

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO DE ARTES**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**NAYARA SALERA MALTA**

**HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NA ZB8: UMA  
ABORDAGEM TERMO-ENERGÉTICA**

**VITÓRIA**  
**2020**

**NAYARA SALERA MALTA**

**HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NA ZB8: UMA  
ABORDAGEM TERMO-ENERGÉTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Edna Aparecida Nico Rodrigues.

**VITÓRIA  
2020**

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

M261h Malta, Nayara Salera, 1992-  
Habitação de interesse social na ZB8: uma abordagem termo energética / Nayara Salera Malta. - 2020.  
207 f. : il.

Orientadora: Edna Aparecida Nico-Rodrigues.  
Coorientador: Bruno Massara Rocha.  
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes.

1. Habitação popular. 2. Arquitetura e clima. 3. Zonas climáticas. 4. Análise térmica. 5. Materiais - Propriedades térmicas. 6. Energia elétrica. I. Nico-Rodrigues, Edna Aparecida. II. Rocha, Bruno Massara. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Artes. IV. Título.

CDU: 72

---

NAYARA SALERA MALTA

“HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NA ZB8: UMA ABORDAGEM  
TERMO-ENERGÉTICA”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito  
Santo, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em  
Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em 09 de março de 2020.

Comissão Examinadora



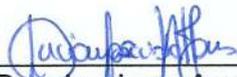
---

Profa. Dra. Edna Aparecida Nico Rodrigues  
(orientadora – PPGAU/UFES)



---

Profa. Dra. Cristina Engel de Alvarez  
(membra interna – PPGAU/UFES)



---

Profa. Dra. Luciana Aparecida Netto de Jesus  
(membra externa – UFES)

**Aos meus pais e à minha avó Tuca.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por ser o agente e o autor de todos os meus motivos de gratidão.

Agradeço à minha orientadora, professora Dr.<sup>a</sup> Edna Aparecida Nico-Rodrigues, pela dedicação e gentileza constantes e pela disponibilidade em sanar minhas dúvidas, participando do meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

À professora Dr.<sup>a</sup> Cristina Engel de Alvarez, por compartilhar comigo, tão solícitamente, seu conhecimento e seu tempo, contribuindo para o aprimoramento da pesquisa.

À professora Dr.<sup>a</sup> Luciana Aparecida Netto de Jesus, que atenciosamente cooperou com a pesquisa e auxiliou na obtenção de resultados mais claros e relevantes.

Ao Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP) e à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) pela infraestrutura que possibilitou o desenvolvimento da dissertação. Aos amigos do LPP, sobretudo à Bruna e ao Anderson, pela amizade, pela solicitude e por compartilharem comigo este processo.

Ao amigo e mentor Alexandre Cypreste, por, desde a graduação, escutar meus questionamentos e me ajudar a solucioná-los. Agradeço, também, pela disponibilização do arquivo climático da cidade de Colatina, contribuindo o desenvolvimento da pesquisa.

Ao arquiteto Marcelo Bragatto e à Caixa Econômica Federal, que cederam os cadernos projetuais dos conjuntos habitacionais estudados.

Ao Rômulo, pelo respeito ao tempo dedicado à pesquisa e, principalmente, pelo amor e companheirismo constantes em minhas decisões profissionais e pessoais, me incentivando e cuidando durante todo este processo.

Aos meus amados pais, Silvana e Fausto, pela cooperação prática que possibilita, há tantos anos, meu gradual amadurecimento pessoal e profissional. À Liliane e ao Leo, pelo suporte e trocas de experiências. À minha família, pelo incentivo constante.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida.

Ao ensino público e gratuito do país.

“A ciência e a vida cotidiana não podem  
e não devem ser separadas.”

Rosalind Franklin

## RESUMO

O *déficit* habitacional no Brasil fomenta a construção em massa das habitações de interesse social, que são replicadas em diferentes regiões do país, desconsiderando as particularidades climáticas do local de inserção. Criado em 2009, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) reduziu significativamente o *déficit* habitacional brasileiro. Entretanto, por descumprir princípios de adaptação ambiental das habitações, o PMCMV ainda apresenta um significativo *déficit* qualitativo. O objetivo do trabalho foi avaliar, comparativamente, o desempenho termo-energético de um ‘Modelo Original’ (MO) de habitação social, amplamente replicado em território nacional, e de Protótipos Habitacionais (PHs). Para o desenvolvimento da pesquisa, foram adotadas as seguintes etapas: (1) caracterização do MO e dos PHs; (2) definição das cidades pertencentes à ZB8 que compõem o recorte amostral do trabalho; (3) caracterização climática das cidades selecionadas; (4) modelagem e simulação das habitações; (5) análise dos graus-hora de desconforto térmico (GhDT) e da frequência de desconforto térmico (FDT) de cada modelo; (6) avaliação da demanda energética de cada modelo, relacionada ao consumo de energia elétrica por meio de aparelhos ventiladores; (7) análise da viabilidade econômica para a implementação das alterações propostas, por meio dos indicadores do Valor Presente Líquido (VPL) e *Payback*, considerando a Faixa 1,5 do PMCMV; (8) elaboração de um sumário, contendo os resultados determinados por cada modelo. Os resultados indicaram uma significativa melhoria no desempenho termo-energético em todas as cidades do recorte amostral, sobretudo, pelo protótipo PH2-20%, composto por bloco cerâmico 14x19x39cm, forro de PVC, cobertura em Isotelha com núcleo de poliuretano 30mm, ático ventilado sob a cobertura, além de janelas do tipo maxim-ar com estruturas laterais em venezianas vazantes fixas de alumínio. Destacaram-se as cidades de Boa Vista, que contou com a maior redução do GhDT em números absolutos, e, sobretudo, o município de Recife, que contou com a maior redução percentual do desconforto térmico na moradia. Constatou-se que os investimentos de alteração da envoltória foram considerados viáveis e vantajosos, sobretudo em cidades de maior custo de distribuição de energia, como em Boa Vista e Manaus, que contaram, respectivamente, com VPLs de R\$ 28.926,53 e R\$ 29.579,44 para um período de 30 anos, e de R\$ 18.200,64 e R\$ 18.639,56 em um prazo de 15 anos. Todos os valores de VPL apontaram o investimento como lucrativo. Notou-se, também, uma economia anual de até R\$ 2.146,71 em Manaus, apenas pela redução no uso de aparelhos ventiladores, e um *payback* de 1,77 anos para esta mesma cidade. Depreende-se, portanto, que a adaptação da habitação ao clima local pode otimizar significativamente o desempenho termo-energético nas moradias, caracterizando um instrumento de redução de despesas e melhoria da qualidade de vida da população de baixa renda.

Palavras-chave: Habitação de interesse social. Desempenho térmico. Eficiência energética. Viabilidade econômica. Programa Minha Casa Minha Vida.

## ABSTRACT

The housing deficit in Brazil promotes the massive construction of social housing, which are replicated in different regions of the country, disregarding the climatic peculiarities of the place of insertion. Created in 2009, the Minha Casa Minha Vida Program (PMCMV) significantly reduced the Brazilian housing deficit. However, for failing to comply with the principles of environmental adaptation of housing, the PMCMV still has a significant qualitative deficit. The objective of the work was to evaluate, comparatively, the thermo-energetic performance of a 'Original Model' (MO) of social housing, widely replicated in the national territory, and of Housing Prototypes (PHs). For the development of the research, the following steps were adopted: (1) characterization of MO and PHs; (2) definition of the cities belonging to ZB8 that would compose the sample of the work; (3) climatic characterization of the selected cities; (4) housing modeling and simulation; (5) analysis of degree-hours of thermal discomfort (GhDT) and frequency of thermal discomfort (FDT) for each model; (6) assessment of the energy demand of each model, related to the consumption of electricity through ventilating devices; (7) analysis of the economic feasibility for the implementation of the proposed changes, through the indicators of the Net Present Value (NPV) and Payback, considering the Range 1.5 of the PMCMV; (8) preparation of a summary, containing the results determined by each model. The results indicated a significant improvement in the thermo-energetic performance in all cities of the sample cutout, above all, by the PH2-20% prototype, composed by 14x19x39cm ceramic block, PVC lining, Isotelha roof with 30mm PUR core, ventilated attic under the roof, in addition to maxim-ar windows with side structures in fixed aluminum shutter. Noteworthy were the cities of Boa Vista, which had the largest reduction in GhDT in absolute numbers, and, above all, the municipality of Recife, which had the largest percentage reduction in thermal discomfort in the home. It was found that investments in altering the elements of the envelope were considered feasible and advantageous, especially in cities with higher energy distribution costs, such as Boa Vista and Manaus, with R\$ 28.926,53 and R\$ 29.579,44 for a 30 years period, and R\$ 18,200.64 and R\$ 18,639.56 over a period of 15 years. NVP. All figures indicated that the investment is profitable. It was also noted an annual savings of up to R\$ 2,146.71 in Manaus, just due to the reduction in the use of ventilators, and a payback of 1.77 years. Therefore, the effective adaptation of housing to the local climate can promote a significant improvement in the thermo-energy performance in homes, characterizing an instrument for reducing expenses and improving the quality of life of the low-income population.

**Keywords:** Social interest housing. Thermal performance. Energy efficiency. Economic viability. Minha Casa Minha Vida Program.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma de desenvolvimento metodológico da pesquisa.....	24
Figura 2: Conjunto BNH Praça Abílio Rodriguez Paz, São Paulo/SP. ....	29
Figura 3: Conjunto Habitacional Marechal Humberto de Alencar Castelo Branco, modelo BNH.....	29
Figura 4: Conjunto Habitacional PMCMV. ....	30
Figura 5: Grupos de índices de conforto térmico. ....	34
Figura 6: Dez maiores países geradores de energia elétrica líquida total 2017* (bilhões de kWh) .....	47
Figura 7: Zoneamento Bioclimático Brasileiro. ....	64
Figura 8: Classificação climática Köppen no território brasileiro.....	73
Figura 9: Zona Bioclimática 8 no território brasileiro, à esquerda, e Zona Bioclimática 8 sobreposta pela classificação Köppen, à direita. ....	73
Figura 10: Total diário da radiação direta normal - Média anual.....	75
Figura 11: Mapa de localização geográfica do bairro Ayrton Senna e do Conjunto Habitacional Ayrton Sena, onde se localizam as HIS selecionadas como base para os modelos virtuais.....	78
Figura 12: Tipologia de habitação de interesse social do CHAS. ....	78
Figura 13: Planta das moradias de interesse social do CHAS. ....	79
Figura 14: Interface do EP-Lauch do EnergyPlus. ....	84
Figura 17: Inserção do arquivo climático no EnergyPlus.....	86
Figura 16: Diagrama de flutuabilidade dos índices FDT e GhDT. ....	88
Figura 17: Planta dimensionada do modelo base para os protótipos.....	104
Figura 18: Código de identificação dos protótipos.....	105
Figura 19: Parametrizações dos protótipos.....	106
Figura 20: Mapa do Brasil, destacando as cidades selecionadas como recorte da pesquisa. ....	110
Figura 21: Mapa de direções de vento predominantes - percentuais médios anuais – destacando as cidades pertencentes ao recorte amostral da pesquisa. ....	114
Figura 22: Possibilidades de implantação do MO. ....	118

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: <i>Intensity of Thermal Discomfort</i> (ITD) - Intensidade de Desconforto Térmico (IDT)...	41
Gráfico 2: Flutuações de IDT e FDT. ....	42
Gráfico 3: Dez maiores consumidores de energia elétrica no mundo em 2017 (ano mais recente do ranqueamento do Departamento de Energia dos Estados Unidos), em bilhões de kWh.....	44
Gráfico 4: Dez maiores consumidores de energia elétrica no mundo, de 2012 a 2017 (ano mais recente do ranqueamento do Departamento de Energia dos Estados Unidos), em bilhões de kWh. ....	45
Gráfico 5: População x consumo de energia elétrica em 2017. ....	46
Gráfico 6: Modelo de conforto adaptativo. ....	52
Gráfico 7: Somatório dos valores de GhDT (°C.h/dia), por estação, obtidos para cada cenário do MOC.....	125
Gráfico 8: Somatório dos valores de GhDT (°C.h/dia), por estação, obtidos para cada cenário do MOV. ....	126
Gráfico 9: Somatório dos valores de GhDT (°C.h/dia), por estação, obtidos para cada cenário do MOS.....	128
Gráfico 10: Somatório dos valores de GhDT (°C.h/dia), por estação, obtidos para cada cenário do MORE. ....	130
Gráfico 11: Somatório dos valores de GhDT (°C.h/dia), por estação, obtidos para cada cenário do MOBV. ....	131
Gráfico 12: Somatório dos valores de GhDT (°C.h/dia), por estação, obtidos para cada cenário do MOM.....	133
Gráfico 13: Somatório dos valores de GhDT (°C.h/dia), por estação, obtidos para cada cenário do MORB. ....	134
Gráfico 14: Somatório de GhDT (Cº/h.dia) anual - Comparação entre o MO e o PH2-20%. ....	136
Gráfico 15: Comparação entre o somatório anual de GhDT (°C.h/dia) do PH2-40% e do PH2-20%, por cômodo, em todas as cidades.....	136
Gráfico 16: Somatório dos valores de GhDT (°C.h/dia), por estação, obtidos para cada cenário do PH2-20%.....	137
Gráfico 17: Redução absoluta média anual* do GhDT proporcionada pelo PH2-20%. *Redução, em números absolutos, do GhDT, desconsiderando avaliações percentuais.....	142
Gráfico 18: Redução absoluta média* anual do GhDT - Comparação entre os cômodos do PH2BV-20%.....	143
Gráfico 19: Redução média anual do GhDT proporcionada pelo PH2-20%.....	144
Gráfico 20: Consumo mensal de energia elétrica (kWh/mês) do MO x PH2-20%.....	148
Gráfico 21: Consumo anual de energia (kWh/ano) do MO x PH2-20%. ....	150

Gráfico 22: Redução do consumo de energia elétrica (kWh/ano).....	150
Gráfico 23: Custo de operação dos ventiladores (R\$/ano) – comparação entre o MO e o PH2-20%.....	151

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Caracterização dos índices de FCT, FDT e IDT.....	40
Quadro 2: Caracterização dos componentes de vedações e janelas do MO.....	80
Quadro 3: Janelas implantadas nos modelos propostos. ....	100
Quadro 4: Exemplos de codificação da parametrização dos modelos virtuais. ....	105
Quadro 5: Caracterização do recorte amostral - Mudanças climáticas e especificidades.....	115

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades térmicas de paredes e coberturas para a zona bioclimática 8. ....	70
Tabela 2: Dimensionamento das janelas do Modelo Original (MO). ....	81
Tabela 3: Dimensionamento das janelas para os protótipos. ....	101
Quadro 4: Propriedades térmicas das vedações externas nas HIS do Modelo Original. ....	102
Tabela 5: Configuração de áreas, janelas, transmitância térmica dos materiais, parâmetros de ocupação e metabolismo. ....	106
Tabela 6: Caracterização das cidades que compõem o recorte amostral da pesquisa. ....	111
Tabela 7: Médias mensais das temperaturas do ar externo, temperatura neutra e o intervalo de temperatura de conforto térmico fundamentadas na abordagem adaptativa da ASHRAE, destacando as temperaturas de conforto adotadas. ....	117
Tabela 8: Somatório dos valores de GhDT (°C.h), por estação e anualmente, nos cenários do MOC. ....	118
Tabela 9: Somatório dos valores de GhDT (°C.h), por estação e anualmente, nos cenários do MOV. ....	119
Tabela 10: Somatório dos valores de GhDT (°C.h), por estação e anualmente, nos cenários do MOS. ....	120
Tabela 11: Somatório dos valores de GhDT (°C.h), por estação e anualmente, nos cenários do MORE. ....	120
Tabela 12: Somatório dos valores de GhDT (°C.h), por estação e anualmente, nos cenários do MOB. ....	121
Tabela 13: Somatório dos valores de GhDT (°C.h), por estação e anualmente, nos cenários do MOM. ....	122
Tabela 14: Somatório dos valores de GhDT (°C/h.dia), por estação e anualmente, nos cenários do MORB. ....	123
Tabela 15: Orientação de referência do MO para a simulação dos PHs. ....	123
Tabela 16: Resultado do PH2 – 20% que caracterizou o melhor protótipo dentro todos os simulados. ....	135
Tabela 17: Tarifas residenciais de distribuição de energia elétrica. ....	147
Tabela 18: Tarifas PIS/PASEP e COFINS para 2019. ....	148
Tabela 19: Custo percentual de operação dos ventiladores em relação à renda média mensal das famílias da faixa 1,5 do PMCMV. ....	152
Tabela 20: Levantamento de custos de execução do MO. ....	153
Tabela 21: Levantamento de custos de execução do PH2-20%. ....	154
Tabela 22: Definição do valor de retorno do PH2-20% nos diferentes cenários em 30 anos. .	155
Tabela 23: Definição do valor de retorno do PH2-20% nos diferentes cenários em 15 anos. .	155

Tabela 24: Determinação do *payback* do PH2-20% nos diferentes cenários. .... 156

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>ASHRAE</b>	<i>American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning</i>
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ANTAC</b>	Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
<b>ASHRAE</b>	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers</i>
<b>BEM</b>	Balanco Energético Nacional
<b>BNH</b>	Banco Nacional da Habitação
<b>CAPES</b>	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
<b>CEF</b>	Caixa Econômica Federal
<b>CHAS</b>	Conjunto Habitacional Ayrton Senna
<b>CRESESB</b>	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
<b>EN</b>	<i>European Committee for Standardization</i>
<b>EPW</b>	<i>EnergyPlus Weather</i>
<b>FCP</b>	Fundação Casa Popular
<b>FCT</b>	Frequência de Conforto Térmico
<b>FDT</b>	Frequência de Desconforto Térmico
<b>GhDT</b>	Graus-hora de Desconforto Térmico
<b>HIS</b>	Habitação de Interesse Social
<b>IAP</b>	Institutos de Aposentadorias e Pensões
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IDT</b>	Índice de Desconforto Térmico
<b>IEA</b>	<i>International Energy Agency</i>
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>IPCC</b>	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i>
<b>LABEEE</b>	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
<b>MO</b>	Modelo Original
<b>NASA</b>	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
<b>NBR</b>	Norma Brasileira Regulamentadora
<b>NPNH</b>	Nova Política de Habitação

<b>PBE</b>	Programa Brasileiro de Etiquetagem
<b>PBMC</b>	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
<b>PH</b>	Protótipo Habitacional
<b>PMCMV</b>	Programa Minha Casa Minha Vida
<b>PMV</b>	<i>Predicted Mean Vote</i>
<b>PNH</b>	Política Nacional de Habitação
<b>PNUD</b>	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
<b>PROCEL</b>	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
<b>PROJETEEE</b>	Projetando Edificações Energeticamente Eficientes
<b>RTQ – R</b>	Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética das Edificações Residenciais
<b>SEPURB</b>	Secretaria de Política Urbana
<b>TBS</b>	Temperatura de Bulbo Seco
<b>TBU</b>	Temperatura de Bulbo Úmido
<b>TMY</b>	<i>Test Meteorological Year</i>
<b>TN</b>	Temperatura Neutra
<b>TO</b>	Temperatura Operativa
<b>TRY</b>	<i>Test Reference Year</i>
<b>ZB</b>	Zona Bioclimática

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO, JUSTIFICATIVA E PROBLEMA DA PESQUISA.....</b>	<b>19</b>
1.1 HIPÓTESE.....	23
1.2 OBJETIVOS.....	23
1.3 ESTRUTURA DA METODOLOGIA DE PESQUISA .....	24
<b>2. ABORDAGEM TEÓRICA.....</b>	<b>27</b>
2.1 BREVE HISTÓRICO DAS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL.....	27
2.2 CONFORTO TÉRMICO .....	32
<b>2.2.1 Índices de conforto e o modelo adaptativo.....</b>	<b>33</b>
2.2.1.1 Frequência e Intensidade de Desconforto Térmico (FDT e IDT) .....	40
2.3 DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL.....	43
<b>2.3.1 Normatização para o desempenho termo-energético de edificações .....</b>	<b>44</b>
<b>2.3.2 Ferramentas e métodos de avaliação do desempenho térmico.....</b>	<b>57</b>
2.4 MATERIAIS, FATORES CLIMÁTICOS E DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO DAS HABITAÇÕES.....	60
<b>2.4.1 Zoneamento bioclimático brasileiro .....</b>	<b>63</b>
2.4.1.1 Paredes, coberturas e janelas e a arquitetura bioclimática no Brasil.....	68
<b>3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>72</b>
3.1 DEFINIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO, RECORTE E CARACTERIZAÇÃO DOS SÍTIOS.....	72
3.2 DEFINIÇÃO DOS MODELOS .....	77
<b>3.2.1 Parâmetros para a definição do Modelo Original - MO .....</b>	<b>77</b>
<b>3.2.2 Parâmetros para a definição dos Protótipos Habitacionais – PHs.....</b>	<b>81</b>
3.3 MODELAGEM E CONFIGURAÇÕES DOS MODELOS HABITACIONAIS.....	82
3.4 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO.....	86
<b>3.4.1 Desempenho térmico .....</b>	<b>86</b>
<b>3.4.2 Eficiência energética .....</b>	<b>89</b>
3.5 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	91
3.6 REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	95
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>96</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PROTÓTIPOS .....	97
4.2 CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS.....	106

4.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DOS MODELOS NA ZB8.....	108
<b>4.3.1 Escolha das cidades da ZB8.....</b>	<b>108</b>
<b>4.3.2 Desempenho térmico do MO e dos PHs na ZB8.....</b>	<b>117</b>
4.4 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS MODELOS NA ZB8.....	147
4.5 ESTUDO DE VIABILIDADE E ANÁLISE DE CUSTOS PELO CONCEITO PAYBACK.....	152
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>158</b>
5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	162
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	162
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>164</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>186</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>190</b>
<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>193</b>
<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>199</b>
<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>200</b>
<b>APÊNDICE F.....</b>	<b>201</b>
<b>APÊNDICE G.....</b>	<b>202</b>
<b>APÊNDICE H.....</b>	<b>203</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>204</b>

## **1. INTRODUÇÃO, JUSTIFICATIVA E PROBLEMA DA PESQUISA**

Frota e Schiffer, já em 2003, definiam que a arquitetura deve servir às pessoas, proporcionando conforto e desempenho térmico, independente das condições climáticas e/ou local de inserção das edificações. A complexidade dos padrões de edificações residenciais é, ainda, abordada por Rolnik (2011), que define a habitação como um espaço diferente do ambiente externo, destinado à moradia e à execução de diversas atividades humanas, que difere muito de um abrigo, caracterizado, apenas, por quatro paredes e um teto.

Logo, a moradia extrapola as condições proporcionadas por um abrigo. Uma moradia adequada deve contar não somente com as condições básicas para a sobrevivência humana, mas também garantir que esta ocorra de forma digna, com acesso direto e fácil à infraestrutura completa, equipamentos de educação, saúde, cultura, oportunidades de desenvolvimento humano e emprego (ROLNIK, 2011).

Ressalta-se que há mais de duas décadas, a ideia de que uma habitação adequada deve ser confortável, oferecer proteção contra elementos externos, ser livre de umidade excessiva, ser habitável e culturalmente aceita foi apresentada por Abiko (1995), que apontava que a questão tecnológica condiciona soluções habitacionais importantes e contribui para sua melhoria em diversos aspectos, inclusive projetuais. Entretanto, a inovação tecnológica visa, frequentemente, ao barateamento das soluções técnicas implantadas, favorecendo o setor construtivo, e esta redução isolada de custos leva a um decréscimo na qualidade ambiental da habitação (ABIKO, 1995).

De acordo com o conceito de desenvolvimento por meio da liberdade, apresentado por Sen (2010), o acesso à moradia é fundamental para a promoção das liberdades dos indivíduos, impulsionando seus sentidos de justiça e democracia, colaborando para o desenvolvimento de um país. O desenvolvimento das cidades e moradias brasileiras, pautado na defesa do direito absoluto da propriedade privada, somado à explosão demográfica, promoveu a concentração de riquezas, refletida nas formas de ocupação socioespacial e, conseqüentemente, nas edificações tomadas como moradia (ROLNIK, 2015; TRINDADE, 2012; SANTOS, 1979).

Para Harvey (2014), o direito à moradia é primordial para garantir a dignidade e as liberdades substanciais das parcelas mais pobres da sociedade, mas é comumente infringido pela lógica capitalista da qualidade de vida urbana, que o atribui, apenas

àqueles que detêm capital para adquiri-la, conferindo aos mais pobres as moradias informais. Neste sentido, ainda que o direito à habitação digna seja reconhecido pelo Artigo 6º da Constituição Federal Brasileira (BRASIL, 1988) como um direito fundamental, social e acima de tudo, humano, ele é frequentemente violado por meio da ocupação induzida de locais subqualificados, insalubres, desconfortáveis e inadequados à função residencial (HARVEY, 2014; STEFANIAK, 2010).

Criado em 2009 com o objetivo de impulsionar o mercado da construção civil – abalado pela crise internacional de 2008 –, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) foi lançado sob a expectativa de reduzir o grande *déficit* habitacional no país que, no início de sua implantação, era de aproximadamente 5.998 milhões de domicílios, segundo dados da Fundação João Pinheiro (2012). O PMCMV investiu e tem investido significativamente na construção de casas populares. Sob este aspecto, o programa tem beneficiado não somente os cidadãos contemplados com Habitação de Interesse Social (HIS) ofertadas, mas a sociedade, de forma conjunta, pela geração direta e indireta de empregos no setor da construção civil (HIRATA, 2009).

Entretanto, para Viana e Vasconcellos (2018), os investimentos públicos e privados no setor de habitação de interesse social, estimularam a produção em massa e a utilização de soluções rápidas e economicamente lucrativas, contribuindo para a redução na qualidade dos projetos. Apesar da preocupação inicial quanto à implantação de instrumentos de conforto e sustentabilidade nas HIS, sua real efetivação não foi adequadamente atingida.

Habitações que incluam princípios de desempenho térmico, acústico, lumínico, ergonômico, acessibilidade, entre outros, já vêm sendo analisadas, discutidas e projetualmente ensaiadas, como apresentado nos trabalhos de Machado *et al.* (2018), Cordeiro (2018), Malta e Amorim (2018), Carvalho, Guimarães e Cartillo (2008). Contudo, a concretização dos investimentos no PMCMV pouco abrange o processo de planejamento ambiental, excluindo parâmetros como o conforto, que podem proporcionar, além do bem-estar do usuário, economia na operação das HIS pela melhoria da eficiência energética das moradias (VISINTAINER; CARDOSO; VAGHETTI, 2012).

Ainda, outro aspecto que destaca a função dos programas habitacionais já foi apontado por Prahalad (2006) e Hart (2006), que explicam que os investimentos em grupos de consumidores habitacionais abaixo do topo da pirâmide econômica são necessários, uma vez que instigam pilares significativos do desenvolvimento social e econômico de um país. Mesmo assim, a trajetória dos programas habitacionais, no contexto das cidades

brasileiras, é caracterizada pela ampla replicação de padrões de moradias populares, resumidos ao conceito de abrigo, sem que garantam os direitos básicos à evolução da cidadania (ROLNIK, 2011).

A manutenção do *déficit* qualitativo habitacional é ratificada por Rolnik (2011), que avalia que o aumento na produção das unidades habitacionais se vincula, frequentemente, à perda da qualidade arquitetônica e urbanística destes conjuntos. Assim, moradias populares já construídas no Brasil tendem a acompanhar os modelos gerais de produção, com o aumento da quantidade unitária de habitações populares, comumente, em detrimento à qualidade das HIS produzidas, que desconsideram, muitas vezes, suas particularidades regionais, como as condicionantes ambientais e climáticas do local de inserção das habitações de interesse social. Contudo, tratando das especificidades de cada habitação, o clima – para a determinação do desempenho térmico e energético –, a cultura e os recursos disponíveis devem ser incorporados às recomendações projetuais (TIBIRIÇA, 1999).

Portanto, visando à melhoria da qualidade ambiental das edificações habitacionais populares no país, o processo de aplicação de critérios de conforto ambiental para a utilização dos recursos naturais proporciona a melhoria da qualidade de vida da população, fazendo de um abrigo uma moradia – ou seja, uma habitação (ROLNIK, 2009). Considerando estes fatores, Rolnik (2009) ratifica que a caracterização e avaliação climática do local de inserção, além de técnicas construtivas compatíveis, se tornam instrumentos fundamentais à elaboração de HIS, já que são destinadas a famílias residentes em áreas de risco ou vulnerabilidade social, ou que ganhem de zero a três salários mínimos (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2020), e que têm, conseqüentemente, menor acesso aos instrumentos de melhoria do conforto, como condicionamento artificial do ar ou modificações construtivas nas residências.

Recursos como a ventilação natural, o resfriamento evaporativo, a inércia térmica e o aquecimento solar passivo podem caracterizar táticas passivas de melhoria do desempenho térmico, compondo um instrumento de redução do consumo energético e de custos de despesas com a manutenção de eletrodomésticos para resfriamento, mas precisam ser adaptadas às condições climáticas de cada região. Dessa forma, estratégias passivas bem dimensionadas impactam diretamente no bem-estar do usuário, na redução do consumo energético e na obtenção da eficiência da edificação e da qualidade de vida do morador.

Por isso, ressalta-se a importância de que as características climáticas sejam consideradas ainda nas fases iniciais de projeto da edificação. Também, por serem edificações de pequeno porte, as HIS possuem menor número de variáveis e há maior possibilidade de explorar alternativas para o condicionamento natural (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2014).

Ratifica-se a necessidade de estudos, como os desenvolvidos por Cechinel, Hackenberg e Tondo (2016), Lopes, Goulart e Lamberts (2010) e Toledo e Fricke (2008) que corroboram à compreensão do quadro das HIS produzidas atualmente, visando correções e minimizações nas falhas térmicas e energéticas, e a elaboração de modelos que diferenciem a produção habitacional, ajustando seus preceitos climáticos às reais condições de cada região de implantação. Observa-se, portanto, a relevância da avaliação de desempenho térmico e energético das habitações (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014), já que unidades habitacionais são parâmetro fundamental à determinação da qualidade de vida dos moradores e que os aspectos do conforto ambiental estão, intimamente, vinculados à saúde e à sustentabilidade social.

A fim de investigar as possíveis influências do atual zoneamento bioclimático brasileiro no desempenho térmico das habitações de interesse social, propõe-se o aprimoramento de um modelo de HIS ambientalmente adaptado a diferentes cidades dentro de uma mesma zona bioclimática. O modelo proposto caracteriza a reconfiguração de uma habitação comumente replicada no PMCMV. Tendo como base as considerações anteriormente expostas, apontam-se os seguintes problemas da pesquisa:

- Qual o potencial desempenho termo-energético de um modelo de habitação de interesse social em diferentes cidades da Zona Bioclimática (ZB) 8?
- As diretrizes bioclimáticas definidas na norma de desempenho – NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) – consideram as diferenças climáticas entre cidades da ZB8?
- O desempenho termo-energético das habitações unifamiliares, na mesma Zona Bioclimática, pode ser melhorado com alterações na envoltória?

## 1.1 HIPÓTESE

Considerando:

- A tendência do mercado à generalização na produção de unidades residenciais unifamiliares de interesse social, desconsiderando as condicionantes climáticas do local de inserção, visando à máxima redução de custo das edificações (ROLNIK, 2011);
- As diferenças climatológicas entre cidades da mesma Zona Bioclimática (CARLO, AMORIM, 2017; RORIZ, 2012);
- Que cidades localizadas em uma mesma Zona Bioclimática demandam alterações construtivas, em um mesmo modelo de edificação unifamiliar de interesse social;

É possível inferir, como hipótese, que o comportamento termo-energético das edificações, dentro de uma mesma Zona Bioclimática, pode ser otimizado pela adaptação de elementos na envoltória.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa foi avaliar o desempenho termo-energético de um modelo de habitação de interesse social, a ser implantado em diferentes cidades da Zona Bioclimática 8, com propostas de alterações de soluções e materiais construtivos adequados a cada realidade climática.

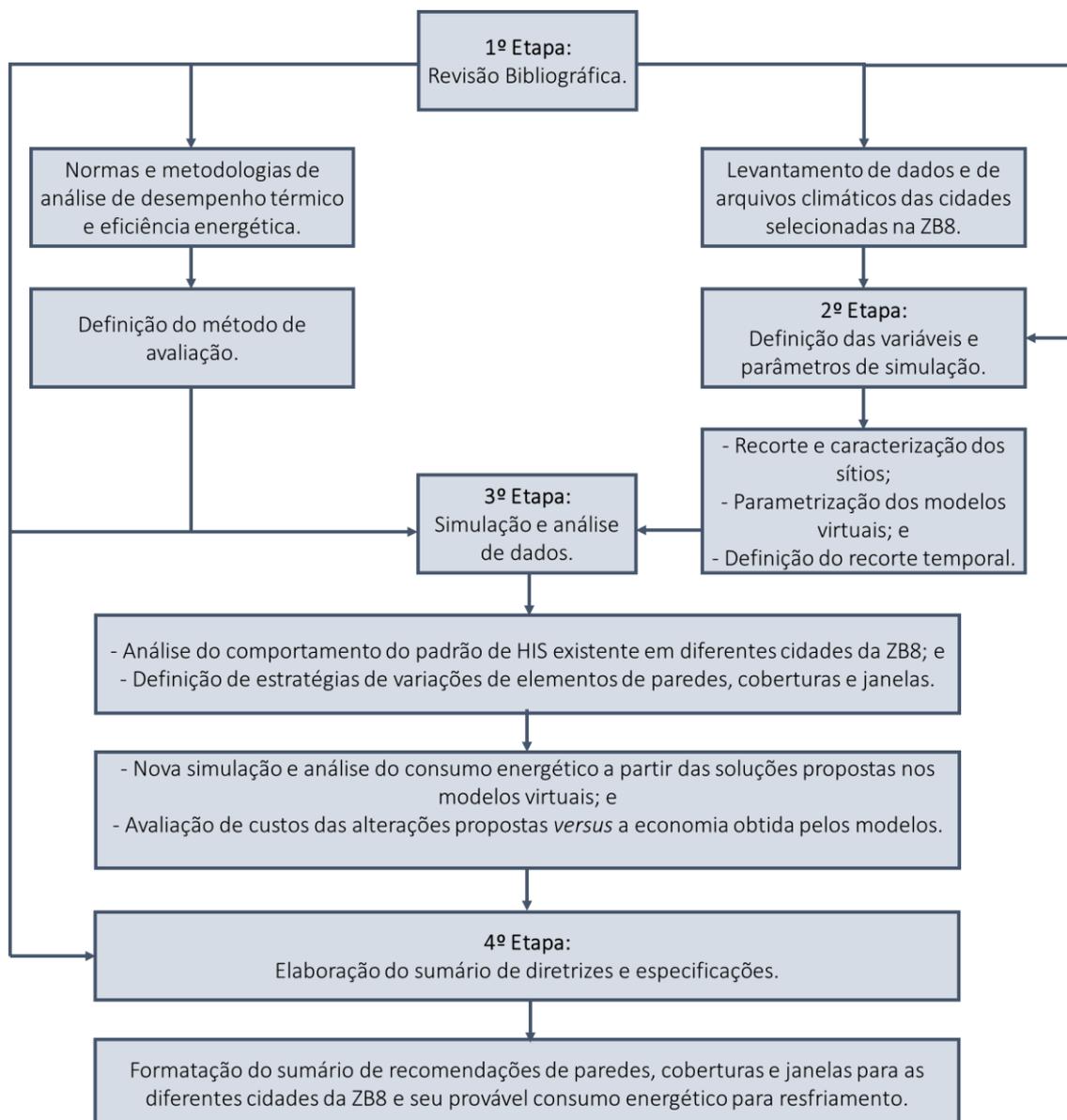
A partir do objetivo geral, delinear-se os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar o desempenho termo-energético de um modelo de habitação em diferentes cidades da ZB8, a partir da alteração de elementos de vedação externa, cobertura e janelas;
- Estabelecer diretrizes para a escolha de materiais de vedação externa, cobertura e janelas, para diferentes cidades da ZB8, com base em seu potencial de redução de consumo energético;
- Determinar a relação entre o custo de investimento para alteração de elementos da envoltória e o custo de operação de equipamentos elétricos para o resfriamento mecânico das moradias;

### 1.3 ESTRUTURA DA METODOLOGIA DE PESQUISA

Para a realização do trabalho, estabeleceu-se a metodologia de pesquisa em **quatro etapas principais**, demonstradas no fluxograma da Figura 1.

Figura 1: Fluxograma de desenvolvimento metodológico da pesquisa.



Fonte: a autora.

A **primeira** etapa, de revisão bibliográfica, consistiu na abordagem teórica sobre normas e metodologias de avaliação de desempenho térmico e eficiência energética em edificações, que culminaram na definição dos procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, e na listagem dos aspectos dos sítios e dos modelos necessários para as avaliações das habitações nas cidades selecionadas. A **segunda** etapa foi composta pela

definição das variáveis utilizadas na simulação, que incluem o recorte do universo amostral. Foram definidas, neste estágio, as diferentes cidades pertencentes à ZB8 em que seriam simulados os modelos virtuais de HIS, cuja configuração e período de simulação também foram estabelecidas na etapa dois.

Para a **etapa três**, foram simulados os modelos virtuais, tanto na configuração do padrão de HIS replicado em território brasileiro, quanto aqueles que continham as alterações de elementos de paredes, coberturas e janelas propostas, e os resultados obtidos foram tratados e analisados de acordo com a metodologia definida na primeira etapa. Os dados gerados permitiram estimar o provável consumo energético do modelo original de habitação, replicado em território nacional, *versus* os valores de gastos de energia dos modelos virtuais propostos, sob a expectativa da possível redução do consumo. Estes custos foram confrontados com o investimento estimado para a execução das alterações propostas, gerando um panorama geral de custo e benefício, por meio dos conceitos de Valor Presente Líquido e *payback*.

Os modelos que obtiveram os melhores desempenhos, por cidade, foram listados na **quarta etapa**, por meio de um sumário de especificações de vedações externas para a ZB8. O sumário apresentou, também, o valor do provável consumo energético de cada modelo segundo suas especificações.

## 2. ABORDAGEM TEÓRICA

A revisão bibliográfica, tratada neste capítulo, visou à compreensão do panorama geral dos conceitos e critérios para a determinação de um modelo de habitação de interesse social mais confortável e eficiente que os padrões unifamiliares replicados em território nacional. Foram abordados um breve histórico das habitações de interesse social no Brasil, definições de termos relevantes para o conforto, além de critérios de avaliação do desempenho térmico e eficiência energética de uma edificação unifamiliar de interesse social.

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

De acordo com Bonduki (2004), desde 1880, ainda na fase do Império brasileiro, a questão habitacional brasileira começou a ser tratada como problema de natureza pública, apresentando potencialidades quanto às ameaças à saúde coletiva, devido às más condições de moradia dos trabalhadores, sobretudo da indústria cafeeira no país. Santos (1979) também afirma que o índice de urbanização – que crescera, apenas, cerca de 3% entre o fim de período colonial até o fim do século XIX –, passou, de 1920 a 1940, por um processo de aumento de 31,24%. Assim, a inserção e expansão urbanas, que ocorriam neste contexto não planejado, culminaram em formas inadequadas de ocupação, observadas em diversas – senão em todas – as regiões do país.

O problema habitacional brasileiro, que, àquele período, se restringia a questões de higiene e habitação foi transportado à categoria de saúde pública, cujos pilares consistiam nas legislações urbanísticas, nos planos de saneamento básico e nas medidas de controle sanitário (GOHN, 1991). Maricato (2000) ainda afirma que as reformas urbanas brasileiras, ocorridas entre o fim do século XIX e início do século XX, lançaram frente à, denominada pela autora, ‘moda de periferia’, em que as obras de saneamento eram realizadas, simultaneamente, à promoção do embelezamento paisagístico, implantando bases legais para um mercado imobiliário de cunho capitalista. Desta forma, a população excluída deste processo passou a ocupar morros e periferias.

Como ratifica Rolnik (1981), até 1930 a questão habitacional era guiada pela iniciativa privada. Neste contexto, em que as habitações periféricas estavam intimamente relacionadas a condições pouco sustentáveis de moradia urbana, as iniciativas estatais –

fiéis ao liberalismo – consistiam na repressão às situações mais graves de insalubridade, por meio do policiamento e da legislação sanitária, além do estímulo fiscal aos proprietários de casas de locação, ampliando sua rentabilidade. Notando, contudo, que as epidemias originadas nos aglomerados urbanos periféricos afetavam outros nichos sociais, as moradias para os trabalhadores e operários passaram a ser concebidas conforme ideais de higiene e economia, tendo, então, o apoio das elites do país (RUBIN; BOLFE, 2014).

Já nos governos de Getúlio Vargas (1930 – 1945) e de Eurico Gaspar Dutra (1946 – 1951), foram lançados, respectivamente, os primeiros programas públicos de produção habitacional do Brasil: os Institutos de Aposentadorias e Pensões – IAPs e a Fundação Casa Popular – FCP (ZANIRATO; LIMA, 2014; BONDUKI, 2011; CYMBALISTA; MOREIRA, 2006). Segundo Zanirato e Lima (2014), a FCP, que mantinha relações clientelistas, ainda não contemplava classes populares. Os autores reiteram que, apesar dos problemas detectados nos programas, os IAPs e a FCP instauraram certa estabilidade política junto à classe média, ao definirem o ideário de pequena propriedade privada e da casa própria como moeda compensatória pelas condições de trabalho da época (ZANIRATO; LIMA, 2014).

Já em 1964, depois do golpe militar brasileiro, foram desenvolvidas diversas estratégias de minimização do *déficit* habitacional no país (BONDUKI, 2011; SMOLKA, 1987). A extinção dos IAPs e da FCP deu origem, então, ao Banco Nacional da Habitação (BNH), voltado à construção ou crédito concedido para a edificação de conjuntos habitacionais no Brasil (ZANIRATO; LIMA, 2014). Deixando, no fim de sua vigência, aproximadamente 4 milhões de unidades habitacionais produzidas, o Banco Nacional da Habitação destinou, apenas, pouco mais de 1 milhão de moradias à população com renda inferior a cinco salários mínimos – parcela social que visava atingir.

Ainda, apesar das diferentes trajetórias, tanto o BNH quanto a Fundação da Casa Popular não corresponderam proporcionalmente à demanda de moradias sociais no Brasil (BONDUKI, 2013). Sob uma perspectiva mais recente, que considera não somente a disponibilização para a moradia popular, mas, também, começa a levantar questionamentos quanto à qualidade do espaço disponibilizado, o BNH (Figuras 2 e 3), além de não atingir as metas inicialmente estabelecidas, traz, em seu histórico diversas

críticas, principalmente quanto à repetição de soluções construtivas, que desconsideravam as questões ambientais e dos locais de implantação (BONDUKI, 2013).

Figura 2: Conjunto BNH Praça Abílio Rodriguez Paz, São Paulo/SP.



Fonte: Sesc São Paulo (2013).

Figura 3: Conjunto Habitacional Marechal Humberto de Alencar Castelo Branco, modelo BNH.



Fonte: Revista Relevo (2015).

O fim da ditadura militar, em 1984, e a crise econômica e habitacional do país acompanharam a transição do fim da política BNH (1968 – 1996) e a implementação da Política Nacional de Habitação (PNH), demandando a redução dos custos e a melhoria da qualidade da produção habitacional no país. Ressalta-se, neste cenário, a inconstância das políticas habitacionais e a redução dos financiamentos às camadas mais pobres da população.

Ainda, de acordo com Bonduki (2008), a descentralização da atuação da gestão pública nos setores de habitação, saneamento e infraestrutura, em 1995, no governo de Fernando Henrique Cardoso, passou aos estados e municípios as responsabilidades de provisão de moradia, incumbindo ao governo federal a normatização e regulamentação, por meio de portarias e instruções normativas da Secretaria de Política Urbana (SEPURB). Durante do governo Luiz Inácio ‘Lula’ da Silva, em 2003, a criação do Ministério das Cidades, que, diante da reestruturação das políticas urbanas, passou a ser responsável pelas ações de Desenvolvimento Urbano e Setorial de Habitação, alterou a perspectiva sobre a produção habitacional, em um contexto mais amplo, abarcando outros direitos dos moradores.

Segundo Bonduki (2016), as Conferências das Cidades passaram, também, a incentivar a participação popular nas políticas públicas, dando origem ao Conselhos das Cidades e à Nova Política de Habitação (NPH), em 2004. Publicou-se, já em maio de 2005, a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), que constitui, ainda hoje, um dos mais relevantes referenciais bibliográficos brasileiros para a qualidade habitacional, sob a perspectiva do desempenho térmico e adequação ambiental.

Finalmente, em 2009, o PMCMV foi instituído pelo governo federal brasileiro, visando, segundo o Ministério das Cidades, à criação de mecanismos de incentivo à produção e à aquisição de novas unidades habitacionais por famílias com renda até 10 (dez) salários mínimos, residentes em qualquer município brasileiro (Figura 4).

Figura 4: Conjunto Habitacional PMCMV.



Fonte: Andrade (2019).

O PMCMV, instituído pela Lei Federal n. 11.977 e regulamentado pelo Decreto n°. 6.962 (BRASIL, 2009), tem como finalidade o incentivo à produção, aquisição de novas

moradias, além da requalificação de imóveis urbanos e produção ou reforma de habitações rurais, voltando-se, em suas distintas categorias, para famílias com renda mensal de até R\$ 5.000,00 (BRASIL, 2009). Conciliando políticas de subsídio ao fortalecimento do mercado imobiliário, o programa trouxe características inovadoras ao cenário brasileiro, permitindo, por parte das construtoras, a promoção de empreendimentos, tanto em parceria com a esfera pública quanto de forma independente (BONDUKI, 2009).

Objetivando, inicialmente, à produção de 1 milhão de unidades habitacionais – marca alcançada no fim de agosto de 2012 (BRASIL, 2012a) –, observa-se o percalço da qualidade construtiva dessas moradias, altamente questionadas, sobretudo quanto aos quesitos de execução e repetição projetual, desconsiderando aspectos locais de implantação, parâmetros de conforto ambiental e de respeito às normas técnicas, sobretudo à NBR 15220-3. Por isso, Rolnik (2012) reitera que o intenso processo de produção das habitações esteve, durante muito tempo, desvinculado de um processo de qualificação da produção e gestão de cidades. Simultaneamente, o PMCMV apresenta evoluções quanto à política habitacional brasileira, mas não apresenta mecanismos de produção habitacional de bom desempenho construtivo e social das moradias (ROLNIK, 2012).

Em agosto de 2010, a fim de complementar o acervo teórico que colabora para a qualidade no *habitat* popular, foi lançado o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ – R). Passando por atualizações, o RTQ – R se caracteriza, ainda hoje, como uma das ferramentas pioneiras na implementação de parâmetros de análise do desempenho de edificações, estabelecendo – diferentemente de outras normas –, apenas, formas e procedimentos de construção, e ratificando o incentivo à qualidade e à tecnologia nas habitações. Ainda em 2010, a Caixa Econômica Federal também instituiu o Selo Casa Azul, que categoriza as edificações e suas contribuições para a redução de impactos ambientais a partir dos eixos denominados Projeto e conforto, Qualidade urbana, Eficiência energética, Conservação de recursos, Conservação de recursos materiais, Gestão hídrica e Práticas sociais (CEF, 2010). Contudo, ainda que o selo tenha sido lançado pela Caixa Econômica Federal, que caracteriza uma das maiores financiadoras da produção do PMCMV, as habitações do programa nem sempre contemplam os requisitos necessários à obtenção da boa classificação pelo Selo Casa Azul.

Outras normativas, como a NBR 15220-3 e a NBR 15575-4, publicadas, respectivamente, em 2005 e 2013, também cooperam no estabelecimento de parâmetros que auxiliam à melhoria da qualidade habitacional, sobretudo em moradias populares, que caracterizam o objeto desta pesquisa. Contudo, a revisão menos frequente das normativas corrobora, muitas vezes, à implementação de medidas projetuais genéricas, que pouco contribuem para a individualização das habitações de interesse social, sobretudo, quanto ao quesito adequação ambiental.

Assim, quanto às políticas habitacionais brasileiras, são observados aspectos que conduzem à compreensão do atual contexto da moradia popular nacional. Pode-se citar, dentre os pontos que apresentam falhas nos programas habitacionais brasileiros, desde o princípio, temos as políticas de habitação, até os dias atuais: a intenção iminente de mitigação do *déficit* habitacional, ainda existente no país; a falha na compatibilização dos contextos arquitetônico, urbanístico, ambiental e infra estrutural na produção dos conjuntos habitacionais; a ineficácia, total ou parcial, dos programas habitacionais até hoje implantados, sobretudo pela pouca organização político econômica de seus meios de implantação; o descumprimento das necessidades iniciais levantadas, por meio da repetição das soluções construtivas, devido, principalmente, à ausência de análises físico-geográficas, sociais e ambientais do local de inserção dos conjuntos; e a ausência de individualidade quanto à elaboração dos projetos arquitetônicos, que desconsideram as particularidades nos quesitos de conforto ambiental e sustentabilidade nas habitações sociais. Visando à melhoria dos modos de produção habitacional do país, ratifica-se, assim, a importância de estudos que contribuam à minimização das cargas históricas detectadas, negativamente, abordando, sobretudo, nesta pesquisa, as questões ambientais e suas possibilidades de melhoria.

## 2.2 CONFORTO TÉRMICO

De acordo com Lamberts, Xavier e Goulart (2016), o estado de conforto é aquele que reúne condições que permitem ao ser humano a sensação de bem-estar. Barroso-Krause (2011) explica que há dificuldade em definir o estado de conforto, já que este é caracterizado por parâmetros ambientais, combinados às variáveis físicas e psicológicas, que podem romper – ou não – o estado de conforto.

Esta satisfação quanto ao ambiente pode ser subjetiva, considerando as especificidades de cada ser humano e de seus hábitos pessoais e espaciais (DE DEAR; BRAGER, 2002). Este conceito é reforçado por Lamberts, Xavier e Goulart (2016), que apontam que, para que alguém sinta conforto térmico, é necessária, também, a adequação psicológica. Por isso, como a combinação dos fatores que determinam o conforto não é precisa, variando segundo o indivíduo, não sendo possível obter um estado de conforto integral para diferentes condições térmicas e para diferentes usuários de um determinado espaço (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2004).

Portanto, estabelecer desempenho térmico para um ambiente significa, também, analisar a adequação do local à ocupação e utilização humana. A relevância do desenvolvimento de estudos sobre o conforto térmico, tange, de acordo com Lamberts, Xavier e Goulart (2016), três fatores fundamentais: a satisfação humana, a produtividade humana e a conservação de energia.

### **2.2.1 Índices de conforto e o modelo adaptativo**

O conforto térmico pode ser definido como a condição mental de satisfação do ser humano quanto ao ambiente térmico que o envolve (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2001). Para avaliar a sensação de conforto térmico dos indivíduos expostos a determinadas condições de variáveis, alguns autores buscaram enquadrar este conceito, simplificando-o e propondo critérios que auxiliassem à obtenção do bem-estar do usuário (DELL'SANTO, 2014).

Nico-Rodrigues (2015) aponta que os estudos sobre as adaptações do conforto térmico se intensificaram, entre as décadas de 1970 e 1980, motivados, principalmente, pela crise mundial do petróleo e pela necessidade de reduzir o consumo energético nas edificações (BRAGER; DE DEAR, 2001, DE DEAR, 2011). Dentre estas simplificações, destacam-se os Índices de Conforto Térmico cujo objetivo é a definição mais aproximada possível de uma temperatura de neutralidade, ou seja, de conforto (PEREIRA; ASSIS, 2010).

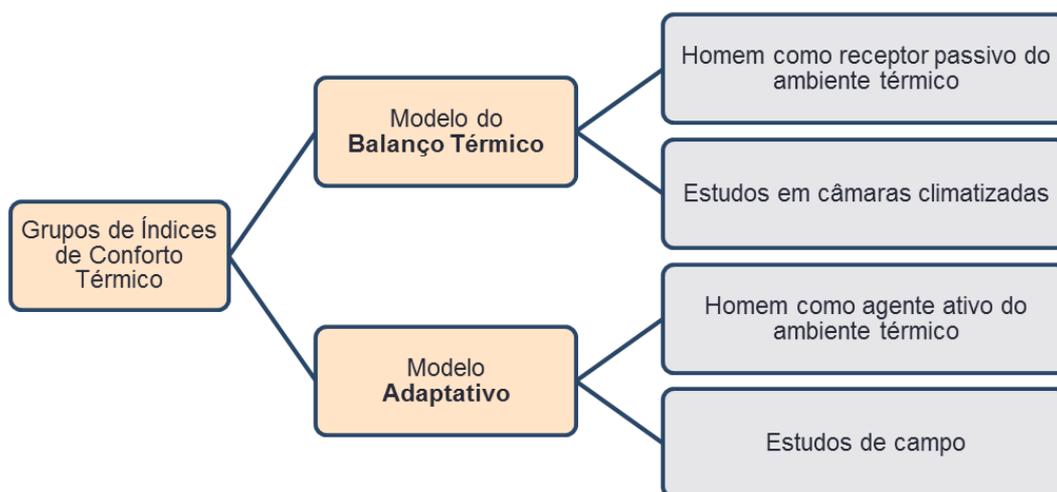
Ainda, partir de estudos históricos, Bogo *et al.* (1994) e Frota e Schiffer (2003) também relacionam a origem das tentativas de determinação de índices ao trabalho fabril do século XX, ressaltando o início da percepção e preocupação quanto à salubridade e ao conforto dos trabalhadores. Assim, desde 1962, como apontado por McPherson, a evolução acerca

da definição de índices permitiu sua classificação, a partir de sua base conceitual, em três grupos principais: o balanço térmico humano, os fatores fisiológicos e a medição de parâmetros físicos.

- Balanço térmico humano – também chamado de índice racional – conta com variáveis comportamentais e climáticas, relacionando a sensação térmica e psicológica do usuário com o ambiente circundante, como o modelo de Fanger (1970);
- Índices fisiológicos, aborda equações de regressão, relacionando parâmetros ambientais e comportamentais, à tensão térmica produzida sobre o indivíduo; e
- Índices obtidos por meio de medições de parâmetros físicos, trata dos valores de medições diretas que descrevem o ambiente térmico e são apresentadas por meio de regressão linear.

Para Lamberts, Xavier e Goulart (2016), os índices de conforto térmico, podem ser classificados, a partir da relação entre o conforto humano e o ambiente, em dois grandes grupos: aqueles referentes a um modelo estático e os que consideram o modelo adaptativo (Figura 5).

Figura 5: Grupos de índices de conforto térmico.



Fonte: Adaptado de Lamberts, Xavier e Goulart (2016).

O professor dinamarquês Povl Ole Fanger (1970), trouxe a definição de Temperatura Neutra (ou neutralidade térmica), como a condição física em que a pessoa não prefira sentir mais calor ou mais frio naquele período. Este conceito também é discutido por Fanger *et al.* (1985), que o define como a satisfação mental do corpo como um conjunto.

Logo, sob a ótica dos mecanismos de troca de calor, a neutralidade térmica pode ser compreendida como um estado de igual troca de calor entre o corpo e o ambiente, sem que haja acúmulo ou perda excessiva de calor, mantendo a constância da temperatura corporal (LAMBERTS; XAVIER; GOULART, 2016). Assim, a temperatura neutra caracteriza um estado de conforto térmico, ainda que não seja suficiente para determiná-lo.

