

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS A. C. SIMÕES
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

GABRIELA DE ALBUQUERQUE BRITO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO EM HABITAÇÕES
MULTIFAMILIARES EM CARUARU/PE FRENTE AOS CENÁRIOS DE
MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Maceió
2023

GABRIELA DE ALBUQUERQUE BRITO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO EM HABITAÇÕES
MULTIFAMILIARES EM CARUARU/PE FRENTE AOS CENÁRIOS DE
MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, como requisito à obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Antônio de Melo Sá Cavalcanti.

Maceió

2023

Catlogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

B862a Brito, Gabriela de Albuquerque.
Avaliação do desempenho térmico em habitações multifamiliares em Caruaru/PE frente aos cenários de mudanças climáticas / Gabriela de Albuquerque Brito. – 2023.
119 f. : il. color.

Orientadora: Fernando Antônio de Melo Sá Cavalcanti.
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 95-104.
Apêndices: f. 105-116.
Anexos: f. 117-119.

1. Mudanças climáticas. . 2. Desempenho térmico. 3. Habitação de interesse social. 4. Parede de concreto armado *in loco*. I. Título.

CDU: 728.2 : 551.583

GABRIELA DE ALBUQUERQUE BRITO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO EM HABITAÇÕES
MULTIFAMILIARES EM CARUARU/PE FRENTE AOS CENÁRIOS DE
MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Dissertação submetido à banca examinadora do curso de ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 19 de junho de 2023.



Documento assinado digitalmente
FERNANDO ANTONIO DE MELO SA CAVALC
Data: 14/07/2023 09:14:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador(a) - Prof. Dr. Fernando Antônio de Melo Sá Cavalcanti
Universidade Federal de Alagoas - PPGAU

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente
JULIANA OLIVEIRA BATISTA
Data: 14/07/2023 12:10:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador(a) Interno(a) – Prof. ^a Dr.^a Juliana Oliveira Batista
Universidade Federal de Alagoas - PPGAU



Documento assinado digitalmente
RICARDO VICTOR RODRIGUES BARBOSA
Data: 14/07/2023 17:01:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador(a) Interno(a) – Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa
Universidade Federal de Alagoas - PPGAU



Documento assinado digitalmente
PEDRO VITOR SOUSA RIBEIRO
Data: 14/07/2023 10:53:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador(a) Externo(a) – Prof.^a Dr. Pedro Vitor Sousa Ribeiro
Universidade Federal de Sergipe - PROEC

AGRADECIMENTOS

Nada do que fiz neste trabalho seria possível sem a presença de Deus e seu Santo Espírito a me guiar em cada etapa.

Meu profundo agradecimento a minha mãe que sempre acreditou que a educação poderia abrir diversas oportunidades de crescimento profissional na minha vida. Obrigada por todo seu esforço para oferecer a mim e ao meu irmão a melhor formação acadêmica possível, mesmo diante de tantas dificuldades. Obrigada pelo seu esforço para que eu pudesse concluir meus estudos. Obrigada por todo seu empenho e amor.

Gostaria de agradecer ao prof. Dr. Fernando Antônio de Melo Sá Cavalcanti por ter aceitado me orientar durante este trabalho. Obrigada pela disponibilidade e pelas orientações durante todas as fases desta pesquisa.

Gostaria de agradecer também aos professores que compuseram a banca deste trabalho e aos valiosos comentários.

Ao meu irmão Vinicius pelo apoio durante a pesquisa.

A minha melhor amiga Ingrid pela sua paciência infinita em me escutar e por seus valiosos conselhos.

Aos meus gatinhos Amora, Mel e Félix, por me acompanhar durante as longas horas de trabalho.

Aos meus colegas de mestrado por compartilharem conhecimento e risadas no nosso grupo.

Especialmente a Janaina por toda ajuda e conhecimento compartilhado e a Regina pela parceria em um artigo e por sua ajuda em diversos momentos e pelos seus valiosos conselhos.

Enfim, agradeço a todos que direta e indiretamente influenciaram na condução deste trabalho.

RESUMO

A casa tem um papel fundamental na vida das pessoas, pois ela é o lugar onde é possível encontrar abrigo, não somente no sentido de aconchego familiar, como também no sentido de proteção contra as intempéries. Nesse sentido, os programas habitacionais no Brasil vêm atuando na produção de moradias, no intuito de combater o déficit habitacional e proporcionar moradia digna para as pessoas. Contudo, essas habitações são questionadas por não cumprirem o seu papel diante da falta de qualidade ambiental proporcionada aos seus ocupantes. Diante disso, as alterações provocadas pelas mudanças climáticas podem piorar ainda mais as condições de habitabilidade das edificações. Por isso, este estudo tem como objetivo avaliar o desempenho térmico de um projeto padrão de Habitação de Interesse Social (HIS) multifamiliar, em parede de concreto moldado *in loco*, empregado na cidade de Caruaru/PE para o clima atual e para dois cenários de mudanças climáticas (2050 e 2080). Para isso foi utilizado o procedimento computacional da nova versão da NBR 15.575:2021, usando a ferramenta do EnergyPlus para realizar as simulações e a ferramenta CCWorldWeatherGen para a elaboração dos arquivos climáticos dos cenários futuros. A edificação referente ao objeto de estudo trata-se de uma edificação padrão de tipologia “H”, em concreto armado moldado no local, que é replicada em todo o país. Ela constituiu o modelo real e seguindo as orientações da norma de desempenho foi elaborado o modelo de referência para que fosse possível realizar os cálculos dos critérios estabelecidos pela norma. Os resultados mostraram que a edificação estudada atinge o nível de desempenho térmico mínimo requerido pela norma para os cenários referente ao clima atual, 2050 e 2080. Porém, em análise mais detalhada percebe-se que mesmo atendendo ao nível mínimo, o percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT) sofre uma redução quando comparado os três cenários estudados. Indicando, que caso ocorram as mudanças previstas para 2050 e 2080, as unidades habitacionais da edificação não estarão dentro do limite de temperatura indicado pela norma na maior parte das horas do ano, gerando desconforto térmico aos ocupantes. O critério usado para estabelecer o desempenho mínimo aparenta ser permissivo quanto a sua abordagem, fazendo com que as edificações atendam ao desempenho mínimo, mesmo com valores baixos de PHFT.

Palavras-chave: desempenho térmico; conforto térmico; concreto armado moldado *in loco*; mudanças climáticas; habitação de interesse social (HIS).

