-Deficit-Habitacional-no-Brasil-2016-2019-v2.0.pdf](http://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/04/21.05_Relatorio-Deficit-Habitacional-no-Brasil-2016-2019-v2.0.pdf). Acesso em: 14/08/2023.

GARCIA, M. da S.; VILELA, J. A.; MAIRINK, A. J. M.; VELOSO, A. C. de O.; SOUZA, R. V. G. de. Simulação paramétrica de brise-soleil para redução de consumo energético em edificação comercial. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 16, n. 40, p. 1 - 27, 2020. DOI: 10.3895/rts.v16n40.9783. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/9783>. Acesso em: 14/08/2023.

GONÇALVES, E.; MELO, A.; ZEMERO, B. R.; BARATA, M. S. Avaliação de desempenho térmico em habitações de interesse social com sistemas construtivos de base cimentícia na região Amazônica. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 16., 2021. **Anais** [...] Palmas, 2021. p. 688–697. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4452>. Acesso em: 03/12/2024.

GONÇALVES, E. L. S.; BRAGA, J. L.; SAMPAIO, A. de O.; BATISTA, V. S.; MENEZES, L. J. de R.; ELI, L. G.; BARATA, M. S.; VENTURA NETO, R. da S.; ZEMERO, B. R. Multiscale modeling to optimize thermal performance design for urban social housing: A case study. **Applied Thermal Engineering**, [s. l.], v. 236, p. 121 - 379, 2023. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2023.121379. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431123014084>. Acesso em: 14/08/2023.

HOKAMA, K. C.; OLIVEIRA, A. K. M.; MATIAS, R. Social interest housing projects implemented by BNH in the 1980s in Campo Grande, Mato Grosso do Sul. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [s. l.], v. 10, n. 75, 2022. DOI: 10.17271/23188472107520222848. Disponível em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento\\_de\\_cidades/article/view/2848](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/2848). Acesso em: 14/08/2023.

HOLANDA, A. de; Roteiro para construir no Nordeste. **MDU/UFPE**, Recife, 1976.

HONG, T.; TAYLOR-LANGE; S. C.; D'OCA S.; DA YAN; CORGNATI, S. P. Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. **Energy and Buildings**, v. 116, p. 694-702, 2016. ISSN 0378-7788. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.052>. Acesso em: 03/12/2024.

INVIDIATA, A.; SOUSA, R. F. de; MELO, A. P.; FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. Análise do desempenho termoenergético de habitações unifamiliares de interesse social através do método de simulação do regulamento brasileiro. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído 16., 2016. São Paulo. **Anais** [...] Porto Alegre: ANTAC, 2016. Disponível em: [http://www.infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016\\_paper\\_297.pdf](http://www.infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016_paper_297.pdf). Acesso em: 03/12/2024.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). ISO 7730. Ergonomics of the Thermal Environment—Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the Pmv and Ppd Indices and Local Thermal Comfort Criteria. **Management**, v. 52, 2005. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:7730:ed-3:v1:en>. Acesso em: 14/08/2023.

KLINTOWITZ, D. Por que o Programa Minha Casa Minha Vida só poderia acontecer em um governo petista? **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 18, n. 35, p. 165-190, 2016. DOI: 10.1590/2236-9996.2016-3508. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cm/a/WPBGnhjVhxLdzGXGNFTdYRQ/?lang=pt>. Acesso em: 14/08/2023.

KNOP, A.; DISCONZI, F. P. Desempenho termoenergético de habitação em CLT por meio de simulações computacionais para diferentes climas brasileiros. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023. **Anais** [...]. [s. l.], 2023. p. 1–11. DOI: 10.46421/encac.v17i1.3880. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/3880>. Acesso em: 03/12/2024.

KRELLING, A. F.; ELI, L. G.; OLINGER, M. S.; MACHADO, R. M. E. S.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. A thermal performance standard for residential buildings in warm climates: Lessons learned in Brazil. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 281, p. 112 - 770, 2023. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112770. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778822009410>. Acesso em: 14/08/2023.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P. de; CARLO, J. C.; BATISTA, J. O.; MARINOSKI, D. L.; NARANJO, A.; DUARTE, V. C. P. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: UFSC, 2016. Disponível em: [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161%20Apostila-v2011\\_0.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161%20Apostila-v2011_0.pdf). Acesso em: 14/08/2023.