O **Modelo de Balanço Térmico** proposto por Fanger (1970) é caracterizado como um marco na determinação dos índices térmicos, e define o conforto do usuário como a combinação das sensações térmicas em três condições: equilíbrio de calor no estado estacionário, temperatura média da pele e taxa de transpiração, relacionadas à taxa metabólica (DE DEAR, FOUNTAIN, 1994). Tendo como base o balanço energético do corpo humano em estado estacionário e relacionando parâmetros do ambiente interno – em um estudo utilizando câmaras climatizadas –, como o calor produzido pelo corpo de acordo com seis variáveis: a atividade realizada (taxa de metabolismo); o vestuário; e as condições ambientais internas, caracterizadas pela temperatura do ar interno do ambiente, velocidade relativa do ar, umidade e temperatura média radiante, Fanger (1970) determinou *Predicted Mean Vote* (PMV) ou Voto Médio Preditado, tradicionalmente aceito pela comunidade científica como ponto de partida para o aprimoramento dos índices de conforto térmico. Para Lamberts, Xavier e Goulart (2016), o modelo do balanço térmico de Fanger é o mais completo dos índices de conforto, já que é definido em função das seis variáveis anteriormente mencionadas.

Portanto, o PMV foi criado a partir de análises estatísticas e prevê o valor médio de votos de um grande grupo de pessoas, segundo a escala de sensações de 7 pontos, que aponta desde muito frio até muito quente (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2004; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). A partir do PMV, pode-se determinar o *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) ou Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas, e os dois índices são utilizados em diversas normas internacionais, como a ASHRAE 55, o *European Committee for Standardization 1752* (CEN CR 1752) e a ISO 7730, (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2004, EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2005, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005, PEETERS *et al.*, 2009, CÂNDIDO, 2011, LAMBERTS *et al.*, 2011).

Entretanto, por ter sido desenvolvido para ambientes em condições microclimáticas controladas – típicas de edifícios com sistemas de climatização –, o modelo de Fanger (1970) não se mostrou adequado para se determinar as condições de conforto térmico em edifícios sem sistemas de climatização artificial – ventilados naturalmente (DELL’SANTO, 2014). Ou seja, os limites de conforto térmico e os efeitos do ambiente controlado ocorrem pelas trocas físicas de calor com a superfície do corpo, e a manutenção da temperatura interna do corpo depende da resposta fisiológica (NICOL, 2001, DE DEAR, 2004, CÂNDIDO, 2011, LAMBERTS *et al.*, 2011, SINGH; MAHAPATRA; ATREYA, 2011, CÂNDIDO; DE DEAR, 2012, HALAWA; HOOF, 2012; NICO-RODRIGUES, 2015).

Logo, como destacado nas pesquisas de Brager e De Dear (2001), o PMV não é capaz de estimar a real sensação de conforto térmico de pessoas aclimatadas a climas tropicais, como a maioria do território brasileiro, prevendo sensação de desconforto térmico mais severa do que os indivíduos realmente sentem (PEREIRA; ASSIS, 2010). Por não considerar a aclimação natural de um ambiente, o PMV e o PPD também não se apresentam como os métodos mais adequados à avaliação climática em diferentes regiões climáticas, o que é corroborado pela dimensão continental do território brasileiro.

É importante salientar, também, que para Brager e De Dear (2001), fatores secundários e pessoais podem influenciar no conforto do usuário. Nico-Rodrigues (2015) ratifica este conceito, apontando que indivíduos aclimatados em ambientes refrigerados artificialmente tendem a possuir a expectativa de uma temperatura mais baixa e homogênea, aguçando seu nível crítico de desconforto a quaisquer alterações neste contexto.

Foram realizadas diversas pesquisas, desde 1984, com o objetivo de testar o modelo do PMV, adotado pela ISO 7730, sobretudo para diferentes regiões climáticas e aplicações em campo (LAMBERTS; XAVIER; GOULART, 2016). Constatou-se que havia a indução da ideia de que as temperaturas limites de conforto eram universais, pelas trocas de calor do corpo e do ambiente, enquanto a temperatura externa necessitava de respostas fisiológicas para ser mantida, devido ao método de concepção do PMV e do PPD. Surgiu, então, a linha de pesquisas com base na abordagem do **conforto adaptativo**, que tem como princípio medições de campo – em ambientes reais, onde os usuários se vestem com roupas que acham mais adequadas à situação climática –, e a mais adequada para

avaliação de edificações sem sistemas de climatização artificial (LAMBERTS; XAVIER; GOULART, 2016).

De forma geral, a abordagem do balanço de calor compreende as pessoas como receptores de estímulos térmicos, prevendo trocas e massa com o ambiente térmico, cujos efeitos provocam a sensação de conforto ou desconforto (BRAGER; DE DEAR, 1998, PEREIRA; ASSIS, 2010). Já a abordagem adaptativa não parte do pressuposto da teoria da troca de calor, e sim das adaptações comportamentais que o usuário realiza para se sentir confortável (DELL'SANTO, 2014).

Pelo modelo adaptativo, as pessoas se adequam ao ambiente, alterando suas vestimentas, seu tipo de atividade e sua postura física, além de praticarem ações como abrir/fechar janelas, buscando o equilíbrio dinâmico com o meio que as envolve segundo suas preferências térmicas (HUMPHREYS; RIJAL; NICOL, 2013). Deste modo, o modelo do conforto adaptativo aborda o usuário como um agente ativo, diferentemente do agente passivo dos espaços climatizados (DE DEAR; BRAGER, 1998, HUMPHREYS; NICOL, 1998, DE DEAR, 2011).

Nico-Rodrigues (2015), menciona que as variações climáticas incidem diretamente nas condições de conforto do usuário, em função das características físicas das construções que, muitas vezes, não estão adequadas ao clima da região. Ainda, para Roaf, Crichton e Nicol (2009), alcançar melhores condições de conforto no ambiente interno depende diretamente do usuário e de sua capacidade de alterar seu comportamento e atitudes em relação às mudanças.

O princípio adaptativo do conforto não inicia e não prioriza somente a troca de calor, mas considera, principalmente, as adaptações comportamentais e ambientais que o usuário promove para melhorar as condições térmicas, interagindo com o meio envolvente e se adequando de acordo com a temperatura interna (NICO-RODRIGUES, 2015). O conforto adaptativo tem na temperatura um fator primordial e, sob um aspecto geral, apresenta apenas uma temperatura de conforto térmico em função da temperatura média mensal registrada. Entretanto, não há consenso sobre qual modelo adaptativo é mais adequado, já que existem diversas propostas desenvolvidas globalmente, mas nenhuma nacionalmente validada (PEREIRA, ASSIS, 2010).

O índice proposto por Michael Humphreys (1975), baseado no modelo adaptativo, está entre os mais aceitos para a determinação do conforto térmico. Humphreys (1975) propôs

o conceito de Temperatura Neutra ( $T_n$ ), estudando o fator de aclimação do indivíduo frente a determinado clima, se aproximando do Modelo Adaptativo adotado pela ASHRAE Standard 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2001). Por considerar a temperatura média do ar do local/período de estudo, a equação de Humphreys (1975) é vista como a mais eficaz na determinação de índices de conforto para diferentes regiões e climas locais.

Mesmo com diferenças metodológicas, os modelos de determinação de Índices de Conforto Térmico foram desenvolvidos a partir da definição de um tipo de atividade e vestimenta do indivíduo, relacionando-os às variáveis ambientais. Os resultados, apresentados por meio de cartas ou nomogramas, demonstravam respostas semelhantes oriundas de diferentes indivíduos (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) ainda levantam críticas quando há desconsideração de parâmetros como a vestimenta, a atividade e os quatro parâmetros térmicos básicos – temperatura do ar interno do ambiente, velocidade relativa do ar, umidade e temperatura média radiante – já que estes, indiscutivelmente, impactam o balanço térmico e, conseqüentemente, a sensação térmica humana. Por isso, pode-se propor um fator de expectativa relacionado ao tipo de edificação e a região que o usuário habita. A multiplicação desse fator pelo PMV origina um critério de aprimoramento que relaciona a abordagem adaptativa ao modelo do balanço térmico (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, LIU; YAO; MACCLOY, 2012, INDRAGANTI, 2010).

A abordagem adaptativa conta, para a adequação ao clima interno, com três pilares de ajustes: comportamentais (pessoais, como roupas, postura, atividades e tecnológicos ou ambientais, como abrir/fechar janelas e ligar um ventilador); fisiológicos (mudanças nas respostas do corpo por questões genéticas ou aclimação); psicológicos (como a percepção do clima, que pode ser alterada pelo hábito da exposição a uma determinada temperatura, reduzindo a sensação de intensidade de desconforto).

A maioria das 20 mil pesquisas efetuadas por meio de entrevistas para a incorporação das adaptações humanas nas análises, foram feitas em edificações de escritórios climatizados artificialmente e ventilados naturalmente. Constatou-se que as respostas às sensações térmicas estavam relacionadas às temperaturas externas, que diferem significativamente de edificações residenciais (LAMBERTS; XAVIER E GOULART, 2016, HUMPHREYS; RIJAL; NICOL, 2013).

Por isso, há diferença entre o grau de termorregulação corporal dos indivíduos ocupantes dos edifícios de escritórios e residenciais, tendo os ocupantes do segundo tipo de edificação maior flexibilidade quanto à vestimenta e o manuseio e controle das janelas, por exemplo (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997). Ainda, estudos iniciais apontaram que a técnica proposta pelo modelo do PMV apresentava temperaturas neutras subestimadas, em um intervalo de 0,5 a 1,0 unidade (SCHILLER, 1990, BRAGER, 1992).

Dell' Santo (2014), afirma que o modelo adaptativo é amplamente aceito na comunidade científica, o que é confirmado por sua utilização em normas internacionais, como a ASHRAE 55 e a EN 15251 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2007). As duas normas relacionam a temperatura operativa ( $T_o$ ) à temperatura externa, mas, enquanto a ASHRAE 55 considera edifícios ventilados naturalmente, a EN 15251 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2007) trata do modo *free-running* – edifícios não climatizados artificialmente, onde podem ser consideradas as ventilações natural e mecânica (DELL'SANTO, 2014).

Em suma, um índice de conforto térmico pode ser entendido como um valor único, que relaciona os parâmetros de comportamento de um ambiente térmico, variando de acordo com a tensão térmica experimentada pelo corpo do indivíduo (PARSON, 2003). Ainda, a relação entre um ambiente – interno ou externo – e a percepção térmica humana é, frequentemente, chamada de índice de desconforto, índice de stress, índice de calor, entre outros (PEREIRA; ASSIS, 2010, CARLUCCI; PAGLIANO, 2012). Nico-Rodrigues (2015) também discute o tema, por meio de sínteses de compilações datadas dos principais índices de conforto determinados na transição entre os séculos XX e XXI, e ratifica que a maioria dos valores define situações de desconforto por calor e a minoria de desconforto por frio (EPSTEIN, MORAN, 2006; NICO-RODRIGUES, 2015).

A avaliação geral dos principais índices de conforto caracteriza um importante instrumento de compreensão das variáveis envolvidas no desempenho térmico de uma edificação. Por isso, a associação dos índices de conforto térmico é uma estratégia de potencialização das análises, por meio do aprimoramento das noções de bem-estar térmico do corpo humano, ampliando a possibilidade da melhoria do desempenho nas edificações.

### 2.2.1.1 Frequência e Intensidade de Desconforto Térmico (FDT e IDT)

A temperatura do ar, também chamada de temperatura de bulbo seco (TBS), é a principal variável do conforto térmico porque é determinante na perda de calor do corpo, pela diferença de temperatura entre a pele e o ar, o que é complementado pelos mecanismos de termorregulação. A TBS é, frequentemente, medida por um termômetro de bulbo úmido (TBU), pelo psicrômetro giratório. Este termômetro conta com um tecido umedecido, para que seja considerada, também, a umidade do ar.

Lamberts, Xavier e Goulart (2016) destacam que a medição destas variáveis permite a determinação da temperatura operativa, que consiste na troca de calor teórica, criada para resumir todas as trocas de calor a que um corpo seria submetido em um ambiente real, considerando somente uma temperatura homogênea. Ou seja, a temperatura operativa – validada por diversas normas internacionais, como a ASHRAE 55 – é aquela que o corpo teria, caso estivesse sujeito às trocas térmicas em determinada situação, o que se altera de acordo com as variáveis de conforto inseridas na equação.

Com base na abordagem do conforto adaptativo, que consta na norma EN 15.251 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2007), Sicurella, Evola e Wurtz (2012), propuseram uma análise estatística, como um método para mensurar a frequência das condições de conforto/desconforto no interior dos ambientes. Quanto ao conforto térmico, os autores desenvolveram os seguintes índices: Frequência de Conforto Térmico (FCT), Frequência de Desconforto Térmico (FDT) e Intensidade de Desconforto Térmico (IDT).

Os índices de FCT, FDT e IDT quantificam o tempo, relacionando-o às condições térmicas do ambiente e à intensidade dessas condições. Assim, o FCT, o FDT e o IDT são definidos a partir de um parâmetro físico fundamental para o conforto: a temperatura operativa (Quadro 1):

Quadro 1: Caracterização dos índices de FCT, FDT e IDT.

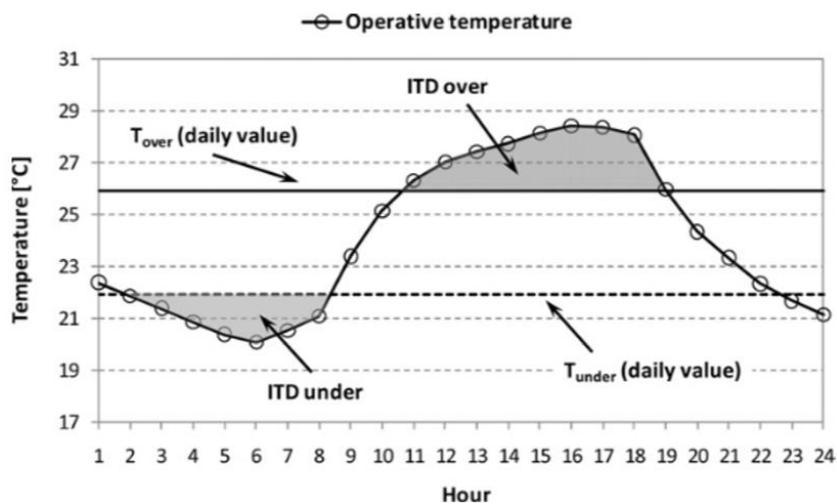
(continua)	
Índice	Definição
Frequência de Conforto Térmico (FCT)	Corresponde à porcentagem de tempo, em um intervalo determinado, em que as condições de conforto térmico são atingidas para o interior de um ambiente. Sua determinação segue o modelo de conforto adaptativo, com limites estabelecidos pela EN 15.251 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2007), onde

	<p>são determinados valores de temperatura operativa para o conforto, delimitada por um intervalo.</p> <p>O intervalo estabelece um limite superior e um limite inferior de temperatura operativa em função da temperatura média externa.</p>
	(conclusão)
Frequência de Desconforto Térmico (FDT)	<p>A determinação do FDT parte do mesmo princípio de definição do FCT. Portanto, o FDT corresponde à porcentagem de tempo, dentro de um intervalo estabelecido, em que o conforto térmico não foi atingido, para calor ou para frio. O objetivo deste indicador é auxiliar na comparação da eficiência térmica de diferentes tecnologias construtivas, visando à melhoria do desempenho térmico em períodos curtos ou sazonais (NICO-RODRIGUES, 2015).</p>
Índice de Desconforto Térmico (IDT)	<p>É a diferença entre a temperatura operativa e a temperatura limite de conforto (superior ou inferior), e é definido para cada dia de análise. Diferentemente da estatística temporal dos indicadores anteriores, o IDT é obtido por meio de uma equação integral, que aponta o quanto um ambiente pode acumular calor ou frio quando sua temperatura extrapola os limites superior e inferior de <math>T_o</math>.</p>

Fonte: Sicurella, Evola e Wurtz (2012).

O Gráfico 1 traz as temperaturas de conforto apresentadas por Sicurella, Evola e Wurtz (2012). Nele, estão indicados  $T_{over}$  – temperatura limite superior, ou seja, para o calor –,  $T_{under}$  – temperatura limite inferior, e, portanto, para o frio. As áreas hachuradas correspondem ao  $IDT_{over}$  – intensidade de desconforto térmico para o calor ( $^{\circ}C.h$ ) – e ao  $IDT_{under}$  – intensidade de desconforto térmico para o frio ( $^{\circ}C.h$ ).

Gráfico 1: *Intensity of Thermal Discomfort* (ITD) - Intensidade de Desconforto Térmico (IDT)



Fonte: Sicurella, Evola e Wurtz (2012).

Por corresponder à área do gráfico, o IDT também pode ser determinado pela Equação 1 (SICURELLA; EVOLA; WURTZ, 2012):

Equação 1: Equação integral do IDT.

$$\begin{aligned} \text{IDT}_{\text{over}} &= \int_p \Delta T_{\text{over}}(\tau) \cdot d\tau \quad \text{onde } \Delta T_{\text{over}}(\tau) \\ &= T_{\text{op}}(\tau) - T_{\text{over}} \quad \text{se } T_{\text{op}}(\tau) \geq T_{\text{over}} \\ &= 0 \quad \text{se } T_{\text{op}}(\tau) < T_{\text{over}} \end{aligned}$$

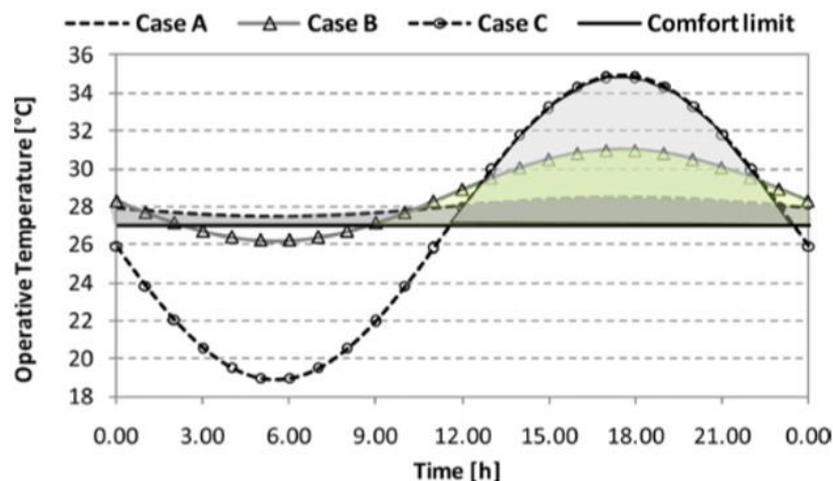
Onde:

- ITD<sub>over</sub>: Intensity of thermal discomfort (°C.h)
- T<sub>over</sub>: Upper limit of the thermal comfort range (°C)
- T<sub>op</sub>: Operative temperature (°C)
- $\tau$ : time (h)

Fonte: Sicurella, Evola e Wurtz (2012).

Vale mencionar que a análise isolada do FDT ou do IDT pode provocar equívocos pela interpretação superficial dos dados, como exemplificado no Gráfico 2, onde, para o mesmo valor de IDT, apresentam-se três situações distintas para as alterações da temperatura operativa, durante 24 horas:

Gráfico 2: Flutuações de IDT e FDT.



Fonte: Sicurella, Evola e Wurtz (2012).

- Caso A: A temperatura operativa esteve acima do limite superior de conforto em 100% do período, determinando uma sensação estável e moderada de conforto;
- Caso B: Nota-se uma flutuação da temperatura operativa em torno do limite superior, excedido em um período considerável do dia, determinando uma sensação de desconforto de longa duração e menos moderada; e

- Caso C: Mesmo que a temperatura operativa conte com valores menores do que a temperatura de conforto, uma variação significativa, durante um período limitado, determina uma sensação de desconforto breve, porém intensa.

A visualização do Gráfico 2 permite compreender as possíveis estratégias necessárias para obtenção do conforto térmico do usuário. Por exemplo, o Caso A apresenta o IDT elevado e sem flutuação e necessitaria de melhorias em todo o edifício. O Caso C, por sua vez, é representado por uma grande flutuação, que indica uma sensação maior de desconforto, que poderia ser amenizada pela implantação de dispositivos de sombreamento ou por uma ventilação mais intensa (SICURELLA, EVOLA, WURTZ, 2012).

O edifício residencial é um elemento dinâmico, e sua temperatura interna pode ser alterada pelo ambiente externo, pelos ganhos de calor internos e pelas taxas de ventilação. Por isso, compreender as variações sazonais da temperatura operativa, em um período de 24 horas, é importante para avaliar a frequência e a intensidade em que ocorrem. Sabendo que a  $T_o$  flutua em torno da temperatura neutra, se os valores se mantêm estáticos, não são possíveis as adaptações, já que as barreiras para implantação de adaptações emergem como restrições para a amplitude e as variações de frequência (OLESEN; PARSONS, 2002, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2004, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005).

Portanto, por meio das análises dos valores das temperaturas operativas, comparadas às temperaturas de conforto, é possível verificar a flutuação da temperatura, durante 24 horas. Esta verificação possibilita a identificação dos períodos de maior desconforto térmico, viabilizando a proposição de estratégias construtivas mais coerentes com o perfil térmico do local, melhorando as condições térmicas do ambiente interno e, por consequência, otimizando o desempenho térmico e a eficiência energética de uma edificação.

### 2.3 DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Para a melhoria da qualidade do ambiente construído, têm sido concebidas e aprimoradas diversas normativas – nacionais e internacionais –, que visam ao estabelecimento de parâmetros projetuais, construtivos e operacionais de otimização do desempenho

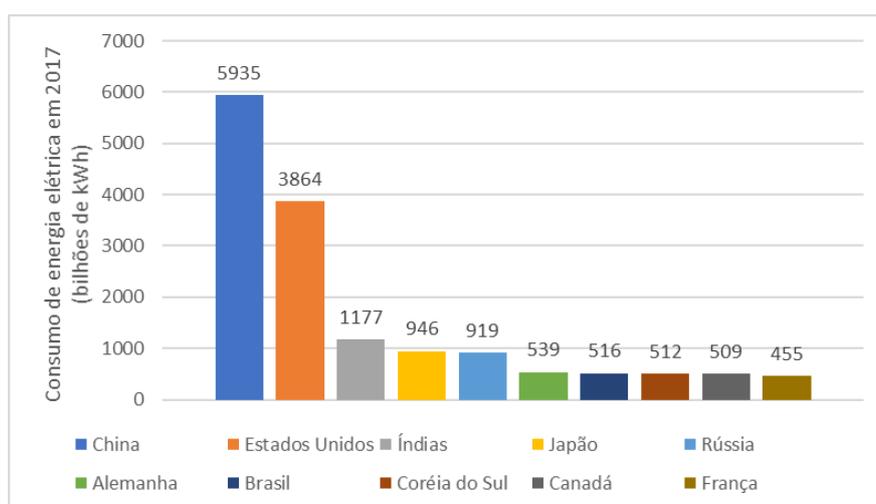
habitacional. Considerando o objeto de estudo do trabalho e as condicionantes do território brasileiro, foram destacadas algumas normas que contribuíram significativamente para a determinação dos procedimentos de análise das habitações de interesse social:

### 2.3.1 Normatização para o desempenho termo-energético de edificações

Fatores como o crescimento da população mundial e do setor da construção, além do aumento do tempo e das expectativas de conforto dentro dos edifícios preveem tendências crescentes de demanda de energia. Os impactos do consumo energético são realidade, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento, e figuram entre os mais relevantes tópicos de pesquisas das últimas décadas (FOSSATI, 2016).

Dados da *International Energy Agency – IEA* (2013) estimam que em 2035, a demanda global por energia terá aumentado em cerca de um terço em relação aos valores atuais. China, Índia e Oriente Médio, que tem experimentado um crescimento gradual, mas significativo, serão responsáveis por, aproximadamente, 60% deste aumento (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2013). Ainda, dados do *U.S. Energy Information Administration – EIA* (2017), apresentados no Gráfico 3, mostram os dez países que lideravam o consumo de energia mundial em 2017, ranqueando o Brasil à sétima posição:

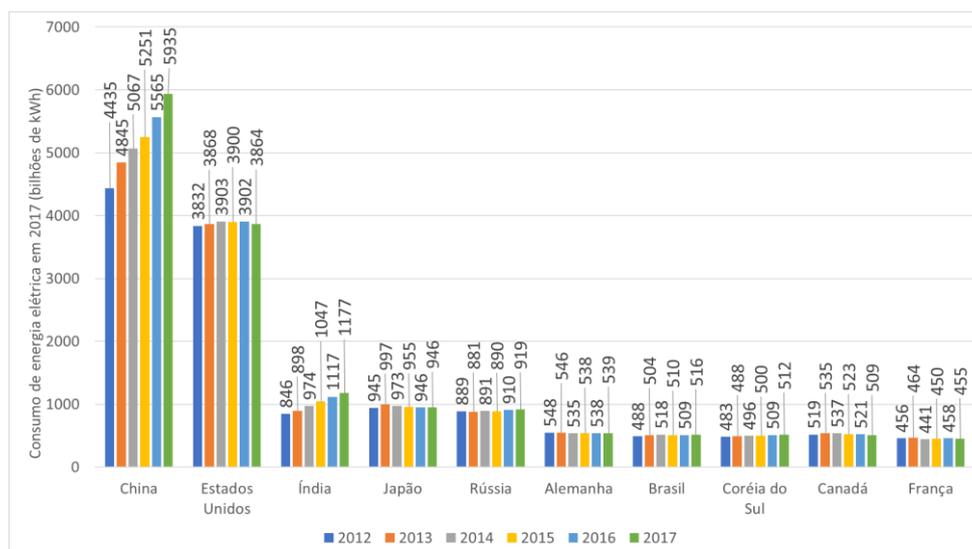
Gráfico 3: Dez maiores consumidores de energia elétrica no mundo em 2017 (ano mais recente do ranqueamento do Departamento de Energia dos Estados Unidos), em bilhões de kWh.



Fonte: a autora, adaptado de *U.S. Energy Information Administration – EIA* (2020).

Nota-se, também, que os mesmos países que compõem o *ranking* de maiores consumidores de energia elétrica em 2017 (Gráfico 3), já configuram esta estatística, ao menos, nos cinco anos anteriores, com tendências consideráveis de elevação dos índices de consumo, como no caso da China e Índia, caracterizadas, também, pelo significativo desenvolvimento econômico, sobretudo nas últimas décadas (Gráfico 4).

Gráfico 4: Dez maiores consumidores de energia elétrica no mundo, de 2012 a 2017 (ano mais recente do ranqueamento do Departamento de Energia dos Estados Unidos), em bilhões de kWh.



Fonte: a autora, adaptado de *U.S. Energy Information Administration – EIA (2020)*.

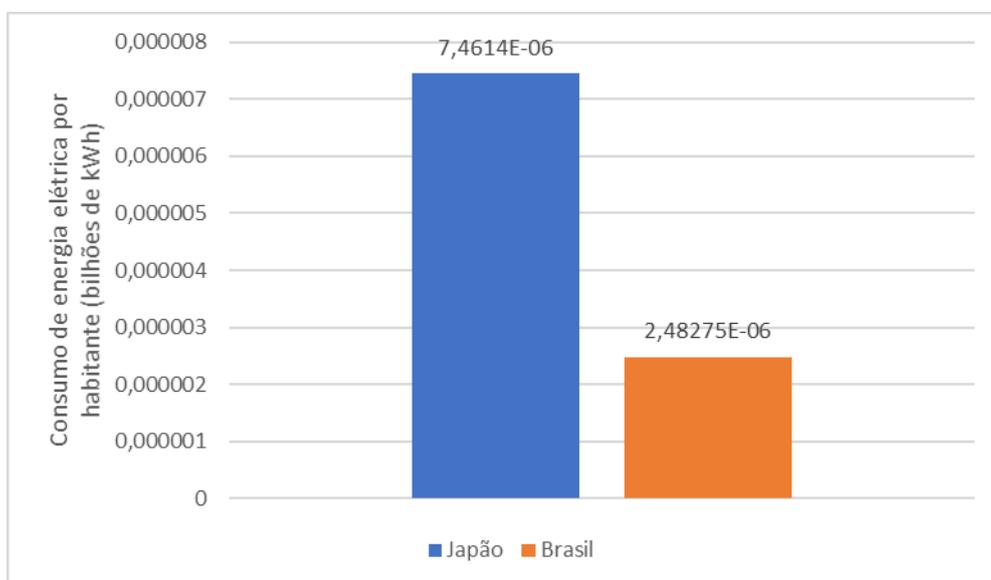
Os dados dos Gráfico 3 e 4 apontam não somente uma tendência crescente no consumo de energia elétrica, mas, também, a impactante proporção do consumo por país. Este aspecto pode ser ratificado por meio dos índices de consumo de energia elétrica em países como China e Estados Unidos, que, juntos, já eram responsáveis, em 2017, por 43,85% da utilização mundial de energia, correspondente a 22.347 bilhões de kWh (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2020). Apenas a China, maior consumidora de energia elétrica no mundo, responde por 26,56% desta demanda (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2020). A proporção de consumo chinês supera, ainda, a somatória de oito dos dez países mais consumidores – Índia, Japão, Rússia, Alemanha, Brasil, Canadá, Coreia do Sul e França.

Pode-se compreender que, além do elevado índice populacional, o desenvolvimento econômico chinês, sobretudo entre as décadas de 2010 e 2020, foi acompanhado pela potencialização do consumo de energia elétrica, o que também ocorre em outros países, como Índia e, de forma mais moderada, no Brasil. Nota-se, ainda, que países

economicamente desenvolvidos, mesmo que populacional e territorialmente menores, superam, em valores, países de território e população significativamente maiores.

Este cenário é exemplificado pelo Japão, que, em 2017 – período de realização do ranqueamento –, contava com uma população de 126,79 milhões de habitantes (THE WORLD BANK GROUP, 2020), e era responsável por 4,23% do consumo de energia elétrica no planeta. No mesmo período, o Brasil, que contava com 207,83 milhões habitantes (THE WORLD BANK GROUP, 2020), consumia, aproximadamente, 2,31% destes recursos, como demonstrado, anteriormente, no Gráfico 3. Desta forma, em 2017, a população japonesa consumia mais que três vezes o quantitativo energético dispensado à população brasileira (Gráfico 5).

Gráfico 5: População x consumo de energia elétrica em 2017.

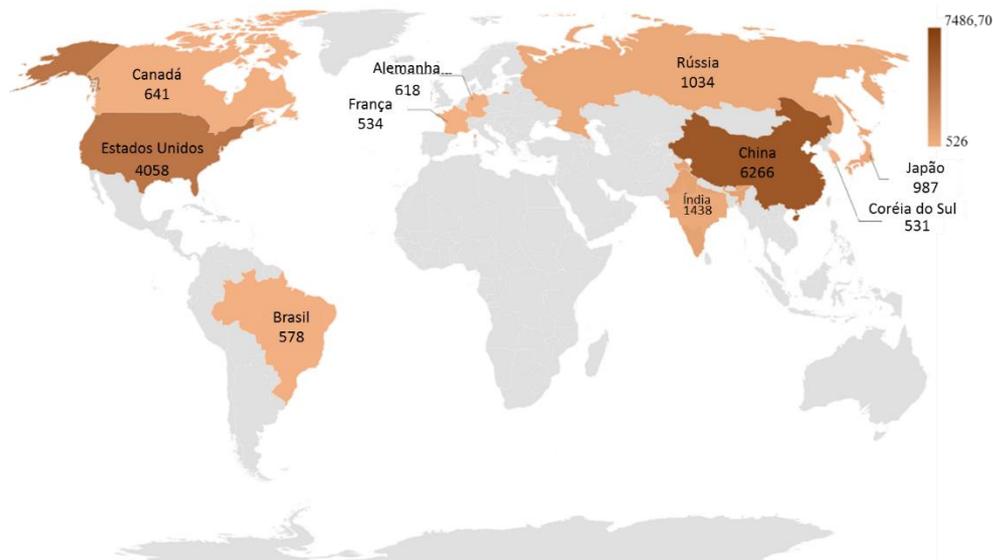


Fonte: a autora, adaptado de *The World Bank Group* (2020) e *U.S. Energy Information Administration – EIA* (2020).

Quanto à capacidade de geração – líquida – de energia, diversos países do *ranking* de 2017 se mantiveram dentre os maiores geradores de energia elétrica no mundo (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2020), como apontado na Figura 6. Entretanto, mesmo que tenham gerado, em 2017, cerca de 22.347 bilhões de kWh, os dez países de maior destaque ainda têm a questão energética como um fator de preocupação interna, refletida em uma responsabilidade mundial.

Figura 6: Dez maiores países geradores de energia elétrica líquida total 2017\* (bilhões de kWh)

\*Ano mais recente com informações suficientes para a composição do ranking



Fonte: a autora, elaborado a partir de U.S. Energy Information Administration – EIA (2017).

A demanda por eletricidade em países desenvolvidos, como Estados Unidos e Japão, também é justificada pela grande quantidade de edifícios comerciais. Janda já apontava, desde 2009, que o crescimento econômico e tecnológico em países do hemisfério sul – como o Brasil – gera uma tendência de elevação dos padrões de vida e de serviços, criando uma expectativa de aumento da demanda energética – especialmente elétrica – também, para países em desenvolvimento e no setor residencial.

Além da elevação dos padrões construtivos, o crescimento econômico tende a impulsionar a quantidade de construções implantadas em um país. Por isso, Janda (2009) e Nico-Rodrigues (2015), destacam que, na maioria dos países, o setor da construção de edifícios consome, em média, um terço da energia e uma parcela ainda mais significativa da eletricidade. Ramesh, Prakash e Shukla (2010) ainda afirmam que a energia operacional representa a maior parcela em edifícios convencionais em países com climas mais extremos, podendo variar em países de clima mais temperados.

Esta projeção é ratificada pelo relatório “*The long view: how will the global economic order change by 2050?*”, elaborado pela PricewaterhouseCoopers – PWC – (2017), a partir de dados das principais economias globais. O documento indica que, até 2050, o ranking das dez maiores potências econômicas globais será composto por seis países emergentes: China, Índia, Indonésia, Brasil, Rússia e México. Bizawu e Aguiar (2016) associam este crescimento previsto a um potencial consumo descomedido de energia.

Historicamente, o início das políticas mundiais para a redução do consumo de energia nas edificações teve como marco a crise mundial do petróleo, em 1970. Desde então, preocupação com o gasto de energia passou a influenciar, de maneira geral, em todos os setores da economia, incluindo a indústria da construção e, conseqüentemente, o tipo de arquitetura globalmente produzida. A elaboração de políticas para a conservação de energia teve início, nos países desenvolvidos, a partir da década de 1970, mas sua implementação em localidades como Brasil, Índia, Hong Kong, Irã, Egito e México só foi efetivada na década de 1990 (CARLO; LAMBERTS, 2010).

Assim, durante cerca de quatro décadas, os governos dos países industrializados e do hemisfério sul iniciaram políticas para reduzir o consumo de energia nos edifícios. Janda (2009), ressalta que a maioria dessas políticas pode ser agrupada em uma das três categorias: incentivos econômicos (como descontos em impostos), programas informativos (por exemplo, campanhas de conscientização sobre energia) ou requisitos regulamentares (como códigos ou normas).

No Brasil, autores como Matos (1994) e Pedrini (1997), já apontavam que a expansão no número de consumidores e sua capacidade de absorção de bens, decorrente da estabilização do Plano Real, já geravam, a curto e médio prazo, um crescimento anual superior a 5% na demanda de energia elétrica, ameaçando colapsar o setor. Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS (2019), o aumento da venda de eletrodomésticos para a população brasileira, entre 1994 e 1995 expandiu o consumo de energia elétrica de 4,55 % em 1994 e de 6,41%, de maneira quase permanente.

Segundo os autores, especialistas do setor apontavam a racionalização de energia como a alternativa para contornar o *déficit* energético, agravado pela retomada do crescimento econômico brasileiro. Desde então, as edificações residenciais têm sido responsáveis pelo consumo de uma grande parcela da energia elétrica disponibilizada nacionalmente (PEDRINI, 1997).

Como previsto, a divergência entre a capacidade de geração e o crescimento do consumo de energia teve seu ápice nacional no ano de 2001, com a crise energética brasileira – decorrente do pouco investimento na infraestrutura do setor energético, associado às alterações climáticas – que levou o governo à determinação de medidas rigorosas para o controle do consumo, como o aumento significativo das taxações, o que resultou em uma redução de, aproximadamente, 20% no consumo energético nacional (CÂNDIDO, 2011). Assim, sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia, foi lançada, ainda em 2001,

a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, que visava ao estabelecimento dos níveis máximos de consumo de energia e dos níveis mínimos de eficiência energética de edificações e de aparelhos eletrodomésticos comercializados no país, com base em indicadores técnicos e regulamentação específica (BRASIL, 2001). As políticas para o controle do consumo de energia culminaram, em 2005, na proposição de normas, cujo principal objetivo era a adequação das construções aos requisitos climáticos da região onde seriam implantadas, pela compreensão de que as condicionantes do clima local podem potencializar o desempenho de uma edificação (NICO-RODRIGUES, 2015).

Observa-se, então, que os estudos para a conservação de energia têm sido desenvolvidos, em um recorte global, há quase meio século, e, nacionalmente, intensificados há quase duas décadas. Entretanto, é notada, ainda hoje, a baixa utilização dessas estratégias para a obtenção de ambientes termicamente confortáveis e com baixo consumo de energia.

Como apontado pelo relatório síntese do Balanço Energético Nacional – BEN (2018), o Brasil tem investido em matrizes energéticas renováveis e o consumo de eletricidade, no país, representa 17,5% do consumo final de energia por fonte (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018). O relatório ainda indica que o consumo de energia nas residências foi de 9,7% e que, dentro do nicho residencial, 41,6% da energia consumida é elétrica.

Considerando a demanda de 4,8% de energia pelo setor de serviços, constatado nos resultados publicados pelo Balanço Energético dos últimos 48 anos, que apontou que o setor residencial teve o maior consumo de energia quando comparado ao setor comercial (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018). Neste contexto de consumo crescente de energia, melhorar a eficiência energética nas edificações é fator básico.

Além da demanda por energia elétrica, o processo de produção e distribuição deste recurso gera grandes impactos no meio ambiente, por exemplo, pela emissão de gases poluentes (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018). Por ter como principal matriz a produção hidrelétrica, o Brasil conta com índices de emissão de CO<sub>2</sub> de 156,6 kg/MWh, enquanto outros países, como a China e os Estados Unidos, tem valores de 750,1 kg/MWh e 459,7 kg/MWh, respectivamente. Este aspecto pode ser considerado benéfico para o Brasil, mas não é suficiente para descaracterizar o impacto ambiental causado pelo setor, desde o processo de produção e distribuição até o consumo final da energia elétrica nas edificações.

Estabelece-se, então, a lógica de que edificações que proporcionem maiores níveis de conforto ao usuário requerem, conseqüentemente, uma operação menos frequente de equipamentos direcionados à compensação térmica – como eletrodomésticos específicos para aquecimento ou resfriamento dos ambientes. A utilização reduzida desses aparatos se relaciona à redução da energia elétrica empregada para mantê-los em funcionamento e, sob esse aspecto, confere melhor desempenho a essas construções (SANTIN; ITARD; VISSCHER, 2009; BEKKOUCHE *et al.*, 2013; KAVOUSIAN; RAJAGOPAL; FISCHER, 2013).

A partir do desenvolvimento histórico mundial e nacional, quanto ao desempenho das edificações e, também, com base em estudos recentes (MACHADO *et al.*, 2017; NICORODRIGUES *et al.*, 2015; SORGATO *et al.*, 2012; RORIZ, 2014), têm sido desenvolvidos regulamentos e normas que visam ao estabelecimento de definições, parâmetros e metodologias de análise que possam ser aplicados às edificações e promovam resultados satisfatórios para a melhoria das condições de conforto térmico e eficiência energética. As regulamentações determinam critérios para a mensuração do atendimento aos requisitos de desempenho, e, de acordo com Fossati (2016), podem ser classificadas em dois grupos principais: aqueles que atuam por meio da definição de requisitos mínimos e aqueles que certificam o nível de eficiência (sistemas de classificação).

O cenário global quanto à disponibilidade de recursos *versus* o crescimento da demanda populacional, levou os países a definirem diretrizes para o controle das edificações, com o objetivo de diminuir o consumo de energia e de proporcionar melhores condições de habitabilidade aos indivíduos. Por meio deste processo, foi incentivada a elaboração de normas específicas sobre o tema.

Destacam-se as normativas internacionais – ASHRAE 55, que corresponde ao padrão norte americano, ISO 7730, que trata em um âmbito internacional e a EN 15251 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2007) – e nacionais – NBR 15220-3 (2005), NBR 15575 (2013) e RTQ-R (2010) – que incorporam o modelo do conforto adaptativo para o estabelecerem critérios de desempenho termo-energético. A EN 15251, por ser específica para o continente europeu, não se adequa às condições climáticas brasileiras.

### **ASHRAE 55 (2017) - *Thermal Environmental Conditions for human Occupancy***

Na última década do século XX, a preocupação mundial com o crescimento das emissões de carbono e seus impactos no meio ambiente e no clima global motivou a indústria americana, sobretudo do setor de ar condicionados, ao desenvolvimento de pesquisas que objetivam rever conceitos e índices definidores do conforto térmico. Assim, a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*), existente desde 1894 e renomeada em 2012, constitui a principal sociedade financiadora dos referidos projetos de pesquisa e desenvolvendo, também, normas técnicas e guias para o setor (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2004).

Ainda em 2004 – com base no método de De Dear e Brager, de 1998 (DE DEAR, 2001) – a associação apresentou uma revisão da norma como alternativa ao método de definição dos níveis de conforto térmico em edificações ventiladas naturalmente. Os dados, que foram analisados de acordo com um protocolo padrão, permitiram a maior confiabilidade dos valores, seguindo um mecanismo utilizado para o condicionamento do ambiente – ar condicionado, ventilação natural e modo misto. As pesquisas de campo, que continham observações pontuais sobre a possibilidade de adaptação de cada indivíduo quanto a cada tipo de condicionamento, levou à posterior separação dos dados (BRAGER, DE DEAR, 2001).

O padrão normativo de 1992 foi atualizado, resultando no modelo ASHRAE 55 de 2004. A norma passou a considerar os condicionantes de projeto, os valores das variáveis de limites para as atividades, para o vestuário e para as condições térmicas internas do ambiente e o usuário adulto com condições saudáveis (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2004).

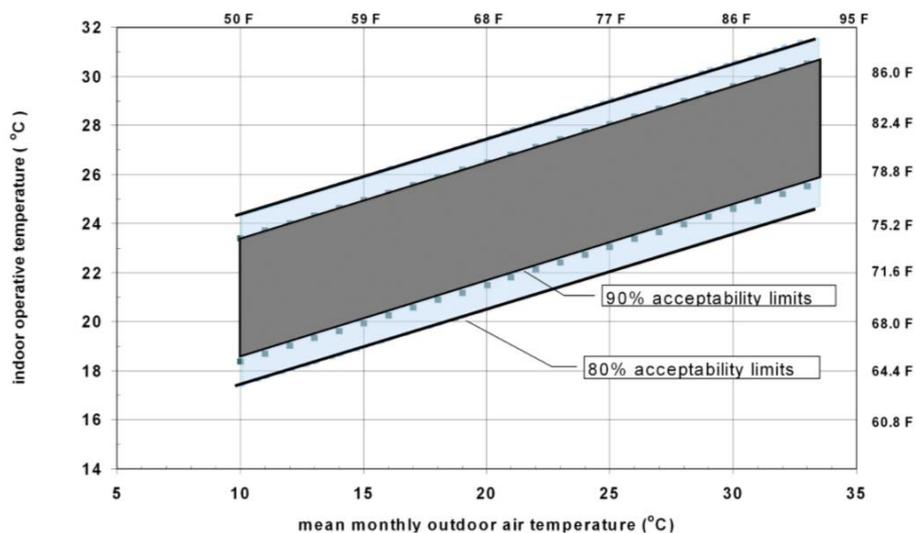
A versão de 2004 acresceu 10 pontos percentuais para o valor da temperatura neutra, visando incorporar o desconforto térmico causado, por exemplo, pelo tipo de projeto e pelas variações sazonais das temperaturas externas, constituindo um intervalo aceitável de temperatura *versus* tempo (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2004, PEETERS *et al.*, 2009, DE DEAR, 2011).

A abordagem adaptativa da ASHRAE 55 pressupõe, para espaços ventilados naturalmente, o controle das condições térmicas pelo usuário, sobretudo, pela abertura ou

fechamento de janelas, e as respostas térmicas dos ocupantes que dependem do clima exterior, podendo diferir para espaços condicionados artificialmente. Isso acontece, principalmente, por fatores como a disponibilidade de controle e expectativas dos ocupantes (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING 2004; ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009).

Assim, a norma passou a apresentar, para o modelo adaptativo, os intervalos mostrados no Gráfico 6, que determina limites de temperatura operativa de acordo com a variação da média da temperatura do ar externo. As condições estabelecidas seguem a limitação da média da temperatura do ar externo entre 10°C a 33,5°C. Portanto, este modelo não pode ser aplicado em espaços ventilados naturalmente para valores abaixo ou acima deste intervalo.

Gráfico 6: Modelo de conforto adaptativo.



Fonte: *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning*, (2010).

O gráfico de conforto adaptativo definido apresenta a temperatura neutra ( $T_n$ ), definida pela Equação 2:

Equação 2: Temperatura neutra de acordo com a ASHRAE 55 (2010).

$$T_n = 0,31(T_e) + 17,8$$

Onde:

$T_n$  = temperatura neutra (°C)

$T_e$  = temperatura externa (°C)

Para chegar ao valor da temperatura de conforto máxima para um percentual equivalente a 80% de aceitabilidade, é necessário somar 3,5°C à temperatura neutra. Já para o atendimento de percentual de aceitabilidade de 90% (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2004), é necessário acrescentar ao valor da temperatura neutra 2,5°C, que correspondem à margem de tolerância ao calor.

Os limites do intervalo estabelecem 80% de aceitabilidade como situação apropriada para condições típicas e 90% de aceitabilidade como um padrão mais elevado de conforto térmico (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2004). A opção em trabalhar nos limites definidos pelo modelo adaptativo está relacionada com as experiências e as supostas expectativas dos usuários (BRAGER, DE DEAR, 2001).

É importante ressaltar que a abordagem adaptativa da ASHRAE 55 foi aplicada para o clima quente-úmido brasileiro em pesquisas que registraram a compatibilidade quanto à aceitabilidade térmica superior a 89%, dentro da faixa de conforto da ASHRAE 55 (CÂNDIDO, 2011). Entretanto, para o clima do Brasil, são necessárias taxas maiores que as da norma americana, para velocidade do vento e aceitabilidade ao movimento do ar.

***ISO 7730 (2015) – 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***

A edição atual da norma internacional ISO 7730 (2015) é a terceira publicada, e foi desenvolvida paralelamente à ASHRAE 55 na versão revisada para aplicação na avaliação de ambientes térmicos moderados. Quando são conhecidos (ou medidos) os parâmetros físicos de um ambiente e os parâmetros pessoais do usuário, pode-se estimar, por cálculo, o PMV (índice do voto médio estimado) e o PPD (percentual de pessoas que preferiam que o ambiente estivesse mais quente ou mais frio), também descritos pela norma, que prevê diferentes níveis de aceitabilidade.

A ausência do conforto térmico também pode ser motivada, por aquecimento ou resfriamento localizado no corpo, a norma fornece um método de cálculo do percentual de pessoas insatisfeitas, tendo como fatores mais comuns: a assimetria radiante de temperatura (superfícies quentes ou frias); a diferença vertical de temperatura; correntes

de ar; e pisos frios ou quentes, enquanto a versão anterior fornecia a metodologia apenas para o percentual insatisfeito (PPD) devido às correntes de ar.

A estrutura da ISO 7730 resultou de estudos realizados na Europa e na América do Norte, além das pesquisas de Fanger, destacando a versão de 1994, que conta com dados do Japão. A norma também fornece recomendações de como avaliar e projetar edificações e sistemas, considerando a adaptação dos usuários no local.

Já que o contexto do ambiente térmico em edifícios ou em locais de trabalho pode mudar, é possível que as condições não se mantenham sempre dentro dos limites recomendados. Por isso, a norma passou a incluir métodos de avaliação para condições em estado não estacionário e para períodos longos.

### **NBR 15575 (2013) – Edificações habitacionais — Desempenho**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), publicou em 2013 a quarta edição da Norma 15575, sancionada desde 2008. A NBR 15575 é dividida em seis partes, que tratam dos requisitos para o desempenho de sistemas estruturais, sistemas de pisos, sistemas hidrossanitários e, sob o aspecto do desempenho térmico, de sistemas de coberturas e vedações verticais internas e externas, que influenciam diretamente no ambiente térmico de uma edificação habitacional (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

O objetivo da norma é promover e balizar o desenvolvimento tecnológico, além de orientar a análise da eficiência técnica e econômica das inovações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Também há concordância entre a norma e a ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2004), que menciona os conceitos, diretrizes e limites de temperatura de conforto para ambientes naturalmente ventilados aplicados pela NBR 15575 para a avaliação do desempenho de uma edificação.

A norma define condições de habitabilidade para a obtenção conjunta do conforto, por meio de parâmetros mínimos de conforto, inclusive térmico. Mesmo não prescrevendo como os sistemas devem ser executados quanto à sua forma ou materiais constituintes, a norma prioriza demandas do usuário quanto à habitabilidade, sustentabilidade e níveis de desempenho para a edificação habitacional e seus sistemas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Sobre o desempenho térmico, a NBR 15575 recomenda que sejam seguidas as diretrizes estabelecidas pela NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), que considera o desempenho por zonas bioclimáticas, definindo critérios para sistemas de vedação, cobertura e para o edifício como um conjunto. Quando o desempenho se mostra insatisfatório pela avaliação prescritiva (simplificada), recomenda-se a simulação computacional.

Quanto à avaliação de desempenho térmico por simulação, a NBR 15575 (2013) não considera fontes internas de calor – como iluminação artificial, pessoas e equipamentos eletrodomésticos –, determinando, na parte 1 (Requisitos Gerais), critérios que utilizam valores máximos de temperatura para o verão e mínimos para o inverno, de acordo com a Zona Bioclimática. Têm-se, como exceção, as zonas 6, 7 e 8, para as quais não há valores estabelecidos para o inverno. A norma ainda apresenta *softwares*, como o EnergyPlus, que é validado pela ASHRAE e considerado adequado para a avaliação.

A parte de Requisitos Gerais ainda considera que, dentro da edificação habitacional, existem condições térmicas iguais ou com temperaturas mais baixas que as do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de verão. O dia típico de verão é definido pela mesma parte da norma como o dia mais quente do ano, com base na média do período dos últimos dez anos.

### **NBR 15220 (2005) – Desempenho térmico de edificações**

A Norma 15220 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) surgiu da adaptação (RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 1999) da Carta Bioclimática sugerida por Givoni (1992). São estabelecidas recomendações para a adequação do desempenho térmico e concepção de estratégias por zonas bioclimáticas para cada região do Brasil, considerando o zoneamento bioclimático. A divisão do território – resultante da análise de dados climáticos obtidos entre 1931 a 1990 – é apresentada na parte 3 da normativa, que trata especificamente do zoneamento bioclimático brasileiro e das diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

Foram vinculados intervalos de valores de propriedades térmicas – como transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico – a cada zona, designando os tipos de materiais de coberturas e paredes, segundo as características do clima local. A NBR 15220-3 ainda apresenta diretrizes quanto ao tamanho, sombreamento e posição de aberturas (janelas), além de estratégias de condicionamento térmico passivo,

considerando os valores relacionados de temperatura do ar e umidade do ar, por meio da carta psicrométrica adaptada.

A norma não aborda, diretamente, os procedimentos para avaliação do desempenho térmico de edificações, mas apresenta cálculos de propriedades térmicas, além de diretrizes de medições *in loco*, e recomenda o uso de simulações computacionais para edificações em fase de projeto.

### **RTQ-R (2010) - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**

Visando à redução da produção e do consumo de energia elétrica, com o objetivo de incentivar o consumidor à compra de edificações mais eficientes, destacam-se o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que tem como um de seus instrumentos o Selo Procel Edifica, estabelecido em 2014. Como parte do programa, eram criadas e revisadas, respectivamente, no ano de 2010, as metodologias para a classificação do nível de eficiência energética dos edifícios residenciais e dos edifícios comerciais, de serviços e públicos.

Para a avaliação do desempenho termo-energético de uma edificação, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2010) recomenda simulações computacionais, reconhecendo *softwares* como o EnergyPlus para instrumentação da análise. O RTQ – R estabelece como metodologia de avaliação do desempenho térmico e energético os graus-hora de resfriamento (GHR), que consiste em um indicador para os ambientes de permanência prolongada da unidade habitacional (dormitórios e sala).

O GHR, apresentado no RTQ-R representa o somatório da diferença entre a Temperatura Operativa horária ( $T_o$ ) e a Temperatura Base (ou de conforto). O Relatório fixa a temperatura base em  $26^{\circ}\text{C}$  para resfriamento (para todos os dias do ano), conforme a Equação 3:

Equação 3: Cálculo dos Graus-hora de Resfriamento.

$$\text{GHR} = \sum (T_o - 26^{\circ}\text{C})$$

Onde:

GH<sub>R</sub>: Graus-hora para resfriamento

To: Temperatura operativa horária

26°C: Temperatura base de conforto do RTQ-R

As normas internacionais definem o modelo do conforto adaptativo como preditivo para edificações ventiladas naturalmente (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2004; EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2007). No entanto, as normas brasileiras estabelecem alguns parâmetros para que a edificação tenha um bom desempenho termo-energético, mas não referenciam o conforto adaptativo ou índices de conforto específicos.

Sob uma perspectiva geral do levantamento de normas que tratem do desempenho térmico das construções, percebe-se que uma parcela significativa de energia ainda é consumida para manter as edificações confortáveis. Entretanto, o estabelecimento de normas e recomendações que auxiliem os profissionais na elaboração de edificações mais adequadas ao clima local, configuram uma oportunidade para diminuição do desperdício do total produzido, uma vez que a adoção de estratégias construtivas adequadas pode reduzir o consumo final de eletricidade (CASAGRANDE; ALVAREZ, 2013). Assim, a investigação do desempenho térmico de edificações interfere, diretamente, na demanda energética atual e futura, configurando um aspecto essencial no planejamento das habitações.

### **2.3.2 Ferramentas e métodos de avaliação do desempenho térmico**

As pesquisas realizadas têm fundamentado normativas e proporcionado o desenvolvimento de ferramentas mais precisas de avaliação do desempenho térmico e energético, sobretudo para ambientes ventilados naturalmente. O objetivo principal das ferramentas e métodos de avaliação do desempenho é de proporcionar melhores condições de conforto térmico em ambiente interno.

A fundamentação teórica ampliou a compreensão dos métodos e ferramentas que poderiam ser aplicados à pesquisa. Assim, considerando o objetivo da pesquisa e o objeto avaliado (HIS), os métodos que poderiam ser aplicados ao estudo são:

- Método de avaliação da NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013);

- Método de adequação ao zoneamento bioclimático da NBR 15.220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), que inclui as cartas psicrométricas com valores de temperatura e umidade (GIVONI, 1992, PEREIRA; ASSIS, 2010);
- Método de desempenho térmico energético do RTQ-R (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2010);
- Modelo do Conforto Adaptativo da ASHRAE 55, pela Temperatura Operativa (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2004; EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2007, HALDI; MOREL; DAUM, 2011; NICO-RODRIGUES, 2015); e
- Método da abordagem estatística, pelo Índice e pela Frequência de Desconforto Térmico (IDF e FDT), fundamentados nos Graus-hora de Desconforto Térmico (GhDT) (WILLRATH, 1998, ZHANG *et al.*, 2006, SICURELLA; EVOLA; WURTZ, 2012; SILVEIRA; LABAKI, 2012, NICO-RODRIGUES *et al.*, 2015);

Mesmo que sejam seguidos alguns parâmetros do RTQ-R – sobretudo para o processo de simulação – como a recomendação do *software* e a inserção das variáveis –, a manutenção de 26°C como temperatura operativa para a condição de bom desempenho térmico do edifício em todas as cidades não configura uma boa estratégia metodológica. Isto porque, dentre os objetivos estabelecidos, destaca-se a avaliação da diferença das características climáticas das cidades do recorte amostral e sua influência no desempenho térmico das habitações. Ainda, as metodologias e normas descritas contam com alguns grupos principais de ferramentas, como: simulações computacionais, testes físicos em protótipo de tamanho real, medições *in loco*, abordagem matemática, entre outros.