ABSTRACT/RÉSUMÉ/RESUMEN

The house plays a fundamental role in people's lives, as it is where it is possible to find shelter, not only in the sense of family warmth but also in the sense of protection against the weather. In this sense, housing programs in Brazil have been working in the production of housing, intending to combat the housing deficit and provide decent housing for people. However, these houses are questioned for not fulfilling their role due to the lack of environmental quality delivered to their occupants. Therefore, changes caused by climate change can further worsen the habitability conditions of buildings. Therefore, this study aims to evaluate the thermal performance of a standard multifamily Housing of Social Interest (HIS) project, in a cast-in-place concrete wall, used in the city of Caruaru/PE for the current climate and two scenarios of climate change (2050 and 2080). For this, the computational procedure of the new version of NBR 15575:2021 was used, using the EnergyPlus tool to carry out the simulations and the CCWorldWeatherGen tool to prepare the climate files of future scenarios. The building referring to the object of study is a standard building of typology "H", in reinforced concrete cast in place, which is replicated throughout the country. It constituted the real model and following the guidelines of the performance standard, the reference model was elaborated so that it was possible to perform the calculations of the criteria established by the standard. The results showed that the studied building reaches the minimum thermal performance level required by the standard for the scenarios referring to the current climate, 2050 and 2080. However, in a more detailed analysis it is noticed that even meeting the minimum level, the percentage of hours inside of the operating temperature range (PHFT) suffers a reduction when comparing the three studied scenarios. Indicating that if the changes foreseen for 2050 and 2080 occur, the housing units of the building will not be within the temperature limit indicated by the norm at most hours of the year, generating thermal discomfort to the occupants. The criterion used to establish the minimum performance appears to be permissive in its approach, making the buildings meet the minimum performance, even with low PHFT values.

Keywords: thermal performance; thermal comfort; cast-in-place reinforced concrete; climate changes; low-income housing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Evolução da expansão da malha urbana de Caruaru/PE.....	22
Figura 2 – Distribuição e identificação dos empreendimentos do PMCMV em Caruaru/PE. .	23
Figura 3 - Fluxograma da seleção de artigos.....	29
Figura 4- Equações e ábaco para a obtenção do $\Delta PHFT_{\min}$ quando o $PHFT_{UH,Ref.}$ for inferior a 70%.....	48
Figura 5- Etapas do procedimento metodológico.....	51
Figura 6- Mapa de localização de Caruaru-PE.....	51
Figura 7- Carta Solar com temperaturas de bulbo seco para Caruaru/PE.	52
Figura 8 - Rosa dos Ventos para a cidade de Caruaru/PE.....	53
Figura 9 - Divisão bioclimática brasileira conforme ABNT 15.220-3 (ABNT, 2005).....	54
Figura 10 - Exemplo de projeto padrão de habitação multifamiliar em duas cidades brasileiras.	55
Figura 11 – Distribuição das unidades habitacionais na tipologia "duplo-H".....	56
Figura 12 - Planta Baixa do objeto de estudo.....	57
Figura 13 - Setorização da edificação.....	58
Figura 14 - Divisão dos cômodos em APP e APT.	59
Figura 15 - Modelo da edificação multifamiliar usado na simulação computacional.....	60
Figura 16- Portas de vidro das unidades térreo.	62
Figura 17 - Padrão de ocupação dos dormitórios e sala.	66
Figura 18 - Padrão de iluminação para os APPs.....	67
Figura 19 - Padrão de uso dos equipamentos elétricos.....	67
Figura 20 - Interface do GroundDomain:Slab - modelagem do contato com o solo.....	68
Figura 21 - Inicialização da ferramenta CCWorldWeatherGen.....	71
Figura 22 – Aviso de alerta as condições de funcionamento da ferramenta.....	72
Figura 23 - Interface da ferramenta CCWorldWeatherGen.	73
Figura 24 – Gráfico da variação de Temperatura de Bulbo Seco e Umidade Relativa média mensal para o clima atual, 2050 e 2080.....	75
Figura 25 – Gráficos do percentual de horas dentro da faixa de temperatura das UH ($PHFT_{UH}$) para os blocos 01 e 02 no clima atual.	77
Figura 26 – Gráficos da temperatura operativa máxima (To_{\max}) para os blocos 01 e 02 no clima atual.....	78

Figura 27 – Gráficos da carga térmica total (CgTT) das unidades habitacionais dos blocos 01 e 02 para o clima atual.	80
Figura 28 – Gráficos percentual de horas dentro da faixa de temperatura das UH (PHFT _{UH}) para os blocos 01 e 02 no ano de 2050.	82
Figura 29 – Gráficos da temperatura operativa máxima (Tomáx) para os blocos 01 e 02 para o ano de 2050.	83
Figura 30 – Gráficos da carga térmica total (CgTT) das unidades habitacionais dos blocos 01 e 02 para 2050.	84
Figura 31 – Gráficos do percentual de horas dentro da faixa de temperatura das UH (PHFT _{UH}) para os blocos 01 e 02 no ano de 2080.	85
Figura 32 – Gráficos de temperatura operativa máxima (Tomáx) para os blocos 01 e 02 para o ano de 2080.	86
Figura 33 – Gráficos da carga térmica total (CgTT) das unidades habitacionais dos blocos 01 e 02 para 2080.	87
Figura 34 – Gráfico do PHFT do modelo de referência para o clima atual, 2050 e 2080.	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores das normais climatológicas de Caruaru/PE entre 1961-1990.....	52
Tabela 2 - Variação da Temperatura de Bulbo Seco e da Umidade Relativa para o clima atual, 2050 e 2080.	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Intervalos de temperatura de bulbo seco externa e as faixas de temperaturas operativas para a obtenção do $PHFT_{APP}$	42
Quadro 2 – Intervalos e valores de temperatura operativa para o cálculo da $CgTR_{APP}$ e da $CgTA_{APP}$	44
Quadro 3 – Resumo dos critérios para a obtenção dos níveis mínimo, intermediário e superior de desempenho térmico.	47
Quadro 4- Critérios de incremento mínimo do $PHFT_{UH,Real}$ e redução mínima da $CgTT_{UH,Real}$ para a obtenção do nível intermediário de desempenho térmico.....	47
Quadro 5- Critérios de incremento mínimo do $PHFT_{UH,Real}$ e redução mínima da $CgTT_{UH,Real}$ para a obtenção do nível superior de desempenho térmico.	47
Quadro 6 – Propriedades termo físicas do modelo energético.	61
Quadro 7 - Elemento de isolamento térmico para cobertura indicado para ZB 8.	62
Quadro 8 - Propriedades termo físicas do modelo de referência.....	63
Quadro 9 - Características e propriedades dos elementos transparentes do modelo de referência.	64
Quadro 10 - Modificações das esquadrias no modelo de referência para o atendimento aos critérios da NBR 15.575.	64
Quadro 11 - Taxa metabólica e fração radiante para os ocupantes do APPs.	66
Quadro 12 - Valores de DPI, fração radiante, fração visível e potência da iluminação e dos equipamentos elétricos.	68
Quadro 13 - Valores dos parâmetros de infiltração de ar das frestas das aberturas.....	69
Quadro 14 – Critérios para análise de desempenho térmico para Caruaru/PE.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PCVA	Programa Casa Verde e Amarela
APL	Arranjo Produtivo Local
NBR	Norma Brasileira
BEN	Balanco Energético Nacional
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air conditioning</i> (Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado)
GEE	Gases de Efeito Estufa
HIS	Habitação de Interesse Social
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
ZB	Zona Bioclimática
APP	Ambiente de permanência prolongada
APT	Ambiente de permanência transitória
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers</i>
UH	Unidade Habitacional
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
SVVIE	Sistema de vedações verticais internas e externas
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
AR	<i>Assessment Reports</i>
SRES	<i>Special Report Emission Scenarios</i>
MCGA	Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
HadCM3	<i>Hadley Centre Coupled Model Version 3</i>
TRY	<i>Test Reference Year</i>
TMY	<i>Typical Meteorological Year</i>
CCWorldWeatherGen	<i>Climate Change Weather File Generator for World-Wide Weather Data</i>

LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética
ZT	Zona térmica
EPS	Poliestireno Expandido
EPW	EnergyPlus Weather
SERG	<i>Sustainable Energy Research Group</i>
FS	Fator Solar
DPI	Densidade de Potência Instalada
SINDUSCON	Sindicato da Construção Civil
UNEP	<i>The United Nations Environment Programme</i>
VUP	Vida Útil de Projeto
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	Dióxido de Carbono.
%	Porcentagem.
°C	Grau Celsius.
Pa	Pascal.
Mt	Mega tonelada.
°	Grau.
Wh/m ²	Watts-hora por metro quadrado.
W/m ² .K	Watts por metros quadrado vezes Kelvin – Unidade de transmitância térmica.
m/s	Metros por segundo – unidade de velocidade.
PHFT _{APP}	Percentual de horas de ocupação do ambiente de permanência prolongada que está dentro de uma faixa de temperatura operativa.
PHFT _{UH}	Percentual de horas de ocupação da unidade habitacional (UH) dentro da faixa de temperatura operativa.
To _{Máx.,APP}	Temperatura operativa anual máxima dentro do ambiente de permanência prolongada (APP).
TBSm	Média anual da temperatura externa de bulbo seco.
To _{Mín.,APP}	Temperatura operativa anual mínima dentro do ambiente de permanência prolongada (APP).
PHFT _{APP,i}	Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada (APP) i dentro da faixa de temperatura operativa.
n	Número de ambientes de permanência prolongada (APP) da unidade habitacional (UH).
PHFT _{UH Real}	Percentual de horas de ocupação da unidade habitacional (UH) no modelo real dentro da faixa de temperatura operativa.
PHFT _{UH Ref.}	Percentual de horas de ocupação da unidade habitacional (UH) no modelo de referência dentro da faixa de temperatura operativa.
To _{Máx.,UH}	Temperatura operativa máxima da unidade habitacional (UH).
To _{Mín.,UH}	Temperatura operativa mínima da unidade habitacional (UH).
ΔTo _{Máx}	Valor de tolerância da temperatura operativa anual máxima.

Nh_{FT}	Número de horas onde os ambientes de permanência prolongada (APP) estão ocupados e com a temperatura operativa dentro da faixa de temperatura.
Nh_{Ocup}	Número de horas onde os ambientes de permanência prolongada (APP) estão ocupados ao longo do ano.
$PHFT_{APP}$	Percentual de horas de ocupação da unidade habitacional (UH) que está dentro da faixa de temperatura operativa.
$To_{Máx.,UH,Real}$	Temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional (UH) do modelo real.
$To_{Máx.,UH,Ref}$	Temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional (UH) do modelo de referência.
$To_{Mín.,UH,Real}$	Temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional (UH) do modelo real.
$To_{Mín.,UH,Ref}$	Temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional (UH) do modelo de referência.
$\Delta To_{Mín.}$	Valor de tolerância da temperatura operativa anual mínima.
$CgTR_{APP}$	Somatório anual dos valores horários da carga térmica de refrigeração do ambiente de permanência prolongada (APP).
$CgTA_{APP}$	Somatório anual dos valores horários da carga térmica de aquecimento do ambiente de permanência prolongada (APP).
$CgTT_{UH}$	Carga térmica total da unidade habitacional (UH).
$\Delta PHFT$	Incremento do $PHFT_{UH,real}$ em relação ao $PHFT_{UH,ref.}$.
$\Delta PHFT_{mín}$	Incremento mínimo do $PHFT_{UH,real}$ em relação ao $PHFT_{UH,ref.}$.
$RedCgTT$	Redução da carga térmica total da unidade habitacional no modelo real ($CgTT_{UH,Real}$) em relação ao modelo de referência ($CgTT_{UH,Ref.}$).
$CgTR_{UH}$	Carga térmica de refrigeração da unidade habitacional (UH).
$CgTA_{UH}$	Carga térmica de aquecimento da unidade habitacional (UH).
$CgTT_{UH, Real}$	Carga térmica total da unidade habitacional do modelo real.
$CgTT_{UH, Ref.}$	Carga térmica total da unidade habitacional do modelo de referência.
$RedCgTT_{Mín.}$	Redução da carga térmica total mínima.
$A_{p,UH}$	Área do piso de todos os ambientes de permanência prolongada (APP).
$A_{t,APP}$	Área de superfície dos elementos transparentes.
$P_{t,APP}$	Percentual de elementos transparentes.