LOGSDON, L.; FABRÍCIO, M. M. Instrumentos associados de apoio ao processo de projeto de moradias sociais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n.2, p. 401-423, 2020. DOI: 10.1590/s1678-86212020000200406. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/qQDYPYzhSN5N6YVv3HMVZNk/?format=html>. Acesso em: 14/08/2023.

MACHADO, J. de M.; SIRTULI, B. P.; NICO RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. de; Sustentabilidade e Desempenho Térmico em Habitação de Interesse Social: aplicação da ferramenta ISMAS em Vitória-ES para vedações verticais. **Paranoá**, [s. l.], n. 27, p. 95-112, 2020. DOI: 10.18830/issn.1679-0944.n27.2020.06. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/20405>. Acesso em: 14/08/2023.

MACIEL, A. A. **Integração de conceitos bioclimáticos ao projeto arquitetônico**. 2006. Tese (Doutorado em engenharia civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/88974>. Acesso em: 03/12/2024.

MARINHO, G. A. S.; PEREIRA, F. da S.; SILVA, M. E. S. da; VIANA, M. C.; CAETANO, O. C. **Fatores e elementos climáticos usando a classificação de Köppen-Geiger**. Maceió: Universidade Federal de Alagoas: Instituto de Ciências Atmosféricas, 2022. 1 Apostila Projeto de Extensão - ACE 4(13p). Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/123456789/10074>. Acesso em: 14/08/2023.

MATOS, M. **Simulação Computacional do Desempenho Térmico de Residências em Florianópolis Utilizando a Ventilação Natural**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO\\_Matthele\\_Matos.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Matthele_Matos.pdf). Acesso em: 14/08/2023.

MELHADO, S. B.; AGOPYAN, V. **Conceito de projeto na construcao de edificios: diretrizes para sua elaboracao e controle**. São Paulo: Epusp, 1995. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000883534>. Acesso em: 03/12/2024.

MENDES, V. F.; CRUZ, A. S.; GOMES, A. P.; MENDES, J. C. A systematic review of methods for evaluating the thermal performance of buildings through energy

simulations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 189, p. 113 - 875, 2023. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113875. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123007335>. Acesso em: 14/08/2023.

**MINISTÉRIO DAS CIDADES. Portaria MCID nº 725, de 15 de Junho de 2023.** Dispõe sobre as especificações urbanísticas, de projeto e de obra [...]do Programa Minha Casa, Minha Vida, de que trata a Medida Provisória nº 1.162, de 14 de fevereiro de 2023. Brasília: Presidência da República, 2023. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mcid-n-725-de-15-de-junho-de-2023-490336615>. Acesso em: 14/08/2023.

**MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Relatório de avaliação: Programa Minha Casa Minha Vida.** Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/cgu/pt-br/assuntos/noticias/2021/04/cgu-divulga-prestacao-de-contas-do-presidente-da-republica-de-2020/relatorio-de-avaliacao-pmcv.pdf>. Acesso em: 14/08/2023.

MORAES, A. F. S.; PICCHI, F.; GRANJA, A. D. Variáveis e índices geométricos de projeto arquitetônico relacionados ao custo de empreendimentos residenciais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016. Disponível em: [http://www.infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016\\_paper\\_133.pdf](http://www.infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016_paper_133.pdf). Acesso em: 03/12/2024.

MOREIRA, L. C. **Vida útil e prazos de garantia sob a ótica da norma de desempenho – NBR 15575.** Conselho Regional de engenharia e Agronomia de Goiás, Goiás, 2018. Disponível em: <https://www.creago.org.br/noticia/view/171/vida-utl-e-prazos-de-garantia-sob-a-otica-da-norma-de-desempenho---nbr-15575>. Acesso em: 14/08/2023.

MORENO, A. C. R.; MORAIS I. S.; SOUZA, R. V. G. de; Thermal Performance of Social Housing– A Study Based on Brazilian Regulations. **Energy Procedia**, [s. l.] v. 111, p. 111-120, 2017. ISSN 1876-6102. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.013>. Acesso em: 03/12/2024.