Ponderando: o período de duração da pesquisa; os recursos financeiros e humanos; e o recorte amostral do trabalho; optou-se pela adoção da simulação computacional como meio para avaliação do desempenho térmico e energético das habitações de interesse social estudadas. A escolha da simulação como ferramenta de análise também foi ratificada pela proposta da avaliação dos modelos virtuais, e é endossada por diversas normas nacionais e internacionais (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2004; INSTITUTO NACIONAL DE

METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2010; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Mesmo havendo a possibilidade de medir os dados de temperaturas, ao tratarmos edificações não construídas, a simulação passa a constituir uma das ferramentas mais eficazes para a verificação das condições proporcionada pelas moradias. Finalmente, simular um modelo computacional permite avaliar o comportamento de elementos construtivos de forma individualizada (NICO-RODRIGUES *et al.*, 2015; HUMPHREYS; RIJAL; NICOL, 2013), o que pode se tornar uma estratégia para a melhoria dos componentes das moradias populares.

Têm sido desenvolvidos diversos *softwares*, nacional e internacionalmente, que permitem o cálculo das cargas térmicas, a avaliação das condições de conforto térmico e o desempenho energético das edificações. O Diretório de Ferramentas de Simulações Computacionais do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) valida vários programas de simulação, como o BLAST, o DOE 2.1, o EnergyPlus, o TRNSYS (*Transient System Simulation Tool*), o Tas, o TRACE, o eQUEST, o ECOTECT, o *PowerDomus*, entre outros.

A utilização de cada programa varia conforme os dados de saída pretendidos (UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, 2013). Para aumentar a confiabilidade dos dados gerados por programas de simulação, institui-se o processo de validação, que pode ocorrer de duas formas: a primeira, que corresponde ao método BEStest (*Building Energy Simulation Test*), consiste em um comparativo entre os resultados gerados por dois *softwares* de simulação de desempenho; e o segundo método é caracterizado pela validação empírica, comparando os resultados das medições feitas em uma edificação real e os resultados gerados pelo modelo virtual (WESTPHAL; LAMBERTS, 2004; PEDRINI, 1997; JUDKOFF; NEYMARK, 1998).

Destaca-se, dentre os programas de simulação, o EnergyPlus, que, além de validado pelo DOE, é um instrumento gratuito, que gera dados sobre o consumo de energia e desempenho térmico de edifícios, com amplo reconhecimento no meio científico. O EnergyPlus também é recomendado por normas brasileiras, como a NBR 15575-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) e o RQT-R (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2010). Por permitir a calibração do modelo tridimensional segundo a variação de seus materiais e sua configuração formal, o EnergyPlus vem sendo recorrente em produções

científicas nacionais (AMORIM, 2015; BARBOSA; TIBÚRCIO, CARLO, 2013; CARLO; LAMBERTS, 2010; BATISTA, LAMBERTS e WESTPHAL 2005) e internacionais (LAMBERTS; XAVIER E GOULART, 2016; MAZZAFERRO; MELO; LAMBERTS, 2015).

Os dados gerados pelo EnergyPlus são considerados confiáveis. Entretanto, sua interface é considerada de difícil utilização e interpretação, facilitada por meio de *plug-ins* como o Euclid (BIG LADDER, 2018).

O programa computacional utilizado para simulação deve fornecer, no mínimo, alguns dados básicos de saída como: ser adequado para análise do consumo de energia do edifício; ser validado pela ASHRAE 140 – *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs* (2001); permitir a modelagem de 8.760 horas/ano; permitir a configuração de variações nas ocupações horárias, potência de iluminação e equipamentos, rede de ventilação natural e sistemas de condicionamento artificial, cujos dados devem ser fornecidos separadamente para dias da semana e feriados; modelar multi-zonas térmicas e efeitos de inércia térmica; permitir a simulação das estratégias bioclimáticas que tenham sido adotadas no modelo virtual; determinar a capacidade solicitada pelo sistema de condicionamento de ar; produzir relatórios horários de troca de ar e infiltrações; e produzir relatórios horários do uso final de energia (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2004; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2010; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

## 2.4 MATERIAIS, FATORES CLIMÁTICOS E DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO DAS HABITAÇÕES

As vedações externas, formadas, geralmente, por paredes e sistemas de coberturas, compõem a envoltória de uma edificação, e exercem uma função primordial na manutenção da temperatura interna das construções. Como o desempenho térmico também é determinado pelos fluxos de calor – seja por meio das aberturas ou das cargas térmicas dos materiais –, é essencial utilizar sistemas e materiais construtivos compatíveis com o clima da região (MANIOGLU; YILMAZ, 2006).

De acordo com Zhang *et al.* (2006), edificações ventiladas naturalmente têm a capacidade de manter o conforto térmico interno na maior parte do ano. Para isso, é necessário que os materiais que compõem as vedações externas tenham propriedades termo físicas dentro de intervalos pré-estabelecidos, adequados ao clima local.

No caso das habitações unifamiliares, é frequente que ocorra a elevação da temperatura interna, já que este tipo de arquitetura não conta com andares superiores, que protejam a cobertura da incidência direta da radiação solar (INDRAGANTI, 2010, MALLICK, 1996). No entanto, este fator não pode ser considerado como uma análise isolada, já que o conforto térmico de uma edificação provém de um conjunto de variáveis, como a frequência e a intensidade da ventilação, que podem alterar ou amenizar este quadro. Ainda, paredes mais espessas e menores áreas envidraçadas podem fazer parte do conjunto de elementos que corroboram à melhoria do desempenho térmico de uma edificação, otimizando as condições térmicas internas (RAJA *et al.*, 2001, MALLIK, 1996).

Sob a ótica do desempenho energético em habitações de interesse social, diversas pesquisas têm relacionado o comportamento térmico de uma HIS com o fato de que as unidades do PMCMV, geralmente, não têm suas decisões projetuais veementemente pautadas no clima local (AMORIM *et al.*, 2019; MALTA; AMORIM, 2018, MACHADO; NICO-RODRIGUES; ALVAREZ, 2017, BRASILEIRO *et al.*, 2016, RODRIGUES; OLIVEIRA; CARLO, 2015, UDAETA; OLIVEIRA; BAESSO, 2014, PAULSEN; SPOSTO, 2013, BATISTA *et al.*, 2005).

De acordo com Brasileiro *et al.* (2016), as habitações tendem a ser o bem durável que mais consome energia elétrica na sociedade, e, ao tratar do PMCMV, apenas a importância de determinar o nível de eficiência das moradias já justifica o desenvolvimento de investigações. Contudo, a operação de equipamentos eletroeletrônicos deve ser majorada ao pensar nas edificações populares, já que cerca de 80% dos custos relativos à vida útil de uma edificação são concentrados na fase de operação, sendo a maior parcela relacionada ao consumo de energia e água (BRASILEIRO *et al.*, 2016; CEOTTO, 2006).

Ressalta-se que a edificação atua como uma interface entre o ambiente externo – sujeito às mudanças do clima – e o ambiente interno – que deve manter as condições de conforto

e segurança dos usuários. Destaca-se, também, que os modelos climáticos globais e regionais apontam que, desde o século XX, vem ocorrendo uma anormalidade na distribuição do calor entre as regiões do planeta. Por isso, pesquisas que levem em consideração os impactos causados pelas mudanças climáticas nas cidades, em seus diversos contextos, se tornam importantes instrumentos para a adequação das edificações ao clima futuro, seja esta a curto, médio ou longo prazo (MONTES, 2016; CASAGRANDE, ALVAREZ, 2013).

Ainda que a pesquisa não vise à análise do desempenho das habitações de interesse social frente ao clima futuro, essas moradias têm uma vida útil média de 50 anos (MONTES, LAMBERTS, SASSI, 2016). Assim, a expectativa de durabilidade indica que adaptar uma HIS ao clima presente já caracteriza melhorias no conforto do usuário atualmente e, ainda, amplia a possibilidade de manutenção deste conforto diante das mudanças climáticas, destacando que, neste tipo de moradia, os custos são decisivos. Deve-se, portanto, projetar com precaução para que haja um baixo custo de produção, mas sem ignorar os custos de operação ao longo de sua vida útil.

Quanto à adequação climática para a década presente e para as próximas, dados do *Intergovernmental Panel for Climate Change – IPCC* (2014), apontam um aumento de quase 2°C na temperatura global até o fim do século (acima dos registros da era pré-industrial). Na América do Sul, e, conseqüentemente, no Brasil, os possíveis impactos consistem, além de alterações climáticas, em anomalias ambientais e hídricas, com conseqüências diretas na organização de populações inteiras, de acordo com o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas – PBMC (2013).

Por isso, o Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas – PNA (2016), discute aspectos importantes a serem considerados para as cidades e o desenvolvimento urbano. Ainda que não trate diretamente da designação de vedações externas e janelas, o PNA aponta que devem ser identificadas ‘ações de não arrependimento’, ou seja, medidas que contribuam incisivamente para a redução da vulnerabilidade das edificações e cidades às mudanças climáticas, tornando-as mais eficientes no presente e resilientes no futuro.

Relatórios do PBMC (PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2013) e do IPCC (INTERGOVERNAMENTAL PANEL FOR CLIMATE CHANGE, 2014) revelam, de forma unânime, que a América do Sul e, dentro dela, o Brasil, já apresentam

registros de mudanças climáticas, constatadas por modelos climáticos. Dentre as anormalidades no clima, destacam-se:

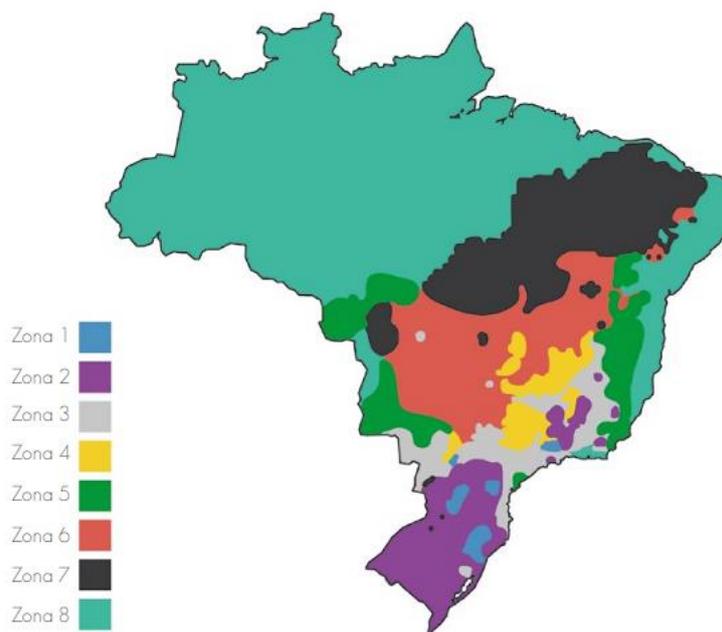
- Aumento de até 2,5°C na temperatura da região costeira do Brasil entre 1901 e 2012;
- Aumento do número de dias com chuvas acima de 30mm na região sudeste;
- Aumento da temperatura do mar no Atlântico Sul, além de mudanças na salinidade; e
- Aumento da ocorrência, influência e intensidade de eventos de ENOS no clima continental do país (El Niño Pacífico Leste Equatorial, La Niña e El Niño Pacífico Central).

Quanto as diretrizes existentes para a determinação do conforto térmico nas edificações, Guarda *et al.*, (2018) apontam tendências à necessidade de aumento anual de elementos sombreadores e necessidade de condicionamento artificial, além da redução da frequência anual da ventilação em todas as zonas bioclimáticas do Brasil. Nota-se, assim, a formação do seguinte ciclo: os impactos das mudanças climáticas estão atrelados à maior probabilidade de desconforto térmico nas habitações; esta probabilidade vincula o aumento da utilização de aparelhos eletrodomésticos para a obtenção do conforto térmico, ocasionando a elevação de custos de operação das habitações devido ao aumento do consumo de energia elétrica, gerando ainda mais impactos energéticos e ambientais que, por fim, impulsionam, novamente, as mudanças do clima. Logo, considerar as mudanças climáticas – e, sobretudo, a tendência do desconforto por calor no território brasileiro – para a concepção de propostas de habitações de interesse social é um dos pilares que compõem o ciclo da minimização dos impactos ambientais.

#### **2.4.1 Zoneamento bioclimático brasileiro**

Estabeleceu-se, a partir da carta psicrométrica de Givoni (1992), a carta bioclimática adaptada para o território brasileiro, apresentada na norma NBR 15220-3, que divide o Brasil em oito regiões distintas quanto ao clima (Figura 7), denominadas zonas bioclimáticas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Figura 7: Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2010).

O fracionamento do território e sua recombinação em grupos climaticamente semelhantes é uma estratégia adotada para auxiliar nas diretrizes projetuais e, conseqüentemente, na melhoria do desempenho, independente das características do clima local. Contudo, pesquisadores e participantes da proposta inicial - sobretudo membros da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) – têm defendido, desde a publicação, a necessidade de uma revisão no zoneamento bioclimático do Brasil, sobretudo devido à imprecisão na caracterização climática de cidades brasileiras (CARLO; AMORIM, 2017, AMORIM, 2015, RORIZ, 2014, RORIZ, 2013, RORIZ, 2012).

Para Carlo e Amorim (2017), devido à extensão territorial do Brasil e à sua diversidade climática, a identificação das características locais e o agrupamento das cidades em diferentes zonas, segundo o clima, é necessária e coopera à formulação de diretrizes construtivas mais assertivas. Os autores destacam, todavia, que a ausência de séries históricas completas e do número reduzido de estudos do tema em várias localidades do país se apresentam como fatores limitantes ao delineamento dos perfis dos municípios.

Dentre os aspectos questionados da NBR 15220-3 está a adoção, pela equipe de pesquisadores, das Normais Climatológicas de, apenas, 330 municípios brasileiros. O restante das mais de cinco mil e quinhentas cidades foi classificada por meio de

interpolação de dados. Ainda, o limite geográfico de cada zona foi estabelecido com base na Carta Bioclimática de Givoni e nas Planilhas de Mahoney, dando origem às zonas propostas, que, como resultado, apresentaram baixa homogeneidade climática e em um insuficiente número total de zonas para refletir a diversidade climática brasileira (RORIZ, 2012). Diante dos apontamentos, foram publicadas pelo LabEEE/UFSC, entre 2012 e 2014, cinco propostas de revisão da NBR 15220-3.

Divulgada já em janeiro de 2012, a Proposta 1 – “Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro” – conta com três grupos de análise. No Grupo 1, 610 municípios brasileiros foram avaliados, adotando como base os valores de médias mensais de temperaturas mínimas e máximas do ar, captadas por estações meteorológicas do INMET. Os dados do Grupo 2 tiveram como origem os valores de temperaturas mínimas e médias do ar, obtidos por regressão linear múltipla, gerando, posteriormente, as respectivas amplitudes, englobando 4.954 municípios (RORIZ, 2012a).

Já no Grupo 3, o território foi dividido em 233.455 de cerca de 6 km, e os valores foram obtidos por interpolação de dados de temperaturas médias e mínimas do ar dos pontos do território situados fora das sedes municipais, desenvolvidas por meio do programa Surfer-9 (GOLDEN SOFTWARE, 2010), aplicando-se o método Kriging (RORIZ, 2012a). A Proposta 1 apresentou aspectos positivos, mas contava com apenas 11% dos municípios brasileiros em 2012, percentual insuficiente para garantir a melhoria da precisão da caracterização climática das zonas.

Assim, em agosto de 2012, foi lançada a Proposta 2 – “Segunda proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil” – de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro, em substituição à Proposta 1. Contando com 1.281 pontos com dados medidos – 671 a mais que a anterior – as estimativas de médias mensais de temperaturas mínimas e máximas do ar foram feitas por meio de dados medidos por satélites da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) a cada grau de latitude e longitude em 1.265 pontos, interpolando os 16 pontos restantes. Outro aspecto aperfeiçoado na Proposta 2 foi a compatibilização entre dados medidos em diferentes períodos, por meio de um método de identificação das taxas anuais de variação das temperaturas típicas de cada região do

Brasil, considerando o fenômeno nomeado como “Mudanças Climáticas Globais” (RORIZ, 2012b).

Visando à melhoria e substituição da Proposta 2, lançou-se, em novembro de 2013, a Proposta 3 – “Classificação de climas do Brasil – versão 2” –, que contava, agora, com novas fontes de dados, além de dados de 1.513 municípios – 232 a mais que a proposta anterior. Foram incluídos, na Proposta 3, 230 cidades de outros países sul-americanos, que contavam com dados significantes para o processo de interpolação dos mapas climáticos resultantes (RORIZ, 2013a).

Foi divulgada, ainda em novembro de 2013, a Proposta 4 – “Classificação de climas do Brasil – versão 2.1” –, que apresentava algumas diferenças em relação à anterior, como: a exclusão de dois municípios por repetição; o arredondamento (em meio grau) de valores de médias mensais de temperaturas mínimas e máximas do ar; a adoção de quatro intervalos de temperatura média anual; e a permanência dos valores de intervalos para a classificação dos climas – em função da amplitude média anual e dos desvios padrão de temperatura e amplitude – próximos às temperaturas medianas.

Logo, por meio da correção, sobretudo, de dados matemáticos, a Proposta 4 resultou em novos critérios e resultados de classificação dos climas (RORIZ, 2013b). Vale ressaltar que, devido ao curto espaço temporal de estabelecimento das Propostas 2 e 3, alguns autores, como Carlo e Amorim (2017) desconsideram a existência destas revisões separadamente, adotando apenas a versão aqui denominada como Proposta 4, por já consistir em um aperfeiçoamento da anterior.

Finalmente, em março de 2014, a Proposta 5 – “Classificação de climas do Brasil – versão 3.0” – foi publicada. Nesta versão final, os arquivos EPW da base da ANTAC e 413 municípios foram considerados, devido à percepção de que seriam necessários para as simulações computacionais previstas na revisão do zoneamento – o que não havia sido feito na Proposta 4, que priorizou as médias obtidas com base em períodos históricos mais longos. A Proposta 5 conta com 1.511 municípios brasileiros – já que dois municípios

foram excluídos na versão anterior – e 226 cidades de outros países sul-americanos (RORIZ, 2014).

A visualização geral da trajetória, desde a proposição inicial até as versões de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro, permite destacar, dentre os fatores determinantes para a classificação do clima nas cidades: a inclusão de um maior número de municípios nas análises, caracterizando um contributo significativo para a compreensão mais individualizada do clima; a consequente minimização dos recursos de análise de dados por interpolação; a inclusão de municípios de países vizinhos, que, ainda que territorialmente independentes do Brasil, exercem uma função importante na compreensão do clima pela adjacência geográfica; e o uso da tecnologia e das simulações computacionais para a avaliação mais precisa dos perfis climáticos dos municípios.

Depreende-se, às vistas da análise das revisões, a melhoria na consistência teórica do mapeamento do clima no território brasileiro e a recategorização dos municípios em zonas de climas mais homogêneos, atribuindo à nova classificação a possibilidade do estabelecimento de diretrizes construtivas mais assertivas que aquelas apresentadas pela NBR 15220-3. O impacto da classificação climática da NBR 15220-3 é majorado, ainda, por consistir na única classificação reconhecida e adaptada para o Brasil. Por isso, sua aplicação não se restringe às habitações de interesse social, e sua metodologia tem sido utilizada para o estudo de outros padrões tipológicos. É importante destacar que as propostas de revisão se limitam à reclassificação dos municípios brasileiros segundo a homogeneidade climática que os representa e não abordam recomendações construtivas para as novas zonas, o que pode ser realizado em trabalhos futuros.

A combinação dos fatores da resolução do projeto arquitetônico e a correta escolha dos sistemas construtivos pode ser determinante no potencial de alcance de um bom desempenho da habitação, propostas arquitetônicas e soluções construtivas inadequadas ao local de implantação da moradia, podem condená-la a um baixo nível de desempenho, que, muitas vezes, não poderá ser contornado posteriormente pela substituição de materiais ou mudança de cortes das fachadas (BRASILEIRO *et al.*, 2016).

As novas propostas de revisão incitadas por Roriz (2012a, 2012b, 2013a, 2013b e 2014) para o zoneamento bioclimático do Brasil constituem uma importante etapa de melhoria dos parâmetros de mapeamento do clima e, conseqüentemente, de estabelecimento de

diretrizes construtivas mais eficazes e compatíveis com o clima local. Ressalta-se, contudo, que, sobretudo devido às mudanças no clima global, aos recursos tecnológicos e dados potencialmente obtidos depois da última publicação, é necessária a revisão e o aperfeiçoamento, também, das versões de revisão, visando ao delineamento mais preciso do clima do Brasil e à confirmação da homogeneidade de sua caracterização.

#### 2.4.1.1 Paredes, coberturas e janelas e a arquitetura bioclimática no Brasil

Na crise do petróleo, da década de 1970, foram iniciadas ações inovadoras, em um nicho global, que visavam à racionalização da energia consumida, também, para a operação das edificações. Selkowitz (1985) e Arasteh (1995), citado por Lamberts, Marinóski e Milbratz (2007) e Nico-Rodrigues (2008, 2015), observam que, neste período, diferentes tipologias de janelas se apresentaram como responsáveis por uma parcela significativa do consumo de energia, o que influenciava diretamente no desempenho térmico e energético das edificações.

Considerando o estudo da relação entre o clima e o corpo humano, definida como Bioclimatologia por Olgyay (1973), os elementos e materiais construtivos empregados na habitação exercem uma função primordial, podendo colaborar para que se possa tirar partido das condições climáticas, visando à obtenção do desempenho térmico adequado (OLGYAY, 1973, LAMBERTS; XAVIER E GOULART, 2016). Para que sejam beneficentemente aproveitados a favor do desempenho de um edifício, é necessário adequar os sistemas construtivos às características do clima de cada região do Brasil, por meio do zoneamento bioclimático.

Dentre os principais componentes que influenciam significativamente no conforto de um indivíduo no ambiente interno das edificações, destacam-se as paredes, as coberturas e as janelas. Quanto às janelas, esta ideia é ratificada por Chow *et al.*, (2009), que explicam que a ventilação natural, proporcionada pelas janelas, é um fator importante para o conforto térmico e pode ser aplicada em diferentes regiões climáticas quando alterados alguns de seus componentes. Dar ao usuário a possibilidade de abrir as janelas e operacionalizá-las também é fundamental, sendo uma das medidas adaptativas mais utilizadas nas edificações (NICOL *et al.*, 1999, RAJA *et al.*, 2001, WONG *et al.*, 2002, WANG *et al.*, 2010, INDRAGANTI, 2010, NICO-RODRIGUES *et al.*, 2015).

Misha e Ramgopal (2013), ainda afirmam que o controle das aberturas é prático, eficiente e pode promover a economia de energia, uma vez que reduz a sensação de abafamento dos usuários, devido ao aumento da velocidade do ar. De acordo com alguns autores, como Ochoa *et al.* (2012), a janela é o elemento da edificação que mais interfere no uso de energia, determinando as condições de conforto dos ocupantes.

Nico-Rodrigues *et al.* (2015), Roetzel (2010), Nico-Rodrigues (2008), Mendonça (2005), e Akutsu e Vittorino (2005) elucidam que as janelas não atuam diretamente no consumo de energia, mas que, enquanto elemento construtivo, a adoção de modelos inadequados pode ter um efeito reverso às funções para qual são definidas. Critérios como: o sistema de abertura e seu dimensionamento; a permeabilidade à ventilação; a possibilidade de operação das janelas; a presença de elementos translúcidos ou transparentes; a localização; a presença de elementos sombreadores; e a visualidade podem constituir ferramentas para a concepção de janelas adequadas ao clima local. Entretanto, os programas habitacionais, como o PMCMV, têm como premissa o baixo investimento na execução das moradias, o que gera a necessidade de ponderar as propostas bioclimáticas e, ao mesmo tempo, a simplificação dos modelos, visando à redução dos custos.

Com o objetivo de auxiliar na concepção projetual das habitações de interesse social, para a melhoria do desempenho das moradias, mesmo não definindo modelos ou materiais, a NBR 15220-3 determina as áreas de abertura mínimas adequadas para cada zona bioclimática do país. A normativa também recomenda que as aberturas sejam sombreadas, evitando a radiação solar direta sobre as janelas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

A NBR 15575 (2013) recomenda que, além das diretrizes da norma 15220-3, para simular um modelo virtual de edificação na ZB8 e verificar seu desempenho térmico, a janela deve estar posicionada na fachada oeste, no verão. É indicado, também, que o elemento sombreador da janela seja capaz de cortar, pelo menos 50% da radiação solar direta, e uma taxa de renovação do volume de ar (1,0 ren/h). Quanto à vida útil, a norma indica que os materiais utilizados nas janelas sejam manuteníveis, e que sejam passíveis de substituição (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Uma área útil de ventilação maior ou igual a 10% da área do piso do cômodo atende às recomendações do RTQ-R (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2010), o que aponta discrepâncias quando comparado à NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Alguns autores, como Dell’Santo (2014), discutem que, sobretudo para habitações multifamiliares, os 40% de área útil de abertura recomendados pela norma brasileira podem se tornar um fator dificultador do projeto, mas que uma área significativa para ventilação natural é um ponto benéfico para o conforto do indivíduo.

Quanto ao formato e componentes das janelas, estudos desenvolvidos por Sobin (1981), destacados por Bittencourt e Cândido (2006) e Nico-Rodrigues (2015), mostram que, dentre as formas mais comuns de janelas – quadradas, retangulares verticais e retangulares horizontais – os modelos retangulares horizontais apresentam o melhor rendimento médio para os diferentes ângulos de incidência do vento, auxiliando na definição do formato das janelas dos modelos propostos.

Ainda, a presença de elementos componentes das janelas pode colaborar para a potencialização do conforto no ambiente, como:

- Venezianas móveis – controle da ventilação;
- Venezianas fixas laterais – ventilação constante;
- Venezianas fixas superiores – ventilação constante (ventilação higiênica); e
- Aberturas de correr – distribuição do fluxo de ar, ventilação de conforto.

Além de estabelecer critérios para a implementação de janelas, a parte 3 da NBR 15220 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) apresenta recomendações para os tipos de materiais de construção compatíveis com o clima de cada região, por meio do enquadramento no intervalo das propriedades térmicas definidas para a zona (Tabela 1).

Tabela 1: Propriedades térmicas de paredes e coberturas para a zona bioclimática 8.

<b>Vedações Externas</b>	<b>Transmitância térmica – U [W/(m<sup>2</sup>.K)]</b>	<b>Atraso térmico – φ Horas</b>	<b>Fator de Calor Solar - FCS</b>
Paredes leves refletoras	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FCS \leq 4,0$
Coberturas leves refletoras	$U \leq 2,30.FT^*$	$\phi \leq 3,3$	$FCS \leq 6,5$

(\*) FT: fator de correção da transmitância aceitável, determinado pela altura do ático ventilado em coberturas na ZB8.

Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005).

Para a ZB8, abre-se a exceção de um valor de transmitância menor que o recomendado, desde que o Fator de Correção (FT), seja aplicado. O FT varia em função da altura da abertura (h) em beirais, com o objetivo de criar um ático ventilado. Para coberturas que

não contam com áticos ventilados ou com forros/lajes, o FT é igual a 1. Para aquelas que contam, o fator de correção pode ser determinado pela Equação 4:

Equação 4: Fator de correção da transmitância térmica.

$$FT = 1,17 - 1,07 \cdot h - 1,04$$

Onde:

FT: fator de correção da transmitância

h: altura da abertura, em dois beirais opostos, em centímetros.

As diretrizes da NBR 15220-3, fundamentadas no zoneamento bioclimático brasileiro, auxiliaram na determinação dos sistemas e materiais aplicados à envoltória dos modelos virtuais. Assim, o conteúdo tratado na abordagem teórica vincula os seguintes contributos à pesquisa:

- Compreensão do contexto histórico de desenvolvimento das habitações de interesse social no Brasil;
- Prospecção da gênese dos padrões construtivos habitacionais brasileiros;
- Aplicação dos índices de conforto mais adequados ao contexto da pesquisa e ao objetivo estabelecido;
- Compreensão das possibilidades projetuais para otimização das habitações de interesse social frente ao panorama das normas internacionais e internacionais que tratam do desempenho termo-energético das edificações;
- Visualização do contexto geral do zoneamento bioclimático brasileiro e levantamento dos principais pontos de sua proposta de revisão.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Seguem descritos, neste capítulo, os procedimentos metodológicos que nortearam o desenvolvimento da pesquisa. Definiu-se, inicialmente, o objeto de estudo, bem como o universo amostral do trabalho. Em seguida, foram levantadas as características tipológicas das edificações, sobretudo para paredes, janelas e coberturas.

Os protótipos foram configurados e, posteriormente, simulados. Os dados obtidos por meio de simulação permitiram a análise do desempenho térmico e da eficiência energética das habitações. A determinação das etapas foi auxiliada pelas pesquisas levantadas na abordagem teórica, cujos resultados corroboraram ao estabelecimento da metodologia de avaliação mais adequada aos questionamentos da pesquisa.

#### 3.1 DEFINIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO, RECORTE E CARACTERIZAÇÃO DOS SÍTIOS

O Brasil tem uma área aproximada de 8.516 km<sup>2</sup>, mede 4.345 km do ponto mais distante ao Norte ao ponto mais distante ao Sul e 4.330 km de Leste a Oeste. Essas características conferem ao país a quinta maior extensão territorial do mundo e a maior da América do Sul (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010).

As proporções continentais do território brasileiro englobam 06 (seis) tipos diferentes de climas, segundo a classificação climática de Köppen (Figura 8), que utiliza as médias da temperatura do ar e da precipitação pluviométrica de 41 estações meteorológicas, no período de 1945 a 1974 (KUNINCHNER; BURIOL, 2001). Os climas classificados são o equatorial, o tropical, o semiárido, o subtropical, o tropical litorâneo e o tropical de altitude (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

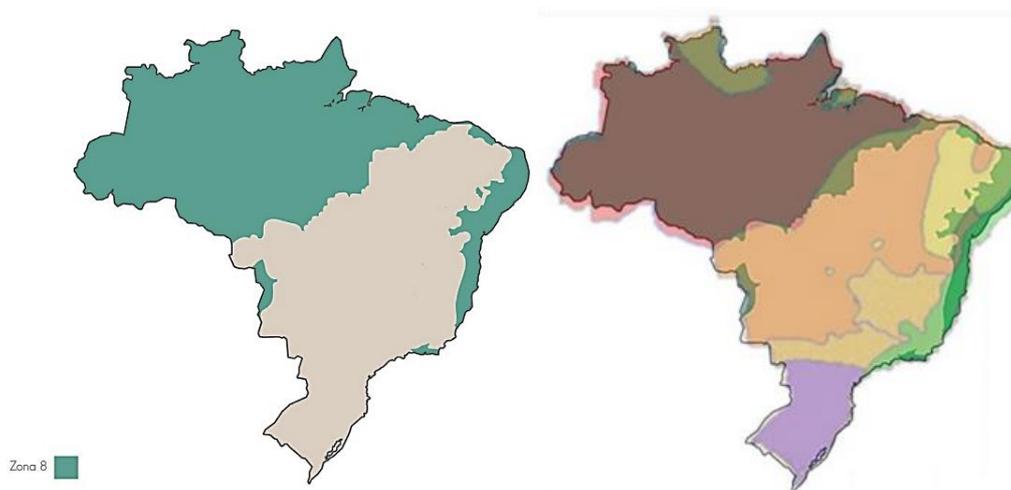
Figura 8: Classificação climática Köppen no território brasileiro.



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Foram definidas as cidades localizadas na Zona Bioclimática 8, adotada para o recorte da pesquisa devido à sua extensão territorial e, também, por sediar a pesquisa, desenvolvida na Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes), localizada em Vitória/ES. A Figura 9 demonstra a ZB8 em relação ao resto do território brasileiro, abarcando 4 tipos diferentes de clima como observado na Figura 8.

Figura 9: Zona Bioclimática 8 no território brasileiro, à esquerda, e Zona Bioclimática 8 sobreposta pela classificação Köppen, à direita.



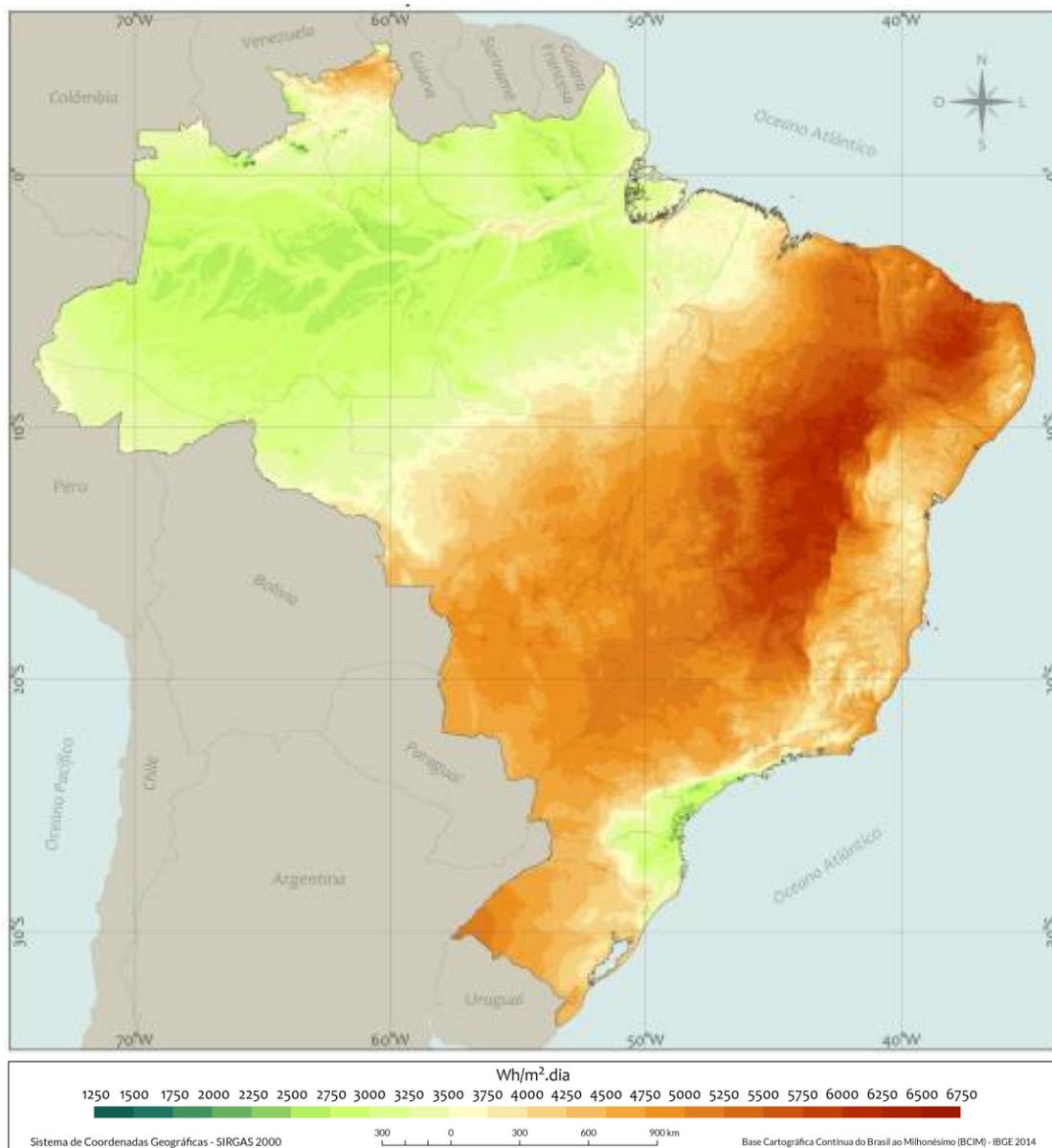
Fonte: Ministério de Minas e Energia (2010), à esquerda, e a autora, adaptado de Lamberts, Dutra e Pereira (2014), à direita.

Das 330 cidades brasileiras classificadas pela NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), 99 (incluindo 15 capitais) – ou seja, cerca de 70% do total – pertencem à ZB8. O novo zoneamento bioclimático (Proposta 5) classifica 1511 municípios e a área abrangida por esta ZB ainda se apresenta proporcionalmente maior que as outras (RORIZ, 2014), contando com cidades em

diferentes posições geográficas no território nacional. Para que o comportamento climático das cidades da ZB8 seja comparado, estabelecer sistemas construtivos que permitam verificar o desempenho de uma edificação amplamente replicada em diferentes cidades da Zona 8 caracteriza uma ferramenta importante, ratificando a abordagem da pesquisa.

É fundamental, portanto, que no processo projetual, sobretudo das habitações de interesse social, sejam consideradas as particularidades climáticas das cidades. Como exemplificado na Figura 10 (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2017), a radiação solar direta normal incide em diferentes intensidades nas cidades brasileiras, variando segundo a posição geográfica de cada local. Sabendo que a radiação constitui um fator determinante nas condições de conforto do usuário e desempenho térmico de uma edificação, depreende-se que, além da latitude, da longitude, da temperatura do ar, do índice pluviométrico e da ventilação, a intensidade da radiação solar também constituirá um fator determinante na análise do desempenho termo-energético dos municípios pertencentes ao recorte da pesquisa. Os valores de médias anuais total diário de radiação direta normal para as cidades do recorte amostral foram apresentados no Apêndice H.

Figura 10: Total diário da radiação direta normal - Média anual.



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2019).

Para definir as cidades – contidas na ZB8 – pertencentes ao recorte amostral do trabalho, estabeleceram-se **cinco critérios** fundamentais.

O **1º critério** restringiu a análise às cidades pertencentes à zona bioclimática 8. Este requisito se justificou, pela abrangência territorial, pelo número de cidades, pelos aspectos apontados anteriormente, e, ainda, por ser a zona bioclimática da cidade de Vitória, que sedia a pesquisa.

O **2º critério** apontou para as cidades da ZB8 direta e intensamente impactadas pelas mudanças climáticas nas próximas décadas, sobretudo de acordo com o Plano Nacional

de Adaptação às Mudanças do Clima (2016). As alterações no clima, em âmbito mundial, estão entre os principais desafios a serem enfrentados pela sociedade do século XXI, sobretudo pelas consequências que devem causar ao meio ambiente, à economia e à saúde humana. Assim, diversos autores têm desenvolvido estudos abordando a preparação das edificações para o clima futuro (BELCHER; HACKER; POWELL, 2005; CASAGRANDE; ALVAREZ, 2013; MACHADO, 2019).

O **3º critério** teve como premissa a posição das cidades no território brasileiro, sabendo que as características geográficas influenciam significativamente no clima e, conseqüentemente, no conforto ambiental. Por isso, para a seleção das cidades foram observadas a latitude, a longitude e a altitude das cidades (NIMER, 1979), priorizando os locais que se apresentassem nos extremos – Norte, Sul, Leste e Oeste – (dentro da ZB8), desde que também atendessem aos demais requisitos. Os pontos de latitude e longitude extremas se tornaram significativos pela possibilidade de comparar a interferência das variações geográficas no clima, dentro da mesma zona bioclimática.

Para o **4º critério**, foram selecionadas cidades que tivessem arquivos climáticos do tipo *Test Reference Year* – TRY (na extensão .epw), compatíveis com *softwares* de simulação computacional, como o EnergyPlus, objetivando a análise por simulação.

O **5º critério** restringiu a análise às capitais brasileiras que atendessem aos quesitos anteriores. Além da relevância socioeconômica, as capitais brasileiras contam com grandes populações urbanas e um significativo nível de adensamento. Por isso, é frequente que os conjuntos de habitações unifamiliares de interesse social sejam implantados em zonas periféricas dentro ou na região metropolitana das capitais. Dessa forma, as condições da relação entre o clima e o conforto térmico, nesses municípios, é passível de afetar um número significativo de pessoas, tornando-o relevante como fator de escolha das localidades consideradas pelo universo da pesquisa.

As cidades selecionadas atenderam aos cinco critérios de seleção, compondo um grupo caracteristicamente homogêneo em relação aos parâmetros estabelecidos. A localização geográfica dos municípios condicionou características físico geográficas específicas, que influenciam no clima, permitindo a avaliação comparativa das cidades dentro da mesma Zona Bioclimática

## 3.2 DEFINIÇÃO DOS MODELOS

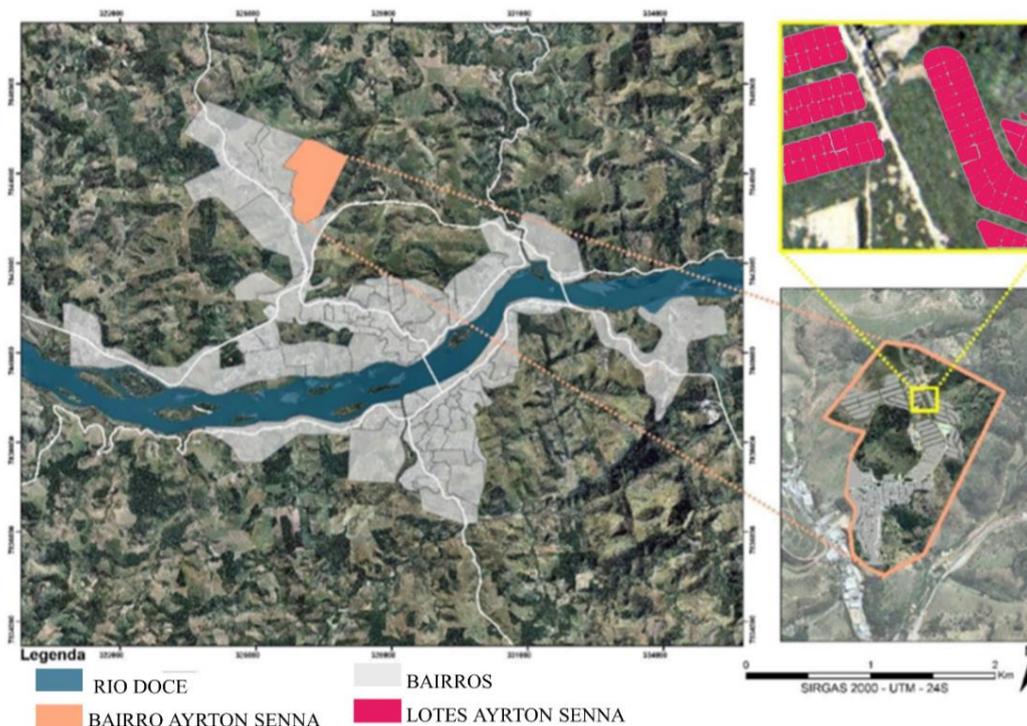
O desempenho das unidades habitacionais é influenciado pelas condições do entorno, além das características tipológicas da moradia, como o *layout* e os materiais que a constituem. No caso das habitações de interesse social, que são ventiladas naturalmente, os elementos construtivos são determinantes nas trocas térmicas com o meio externo. Entretanto, as habitações de interesse social, sobretudo unifamiliares, têm, frequentemente, suas tipologias, sistemas construtivos e materiais amplamente replicados em território brasileiro, sem que haja estudos para a individualização e adequação das moradias ao contexto climático do local de inserção (COSTA, 2011; LOURA; ASSIS; BASTOS, 2011; MALTA; AMORIM, 2018).

Com o objetivo de verificar a diferença do comportamento de uma mesma moradia popular em diferentes cidades da Zona Bioclimática 8, foram definidos – e, posteriormente, simulados – modelos de habitação de interesse social, correspondentes a uma tipologia frequente do minha PMCMV, denominada, nesta pesquisa, como ‘Modelo Original’ (MO), e suas variações (modelos) parametrizadas, nomeadas como ‘Protótipos Habitacionais’ (PHs), que designam os objetos de estudo da pesquisa.

### 3.2.1 Parâmetros para a definição do Modelo Original - MO

Os modelos virtuais tiveram como matriz uma HIS real, que correspondeu a uma moradia unifamiliar pertencente ao Conjunto Habitacional Ayrton Sena (CHAS) – no bairro Ayrton Senna – na cidade de Colatina/ES (Figura 11). Este ‘Modelo Original’ (MO), que corresponde a um arquétipo do PMCMV, reproduzido em outros conjuntos do mesmo município e em diversas regiões do Brasil, foi o segundo entregue na cidade, em 2012, uma medida que auxiliou na redução do *déficit* habitacional capixaba em cerca de 20% (FOLHA, 2012). As habitações de interesse social do CHAS foram adotadas como referência já que, além de amplamente replicadas em território nacional, estão situadas no estado que sedia a pesquisa.

Figura 11: Mapa de localização geográfica do bairro Ayrton Senna e do Conjunto Habitacional Ayrton Senna, onde se localizam as HIS selecionadas como base para os modelos virtuais.



Fonte: a autora, adaptado de Google Earth.

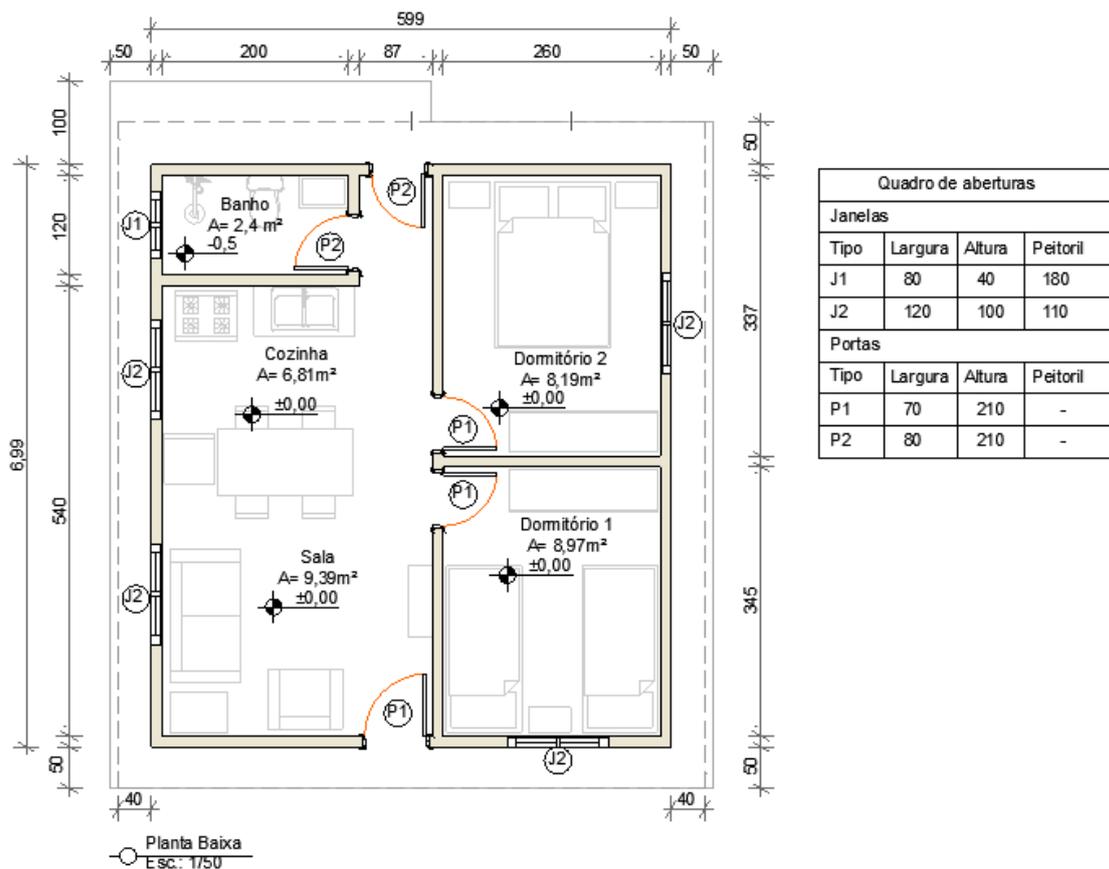
A tipologia e a caracterização construtiva da moradia, apresentadas nas Figuras 12 e 13, forneceram subsídios, principalmente, para a definição dos materiais que seriam especificados para vedações, janelas e coberturas, além do dimensionamento do MO. A tipologia construtiva e os materiais caracterizam um sistema amplamente replicado em habitações sociais no território nacional.

Figura 12: Tipologia de habitação de interesse social do CHAS.



Fonte: À esquerda, Construtora Arpa (2012) e à direita, acervo da pesquisa.

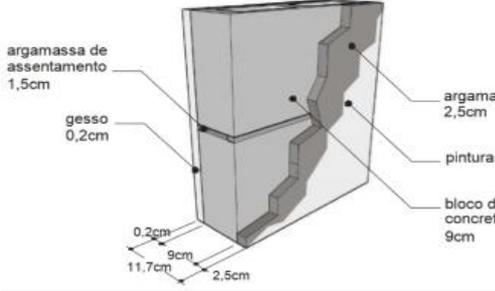
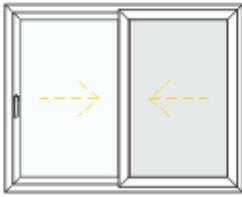
Figura 13: Planta das moradias de interesse social do CHAS.



Fonte: a autora, adaptado de Caixa Econômica Federal (2010).

Quanto ao levantamento dos sistemas construtivos com base na habitação do CHAS, ressalta-se a afirmação apontada por Lamberts *et al.* (2014), de que, quando não há dados suficientes para a verificação, ao tratar de uma determinada vedação, devem ser consideradas as propriedades dos elementos mais similares ao objeto inicial de análise. Por isso, para as paredes e coberturas, foram considerados os materiais disponíveis no Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2013) de características mais semelhantes possíveis à estrutura original das casas (Quadro 2).

Quadro 2: Caracterização dos componentes de vedações e janelas do MO

Vedações	Materiais adotados – características	
Parede Original (PO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0cm)</li> <li>- Argamassa externa</li> <li>- Pintura externa</li> <li>- Gesso interno<sup>1</sup></li> </ul>	
Cobertura Original (CO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Telha isotérmica trapezoidal sem forro ou laje</li> <li>- Alumínio branco<sup>2</sup></li> <li>- Núcleo isolante (30mm)<sup>1</sup> em Poliuretano (PUR)<sup>2</sup></li> </ul>	
Janela Original (JO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esquadrias de alumínio anodizado fosco</li> <li>- Duas folhas de correr</li> <li>- Fechamento em vidro incolor 4mm<sup>1</sup></li> <li>- Janela 100% aberta &gt; área útil de ventilação: 50%</li> </ul>	

<sup>1</sup> Espessura não informada projetualmente

<sup>2</sup> Kigspan Isoeste (2019)

Fonte: a autora, adaptado de Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005) e Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2013).

Elaborou-se um comparativo (Tabela 2) entre as áreas totais de todos os ambientes de longa permanência do MO – Sala, Dormitório 1 e Dormitório 2, selecionados para a análise termo-energética – e suas respectivas áreas úteis de ventilação, proporcionadas pelas janelas, em relação às áreas de piso dos ambientes, visando à avaliação do atendimento ou não da área mínima de abertura – em relação à área de piso do cômodo – recomendada pela NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), igual ou superior a 40%.

Tabela 2: Dimensionamento das janelas do Modelo Original (MO).

Cômodo	Área de piso	Qtd. janelas	Janelas (A x L / peit.) <sup>1</sup>	Área da janela em relação à área do piso	Área útil de ventilação	Área útil de ventilação NBR 15220-3 <sup>2</sup> (40% da área do piso)
Sala	9,39 m <sup>2</sup>	1	1 x 1,2 m / 1,1 m	1,2 m <sup>2</sup> = (12,78%)	0,6 m <sup>2</sup> = (6,39%)	3,76 m <sup>2</sup>
Cozinha <sup>3</sup>	6,41 m <sup>2</sup>	1	1 x 1,2 m / 1,1 m	1,2 m <sup>2</sup> = (18,72%)	0,6 m <sup>2</sup> = (9,36%)	2,56 m <sup>2</sup>
Dormitório 1 (frente)	8,97 m <sup>2</sup>	1	1 x 1,2 m / 1,1 m	1,2 m <sup>2</sup> = (13,38%)	0,6 m <sup>2</sup> = (6,69%)	3,59 m <sup>2</sup>
Dormitório 2 (fundos)	8,19 m <sup>2</sup>	1	1 x 1,2 m / 1,1 m	1,2 m <sup>2</sup> = (14,65%)	0,6 m <sup>2</sup> = (7,33%)	3,28 m <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dimensões referentes às alturas, larguras e peitoris das janelas, respectivamente. Apresentam área útil de ventilação = 50% (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2010).

<sup>2</sup> Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005).

<sup>3</sup> Apesar de não caracterizar um ambiente de longa permanência pela NBR 15220-3, avaliou-se a cozinha, já que este ambiente – de dimensões reduzidas – está integrado à sala.

Fonte: a autora.

Observa-se, por meio da Tabela 2, que nenhum dos ambientes de permanência prolongada atende à recomendação da NBR 15220-3. Nota-se, portanto, a inadequação das janelas das habitações do CHAS frente à única normativa voltada à melhoria do desempenho térmico nas habitações de interesse social.

Contudo, a constatação do não atendimento à área útil de ventilação maior ou igual a 40% da área do piso do cômodo de permanência prolongada não caracteriza, por si, um fator absoluto desqualificante ao desempenho térmico das moradias, e não pode ser avaliada isoladamente, como tratado na abordagem teórica da pesquisa por outras normativas, como a NBR 15575 e o RTQ-R, que questionam o percentual elevado de área de abertura, atribuindo a este quesito valores consideravelmente menores.

### 3.2.2 Parâmetros para a definição dos Protótipos Habitacionais – PHs

Para verificar o comportamento de um mesmo modelo unifamiliar do PMCMV em diferentes cidades da Zona Bioclimática 8, foram determinadas parametrizações, a partir do MO, que tiveram como premissa a adequação das paredes, janelas e cobertura,

utilizado materiais cujas propriedades térmicas – sobretudo a transmitância térmica – correspondessem às recomendações da NBR 15220-3 e, no caso das janelas, às características de desempenho abordadas por Nico-Rodrigues (2008, 2015) e Nico-Rodrigues *et al.* (2015). O objetivo da parametrização foi permitir a avaliação da influência dos mesmos elementos de vedações e janelas, dentro de parâmetros normativamente recomendados (e, portanto, teoricamente adequados), em diferentes cidades da ZB8.

Assim, não foram realizadas alterações quanto às dimensões básicas dos cômodos e quanto ao *layout* da habitação, adequando-os, apenas, para a implantação de novos conjuntos parametrizados estabeleceram-se outras especificações de paredes, janelas e cobertura, segundo os materiais estabelecidos pela NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). Foram definidos 4 critérios para a seleção dos materiais dos PHs: menores valores de investimento em materiais; paredes e coberturas leves e refletoras (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005); janelas com possibilidade de controle da ventilação (NICO-RODRIGUES *et al.*, 2015); e janelas com venezianas (NICO-RODRIGUES *et al.*, 2015).

### 3.3 MODELAGEM E CONFIGURAÇÕES DOS MODELOS HABITACIONAIS

A revisão bibliográfica corroborou para que a simulação computacional consistisse em um instrumento válido e aplicável a esta pesquisa, sendo utilizada por diversos pesquisadores nacionais e internacionais, e recomendada por diversas normativas, como pela NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), pelo RTQ-R (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2010), pela ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING, 2004) e pela EN 15251 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2007), além de permitir o teste da aplicabilidade das estratégias bioclimáticas da NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), que condicionam o desenvolvimento dos modelos virtuais.