$P_{v,APP}$	Percentual de abertura para Ventilação.
m^2	Metros quadrados – Unidade de área.
kWh/ano	Quilowatts-hora por ano – unidade de carga térmica.
U	Transmitância térmica.
ϕ	Atraso térmico.
C_T	Capacidade térmica.
c	Calor específico.
λ	Condutividade térmica.
δ	Densidade.
α	Absortância à radiação solar.
ε	Emissividade de onda longa.
W/m^2	Watt por metro quadrado – Unidade de densidade de potência instalada.
$W/(m.K)$	Watt por metro vezes Kelvin – Unidade de condutividade térmica.
$J/(kg.K)$	Joules por quilograma vezes Kelvin – Unidade de calor específico.
kg/m^3	Quilograma por metro cúbico – Unidade de densidade.
m^3	Metro cúbico – Unidade de volume.
kg	Quilograma – Unidade de massa.
J	Joules – Unidade de energia.
W	Watts – Unidade de potência.
K	Kelvin – Unidade de Temperatura.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Justificativa.....	20
1.2 Objetivo	25
1.2.1 Objetivo geral	25
1.2.2 Objetivos específicos.....	25
1.3 Estrutura do Trabalho	25
2 REVISÃO DA LITERATURA	27
2.1 Processo de revisão da literatura	27
2.2 Sistema de concreto armado moldado <i>in loco</i> em habitações residenciais	29
2.3 Desempenho térmico em habitações residenciais	31
2.4 Mudanças climáticas e desempenho térmico e energético	35
2.5 NBR 15.575:2021	39
2.5.1 Procedimento da simulação computacional e atendimento aos níveis de desempenho térmico	41
3 MATERIAIS E METÓDOS	50
3.1 Caracterização de Caruaru.....	51
3.2 Caracterização do objeto de estudo	55
3.3 Modelagem do objeto de estudo e do modelo de referência	57
3.4 Configuração das propriedades dos modelos para a simulação	60
3.4.1 Propriedades termo físicas do modelo real.....	61
3.4.2 Propriedades termo físicas do modelo de referência	63
3.4.3 Padrões de ocupação, iluminação e demais configurações para os modelos real e referência	65
3.5 Caracterização dos arquivos climáticos e do programa de conversão de dados climáticos.....	70
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	74
4.1 Alterações no clima para os cenários atual, 2050 e 2080	74
4.2 Análise de desempenho térmico para os cenários atual, 2050 e 2080.....	76
4.3 Análise do modelo de referência e do limite de desempenho térmico mínimo	88
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
5.1 Limitações da Pesquisa.....	93
5.2 Sugestão de trabalhos futuros	94
REFERÊNCIAS.....	95
APÊNDICE A – RESULTADO DO MODELO REAL PARA O CLIMA ATUAL (BLOCO 01)	105
APÊNDICE B – RESULTADO DO MODELO REAL PARA O CLIMA ATUAL (BLOCO 02)	106

APÊNDICE C – RESULTADO DO MODELO DE REFERÊNCIA PARA O CLIMA ATUAL (BLOCO 01)	107
APÊNDICE D – RESULTADO DO MODELO REFERÊNCIA PARA O CLIMA ATUAL (BLOCO 02)	108
APÊNDICE E – RESULTADO DO MODELO REAL PARA O CLIMA 2050 (BLOCO 01)	109
APÊNDICE F – RESULTADO DO MODELO REAL PARA O CLIMA 2050 (BLOCO 02)	110
APÊNDICE G – RESULTADO DO MODELO REFERÊNCIA PARA O CLIMA 2050 (BLOCO 01)	111
APÊNDICE H – RESULTADO DO MODELO REFERÊNCIA PARA O CLIMA 2050 (BLOCO 02)	112
APÊNDICE I – RESULTADO DO MODELO REAL PARA O CLIMA 2080 (BLOCO 01)	113
APÊNDICE J – RESULTADO DO MODELO REAL PARA O CLIMA 2080 (BLOCO 02)	114
APÊNDICE K – RESULTADO DO MODELO REFERÊNCIA PARA O CLIMA 2080 (BLOCO 01)	115
APÊNDICE L – RESULTADO DO MODELO REFERÊNCIA PARA O CLIMA 2080 (BLOCO 02)	116
ANEXO A – VARIÁVEIS CLIMÁTICAS PARA O CLIMA ATUAL	117
ANEXO B – VARIÁVEIS CLIMÁTICAS PARA O CLIMA DE 2050	118
ANEXO C – VARIÁVEIS CLIMÁTICAS PARA O CLIMA DE 2080	119

1 INTRODUÇÃO

A história da habitação social no Brasil não é recente e já passou por diversas fases ao longo dos anos. Porém, a partir da promulgação da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), foi assegurado a todos os cidadãos o direito social a moradia. No artigo 23, inciso IX a constituição atribui ao Estados e seus entes federados o dever de desenvolver programas que promovam melhorias nas condições de habitabilidade, como também a construção de moradias (BRASIL, 1988). Com isso, novos programas habitacionais começaram a ser desenvolvidos visando promover moradia digna a população.

Nesse sentido, os programas habitacionais têm um papel importante no planejamento das cidades e no desenvolvimento do setor da construção, representando instrumentos significativos para o desenvolvimento da economia brasileira. O Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) é um programa destinado a produção de habitações populares no Brasil (BRASIL, 2009). Lançado em 2009 com o objetivo incentivar a produção de habitações novas, por meio da concessão de subsídios que tornaram acessível o crédito para compra de imóveis pela população.

A primeira etapa do programa, entre 2009 e 2011, teve como meta construir um milhão de novas unidades habitacionais, e em 2019 o programa alcançou a marca 4 milhões de moradias entregues (CNM, 2019; ROLNIK *et al.*, 2015). O programa foi transformado no “Programa Casa Verde e Amarela” (PCVA) no período entre 2020 e início de 2023, retornando à sua denominação original em 2023, O programa é gerido pelo Governo Federal e destinado às famílias com baixa renda (BRASIL, 2009; BRASIL, 2021; BRASIL, 2023).

Apesar do programa ter alcançado a marca de 4 milhões de moradias entregues, ele ainda não reduziu significativamente o déficit habitacional brasileiro, que alcançou a marca de 5.876.699 milhões de moradias segundo os dados analisados, entre os anos de 2016 e 2019, pela Fundação João Pinheiro (FJP, 2021). Além disso, PMCMV recebe críticas por não considerar a produção do território e ignorar as implicações da segregação socioespacial nas cidades (ROLNIK *et al.*, 2015). Os autores ainda citam que devido as concessões relacionadas a inserção urbana feitas pelo governo as incorporadoras, como a escolha dos projetos e dos terrenos em áreas periféricas, vem reiterando a segregação pela renda nas cidades (ROLNIK *et al.*, 2015).

Além disso as concessões não aconteceram apenas no âmbito socioespacial, mas também, na qualidade espacial e material das habitações. O programa foca mais na produção em série das habitações do que nos materiais, técnicas construtivas e qualidade espacial, dentre

outros aspectos. Outra questão é que a maior parte dos empreendimentos comercializados apresentam modelos e tipologias semelhantes, que são implantadas sem considerar as particularidades sociais e climáticas locais, utilizando materiais de pouca qualidade a fim de reduzir custos e aumentar o lucro das incorporadoras (FERREIRA, 2019; MARTINEZ *et al.*, 2013; MOREIRA, 2020).