MORORÓ, M. S. de M.; ROMCY, N. M. e S.; CARDOSO, D. R.; BARROS NETO, J. de P. Proposta paramétrica para projetos sustentáveis de Habitação de Interesse Social em ambiente BIM. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, p. 27 - 44, 2016. DOI: 10.1590/s1678-86212016000400103. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/8CxZfGPyzCk3NHnLXXbgtjt/?lang=pt>. Acesso em: 14/08/2023.

NASLAVSKY, G. Arquitetura Moderna em Pernambuco 1945-1970. Uma Produção com Identidade Regional. **5º Seminário Docomomo Brasil Arquitetura e Urbanismo Modernos: Projeto e Preservação**, p. 1-11, 2003. Disponível em: <https://docomomobrasil.com/wp-content/uploads/2016/01/055R.pdf>. Acesso em: 03/12/2024.

NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. de; SANTO, A. D.; PIDERIT, M. B. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados

naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 7-23, abr./jun. 2015. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212015000200011>. Acesso em: 03/12/2024.

NOVO MILENIO. **Santos de Antigamente, Conjunto Dale Coutinho (1979)**. Santos, 2008. Disponível em: <https://www.novomilenio.inf.br/santos/fotos227b.htm>. Acesso em: 14/08/2023.

NUNES, V. D. L.; HIPPERT, M. A. S.; CARVALHO, A. R. de.; RUBIM, D. F. A implantação da norma NBR 15575 e seu impacto no setor de construção civil. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 12, n. 00, p. e021010, 2021. DOI: 10.20396/parc.v12i00.8656159. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8656159>. Acesso em: 14/08/2023.

OLIVEIRA-AUGUSTO, C.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M. Materiales de aislamiento térmico de edificios. Además de la energía operativa. **Hábitat Sustentable**, [S. I.], v. 6, n. 2, p. 30-39, 2016. Disponível em: <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2340>. Acesso em: 03/12/2024.

OLIVEIRA, A. C. de; **Padrões de comportamento dos usuários sobre as aberturas para modelos de simulação de desempenho térmico em habitações de interesse social em clima quente e úmido**. 2019. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/18498>. Acesso em: 14/08/2023.

OLIVEIRA, L. K. S.; RÉGO, R.M.; FRUTUOSO, M. N. M. A.; RODRIGUES S. S. F. B. Simulação computacional da eficiência energética para uma arquitetura sustentável. **HOLOS**, [s. l.], v. 4, p. 217-230, 2016. ISSN: 1518-1634. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481554867021>. Acesso em: 03/12/2024.

OLIVEIRA, R. B. de; ALVES, C. dos R. Análise do desempenho térmico de habitação de interesse social com paredes de concreto em Uberlândia-MG. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 12, n. 00, p. e021006, 2021. DOI: 10.20396/parc.v12i00.8661094. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8661094>. Acesso em: 14/08/2023.

PEIXOTO, L. B.; SOUZA, R. V. G. de. Desempenho térmico pela ABNT NBR 15575: versões 2013 e 2021. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 16., 2021. **Anais** [...], Palmas, 2021. p. 840-849. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4468>. Acesso em: 03/12/2024.

PORTAL DA ACÚSTICA. **Cotação de preço para placa de lã de rocha**. Jacareí, 2025. Disponível em: <https://www.portaldaacustica.com/produto/placa-la-de-rocha-1200-x-600-x-51mm-48kg-m-6-unidades-70144>. Acesso em: 05/05/2025.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. **Revista técnico-científica: CREA-PR**, Paraná, n. 1, p. 1-14, 2013. ISSN 2358-5420. Disponível em: <https://revistatecie.crea-pr.org.br/index.php/revista/article/view/14/10>. Acesso em: 03/12/2024.

QUEIROGA, L. A.; AQUINO FILHO, G. C. de. Desempenho de edificações produtos do Programa Minha Casa Minha Vida no Alto Sertão da Paraíba: uma visão de consumidores. **Revista Técnico-Científica: CREA-PR**, Ed. Especial 3º SPPC, p. 1 – 16, 2018. ISSN 2358-5420. Disponível em: <https://revistatecie.crea-pr.org.br/index.php/revista/article/view/410>. Acesso em: 14/08/2023.