A simulação computacional consiste na inserção de informações e valores que reproduzam, em meio virtual, as condições reais às quais a habitação está submetida, é

importante a definição dos parâmetros para que sejam obtidas respostas compatíveis com a metodologia de avaliação do desempenho termo-energético, aumentando a confiabilidade. Os principais grupos de informações que devem ser detalhadamente inseridas no programa são: a modelagem; dados do usuário (horários de ocupação dos ambientes, vestimentas, atividades realizadas, entre outros); dados da edificação (propriedades térmicas dos materiais, manipulação das aberturas e equipamentos); e o arquivo climático. Tendo determinado os fatores acima listados, a simulação foi feita, utilizando o arquivo climático da cidade, originando os dados de saída requeridos do programa.

Para verificar o desempenho das habitações de interesse social, utilizou-se o *software EnergyPlus*, v. 8.9.0, validado pela *Standard 140, da American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers* (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2001), que possibilita calcular, em valores numéricos, os níveis de desempenho térmico da edificação. O uso do programa, justificado anteriormente, visa à obtenção, como dados de saída, de valores que permitam o cálculo da temperatura operativa e, conseqüentemente, dos graus-hora de resfriamento recomendados como parâmetros para a análise do conforto térmico (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2004; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2010; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013;) e assim, avaliar GhDT, FDT (SICURELLA; EVOLA; WURTZ, 2012, NICO-RODRIGUES, 2015), demonstrando um panorama da relação entre as características climáticas local e o desempenho da edificação.

Para a **construção da geometria** do MO e dos PHs, cada ambiente foi considerado como uma zona térmica independente. Os materiais utilizados, cujas características foram anteriormente descritas, foram configurados, no *plug-in Euclid*, inserindo espessuras dos componentes e valores de propriedades térmicas.

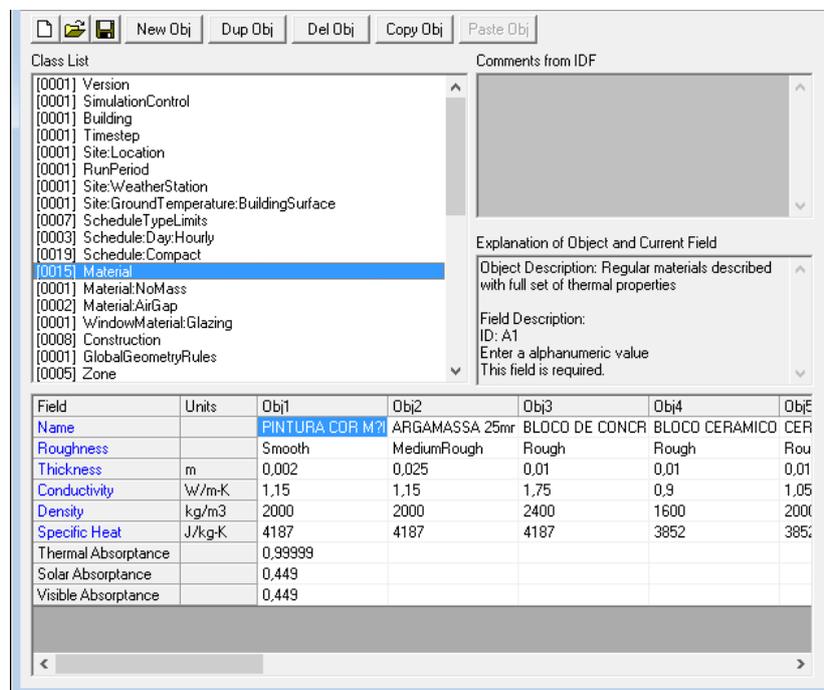
A **modelagem** teve como recurso o *plug-in Euclid* (BIG LADDER, 2018), que permitiu a construção por meio do *software SketchUp*, possibilitando exportar para o *EnergyPlus*. É importante ressaltar que, apesar de usar o *SketchUp* versão 2017 (TRIMBLE NAVIGATION, 2017) como incubadora para a modelagem, o *Euclid* conta com recursos diferentes, possibilitando leitura no *EnergyPlus*, não sendo possível somente com as ferramentas do SketchUp.

Para a modelagem, as configurações foram feitas por meio das abas *New EnergyPlus Zone*, para as zonas térmicas correspondentes aos cômodos e à cobertura, e *New EnergyPlus Shading Group*, no caso dos beirais, que permitiram definir as paredes, a cobertura e o sombreamento.

As **configurações do modelo** foram acessadas nos ícones *Zone Loads* e *Show Object Info Window*, dentro do próprio *Sketchup*, ou externamente, por meio do editor de arquivos IDF (IDF Editor). Pode-se, também, configurar as condições de ocupação do modelo virtual. Dentre as variáveis configuradas estão: o tipo e horários de ocupação; horários de abertura das janelas; atividades; dados do metabolismo; e utilização de equipamentos eletrodomésticos, como televisões.

Os modelos, depois de configurados, foram simulados na extensão *EP- Launch* (Figura 14), fornecida junto com o instalador do *EnergyPlus*. Outro aspecto que deve ser pontuado é que as versões do *Sketchup*, do *EnergyPlus* e de seus *plug-ins*, como o *Euclid*, devem ser compatíveis, como apontado pelo DOE (MELO; WESTPHAL; MATOS, 2009; AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2019).

Figura 14: Interface do EP-Launch do EnergyPlus.

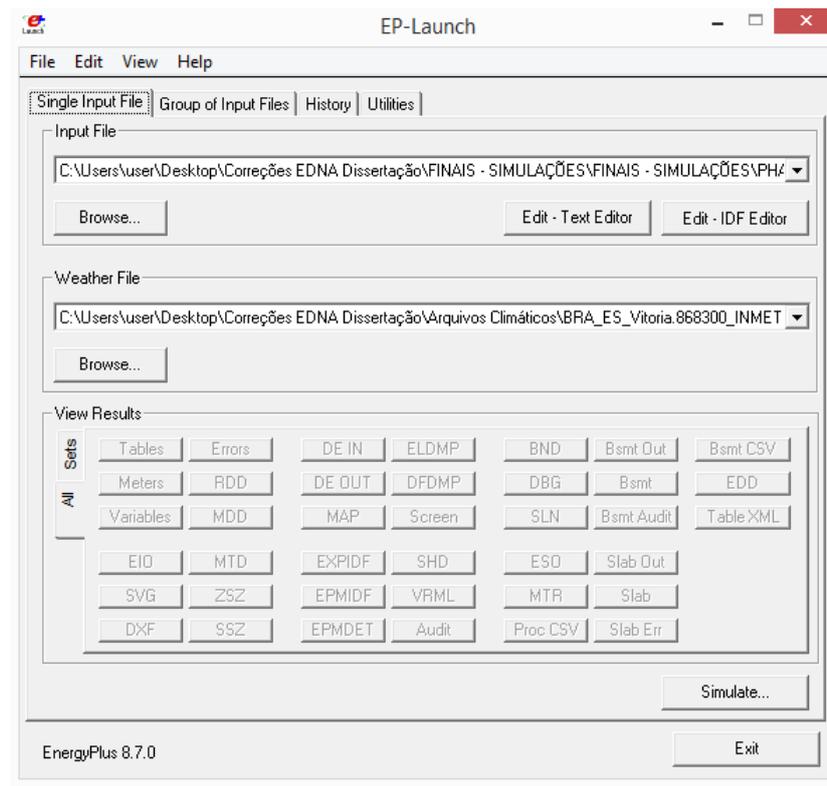


Fonte: a autora, adaptado de EnergyPlus (2019).

Como as unidades habitacionais de interesse social não são climatizadas artificialmente, foi necessária a configuração dos parâmetros de ventilação natural, como as taxas de infiltração de fluxo de ar – calculadas com base nas dimensões das aberturas e frestas – das programações de operação das janelas. As informações inseridas seguiram as recomendações do ‘Manual de Simulação Computacional de Edifícios Naturalmente Ventilados no Programa *EnergyPlus*’ (LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2019). As variáveis e dados de entrada inseridos para a simulação foram descritos no item 3.3.1.

Para a **configuração do sítio**, foram utilizados arquivos climáticos no formato .EPW, compatíveis com o *EnergyPlus* e inseridos pelo *EP-Launch* do programa (Figura 17). Os arquivos utilizados tiveram como referencial o Ano Climático de Referência, que consiste em dados climáticos horários, para as 8.760 horas do ano, apresentados em formato padronizado, para simulação de desempenho térmico de edificações (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998; DELL’SANTO, 2014). Ainda que a edificação não conte com grande área de contato com o solo e não tenha pisos aterrados ou subterrâneos, como abordado pelo RTQ-R (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2010) e por Venâncio (2009), para a pesquisa, a temperatura do solo foi simulada pelo *plug-in Slab*, também compatível com o *EnergyPlus* (LABOTATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2013).

Figura 15: Inserção do arquivo climático no EnergyPlus.



Fonte: Adaptado de EnergyPlus (2019).

Os arquivos TRY das cidades foram obtidos no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Santa Catarina – LABEED/UFSC.

## 3.4 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO

### 3.4.1 Desempenho térmico

O *EnergyPlus* é capaz de fornecer os dados de saída em diferentes modelos de visualização, como gráficos ou planilhas. Foram solicitadas, como dados de saída, planilhas contendo os valores de Temperatura Operativa horária de cada modelo. Optou-se pela análise por meio da Temperatura Operativa, por consistir na troca de calor teórica, criada para resumir todas as trocas de calor a que um corpo seria submetido em um ambiente real, considerando somente uma temperatura homogênea (LAMBERTS; XAVIER; GOULART, 2016), este parâmetro se aproxima das condições reais de conforto às quais estaria submetido um ocupante da habitação. Utilizou-se, como

referencial, o Modelo de Conforto Adaptativo detalhado no item 2.3.1, adotando a aceitabilidade térmica de 90% (BRAGER; DEAR, 1998; NICOL; HUMPHREYS, 2010; AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2014).

Para a análise dos resultados de temperatura operativa, considerando o período de simulação de um ano, foram estabelecidos dois indicadores de conforto térmico. O primeiro, dos Graus-horas de desconforto térmico (GhDT), é obtido quando a temperatura operativa supera a temperatura estabelecida no intervalo de conforto. O segundo, da Frequência de Desconforto Térmico (FDT), que demonstrou a frequência de ocorrência do desconforto em cada contexto, considerando, percentualmente, o período de análise. O FDT considerado foi de até 100% sendo avaliados períodos diários (24 horas) e por estação. As Equações 5 e 6 representam a simplificação da determinação do GhDT e do FDT.

Equação 5: Cálculo dos Graus-hora de Resfriamento.

$$\text{GhDT} = \sum (T_o - [T_n + 2,5^\circ\text{C}])$$

Onde:

GhDT: Graus-hora de desconforto térmico por calor

To: Temperatura operativa horária

Tn: Temperatura de neutra

2,5°C: margem de conforto para 90% de aceitabilidade da ASHRAE 55 (2010).

Equação 6: Cálculo do FDT.

$$\text{FDT} = \frac{\sum \text{GhDT}}{24 \text{ horas}}$$

Onde:

FDT: Frequência de desconforto térmico (%)

GhDT: Graus-hora de desconforto térmico por calor

24 horas: análises diárias

Fonte: Nico-Rodrigues *et al.* (2015).

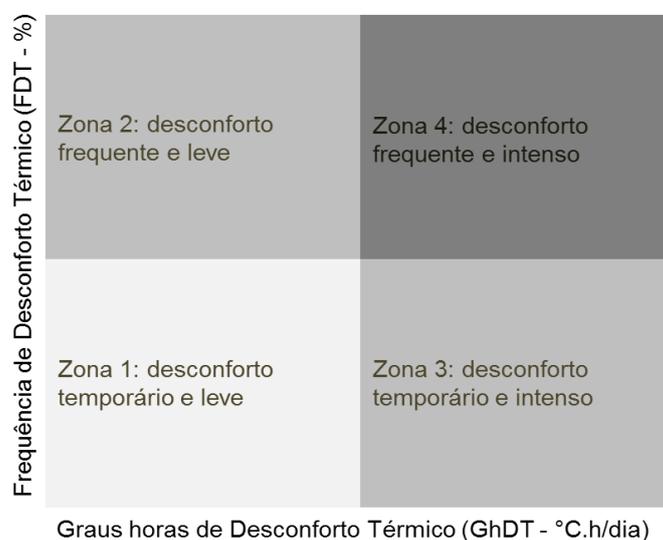
A análise foi por método comparativo entre o MO e os PHs. Pautada no quantitativo de desconforto térmico vinculado a cada modelo original ou protótipo habitacional, durante cada mês do ano, a análise dos resultados buscou a compreensão da possibilidade de melhoria no desempenho térmico do MO por meio das alterações propostas pelos PHs, verificando as condições de desempenho dos ambientes, objetivando o conforto térmico.

O método de análise da relação entre o GhDT e o FDT teve como fundamentação a metodologia de avaliação adotada por Nico-Rodrigues *et al.* (2015), Negreiros e Pedrini

(2011), Souza, Amparo e Gomes (2011), entre outros, considerando a ventilação natural como meio de resfriamento que corrobora à obtenção do conforto térmico.

Os resultados diários obtidos para o GhDT e FDT foram plotados no diagrama de fluutuabilidade (NICO-RODRIGUES *et al.*, 2015), que relaciona os resultados em um gráfico de dispersão dividido em quatro quadrantes (Zonas 1 a 4), obtendo a avaliação da frequência – em níveis frequente e temporário –, e as condições de intensidade dos graus-hora – em níveis leve a intenso –, sendo a melhor situação aquela que converge para a origem (Figura 16).

Figura 16: Diagrama de fluutuabilidade dos índices FDT e GhDT.



Fonte: Nico-Rodrigues *et al.* (2015)

Tendo como base os dados de saída do MO, foram estabelecidos procedimentos de identificação dos cenários de pior desempenho térmico para cada cidade. Assim, visando à definição do cenário de simulação de cada PH, elaborados para as cidades contidas no recorte amostral, foram adotados os seguintes procedimentos:

- 1º: MO foi simulado para as cidades analisadas, considerando as quatro orientações – para a fachada frontal – e separadas por estações do ano;
- 2º: Avaliou-se o  $\sum$ GhDT de cada ambiente do MO (sala, dormitório 1 e dormitório 2), identificando o pior desempenho térmico, ou seja, o maior  $\sum$ GhDT, por orientação;
- 3º: A orientação com o maior  $\sum$ GhDT de cada ambiente do MO, resultou na orientação de referência para os PHs; e

4º: O  $\sum GhDT$  de cada PH, para cada cidade, foi comparado ao seu respectivo MO, permitindo a visualização do comportamento de cada parametrização em cada local do recorte amostral.

A análise dos cenários de simulação, por meio do  $\sum GhDT$ , permitiu a visualização dos protótipos de melhor e pior desempenho para cada cidade. A avaliação da eficiência energética foi para o período de um ano, apresentando os resultados por estação do ano.

O PH de menor  $\sum GhDT$  de cada cidade, ou seja, aquele com menor quantidade de graus-horas de desconforto térmico, consistiu no protótipo habitacional com o desempenho térmico mais satisfatório. Assim, por meio da avaliação de desempenho térmico das habitações, obteve-se o GhDT e o FDT de cada cenário e a plotagem dos indicadores no diagrama de fluabilidade auxiliaram na compreensão da frequência e da intensidade de cada análise.

### **3.4.2 Eficiência energética**

O protótipo habitacional com o melhor desempenho térmico para cada cidade, definido pelo método de avaliação do desempenho térmico, foi comparado com o MO correspondente. A avaliação da eficiência energética foi fundamentada na quantidade de horas em que houve desconforto ( $\sum GhDT$ ) no modelo e no protótipo de melhor desempenho para cada cidade, o que permitiu depreender a frequência da necessidade de aparelhos eletrodomésticos para o resfriamento, ressaltando que, em habitações de interesse social, há improbabilidade de uso de aparelhos de ar condicionado, considerando-se, portanto, apenas ventiladores.

Considerou-se, portanto, um aparelho ventilador para cada ambiente de longa permanência, totalizando três aparelhos por moradia, que seriam acionados quando houvesse desconforto térmico. O GhDT permitiu inferir a quantidade de horas, por mês e por estação do ano, em que seria necessária a utilização dos ventiladores para o resfriamento mecânico em cada ambiente de longa permanência.

Deste modo, pode-se avaliar a frequência do consumo adicional de energia elétrica vinculado à operação dos ventiladores, indicando quais protótipos habitacionais foram mais eficientes energeticamente. O aumento da demanda por energia elétrica, calculada em kWh (ELETROBRÁS, 2018), está diretamente ligado aos custos das contas de energia elétrica, arcados pelos moradores. Pode-se inferir, então, além do custo de operação dos

ventiladores para a manutenção do conforto dos moradores, qual o potencial de redução de custos de cada PH em relação ao seu respectivo MO.

Para definir a quantidade de kWh necessários para a manutenção da temperatura de conforto térmico, considerou-se o somatório das horas de desconforto térmico ao longo dos 365 dias do ano. Estabeleceu-se o uso de ventiladores de mesa, que contam com os menores valores de consumo definidos pela Tabela de Estimativas de Consumo Médio Mensal de Eletrodomésticos (ELETROBRAS, 2015), juntamente com o Programa Nacional de Conservação Elétrica (PROCEL, 2016).

A análise da eficiência energética do MO e dos PHs teve como base os prováveis consumos médios mensais, em kWh, estimando-se 30 dias de uso por mês, durante 8h por dia, que trazem um consumo mensal médio de 17,280 kWh, resultando no valor de 0,072 kW consumidos pelo ventilador a cada hora de utilização (ELETROBRAS, 2015). O consumo energético final foi determinado pela multiplicação do valor de kWh pela quantidade de horas de desconforto, somada às tarifas aplicadas a cada município do recorte amostral.

Quanto aos dados das bandeiras tarifárias das distribuidoras de energia elétrica, estabelecidas pela ANEEL (2019), utilizou-se como base de cálculo a bandeira verde, aplicada quando há condições favoráveis de geração de energia e, por isso, a tarifa não sofre nenhum acréscimo monetário. Ainda que apenas cinco meses de 2019 (janeiro, fevereiro, março, abril e junho) tenham apresentado bandeira verde, este referencial foi adotado, já que a disponibilidade dos recursos naturais é variável e o objetivo da avaliação de custos é a estimativa global da base de consumo adicional, associada ao uso dos ventiladores na habitação.

Além dos valores das bandeiras tarifárias, foram considerados os impostos (tributos) do Programa de Integração Social - PIS; o Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público - PASEP; e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social - COFINS, que sofrem variação mensal (foram considerados os meses de janeiro a dezembro de 2019). Por tratar do subgrupo B1 – Baixa Renda, em que se enquadram as habitações de interesse social, embasado pelo Convênio ICMS (2015), o Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços – ICMS, que tem o valor fixo de 25%, foi desconsiderado para o cálculo (CONFAZ, 2015).

Portanto, os custos de operação dos ventiladores para a manutenção da temperatura de conforto no PH foram comparados ao consumo deste aparelho no MO, adotando como referência a implantação que proporciona o pior desempenho térmico ao MO. Este procedimento teve como objetivo, a análise do impacto proporcional deste aparelho no consumo de energia da edificação e, ainda, a comparação entre a economia de energia proporcionada pelas alterações na habitação, caracterizadas pelo PH, frente ao custo de implementação dos sistemas propostos.

A Equação 7 representa o cálculo da Tarifa com tributos. O valor obtido, é, então, multiplicado pela quantidade de kWh consumidos, como mostrado na Equação 8 (COSTALONGA *et al.*, 2017).

Equação 7: Tarifas de energia com tributos.

$$\text{Tarifa com tributos} = \frac{\text{Tarifa ANEEL}}{1 - \frac{\text{Tributos \%}}{100}}$$

Onde:

$\text{Tarifa ANEEL} = \text{TUSD} + \text{TE (R\$)}$ ;

$\text{Tributos} = \text{PIS/PASEP} + \text{COFINS} + \text{ICMS (\%)}$ ;

Fonte: ANEEL (2019).

Equação 8: Valor final da fatura de energia elétrica.

$$\text{Valor da fatura} = \text{Tarifa com tributos (R\$)} \times \text{Consumo (kWh)}$$

Fonte: Costalonga *et al.* (2017).

### 3.5 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

O estágio de estudo da viabilidade constitui uma ferramenta importante, que colabora para as decisões projetuais, por meio da avaliação das vantagens e desvantagens de uma proposta, que só é vantajosa quando é realista, viável e permite o aperfeiçoamento dos processos envolvidos (BROM, 2007). O estudo de viabilidade pode abarcar diversos nichos, como o operacional, o social, o tecnológico e o econômico. Para esta pesquisa, será considerado o estudo de viabilidade econômica das propostas implementadas nos protótipos habitacionais.

Como última etapa de análise dos protótipos, foram avaliados os custos de implementação das alterações dos materiais das paredes, coberturas e janelas propostos com valores fundamentados nos dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI – e do Instituto de Obras Públicas dos estados do recorte amostral, comparando o valor do investimento para sua aplicação *versus* o intervalo de tempo necessário para que ocorra o abatimento – proveniente da redução do consumo de energia.

A Faixa de Renda 1,5 do PMCMV – ou seja, aquela que conta com renda mensal familiar de até R\$ 2.600,00 (CEF, 2010) – foi adotada como referencial para a análise da viabilidade econômica. Optou-se pela utilização da Faixa 1,5 por ser o segundo grupo de renda máxima familiar mais baixa, superando, apenas, a Faixa 1 – que conta com renda de até R\$ 1.800,00. Contudo, de acordo com entrevista a funcionários da Caixa Econômica Federal, a Faixa 1 não tem tido liberação para novos empreendimentos. Para a mensuração dos investimentos e sua viabilidade, foram considerados dois indicadores econômicos principais: Valor Presente Líquido – VPL e o *Payback* (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2010, PUCCINI, 2011).

### **VPL – Valor Presente Líquido**

É a diferença entre o valor investido no tempo 0 e o valor presente da riqueza futura que um empreendimento gerará (PUCCINI, 2011), caracterizando o valor agregado pelas modificações no projeto. Inicialmente, estabeleceu-se uma aplicação de investimento, considerando o tempo 0.

A partir de então, as receitas líquidas foram obtidas, desde o tempo 1 até o tempo n. As receitas foram convertidas por uma soma do valor presente, no tempo 0, considerando a taxa de desconto. Para a determinação do VPL, foram calculados, também, o Valor de Retorno ( $V_{\text{retorno}}$ ) do investimento (Equação 9) e o Investimento Inicial.

Equação 9: Definição do Valor de Retorno.

$$V_{\text{retorno}} = A * \left\{ \frac{1 - \left[ \frac{1}{1 + i^n} \right]}{i} \right\}$$

Onde:

$V_{\text{retorno}}$ : Valor de Retorno;

i: taxa de atratividade mínima;

n: tempo; e

A: Recebimento anual sucessivo.

No Vretorno, o recebimento anual sucessivo (A) corresponde ao valor anual economizado na conta de energia pelos moradores, por meio da redução da frequência de operação do ventilador que auxiliaria na manutenção do conforto térmico. Adotou-se, como referência, o período máximo (n) de 30 anos (360 meses) para o financiamento das habitações populares da Faixa 1,5 (CEF, 2010). Estabeleceu-se, também, um período intermediário de 15 anos (180 meses), visando à avaliação dos possíveis retornos parciais obtidos pelos moradores.

Admitiu-se, quanto à atratividade mínima (i), inicialmente, a meta atualizada da taxa básica de juros o Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC), apontada pelo histórico do Banco Central do Brasil (2019), vigente até 11 de dezembro de 2019. Esta taxa, calculada em 4,9% a.a., é anualizada a partir de 252 dias úteis (BCB, 2019). Por fim, a quantia resultante da subtração do Investimento Inicial ao Vretorno, que corresponde ao VPL, foi representada na Equação 10.

Equação 10: Cálculo do Valor Presente Líquido.

$\text{Valor Presente Líquido} = V_{\text{retorno}} - \text{Investimento Inicial}$
--

Fonte: Puccini (2011).

Logo, o valor correspondente ao VPL foi aplicado às condicionantes deste indicador, que definem três resultados possíveis:

- Se  $VPL > 0$ , o investimento produziu ganhos – Projeto atrativo;
- Se  $VPL = 0$ , o investimento e os ganhos foram equilibrados – Não há lucro ou prejuízo; e
- Se  $VPL < 0$ , o investimento foi maior que os ganhos – Projeto com prejuízo.

Finalmente, foram considerados dois cenários: o primeiro, onde o indicador VPL se apresentasse nulo ou positivo, em que seria mantida a taxa SELIC real, demonstrando que as condições econômicas atuais já possibilitariam a implementação dos recursos propostos; e o segundo, onde caso o VPL apresentasse valores negativos, a SELIC, que é variável, seria numericamente simulada, visando à obtenção daquela taxa básica de juros

que tornasse viável a implementação das propostas. A simulação da SELIC, caso necessária, foi considerada válida, já que, como é periodicamente alterada, a taxa pode demonstrar as condições econômicas nacionais mais propícias à implementação das diretrizes traçadas e, ainda, apontar estratégias para a viabilização do investimento.

### ***Payback***

É o retorno do investimento, ou seja, o tempo necessário para que o somatório das parcelas anuais seja igual ao investimento inicial (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2010). No caso da pesquisa, as variáveis de investimento inicial e pagamento por período corresponderam, respectivamente, ao custo de alteração da envoltória e ao valor economizado pela redução na operação dos ventiladores.

Puccini (2011) não recomenda que o *payback* seja avaliado isoladamente, já que não considera os valores do fluxo de caixa do investimento, a partir do ponto de retorno do capital aplicado. Ainda, Casarotto Filho e Kopittke (2010), afirmam que, quando o investimento inicial se dá por mais de um ano, ou quando o objetivo for a comparação de objetos com investimentos iniciais diferentes, a aplicação do *payback* pode se mostrar complexa.

No entanto, além do VPL, considerou-se o *payback*, pela compreensão de que o tempo de retorno também pode ser um balizador para a análise da viabilidade ou inviabilidade das propostas. Adotando pagamentos uniformes – ou seja, parcelas iguais –, o *payback* será determinado pela Equação 11:

Equação 11: *Payback*.

$$\mathbf{Payback = \left\{ \frac{\mathbf{Investimento\ inicial}}{\mathbf{Pagamento\ por\ período}} \right\}}$$

Fonte: a autora, adaptado de Casarotto Filho e Kopittke (2012).

É importante destacar que, ainda que a aplicação dos conceitos VPL e *Payback* demonstrem nulidade ou taxas de investimento maiores que as de retorno – desde que moderadas – as alterações propostas podem ser compreendidas como vantajosas. Isto porque, considerando o nicho social alvo das habitações unifamiliares do PMCMV, o custo de operação é, proporcionalmente mais impactante às famílias, já que a faixa de renda dos moradores contemplados pelo PMCMV é, em geral, expressivamente menor que o poder de investimento governamental, podendo representar uma significativa

melhoria na qualidade de vida das parcelas de menor renda da população. O levantamento de custos que embasou a análise de viabilidade econômica dos PHs correspondeu à metragem da sala, do dormitório 1 e do dormitório 2, já que os resultados do consumo energético do ventilador também dizem respeito a estes ambientes.

### 3.6 REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os valores da temperatura operativa diária, obtidos por meio de simulação, foram interpretados por procedimentos estatísticos. Os resultados numéricos, obtidos em forma de planilhas, foram tratados e convertidos em tabelas, apresentando o  $\Sigma$ GhDT e o FDT em todos os modelos em todos os cenários propostos.

O FDT e GhDT obtidos permitiram a elaboração de diagramas de fluatibilidade, que corroboraram à visualização da intensidade e da frequência de desconforto vinculadas a cada modelo. O diagrama foi escolhido como forma de representação porque, além da clara visualização dos dados, permite avaliar, comparativamente, diferentes soluções para a amenização do desconforto térmico.

Por meio de quadros, foram representadas, esquematicamente, as combinações de paredes, janelas e coberturas que obtiveram o melhor desempenho em cada cidade. Ainda, para uma mesma cidade, os desempenhos de todos os modelos serão comparados, por meio do GhDT, representado em gráficos de barras. Os gráficos de barras e de linhas também foram escolhidos para a representação da eficiência energética, já que, devido à quantidade de modelos e cenários, as barras e linhas permitiram a visualização dos níveis de consumo (em kWh/mês) atingidos.

Para a visualização do custo com aparelhos eletrodomésticos para refrigeração, efetuou-se a comparação entre os PHs, considerando as diferentes cidades, e o quanto teriam gastado, dentro de um ano inteiro, para a operação dos ventiladores. Os gráficos de barras também foram utilizados nesta representação. Os resultados do estudo de viabilidade econômica foram representados por valores, obtidos das equações e apresentados em tabelas, comparando os tempos de retorno do investimento, considerando os modelos que obtiverem o melhor desempenho em cada cidade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são apresentados de acordo com as seguintes seis etapas da pesquisa:

**1ª etapa:** os PHs foram **caracterizados**, visando à definição das variáveis para simulação. As características materiais do MO, correspondentes às de uma HIS existente, foram mencionadas anteriormente.

**2ª etapa:** foram determinadas, segundo os princípios climáticos abordados, as cidades que comporiam o recorte amostral da pesquisa. As cidades do recorte foram caracterizadas, por meio do levantamento de suas normais climatológicas e análise de suas características regionais. Os dados do MO foram aplicados a cada cidade do recorte amostral, com o objetivo de obter a orientação com o pior desempenho, por meio do somatório ( $\Sigma$ ) dos GhDT. Os dados de FDT e GhDT foram plotados no diagrama de fluabilidade que permitiu a **visualização das condições de desconforto térmico** em cada cenário.

**3ª etapa:** a orientação de implantação – para onde estaria a voltada a fachada frontal –, que obtivesse o pior desempenho para cada ambiente e em cada cidade foi tomada como referência para **comparação com os dados dos Protótipos Habitacionais** (no total de 8), considerando o período de simulação de um ano. O Protótipo Habitacional de referência em cada cidade teve seus dados – considerando cada ambiente – comparados aos os dados do MO.

**4ª etapa:** os quantitativos de GhDT anuais obtidos para o MO e para o PH foram submetidos a **avaliação do consumo energético** em decorrência da utilização de eletrodomésticos para a manutenção do conforto térmico e, sob este aspecto, na ponderação do nível de eficiência das habitações;

**5ª etapa:** foram avaliados **os custos de investimento** para a implementação das alterações propostas, considerando o custo original do MO e o custo onerado pelas modificações que caracterizam o PH. Foram analisados, também, o fator *payback* – em função da vida útil do imóvel – e o Valor Presente Líquido (VPL), que indicou a viabilidade do investimento proposto.

**6ª etapa:** consistiu **na elaboração de um sumário** das alterações e dos valores vinculados aos MOs e PHs em cada da Zona 8 abrangida pelo recorte da pesquisa,

apontando modelos que obtiveram melhor desempenho e sintetizando os custos de investimento.

#### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PROTÓTIPOS

Foram selecionados 2 (dois) materiais para os sistemas construtivos das paredes, 2 (dois) tipos de coberturas e 2 (dois) modelos de janelas, cujas dimensões atendessem à NBR 15220-3, devendo, igualmente, corresponderem às recomendações metodológicas abordadas por Nico-Rodrigues *et al.* (2015), como descrito anteriormente. Os materiais selecionados caracterizaram soluções diferentes do MO, que atendessem às recomendações para o bom desempenho térmico na Zona 8, visando à avaliação dos modelos por meio de uma nova simulação.

##### **Paredes:**

Os dois sistemas construtivos selecionados foram: o bloco cerâmico e o bloco de concreto, tradicionalmente utilizados no mercado brasileiro (BISSOLI-DALVI *et al.*, 2016). Outras opções apresentadas no Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2013), são menos frequentes sobretudo nas habitações populares, nas quais a execução fica, majoritariamente, restrita aos materiais citados.

Como para a ZB8 são recomendadas paredes leves refletoras com transmitância térmica  $U < 3,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , optou-se pela utilização de materiais para as vedações com os menores valores de transmitância e que atendessem aos prováveis custos de investimento, considerando a habitação social. Outra premissa para a seleção é que ambos contassem com a mesma espessura e camadas sobrepostas de acabamentos (como gesso, argamassas e pinturas), o que permitiria que o comportamento isolado do bloco fosse notado.

##### **Coberturas:**

Para os sistemas de coberturas na ZB8, a NBR 15220-3 recomenda, semelhantemente, elementos leves refletores, que, neste caso, são caracterizados por  $U \leq 2,30 \text{ FT}$  (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). Os materiais selecionados para as coberturas tiveram baixos valores de transmitância, dentre os materiais catalogados passíveis de implantação em HIS (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2013).

Assim, manteve-se a cobertura do MO, definindo, para os protótipos, dois conjuntos de coberturas compostos por telha isotérmica (Isotelha) com núcleo em Poliuretano (PUR)

na espessura de 30mm, revestidas de alumínio em cor clara, considerando também os custos do material.

Também, para as coberturas estabeleceu-se como critério a presença de forro ou laje, que constam como recomendação normativa e exercem papel fundamental na termorregulação no interior da moradia. A implantação desses elementos coopera para que o interior da edificação não receba, diretamente, o calor proveniente da radiação solar sobre a cobertura. Considerou-se a concepção de áticos ventilados sob a cobertura, criando um sistema que corrobora para a melhoria do desempenho térmico, sobretudo para climas quentes (tropicais, tropicais úmidos e equatoriais), como no caso da ZB8. A cobertura também foi prolongada, em todas as fachadas, estendendo-se o beiral à dimensão de um beiral de 90cm, proporcionando maior sombreamento, como previsto na NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Para a ventilação dos áticos, foram concebidas aberturas nos oitões frontal e posterior dos PHs, por meio de elementos vazados cerâmicos. Os cobogós – elementos vazados muito utilizados na região nordeste do Brasil – aumentam o fluxo de ar, impedem a entrada excessiva da radiação solar no interior da edificação e têm fácil fabricação, endossada pela utilização da composição cerâmica como matéria-prima, por tratar de um material local (MARÇAL; SOARES; SOUZA, 2013; ARAÚJO; BISATAFA, 2008). Por isso, a utilização de cobogós constitui uma importante estratégia arquitetônica, com elevado potencial funcional e plástico, sobretudo para construções localizadas em regiões quentes e úmidas (BITTENDOURT; CÂNDIDO, 2010; BITTENCOURT, 1993).

O modelo do cobogó considerado teve como base os estudos desenvolvidos por Santana Neto e Silva (2016), que obtiveram seus resultados por meio de simulação da ventilação natural, utilizando como recorte a cidade de Recife. O cobogó utilizado foi o veneziano, cuja configuração inclinada controla moderadamente o acesso da ventilação e diminui a incidência solar direta, permitindo temperaturas internas mais amenas – em torno de 27°C – em relação ao sistema de cobogó padrão (SANTANA NETO; SILVA, 2016). Além disso, o cobogó veneziano configura um elemento comercial tradicional, reduzindo seu custo unitário.

### **Janelas:**

A escolha das janelas teve como requisitos específicos:

- A maior proximidade possível de padrões comerciais de janelas, com esquadrias em alumínio natural e fechamento em vidro incolor;
- Janelas com dimensões padronizadas para todos os cômodos de longa permanência, visando à redução de custos como estratégia de implantação nas HIS (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2010);
- Janelas que, preferencialmente, permitissem o controle da ventilação natural – estratégia para obtenção do conforto térmico (MACHADO *et al.*; 2017, NICORODRIGUES, 2015; OCHOA *et al.*, 2012);
- Máxima aproximação, quando totalmente abertas, de 100% de área útil disponível para a ventilação natural;
- Janelas que contassem com folhas ou fechamentos em venezianas vazantes fixas, que são mais baratas que as persianas reguláveis, mas que também permitem a entrada da ventilação noturna (de conforto); e
- Quanto à metragem das janelas, os modelos que atendessem à NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), que recomenda que a área útil destinada à ventilação natural corresponda a, no mínimo, 40% da área do piso do cômodo.

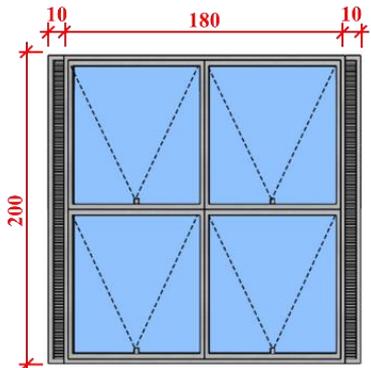
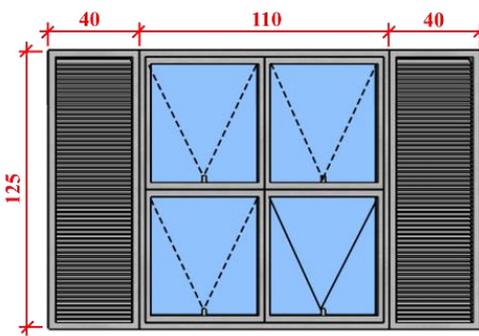
Dois modelos de janelas foram estabelecidos de forma que apresentassem percentuais superiores àqueles normativamente definidos. Contudo, outras normas e regulamentos, como a NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) e o RTQ-R (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2010), contam com recomendações mais brandas quanto à porcentagem de área efetiva de ventilação em relação à área dos ambientes de longa permanência.

Ainda, o potencial aumento da temperatura interna dos espaços que contam com grandes áreas envidraçadas e insuficientemente sombreadas, ratifica que a probabilidade de um melhor desempenho térmico dos protótipos habitacionais pode estar, também, vinculada à redução da área de abertura dos cômodos. Assim, reduzindo, de 40% para 20% a área de janela e optando por elementos que permitam a máxima ventilação natural, pode-se controlar a entrada da radiação por meio das superfícies de vidro, considerando, sobretudo, o impacto da intensa radiação direta normal nas características climáticas do recorte amostral.

Sabendo que a Sala é o ambiente de longa permanência que conta com a maior área da habitação, este cômodo foi adotado como referência para a verificação do atendimento das metragens de área útil para a ventilação. Logo, ao atender o percentual necessário para ventilar este cômodo, os dormitórios seriam, conseqüentemente, atendidos. Ainda que as áreas úteis de abertura dos dormitórios excedessem ao percentual requerido pela norma – em relação à área de piso –, a padronização foi considerada vantajosa, já que o objeto de estudo consiste em habitações de interesse social e que parte da área de ventilação das janelas é proporcionada por venezianas. Assim, foram apresentadas, no Quadro 3 e caracterizadas na Tabela 3, as dimensões mínimas de dois modelos de janelas que garantissem as áreas úteis de ventilação, em versões correspondentes a 40% e a 20% da área do piso.

A configuração dos modelos de janelas também teve como requisito o respeito ao projeto estrutural da habitação (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2010), referenciado pelos cadernos projetuais do empreendimento CHAS, garantindo a manutenção do transpasse de vergas e contra vergas existentes. Não foram necessárias alterações no dimensionamento dos cômodos, apenas nas áreas de vãos de janelas.

Quadro 3: Janelas implantadas nos modelos propostos.

Representação dos modelos de janela projetados para o PH	
	
<p>J1 – 40%: janela com quatro folhas em vidro (maxim-ar) e venezianas verticais fixas laterais – 40% da área do piso do cômodo de longa permanência.</p>	<p>J1 – 20%: janela com quatro folhas em vidro (maxim-ar) e venezianas verticais fixas laterais – 20% da área do piso do cômodo de longa permanência.</p>

Fonte: a autora.

Tabela 3: Dimensionamento das janelas para os protótipos.

Cômodo	Área de piso	Tipo de janela	Qtd. janelas	Módulos das janelas	Área útil de ventilação
Sala (integrada à cozinha)	9,39m <sup>2</sup>	J1 – 40%	1	Abertura maxim-ar: 2,0 x 1,8m/ 0,5m Venezianas (cada): 2 x 0,1m/0,5m	3,8m <sup>2</sup> (= 40% de área do piso)
		J1 – 20%	1	Abertura maxim-ar: 1,1 x 1,25/1,25m Venezianas (cada): 0,4 x 1,25m/ 1,15m	1,88m <sup>2</sup> (= 20,02% de área de piso)

Fonte: a autora.

As janelas apresentadas proporcionam, abertas, a área útil de ventilação recomendada pela normativa. Fechadas, estes elementos ainda proporcionam ventilação permanente, por meio das venezianas. Nico-Rodrigues (2015) aponta que outras soluções, como persianas reguláveis, podem se mostrar como boas soluções para o controle da ventilação. Mas, no caso das habitações de interesse social, que têm como premissa o baixo custo de investimento e operação, as venezianas atendem aspectos de melhoria do conforto e, ainda, designam às janelas características mercadologicamente mais populares, reduzindo, potencialmente, seu custo.

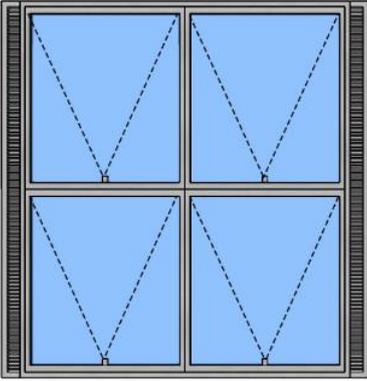
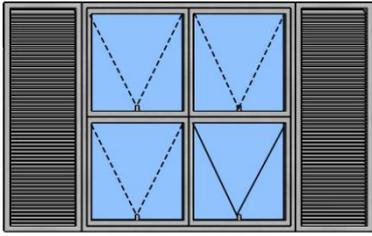
Quanto ao local das janelas, a ventilação interna é, ainda, potencializada quando a abertura está posicionada perpendicularmente à porta, possibilitando a condição do fluxo do ar pela janela a 90° em relação à porta (NICO-RODRIGUES, 2015; ROETZEL *et al.*, 2010; AKUTSU; BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006; VITTORINO, 1995). Entretanto, para esta pesquisa, foram mantidas as posições de aberturas do MO para protótipos habitacionais, visto que, ao tratar de moradias populares – sobretudo unifamiliares –, há menor flexibilidade na adequação dos *layouts*, que, dentro de um mesmo conjunto, reproduzem um padrão de casa para diversas orientações. Sob este aspecto, aponta-se, outra vez, a necessidade de controle dos custos de execução das HIS, que aumentam à medida das adaptações individualizadas para as moradias.

As vedações selecionadas para os protótipos foram apresentadas no Quadro 4. As parametrizações, que culminaram em oito PHs – que não variam em *layout*, mas se diferenciam quanto aos materiais e tamanhos de janelas – e o dimensionamento dos protótipos são apresentados na Figura 17.

Quadro 4: Propriedades térmicas das vedações externas nas HIS do Modelo Original.

(continua)		
Componentes	Caracterização (INMETRO, 2013)	Componentes dos Modelos Propostos
Parede P1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bloco cerâmico (14 x 19 x 39cm)</li> <li>- Gesso interno (2cm)</li> <li>- Argamassa externa (2,5cm)</li> <li>- Pintura externa (<math>\alpha</math>)</li> </ul>	
Parede P2	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bloco de concreto (14 x 19 x 39cm)</li> <li>- Argamassa externa</li> <li>- Pintura externa</li> <li>- Gesso interno (2cm)</li> <li>- Argamassa externa (2,5cm)</li> <li>- Pintura externa (<math>\alpha</math>)</li> </ul>	
Cobertura C1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + EPS 7cm + argamassa 1cm)</li> <li>- Câmara de ar (&gt; 5,0 cm)</li> <li>- Isotelha com núcleo em poliuretano (PUR) de 3cm</li> </ul>	
Cobertura C2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forro PVC (1,0cm)</li> <li>- Câmara de ar (&gt; 5,0 cm)</li> <li>- Isotelha com núcleo em poliuretano (PUR) de 3cm</li> </ul>	
Cobogó <sup>1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material cerâmico de (25x25x5cm)</li> <li>- Volume de vazios aproximado= 36%</li> <li>- Velocidade de ventilação interna: 10km/h, com variações chegando a 6km/h</li> </ul>	

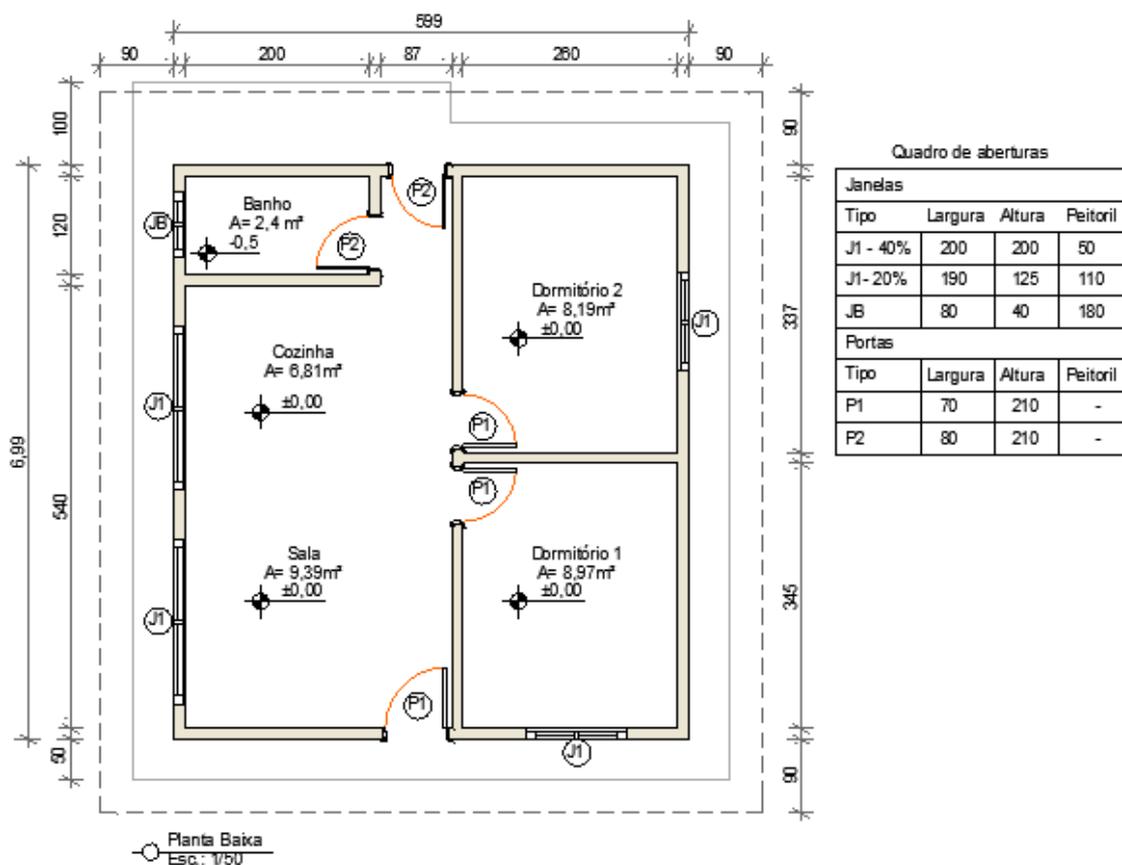
(conclusão)

J2 – 40%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esquadrias de alumínio anodizado fosco</li> <li>- Quatro folhas do tipo maxim-ar com fechamento em vidro incolor 4mm</li> <li>- Veneziana vertical vazante fixa nas laterais</li> <li>- Janela 100% aberta &gt; área útil de ventilação: 100%</li> <li>- Área útil de ventilação higiênica proporcionada pelas venezianas: 50% do total (0,1m<sup>2</sup> cada)</li> </ul>	
J4 – 20%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esquadrias de alumínio anodizado fosco</li> <li>- Quatro folhas do tipo maxim-ar com fechamento em vidro incolor 4mm</li> <li>- Veneziana vertical vazante fixa nas laterais</li> <li>- Janela 100% aberta – área útil de ventilação: 100%</li> <li>- Área útil de ventilação higiênica proporcionada pelas venezianas: 50% do total (0,25m<sup>2</sup> cada)</li> </ul>	

<sup>1</sup> O modelo de referência utilizado foi o cobogó veneziano de Santana Neto e Silva (2016), mas suas dimensões foram adaptadas à altura (h) mínima para a obtenção do Fator de Correção da Transmitância (FT) positivo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Fonte: a autora.

Figura 17: Planta dimensionada do modelo base para os protótipos.

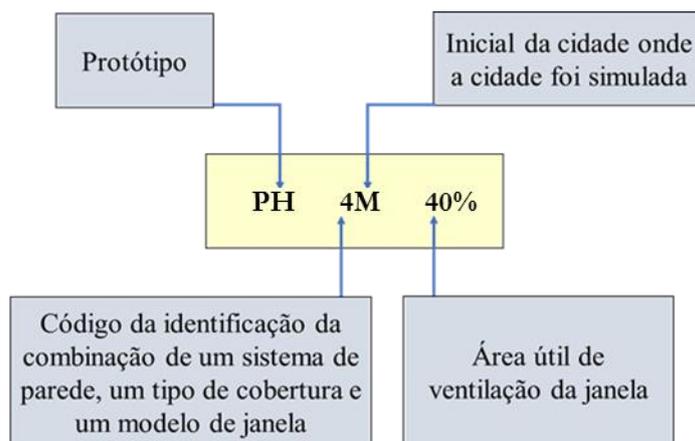


Fonte: a autora.

Os protótipos foram nomeados da seguinte forma (Figura 18): todos tiveram como início a sigla PH (Protótipo Habitacional); o número que sucede a sigla inicial caracteriza o código da combinação de materiais (parede, cobertura e janela); e a letra que sucede o número corresponde à inicial da cidade em que o modelo foi simulado (exceto para Recife e Rio Branco, em que, devido à repetição de iniciais, foram utilizados 'RE' e 'RB'). Assim, o código do protótipo demonstra o cenário adotado para cada simulação.

O código foi acompanhado do percentual de abertura das janelas naquele protótipo. O Quadro 4 traz um exemplo de parametrização dos materiais de parede, cobertura e janela. O princípio das parametrizações foi mostrado na Figura 20 e a síntese das combinações e modelos foi apresentada no Apêndice A. Assim, foram simulados 28 cenários para o MO e 224 cenários para os PHs, totalizando 252 cenários de simulação, avaliados durante um ano inteiro. A síntese das análises foi apresentada na Figura 19.

Figura 18: Código de identificação dos protótipos.



Fonte: a autora.

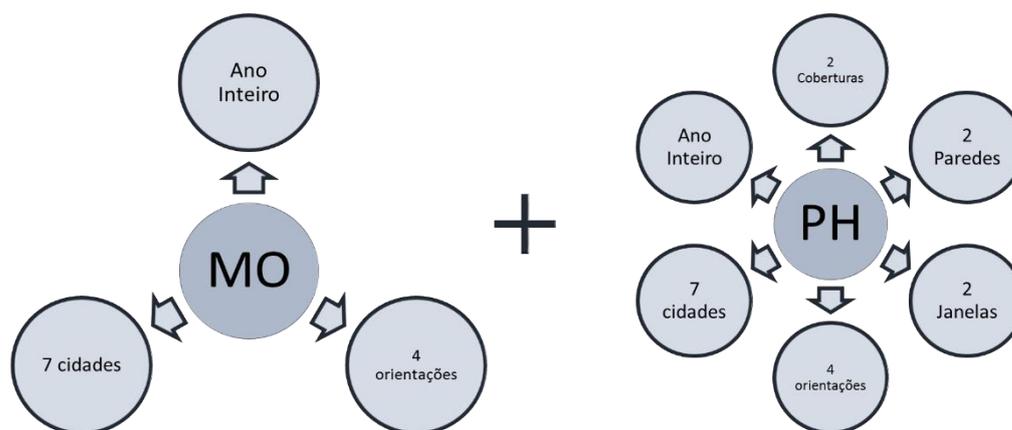
Quadro 4: Exemplos de codificação da parametrização dos modelos virtuais.

CID.	CÓDIGO	TIPO DE CONJUNTO – PH
Vitória	PH1V – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venez. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH1V – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venez. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH2V – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venez. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH2V – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venez. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH3V – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venez. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH3V – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venez. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH4V – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venez. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH4V – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venez. Vertical com 40% de área útil de ventilação

<sup>1</sup> A cidade de simulação foi inserida, apenas, como exemplo para demonstração do código do modelo. Todas as parametrizações foram simuladas em todas as cidades do recorte da pesquisa.

Fonte: a autora.

Figura 19: Parametrizações dos protótipos.



Fonte: a autora.

## 4.2 CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS

Além da posição geográfica, da orientação da edificação e dos dados climáticos do local, foram inseridos dados do padrão de ocupação – como quantidade de usuários e tempo de permanência nos cômodos, em unidades MET ( $W/m^2$ ) – das prováveis vestimentas dos ocupantes ( $Clo - m^2.C/W$ ) e das cargas térmicas dos eletrodomésticos utilizados (Tabela 5). Para a simulação foram selecionados todos os ambientes de longa permanência: sala, dormitório 1 e dormitório 2 como principais espaços de interesse para a avaliação do desempenho termo-energético (Tabela 5).

Tabela 5: Configuração de áreas, janelas, transmitância térmica dos materiais, parâmetros de ocupação e metabolismo.

(continua)		
<b>Configuração das paredes</b>		
Código	Componentes base INMETRO (2013)	Transmitância térmica – U [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]
Parede Original (PO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0cm)</li> <li>- Argamassa externa: 2,5cm</li> <li>- Gesso interno: 0,2cm</li> <li>- Pintura externa</li> </ul>	2,97
Parede 1 (P1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bloco cerâmico (14,0 x 19,0 x 29,0cm)</li> <li>- Gesso interno (placa 2,0cm)</li> <li>- Argamassa externa (2,5cm)</li> <li>- Pintura externa (<math>\alpha</math>)</li> </ul>	1,74

(continua)

Parede 2 (P2)	-Bloco de concreto (14,0 x 19,0 x 39,0cm) - Argamassa externa - Pintura externa - Gesso interno (placa 2,0cm) - Argamassa externa (2,5cm) - Pintura externa (a)	2,64
<b>Configuração das coberturas</b>		
<b>Código</b>	<b>Componentes base INMETRO (2013)</b>	<b>Transmitância térmica – U [W/ (m<sup>2</sup>. K)]</b>
Cobertura Original (CO)	- Telha isotérmica trapezoidal sem forro ou laje - Alumínio branco - Núcleo isolante em Poliuretano (PUR) - Espessura= 100mm	1,00
Cobertura 1 (C1)	- Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + EPS 7cm + argamassa 1cm) - Câmara de ar (> 5,0 cm) - Isotelha com núcleo em poliuretano (PUR) de 3cm	1,52
Cobertura 2 (C2)	- Forro PVC (1,0cm) - Câmara de ar (> 5,0 cm) - Isotelha com núcleo em poliuretano (PUR) de 3cm	1,75
<b>Configuração das janelas e do cobogó</b>		
<b>Código</b>	<b>Componentes base INMETRO (2013)</b>	<b>Transmitância térmica – U [W/ (m<sup>2</sup>. K)]</b>
Janela Original (JO)	- Esquadrias de alumínio anodizado fosco - Modelo maxim ar - Fechamento em vidro incolor 4mm - Dimensões e área útil de ventilação: Janela 100% aberta = 50% de área para ventilação. - <b>Controle das aberturas<sup>3</sup>:</b> a) De 8h às 22h: janelas 100% abertas. b) De 22h às 8h: janelas 100% fechadas.	- Quadro de alumínio: 5,88  - Vidro incolor 4mm: 5,77
Janela 1 (J1 – 20%) e Janela 2 (J1 – 40%)	- Esquadrias de alumínio anodizado fosco - Folhas tipo maxim ar - Folhas fixas tipo veneziana vazante em alumínio anodizado fosco no peitoril (J1) e nas laterais (J2) - Fechamento em vidro incolor 4mm - Dimensões e área útil de ventilação apresentadas no detalhamento do Quadro 2. - <b>Controle das aberturas<sup>3</sup>:</b> a) De 8h às 22h: janelas 100% abertas. b) De 22h às 8h: janelas 100% fechadas.	- Quadro e venezianas de alumínio: 5,88  - Vidro incolor 4mm: 5,77
Cobogó <sup>2</sup>	- Material cerâmico de 25x25x5cm) - Volume de vazios aproximado= 36% - Velocidade de ventilação interna: 10km/h com variações chegando a 6km/h <sup>2</sup> - Área útil aproximada de ventilação: 0,037 m <sup>2</sup> /peça	0,06

(conclusão)	
<b>Configurações de ocupação e metabolismo</b>	
<i>Ocupação</i>	
Usuário	- Controle das ocupações: padrão RTQ – R (Apêndice F)
<i>Parâmetros humanos</i>	
Densidade de ocupação dos MOs = 4 pessoas	0,26 pessoa/m <sup>2</sup>
Densidade de ocupação dos PHs = 4 pessoas	0,24 pessoa/m <sup>2</sup>
Vestimenta	Verão = 0,5 clo / Inverno = 1 clo
Metabolismo (Leitura)	0,90 met (115W/pessoa)
<i>Ganhos térmicos de equipamentos eletrodomésticos</i>	
Iluminação artificial 17h00 – 22h00	- Lâmpadas fluorescentes compactas = 5 W/m <sup>2</sup> - Controle de iluminação: padrão RTQ – R (Apêndice G)
Equipamentos - 13h00 – 22h00	(1 TV) = 3,90 W/m <sup>2</sup>
<i>Período de simulação</i>	
Ano inteiro	8.760 horas

<sup>1</sup>Para o Fator de Correção Solar (FCS), considerou-se que o MO conta com pintura em tonalidade média, enquanto, para os PHs, foram consideradas pinturas de cores claras.