A padronização da arquitetura baseada na produção em larga escala teve forte influência do chamado Estilo Internacional, proliferado pelo movimento modernista. A utilização de materiais pré-fabricados, vidro, aço e concreto além da simplificação da forma são algumas das características deste estilo. Devido à padronização da construção, os edifícios tornaram-se mais dependentes de sistemas artificiais, no intuito de promover conforto aos usuários com o uso do ar-condicionado, calefação mecânica e iluminação artificial (CAVALCANTI, 2013; HACHEM-VERMETTE, 2020).

Neste contexto, a padronização na habitação social no Brasil é também um reflexo das práticas projetuais adotadas pelas incorporadoras, que utilizam uma mesma tipologia arquitetônica e/ou um mesmo sistema construtivo no intuito de agilizar a produção e baratear os custos. Dentre os sistemas, o uso do sistema de parede de concreto armado moldado *in loco* tem crescido no país na produção de conjuntos habitacionais (MENDES; FABRÍCIO; IMAI, 2017), pois a velocidade de execução deste sistema comparado ao sistema convencional de alvenaria o torna mais atrativo às incorporadoras (IBRACON, 2018).

Isso resulta em empreendimentos cujas unidades muitas vezes não atendem às exigências necessárias para proporcionar conforto térmico ao usuário. Por isso, é importante que na fase de concepção projetual sejam realizadas análises climáticas, como estudo da ventilação predominante, orientação solar, topografia e entorno, além de estudos dos materiais e componentes construtivos de forma a produzir um projeto adequado à realidade climática local e que promova conforto ao usuário. Nesse sentido, o conforto ambiental é fundamental não apenas para as condições de habitabilidade de uma moradia digna como também para a redução do consumo energético (COSTA, 2011; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O Balanço Energético Nacional (BEN) de 2022 mostrou um aumento no consumo energético de 0,8% entre 2020 e 2021, onde o setor residencial corresponde a 10,9% do consumo energético nacional (EPE, 2022). A eletricidade continua sendo a maior fonte de energia do setor, sendo responsável por 45,4% da energia consumida, seguida pela lenha com 26,1% e o gás natural com 1,6% do total. A energia elétrica usada no Brasil é produzida em sua maioria, 66% do total, por fontes renováveis, e ela é empregada para iluminação, refrigeração do ambiente e uso de eletrodomésticos nas residências (EPE, 2022).

A construção civil é responsável pelo maior consumo de energia globalmente, e a maior porção dessa energia é utilizada nos sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (HVAC), como uma forma de manter a temperatura e a umidade dentro dos padrões internacionais de conforto (HU *et al.*, 2017).

Contudo, houve um aumento também na produção de gases de efeito estufa (GEE), em 2000 o total de emissões CO₂ relacionada à matriz energética brasileira foi de 288,4 milhões toneladas. Já em 2021 as emissões CO₂ no Brasil atingiram 445,4 milhões de toneladas, demonstrando um aumento médio anual de 2,1%. Dentro deste total o setor residencial contribuiu com 18,8 Mt CO₂-equivalente (EPE, 2022).

Devido ao aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) há uma previsão que a temperatura global possa aumentar em 1,5°C entre 2020 e 2050 (IPCC, 2018). Além disso, as previsões indicam que 70% da população mundial viverá em centro urbanos em 2050 (ONU, 2019) e que haverá cerca de 215 milhões de residentes urbanos carentes, vivendo em favelas expostos a temperaturas extremamente altas (C40 CITIES CLIMATE LEADERSHIP GROUP *et al.*, 2018). Essas mudanças provocadas pelas ações antropogênicas no decorrer dos anos podem colocar diversas pessoas, principalmente aquelas que vivem em regiões de baixa renda em risco climático (IPCC, 2022).

A envoltória das edificações consiste em uma das formas de proteção contra as intempéries climáticas, ela é constituída por planos que separam o interior do exterior. Estes podem ser verticais (paredes, empenas, e abertura como portas e janelas) ou horizontais (pisos e coberturas)(ABNT, 2021). Além da proteção contra as condições climáticas externas, a envoltória tem importante papel na manutenção do conforto térmico interno, pois é através dela que ocorrem as trocas térmicas entre meio interno e externo. Sendo assim, é importante que na fase de concepção do projeto os materiais e componentes do sistema de vedação sejam escolhidos de forma a contribuir com qualidade ambiental interna e a eficiência energética da edificação, reduzindo com isso o consumo energético para a climatização (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Nesse sentido, o setor da construção tem papel fundamental na construção de edifícios resilientes e na mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Pois, ao conhecer o clima local, utilizar técnicas da arquitetura passiva ou de cobertura vegetal na envoltória (paredes e telhados verdes) é possível reduzir a vulnerabilidade ao calor e a demanda energética por conforto na edificação (UNEP, 2021).

1.1 Justificativa

Em 2005 entrou em vigor a NBR 15.220 (ABNT, 2005) que propõe diretrizes para a avaliação do desempenho térmico em habitações unifamiliares de interesse social. A norma apresenta a divisão do território brasileiro em oito zonas bioclimáticas, bem como propõe estratégias para adequação climática das edificações conforme o local que elas serão construídas (ABNT, 2005).

Já em 2013 entrou em vigor a NBR 15.575 (ABNT, 2013) que tem por finalidade estabelecer requisitos e critérios de desempenho aplicáveis aos sistemas componentes das edificações habitacionais, de forma integrada ou avaliados de forma isolada (ABNT, 2013). Dentre os critérios analisados pela norma está o desempenho térmico (ABNT, 2013).

A norma de desempenho, como ficou conhecida a NBR 15.575, foi atualizada no ano de 2021 e passou a incorporar no método de avaliação por simulação computacional a modelagem da ocupação e a ventilação natural dos ambientes de permanência prolongada (APP). Além disso, passou a considerar todas as horas para um ano completo e não apenas dois dias típicos como propunha a versão anterior. Outro ponto a ser observado na norma diz respeito a forma de associação entre o conforto térmico e o desempenho térmico:

“Partindo do pressuposto de que a norma de desempenho é estabelecida para atender aos requisitos do usuário (qualitativos), por meio da definição de critérios (quantitativos) e métodos de avaliação, no caso do desempenho térmico os requisitos do usuário referem-se ao conforto térmico, e o método de avaliação deveria permitir a mensuração do atendimento a tal requisito. Constata-se, no entanto, que a NBR 15575-1 não aborda ou recomenda indicadores de conforto térmico (SANTO; ALVAREZ; NICO-RODRIGUES, p.118, 2014).”