RAMOS, J. da S.; NOIA, A. C. A Construção de Políticas Públicas em Habitação e o Enfrentamento do Déficit Habitacional no Brasil: uma análise do Programa Minha Casa Minha Vida. **Desenvolvimento em Questão**, [S. I.], v. 14, n. 33, p. 65–105, 2015. DOI: 10.21527/2237-6453.2016.33.65-105. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentodemquestao/article/view/3194>. Acesso em: 14/08/2023.

RESENDE, B. C.; SOUZA, H. A. de; GOMES, A. P. Modelagem da transferência de calor de ambientes subterrâneos no programa de simulação EnergyPlus. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 1, p. 161-180, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000100299>. Acesso em: 03/12/2024.

RUBIN, G. R.; BOLFE, S. A. O desenvolvimento da habitação social no Brasil. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 2, p. 201- 213, 2014. DOI: 10.5902/2179460X11637. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4675/467546173014.pdf>. Acesso em: 14/08/2023.

SALES, E. M.; BRITO, A. C.; AKUTSU, M.; AQUILINO, M de M. Efeito de variações no projeto de arquitetura de uma habitação no seu desempenho térmico. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC 2014)*, 15., 2014, Maceió. **Anais** [...] Maceió: ANTAC, 2014. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002768509>. Acesso em: 14/08/2023.

SAKIYAMA, N. R.; CARLO, J. C.; FRICK, J.; GARRECHT, H. Perspectives of naturally ventilated buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. I.], v. 130, p. 109 - 933, 2020. DOI: 10.1016/j.rser.2020.109933. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120302240>. Acesso em: 14/08/2023.

SALGADO, M. S.; SILVOSO, M. M.; GRABOIS, T. M. **Arquitetura, Materialidade e Tecnologias Digitais**: Aplicações na Produção e Conservação do Ambiente Construído. 1. ed. Rio de Janeiro: PROARQ-FAU-UFRJ, 2020. ISBN: |978-65-88335-06-2 | 978-65-87833-06-4.

SANT'ANA, M. M. S.; POZNYAKOV, C. Levantamentos de Manifestações Patológicas em Edificações de Interesse Social. **Boletim do Gerenciamento**, [s. I.], v. 20, n. 20, p. 34 - 44, 2020. ISSN 2595-6531. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/508>. Acesso em: 14/08/2023.

SANTO, A. D.; ALVAREZ, C. E. de; NICO-RODRIGUES, E. A. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575. **Cadernos PROARQ**, [s. l.], v. 20, p. 116-136, 2013. Disponível em: [http://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/public/docs/Proarq\\_20-114.pdf](http://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/public/docs/Proarq_20-114.pdf). Acesso em: 14/08/2023.

SANTOS, T. L. dos; CUNHA JÚNIOR, C. F. da; SILVA, A. S. Comparação entre indicadores de desempenho e conforto térmico em habitações de interesse social por simulação computacional. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 15., 2019. **Anais** [...], João Pessoa, 2019. p. 1736–1745. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4204>. Acesso em: 03/12/2024.

SANTOS, T. L. dos; PORTO, F. H. F. dos S.; SILVA, A. S. Análise da correlação entre conforto e desempenho térmico em habitações de interesse social por simulação computacional. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 20, p. 211 - 229, 2020. DOI: 10.1590/s1678-86212020000200396. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/nfrtxHQzgM6cTXrNSSK5V5F/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 14/08/2023.

SICURELLA, F.; EVOLA, G.; WURTZ, E. A statistical approach for the evaluation of thermal and visual comfort in free-running buildings. **Energy and buildings**, [s. l.], v. 47, p. 402 - 410, 2012. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.12.013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778811006232>. Acesso em: 14/08/2023.

SILVA, A. S.; ALMEIDA, L. S. S.; GHISI, E. Análise de incertezas físicas em simulação computacional de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 289-303, 2017. DOI: 10.1590/s1678-86212017000100136. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/cKw5sx8mgrZFsFs8jCfZQ4D/?lang=pt#>. Acesso em: 14/08/2023.