<sup>2</sup>As propriedades térmicas do cobogó foram calculadas com base na NBR 15200-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

<sup>3</sup>Para a definição do controle das aberturas (determinação dos horários de abertura das janelas) considerou-se o padrão de ocupação do RTQ-R. Nos PHs, quando as janelas estão 100% fechadas, as venezianas permanecem vazantes, proporcionando uma área efetiva de ventilação igual a 50% de sua área total.

Fonte: Elaborado a partir de Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros (2013) e dos dados de entrada no *software EnergyPlus* (2018).

Para a simulação, os arquivos climáticos de todas as capitais foram obtidos no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Labeee – (2019), exceto o arquivo da cidade de Colatina, que foi cedido por Amorim (2015).

### 4.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DOS MODELOS NA ZB8

Para a análise dos resultados do desempenho térmico dos modelos na ZB8, foram estabelecidas as seguintes etapas:

#### 4.3.1 Escolha das cidades da ZB8

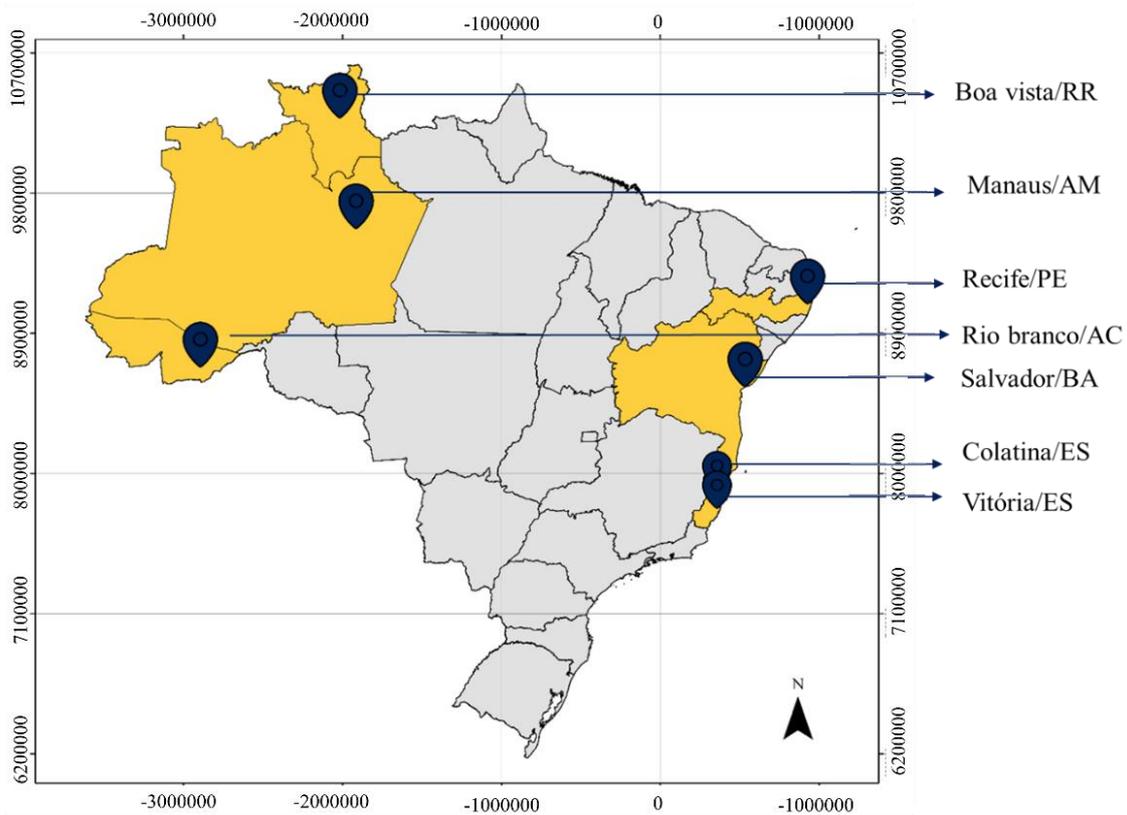
Dentro dos critérios mencionados no capítulo item 3.1, foram selecionadas sete cidades brasileiras que atendiam aos requisitos estabelecidos: Colatina/ES, Vitória/ES,

Salvador/BA, Recife/PE, Boa Vista/RR, Manaus/AM e Rio Branco/AC. Todos os municípios do recorte amostral são capitais, exceto a cidade de Colatina, no Espírito Santo, localizada na microrregião centro-oeste do estado, no Vale do Rio Doce (INSITTUTO JONES DOS SANTOS NEVES, 2020).

O município de Colatina, distante cerca de 130km da capital capixaba, foi selecionado por dois fatores principais: primeiro, por sediar o conjunto de habitações unifamiliares de interesse social de onde foi extraído a modelo base (MO) para simulação virtual, ou seja, de onde existem dados prévios para análise (MALTA; AMORIM, 2018); e, segundo, porque Colatina conta com o registro de altas temperaturas em alguns períodos do ano em um clima extremo, apontado por Amorim (2015), representando um potencial desconforto aos moradores da região.

Enquanto Vitória conta com uma temperatura média compensada (TBS) anual de 24,80°C, Colatina apresenta, para o mesmo índice, um valor de 24,20°C e, ainda, um índice de pluviosidade menor (Tabela 6). Assim, as diferenças na situação geográfica das cidades, mesmo com a relativa proximidade, podem mostrar pontos de influência relevantes para o condicionamento de diretrizes construtivas dentro da ZB8. Todos os municípios selecionados deveriam atender aos cinco critérios estabelecidos, resultando nas cidades apresentadas na Figura 20:

Figura 20: Mapa do Brasil, destacando as cidades selecionadas como recorte da pesquisa.



Fonte: a autora.

Tabela 6: Caracterização das cidades que compõem o recorte amostral da pesquisa.

Cidade /UF	População	Latitu de	Longitude	Alt. (m)	Clas. Köppen	Temp. mensal méd. mín.	Temp. mensal méd. máx.	Pluviosidade (mm)
Colatina /ES*	111.788	19° 29 'S	40°45'W	38,0	Tropical litorâneo	19,5°C	30,70° C	1129,4
Vitória /ES	327.801	20° 32'S	40° 32'W	36,2	Tropical litorâneo	21,8°C	28,90° C	1318,6
Salvador /BA	2.675.656	13° 01'S	38° 51'W	51,41	Tropical litorâneo	22,9°C	29°C	1871,1
Recife /PE	1.537.704	8° 05'S	34° 95'W	10,0	Tropical litorâneo	22,3°C	29,5°C	2263,4
Boa Vista /RR	284.313	2° 82'N	60 ° 65'W	90,0	Tropical	23,9°C	33,3°C	1711,6
Manaus /AM	1.802.014	3°10'S	60° 02'W	61,25	Equatorial	23,4°C	31,9°C	2301,2
Rio Branco /AC	336.038	9° 95'S	67° 87'W	160,0	Equatorial	20,6°C	31,5°C	1997,6

a) Os dados da população existente foram obtidos de IBGE (2010);

b) Os dados de latitude, longitude, altitude e temperaturas médias mínima e máxima, além de pluviosidade, foram obtidos de INMET (2018);

c) A classificação climática das cidades segue o modelo KÖPPEN (1931);

(\*) Dados da Estação Meteorológica de Marilândia, a 27km de Colatina.

Elaboração: a autora.

Além das características apresentadas na Tabela 6, compreende-se que, como mencionado na abordagem teórica, sobretudo em edificações naturalmente ventiladas, a direção da ventilação predominante, sua frequência de ocorrência e velocidade também constituem fatores de grande influência no conforto do usuário e no desempenho da edificação. Por isso, tendo definido as cidades que compõem o recorte amostral, foram apresentados os gráficos do tipo Rosa dos Ventos de cada município, disponibilizados pela plataforma nacional *Projetando Edificações Energeticamente Eficientes* (PROJETEEE, 2020).

O *Projeteee* (2020), oriundo da cooperação entre o Ministério do Meio Ambiente brasileiro e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), consiste em uma ferramenta que visa à disseminação de dados climáticos, com interface amigável, para a incorporação dos princípios da melhoria das práticas de uso dos recursos energéticos e mitigação das mudanças climáticas globais. O *Projeteee* conta com dados climáticos de mais de 400 cidades brasileiras, embasados em instituições e autores consolidados na temática da análise do clima, como o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (Labeee), o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), Givoni (1992), Humphreys (1979), e normativas de referência, como a ASHRAE 55

(2017). Os gráficos de ventilação foram elaborados com base nos arquivos climáticos INMET 2016 (PROJETEEE, 2020), e apresentados, na pesquisa, permitindo uma compreensão mais detalhada da ventilação natural nestas regiões.

Nota-se que, na cidade de Colatina – com utilização de dados de Santa Tereza/ES, a 60km de Colatina, como a cidade mais próxima que conta com o Gráfico Rosa dos Ventos Projeteeee – há maior frequência de ocorrência da ventilação natural no quadrante Leste. Contudo, o quadrante Noroeste é o que conta com a incidência de ventos em maior velocidade, podendo chegar, ainda que em menor frequência, a 6m/s (PROJETEEE, 2020).

A cidade de Vitória conta com ventos predominantes nos quadrantes Norte, Noroeste e Nordeste, respectivamente. O quadrante Norte conta com a maior frequência de ocorrência total da ventilação, de 24,3%. Entretanto, para esta orientação, predominam os ventos com velocidades médias menores, de 0 a 2 m/s, enquanto os ventos de 2 a 4m/s e de 4 a 6m/s, ocorrem, respectivamente, em, apenas, 11,53% e 0,8% do período (PROJETEEE, 2020).

A orientação Noroeste conta com menor frequência de ocorrência – 21,52% – e, também, com menores velocidades predominantes do vento, sendo 19,94% da frequência correspondente a ventos de 0 a 2m/s e, somente, 1,58% correspondentes a ventos de 2 a 4m/s. Ainda que, dentre os quadrantes em destaque, o Nordeste conte com a menor frequência de ocorrência – de 17,9% –, esta orientação apresenta as maiores velocidades de ventos de 2 a 4m/s – igual a 11,24% –, e de 4 a 6m/s – igual a 3,52% (PROJETEEE, 2020).

Na cidade de Salvador aponta-se a orientação Leste como a que apresenta a maior frequência média de ocorrência da ventilação natural, seguida dos quadrantes Nordeste e Sudeste, com velocidades médias entre 0 e 4m/s. Além da maior ocorrência, de 28,56%, os ventos no quadrante Leste também contam com a maior frequência de ventos mais rápidos, sendo 20,91% deles de 0 a 2m/s e 7,65% de 2 a 4m/s (PROJETEEE, 2020).

Assim, além da proximidade com o mar, a cidade de Salvador apresenta uma configuração de ponta de continente, voltada ao sul do território brasileiro. Logo, a incidência da ventilação pode ser justificada pela configuração geográfica do município, cujas faixas de mar predominantes correspondem aos quadrantes de maior frequência e velocidade de ventilação natural. Ainda, o percentual de frequência de ventilação em

Salvador apresenta uma superioridade de valores significativa em relação aos municípios de Vitória e Colatina, ratificando a influência da latitude nos parâmetros que proporcionam o conforto do usuário (PROJETEEE, 2020).

Na cidade de Recife, a direção Sudeste também se destaca como o quadrante que proporciona a maior frequência de ocorrência da ventilação natural, chegando a 35,02% de incidência. Para esta direção, a predominância, de 23,01%, corresponde aos ventos de 2 a 4m/s, enquanto ventos de 0 a 2m/s são vinculados a uma frequência de 12,01%. Ainda que não conte com os ventos em maiores velocidades, Recife vincula ventos em velocidades medianas e se configurou como a cidade onde há maior disponibilidade de ocorrência da ventilação natural, considerando o quadrante mais privilegiado, dentre os municípios avaliados (PROJETEEE, 2020).

Em Boa Vista, o quadrante Nordeste se destaca como aquele que proporciona uma frequência de ocorrência da ventilação natural de 27,31%, ou seja, a maior para a cidade, superando os 21,59% proporcionados pela direção Leste. No quadrante Nordeste, os ventos de até 2m/s correspondem a 12,93% do total. Os outros 14,38% caracterizam ventos com velocidades de 2 a 4m/s. A maior disponibilidade de ventilação e velocidades de vento a Nordeste também podem ser justificadas, já que esta orientação caracteriza o percurso mais curto até a faixa litorânea da região (PROJETEEE, 2020).

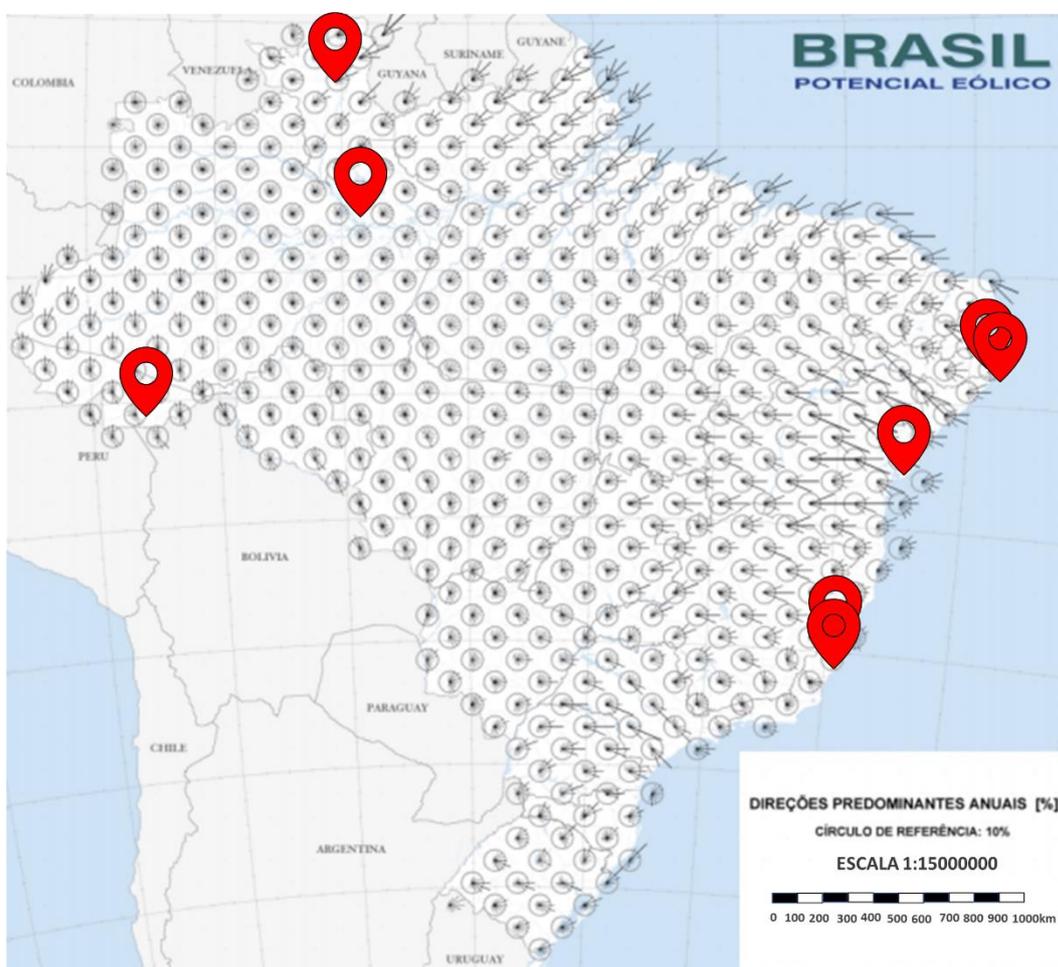
Em Manaus, o quadrante Leste apresentou o melhor resultado quanto à frequência de ocorrência da ventilação natural, igual a 23,74%. Novamente, para Manaus, a velocidade predominante dos ventos é estimada em até 2m/s – 11,88%. Entretanto, 11,86% dos ventos atingem de 2 a 4m/s (PROJETEEE, 2020).

Ao considerarmos o recorte amostral da pesquisa, observa-se, em Manaus, uma distribuição mais uniforme da disponibilidade de ventilação natural dentre os quadrantes. Este fator pode ser compreendido pela distância da cidade das faixas litorâneas, que influenciam o fluxo de ventilação disponível em outras cidades litorâneas, como Vitória, Recife e Salvador. Em Manaus, entretanto, parte do perímetro é tangido pelos Rios Negro e Amazonas, caracterizando áreas que não contam com obstáculos significativos à passagem dos ventos.

A cidade de Rio Branco conta com o quadrante Norte como aquele que disponibiliza a maior frequência de ventilação natural, igual a 23,92%, dos quais 14,84% correspondem a ventos de até 2m/s e 9,08% a ventos de 2 a 4m/s (PROJETEEE,2020).

Ainda que não apresente dados detalhados, o Mapa de Potencial Eólico do Brasil (Figura 21), indica a direção dos ventos predominantes – em percentual anual médio – no país. O mapa, que integra o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, elaborado pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) e pelo Ministério de Minas e Energia (Brasil, 2001), ratifica os resultados apresentados por meio do PROJETEEE (2020), fornecendo um panorama mais amplo sobre a ventilação natural no Brasil.

Figura 21: Mapa de direções de vento predominantes - percentuais médios anuais – destacando as cidades pertencentes ao recorte amostral da pesquisa.



Fonte: a autora, adaptado de Ministério de Minas e Energia (2001).

Existem, também, justificativas específicas para seleção das cidades, que foram consideradas em relação aos prováveis impactos relacionados às mudanças climáticas e outras especificidades, conforme descritas no Quadro 5:

Quadro 5: Caracterização do recorte amostral - Mudanças climáticas e especificidades.

(continua)		
Cidade /UF	Mudanças climáticas e especificidades	Localização no Brasil
Colatina/ES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abriga o conjunto habitacional de onde foi retirado o Modelo Original (MO) para calibração e avaliação das réplicas projetuais de habitações de interesse social no Brasil;</li> <li>- Situação geográfica com proximidade relativa da cidade de Vitória/ES;</li> <li>- Implantação na região do vale do rio Doce e temperaturas máximas e médias compensadas anuais elevadas;</li> <li>- Menor índice de pluviosidade dentre as cidades selecionadas;</li> <li>- Projeção de aumento da temperatura em até 5°C até 2100**;</li> <li>- Projeção de redução da precipitação em até 2 mm/dia até 2100**.</li> </ul>	
Vitória/ES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capital que sedia a pesquisa;</li> <li>- Menor latitude sul dentro do recorte amostral da ZB8*;</li> <li>- Pertence à zona costeira brasileira, ameaçada pelas alterações climáticas (PNA, 2016);</li> <li>- Projeção de aumento da temperatura em até 4°C até 2100**;</li> <li>- Projeção de redução da precipitação em até 2mm/dia até 2100**.</li> </ul>	
Salvador/BA***	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior população urbana dentro do recorte da pesquisa;</li> <li>- Coordenadas geográficas intermediárias entre Vitória/ES e Recife/PE, permitindo relacionar a progressão da latitude e da longitude locais com o clima de uma região;</li> <li>- Pertence à zona costeira brasileira, ameaçada pelas alterações climáticas (PNA, 2016);</li> <li>- Projeção de aumento da temperatura em até 5°C até 2100**;</li> <li>- Projeção de redução da precipitação em até 1 mm/dia até 2100**.</li> </ul>	
Recife/PE***	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor longitude oeste dentro do Brasil (extremo leste dentro da ZB8);</li> <li>- Menor altitude dentre as cidades recortadas;</li> <li>- Pertence à zona costeira brasileira, ameaçada pelas alterações climáticas (PNA, 2016);</li> <li>- Projeção de aumento da temperatura em até 5°C até 2100**;</li> <li>- Projeção de redução da precipitação em até 0,5 mm/dia até 2100**.</li> </ul>	
Boa Vista/RR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Única cidade selecionada pertencente ao Hemisfério Norte;</li> <li>- Latitude Norte (extremo norte do Brasil);</li> <li>- Único município com classificação Tropical (Köppen) dentro do recorte;</li> <li>- Maior temperatura média máxima (INMET, 2018);</li> <li>- Projeção de aumento da temperatura em até 7°C até 2100**;</li> <li>- Projeção de redução da precipitação em até 0,5 mm/dia até 2100**.</li> </ul>	

(conclusão)		
Manaus/AM***	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compreende a Floresta Amazônica brasileira;</li> <li>- Tendência a anomalias pluviométricas;</li> <li>- Extensos períodos chuvosos e secas prolongadas;</li> <li>- Previsão de aumento de 5°C (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2005);</li> <li>- Maior índice pluviométrico dentre as cidades selecionadas;</li> <li>- Projeção de aumento da temperatura em até 9°C até 2100**;</li> <li>- Projeção de redução da precipitação em até 1 mm/dia até 2100**.</li> </ul>	
Rio Branco/AC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compreende a Floresta Amazônica brasileira, com 87% de área preservada (IMC, 2019);</li> <li>- Maior longitude oeste dentro do Brasil (extremo leste dentro da ZB8);</li> <li>- Maior altitude dentro do recorte amostral;</li> <li>- Projeção de aumento da temperatura em até 7°C até 2100**;</li> <li>- Projeção de redução da precipitação em até 0,5 mm/dia até 2100**.</li> </ul>	

(\* ) A cidade do Rio de Janeiro pertence à ZB8 e atende aos demais requisitos, mas não foi incluída na pesquisa para que Vitória pudesse ser inserida, considerando, em um universo amostral limitado, a sede da pesquisa como capital prioritária.

(\*\* ) Os dados de alterações climáticas de aumento da temperatura e do índice de pluviosidade foram retirados do Plano Nacional de Adaptação às Mudanças do Clima (2016), e correspondem às situações máximas para o verão, considerando contextos críticos de emissão de gases e impactos do aquecimento global, tratados como os piores cenários previstos.

(\*\*\*) Pertencem ao *ranking* das dez maiores cidades do Brasil em população

Fonte: a autora.

Como descrito no capítulo 3, as temperaturas neutras de cada cidade foram levantadas e acrescidas de 2,5°C para a determinação do intervalo de temperaturas que proporcionariam o conforto dos moradores em cada região, permitindo, conseqüentemente, a determinação do GhDT. A Tabela 7 apresentou os valores referências de temperatura neutra e do modelo adaptativo para a cidade de Vitória. As compilações foram feitas para todas as cidades abordadas na pesquisa e apresentadas no Apêndice B.

Tabela 7: Médias mensais das temperaturas do ar externo, temperatura neutra e o intervalo de temperatura de conforto térmico fundamentadas na abordagem adaptativa da ASHRAE, destacando as temperaturas de conforto adotadas.

VITÓRIA				
Meses	Temperatura média mensal do ar externo (°C)	Temperatura Neutra (°C) Tn = 0,31 (Te)+17,8	Intervalo de temperatura de conforto da ASHRAE 55 com 90% de aceitabilidade	
			Mínima	Máxima
Janeiro	26,35	25,9685	23,4685	<b>28,47</b>
Fevereiro	25,76	25,7856	23,2856	<b>28,29</b>
Março	26,65	26,0615	23,5615	<b>28,56</b>
Abril	25,34	25,6554	23,1554	<b>28,16</b>
Maio	22,84	24,8804	22,3804	<b>27,38</b>
Junho	21,98	24,6138	22,1138	<b>27,11</b>
Julho	22,38	24,7378	22,2378	<b>27,24</b>
Agosto	21,69	24,5239	22,0239	<b>27,02</b>
Setembro	22,07	24,6417	22,1417	<b>27,14</b>
Outubro	24,41	25,3671	22,8671	<b>27,87</b>
Novembro	26,50	26,015	23,515	<b>28,52</b>
Dezembro	26,86	26,1266	23,6266	<b>28,63</b>

Fonte: a autora, adaptado de Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) (2016).

### 4.3.2 Desempenho térmico do MO e dos PHs na ZB8

#### GhDT

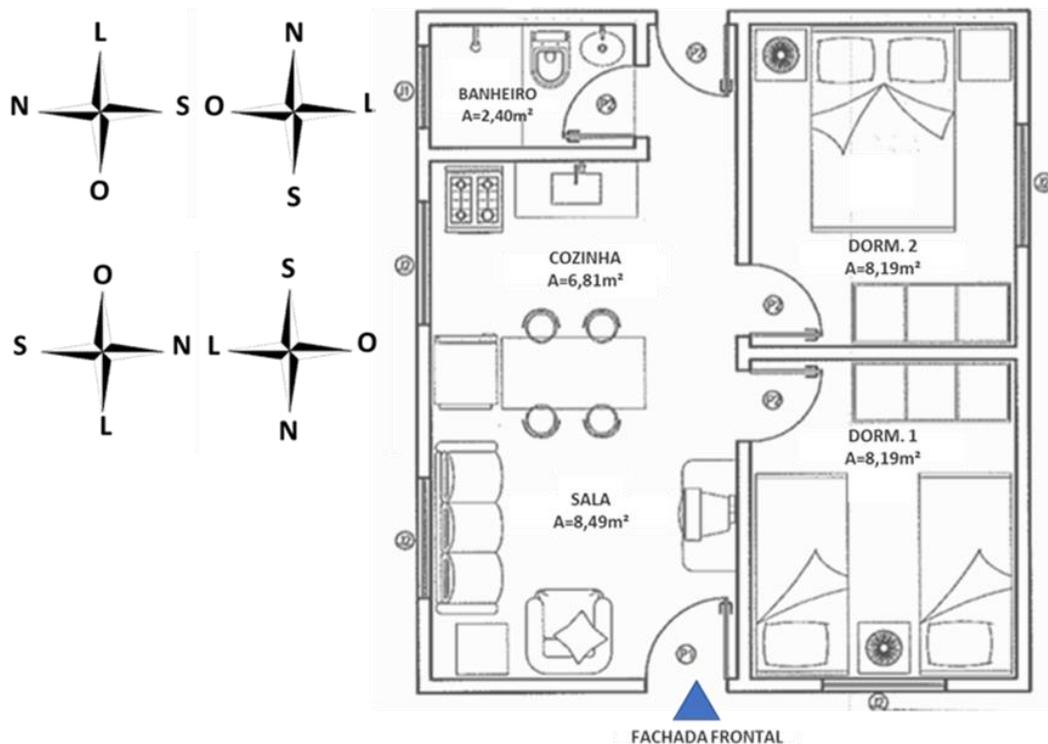
Visando à determinação da orientação de referência – ou seja, da implantação da fachada frontal associada ao maior  $\sum GhDT$ , o que proporciona o pior desempenho ao MO, por cidade –, foram estabelecidos dois critérios. O **primeiro** consistiu na adoção da orientação apontada pelo  $\sum GhDT$  anual de dois dos três cômodos analisados. O **segundo** teve como base o cenário onde cada um dos três ambientes estivesse vinculado a uma orientação diferente compreendida como a pior implantação.

Neste caso, foram identificadas, as especificidades de cada contexto para a determinação da orientação de referência. Assim,  $\sum GhDT$  anual permitiu o reconhecimento dos cenários que proporcionavam o pior desempenho para o MO em cada cidade.

A Figura 22 representa a condição de cada cômodo quanto à variação da implantação de acordo com a orientação da fachada frontal (com indicativo na cor azul). A orientação

indicada nas Tabelas 8 a 14 correspondem à da fachada frontal, para a simulação dos modelos:

Figura 22: Possibilidades de implantação do MO.



Fonte: a autora.

Em **Colatina** (Tabela 8), a partir dos critérios estabelecidos, a orientação da fachada para o **Sul** foi adotada como referência e considerada a pior para o desempenho do MO, correspondendo à pior implantação para a Sala (que, nesta implantação, teria suas aberturas voltadas a Oeste) e para o Dormitório 1 (cuja abertura estaria direcionada à orientação ao Sul e parede ao Leste). A orientação Norte foi a pior para o Dormitório 2 porque a abertura deste cômodo estaria voltada a Oeste.

Tabela 8: Somatório dos valores de GhDT ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ ), por estação e anualmente, nos cenários do MOC.

(continua)					
COLATINA (MOC)					
Orientação da fachada frontal do modelo simulado	Estação do ano ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ )				$\Sigma\text{GhDT Anual}$
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	

(conclusão)						
Sala	Norte	608	815	577	307	2307
	Sul	645	881	643	422	2591
	Leste	608	813	620	433	2474
	Oeste	516	787	582	158	2043
Dormitório 1	Norte	707	936	656	357	2656
	Sul	671	860	686	498	2715
	Leste	680	881	626	427	2614
	Oeste	595	876	710	261	2442
Dormitório 2	Norte	698	925	693	406	2722
	Sul	676	870	615	425	2586
	Leste	693	926	641	414	2674
	Oeste	547	803	681	276	2307

Fonte: a autora.

Em **Vitória** (Tabela 9), a orientação **Oeste** (Figura 24) foi, unanimemente, apontada como a pior para os três ambientes, o que pode ser justificado pela exposição das aberturas da Sala à orientação Norte, além da abertura do Dormitório 1 e da maior parede do Dormitório 2 à orientação Oeste.

Tabela 9: Somatório dos valores de GhDT (°C.h), por estação e anualmente, nos cenários do MOV.

VITÓRIA (MOV)						
	Orientação da fachada frontal	Estação do ano (°C.h)				∑GhDT Anual (°C.h)
		Primavera	Verão	Outono	Inverno	
Sala	Norte	322	766	591	625	2304
	Sul	362	774	630	641	2407
	Leste	394	768	644	625	2431
	Oeste	731	776	583	630	2720
Dormitório 1	Norte	409	826	647	692	2574
	Sul	485	801	698	682	2666
	Leste	436	829	666	694	2625
	Oeste	835	823	696	691	3045
Dormitório 2	Norte	440	813	679	679	2611
	Sul	421	818	653	680	2572
	Leste	385	824	640	685	2534
	Oeste	825	795	695	676	2991

Fonte: a autora.

A orientação **Sul** foi adotada como referência para a cidade de **Salvador** (Tabela 10), que apresentou esta implantação como a pior para a Sala – que, neste cenário, tem suas janelas voltadas a Oeste – e para o Dormitório 1.

Tabela 10: Somatório dos valores de GhDT (°C.h), por estação e anualmente, nos cenários do MOS.

SALVADOR (MOS)						
	Orientação da fachada frontal	Estação do ano (°C.h)				$\Sigma$ GhDT Anual (°C.h)
		Primavera	Verão	Outono	Inverno	
Sala	Norte	773	842	569	500	2684
	Sul	754	841	635	558	2788
	Leste	751	825	650	552	2778
	Oeste	742	830	575	487	2634
Dormitório 1	Norte	831	895	678	597	3001
	Sul	818	881	736	651	3086
	Leste	828	895	708	616	3047
	Oeste	794	863	736	641	3034
Dormitório 2	Norte	791	863	716	632	3002
	Sul	818	888	682	600	2988
	Leste	824	888	664	586	2962
	Oeste	804	865	727	638	3034

Fonte: a autora.

A orientação **Sul** também foi adotada como referência para a cidade de **Recife** (Tabela 11), que apontou esta implantação como a pior para a Sala e para o Dormitório 1. Além disso, compreendeu-se que a orientação Norte foi indicada como a pior para o Dormitório 2 porque, neste contexto, a abertura deste ambiente estaria voltada à orientação Oeste.

Tabela 11: Somatório dos valores de GhDT (°C.h), por estação e anualmente, nos cenários do MORE.

(continua)

RECIFE (MORE)						
	Orientação da fachada frontal	Estação do ano (°C.h)				$\Sigma$ GhDT Anual (°C.h)
		Primavera	Verão	Outono	Inverno	
Sala	Norte	816	851	748	576	2991
	Sul	832	850	775	613	3070
	Leste	806	830	759	622	3017
	Oeste	816	842	747	562	2967

(conclusão)						
Dormitório 1	Norte	868	902	811	649	3230
	Sul	855	875	822	702	3254
	Leste	862	900	791	672	3225
	Oeste	844	871	829	702	3246
Dormitório 2	Norte	841	868	828	688	3225
	Sul	857	893	783	659	3192
	Leste	864	892	798	625	3179
	Oeste	843	862	810	699	3214

Fonte: a autora.

Em **Boa Vista** (Tabela 12), a orientação **Oeste** foi assumida como referencial, por ter sido a que proporcionou o pior desempenho para a Sala e para o Dormitório 1. Neste cenário, quando a fachada frontal é orientada a Oeste, a abertura do Dormitório 1 também está voltada a Oeste, enquanto as aberturas da sala estão voltadas ao Norte, corroborando à escolha desta orientação como aquela que proporciona o pior desempenho à edificação.

Tabela 12: Somatório dos valores de GhDT ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ ), por estação e anualmente, nos cenários do MOB.V.

BOA VISTA (MOBV)						
	Orientação da fachada frontal	Estação do ano ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ )				$\Sigma\text{GhDT Anual } (^{\circ}\text{C}\cdot\text{h})$
		Primavera	Verão	Outono	Inverno	
Sala	Norte	891	841	650	800	3182
	Sul	910	845	677	839	3271
	Leste	880	831	666	826	3203
	Oeste	904	839	725	818	3286
Dormitório 1	Norte	935	877	745	876	3433
	Sul	897	856	737	864	3354
	Leste	906	864	712	851	3333
	Oeste	923	864	796	890	3473
Dormitório 2	Norte	928	860	749	887	3424
	Sul	904	861	706	842	3313
	Leste	932	866	729	867	3394
	Oeste	892	846	782	861	3381

Fonte: a autora.

Em **Manaus** (Tabela 13), a orientação **Norte** foi instituída como referencial, já que proporcionou o pior desempenho aos dois dormitórios. A adoção desta orientação como a que vincula o pior desempenho à edificação é ratificada, já que, quando a fachada frontal da moradia está voltada ao Norte, a abertura do Dormitório 1 também está voltada ao Norte, enquanto a maior parede – exposta à radiação direta – do Dormitório 2 está voltada a Oeste.

Tabela 13: Somatório dos valores de GhDT (°C.h), por estação e anualmente, nos cenários do MOM.

MANAUS (MOM)						
	Orientação da fachada frontal	Estação do ano (°C.h)				$\Sigma$ GhDT Anual (°C.h)
		Primavera	Verão	Outono	Inverno	
Sala	Norte	868	734	726	831	3159
	Sul	878	743	745	862	3228
	Leste	861	724	743	849	3177
	Oeste	887	740	725	843	3195
Dormitório 1	Norte	916	809	787	870	3382
	Sul	876	787	786	872	3321
	Leste	895	802	782	856	3335
	Oeste	907	790	796	884	3377
Dormitório 2	Norte	909	785	793	882	3369
	Sul	896	790	774	855	3315
	Leste	905	808	786	867	3366
	Oeste	877	776	782	871	3306

Fonte: a autora.

Finalmente, adotou-se o Oeste como a orientação de referência para a cidade de Rio Branco (Tabela 14), por ter sido caracterizada como aquela que proporcionou o pior desempenho à Sala e ao Dormitório 1. Neste cenário, a abertura do Dormitório 1 estaria voltada ao Norte, e as aberturas da sala, Oeste.

Tabela 14: Somatório dos valores de GhDT (°C/h.dia), por estação e anualmente, nos cenários do MORB.

RIO BRANCO (MORB)						
	Orientação da fachada frontal	Estação do ano (°C.h)				$\Sigma$ GhDT Anual (°C.h)
		Primavera	Verão	Outono	Inverno	
Sala	Norte	678	552	590	754	2574
	Sul	691	562	603	775	2631
	Leste	677	562	618	780	2637
	Oeste	699	573	618	750	2640
Dormitório 1	Norte	747	635	658	781	2821
	Sul	721	600	669	787	2777
	Leste	738	621	655	777	2791
	Oeste	752	649	688	804	2893
Dormitório 2	Norte	745	624	672	800	2841
	Sul	728	602	650	766	2746
	Leste	745	629	655	772	2801
	Oeste	713	598	667	788	2766

Fonte: a autora.

Assim, as orientações de referência dos MOs, adotadas para a simulação dos respectivos PHs, foram apresentadas na Tabela 15:

Tabela 15: Orientação de referência do MO para a simulação dos PHs.

Cidade	Orientação de referência para a simulação dos PHs
Colatina	Sul
Vitória	Oeste
Salvador	Sul
Recife	Sul
Boa Vista	Oeste
Manaus	Norte
Rio Branco	Oeste

Fonte: a autora.

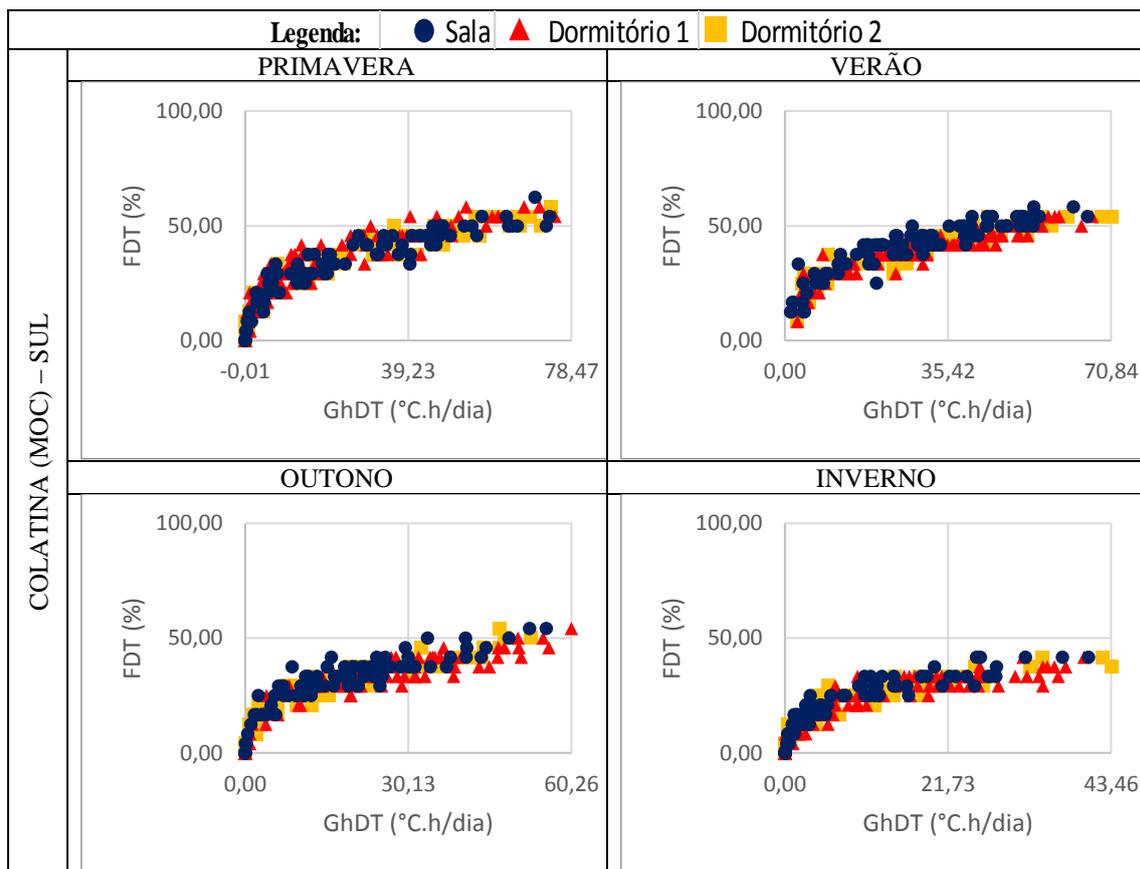
## Diagramas de fluabilidade

Os diagramas de fluabilidade (Gráficos 14 a 20) ilustraram a intensidade e a frequência do desconforto dentro das habitações no MO, indicando condição de desconforto frequente e, em quase todos os cenários, simultaneamente intenso para alguns períodos dentro da moradia, ratificados pelos elevados índices de FDT e, sobretudo, pelos altos valores de GhDT.

### A- Colatina - MOC

Como demonstrado no Gráfico 7, em Colatina, a primavera e o verão apresentaram, respectivamente, os piores resultados quanto ao conforto térmico, caracterizadas por desconforto temporário leve e temporário intenso, com alguns dias nas estações do verão, outono e primavera com desconforto frequente e intenso. A primavera, teve o maior GhDT, de, aproximadamente, 79 °C.h/dia. O Inverno se consolidou, como a estação com os índices menos intensos de GhDT e FDT, contando com um GhDT máximo de 45% menor que na estação da primavera.

Considerando o ano inteiro, a cidade de Colatina recebe, no verão, a maior incidência total diária de radiação direta normal de todo o ano – com uma média mensal de 4957 Wh/m<sup>2</sup>.dia, que superam todos os demais meses do ano para este parâmetro. Já a média do total diário de radiação na primavera é de, aproximadamente, 3484 Wh/m<sup>2</sup>.dia, abaixo dos demais meses do ano. Contudo, o arquivo climático de Colatina (AMORIM, 2015), demonstra que a orientação Sul conta com maior frequência de ocorrência de ventilação no verão – 8,78% –, o que pode caracterizar a diferença de desconforto, pouco maior na primavera. Os altos índices de desconforto registrados na primavera e no verão também podem ser intensificados pela elevada umidade, já que as duas estações consistem nos meses de maior umidade relativa do ar no município, de, em média, 82,57%.

Gráfico 7: Somatório dos valores de GhDT ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$ ), por estação, obtidos para cada cenário do MOC.

Fonte: a autora.

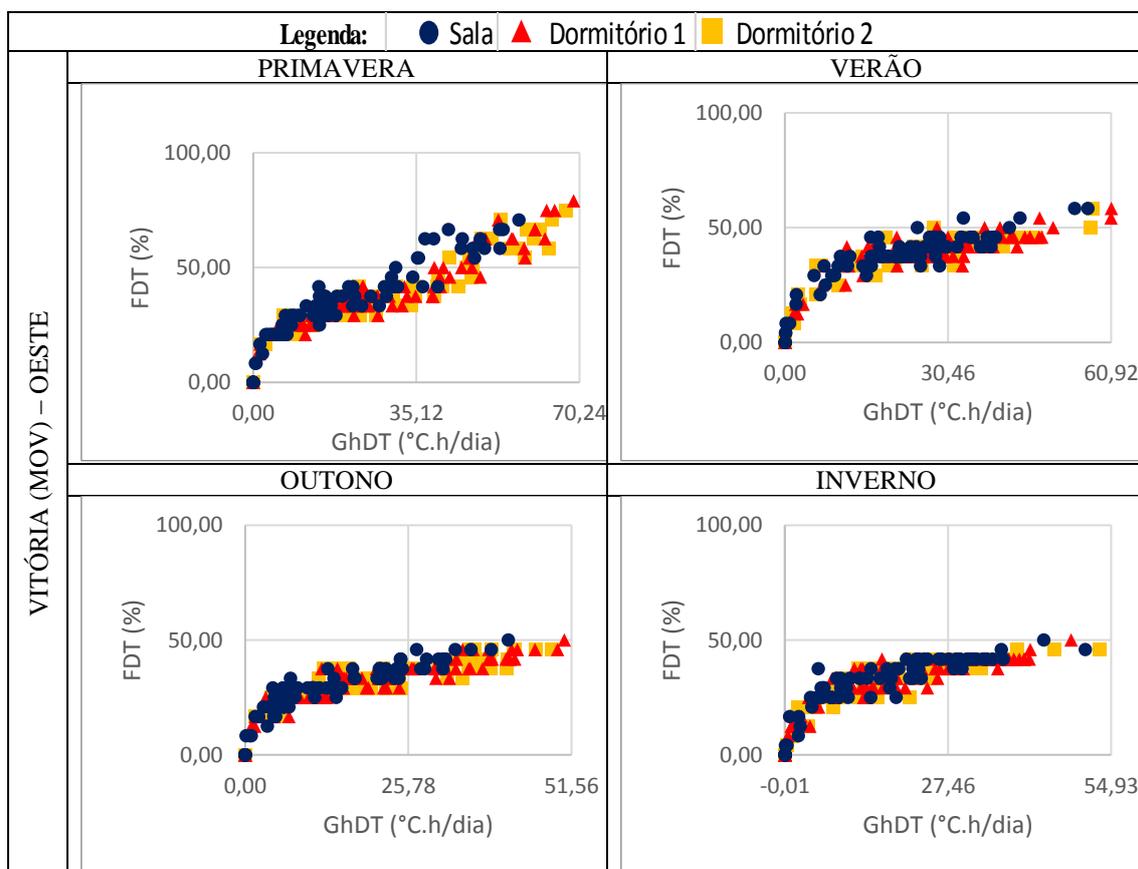
### B- Vitória - MOV

Considerando o conforto e o desempenho térmico da edificação, a primavera também se consolidou como a pior estação para Vitória (Gráfico 8), com até  $70,24\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$  de desconforto. A primavera contou com períodos de desconforto temporário intenso, mas, sobretudo, com desconforto temporário leve e frequente intenso, demonstrando a variação da frequência e da intensidade do GhDT. No verão, também foram registrados períodos de desconforto frequente e intenso, mas prevaleceram os intervalos de desconforto temporário, tanto leve quanto intenso. Em Vitória, a radiação solar direta chega a um total diário médio de  $6484\text{ Wh}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$  em fevereiro e  $5517\text{ Wh}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$  em janeiro, demonstrando que o verão conta com os mais elevados valores para este fator.

O melhor desempenho foi obtido no outono, que apresentou o menor – mas ainda elevado – quantitativo de horas de desconforto térmico, inferior a  $52\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$ . O outono registrou a menor frequência e intensidade de desconforto do MOV, com níveis que variaram entre leve e intenso, mas sempre temporário. Ainda que não configure o quadrante de frequência média de ventilação mais intensa – com, apenas,  $5,78\%$  da ocorrência dos

ventos, como demonstrado no Gráfico 8 –, a orientação oeste, adotada como referência para Vitória, conta com frequência de ocorrência de ventos de 8% no outono (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2016), representando a estação mais privilegiada pela incidência eólica durante o ano. Em seguida, com uma frequência de ventos de 4,9% (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2016), o inverno configura a segunda estação onde há maior disponibilidade deste recurso, permitindo inferir a influência deste parâmetro no conforto térmico.

Gráfico 8: Somatório dos valores de GhDT ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$ ), por estação, obtidos para cada cenário do MOV.



Elaboração: a autora.

### C- Salvador - MOS

Foram registrados, para a cidade de Salvador (Gráfico 9), valores máximos de graus-horas de desconforto menores que os das cidades de Vitória e Colatina, que contam com latitudes inferiores. Entretanto, todas as estações registraram períodos significativos de

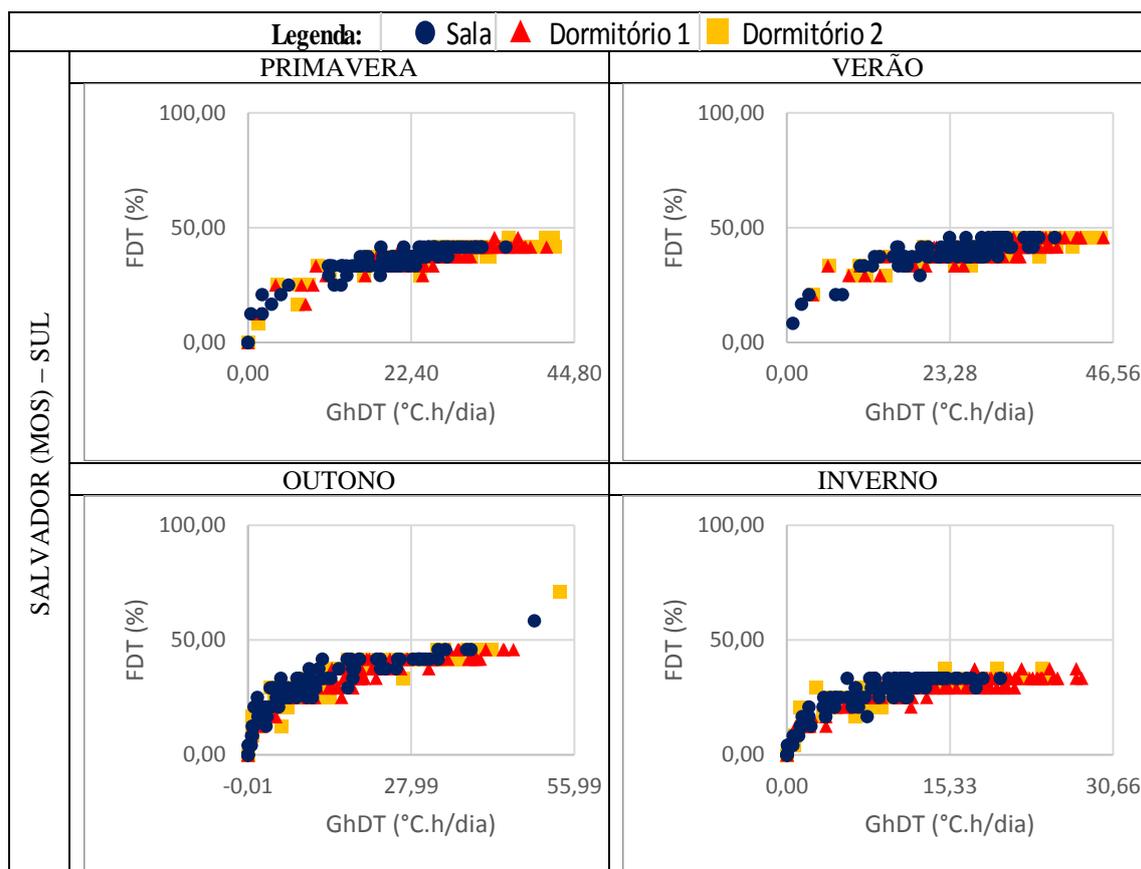
desconforto térmico no MOS, que se manteve, majoritariamente, entre temporário leve e intenso, com registros de desconforto frequente e intenso em alguns dias do outono.

Na cidade de Salvador, o pior desempenho foi vinculado à estação do outono, que atingiu 55,99 °C.h/dia de desconforto. Em seguida, os piores desempenhos foram obtidos pelas estações do verão e da primavera, respectivamente, com 46,56 °C.h/dia e 44,80 °C.h/dia de desconforto térmico.

Destaca-se que o outono, em Salvador, apresenta a maior média de umidade relativa do ar, de, aproximadamente, 79% (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2016). Os altos percentuais de umidade podem ocasionar dificuldades evaporação do suor, além de dificultar a dispersão do calor do ambiente interno, sobretudo durante a noite, podendo configurar um elemento que coopera para o maior GhDT no outono.

Ainda, o mês de março, que pertence à estação do outono, vincula uma temperatura média mensal do ar externo de 27,55°C, se caracterizando como a média de temperatura mais elevada do ano. A pequena diferença de graus-hora entre o outono e o verão pode ser relacionada aos picos constatados nas normais climatológicas, ocasionando dias de desconforto mais elevado, que chegam a atingir a zona de desconforto frequente e intenso do diagrama, ratificando os resultados obtidos.

Em Salvador, a orientação de referência – sul – não configura o quadrante de predominância da ventilação natural, com 12,12% de incidência, como apontado no Gráfico 10. Contudo, o inverno, que apresenta o menor quantitativo de desconforto, conta com o maior percentual de frequência de ocorrência de ventos nesta orientação, igual a 48,9% (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2016), além da menor incidência média de total diário de radiação direta normal nos meses que o compõem, de cerca de 3987,67 Wh/m<sup>2</sup>.dia, configurando valores mais amenos de condicionantes do clima para o município de Salvador.

Gráfico 9: Somatório dos valores de GhDT ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$ ), por estação, obtidos para cada cenário do MOS.

Fonte: a autora.

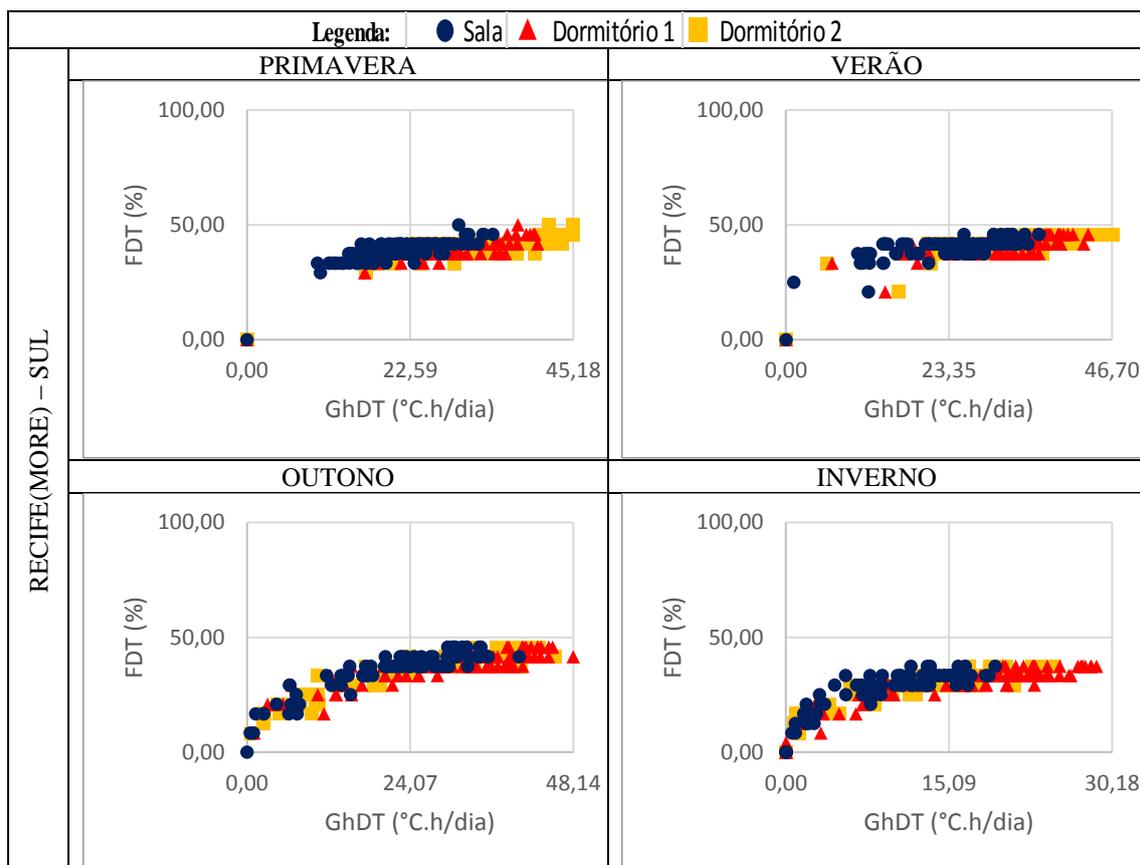
#### D- Recife - MORE

Em Recife (Gráfico 10), os níveis de desconforto se mantiveram como temporários, para o ano inteiro, variando de leves a intensos. Ressalta-se que, na primavera e no verão, foram registrados, majoritariamente, valores elevados de GhDT, indicando a maior incidência de desconforto intenso e, sobretudo, temporário para alguns dias. Os valores de GhDT máximos, para a cidade de Recife, ainda se mantiveram menores que em outros municípios de longitude similar e latitude inferior.