Segundo OLIVEIRA *et al.*, 2015, por mais que os critérios mínimos estabelecidos pela norma sejam atendidos, nem sempre eles garantem boas condições de conforto térmico aos usuários. Isso ocorre devido a forma de associar o desempenho térmico e os parâmetros de conforto térmico não estarem bem estabelecidos na norma.

A NBR 15.575 (ABNT, 2021) foi elaborada para avaliar o desempenho térmico da edificação, que pode ser quantificado por meio das faixas de temperatura operativa, que foram estabelecidas tendo como base limites de conforto. Assim, quando é mensurado o percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT) dos ambientes de permanência prolongada (APP) o conforto pode ser inferido a partir da quantidade de horas que aquele APP está dentro ou fora de um intervalo de temperatura. Ou seja, o conforto não é expresso de forma direta na norma.

Ao longo dos anos alguns trabalhos se propuseram a analisar o desempenho térmico, conforto térmico e eficiência energética das tipologias e dos sistemas construtivos mais usados pelos programas habitacionais brasileiros. Como por exemplo, Marques e Chvatal (2013) que avaliaram o desempenho térmico de uma habitação unifamiliar na cidade de São Carlos-SP, com o objetivo de comparar os dois métodos propostos pela NBR 15575, método simplificados e de simulação e verificar sua coerência. Já Silva e Ghisi (2014) avaliaram o desempenho térmico da envoltória de uma habitação unifamiliar de interesse social localizada na cidade de Florianópolis-SC, de forma a comparar o método de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1.

Por sua vez, Dantas (2015) que avaliou o desempenho térmico e o conforto térmico em duas unidades habitacionais unifamiliares de um empreendimento do PMCMV na cidade de Maceió-AL. No mesmo ano, Rios (2015) analisou o impacto do uso de estratégias bioclimáticas na eficiência termo energética de habitações de interesse social (HIS), no qual utilizou como objeto uma residencial unifamiliar na cidade de Cuiabá.

Moreno; Morais e Souza (2017) avaliaram o desempenho térmico de um projeto representativo de habitação unifamiliar de interesse social, localizadas nas oitos zonas bioclimáticas (Curitiba, Santa Maria, Florianópolis, Brasília, Santos, Campo Grande, Cuiabá, Salvador), visando discutir como a padronização projetual afeta o conforto térmico dos ocupantes. Para tanto, foi utilizado os requisitos das NBR 15220-3, NBR 15575, RTQ-R e Selo Casa Azul e o procedimento de simulação.

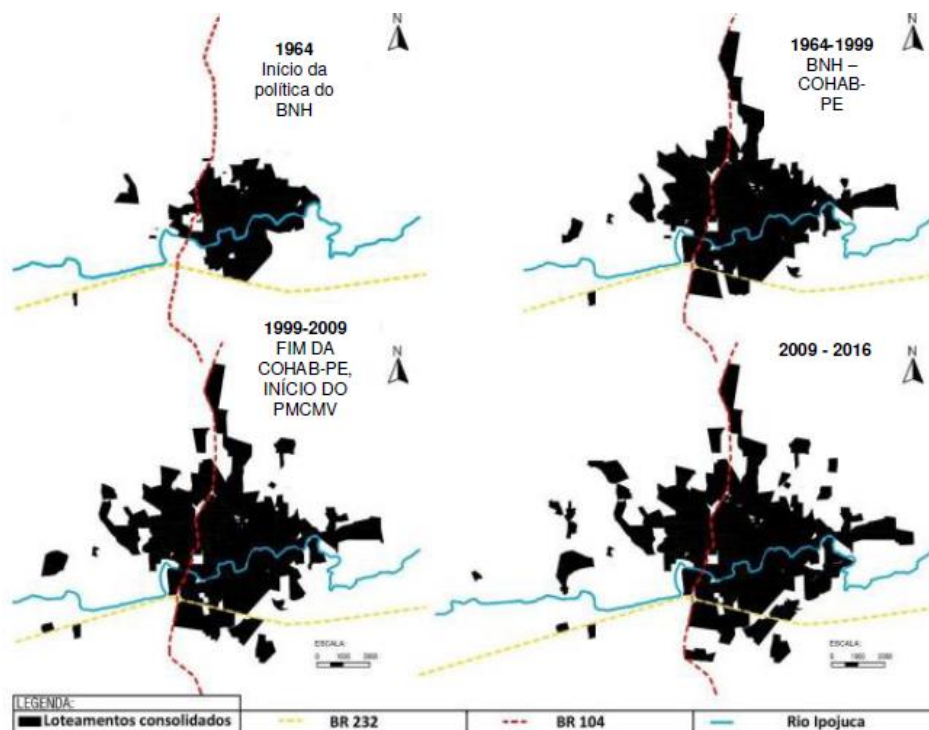
Alvares (2018) avaliou o desempenho térmico de quatro tipos de habitações de interesse social (uma multifamiliar e três unifamiliares) em São Carlos-SP (ZB4), edificadas em parede de concreto armada moldada in loco, como também foi analisado a percepção de conforto térmico do usuário. Já Santos; Porto e Silva (2020) investigaram a correlação e divergências entre desempenho térmico da habitação e conforto térmico dos ocupantes (modelo adaptativo) pelo método de simulação da NBR 15575-1, em uma habitação unifamiliar de interesse social, localizada em quatro cidades do estado do Mato Grosso do Sul (Coxim (ZB6), Ladário (ZB8), Juti (ZB3), Sidrolândia (ZB5)).

Porém, os trabalhos citados utilizaram a versão antiga da norma para realizar suas análises. Dessa forma, é importante que sejam realizados novos estudos com a versão atual da norma, tanto para produção de novos dados, como para averiguar se os resultados existentes nestes trabalhos continuam coerentes.

Assim, referente ao local de implantação do objeto de estudo deste trabalho, foi escolhida a cidade de Caruaru/PE. O primeiro motivo para a escolha da cidade, foi que Caruaru faz parte do contexto de vida da pesquisadora, pois é o município de residência dela. Além disso,

os programas habitacionais vêm demonstrando grande relevância no processo de crescimento da malha urbana da cidade como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1- Evolução da expansão da malha urbana de Caruaru/PE.