SILVA, K. R. G. da; TOLEDO, A. M. Efeito do aumento da taxa de renovação do ar no desempenho térmico de dormitórios de um edifício vertical multifamiliar naturalmente ventilado na ZB 8. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2021. **Anais** [...]. [s. l.], 2021. p. 870–879. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4475>. Acesso em: 03/12/2024.

SIMÕES, G. M. F. **Conforto e adaptação espacial e individual em conjuntos habitacionais de interesse social: estudo em João Pessoa-PB**. 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/13657>. Acesso em: 14/08/2023.

SIMÕES, G. M. F.; LEDER, S. M. More space, please: spatial adaptations (modifications) and their impact on the habitability of Social Houses. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, n. 3, p. 7-29, 2022. DOI: 10.1590/s1678-86212022000300607. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/yQP5xg638FXgczVTZQ9ysXw/>. Acesso em: 14/08/2023.

SIQUEIRA, T. C. P. A.; AKUTSU, M.; LOPES, J. I. E.; SOUZA, H. A. de. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Rem: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, MG, v. 58, p. 133-138, 2005. DOI: 10.1590/S0370-44672005000200007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/sNXPphzMmBvGKvjfDKMsNQH/>. Acesso em: 14/08/2023.

SOARES, M. M.; SILVA, A. C. S. B. da; Avaliação dos parâmetros de desempenho térmico da NBR 15575 para as Zonas Bioclimáticas 1, 2 e 3 para habitações térreas de interesse social no método simplificado. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 15., 2013, Pelotas. **Anais** [...] Pelotas: UFPEL, 2013. Disponível em: [https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2013/SA\\_02188.pdf](https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2013/SA_02188.pdf). Acesso em: 14/08/2023.

SORGATO, M. J. **A influência do comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/169395>. Acesso em: 14/08/2023.

SOUZA, L. P. de.; BAVARESCO, M. V.; VAZ, C. E. V.; LAMBERTS, R. Inserção de simulações de desempenho térmico no processo de projeto. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 12, n. 00, p. e021011, 2021. DOI: 10.20396/parc.v12i00.8657346. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8657346>. Acesso em: 14/08/2023.

TAMANINI JUNIOR, T. **Modelagem paramétrica para análise termoenergética de edificações nas fases iniciais de projeto**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3153/tde-16092019-135002/pt-br.php>. Acesso em: 14/08/2023.

TORRES, D. de A. **Desempenho térmico de habitações populares em Alagoas: alternativas para adequação climática**. 2015. 137 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/1292>. Acesso em: 03/12/2024.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P.; Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy policy**, [s. l.], v. 87, p. 524-541, 2015. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.08.041. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421515300859?via%3Dhub>. Acesso em: 14/08/2023.

TRIANA, M. A.; MACHADO, R. M. e S.; KAMIMURA, A. M.; BRACHT, M. K.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Energy efficiency strategies for Brazilian social housing

considering a life cycle perspective: Optimisation between thermal autonomy, energy consumption and costs. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 295, p. 113 - 254, 2023. DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113254. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877882300484X>. Acesso em: 14/08/2023.

**TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. Relatório do TCU aponta falhas no programa minha casa minha vida.** SECOM TCU, Brasília, 2016. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/imprensa/noticias/relatorio-do-tcu-aponta-falhas-no-programa-minha-casa-minha-vida.htm>. Acesso em: 14/08/2023.

TURRIN, M.; BUELOW, P. V.; STOUFFS, R. Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms. **Advanced Engineering Informatics**, [s. l.], v. 25, n. 4, p. 656-675, 2011. ISSN 1474-0346. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.07.009>. Acesso em: 03/12/2024.

UGREEN. **Desempenho térmico: como dados climáticos ajudam na avaliação?** 2021. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/desempenho-termico-como-dados-climaticos-ajudam-na-avaliacao/>. Acesso em: 14/08/2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS. **PBE – Etiquetagem Procel**. Goiás, 2020. Disponível em: <https://projetosolar.emc.ufg.br/p/35336-pbe-etiquetagem-procel>. Acesso em: 14/08/2023.