O diagrama de fluabilidade do MORE aponta a estação do outono como a pior para o conforto do usuário, com GhDT de até  $48,14^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$ , e o inverno se caracterizou como a estação menos desconfortável, atingido  $30,18^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$ . Em Recife, o outono conta com a segunda maior média de umidade relativa do ar, dentre as quatro estações do ano, de cerca de 80%. A maior umidade corresponde ao inverno, com 83,31% (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2016). Entretanto, o inverno registra a menor incidência anual média de total diário de radiação direta normal, de  $4241,67 \text{ Wh}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$  –

enquanto o outono atinge os 4579 Wh/m<sup>2</sup>.dia –, o que pode minimizar o desconforto térmico fomentado pela elevada umidade. O outono também se caracteriza por uma temperatura média do ar externo maior que a do inverno – de 25,96.°C e 24,20°C, respectivamente – e por um valor elevado de umidade relativa do ar, similar à do inverno, que pode ser, portanto, associado ao desconforto térmico mais intenso nesta estação.

O verão e a primavera apresentam valores de GhDT significativamente similares ao do outono, com apenas alguns graus-hora de diferença. Depreende-se que o desconforto térmico registrado para estas estações pode ser relacionado, no verão, à maior incidência de radiação direta normal do ano, igual a 5248 Wh/m<sup>2</sup>.dia, associada à maior média de temperaturas médias mensais do ano, que, em Recife, é de 26,94°C. Relaciona-se a estes fatores a baixa frequência de ventilação na orientação sul – adotada como referência – de, somente, 10,77% (Gráfico 10), e que chega a, apenas, 6% no verão (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2016). A primavera conta com índices de radiação e temperatura similares aos do verão – de 5166,67 Wh/m<sup>2</sup>.dia e 25,94°C –, mas conta com maior frequência de ocorrência da ventilação natural, chegando a 10,3% (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2016), demonstrando a proporcionalidade dos resultados.

Gráfico 10: Somatório dos valores de GhDT ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$ ), por estação, obtidos para cada cenário do MORE.

Fonte: a autora.

## E- Boa Vista – MOBV

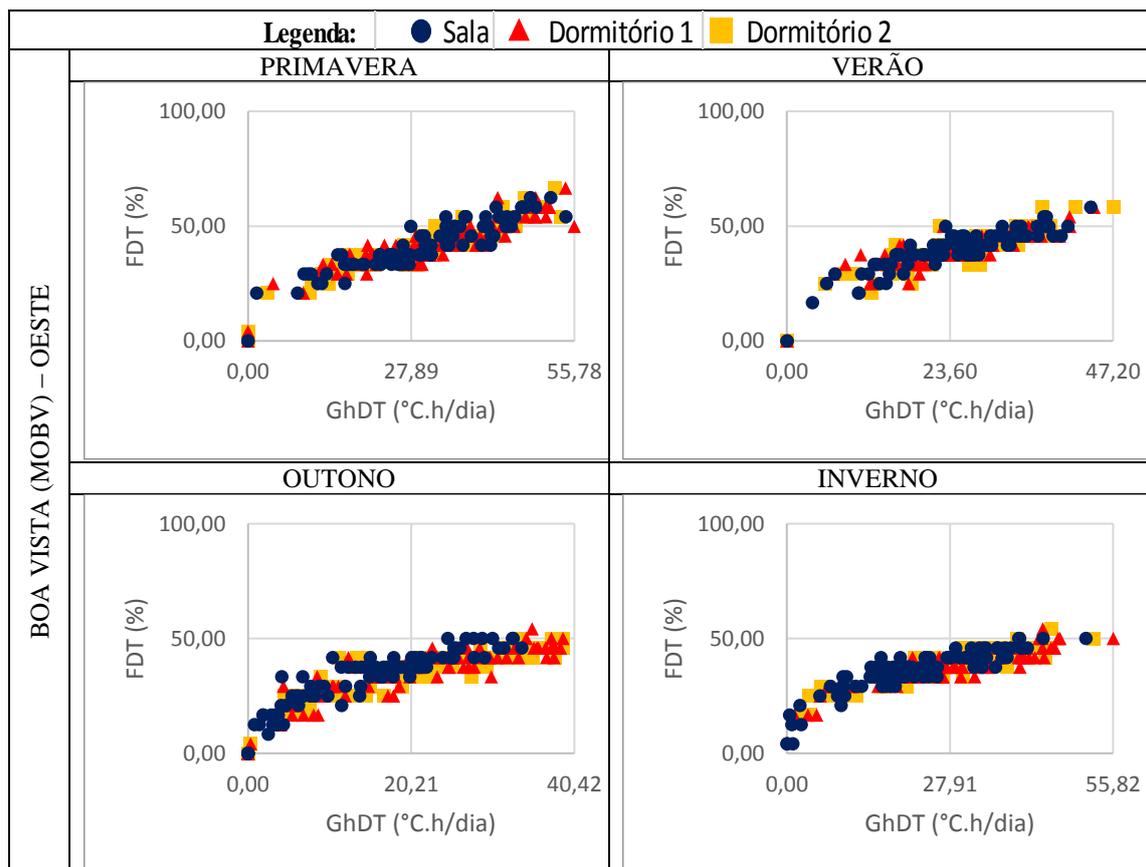
Como demonstrado no Gráfico 11, na cidade de Boa Vista, o pior desempenho foi obtido na estação do inverno, com  $55,82\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$ , ainda que seja observada uma significativa similaridade com a primavera, que se caracteriza como aquela que proporciona o segundo pior cenário para o conforto, com um GhDT de  $55,78^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$ . A condição geral apresentada no diagrama demonstra que, durante o ano, predomina o desconforto temporário leve para intenso. Entretanto, alguns dias, sobretudo da primavera e do verão, registram picos, atingindo o desconforto frequente e intenso.

Boa Vista é a única capital brasileira localizada – mais de  $300\text{km}$  – acima da Linha do Equador. Por isso, devido ao formato geoide do globo terrestre, a incidência da radiação direta normal ocorre, em Boa Vista, de forma mais próxima. Além disso, por pertencer ao hemisfério Norte, inverso ao das demais capitais do Brasil, a estação do inverno, em Boa Vista, corresponde ao período do verão nas demais regiões do país, enquanto o verão, nesta cidade, corresponde à estação do inverno nas outras capitais brasileiras, ratificando

os resultados obtidos. Portanto, Boa Vista apresentou o pior desempenho durante o inverno brasileiro, seguido da primavera no Brasil.

Nos meses que compõem o inverno brasileiro, Boa Vista contou com níveis elevados de radiação direta normal. A média da radiação total diária, para os meses do inverno, foi a segunda maior do ano, com 3788 Wh/m<sup>2</sup>/dia. A primavera conta com a mais intensa radiação, igual a 4597 Wh/m<sup>2</sup>.dia. Contudo, a umidade relativa do ar média nos meses de inverno corresponde a 80,37%, representando valores mais elevados que nos meses da primavera, que apresentam, em média, 74,10% (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2016). A associação dos elevados valores de radiação solar e umidade, que acarretam o desconforto dos ocupantes das moradias, se apresenta, portanto, em valores proporcionais aos piores resultados, obtidos, respectivamente, pelas estações do inverno e da primavera.

Gráfico 11: Somatório dos valores de GhDT (°C.h/dia), por estação, obtidos para cada cenário do MOB.V.



Elaboração: a autora.

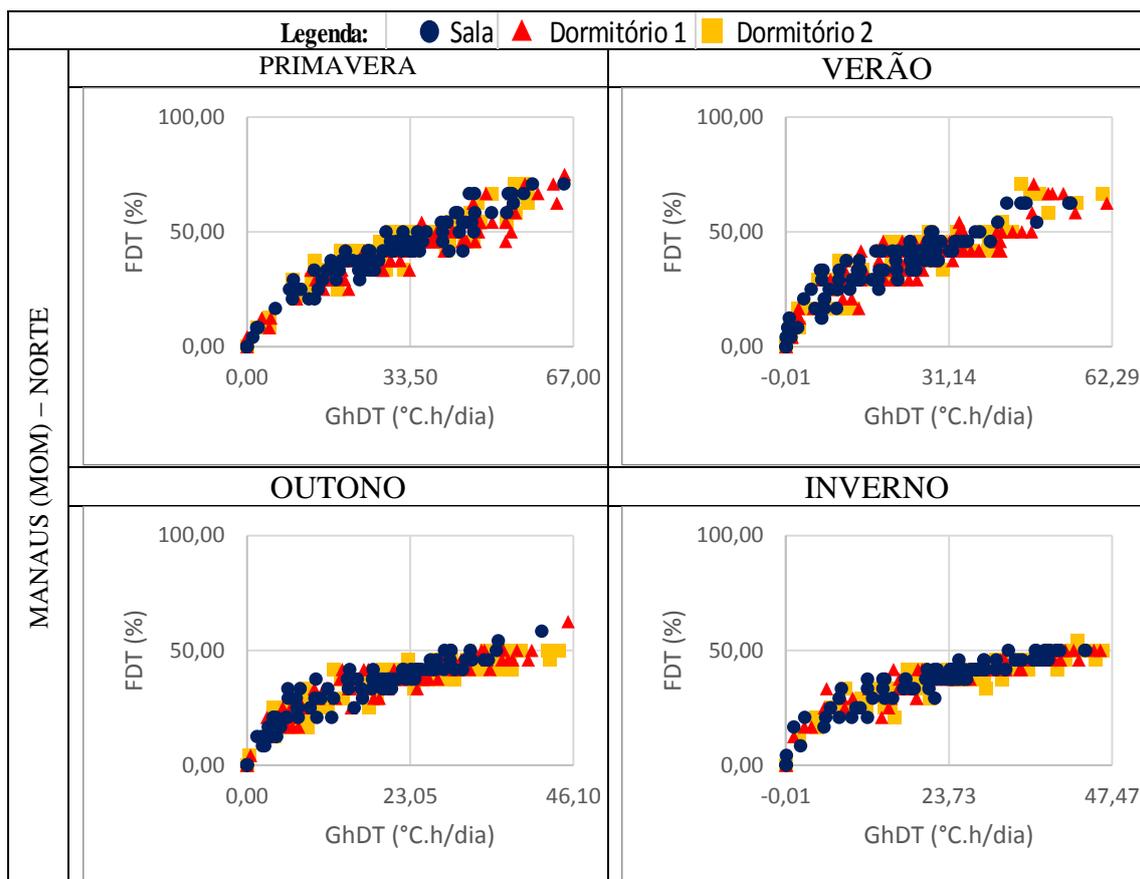
#### F- Manaus - MOM

Os diagramas, mostrados no Gráfico 12, apontaram que, em Manaus, o desconforto térmico oscilou, a primavera e no verão, entre temporário leve e frequente intenso, com

dias de registro de desconforto temporário e intenso. O inverno e o outono se configuraram, predominantemente, como períodos de desconforto térmico temporário, de leve a intenso, com dias de desconforto frequente e intenso.

Em Manaus, onde a pluviosidade e umidade são relevantemente altas se comparadas às demais cidades do recorte amostral, a primavera, seguida do verão, se destacou como a pior estação, com o maior GhDT e, conseqüentemente, maior desconforto térmico. A elevada umidade relativa, que corresponde, na primavera e o verão, respectivamente, às médias de 78,67% e 85,53% (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2016), pode ser relacionada ao desconforto nessas estações, que chegaram a registrar GhDT máximo 67 °C.h/dia e 62,59 °C.h/dia, configurando as piores estações do ano para o conforto térmico em Manaus.

Os melhores resultados foram obtidos nas estações do outono e inverno, respectivamente, que apresentam desconforto mais ameno, registrado em 46,10 °C.h/dia e 47,47 °C.h/dia. O outono, que configurou a melhor estação do ano para o conforto térmico em Manaus, conta, também, com a menor média de total diário de radiação direta normal, igual a 1739 Wh/m<sup>2</sup>.dia.

Gráfico 12: Somatório dos valores de GhDT ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$ ), por estação, obtidos para cada cenário do MOM.

Elaboração: a autora.

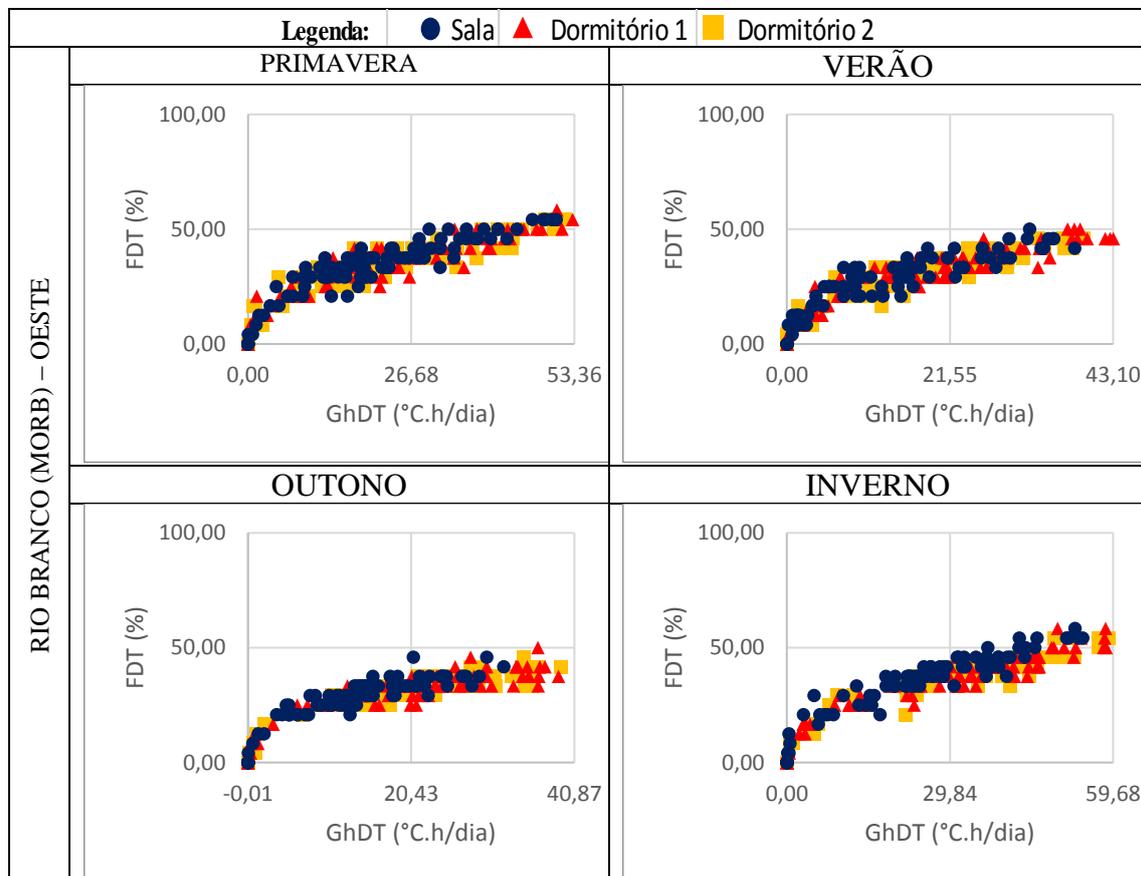
### G- Rio Branco - MORB

Em Rio Branco (Gráfico 13), as estações do inverno e da primavera, respectivamente, se caracterizaram como as piores para o conforto do usuário, registrando índices de GhDT de  $59,68^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$  e  $53,36^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$ , respectivamente. Os valores de radiação direta normal média em Rio Branco apresentam a maior média anual para o inverno, de  $4185 \text{ Wh}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$ , que representa quase o dobro da média de radiação incidente no outono e no verão – de, respectivamente,  $2718 \text{ Wh}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$  e  $2417,67 \text{ Wh}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$ . Assim, a umidade relativa do ar, no inverno, de  $81,60\%$ , associada aos níveis elevados de radiação, corrobora à formação do cenário de desconforto térmico que caracteriza o inverno.

A primavera registra a segunda maior média de radiação direta normal de  $3715,33 \text{ Wh}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$ , que, associada à umidade, superior a  $82\%$ , determina esta estação como a segunda pior para o conforto térmico. Os diagramas de fluabilidade demonstraram

desconforto temporário, de leve a intenso, chegando em alguns períodos ao desconforto frequente e intenso.

Gráfico 13: Somatório dos valores de GhDT ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$ ), por estação, obtidos para cada cenário do MORB.



Fonte: a autora.

Todos os 8 PHs foram simulados em todos os municípios do recorte amostral, adotando a orientação de referência obtida anteriormente – ou seja, a implantação que proporcionou o pior desempenho térmico ao MO em cada cidade. Os resultados de todos os protótipos foram apresentados no Apêndice C e constatou-se que o PH2 – 20%, composto por paredes em bloco cerâmico 14x19x39cm, cobertura em Isotelha – núcleo de PUR (30mm) – com ático ventilado e forro PVC, janelas maxim-ar com duas venezianas laterais em disposição vertical, com área efetiva total de ventilação igual a 20% da área de piso do cômodo, se apresentou como o melhor protótipo quanto ao desempenho térmico das moradias em todos os cenários – cidades, estações e orientações – avaliados.

Na Tabela 16, que consiste em um recorte do Apêndice C, foram apresentados os valores finais de GhDT do PH2 – 20% de cada cidade. Os valores de  $\sum\text{GhDT}$  anual foram comparados ao  $\sum\text{GhDT}$  do MO, obtido para a orientação de referência – indicada junto à

cidade –, demonstrando, em todos os cenários, uma redução expressiva do desconforto nas moradias.

Tabela 16: Resultado do PH2 – 20% que caracterizou o melhor protótipo dentro todos os simulados.

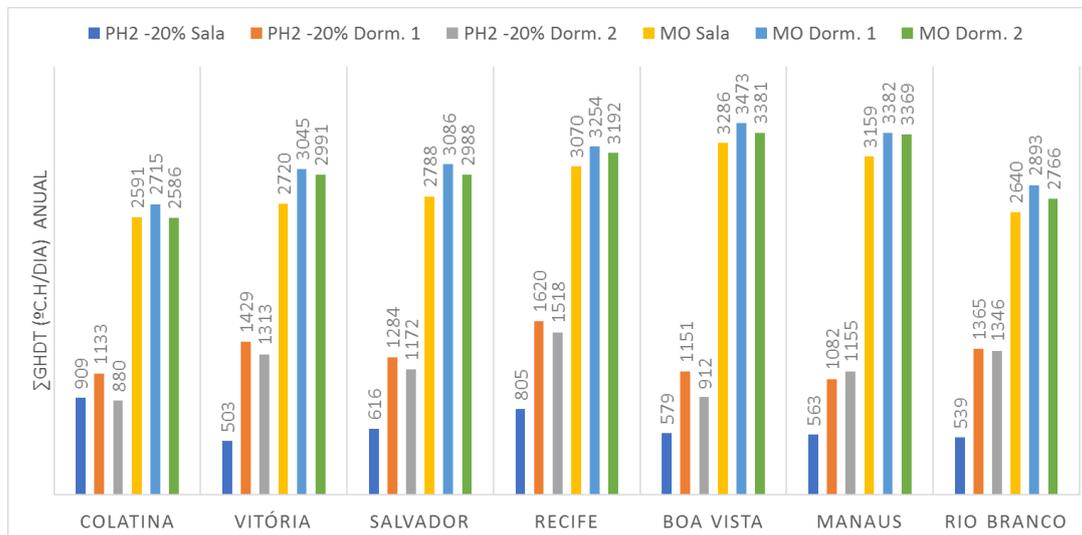
PH2 – 20% - Valores totais de GhDT								
Cidade (orientação da fachada frontal simulada)		GhDT por estação do ano (°C/h)				$\sum$ GhDT Anual PH2 – 20 % (°C/h)	$\sum$ GhDT Anual MO (°C/h)	Redução do $\sum$ GhDT (°C/h)
		Primavera	Verão	Outono	Inverno			
Colatina (orientação Sul)	Sala	299	421	158	31	909	2591	1682
	Dorm.1	291	402	291	149	1133	2715	1582
	Dorm.2	306	393	118	63	880	2586	1706
Vitória (orientação Oeste)	Sala	191	254	58	0	503	2720	2217
	Dorm.1	486	560	312	71	1429	3045	1616
	Dorm.2	399	481	328	105	1313	2991	1678
Salvador (orientação Sul)	Sala	242	283	91	0	616	2788	2172
	Dorm.1	457	469	240	118	1284	3086	1802
	Dorm.2	499	491	148	34	1172	2988	1816
Recife (orientação Sul)	Sala	264	359	177	5	805	3070	2265
	Dorm.1	513	510	416	181	1620	3254	1634
	Dorm.2	582	594	267	75	1518	3192	1674
Boa vista (orientação Oeste)	Sala	309	221	47	2	579	3286	2707
	Dorm.1	489	348	211	103	1151	3473	2322
	Dorm.2	363	270	182	97	912	3381	2469
Manaus (orientação Norte)	Sala	275	210	66	12	563	3159	2596
	Dorm.1	505	436	134	7	1082	3382	2300
	Dorm.2	495	391	202	67	1155	3369	2214
Rio Branco (orientação Oeste)	Sala	236	216	63	24	539	2640	2101
	Dorm.1	435	378	270	282	1365	2893	1528
	Dorm.2	362	316	409	259	1346	2766	1420

Fonte: a autora.

A diferença entre os  $\sum$ GhDT do PH2-20% e do MO, adotando a orientação de referência, demonstraram que os maiores impactos ocorreram, em números absolutos – ou seja, contabilizando a redução numérica simples dos graus-hora de desconforto – na cidade de Boa Vista. A minimização do desconforto térmico também foi apontada no Gráfico 14, auxiliando na compreensão da otimização obtida pela adequação do modelo à normativa. Depreende-se que, mesmo que a ocorrência de horas de desconforto seja registrada,

simultaneamente para os três cômodos de longa permanência, a análise somada dos cômodos permite a compreensão do desempenho geral do protótipo para cada cidade.

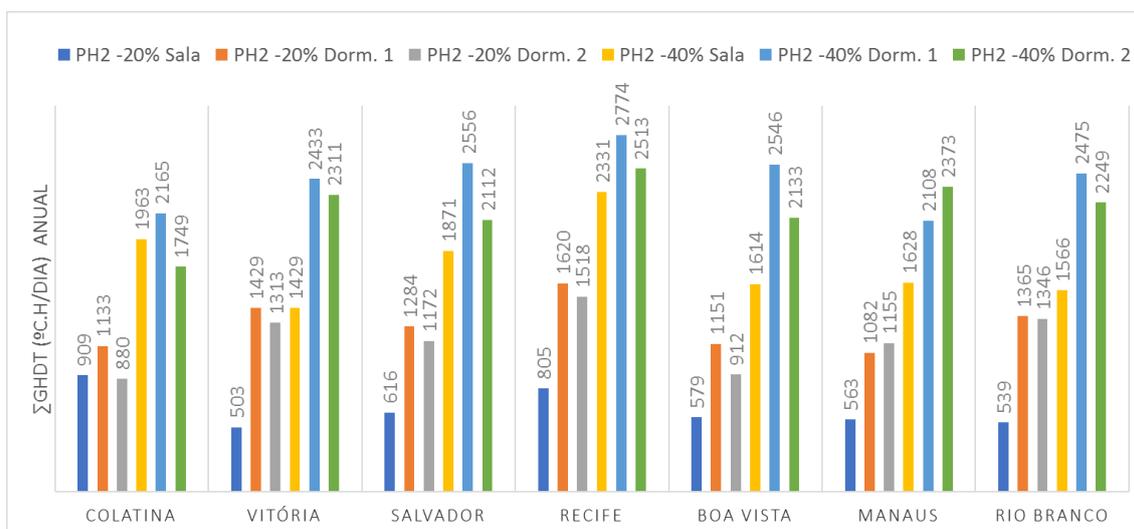
Gráfico 14: Somatório de GhDT (C°/h.dia) anual - Comparação entre o MO e o PH2-20%.



Fonte: a autora.

O PH2 – 40%, que conta com os mesmos materiais de parede e cobertura do PH2 – 20%, mas atente às recomendações da NBR 15220 – 3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) quanto aos 40% de área útil de ventilação – e com maior metragem de área envidraçada –, apresentou um resultado menos eficaz quanto à melhoria do desempenho térmico da edificação, como demonstrado no Gráfico 15.

Gráfico 15: Comparação entre o somatório anual de GhDT (C°h/dia) do PH2-40% e do PH2-20%, por cômodo, em todas as cidades.

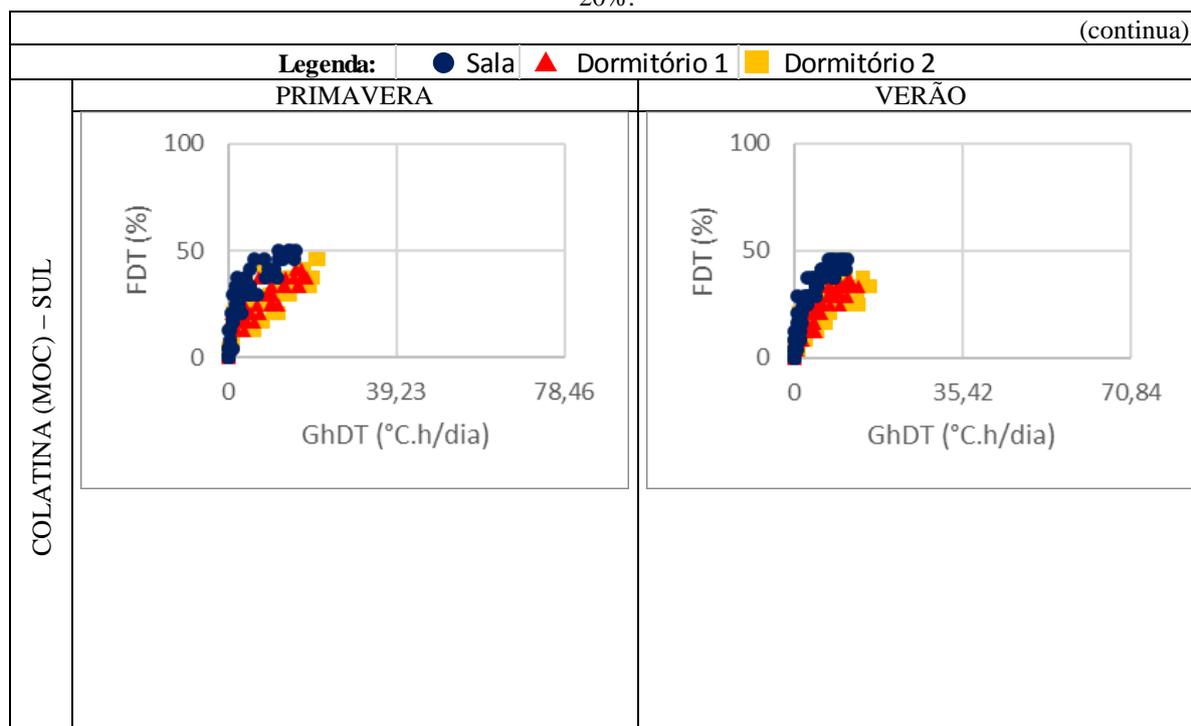


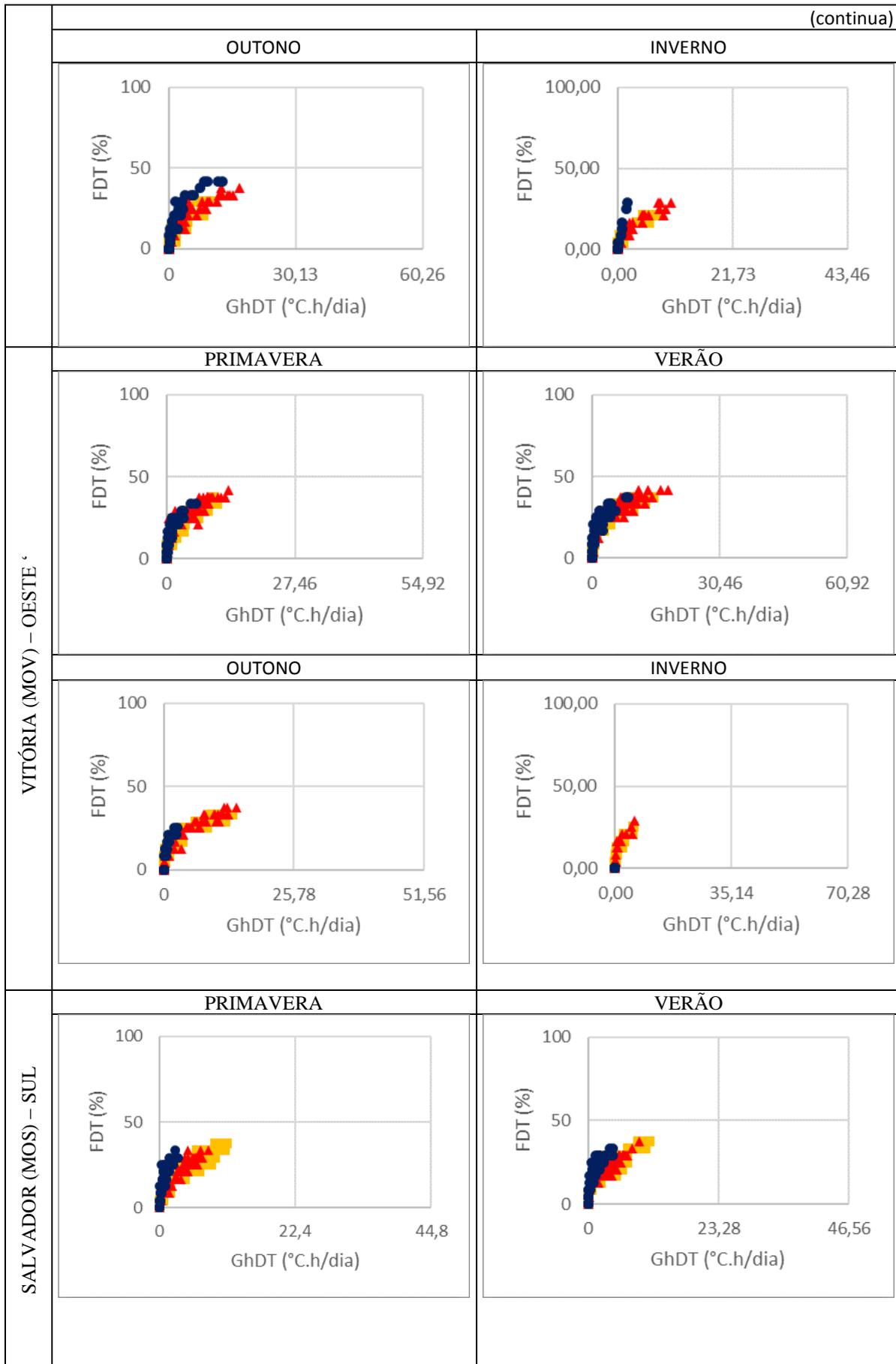
Fonte: a autora.

Portanto, em todos os cenários avaliados, a área útil de ventilação preconizada pela NBR 15220 – 3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), de 40% da área de piso, não se configurou como a mais eficiente, destacando que, entre vários fatores, o posicionamento da janela na fachada pode ter contribuído para o aumento da carga térmica acarretando, conseqüentemente, um desempenho térmico não satisfatório em relação ao percentual de área efetiva de ventilação de 20%. Ressalta-se que a NBR 15575 – 4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), indica áreas úteis de ventilação superiores a 12% – para a região Norte – e a 7% – para as regiões Norte e Sudeste do Brasil – e o RTQ – R (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010), recomenda áreas úteis de ventilação maiores que 10% (como uma média dos percentuais da NBR 15575 – 4 para a Zona 8), que caracterizam soluções mais plausíveis para a melhoria do desempenho térmico, no caso do recorte da pesquisa.

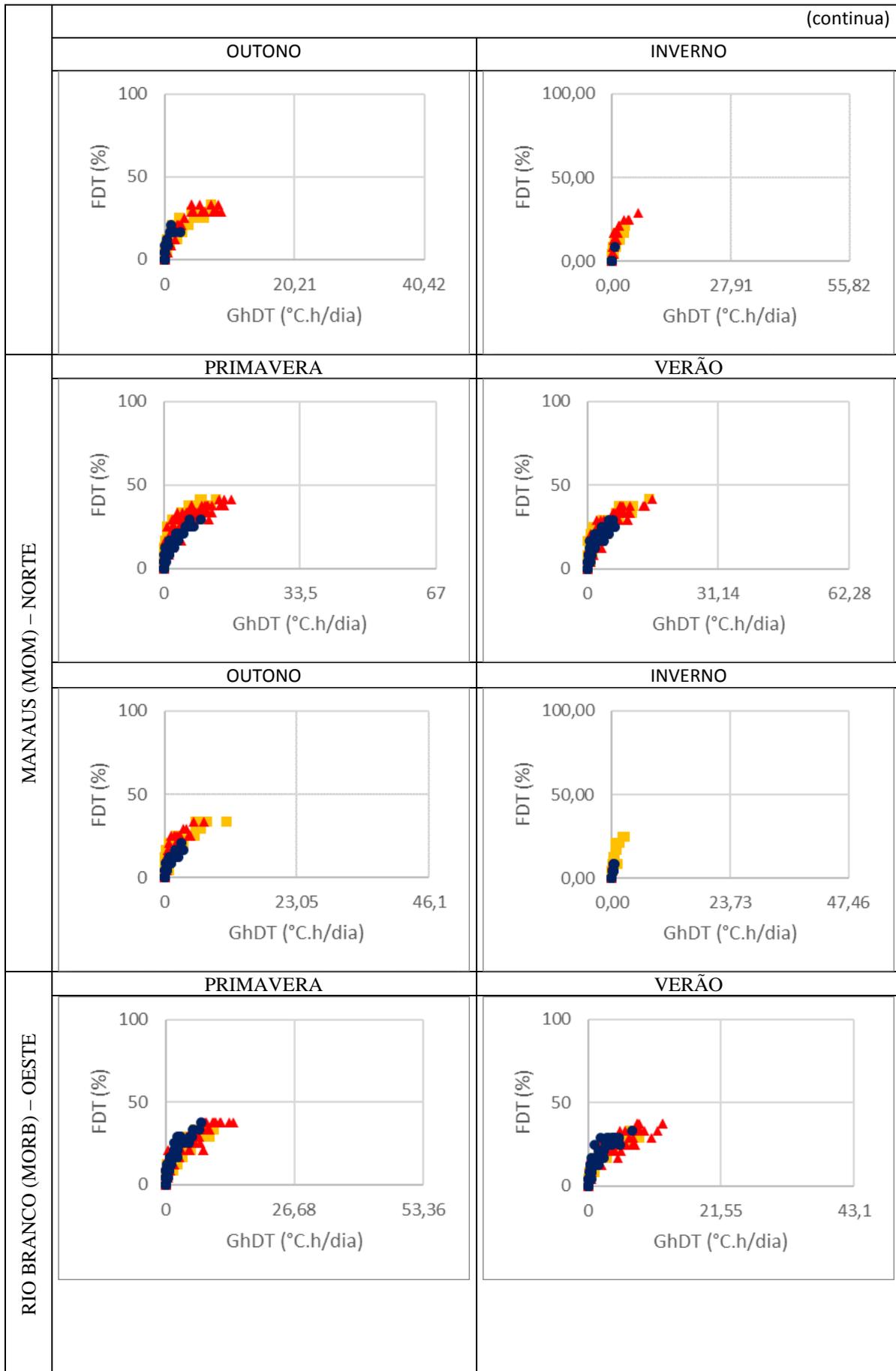
Os diagramas de fluatibilidade (Gráfico 16) demonstraram a redução significativa do FDT e do GhDT em todas as cidades, apontando a minimização na frequência e na intensidade do desconforto, quando comparado aos diagramas de fluatibilidade do MO. Em todas as cidades, o PH2 – 20% demonstrou resultados que definiram um desconforto temporário e leve, além de diversos registros de dias sem desconforto térmico – quando os índices estão localizados no zero.

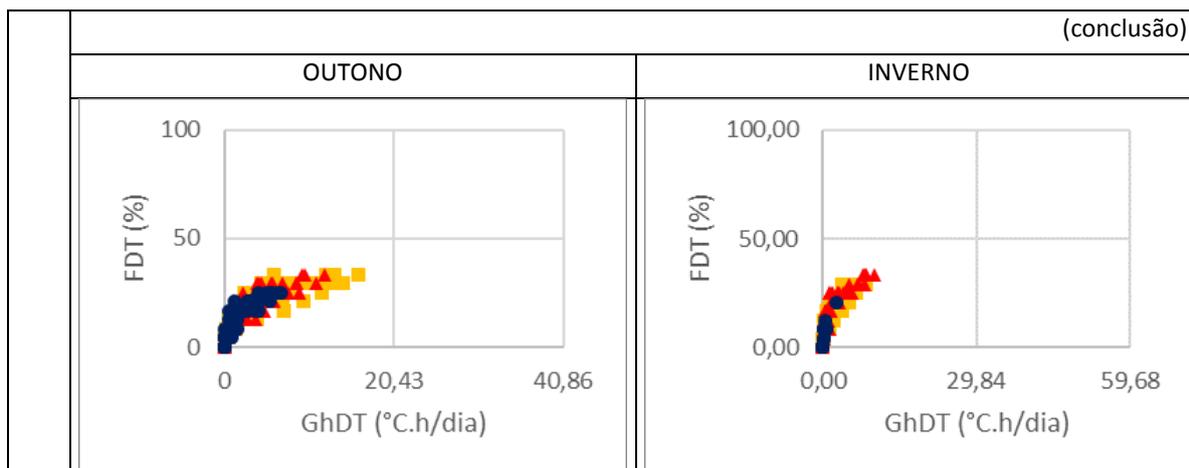
Gráfico 16: Somatório dos valores de GhDT ( $^{\circ}\text{C.h/dia}$ ), por estação, obtidos para cada cenário do PH2-20%.





		(continua)	
RECIFE (MORE) – SUL	OUTONO	INVERNO	
	PRIMAVERA	VERÃO	
BOA VISTA (MOBV) – OESTE	OUTONO	INVERNO	
	PRIMAVERA	VERÃO	





Fonte: a autora.

Todos os municípios do recorte apresentaram os melhores resultados para o protótipo (PH2 – 20%), o que pode ser compreendido pela similaridade climática que os categoriza como pertencentes à ZB8, ainda que a homogeneidade do clima das cidades da ZB8 seja, como abordado anteriormente, insuficiente para justificar sua classificação. Além da redução da intensidade e da frequência do desconforto térmico, os diferentes percentuais de melhoria do desempenho reiteram a importância da individualização projetual quanto à implantação de conjuntos habitacionais em cidades pertencentes à mesma ZB. Observa-se, portanto, que um mesmo padrão habitacional pode ser implantado em diferentes cidades contidas na ZB8, desde que os materiais e sistemas constituintes das habitações sejam adequados às prerrogativas da norma e das condições climáticas de cada região.

Contudo para a pesquisa foram estabelecidos critérios que limitaram as parametrizações, reduzindo a quantidade de possibilidades de paredes, janelas e coberturas a serem testadas. Ressalta-se, portanto, que a implementação de conjuntos distintos de envoltórias poderia apontar diferentes melhorias de desempenho em cada cidade avaliada, considerando protótipos distintos, ainda que sejam pertencentes à mesma ZB.

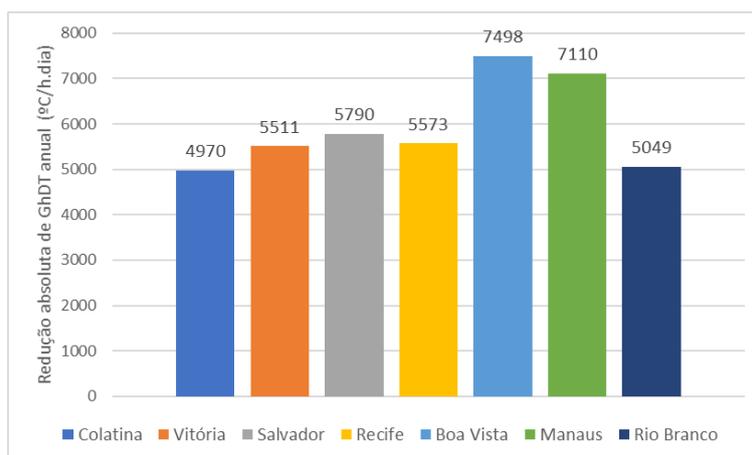
Além da adequação fundamental proporcionada pelo bloco cerâmico e pela janela com venezianas em disposição vertical – com 20% de área útil – que caracterizam a envoltória do PH2-20%, destaca-se a influência do forro PVC no equilíbrio térmico dos ambientes internos das habitações. O  $\Sigma$ GhDT anual apontou que o PH1 – 20%, que conta com composição em bloco cerâmico 14x19x39cm, isotelha 30mm com núcleo PUR e laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS, além de janelas maxim-ar com venezianas verticais, proporcionando 20% de área útil de ventilação ao cômodo, não contou com um desempenho tão otimizado quanto o PH2-20%, composto por bloco cerâmico

14x19x39cm, isotelha 30mm com núcleo PUR e forro PVC, além de janelas maxim-ar com venezianas verticais, proporcionando uma área efetiva de 20% de ventilação ao ambiente. Nota-se, portanto, o papel essencial do forro PVC no equilíbrio das cargas térmicas da moradia avaliada, evidenciando a função dos elementos de vedação na melhoria do desempenho térmico na habitação.

A redução absoluta do GhDT consiste no decréscimo, em números absolutos, dos graus-hora de desconforto térmico, sem avaliar, percentualmente, o quanto a minimização representa do quantitativo total inicial de GhDT. Considerando a somatória do GhDT entre sala, dormitório 1 e dormitório 2, a cidade de Boa Vista obteve a maior redução absoluta média anual das horas de desconforto, com 312 dias de decréscimo (7498°C.h/dia), adotando o período de um ano, como mostrado nos Gráficos 17 e 18.

Gráfico 17: Redução absoluta média anual\* do GhDT proporcionada pelo PH2-20%.

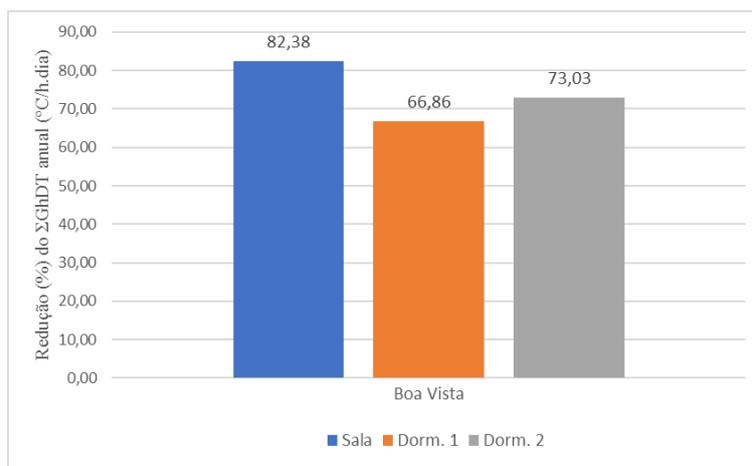
\*Redução, em números absolutos, do GhDT, desconsiderando avaliações percentuais.



Fonte: a autora.

Dentre os cômodos de longa permanência, na cidade de Boa Vista, a sala obteve destaque como o ambiente que, sozinho, contou com um decréscimo de GhDT superior a 82%, igual a 2707 horas – aproximadamente 113 dias – de desconforto térmico.

Gráfico 18: Redução absoluta média\* anual do GhDT - Comparação entre os cômodos do PH2BV-20%.  
 \*Redução, em números absolutos, do GhDT, desconsiderando avaliações percentuais.



Fonte: a autora.

Somando-se os valores da sala e dos dormitórios, Boa Vista apresentava um GhDT igual a 10.140 horas em desconforto. Comparando o desempenho do MOBV e do PH2BV-20%, a elevada redução do GhDT pode ser relacionada às condicionantes climáticas anteriormente mencionadas, como a elevada latitude, que condiciona médias anuais de radiação direta normal superiores a 18 MJ.m<sup>2</sup>/dia – 5000 Wh/m<sup>2</sup>.dia – à cidade (Figura 11), caracterizando o mais elevado grau de radiação atingido pelas cidades analisadas.

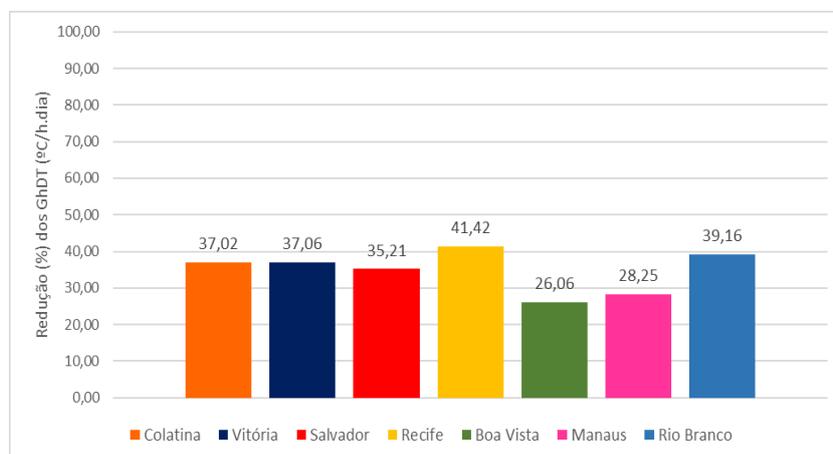
Desta forma, Boa Vista contava com o maior  $\Sigma$ GhDT inicial (MOBV) dentre as cidades do recorte amostral. Portanto, as melhorias proporcionadas pelo PH2-20% vincularam uma redução significativa do desconforto também para todas as cidades. Entretanto, ao observar o quanto a redução do  $\Sigma$ GhDT – do MOBV para o PH2BV-20% – representa, percentualmente, do total de desconforto contabilizado inicialmente para a cidade, a redução do GhDT em Boa Vista foi de 26,06%.

Considerando os valores absolutos para todas as cidades, Recife contou com a quarta maior redução das horas de desconforto (Gráfico 17). Entretanto, a cidade de Recife se caracterizou como aquela que, proporcionalmente, apresentou o maior percentual de redução média (considerando todos os cômodos de longa permanência) do GhDT, como demonstrado no Gráfico 19.

Logo, por apresentar a maior redução percentual de desconforto térmico – que indica um maior impacto das alterações do PH2-20% em relação ao MO –, a cidade de Recife foi classificada como a que contou com a maior otimização do desempenho quando implementadas as alterações propostas pelo PH2-20% (Gráfico 19). Portanto, as cidades

de Recife e Boa Vista apresentaram, respectivamente, o melhor e o pior resultado quanto ao desempenho térmico das edificações, quando comparadas por meio da redução média de GhDT.

Gráfico 19: Redução média anual do GhDT proporcionada pelo PH2-20%.



Fonte: a autora.

Figurando, respectivamente, como o melhor e os piores resultados quanto à redução percentual do GhDT nas moradias (Gráfico 17), Recife, Manaus e Boa Vista são as cidades do recorte amostral que contam com as maiores latitudes dentro da ZB8. Apesar da similaridade neste aspecto, a diferença da posição geográfica e das condicionantes locais exerceu influência sobre os valores de desconforto térmico inicial – contabilizado em GhDT – e, conseqüentemente, sobre os resultados de reduções absolutas e percentuais. Avaliando a média anual obtida por meio das temperaturas médias mensais do ar externo mensais, a cidade de Boa Vista conta com 27,02°C, enquanto Recife vincula uma temperatura mais baixa, de 25,76°C.

Ainda, a cidade de Boa Vista, apresenta, para orientação oeste, adotada como referencial, uma frequência de ocorrência de ventilação de 4,6%, com velocidades máximas de 2m/s. Já em Recife, a frequência total de incidência da ventilação ao sul – orientação de referência – é de 10,77%. Deste percentual, 8,72% contam com velocidades de até 2m/s, enquanto 2,05% atingem entre 2m/s e 4m/s. Ainda, a ventilação predominante ocorre no quadrante adjacente, a sudeste, chegando a 35,02% de ocorrência, dos quais 12,01% chegam a, até, 2m/s e 23,01% se mantêm entre 2m/s e 4m/s.

Observa-se, então, que o menor valor de GhDT inicial da cidade de Recife, quando comparada a Boa Vista, pode ser associado às menores médias de temperatura do ar, associadas à maior disponibilidade de ventilação. A ventilação natural exerce, também neste cenário, papel fundamental na renovação do ar interno por ar externo, promovendo a desumidificação dos ambientes, o que caracteriza uma estratégia para a melhoria do conforto térmico, recomendada pela NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), justificando, em Boa Vista, a maior redução absoluta e, em Recife, a maior redução percentual do GhDT.

Manaus conta com uma temperatura média anual do ar externo igual a 27,28°C – maior que a de Recife e pouco maior que a de Boa Vista. Quanto à frequência de ventilação natural, para a orientação norte, estabelecida como referência, a capital do Amazonas conta com 8,74%, dos quais 8,37% contam com velocidades de até 2m/s e, somente, 0,37% com velocidades de 2m/s a 4m/s. Portanto, ainda que a temperatura média anual do ar externo em Manaus exceda, moderadamente, à da cidade de Boa Vista, Manaus conta com disponibilidade e velocidade de ventos significativamente maiores, podendo minimizar, nesta cidade, o desconforto térmico, ratificando, proporcionalmente, os valores de GhDT iniciais registrados em Recife, Manaus e Boa Vista.

O município de Rio Branco apresentou a segunda maior redução média percentual de GhDT, para PH2-20%. Rio Branco apresenta longitude similar às cidades de Boa Vista e Manaus, e está localizada na extremidade oposta à de Recife na ZB8 – quanto à longitude. Em Rio Branco, a altitude de cidade, de 160m – a maior do recorte amostral –, associada à disponibilidade – ainda que reduzida – de ventos na orientação oeste, de 7,18% em até 2m/s, pode exercer influência sobre o desempenho térmico das edificações simuladas, quando comparadas fatores como latitude e longitude. Rio Branco também conta uma temperatura média anual do ar externo de 25,11°C e uma média anual do total diário de radiação direta normal de 3259Wh/m<sup>2</sup>.dia, apresentando condições climáticas similares às de Recife, que obteve o melhor desempenho percentual.

Vitória e Colatina vinculam, respectivamente, médias anuais de umidade relativa do ar de 77% e 74,7% –, menores que em Recife, que conta com 78,3% – e valores médios anuais de temperatura do ar externo de, respectivamente, 24,40°C e 23,96°C – inferiores aos 25,76°C de Recife. Ainda, a capital do Espírito Santo apresenta uma média anual de total diário de radiação direta normal de 4739Wh/m<sup>2</sup>.dia, enquanto Colatina, para este

mesmo fator, conta com 4285 Wh/m<sup>2</sup>.dia, ambos inferiores à radiação direta em Recife. A relação entre os valores de temperatura, radiação direta e umidade podem ser relacionados ao GhDT inicial de cada cidade, que, em Recife, foi de 9549°C.h/dia, em Vitória chegou aos 8756 °C.h/dia e, em Colatina, atingiu os 8028°C.h/dia, classificando, proporcionalmente, o MORE como mais desconfortável termicamente que o MOV e o MOC.

Entretanto, as alterações propostas por meio do PH2-20% foram mais impactantes à cidade de Recife, como demonstrado no Apêndice A, permitindo depreender uma redução de 5573°C.h/dia, 5511 °C.h/dia e 4970°C.h/dia para Recife, Vitória e Colatina, respectivamente, como demonstrado no Gráfico 19. Vitória ainda apresentou uma redução do desconforto térmico moderadamente maior que a cidade de Colatina, de forma absoluta e proporcional, indicando que suas condicionantes climáticas vincularam um maior GhDT inicial, mas que as alterações propostas pelo PH2-20% promoveram resultados mais eficazes para o MOV.

Salvador contou com a terceira maior redução do desconforto térmico, em números absolutos, e ocupou a quinta posição quanto à redução percentual do GhDT. O desconforto térmico registrado inicialmente na capital da Bahia, 8908°C.h/dia, superou os valores de desconforto das cidades de Colatina e Vitória, que contam com latitudes inferiores, e foi superado pelos índices registrados em Recife, Boa Vista e Manaus, cidades com latitudes superiores às de Salvador.

A cidade de Rio Branco também obteve um GhDT inicial – de 8374°C.h/dia – inferior ao de Salvador, apresentando, entretanto, uma veemente similaridade quanto latitude dos dois municípios. Contando com um dos índices de desconforto inicial menos elevados, Rio Branco ocupou, apenas, a quinta posição quanto à redução absoluta do GhDT, mas figurou como a segunda cidade mais impactada, percentualmente, pelo PH2-20%, indicando que as alterações propostas poderiam promover a melhoria significativa do conforto nas moradias.

Observa-se, portanto, a influência direta da posição geográfica nos valores iniciais de desconforto térmico registrados em cada cidade da ZB8 pertencente ao recorte da pesquisa e, conseqüentemente, no percentual de desconforto reduzido por meio das alterações propostas. Pode-se depreender, então, que ainda que a parametrização proposta

PH2-20% se caracterize como benéfica, sob o aspecto do desempenho térmico, outras soluções construtivas – não testadas na pesquisa – podem cooperar, de forma ainda mais eficaz, à melhoria das habitações nas cidades de latitudes extremas ao Norte da ZB8.

#### 4.4 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS MODELOS NA ZB8

Foram adotados os referenciais, descritos nas Tabelas 17 e 18, para a determinação, por meio das horas de desconforto, dos custos adicionais de operação de três ventiladores – um para cada ambiente de longa permanência, –, tanto do MO quanto do PH2-20%, utilizando como parâmetro as implantações de pior desempenho térmico, definidas anteriormente. Os valores de tarifas e tributos de cada cidade do recorte amostral foram levantados e adaptados aos cálculos utilizados por cada distribuidora de energia elétrica.

Tabela 17: Tarifas residenciais de distribuição de energia elétrica.

Tarifas de aplicação – Subgrupo B1 (Residencial de Baixa Renda) <sup>1</sup>				
Cidade	Distribuidora	Tarifas (R\$/kWh) <sup>2</sup>	Tarifas – 40% <sup>1</sup>	ICMS <sup>3</sup> (%)
Colatina	ELSFM	0,518	0,311	–
Vitória	EDP	0,526	0,316	–
Manaus	AmE	0,665	0,399	–
Recife	Celpe	0,549	0,329	–
Boa vista	Roraima Energia	0,618	0,371	–
Rio branco	Eletroacre	0,570	0,342	–
Salvador	Coelba	0,552	0,331	–

<sup>1</sup> Valores correspondentes ao Subgrupo B1 – Convencional Baixa Renda, com desconto de 40% para a categoria com parcela do consumo mensal superior a 30 (trinta) kWh e inferior ou igual a 100 (cem) kWh, segundo a Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010. Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010.