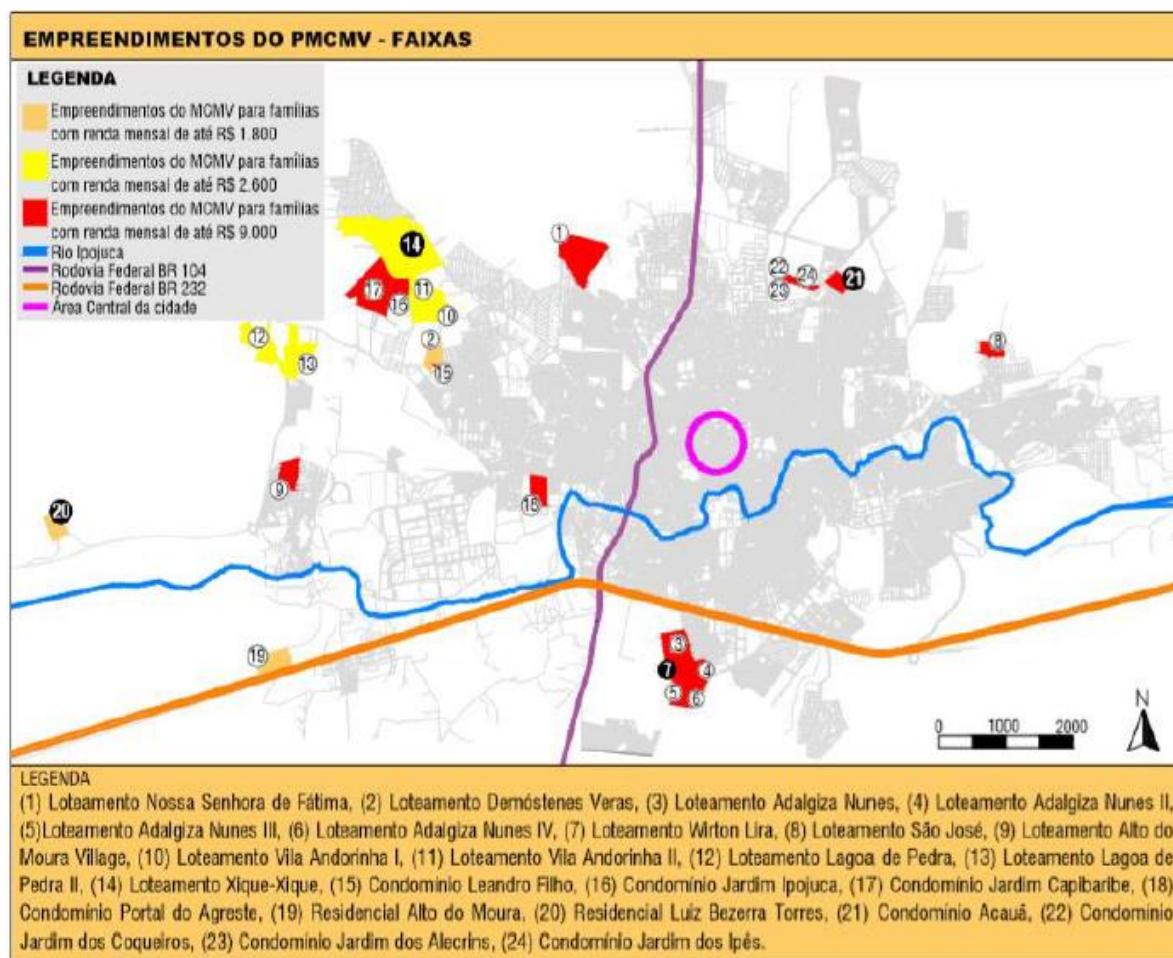


Fonte: Calado *et al*, 2017.

Outro ponto importante para a escolha da cidade como também do objeto de estudo é a inexistência de estudos sobre o desempenho térmico para habitações de interesse social no município. Em uma busca realizada nos bancos de dados da Scopus, Web of Science, no Banco de Teses e Dissertações e no Portal de Periódicos da Capes não foram encontradas pesquisas relacionadas aos termos “**desempenho térmico**” AND “**parede de concreto**” AND “**Caruaru**”.

Além disso, pode ser observado na Figura 2 que houve um crescimento expressivo no número de conjuntos habitacionais construídos na cidade, entre 2007 e 2016. Neste período, foram construídos cerca de 25 empreendimentos financiados pelo PMCMV no município (SOUZA, 2017; SOUZA E BRASILEIRO, 2018). Isso pode ser justificado pelo fato do déficit habitacional na cidade ser de oito mil imóveis, segundo dados levantados pela prefeitura municipal em 2014 e divulgados pela CBN (CBN CARUARU, 2022).

Figura 2 – Distribuição e identificação dos empreendimentos do PMCMV em Caruaru/PE.



Fonte: Souza, 2017.

Outra justificativa para o aumento da construção desses conjuntos habitacionais diz respeito a importância e a influência da cidade na região, que é considerada um capital regional B (2B) segundo o IBGE (2023), tendo como uma das principais fontes de renda a forte presença da indústria de confecção e o turismo. A cidade faz parte do Polo de confecção do Agreste, que é um núcleo de desenvolvimento de Pernambuco estruturado como um Arranjo Produtivo Local (APL), composto por três cidade, Santa Cruz do Capibaribe, Toritama e a maior delas Caruaru (BARROS, 2009).

Além disso, o município é famoso pela arte figurativa produzida no Alto do Moura, pela festa de São João e por possuir a maior feira ao ar livre do mundo, tombada pelo IPHAN como patrimônio imaterial (BARROS, 2009). Essas características geram renda ao município e atraem pessoas para a cidade, afetando direta e indiretamente a vida da população local.

Com relação ao objeto desta pesquisa foram escolhidas as habitações multifamiliares que são construídas no sistema de parede de concreto moldado *in loco*. Este

sistema construtivo começou a ser empregado na cidade em meados de 2014 para a construção de empreendimentos de habitação multifamiliar do PMCMV. O primeiro condomínio lançado na cidade usando esse sistema foi o Residencial Acauã, que pertence a faixa 2 e 3 do PMCMV (SANTOS, 2017; SOUZA E BRASILEIRO, 2018).

Um levantamento realizado pela autora identificou 19 empreendimentos multifamiliares, construídos ou em construção, em parede de concreto moldado no local em Caruaru, são eles: Condomínios Jardim São Francisco, Jardim Capibaribe e Jardim Ipojuca (Construtora Multitécnica), Residencial Acauã e Residencial Neusa Garcia (Construtora Mori Mori), Park Angelim Residence, Viver bem Condomínio Clube e Viver bem Indianópolis (Construtora Planum empreendimentos), Residenciais Luiz Bezerra Torres, Jardins, Ipojuca Caruaru, Ipojuca Indianópolis I, Ipojuca Indianópolis II e Life Club Residence (Construtora 2MS Engenharia), Residenciais Parque Caminho das Aroeiras, Parque Caminho das Orquídeas, Parque Caminho das Baraúnas e Parque Caminho das Bromélias (Construtora MRV), Condomínio Reserva Indianópolis (Construtora Nacional) e Multiporto Indianópolis (Construtora Porto engenharia).