UTIMURA, I. **Conforto térmico em habitações de favelas e possíveis correlações com sintomas respiratórios: o caso do Assentamento Futuro Melhor - SP**. 2010. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.8.2011.tde-06072011-091727>. Acesso em: 03/12/2024.

VANNINI, V. C. **Avaliação do consumo de energia em etapas iniciais do projeto: um estudo associando interfaces físicas e digitais como elemento qualificador do processo projetual**. 2018. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/193467>. Acesso em: 14/08/2023.

VARJAL, M. B.; MELO, A. B. de. Desempenho térmico de HIS: Estudo comparativo com composições de materiais da envoltória. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2024. p. 1–18. Disponível em: <https://doi.org/10.46421/entac.v20i1.6058>. Acesso em: 03/12/2024.

VECCHIO, M. L.; VELOSO, A. C. de O. Análise de Desempenho Térmico: Estudo de caso de projeto de edificação residencial localizada em Aracaju-SE. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2020. P. 1 – 8. Disponível em: <https://doi.org/10.46421/entac.v18i.841>. Acesso em: 03/12/2024.

VEIGA, C. Z. M.; ELI, L. G.; GERALDI, M. S.; MELO, A. P. O impacto da varanda no desempenho térmico de uma HIS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.46421/entac.v20i1.6113>. Acesso em: 03/12/2024.

VIANA, M. R.; SANTOS, P. R. R.; MICHELAN, D. C. de G. S.; SANTOS, D. de G. Aplicabilidade da norma de desempenho em habitação popular: estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2018. p. 1616 – 1623. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1510>. Acesso em: 14/08/2023

VIEIRA, I. C.; MORAIS, J. C. Catálogo de estratégias bioclimáticas para o Nordeste brasileiro: sombreamento e ventilação natural. In: Seminário Internacional PROJETAR: Projetar para quem? Projetar para quê? Projetar como? **Anais** [...] João Pessoa, 2023. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/projetar2023/658242-catalogo-de-estrategias-bioclimaticas-para-o-nordeste-brasileiro--sombreamento-e-ventilacao-natural>. Acesso em: 03/12/2024

VILLA, S. B.; CARVALHO, L. G. O. de. Funcionalidade do habitar social: metodologias e soluções projetuais para uma melhor qualidade habitacional a partir da experiência do projeto [MORA]. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 14, 2012. Disponível em: <https://morahabitacao.files.wordpress.com/2012/02/artigo-villacarvalho.pdf>. Acesso em: 14/08/2023.

VILLA, S. B.; SARAGAMO, R. de C. P.; GARCIA, L. C.; **Avaliação pós-ocupação no Programa Minha Casa Minha Vida: Uma experiência metodológica**. 1. ed. Uberlândia: UFU/PROEX, 2015. ISBN: 978-85-62153-23-5. Disponível em: [https://morahabitacao.files.wordpress.com/2015/07/ipea\\_livro\\_internet1.pdf](https://morahabitacao.files.wordpress.com/2015/07/ipea_livro_internet1.pdf). Acesso em: 14/08/2023.

WEBER, F. da 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**. Florianópolis: LABEE, 2017. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/pt-br/node/714>. Acesso em: 14/08/2023.

WEGRZYNOWSKI, S. B. **Políticas sociais em habitação**. Indaial: Uniasselvi, 2016. ISBN 978-85-7830-971-8. Disponível em: <https://www.uniasselvi.com.br/extranet/layout/request/trilha/materiais/livro/livro.php?codigo=22256>. Acesso em: 14/08/2023.

WOENSEL, F. C. V. **Arquitetura no nordeste brasileiro e o roteiro de Armando Holanda**. 2016. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Centro de tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/11658>. Acesso em: 03/12/2024.

XING, L. U. **Estimations of undisturbed ground temperatures using numerical and analytical modeling**. Oklahoma State University, 2014.

ZACCARA, M. A arte de construir no Nordeste: um resgate. **Contemporânea (Título não-corrente)**, v. 8, n. 1, p. 185-195, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/contemporanea.2010.705>. Acesso em: 03/12/2024.