<sup>2</sup> TUSD +TE (R\$/kWh).

<sup>3</sup> Convênio ICMS 112, de 7 de outubro de 2015. Dispõe sobre a adesão do Estado do Amazonas às disposições do Convênio ICMS 54/07, que isenta do ICMS o fornecimento de energia elétrica para consumidores da Sub-classe Residencial Baixa Renda, nos termos da Lei nº 10.438, de 2002.

Fonte: a autora.

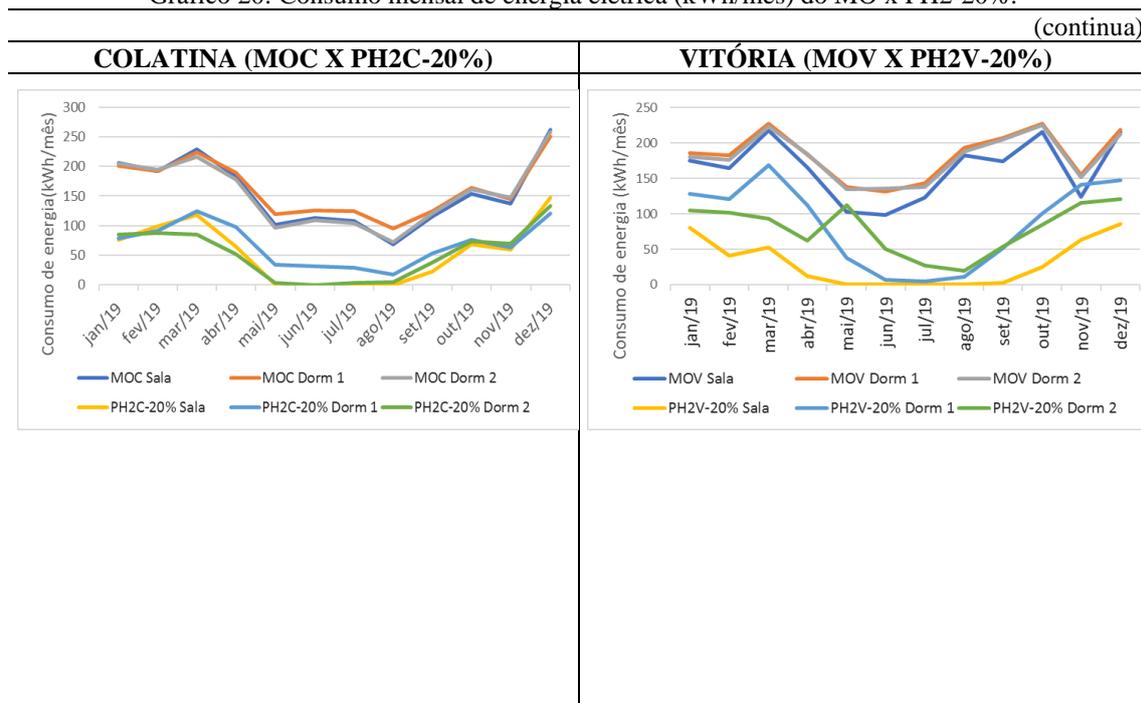
Tabela 18: Tarifas PIS/PASEP e COFINS para 2019.

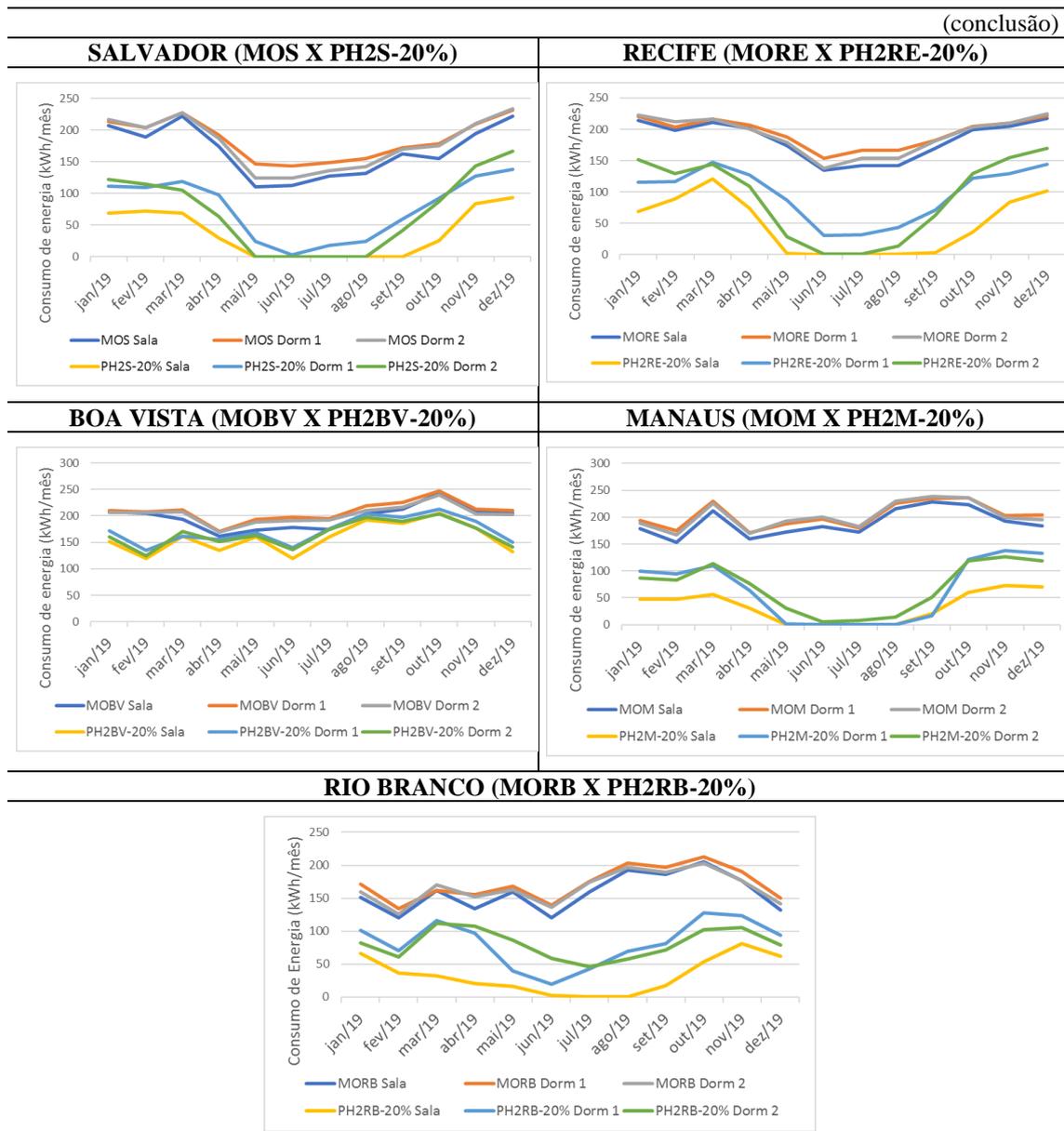
Período	PIS / PASEP	COFINS	TOTAL
Dezembro/2019	0,70%	3,18%	3,88%
Novembro/2019	0,89%	4,10%	4,99%
Outubro/2019	0,97%	4,50%	5,47%
Setembro/2019	0,92%	4,25%	5,17%
Agosto/2019	0,86%	3,95%	4,81%
Julho/2019	0,86%	3,96%	4,82%
Junho/2019	0,78%	3,61%	4,39%
Mai/2019	0,98%	4,52%	5,50%
Abril/2019	0,99%	4,55%	5,54%
Março/2019	0,85%	3,89%	4,74%
Fevereiro/2019	0,61%	2,83%	3,44%
Janeiro/2019	0,94%	4,34%	5,28%

Fonte: a autora.

Os Gráficos 20 e 21 demonstram a diferença entre o MO e o PH2-20% quanto à quantidade mensal e anual, respectivamente, de consumo de energia (kWh/mês) para a operação dos três ventiladores – na sala e nos dois dormitórios – cuja origem é definida pela significativa redução do desconforto térmico. Os valores mensais de consumo foram apresentados nos Apêndices D e E.

Gráfico 20: Consumo mensal de energia elétrica (kWh/mês) do MO x PH2-20%.

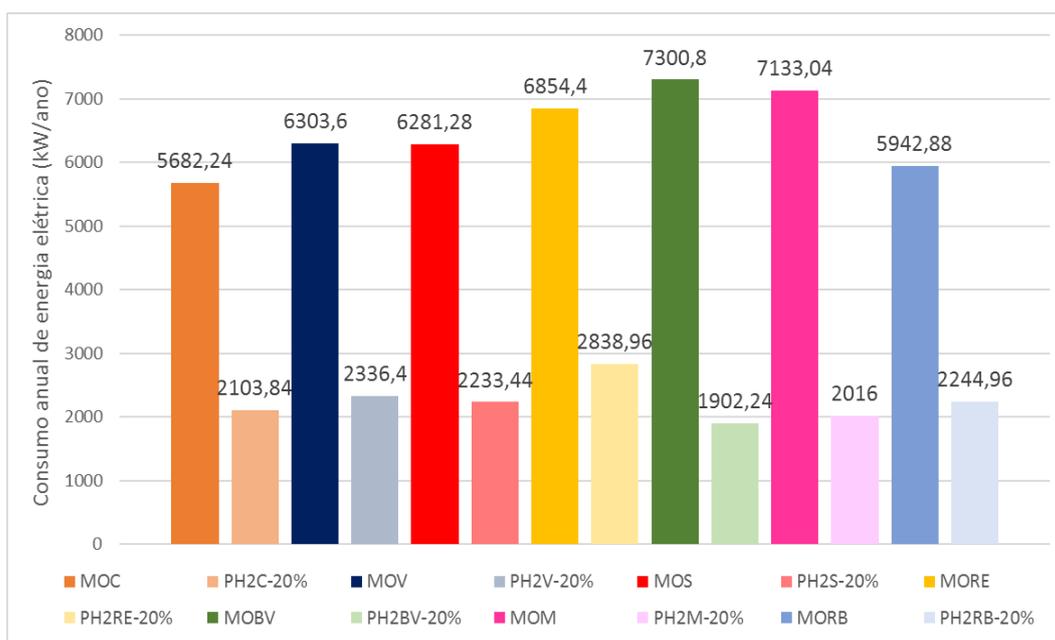




Fonte: a autora.

Quanto à eficiência energética das propostas, Boa Vista apresentou a maior redução na demanda de energia elétrica (Gráfico 21). Este dado é justificado, já que o decréscimo no consumo de energia destinada à operação dos ventiladores, de 73,94%, é diretamente proporcional à redução absoluta do GhDT, por meio da PH2BV-20%, em relação ao MOB V, obtendo a maior redução em valores absolutos das horas de desconforto anuais. Similarmente, Recife, obteve a menor redução de horas de desconforto, considerando os valores absolutos, e apresentou o decréscimo menos impactante quanto à demanda de energia elétrica.

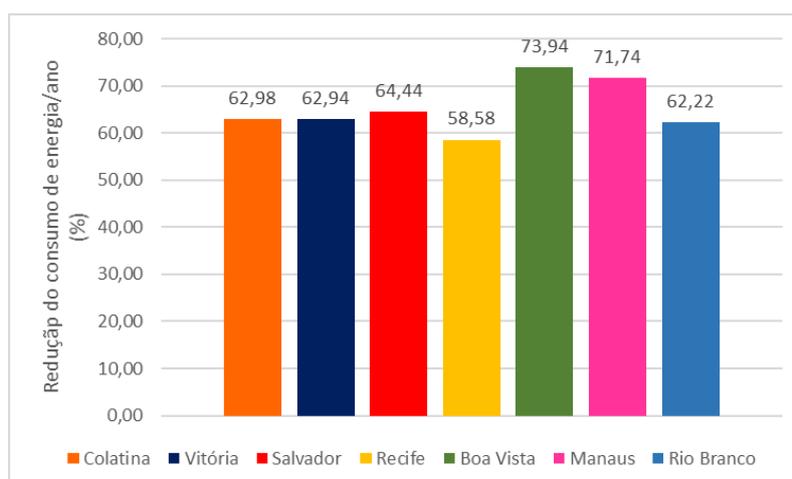
Gráfico 21: Consumo anual de energia (kWh/ano) do MO x PH2-20%.



Fonte: a autora.

O Gráfico 22 aponta que a cidade de Recife obteve 58,58% de redução no consumo de energia elétrica para a operação dos ventiladores na sala e nos dois dormitórios, a menor redução entre as cidades analisadas. A expressiva redução do consumo de energia (maior do que 50%), em todas as cidades, ratificou como benéficas as alterações propostas pelo PH2-20%.

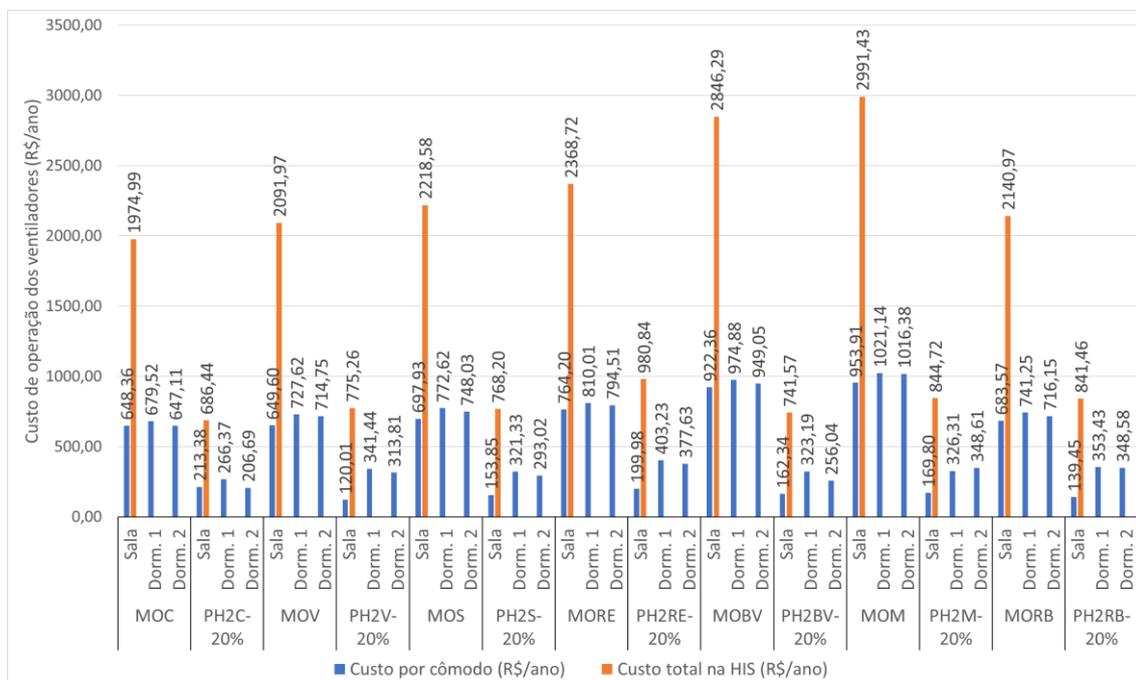
Gráfico 22: Redução do consumo de energia elétrica (kWh/ano).



Fonte: a autora.

Houve, ainda, a consequente redução dos custos relativos à operação dos ventiladores nas moradias, já que a minimização da demanda energética nas moradias é diretamente vinculada, ao valor adicional pago pela energia elétrica utilizada na operação dos ventiladores (Gráfico 23).

Gráfico 23: Custo de operação dos ventiladores (R\$/ano) – comparação entre o MO e o PH2-20%.



Fonte: a autora.

Manaus, que apresentava o maior gasto na operação dos ventiladores, apresentou uma redução anual de R\$ 2.146,71, valor que seria empregado apenas no custeio da refrigeração mecânica – uso de ventilador – para a obtenção da temperatura de conforto no MOM. Ainda que o MOBV tenha apresentado mais graus-hora de desconforto térmico do que o MOM (Tabelas 14 e 15) – ou seja, mais horas de demanda de operação dos ventiladores –, o custo de distribuição de energia em Manaus, realizado pela Amazonas Energia (AmE), é mais alto, fazendo com que Boa Vista apresente um custo inicial de operação do MO mais baixo que o de Manaus.

Ainda, o PH2BV-20%, vinculou um GhDT igual a 2642 °C/h.dia e em Manaus o PH2M-20% contou com um GhDT igual a 2800 °C/h.dia (Tabela 16, mostrada anteriormente). Conseqüentemente, o custo de operação dos ventiladores no PH2M-20% permaneceu maior que no PHBV-20%.

A Tabela 19 representa o quanto, percentualmente, a demanda de energia no MO e no PH2-20% representam na renda mensal dos moradores, igual a R\$ 2.600,00, considerando a Faixa 1,5 do PMCMV (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2020). Mesmo que o desempenho do PH2M-20% possa ser otimizado, como mencionado anteriormente, devido ao elevado custo da distribuição de energia elétrica em algumas cidades (exemplo Manaus), os dados apresentados na Tabela 19 apontam que, dentro do recorte amostral da pesquisa, os moradores das habitações sediadas nesta cidade (Manaus) seriam os que obteriam a economia mais significativa por meio da implementação do PH2-20%.

Tabela 19: Custo percentual de operação dos ventiladores em relação à renda média mensal das famílias da faixa 1,5 do PMCMV.

Cidade	Modelo	Custo anual de operação de todos os ventiladores (R\$)	Representação da renda anual da faixa 1,5 do PMCMV (%)
Colatina	MOC	1974,99	6,33
	PH2C-20%	686,44	2,20
Vitória	MOV	2091,97	6,71
	PH2V-20%	775,26	2,48
Salvador	MOS	2218,58	7,11
	PH2S-20%	768,2	2,46
Recife	MORE	2368,72	7,59
	PH2RE-20%	980,84	3,14
Boa Vista	MOBV	2846,29	9,12
	PH2BV-20%	741,57	2,38
Manaus	MOM	2991,43	9,59
	PH2M-20%	844,72	2,71
Rio Branco	MORB	2140,97	6,86
	PH2RB-20%	841,46	2,70

Fonte: a autora.

Nota-se, portanto, que as alterações propostas pelo PH2-20% representaram uma impactante minimização do desconforto térmico e, conseqüentemente, do consumo de energia elétrica adicional e dos custos arcados pelos moradores.

#### 4.5 ESTUDO DE VIABILIDADE E ANÁLISE DE CUSTOS PELO CONCEITO *PAYBACK*

A etapa de viabilidade econômica e análise de custos constituiu uma ferramenta importante na compreensão da exequibilidade das alterações, considerando, sobretudo, que o objeto de estudo consistiu em habitações de interesse social e em seus agentes de

investimento e utilização. Assim, como todas as cidades contidas no recorte amostral da pesquisa contam com o mesmo modelo MO e com o PH2-20% como aquele que apresentou o melhor desempenho termo-energético, as Tabelas 20 e 21 foram estabelecidas como referenciais comparativos para os valores de implementação de todas as novas propostas de paredes, coberturas e janelas dos PHs de cada município. Ressalta-se que a estimativa de custos abrange, apenas, os insumos gerais alterados pelos protótipos, considerando somente os ambientes de longa permanência.

Tabela 20: Levantamento de custos de execução do MO.

<b>MO</b>					
<b>Insumo/Componente</b>	<b>Unid.</b>	<b>Origem de preço<sup>a</sup></b>	<b>Preço mediano (R\$)</b>	<b>Quant.<sup>b</sup></b>	<b>Custo total (R\$)</b>
Bloco de concreto estrutural (9 x 19 x 39 cm), FBK 4,5 MPA (NBR 6136)	Un.	CR <sup>c</sup>	1,44	1135 (76,45m <sup>2</sup> )	1.634,40
Telha isotérmica <i>Kingspan – Isoeste</i> 30mm (PUR)	M <sup>2</sup>	CR <sup>c</sup>	120,00	63,08m <sup>2</sup>	7.569,6
Janela de correr em alumínio, 100 x 120 cm (a x l), 2 fls, sem bandeira, acabamento acetinado ou brilhante, batente/requadro de 6 a 14 cm, com vidro, sem guarnição	Un.	AS <sup>d</sup>	299,90	4 un.	1.199,60
Guarnição/moldura de acabamento para esquadria de alumínio anodizado natural, para 1 face	M	SINAPI – AS <sup>d</sup>	7,60	10,56	80,26
<b>TOTAL MO:</b>					<b>10.483,86</b>

<sup>a</sup> Valores embasados nos dados da tabela referencial de insumos e composições desoneradas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (junho/2019) – SINAPI.

<sup>b</sup> Quantitativo final, acrescido de 10% de margem de perdas.

<sup>c</sup> CR – Preço obtido por meio do coeficiente de representatividade do insumo (ver Manual de Metodologia e Conceitos).

<sup>d</sup> AS – Preço atribuído com base no preço do insumo para a localidade de São Paulo.

<sup>e1/e2</sup> Valores embasados no quantitativo proporcional dos itens ‘Laje pré-moldada convencional (lajotas + vigotas) para piso, unidirecional, sobrecarga 350 kg/m<sup>2</sup> vão até 3,50 m (sem colocação)’ e ‘Janela de correr em alumínio, 120 x 150 cm (a x l), 2 fls, sem bandeira, acabamento acetinado ou brilhante, batente/requadro de 6 a 14 cm, com vidro, sem guarnição/alisar’, respectivamente (SINAPI, 2019), compatível com valores de mercado pesquisados.

Fonte: a autora.

Tabela 21: Levantamento de custos de execução do PH2-20%.

PH2M-20%					
Insumo/Componente	Unid.	Origem de preço <sup>a</sup>	Preço mediano (R\$)	Quant. <sup>b</sup>	Custo total (R\$)
Bloco cerâmico 14 x 19 x 39cm, FBK 4,5 MPA (NBR 15270)	Un.	CR <sup>c</sup>	1,60	1107 (74,54m <sup>2</sup> )	1771,20
Telha isotérmica <i>Kingspan – Isoeste</i> 30mm (PUR)	M <sup>2</sup>	SINAPI – CR <sup>c</sup>	120,00	65,67m <sup>2</sup>	7.880,4
Forro de PVC, frisado, branco, régua de 20 cm, espessura de 8 mm a 10 mm e comprimento 6 m (sem colocação)	M <sup>2</sup>	CR <sup>c</sup>	15,98	46,06m <sup>2</sup>	736,04
Elemento vazado (cobogó) cerâmico (25 x 18 x 7 cm) <sup>f</sup>	Un.	CR <sup>c</sup>	1,44	74 un. (11,98m)	106,56
Janela maxim-ar (1,1x1,25m) com esquadria de alumínio anodizado natural e fechamento em vidro incolor 4mm. Batente/requadro de 4 a 14 cm, com vidro, sem guarnicao/aliza <sup>e2</sup>	M <sup>2</sup>	AS <sup>d</sup>	373,19	6,05	2257,80
2 folhas laterais venezianas vazadas fixas em alumínio anodizado natural.	M <sup>2</sup>	AS <sup>d</sup>	314,69	4,4	1.384,64
Guarnição/moldura de acabamento para esquadria de alumínio anodizado natural, para 1 face	M	AS <sup>d</sup>	7,60	19,36	147,14
<b>TOTAL PH2 – 20%:</b>					<b>14.283,78</b>

<sup>a</sup> Valores embasados nos dados da tabela referencial de insumos e composições desoneradas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (junho/2019) – SINAPI.

<sup>b</sup> Quantitativo final acrescido de 10% de margem de perdas.

<sup>c</sup> CR – Preço obtido por meio do coeficiente de representatividade do insumo (ver Manual de Metodologia e Conceitos).

<sup>d</sup> AS – Preço atribuído com base no preço do insumo para a localidade de São Paulo.

<sup>e1/e2</sup> Valores embasados no quantitativo proporcional dos itens ‘Janela maxim ar em alumínio, 80 x 60 cm (a x l), batente/requadro de 4 a 14 cm, com vidro, sem guarnição/alizar’, respectivamente (SINAPI, 2019), compatível com valores de mercado pesquisados.

Valores referentes ao insumo mais próximo, caracterizado como ‘Portinhola de abrir em alumínio de 60 x 80 cm, veneziana ventilada 1 folha, acabamento anodizado natural’, considerando sua metragem proporcional

<sup>f</sup> Aberturas nos oitões para ventilação do ático da cobertura.

<sup>g</sup> Área de parede da moradia, excetuando-se banheiro

Fonte: a autora.

De acordo com os valores apresentados para os dois modelos, o PH2-20% vincula um investimento de R\$ 3.799,92 acrescido ao custo do MO. Para a análise da viabilidade em cada cidade do valor excedente – que caracteriza o investimento inicial oriundo das alterações – foi aplicado, permitindo a determinação do Vretorno e, conseqüentemente,

do VPL dos municípios abordados na pesquisa, considerando 30 anos e 15 anos (Tabelas 22 e 23).

Tabela 22: Definição do valor de retorno do PH2-20% nos diferentes cenários em 30 anos.

(continua)			
Cidade	Equação do valor de retorno aplicado aos cenários do PH2-20%	Vretorno (R\$)	VPL [Vretorno – Invest. Inicial]
Colatina	$V_{retorno} = 1288,55 * \left\{ \frac{1 - \left[ \frac{1}{1 + 0,049^{30}} \right]}{0,049} \right\}$	20.035,76	16.235,84
Vitória	$V_{retorno} = 1316,71 * \left\{ \frac{1 - \left[ \frac{1}{1 + 0,049^{30}} \right]}{0,049} \right\}$	20.473,62	16.673,70
Salvador	$V_{retorno} = 1450,38 * \left\{ \frac{1 - \left[ \frac{1}{1 + 0,049^{30}} \right]}{0,049} \right\}$	21.899,16	18.752,15
Recife	$V_{retorno} = 1387,88 * \left\{ \frac{1 - \left[ \frac{1}{1 + 0,049^{30}} \right]}{0,049} \right\}$	21.595,80	17.780,33
Boa Vista	$V_{retorno} = 2104,72 * \left\{ \frac{1 - \left[ \frac{1}{1 + 0,049^{30}} \right]}{0,049} \right\}$	32.726,45	28.926,53
Manaus	$V_{retorno} = 2146,71 * \left\{ \frac{1 - \left[ \frac{1}{1 + 0,049^{30}} \right]}{0,049} \right\}$	33.379,36	29.579,44
Rio Branco	$V_{retorno} = 1299,51 * \left\{ \frac{1 - \left[ \frac{1}{1 + 0,049^{30}} \right]}{0,049} \right\}$	20.679,34	16.406,26

Fonte: a autora.

Tabela 23: Definição do valor de retorno do PH2-20% nos diferentes cenários em 15 anos.

(continua)			
Cidade	Equação do valor de retorno aplicado aos cenários do PH2-20%	Vretorno (R\$)	VPL [Vretorno – Invest. Inicial]
Colatina	$V_{retorno} = 1288,55 * \left\{ \frac{1 - \left[ \frac{1}{1 + 0,049^{15}} \right]}{0,049} \right\}$	13.469,16	9.669,24
Vitória	$V_{retorno} = 1316,71 * \left\{ \frac{1 - \left[ \frac{1}{1 + 0,049^{15}} \right]}{0,049} \right\}$	13.763,52	9.963,60

(conclusão)			
Salvador	$V_{retorno} = 1450,38 * \left\{ \frac{1 - \left[ \frac{1}{1 + 0,049^{15}} \right]}{0,049} \right\}$	15.160,77	11.360,85
Recife	$V_{retorno} = 1387,88 * \left\{ \frac{1 - \left[ \frac{1}{1 + 0,049^{15}} \right]}{0,049} \right\}$	14.507,46	10.707,54
Boa Vista	$V_{retorno} = 2104,72 * \left\{ \frac{1 - \left[ \frac{1}{1 + 0,049^{15}} \right]}{0,049} \right\}$	22.000,56	18.200,64
Manaus	$V_{retorno} = 2146,71 * \left\{ \frac{1 - \left[ \frac{1}{1 + 0,049^{15}} \right]}{0,049} \right\}$	22.439,48	18.639,56
Rio Branco	$V_{retorno} = 1299,51 * \left\{ \frac{1 - \left[ \frac{1}{1 + 0,049^{15}} \right]}{0,049} \right\}$	13.583,73	9.783,81

Fonte: a autora.

Proporcionalmente ao custo do consumo de energia elétrica, todos os municípios apresentaram viabilidade econômica para a execução do PH2 – 20%, tanto para 15 anos – considerando o retorno parcial – quanto em 30 anos – considerando o tempo total de financiamento das habitações. Constatou-se, assim, que o investimento proposto é financeiramente atrativo, chegando, no caso de Manaus, a quase 30 mil e quase 19 mil reais de retorno líquido para 30 e 15 anos, respectivamente, representando o potencial de economia obtida pelos moradores ao longo do tempo máximo de financiamento. Ainda, para a verificação do tempo de retorno pelo indicador *Payback*, constatou-se que, pelos parâmetros estabelecidos, o investimento seria pago, em todas as cidades, em um prazo inferior a três anos (Tabela 24):

Tabela 24: Determinação do *payback* do PH2-20% nos diferentes cenários.

(continua)		
Cidade	Equação do <i>Payback</i> aplicada aos cenários do PH2-20%	<i>Payback</i>
Colatina	$Payback = \left\{ \frac{3799,92}{1288,55} \right\}$	2,95 anos
Vitória	$Payback = \left\{ \frac{3799,92}{1316,71} \right\}$	2,89 anos
Salvador	$Payback = \left\{ \frac{3799,92}{1450,38} \right\}$	2,62 anos

(conclusão)		
Recife	$Payback = \left\{ \frac{3799,92}{1387,88} \right\}$	2,74 anos
Boa Vista	$Payback = \left\{ \frac{3799,92}{2104,72} \right\}$	1,81 anos
Manaus	$Payback = \left\{ \frac{3799,92}{2146,71} \right\}$	1,77 anos
Rio Branco	$Payback = \left\{ \frac{3799,92}{1299,51} \right\}$	2,93 anos

Fonte: a autora.

Observa-se que, ainda que as cidades de Manaus e Boa Vista não tenham apresentado, devido às suas características geográficas, valores percentuais tão expressivos de redução do GhDT quanto as outras cidades do recorte amostral, o elevado custo de distribuição de energia elétrica nestas cidades, coopera para que o indicador *payback* sinalize um tempo de retorno do investimento significativamente reduzido. Ratifica-se, portanto, que as alterações propostas por meio do PH2-20%, representam melhorias quanto ao desempenho termo-energético em todas as cidades e, ainda, se caracterizaram como viáveis e lucrativas, dentro dos parâmetros fixados.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As habitações de interesse social brasileiras têm sua trajetória marcada pela ampla replicação projetual e pela conseqüente inadequação das moradias ao clima local. Diversas normativas nacionais, como a NBR 15220-3 (2005), a NBR 15575-4 (2013) e o RTQ-R (2010) têm sido aprimoradas, a fim de que sua efetiva aplicação ao processo de concepção das habitações populares proporcione melhorias significativas à parcela populacional de baixa renda.

Destacou-se, dentre as normas abordadas, a NBR 15220-3 (2005), que propõe a concepção das habitações de interesse social a partir da divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima. Contudo, a Zona Bioclimática 8 engloba 99 cidades dentre as 330 oficialmente catalogadas. Este número, que representa cerca de 70% das cidades categorizadas, demonstra que, considerando a dimensão continental do território brasileiro e visando à implementação de melhorias nas habitações, o mapeamento climático do Brasil deve ser revisado, para que os municípios contidos na mesma Zona, ainda que apresentem similaridades climáticas, sejam, maximamente, individualizados quando à adaptação das edificações ao clima local, segundo diretrizes que correspondam efetivamente ao perfil climático de cada região.

Este conceito é ratificado pelas posições geográficas significativamente distintas das cidades contidas na ZB8 e pelas propostas de revisão do zoneamento que têm emergido desde sua concepção. Assim, as diferentes latitudes, longitudes e altitudes das cidades pertencentes à ZB8 ratificam a necessidade de diferentes soluções projetuais para comportamentos distintos quanto ao desempenho térmico das edificações nestas cidades.

O desenvolvimento da pesquisa consistiu na análise de um modelo existente de habitação unifamiliar de interesse social, denominada Modelo Original (MO), extraído do modelo de referência existente no Conjunto Habitacional Ayrton Senna (CHAS), no bairro Ayrton Senna, na cidade de Colatina/ES. Executada em bloco de concreto 9 x 9 x 19 cm, cobertura em Isotelha PUR 30mm sem laje ou forro e janelas de correr em duas folhas – com esquadrias de correr em alumínio e fechamento em vidro incolor 4mm – a habitação popular do CHAS também representa um modelo amplamente replicado em território nacional, ratificando sua escolha.

Assim, foram detectados os pontos do MO que não atendiam à NBR 15220-3 (2005) e elaborados 8 (oito) protótipos (PHs), resultantes da parametrização entre dois tipos de paredes (bloco cerâmico 9 x 19 x 39 cm e bloco de concreto 9 x 19 x 39 cm), dois modelos de coberturas (em Isotelha PUR 30mm com forro de PVC ou laje em concreto com EPS) e dois tipos de janelas (ambas com aberturas tipo maxim-ar e venezianas fixas vazantes, mas variando entre 20% e 40% da área do piso dos ambientes de longa permanência avaliados). O *layout* e metragens de áreas de ambientes do MO foram mantidos nos PHs.

Utilizando a simulação computacional, por meio do *software* EnergyPlus, a análise da proposta abarcou os aspectos de desempenho térmico, da eficiência energética e da viabilidade econômica dos modelos. O desempenho térmico foi obtido pela comparação entre o  $\Sigma$ GhDT entre o MO e cada PH, permitindo detectar o PH de melhor desempenho em cada cidade.

A redução do  $\Sigma$ GhDT, diretamente vinculada ao consumo de energia elétrica para a operação de ventiladores, também demonstrou os modelos mais eficientes sob o aspecto energético e, conseqüentemente, econômico, já que cada modelo está vinculado a um consumo adicional de energia. Finalmente, a etapa de viabilidade econômica possibilitou a verificação da exequibilidade das propostas, por meio de indicadores de retorno econômico de riqueza e tempo de recebimento.

Como resultados, constatou-se que o PH2-20%, caracterizado por paredes em bloco cerâmico, cobertura em Isotelha – núcleo de PUR (30mm) – com ático ventilado e forro PVC e janelas com duas venezianas e disposição vertical, com área útil total de ventilação igual a 20% da área de piso do cômodo, foi o que obteve o melhor desempenho – ou seja, o menor  $\Sigma$ GhDT anual – em todas as cidades. Ainda, foram verificadas reduções significativas do GhDT e do FDT, chegando, em alguns cenários, ao GhDT igual a zero para determinados períodos do ano.

Por meio do PH2-20%, todas as cidades do recorte amostral apresentaram uma redução significativa do somatório anual de GhDT, destacando-se a cidade de Boa Vista, com o decréscimo de mais de 312 dias (7.498 graus-hora) de desconforto térmico quando somados os valores apresentados por sala e dormitórios do PH em comparação ao MO, caracterizando a maior redução absoluta das horas de desconforto. Percentualmente, o melhor resultado, frente à implementação dos sistemas propostos pelo PH2-20%, foi

obtido em Recife, que não contava, inicialmente, com um somatório de GhDT tão elevado quanto o da cidade de Boa Vista, mas apresentou o maior decréscimo percentual, despontando como a cidade mais impactada – positivamente – pelas melhorias, sob o aspecto do desempenho térmico.

Semelhantemente, todos os municípios avaliados contaram com uma impactante redução do consumo de energia elétrica – pela diminuição da necessidade de ventiladores para a manutenção do conforto no ambiente interno. Quanto à diminuição da demanda de energia nas habitações, Boa Vista e Manaus também tiveram destaque, contando, respectivamente, com 73,94% e 71,74% de redução do consumo, devido à redução, em valores absolutos, do GhDT anual. A redução de energia, diretamente vinculada ao decréscimo nos custos de operação dos ventiladores, apontou, ainda, que os moradores das habitações de Manaus e Boa Vista foram, respectivamente, os mais beneficiados pelas alterações, caracterizando-se como aqueles que contaram com a maior economia na conta de energia elétrica.

As alterações propostas também se apresentaram economicamente viáveis, já que, em todos os cenários, o indicador do Valor Presente Líquido (VPL) foi positivo, caracterizando, portanto, uma ação atrativa ao mercado. Ainda quanto à análise econômica, o indicador *payback* apontou um tempo de retorno do valor investido inferior a três anos em todos os cenários. Manaus também obteve destaque neste quesito, já que, devido ao elevado custo de distribuição da energia elétrica na cidade, a economia proporcionada representou, tanto um valor de retorno financeiro positivo, quanto indicou que o tempo para o retorno do investimento seria de, apenas, 1,77 anos, ou seja, pouco mais de 21 meses.

Os resultados obtidos indicaram que um mesmo modelo construtivo foi o que melhor se adaptou às condições do clima de todas as sete cidades da ZB8 avaliadas. Este dado pode ser justificado, já que seu pertencimento à mesma zona indica que os municípios contam com perfis climáticos relativamente homogêneos. Contudo, a homogeneidade relativa, já questionada em propostas de revisão do mapeamento climático do Brasil, ainda é insuficiente para categorizar os municípios de forma satisfatória em uma mesma região climática e para, a partir deles, estabelecer diretrizes que atendam a todas as localidades.

Este dado pode ser observado nos diferentes desempenhos apresentados por cada município frente ao mesmo protótipo habitacional, indicando disparidades significativas

nos valores de melhoria do desempenho termo-energético e possibilidades de resultados ainda melhores diante da compreensão mais individualizada de cada contexto climático, levantando, ainda, à recomendação de novas parametrizações, que considerem outros materiais de vedações externas e janelas. Por meio das parametrizações, pode-se notar, ainda, que nem todas as soluções recomendadas normativamente correspondem às melhores alternativas projetuais para os diferentes climas das cidades da ZB8, a exemplo dos melhores resultados obtidos pela utilização de com 20% de área útil de ventilação em detrimento aos 40% de área útil recomendados na NBR 15220-3.

Diante da viabilidade econômica constatada, cabe ressaltar a importância de que o custo da obra deveria seja estabelecido considerando o período de utilização do produto moradia, ou seja, seu período de uso ao longo do tempo. Neste contexto, em que os custos das habitações de interesse social são significativamente minimizados, visando ao barateamento construtivo – ainda que isso acarrete a elevação dos custos de operação das moradias, como ocorre nas HIS pesquisadas –, destacam-se os papéis dos responsáveis pela concepção projetual e construção, que devem ponderar a vida útil das habitações, produzindo estruturas que proporcionem o bem estar do usuário e que ofereçam ambientes cuja operação e manutenção – sobretudo financeira – seja compatível com a realidade dos usuários.

Por isso, destaca-se que as habitações, especialmente de HIS, devem, em seu processo projetual, considerar a relação entre os custos de investimento frente aos custos de operação da edificação. Ratifica-se, portanto, que as alterações propostas representam melhorias quanto ao desempenho termo-energético em todas as cidades e se caracterizam como viáveis e lucrativas, dentro os parâmetros fixados.

Finalmente, ainda que a análise de viabilidade econômica se apresentasse de forma menos vantajosa, dentro de alguns parâmetros, o investimento na melhoria das habitações para a otimização do desempenho termo-energético ainda seria compensatória, considerando a faixa de renda e a vulnerabilidade social dos moradores, que, usualmente, não contam com recursos compatíveis com a necessidade de adequação das moradias. Entretanto, como demonstrado nesta pesquisa, ainda que não tenham sido consideradas todas as condicionantes abarcadas no processo de elaboração de uma habitação de interesse social, são apontados indícios de possibilidades de melhoria das moradias populares por meio de

alterações relativamente simples da envoltória e de sua efetiva adequação às normativas existentes.

## 5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Alguns fatores limitantes notados durante a pesquisa foram:

- A definição de um recorte abrangente, que abarcasse um maior número de cidades, poderia culminar em um processo significativamente extenso, incompatível com o período destinado à pesquisa;
- A pesquisa considerou, apenas, um modelo de habitação unifamiliar de interesse social do PMCMV (MO) dentre algumas tipologias existentes no Brasil, que podem apresentar resultados diferentes daqueles obtidos neste trabalho;
- A alteração brusca da interface entre os *plugins* Euclid e a atualização OpenStudio, utilizados para modelagem e configuração de dados do EnergyPlus, podem representar percalços para seu domínio e manipulação durante a pesquisa; e
- A adoção dos preços de materiais e insumos do SINAPI, que consideram o mercado do estado de São Paulo, devido à quantidade de variáveis consideradas na pesquisa e à ausência de fontes governamentais precisas que garantissem o valor base dos insumos construtivos considerados para o orçamento proposto em cada município, o que pode representar alterações se consideradas suas respectivas taxas e variações.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De acordo com os resultados apresentados na pesquisa e com as limitações apresentadas, são sugeridos como trabalhos futuros:

- A aplicação da metodologia desenvolvida a cidades que não sejam capitais, verificando a influência do entorno nas demais variáveis analisadas;
- A aplicação da metodologia a habitações multifamiliares de interesse social;
- A consideração de valores de materiais e insumos obtidos por meio de pesquisas mercadológicas nos municípios avaliados;

- A aplicação da metodologia a outras Zonas Bioclimáticas;
- A aplicação da metodologia a outros conjuntos de envoltórias das moradias unifamiliares do PMCMV;

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIKO, A. K. **Introdução à Gestão Habitacional**. São Paulo: EPUSP, 1995.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. **Ventilação**. Publicações IPT – SP, 1995.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS 55. **ASHRAE 55** - Thermal Environmental Conditions for human Occupancy. Atlanta, 2004.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS 140. **ASHRAE 140** - Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, 2001. Disponível em: [https://www.ashrae.org/.../2004715124811\\_347.pdf](https://www.ashrae.org/.../2004715124811_347.pdf). Acesso em: 20 fev. 2019.

AMORIM, A. C. **Análise de métodos de determinação do zoneamento bioclimático brasileiro a partir do estudo de caso de Colatina – ES**. Dissertação (Mestrado em arquitetura e urbanismo). Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, 2015.

AMORIM, C. E. dos S.; SILVA, T. S. C.; VIANNA, M. P.; COSTA, S. R. G. D. Como projetar habitações residências ecologicamente corretas, visando o conforto do seu habitante, no conjunto recanto das cores no bairro do Benedito Bentes I, construído 2015-2018. **Cadernos de Graduação – Ciências Humanas e Sociais**. 2019. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/index.php/fitshumanas/article/view/7017/3695>. Acesso em: 13 fev. 2019.

ARAÚJO, Bianca Carla Dantas de; BISTAFA, Sylvio Reynaldo. Desenvolvimento de elemento vazado acústico. **Anais...** Belo Horizonte: Sobrac, 2008.

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 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

AVASSO, D.; ANDERSSON, A. **WSP Environmental**. 2003. Disponível em: [http://www.energifonster.nu/backnet/media\\_archive/original/3049f993f8](http://www.energifonster.nu/backnet/media_archive/original/3049f993f8). Acesso em: 13 jan. 2019.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL- 2018. Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2018.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2018.pdf). Acesso em: 10 fev. 2019.

BARBOSA, S. A.; TIBÚRCIO, T. M. de S.; CARLO, J. C. Método de utilização do programa Energyplus para verificação de desempenho térmico de ambientes com fachadas duplas. **Revista Ambiente Construído**, v. 13, n. 4, p. 121-134, 2013.

BARROSO-KRAUSE, C. **Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edificações: Conforto Higrotérmico Dirigido à Concepção Arquitetônica**. Rio de Janeiro: Procel Edifica, 2011. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br>. Acesso em 20 jan. 2019.

BATISTA, J. O.; LAMBERTS, R.; WESTPHAL, F. S. Avaliação de Desempenho Térmico de Componentes Construtivos Utilizando o EnergyPlus. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005. p. 145-154.

BEKKOUICHE, S. A.; BENOUAZ, T. GHOUALI, A. N. Modelling of the Nonlinear Systems by Optimal Derivative, Computational. Procedure and Properties. **International Journal of Nonlinear Science**, v. 15, n. 3, p. 271-283. 2013.

BELCHER, S. E.; HACKER, J. N.; POWELL, D. S. Constructing design weather data for future climates, **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 26, p. 49–61, 2005.

BIG LADDER – **EnergyPlus**, 2018. Disponível em: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/>. Acesso em 04 fev. 2019.

BISSOLI-DALVI, M.; NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E.; SAELZER, G. E. F.; MONTARROYOS, D. C. G. The sustainability of the materials under the approach of ISMAS. ‘, v. 106, p. 357-363, mar. 2016.

BITTENCOURT, L; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. EDUFAL:

BITTENCOURT, L. S. Ventilation as a cooling resource for warm humid climates: An investigation on perforated block wall geometry to improve ventilation inside low-rise buildings. 1993. 314 f. Tese (Doutorado em Arquitetura). Architectural Association Graduate School. London, 1993.

BIZAWU, K.; AGUIAR, P. L. M. de. Renewable energies and sustainable development: challenges and perspectives for emerging countries. **Conpedi Law Review**, v. 2, n. 4, p. 394-411, jul.-dez., 2012.

BOGO, A.; PIETROBON, C. E.; BARBOSA, M. J.; GOULART, S.; PITTA, T.; LAMBERTS, R. Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico. Núcleo de Pesquisa em Construção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

BONDUKI, N. G. **Origens da Habitação Social no Brasil: arquitetura moderna**, lei do inquilinato e casa própria. 4. Ed. São Paulo: Estação Liberdade, 2004.

BONDUKI, N. G. Política habitacional e inclusão social no Brasil: revisão histórica e novas perspectivas no governo Lula. [On line]. **Revista eletrônica de Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, n.1, p. 71-104, set. 2008.

BONDUKI, N. G. Do **Projeto Moradia ao programa Minha Casa, Minha Vida. Teoria e Debate**, São Paulo, v. 22, maio/jun 2009, p. 8-14, 2009.

BONDUKI, N. G. **Origens da Habitação Social no Brasil**. Estação Liberdade, 6ed. 2011.

BONDUKI, N. G. **Habitação no Brasil: uma história em construção**. 4. Ed. São Paulo: Estação Liberdade, 2013.

BONDUKI, N. G. **Os pioneiros da habitação social no Brasil – volume 2**. 11. ed. Unesp: Atlas, 2010. 411 2016.

BRAGER, G. S. **Naturally Ventilated Buildings. Building for the senses, the economy and society**. 1992.

BRAGER, G. S.; DE DEAR, R. Climate, Comfort, & Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55. Center for Environmental Design **Research Center for the Built Environment**, 2001. Disponível em: <http://web.stanford.edu/group/narratives/classes/08-09/CEE215/ReferenceLibrary/CBE%20Research%20Thermal%20Comfort/ASHRAE%20Adaptive%20Thermal%20Comfort%20Standard.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2019.

BRAGER, G. S.; DEAR, R. J. de. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. **Energy and Buildings**, v. 27, p. 83-96, 1998.

BRASIL. **PROCEL** info. Disponível em: < <http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. Acesso em: 10 set. 2013.

BRASIL. **Constituição** (1988). **Constituição** da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado **Federal**: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 de outubro. Disponível em: < <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2001/lei-10295-17-outubro-2001-408176publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em: 14 de set. 2018.

BRASIL. Lei 12.608, de 10 de abril de 2012. Dispõe sobre a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 10 de abril. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/defesa-civil/pnpdec>>. Acesso em: 04 de set. 2018.

BRASILEIRO, A.; MORGADO, C.; ALMEIDA, T.; SILVA, T. Avaliação e discussão sobre a classificação do nível de eficiência energética de conjuntos habitacionais do PMCMV no rio de janeiro1. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 2016.

BROM, L. G.; BALIAN, J. E. A. **Análise de Investimentos e Capital de Giro - Conceitos e Aplicações**. 1. ed., p. 132. São Paulo: Saraiva, 2007.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Programa Minha Casa Minha Vida**. Dispõe sobre as definições de habitações sociais e critérios para seleção de beneficiários. 2020. Disponível em: [http://www1.caixa.gov.br/gov/gov\\_social/municipal/programas\\_de\\_repasso\\_do\\_OGU/habitacao\\_interesse\\_social.asp](http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programas_de_repasso_do_OGU/habitacao_interesse_social.asp). Acesso em 23 nov. 2018.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Programa Minha Casa Minha Vida**. 2010. Disponível em: [http://www1.caixa.gov.br/gov/gov\\_social](http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social). Acesso em 23 nov. 2018.

CÂNDIDO, M. C. **Indoor air movement acceptability and thermal comfort in hot humid climates**. 2011. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

CÂNDIDO, M. C.; DE DEAR, R. From thermal boredom to thermal pleasure: a brief literature review. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 81-90, jan./mar. 2012. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/23615>. Acesso em: 18 nov. 2018.

CARLO, J.C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento da etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Revista Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010.

CARLO, J. C.; AMORIM, A. C. Análise das propostas de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro: estudo de caso de Colatina, ES. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 373-391, jan./mar. 2017.

CARLUCCI, S.; PAGLIANO, L. A review of indices for the long-term evaluation of the general thermal comfort conditions in buildings. **Energy and Buildings**, v. 53, p. 194-205, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812003027>. Acesso em: 09 out. 2018.

CARVALHO, N. C. de; GUIMARÃES, M. G.; CASTILLO, L. A. G. **Desenvolvimento de alternativas sustentáveis para habitação de baixa renda**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 8., São Paulo, 2008. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. AEND/Brasil: São Paulo, 2008. Disponível em: < <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/17382/17382.PDFXXvmi=J1wsDS15eexMLBcmsj0EcqOL5BgRrVZbWwFBqGHFUFrGhF4LZ4pbvfWBQdtjatu81aKrRr8N8BuqgzcfEDqaSoMKDh4NLAVNLGgD9oqi0VJhvWwaBZlun9f1qkPdVM2HtilEINWJKH1gFzrgxOLVx2xonODjBF26ZoKIcIsWpud54GmCu9zscxSAnwUZdx6cmQVzzov0UK6ZrsCWDcqPLkq9RI85jfiH6fgGENGzxMz0gcxTopKaKbjDxsJSI3AP>>. Acesso em: 18 novembro 2018.

CASAGRANDE, B.G; ALVAREZ, C. E. de. Preparação de arquivos climáticos futuros para avaliação dos impactos das mudanças climáticas no desempenho termoenergético de edificações. **Revista Ambiente Construído**, v. 13, n. 4, p. 173-187, jul./set. 2013.

CASAROTTO FILHO, N. C.; KOPITKE, B. H. **Análise de Investimentos**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 411

CECHINEL, R. J.; HENNING, E.; TONDO, G. H.; HACKENBERG, A. M.; OLIVEIRA, T. A. C. Aplicação do DOE no conforto térmico em edificações. **Revista TMQ Techniques, Methodologies and Quality**. Vol. 7. 2016.

CEOTTO, L. H. **A Construção Civil e o Meio ambiente: 1ª parte**. Notícias da Construção, Ed. 51, São Paulo: Sinduscon SP, 2006. Disponível em: <http://www.sindusconsp.com.br/secoes.asp?subcateg=74&categ=16>. Acesso em 18 nov. 2018.

CHOW, T.; ZANG, L.; FONG, K.; CHAN, L.; HE, M. Thermal performance of natural airflow window in subtropical and temperate climate zones – A comparative study. **Energy Conversion and Management**, v. 50, p. 1884–1890, 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890409001666>. Acesso em: 04 jan. 2019.

CORDEIRO, C. B. **Habitação popular sustentável: Estratégias para concepção de empreendimentos habitacionais de interesse popular que atendam critérios das categorias Eficiência Energética e Projeto e Conforto do Selo Casa Azul Caixa**. Pós-graduação Lato Sensu (Projeto, Execução e Manutenção de Edificações). Centro Universitário de Brasília. Instituto CEUB de Pesquisa e Desenvolvimento – ICPD. Brasília, 2018. 1p.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 549–561, 2002. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778802000051>. Acesso em 08 nov. 2018.

DE DEAR, R. Thermal comfort in practice. **Indoor Air**, v. 14 (7), p. 32–39, 2004. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0668.2004.00270.x/pdf>. Acesso em: 02 set. 2018

DE DEAR, R. Recent Enhancements to the Adaptive Comfort Standard in ASHRAE 55-2010. **45th Annual Conference of the Architectural Science Association, ANZASCA**. The University of Sydney. 2011. Disponível em: <http://anzasca.net/wp-content/uploads/2014/08/24P94.pdf>. Acesso em: nov. 2018.

DE DEAR, R.; FOUNTAIN, M. Field experiments on occupant comfort and office thermal environments in a hot-humid climate. **ASHRAE Trans**, v. 100(2), p. 457-475, 1994. Disponível em: <http://www.cbe.berkeley.edu/research/other->

papers/de%20Dear%20-%20

Fountain%201994%20Field%20experiments%20on%20occupant%20comfort%20and%20office%20thermal%20environments%20in%20a%20hot-humid%20climate.pdf.

Acesso em 22 fev. 2019.

DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. **Final report ASHRAE RP-884**; 1997. Disponível em: [http://www.cbe.berkeley.edu/research/other-papers/de%20Dear%20-](http://www.cbe.berkeley.edu/research/other-papers/de%20Dear%20-%20Brager%201998)

[%20Brager%201998](http://www.cbe.berkeley.edu/research/other-papers/de%20Dear%20-%20Brager%201998)

[%20Developing%20an%20adaptive%20model%20of%20thermal%20comfort%20and%20preference.pdf](http://www.cbe.berkeley.edu/research/other-papers/de%20Dear%20-%20Brager%201998). Acesso em 15 nov. 2018.

DELL'SANTO, A. **O impacto da janela no conforto térmico: edificações multifamiliares ventiladas naturalmente**. 2014. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Universidade Federal do Espírito Santo: Vitória, 2014.

ELETROBRÁS. **Tabela de estimativa de consumo médio mensal de eletrodomésticos de acordo com um uso hipotético**. 2015. Disponível em: <http://www.industriahoje.com.br/wp-content/uploads/downloads/2015/01/Tabela-Consumo-Equipamentos-Procet-Eletronbras.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2018.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus documentation: Engineering Reference: the reference to EnergyPlus calculation**. US Department of Energy, 2018. Disponível em: [https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs\\_v8.3.0/EngineeringReference.pdf](https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs_v8.3.0/EngineeringReference.pdf). Acesso em: 03 jan. 2018.

EPSTEIN, Y.; MORAN, D. Thermal comfort and the heat stress indices. **Industrial Health**, v. 4, p. 388–398, 2006. Disponível em: [https://www.jniosh.go.jp/en/indu\\_hel/pdf/indhealth\\_44\\_3\\_388.pdf](https://www.jniosh.go.jp/en/indu_hel/pdf/indhealth_44_3_388.pdf). Acesso em 13 jan. 2019.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 15.251**: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Brussels, 2007.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CR 1752**: ventilation for buildings: design criteria for the indoor environment. Brussels, 2005.

FANGER, P.O.; IPSEN, B.M.; LANGKILDE, B.W.; OLESSEN, N. K.; CHRISTENSEN, S. TANABLE. Comfort limits for asymmetric thermal radiation. Ambiente Construído. **Energy and Buildings**, v.8, n. 3, p. 225-236, ago. 1985. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378778885900064>. Acesso em: 18 fev. 2019.

FOLHA VITÓRIA. **Caixa Econômica entrega mais de 170 casas para moradores de Colatina.** 2012. Disponível em: <http://www.folhavoria.com.br/economia/noticia/2012/06/caixa-economica-entrega-mais-de-170-casas-para-moradores-de-colatina.html>. Acesso em 03 jan. 2019.

FOSSATI, M. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de projetos de edifícios: o caso de escritórios em Florianópolis.** Tese (Doutorado em arquitetura e urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2016.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico.** 8 ed., São Paulo: Studio Nobel, 2003.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informações. **Déficit habitacional no Brasil 2009.** Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.mg.gov.br/consulta/consultaDetalheDocumento.php?iCodDocumento=76700>. Acesso em 03 jan. 2020.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Building**, v. 18, p. 11-23, 1992. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037877889290047K>. Acesso em: 10 jan. 2019.

GOLDEN SOFTWARE (2010). **Surfer - Version 9.9.785** – Golden, CO, USA. Disponível em: [www.goldensoftware.com](http://www.goldensoftware.com).

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos Para Projeto e Avaliação Energética de Edificações Para 14 Cidades Brasileiras.** Florianópolis: PROCEL/Núcleo de Pesquisa em Construção Civil, UFSC, 1998.

GUARDA, E. L. A. de; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. V.A. Effects of Global Warming on Passive Design Strategies Through Bioclimatic **Charts.** **Engineering and Science**, v. 7, n. 2, p. 54-70, 2018.

HABERL, J. S.; KOMOR, P. S. Improving energy audits: How annual and monthly consumption data can help. **ASHRAE Journal.** 1990.

HALAWA, E.; HOOFF, J. V. The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. **Energy and Buildings**, v. 51, p. 101–110, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812002241>. Acesso em: 05 set. 2018.

HALDI, F.; MOREL, N.; DAUM, D. A personalized measure of thermal comfort for building controls. **Building and Environment**, v. 46, p. 3-11, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310001915>. Acesso em: 10 set. 2019.

HART, S. L. **O Capitalismo na encruzilhada: as inúmeras oportunidades de negócios na solução dos problemas mais difíceis do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

HARVEY, D. **Cidades rebeldes: do direito à cidade à revolução urbana**. São Paulo: Martins Fontes, 2014.

HIRATA, F. Minha casa, minha vida: política habitacional e de geração de emprego ou aprofundamento da segregação urbana?. **Revista eletrônica Aurora**, Marília, v.3, n.2, jul. 2009. Disponível em: <http://www2.marilia.unesp.br/revistas/index.php/aurora/article/view/1202>. Acesso em: 23 dezembro 2018.

HUMPHREYS, M. A; NICOL, J. F. Understanding the adaptive approach to thermal comfort. **ASHRAE Trans**: **104**, (1), p. 991-1004, 1998.

HUMPHREYS, M. A.; RIJAL, H. B.; NICOL, J. F. Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database. **Building and Environment**, v.63, p 4055, 2013.

INDRAGANTI, M. Adaptive use of natural ventilation for thermal comfort in Indian apartments. **Building and Environment**, v. 45, p. 1490–1507, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309003667>. Acesso em: 10 set. 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL FOR CLIMATE CHANGE – IPCC, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>. Acesso em 04 jan. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. Disponível em: <https://www.iea.org/statistics/>. Acesso em 04 fev. 2019.

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, Geneva, 2005.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. 2013. Disponível em: <https://www.iea.org/newsroom/news/2013/november/world-energy-outlook-2013.html>. Acesso em: 04 jan. 2018.

INSTITUTO INTERNACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas**. 2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em 05 dez. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. 2010. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial>. Acesso em 04 jan. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2013. **Atlas do Censo Demográfico 2010**. Disponível em: [http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv64529\\_cap6.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv64529_cap6.pdf). Acesso em: 02 jan. 2019.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES. **Microrregiões de Planejamento do Espírito Santo conforme a Lei 9.768 de 28/12/2011**. Disponível em: <http://www.ijns.es.gov.br/mapas/>. Acesso em: 04 dez. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE, 2019. **Total diário de radiação direta normal**. Disponível em: [http://labren.ccst.inpe.br/atlas\\_2017.html](http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html). Acesso em 04 fev. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE, 2018. Disponível em: <http://www.inpe.br/busca.php?q=normais>. Acesso em 04 fev. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET, 2018. – **Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtospbe/regulamentos/anexov.pdf>. Acesso em 04 jan. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO, 2013. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtospbe/regulamentos/anexov.pdf>. Acesso em 04 jan. 2019.

INSTRUTEMP. **Manual do Datalogger Instrutemp ITLOG-80**. 2010. Disponível em: <https://www.instrutemp.com.br/produto/245/datalogger+de+temperatura+e+umidade+instrutemp+itlog80>. Acesso em 08 dez. 2018.

JANDA, K. **Worldwide status of energy standards for buildings: a 2009 update**. Environmental Change Institute, Oxford University. 2009. Disponível em: <https://www.eci.ox.ac.uk/publications/downloads/janda09worldwidestatus.pdf>. Acesso em 04 mai. 2019.

JUDKOFF, R.; NEYMARK, J. 1998. The BESTEST Method for Evaluating and Diagnosing Building Energy Software. **ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings Proceedings 1998**. Vol.5, p. 175-190.

KARLSSON, J.; ROOS, A. Evaluation of window energy rating models for different houses and European climates. **Solar Energy**, v. 76, p. 71–77, 2004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X03003050>. Acesso em: 10 set. 2019.

KAVOUSIAN, A.; RAJAGOPAL, R.; FISCHER, M. Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. **Energy**, v. 55, p. 184-194, 2013.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G.A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, v.2, p.171-182, 2001.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEÉE. Seção Downloads. Trabalhos sobre o EnergyPlus. Disponível em: [www.labeee.ufsc.br/downloads](http://www.labeee.ufsc.br/downloads). Acesso em: 1 set. 2018.

LAMBERTS, R.; MARINOSKI, D. L.; MILBRATZ, J. H. **Construção, Conforto ambiental e uso racional de energia e água: Análise de propriedades térmicas e**

**ópticas de janelas através de simulação computacional.** Projeto de Pesquisa. Florianópolis, 2007.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P.; GOULART, S. **Conforto e Stress Térmico.** Florianópolis: 2016.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S.; DE VECCHI, R. **Conforto térmico e stress térmico.** Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – departamento de engenharia Civil, 2011. Disponível: [http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200\\_apostila%202011.pdf\\_2.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pdf). Acesso em: 25 dez. 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo: PW, 2014.

LIU, L.; YAO R.; MCCLOY, R. A method to weight three categories of adaptive thermal comfort. **Energy and Building**, v. 47, p. 312–320, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811006025>. Acesso em: 04 jan. 2019.

LOPES, T.; GOULART, S.; LAMBERTS, R. Desempenho térmico de habitações de interesse social com diferentes sistemas construtivos em Santa Catarina. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 2010.

LOURA, R. M.; ASSIS, E. S.; BASTOS, L. E. G. Análise Comparativa Entre Resultados de Desempenho Térmico de Envoltórias de Edifício Residencial Gerados Por Diferentes Normas Brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11, Búzios, 2011. **Anais...** Búzios: ANTAC, 2011.

MACHADO, J. de M.; NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. de. Desempenho térmico x sustentabilidade x custo para sistemas de vedação em habitações de interesse social. In: XIII ENCONTRO LATINO-AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2017, São Leopoldo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.

MACPHERSON, K. The assessment of the thermal environment. A review. **British Journal of Industrial Medicine**, v. 19, p. 151–164, 1962. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1038191/>. Acesso em: 01 nov. 2018.

MALLICK, F. H. Thermal comfort and building design in the tropical climates. **Energy Buildings**, v. 23(3), p. 161-167, 1996. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037877889500940X>. Acesso em: 10 set. 2018.

MANIOGLU, G.; YILMAZ, Z. Economic evaluation of the building envelope and operation period of heating system in terms of thermal comfort. **Energy and Buildings**, v.38, n.1, p. 266-272, 2006.

MARÇAL, V. G.; SOARES, G. B. N.; SOUZA, H. A. de. Análise de elementos arquitetônicos: cobogós e fachadas ventiladas. . In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12, Brasília, 2013. **Anais...** Brasília: ANTAC, 2013.

MATOS, G. G. de. Infra-estrutura: Conservar dá a maior energia. 1994. **Revista CNI**: p.18-19, São Paulo.

MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Manual de simulação computacional de edifícios com uso do pré-processador Slab no programa EnergyPlus**. Florianópolis: LABEEE, 2015.

MELO, A.; WESTPHAL, F.; MATOS, M. **Apostila do Curso Básico do Programa Energyplus**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, 2009. Disponível em: [http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202\\_Apostila\\_EnergyPlus\\_0.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202_Apostila_EnergyPlus_0.pdf). Acesso em: 03 fev. 2019.

MENDONÇA, P. J. F. A. U. **Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade do Minho. Guimarães, 2005.

MISHA, A. K.; RAMGOPAL, M. Field studies on human thermal comfort - An overview. **Building and Environment**, v. 64, p. 94-106, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231300070X>. Acesso em: 04 jan. 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2010. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas\\_publicacoes.html](http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html). Acesso em: 02 jan. 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas\\_publicacoes.html](http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html). Acesso em: 02 jan. 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018. Anuário estatístico de energia elétrica 2018 – ano base 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2018vf.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2020.

MONTES, M. A. T.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Should we consider climate change for brazilian social housing? Assessment of energy efficiency adaptation measures. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1379-1392, 2017.

MONTES, M. A. T. **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas**. Tese (Doutorado engenharia civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

NEGREIROS, B.; PEDRINI, A. Proposta de saída gráfica para análise de desempenho térmico. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2011, Búzios. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2011.

NICOL, J. F. Characterising occupant behaviour in buildings: towards a stochastic model of occupant use of windows, lights, blinds, heaters and fans, in: **Proceedings of the seventh international IBPSA conference**, Rio de Janeiro, v. 2, 2001. Disponível em: [http://www.ibpsa.org/%5Cproceedings%5CBS2001%5CBS01\\_1073\\_1078.pdf](http://www.ibpsa.org/%5Cproceedings%5CBS2001%5CBS01_1073_1078.pdf). Acesso em: 01 fev. 2019.

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.

NICO-RODRIGUES, E. A. **Janelas x ventilação: modelo de apoio à escolha de janelas para edificações multifamiliares em Vitória, ES**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2008.

NICO-RODRIGUES, E. A. **Influência da janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente**. Tese (Doutorado em arquitetura e urbanismo). Universidade del Bío-Bío. Bío-Bío: Chile, 2015.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 1979.

OCHOA, C. E.; ARIES, M. B. C.; LOENEN, E. J. van; HENSEN, J. L. M. Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort. **Applied Energy**, v. 95, p. 238–245, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912001419>. Acesso em: 04 jan. 2019.

OLESEN, B.; PARSONS, K. Introdução aos padrões de conforto térmico e para a nova versão proposta da norma EN ISO 7730, **Energy Buildings**, v. 34, p. 537-548, 2002. Disponível em: [ftp://164.41.49.96/Usuarios/Luis/BACKUP/UNB/Projeto %20Final /TG\\_1/Projeto%201/ISO%207730/Olesen%202002%20-%20Energy%20and%20Buildings %20-%20Thermal%20comfort%20standards%20ISO7730.pdf](ftp://164.41.49.96/Usuarios/Luis/BACKUP/UNB/Projeto%20Final/TG_1/Projeto%201/ISO%207730/Olesen%202002%20-%20Energy%20and%20Buildings%20-%20Thermal%20comfort%20standards%20ISO7730.pdf). Acesso em: 03 jan 2019.

OLGYAY, V., A. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**. Princeton University Press, 1973.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS. 2019. Disponível em: <http://ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao>. Acesso em 04 jan. 2019.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – PBMC, 2013. Disponível em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/pt/>. Acesso em 04 jan.2019.

PAINEL NACIOANAL DE ADAPTAÇÃO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – PBMC, 2016. Disponível em: < <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/pt/>>. Acesso em 04 jan. 2019.

PAULSEN, J. S.; SPOSTO, R. M. A Life cycle energy analysis of social housing in Brazil: case study for the program “MY HOUSE MY LIFE”. **Energy and Buildings**, v. 57, p. 95-102, 2013.

PARSONS, K. Human Thermal Environments, 2nd ed. **Taylor-Francis**, London, p. 258–292, 2003.

PLANO NACIONAL DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS – PNA, 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao>. Acesso em 04 jan. 2019.

PEDRINI, A. **Desenvolvimento de metodologia de calibração de modelos para simulações térmica e energética de edificações**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 1997.

PEETERS, L.; DE DEAR, R.; HENSEN J.; D'HAESELEER, W. Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. **Applied Energy**, v. 86, p. 772–780, 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261908001785>. Acesso em: 10 set. 2018.

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. **Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 3151, jan. /mar. 2010. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/6319>. Acesso em: 10 set. 2018.

PRAHALAD, C. K. **A Riqueza na base da pirâmide: Como erradicar a pobreza com o lucro**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

PRICEWATERHOUSECOOPERS. **The long view: how will the global economic order change by 2050?**. 2017. Disponível em: <https://www.pwc.com/gx/en/world-2050/assets/pwc-the-world-in-2050-full-report-feb-2017.pdf>. Acesso em 04 de janeiro de 2020.

PUCCINI, A. D. L. **Matemática Financeira: Objetiva e Aplicada**. 9. ed. São Paulo: Elsevier, 2011.

RAJA, I. A.; NICOL, J. F.; MCCARTNEY, K. J.; HUMPHREYS, M. A. Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings. **Energy Buildings**, v. 33(3), p. 235-244, 2001. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778800000876>. Acesso em: 10 set. 2018.

RAMESH, T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K.K. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 10, p. 1592-1600, 2010.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **Adapting buildings and cities for climate change**, 2. Ed. Oxford: Architectural Press, 2009.

RODRIGUES, T.; OLIVEIRA, C. de; CARLO, J. C. Níveis de eficiência da envoltória de unidades habitacionais do programa minha casa minha vida em zonas bioclimáticas de 5 a 8. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2015, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015.

ROETZEL, A.; TSANGRASSOULIS, A.; DIETRICH, U.; BUSCHING, S. A review of

occupant control on natural ventilation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 1001–1013, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002676>. Acesso em: 01 dez. 2018.

ROETZEL, A.; TSANGRASSOULIS, A.; DIETRICH, U.; BUSCHING, S. A review of occupant control on natural ventilation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 1001–1013, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002676>. Acesso em: 01 dez. 2018.

ROLNIK, R. **Dispõe sobre Política Habitacional no Brasil**. 2009. Disponível em: <https://raquelrolnik.wordpress.com/2009/04/30/relatora-da-onu-se-pronuncia-sobre-politica-habitacional-do-brasil/>. Acesso em 03 nov. 2018.

ROLNIK, R. **Guerra dos lugares: a colonização da terra e da moradia na era das finanças**. São Paulo: Boitempo, 2015. 424p

ROLNIK, R. **Moradia é mais que um objeto físico de quatro paredes**. 2011. Observatório das Metrópoles. Revista Eletrônica de Estudos Urbanos e Regionais, n. 5. Disponível em: [http://emetropolis.net/system/edicoes/arquivo\\_pdfs/000/000/005/original/emetropolis\\_n05.pdf?1447896287](http://emetropolis.net/system/edicoes/arquivo_pdfs/000/000/005/original/emetropolis_n05.pdf?1447896287). Acesso em 01 dez. 2018.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. 2012a. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. Disponível em: [http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Proposta\\_Revisao\\_Zoneamento\\_Bioclimatico.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Proposta_Revisao_Zoneamento_Bioclimatico.pdf). Acesso em: 06 de fevereiro de 2019.

RORIZ, M. **Segunda proposta de revisão do Zoneamento bioclimático do Brasil**. 2012b. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. Disponível em: <http://labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Zoneamento.pdf>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2019.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil – versão 2**. 2013. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. Disponível em:

[http://labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas\\_v2.pdf](http://labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas_v2.pdf). Acesso em: 06 de fevereiro de 2019.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil – versão 2.1**. 2013. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. Disponível em: [http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas\\_v2-1.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas_v2-1.pdf). Acesso em: 06 de fevereiro de 2019.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil – versão 3.0**. 2014. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. Disponível em: [http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas\\_v3.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas_v3.pdf). Acesso em: 06 de fevereiro de 2019.

SANTANA NETO, E. J. de; SILVA, R. C. da. Cobogó computacional – da computação material e da atualização de elementos vazados na arquitetura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, São Paulo, 2016. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2016.

SANTIN, O. G; ITARD, L.; VISSCHER, H. The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 11, p. 12-23-1232. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778809001388>. Acesso em 04 jan. 2019.

SANTOS, M. **Espaço e Sociedade**. Petrópolis: Vozes, 1979.

SCHILLER, G. E. A comparison of measured and predicted comfort in office buildings. **ASHRAE Trans** 96: 609-622, 1990.

SEN, A. **Desenvolvimento como liberdade**. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.

SICURELLA, F.; EVOLA, G.; WURTZ, E. A statistical approach for the evaluation of thermal and visual comfort in free-running buildings. **Energy and Buildings**, v.47, p 402410, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811006232>. Acesso em: 10 out. 2018.

SILVEIRA, F. M.; LABAKI, L. C. Análise do desempenho térmico para edificações Residenciais ventiladas naturalmente através de Simulação computacional baseada em abordagem Adaptativa. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 14. 2012. Juiz de fora. **Anais...**, Juiz de Fora, 2012. p. 877-885.

SINGH, M. K.; MAHAPATRA, S.; ATREYA, S. K. Adaptive thermal comfort model for different climatic zones of North-East India. **Applied Energy**, v. 88, p. 2420–2428, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261911000225>. Acesso em: 03 fev. 2019.

SOBIN, H. Window Design for Passive Ventilation. In: **International Passive and Hybrid Cooling Conference**, 1981.

SORGATO, M. J.; MARINOSKI, D. L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública**. Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – departamento de engenharia Civil. Disponível: [http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas\\_tecnicas/NT\\_15575\\_FIN\\_AL.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas_tecnicas/NT_15575_FIN_AL.pdf). Acesso em: 11 fev. 2012.

SOUZA H. A. de, AMPARO, L. R; GOMES, A. P. Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em *light steel framing*. **Revista Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 113-128, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v11n4/a09v11n4.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2020.

STEFANIAK, J. L. A efetividade do direito humano e fundamental à moradia. **Revista Direitos Fundamentais e Democracia**. Curitiba, v.8, n.8, p. 237-256, jul./dez. 2010. Disponível em: <http://revistaeletronicardfd.unibrasil.com.br/index.php/rdfd/article/view/24/23>. Acesso em: 04 janeiro 2019.

TIBIRIÇA, A. C. G. Contexto para o desempenho ambiental de janelas. In: XIX Encontro Nacional de Engenharia. In: *International Congress of Industrial Engineering*, 5 e o Encontro de Engenharia de Produção, 1, 1999. Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro, v. 1, 1999.

THE WORLD BANK GROUP, 2020. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicador/SP.POP.TOTL?end=2018&locations=JP&start=1960&view=chart>. Acesso em 04 jan. 2020.

TOLEDO, M. A. de; FRICKE, G. T. **Avaliação do Desempenho Térmico de Unidade Habitacional de Interesse Social**. São Paulo: NUTAU, 2008.

TRIMBLE NAVIGATION. *Software SketchUp 2017*. Disponível em: <https://www.sketchup.com/pt-BR/try-sketchup>. Acesso em 04 jan. 2020.

TRINDADE, T. A. **Direitos e cidadania: reflexões sobre o direito à cidade**. São Paulo: Lua Nova, São Paulo, 2012.

UDAETA, M. E. M.; DE ANDRADE OLIVEIRA, C. T.; BAESSO, J. A. Energy & Environmental Efficiency with Full Use of the Sun in a Sustainable Architecture Residence. **In: Journal of Engineering and Architecture**, v. 2, n. 2, p. 103–118, 2014.

UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – EIA, 2020. Disponível em: <https://www.eia.gov/international/rankings/world?pa=33&u=0&f=A&v=none&y=01%2F01%2F2017&ev=false>. Acesso em 04 jan. 2020.

UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – EIA, 2016. Disponível em: <https://www.eia.gov/electricity>. Acesso em 04 jan. 2019.

VENÂNCIO, R. **Treinamento para o programa DesignBuilder versão 2.0**. p. 83. Laboratório de Conforto Ambiental – Departamento de arquitetura e urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

VIANA, K. R. C; VASCONCELLOS, V. M. N. de. Conforto ambiental nos espaços livres do programa minha casa minha vida. **Brazilian Applied Science Review**, v. 2, n. 4, Edição Especial, p. 1296-1314, 12 set. 2018.

VISINTAINER, M. R. M.; CARDOSO, L. A.; VAGHETTI, M. A. O. **Habitação popular sustentável: sustentabilidade econômica e ambiental**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 1., Passo Fundo, 2012. Anais do

WANG, Z.; ZHANG, L.; ZHAO, J.; HE, Y. Thermal comfort for naturally ventilated residential buildings in Harbin. **Energy Buildings**, v. 42, n. 12, p. 2406-2415, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810002859>. Acesso em: 07 jan. 2019.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Simulação térmica e energética de edificações a partir de dados climáticos simplificados: validação através do método BESTEST. **Revista Ambiente Construído**, v. 4, n. 3, p. 37-49, jul./ set. 2004.

WILLRATH, H. **Comparison of the Thermal Performance of Free Running and Conditioned Houses in the Brisbane Climate**. Department of Architecture, University of Queensland, 1998. Disponível em: <http://www.solarlogic.com.au/profile/Free%20Running%20Buildings%20v%20Conditioned.pdf>. Acesso em 10 ago. 2018.

WONG, N. H.; FERIADI, H.; LIM, P. Y.; THAM, K. W.; SEKHAR, C.; CHEONG, K. W. Thermal comfort evaluation of naturally ventilated public housing in Singapore. **Building and Environment**, v. 37, p. 1267 – 1277, 2002. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132301001032>. Acesso em: 04 jan. 2019.

ZHANG, Y.; LIN, K.; ZHANG, Q.; DI, H. Ideal thermophysical properties for freecooling (or heating) buildings with constant thermal physical property material. **Energy and Buildings**, v.38, p.1164–1170, 2006. Disponível em: [http://www.researchgate.net/publication/245196935\\_Ideal\\_thermophysical\\_properties\\_f\\_or\\_freecooling\\_\(or\\_heating\)\\_buildings\\_with\\_constant\\_thermal\\_physical\\_property\\_material](http://www.researchgate.net/publication/245196935_Ideal_thermophysical_properties_f_or_freecooling_(or_heating)_buildings_with_constant_thermal_physical_property_material). Acesso em: 04 set. 2018.

# APÊNDICES

## APÊNDICE A

Legenda de parametrizações dos protótipos.

CID.	CÓDIGO	TIPO DE CONJUNTO – PH
Colatina	PH1C – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH1C – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH2C – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH2C – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH3C – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH3C – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH4C – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH4C – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
Vitória	PH1V – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH1V – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH2V – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH2V – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH3V – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH3V – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH4V – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH4V – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
Salvador	PH1S – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação

	PH1S – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH2S – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH2S – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH3S – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH3S – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH4S – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH4S – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
Recife	PH1RE – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH1RE – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH2RE – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH2RE – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH3RE – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH3RE – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH4RE – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH4RE – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
Boa Vista	PH1BV – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH1BV – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH2BV – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH2BV – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação

	PH3BV – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venez. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH3BV – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venez. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH4BV – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venez. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH4BV – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venez. Vertical com 40% de área útil de ventilação
Manaus	PH1M – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venez. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH1M – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venez. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH2M – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venez. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH2M – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venez. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH3M – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venez. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH3M – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venez. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH4M – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venez. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH4M – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venez. Vertical com 40% de área útil de ventilação
Rio Branco	PH1RB – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venez. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH1RB – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venez. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH2RB – 20%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venez. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH2RB – 40%	Bloco cerâmico + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venez. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH3RB – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venez. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH3RB – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venez. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH4RB – 20%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venez. Vertical com 20% de área útil de ventilação

	PH4RB – 40%	Bloco concreto + isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venez. Vertical com 40% de área útil de ventilação
--	-------------	---

## APÊNDICE B

Determinação do intervalo de temperaturas para 90% de aceitabilidade – por cidade.

BOA VISTA				
Meses	Temperatura média mensal do ar externo (°C)	Temperatura Neutra (°C) $T_n = 0,31 (T_e) + 17,8$	Intervalo de temperatura de conforto da ASHRAE 55 90% de aceitabilidade	
			Mínima	Máxima
Janeiro	27,28	26,2568	23,7568	28,76
Fevereiro	28,06	26,4986	23,9986	29,00
Março	26,13	25,9003	23,4003	28,40
Abril	26,13	25,9003	23,4003	28,40
Maio	25,90	25,829	23,329	28,33
Junho	25,91	25,8321	23,3321	28,33
Julho	26,18	25,9158	23,4158	28,42
Agosto	27,08	26,1948	23,6948	28,69
Setembro	28,17	26,5327	24,0327	29,03
Outubro	28,73	26,7063	24,2063	29,21
Novembro	27,43	26,3033	23,8033	28,80
Dezembro	27,22	26,2382	23,7382	28,74

COLATINA				
Meses	Temperatura média mensal do ar externo (°C)	Temperatura Neutra (°C) $T_n = 0,31 (T_e) + 17,8$	Intervalo de temperatura de conforto da ASHRAE 55 90% de aceitabilidade	
			Mínima	Máxima
Janeiro	25,46	25,6926	23,1926	28,19
Fevereiro	25,60	25,736	23,236	28,24
Março	25,92	25,8352	23,3352	28,34
Abril	24,89	25,5159	23,0159	28,02
Maio	21,94	24,6014	22,1014	27,10
Junho	22,35	24,7285	22,2285	27,23
Julho	21,20	24,372	21,872	26,87
Agosto	20,77	24,2387	21,7387	26,74
Setembro	22,70	24,837	22,337	27,34
Outubro	24,47	25,3857	22,8857	27,89
Novembro	24,42	25,3702	22,8702	27,87
Dezembro	27,81	26,4211	23,9211	28,92

RIO BRANCO				
Meses	Temperatura média mensal do ar externo (°C)	Temperatura Neutra (°C) $T_n = 0,31 (T_e) + 17,8$	Intervalo de temperatura de conforto da ASHRAE 55 90% de aceitabilidade	
			Mínima	Máxima

Janeiro	25,06	25,5686	23,0686	28,07
Fevereiro	24,58	25,4198	22,9198	27,92
Março	24,93	25,5283	23,0283	28,03
Abril	24,66	25,4446	22,9446	27,94
Maiο	24,88	25,5128	23,0128	28,01
Junho	22,96	24,9176	22,4176	27,42
Julho	24,16	25,2896	22,7896	27,79
Agosto	26,01	25,8631	23,3631	28,36
Setembro	26,35	25,9685	23,4685	28,47
Outubro	26,74	26,0894	23,5894	28,59
Novembro	26,16	25,9096	23,4096	28,41
Dezembro	24,84	25,5004	23,0004	28,00

## RECIFE

Meses	Temperatura média mensal do ar externo (°C)	Temperatura Neutra (°C) $T_n = 0,31 (T_e) + 17,8$	Intervalo de temperatura de conforto da ASHRAE 55 90% de aceitabilidade	
			Mínima	Máxima
Janeiro	26,77	26,0987	23,5987	28,60
Fevereiro	27,41	26,2971	23,7971	28,80
Março	26,37	25,9747	23,4747	28,47
Abril	26,41	25,9871	23,4871	28,49
Maiο	25,11	25,5841	23,0841	28,08
Junho	24,53	25,4043	22,9043	27,90
Julho	23,94	25,2214	22,7214	27,72
Agosto	24,12	25,2772	22,7772	27,78
Setembro	24,86	25,5066	23,0066	28,01
Outubro	26,36	25,9716	23,4716	28,47
Novembro	26,62	26,0522	23,5522	28,55
Dezembro	26,65	26,0615	23,5615	28,56

## MANAUS

Meses	Temperatura média mensal do ar externo (°C)	Temperatura Neutra (°C) $T_n = 0,31 (T_e) + 17,8$	Intervalo de temperatura de conforto da ASHRAE 55 90% de aceitabilidade	
			Mínima	Máxima
Janeiro	26,75	26,0925	23,5925	28,59
Fevereiro	26,82	26,1142	23,6142	28,61
Março	27,57	26,3467	23,8467	28,85
Abril	26,42	25,9902	23,4902	28,49
Maiο	27,00	26,17	23,67	28,67
Junho	26,79	26,1049	23,6049	28,60
Julho	26,73	26,0863	23,5863	28,59
Agosto	27,93	26,4583	23,9583	28,96

Setembro	28,97	26,7807	24,2807	29,28
Outubro	28,25	26,5575	24,0575	29,06
Novembro	27,33	26,2723	23,7723	28,77
Dezembro	26,75	26,0925	23,5925	28,59

## VITÓRIA

Meses	Temperatura média mensal do ar externo (°C)	Temperatura Neutra (°C) $T_n = 0,31$ (Te)+17,8	Intervalo de temperatura de conforto da ASHRAE 55 90% de aceitabilidade	
			Mínima	Máxima
Janeiro	26,35	25,9685	23,4685	28,47
Fevereiro	25,76	25,7856	23,2856	28,29
Março	26,65	26,0615	23,5615	28,56
Abril	25,34	25,6554	23,1554	28,16
Maio	22,84	24,8804	22,3804	27,38
Junho	21,98	24,6138	22,1138	27,11
Julho	22,38	24,7378	22,2378	27,24
Agosto	21,69	24,5239	22,0239	27,02
Setembro	22,07	24,6417	22,1417	27,14
Outubro	24,41	25,3671	22,8671	27,87
Novembro	26,50	26,015	23,515	28,52
Dezembro	26,86	26,1266	23,6266	28,63

## SALVADOR

Meses	Temperatura média mensal do ar externo (°C)	Temperatura Neutra (°C) $T_n = 0,31$ (Te)+17,8	Intervalo de temperatura de conforto da ASHRAE 55 90% de aceitabilidade	
			Mínima	Máxima
Janeiro	27,21	26,2351	23,7351	28,74
Fevereiro	26,94	26,1514	23,6514	28,65
Março	27,55	26,3405	23,8405	28,84
Abril	26,30	25,953	23,453	28,45
Maio	25,02	25,5562	23,0562	28,06
Junho	24,83	25,4973	22,9973	28,00
Julho	24,24	25,3144	22,8144	27,81
Agosto	24,15	25,2865	22,7865	27,79
Setembro	24,96	25,5376	23,0376	28,04
Outubro	25,67	25,7577	23,2577	28,26
Novembro	26,28	25,9468	23,4468	28,45
Dezembro	27,26	26,2506	23,7506	28,75

## APÊNDICE C

Somatórios de GhDT (C°/h.dia) de todos os PHs, em todos os cenários.

COLATINA – SUL						
Protótipo		Estação do ano				$\Sigma$ GhDT Anual
		Primavera	Verão	Outono	Inverno	
PH1C – 20%	Sala	371	636	238	69	1314
	Dorm.1	405	715	410	243	1773
	Dorm.2	413	760	214	110	1497
PH1C – 40%	Sala	650	857	489	291	2287
	Dorm.1	625	793	633	499	2550
	Dorm.2	631	806	413	268	2118
PH2C – 20%	Sala	299	421	158	31	909
	Dorm.1	291	402	291	149	1133
	Dorm.2	306	393	118	63	880
PH2C – 40%	Sala	572	830	373	188	1963
	Dorm.1	527	693	553	392	2165
	Dorm.2	534	706	323	186	1749
PH3C – 20%	Sala	461	690	325	147	1623
	Dorm.1	497	660	485	317	1959
	Dorm.2	493	656	297	150	1596
PH3C – 40%	Sala	679	870	550	345	2444
	Dorm.1	665	834	647	522	2668
	Dorm.2	656	824	442	299	2221
PH4C – 20%	Sala	375	588	239	63	1265
	Dorm.1	381	524	379	210	1494
	Dorm.2	394	521	189	95	1199
PH4C – 40%	Sala	600	841	425	234	2100
	Dorm.1	590	754	578	414	2336
	Dorm.2	571	734	353	209	1867
VITÓRIA – OESTE						
Protótipo		Estação do ano				$\Sigma$ GhDT Anual
		Primavera	Verão	Outono	Inverno	
PH1V – 20%	Sala	349	426	183	12	970
	Dorm.1	566	618	312	218	1714
	Dorm.2	501	575	432	239	1747
PH1V – 40%	Sala	618	679	366	147	1810
	Dorm.1	734	787	642	472	2635

	Dorm.2	699	758	650	496	2603
PH2V – 20%	Sala	191	254	58	0	503
	Dorm.1	486	560	312	71	1429
	Dorm.2	399	481	328	105	1313
PH2V – 40%	Sala	536	615	240	38	1429
	Dorm.1	712	773	582	366	2433
	Dorm.2	624	697	594	396	2311
PH3V – 20%	Sala	476	541	204	22	1243
	Dorm.1	617	673	539	327	2156
	Dorm.2	588	658	541	349	2136
PH3V – 40%	Sala	649	708	414	195	1966
	Dorm.1	742	802	663	505	2712
	Dorm.2	720	772	669	519	2680
PH4V – 20%	Sala	337	776	119	6	1238
	Dorm.1	580	823	441	184	2028
	Dorm.2	496	795	437	202	1930
PH4V – 40%	Sala	583	649	293	68	1593
	Dorm.1	724	797	630	421	2572
	Dorm.2	649	726	617	434	2426

## SALVADOR – SUL

Protótipo		Estação do ano				$\Sigma$ GhDT Anual
		Primavera	Verão	Outono	Inverno	
PH1S – 20%	Sala	439	474	164	18	1095
	Dorm.1	596	590	367	297	1850
	Dorm.2	619	622	211	81	1533
PH1S – 40%	Sala	728	742	470	376	2316
	Dorm.1	807	797	670	603	2877
	Dorm.2	809	794	522	423	2548
PH2S – 20%	Sala	242	283	91	0	616
	Dorm.1	457	469	240	118	1284
	Dorm.2	499	491	148	34	1172
PH2S – 40%	Sala	675	702	326	168	1871
	Dorm.1	732	732	582	510	2556
	Dorm.2	733	729	381	269	2112
PH3S – 20%	Sala	567	598	244	88	1497
	Dorm.1	689	686	479	407	2261
	Dorm.2	712	717	285	172	1886

PH3S – 40%	Sala	757	766	541	458	2522
	Dorm.1	823	814	698	626	2961
	Dorm.2	822	811	570	483	2686
PH4S – 20%	Sala	453	475	164	9	1101
	Dorm.1	585	606	356	276	1823
	Dorm.2	606	621	210	78	1515
PH4S – 40%	Sala	721	734	381	270	2106
	Dorm.1	758	759	617	541	2675
	Dorm.2	757	761	437	326	2281

## RECIFE – SUL

Protótipo		Estação do ano				$\Sigma$ GhDT Anual
		Primavera	Verão	Outono	Inverno	
PH1RE – 20%	Sala	528	556	275	37	1396
	Dorm.1	628	622	531	358	2139
	Dorm.2	684	699	384	167	1934
PH1RE – 40%	Sala	778	797	620	494	2689
	Dorm.1	815	836	735	661	3047
	Dorm.2	831	839	662	554	2886
PH2RE – 20%	Sala	264	359	177	5	805
	Dorm.1	513	510	416	181	1620
	Dorm.2	582	594	267	75	1518
PH2RE – 40%	Sala	754	771	508	298	2331
	Dorm.1	756	760	686	572	2774
	Dorm.2	788	791	550	384	2513
PH3RE – 20%	Sala	651	657	434	159	1901
	Dorm.1	730	718	622	478	2548
	Dorm.2	752	766	483	278	2279
PH3RE – 40%	Sala	801	823	665	552	2841
	Dorm.1	834	846	762	681	3123
	Dorm.2	846	853	690	582	2971
PH4RE – 20%	Sala	527	573	283	30	1413
	Dorm.1	631	635	524	349	2139
	Dorm.2	659	685	379	153	1876
PH4RE – 40%	Sala	782	792	586	398	2558
	Dorm.1	787	788	712	609	2896
	Dorm.2	812	815	593	444	2664

## BOA VISTA – OESTE

Protótipo	Estação do ano				
-----------	----------------	--	--	--	--

		Primavera	Verão	Outono	Inverno	$\Sigma$ GhDT Anual
PH1C – 20%	Sala	446	366	154	18	984
	Dorm.1	590	468	261	325	1644
	Dorm.2	494	413	343	247	1497
PH1C – 40%	Sala	689	608	411	372	2080
	Dorm.1	778	666	600	674	2718
	Dorm.2	696	607	551	615	2469
PH2C – 20%	Sala	309	221	47	2	579
	Dorm.1	489	348	211	103	1151
	Dorm.2	363	270	182	97	912
PH2C – 40%	Sala	632	550	262	170	1614
	Dorm.1	757	636	529	624	2546
	Dorm.2	631	548	459	495	2133
PH3C – 20%	Sala	571	474	204	100	1349
	Dorm.1	670	546	445	510	2171
	Dorm.2	599	494	415	449	1957
PH3C – 40%	Sala	710	636	466	489	2301
	Dorm.1	794	693	630	726	2843
	Dorm.2	720	649	585	671	2625
PH4C – 20%	Sala	457	358	108	23	946
	Dorm.1	616	474	360	374	1824
	Dorm.2	508	411	294	272	1485
PH4C – 40%	Sala	681	583	328	264	1856
	Dorm.1	776	662	575	696	2709
	Dorm.2	676	600	509	581	2366

MANAUS – NORTE

Protótipo		Estação do ano				$\Sigma$ GhDT Anual
		Primavera	Verão	Outono	Inverno	
PH1C – 20%	Sala	396	339	138	54	927
	Dorm.1	612	513	212	69	1406
	Dorm.2	594	476	341	273	1684
PH1C – 40%	Sala	651	577	424	407	2059
	Dorm.1	749	672	527	522	2470
	Dorm.2	744	652	570	590	2556
PH2C – 20%	Sala	275	210	66	12	563
	Dorm.1	505	436	134	7	1082
	Dorm.2	495	391	202	67	1155
PH2C – 40%	Sala	579	499	304	246	1628

	Dorm.1	725	645	393	345	2108
	Dorm.2	730	626	498	519	2373
PH3C – 20%	Sala	512	426	221	139	1298
	Dorm.1	681	572	343	283	1879
	Dorm.2	668	554	454	474	2150
PH3C – 40%	Sala	675	611	483	481	2250
	Dorm.1	771	694	585	599	2649
	Dorm.2	762	675	619	656	2712
PH4C – 20%	Sala	392	312	129	56	889
	Dorm.1	645	508	227	99	1479
	Dorm.2	617	486	378	351	1832
PH4C – 40%	Sala	627	538	351	314	1830
	Dorm.1	755	662	489	492	2398
	Dorm.2	746	652	557	596	2551

## RIO BRANCO – OESTE

Protótipo		Estação do ano				$\Sigma$ GhDT Anual
		Primavera	Verão	Outono	Inverno	
PH1RB – 20%	Sala	384	384	178	77	1023
	Dorm.1	530	530	270	426	1756
	Dorm.2	477	477	409	397	1760
PH1RB – 40%	Sala	610	610	420	410	2050
	Dorm.1	706	706	593	631	2636
	Dorm.2	648	648	579	614	2489
PH2RB – 20%	Sala	236	216	63	24	539
	Dorm.1	435	378	270	282	1365
	Dorm.2	362	316	409	259	1346
PH2RB – 40%	Sala	548	548	268	202	1566
	Dorm.1	679	679	552	565	2475
	Dorm.2	593	593	528	535	2249
PH3RB – 20%	Sala	475	475	219	165	1334
	Dorm.1	594	594	508	519	2215
	Dorm.2	553	553	480	492	2078
PH3RB – 40%	Sala	634	634	473	473	2214
	Dorm.1	725	725	614	674	2738
	Dorm.2	677	677	601	642	2597
PH4RB – 20%	Sala	368	368	112	78	926
	Dorm.1	536	536	417	442	1931
	Dorm.2	466	466	388	398	1718
PH4RB – 40%	Sala	582	514	348	315	1759

---

Dorm.1	691	630	580	608	2509
Dorm.2	623	559	562	588	2332

---

## APÊNDICE D

Consumo total de energia elétrica do MO, por mês, em todas as cidades.

	jan/19	fev/19	mar/19	abr/19	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	set/19	out/19	nov/19	dez/19	ANUAL
MOC	Sala	205,92	191,52	228,96	182,88	101,52	112,32	107,28	115,2	153,36	136,8	262,08	1865,52
	Dorm. 1	201,6	191,52	223,92	190,08	119,52	125,28	123,84	124,56	164,16	144,72	250,56	1954,80
	Dorm. 2	204,48	194,4	216	177,84	95,76	108,72	104,4	72,72	120,24	162	146,88	1861,92
MOV	Sala	174,96	164,88	217,44	165,6	102,24	174,24	216	98,64	122,4	182,16	215,28	1957,68
	Dorm. 1	185,76	182,88	227,52	183,6	137,52	207,36	226,8	131,04	143,28	192,96	218,88	2192,40
	Dorm. 2	180	175,68	223,2	184,32	134,64	205,2	224,64	136,08	137,52	187,92	212,4	2153,52
MOS	Sala	206,64	188,64	222,48	174,24	110,88	28,08	112,32	162	154,8	194,4	221,76	1908,00
	Dorm. 1	213,12	203,76	227,52	192,24	146,16	143,28	149,04	172,08	178,56	208,8	231,84	2221,92
	Dorm. 2	216,72	203,76	227,52	187,2	123,84	124,56	136,08	169,92	174,96	210,24	234	2151,36
MORE	Sala	213,84	198	210,96	201,6	174,24	134,64	142,56	169,92	199,44	205,2	217,44	2210,40
	Dorm. 1	220,32	203,76	216	206,64	187,92	154,08	167,04	185,76	205,2	210,24	221,76	2345,76
	Dorm. 2	222,48	212,4	216,72	200,88	179,28	138,24	154,08	181,44	203,76	210,24	225,36	2298,24
MOBV	Sala	208,08	204,48	193,68	161,28	172,8	178,56	174,24	213,12	243,36	207,36	205,2	2365,92
	Dorm. 1	210,24	208,08	210,96	170,64	192,96	198	195,12	225,36	247,68	212,4	210,24	2500,56
	Dorm. 2	206,64	206,64	208,08	169,92	187,92	190,8	192,24	210,24	239,76	203,76	202,32	2434,32
MOM	Sala	178,56	153,36	211,68	159,84	172,08	182,16	172,08	228,96	223,2	192,96	184,32	2274,48
	Dorm. 1	193,68	174,24	229,68	170,64	187,92	195,84	180	234,72	235,44	202,32	204,48	2435,04
	Dorm. 2	188,64	167,76	225,36	169,92	192,24	200,16	182,16	238,32	235,44	198,72	195,12	2423,52
MORB	Sala	151,2	120,24	162	134,64	149,04	120,24	159,84	185,76	205,2	177,12	132,48	1890,00
	Dorm. 1	171,36	134,64	162	155,52	168,48	139,68	175,68	197,28	212,4	190,08	150,48	2061,36
	Dorm. 2	159,84	125,28	170,64	151,92	162,72	136,8	174,96	189,36	203,76	177,12	141,84	1991,52

## APÊNDICE E

Consumo total de energia elétrica do PH2-20%, por mês, em todas as cidades.

	jan/19	fev/19	mar/19	abr/19	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	set/19	out/19	nov/19	dez/19
PH6C-20%	Sala	75,6	99,36	118,08	64,8	0,72	0	0	22,32	67,68	59,04	146,88
	Dorm. 1	78,48	90,72	124,56	97,2	33,84	31,68	28,8	53,28	75,6	63,36	120,96
	Dorm. 2	84,96	87,12	84,96	51,84	2,88	0	3,6	37,44	73,44	69,12	133,92
PH6V-20%	Sala	79,92	41,04	52,56	12,24	0	0	0	2,16	25,2	63,36	85,68
	Dorm. 1	128,16	120,24	168,48	112,32	38,16	6,48	4,32	51,12	100,08	141,12	146,88
	Dorm. 2	105,12	101,52	92,88	61,92	112,32	50,4	27,36	54	84,96	115,2	120,24
PH6S-20%	Sala	69,12	72	69,12	30,24	0	0	0	0	25,92	83,52	93,6
	Dorm. 1	111,6	109,44	118,8	97,2	24,48	2,88	18	59,04	92,88	127,44	138,24
	Dorm. 2	122,4	114,48	105,12	63,36	0	0	0	41,76	87,12	143,28	166,32
PH6RE-20%	Sala	69,12	88,56	120,96	74,16	1,44	0	0,72	2,88	36	83,52	102,24
	Dorm. 1	115,92	116,64	147,6	126,72	87,12	30,24	31,68	70,56	122,4	129,6	144,72
	Dorm. 2	151,2	129,6	144,72	108,72	28,08	0,72	0,72	62,64	128,88	154,8	169,2
PH6BV-20%	Sala	52,56	46,08	36	28,8	0	0	0	4,32	59,76	106,56	82,8
	Dorm. 1	74,16	74,16	92,88	95,04	30,24	0	2,16	59,76	122,4	138,96	106,56
	Dorm. 2	54,72	59,04	76,32	74,16	29,52	9,36	7,92	44,64	83,52	109,44	80,64
PH6M-20%	Sala	47,52	46,8	56,16	30,24	0,72	0	0,72	20,16	60,48	72,72	69,84
	Dorm. 1	99,36	95,04	110,16	64,08	1,44	0	0	17,28	120,96	137,52	133,2
	Dorm. 2	87,12	82,8	113,76	77,04	30,24	5,76	7,2	51,12	118,08	126	118,8
PH6RB-20%	Sala	66,24	36	31,68	20,88	16,56	2,88	0	17,28	53,28	81,36	61,92
	Dorm. 1	101,52	70,56	116,64	97,2	39,6	19,44	42,48	81,36	128,16	123,12	93,6
	Dorm. 2	82,08	61,2	111,6	108	86,4	59,04	46,08	71,28	102,24	105,12	78,48

## APÊNDICE F

Padrão de ocupação para dias de semana e finais de semana segundo o RTQ-R (2010).

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dia de semana (%)	Final de semana (%)	Dia de semana (%)	Final de semana (%)
1h	100	100	0	0
2h	100	100	0	0
3h	100	100	0	0
4h	100	100	0	0
5h	100	100	0	0
6h	100	100	0	0
7h	100	100	0	0
8h	0	100	0	0
9h	0	100	0	0
10h	0	50	0	0
11h	0	0	0	25
12h	0	0	0	75
13h	0	0	0	0
14h	0	0	25	75
15h	0	0	25	50
16h	0	0	25	50
17h	0	0	25	50
18h	0	0	25	25
19h	0	0	100	25
20h	0	0	50	50
21h	50	50	50	50
22h	100	100	0	0
23h	100	100	0	0
24h	100	100	0	0

## APÊNDICE G

Padrão de uso de iluminação para dias de semana e finais de semana segundo o RTQ-R (2010).

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dia de semana (%)	Final de semana (%)	Dia de semana (%)	Final de semana (%)
1h	0	0	0	0
2h	0	0	0	0
3h	0	0	0	0
4h	0	0	0	0
5h	0	0	0	0
6h	0	0	0	0
7h	100	0	0	0
8h	0	0	0	0
9h	0	100	0	0
10h	0	0	0	0
11h	0	0	0	100
12h	0	0	0	100
13h	0	0	0	0
14h	0	0	0	0
15h	0	0	0	0
16h	0	0	0	0
17h	0	0	100	100
18h	0	0	100	100
19h	0	0	100	100
20h	0	0	100	100
21h	100	100	100	100
22h	100	100	0	0
23h	0	0	0	0
24h	0	0	0	0

## APÊNDICE H

Médias mensais e anuais do Total Diário de Irradiação Direta Normal (Wh/m<sup>2</sup>.dia)  
(INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2019).

<b>Cidade</b>	<b>Jan.</b>	<b>Fev.</b>	<b>Mar.</b>	<b>Abr.</b>	<b>Mai.</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Ago.</b>	<b>Set.</b>	<b>Out.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dez.</b>	<b>Ano</b>
Colatina	5092	5547	4642	44323	4261	4254	4031	4481	3992	3387	3072	4232	4285
Vitória	5517	6484	4994	4682	4506	4515	4428	4983	4514	3821	3491	4930	4739
Salvador	5909	5435	5432	4024	3687	3641	3931	4391	4847	4873	5261	5692	4760
Recife	5068	5118	5120	4599	4018	3871	4012	4842	4880	5143	5477	5558	4809
Boa Vista	3574	3174	3349	3118	2771	3485	3687	4192	4743	4657	4391	3706	3737
Manaus	1679	1522	1633	1469	2115	3654	3566	4082	3427	3085	2907	2014	2596
Rio Branco	2282	2455	2031	3076	3047	3923	4155	4477	4026	3723	3397	2516	3259

## APÊNDICE I

Manual (sumário) de especificações para habitações de interesse social na ZB8.

**HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NA ZB8:**

**UMA ABORDAGEM TERMO-ENERGÉTICA.**



**MANUAL DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL E O DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO**

O Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), lançado em 2009 pelo Governo Federal brasileiro, tem suprido, há mais de uma década, o *déficit* habitacional brasileiro, contribuindo, também, para a geração de empregos no setor da Construção Civil. Entretanto, a replicação em massa dos padrões de habitações unifamiliares de interesse social do PMCMV está, frequentemente, vinculada à perda da qualidade habitacional e ao desconforto térmico nas moradias. Lançada em 2005, NBR 15220-3 propõe a divisão do território nacional em oito Zonas Bioclimáticas (ZBs), ou seja, regiões relativamente homogêneas quanto ao clima.

---

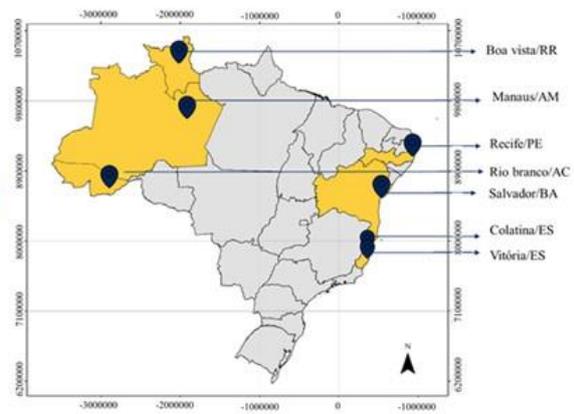
Contudo, cerca de 70% das cidades classificadas pela norma pertencem à ZB8, ainda que a extensão continental do país aponte à maior necessidade de individualização quanto à classificação climática dos municípios. Por isso, considerando que cidades pertencentes à ZB8 podem demandar diferentes soluções construtivas para o máximo aproveitamento de seu potencial termo-energético, o desempenho de um Modelo Original (MO) de habitação de interesse social, amplamente replicado no Brasil, foi avaliado em diferentes cidades da ZB8. A partir do MO, foram elaborados e avaliados (quanto ao desempenho termo-energético) Protótipos Habitacionais (PHs), que consistem em parametrizações de sistemas de paredes, coberturas e janelas normativamente recomendados para esta região. Para compreender a exequibilidade das alterações, determinou-se a relação entre o custo de investimento para a implementação do PH de melhor desempenho em cada cidade *versus* o custo de operação de ventiladores para o resfriamento mecânico das moradias.

**NAYARA SALERA MALTA**  
 Laboratório de Planejamentos e Projetos/Ufes.  
 Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (2020).

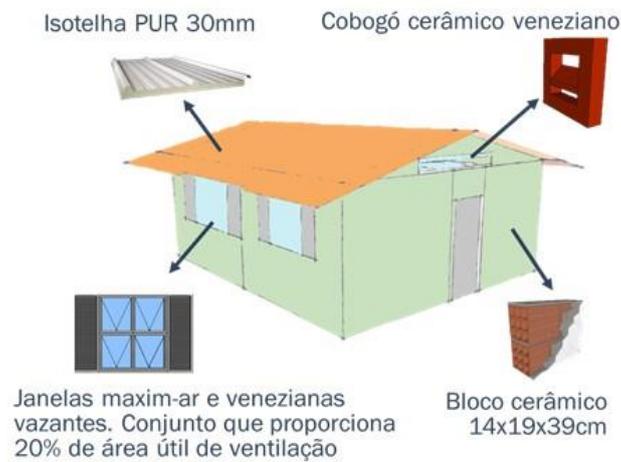
HABITAÇÃO DE  
INTERESSE  
SOCIAL NA ZB8:

UMA ABORDAGEM  
TERMO-  
ENERGÉTICA.

## CIDADES DA ZB8 AVALIADAS



**PH2 – 20%: O MELHOR DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO  
EM TODAS AS CIDADES.**



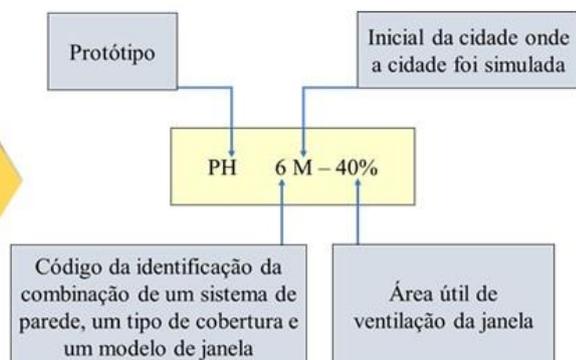
**NAYARA SALERA MALTA**

Laboratório de Planejamentos e Projetos/Ufes.  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (2020).

**HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NA ZB8:**

**UMA ABORDAGEM TERMO-ENERGÉTICA.**

## CODIFICAÇÃO DOS PROTÓTIPOS HABITACIONAIS



## COMPOSIÇÃO DOS PROTÓTIPOS HABITACIONAIS

	CÓDIGO	TIPO DE CONJUNTO – PH
VITÓRIA	PH1V – 20%	Bloco cerâmico + Isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH1V – 40%	Bloco cerâmico + Isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH2V – 20%	Bloco cerâmico + Isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH2V – 40%	Bloco cerâmico + Isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH3V – 20%	Bloco concreto + Isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH3V – 40%	Bloco concreto + Isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH4V – 20%	Bloco concreto + Isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH4 – 40%	Bloco concreto + Isotelha 30mm com forro PVC + jan. Venz. Vertical com 40% de área útil de ventilação

**NAYARA SALERA MALTA**

Laboratório de Planejamentos e Projetos/Ufes.  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (2020).

## SÍNTESE DO DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO E DA VIABILIDADE ECONÔMICA DOS MODELOS HABITACIONAIS

### HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NA ZB8: UMA ABORDAGEM TERMO-ENERGÉTICA.

Cidade	Modelo	$\Sigma$ GhDT anual para orientação de referência (°C.h/dia)	Custo de operação dos ventiladores (R\$)	Valor líquido de retorno em 30 anos	Valor líquido de retorno em 15 anos	Tempo de retorno do investimento (PH2-20%)	Caracteriza uma substituição viável quanto à melhoria do desempenho termo-energético e ao valor investido?
Colatina	MO	7.892	1.974,99	16.235,84	9.669,24	2,95	Sim
	PH2C - 20%	2.922	686,44				
Vitória	MO	8.756	2.091,97	16.673,70	9.963,60	2,89	Sim
	PH2V - 20%	3.245	775,26				
Salvador	MO	8.724	2.218,58	18.752,15	11.360,85	2,62	Sim
	PH2S - 20%	3.072	768,2				
Recife	MO	9.520	2.368,72	17.780,33	10.707,54	2,74	Sim
	PH2RE - 20%	3.943	980,84				
Boa Vista	MO	10.140	2.846,29	28.926,53	18.200,64	1,81	Sim
	PH2BV - 20%	2.642	741,57				
Manaus	MO	9.910	2.991,43	29.579,44	18.639,56	1,77	Sim
	PH2M - 20%	2.800	844,72				
Rio Branco	MO	8.299	2.140,97	16.406,26	9.783,81	2,93	Sim
	PH2RB - 20%	3.250	841,46				

+ E **MAIS**: Destaca-se que foram consideradas opções limitadas de parametrizações, e que outras composições de envoltórias podem promover um **desempenho termo-energético** ainda melhor às cidades da ZB8 avaliadas.