Como pode ser visto pelo levantamento realizado, desde a construção do primeiro empreendimento o sistema ganhou cada vez mais espaço na cidade, principalmente na construção de edificações multifamiliares, sendo o residencial Neusa Garcia o único empreendimento unifamiliar em concreto armado moldado *in loco* em Caruaru construído até 2023. Vale salientar que dentre os empreendimentos citados apenas o Life Club Residence e Multiporto Indianópolis não são subsidiados por programas habitacionais como o PMCMV.

Foi escolhido investigar o sistema de parede de concreto moldado *in loco*, pois ao analisar suas propriedades de transmitância térmica¹ $U = 4,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$, capacidade térmica² $C_T = 240 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$ e atraso térmico³ $\phi = 2,7 \text{ horas}$, pelo método prescritivo da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), conclui-se que esse sistema não é adequado para uma cidade localizada na zona 8, como Caruaru.

¹ Transmitância térmica é definida como a taxa de transferência de calor por unidade de área quando há uma diferença de temperatura entre os dois lados da estrutura, expressa em watts por metro quadrado por Kelvin ($\text{W/m}^2 \cdot \text{k}$). Inverso da resistência térmica total (ABNT, 2005) (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

² A capacidade térmica refere-se à quantidade de energia térmica que um material é capaz de armazenar por unidade de massa ou volume, para variar a temperatura do material. Está relacionada à capacidade de absorver, armazenar e liberar calor, expressa em (J/K ou $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{K}$) (ABNT, 2005) (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

³ Atraso Térmico é definido como o tempo necessário para que o calor atravesse uma estrutura, medido a partir do momento que há uma diferença de temperatura entre os dois lados da estrutura até que ocorra uma variação de temperatura perceptível no lado oposto, expresso em horas (h) (ABNT, 2005) (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

Assim, portanto, essa pesquisa se justifica pela necessidade de obter dados sobre o desempenho térmico de habitações multifamiliares elaboradas em concreto armado moldado *in loco* no município de Caruaru/PE, tendo como base a versão atual da NBR 15.575. Além de investigar o desempenho térmico destas residências multifamiliares frente as mudanças climáticas. Assim, esse estudo torna-se importante por preencher uma lacuna sobre o tema na cidade de Caruaru/PE.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo do trabalho é avaliar o desempenho térmico de um projeto padrão de Habitação de Interesse Social (HIS) multifamiliar, em parede de concreto moldado *in loco*, empregado na cidade de Caruaru/PE para o clima atual e para cenários de mudanças climáticas.

1.2.2 Objetivos específicos

Este trabalho pretende ainda atingir os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar o modelo representativo da habitação multifamiliar e o local onde ele está inserido.
- Identificar as possíveis alterações nas condições de atendimento dos diferentes níveis de desempenho esperado em função dos diferentes cenários climáticos.
- Discutir o método de avaliação de desempenho térmico da NBR-15575:2021.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho foi dividido em quatro capítulos, onde o primeiro capítulo apresenta a introdução e justificativa do trabalho, os objetivos específicos e geral e a forma como o trabalho está estruturado.

O segundo capítulo aborda uma Revisão da Literatura, visando entender como o desempenho térmico vem sendo discutido no contexto acadêmico e quais são as oportunidades de pesquisa dentro da temática de desempenho térmico das edificações habitacionais.

O terceiro capítulo descreve os materiais e os procedimentos metodológicos usados para elaborar essa pesquisa, incluindo a caracterização da cidade escolhida, do objeto de estudo, dos softwares e arquivos climáticos utilizados.

No quarto capítulo serão apresentados e analisados os resultados obtidos a partir das simulações computacionais, discutindo o método adotado pela norma para a obtenção dos níveis de desempenho.

Por fim, no quinto capítulo serão apresentadas as considerações finais, as limitações do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é apresentada a revisão da literatura realizada para este trabalho. Assim, são abordados conceitos sobre as características das paredes de concreto armado moldado *in loco* e ao desempenho térmico desse sistema. Também é apresentado os procedimentos relacionados a simulação computacional referentes a NBR 15.575 (ABNT, 2021). Como também, é discutido o panorama das mudanças climáticas e seus impactos no desempenho térmico das edificações.

2.1 Processo de revisão da literatura

A priori esta revisão procurou abranger os artigos científicos publicados em português ou inglês no período de 2001 a 2022, pois o ano de 2001 foi o ano dos apagões⁴ no Brasil. Conforme os trabalhos foram sendo filtrados pela leitura de título, palavras-chaves, resumo e conclusão percebeu-se que estes trabalhos não abordavam pontos importantes como a norma de desempenho NBR 15.575.

Então, foi decido ajustar o intervalo para um novo período entre 2010 e 2022, assim os trabalhos anteriores a 2010 foram excluídos. Salvo exceção de alguns trabalhos, livros, normas e/ou leis que continham informações relevantes sobre a temática que permaneceram e/ou foram incluídos após finalizada a revisão durante a leitura dos trabalhos na integra. Além dos artigos foi realizada uma busca entre as teses e dissertações apresentadas no Brasil no período de 2010 a 2022.

O processo da revisão iniciou com a definição das bases de dados para a busca, foram selecionados *Scopus* e a *Web of Science* como mecanismos de busca dos artigos científicos. Elas foram escolhidas por conterem importantes editoras e revistas acadêmicas no campo da arquitetura, como por exemplo *Springer*, *Elsevier*, *ScienceDirect*, *MDPI*, *Energy and Buildings*, *Energy*, *Ambiente Construído*. O banco de Tese e Dissertações da CAPES, foi escolhido como mecanismo de busca para as teses e dissertações.

Em seguida, foram definidas as palavras-chaves para formarem as *strings* de busca nas bases selecionadas, são elas: (“Habitação de Interesse social” AND “multifamiliar” OR "Social hous*" OR "low-income hous*" OR "residential build*") AND (“Desempenho

⁴ Apagões é o termo usado para o racionamento adotado entre junho de 2001 a março de 2002 devido à crise energética que afetou o Brasil no ano de 2001 (GUITARRARA, [s.d.]).

Térmico” OR “Desempenho Térmico e Energético” OR “Desempenho Energético” OR “Thermal performanc*” OR "thermal evaluation" OR "thermal assessment").

Para realizar a busca no banco de Teses e Dissertações foram usadas as seguintes *strings* de busca "Conforto termico" AND "edificacoes" AND "Desempenho termico" AND "edificacoes" AND "habitacao de interesse social".

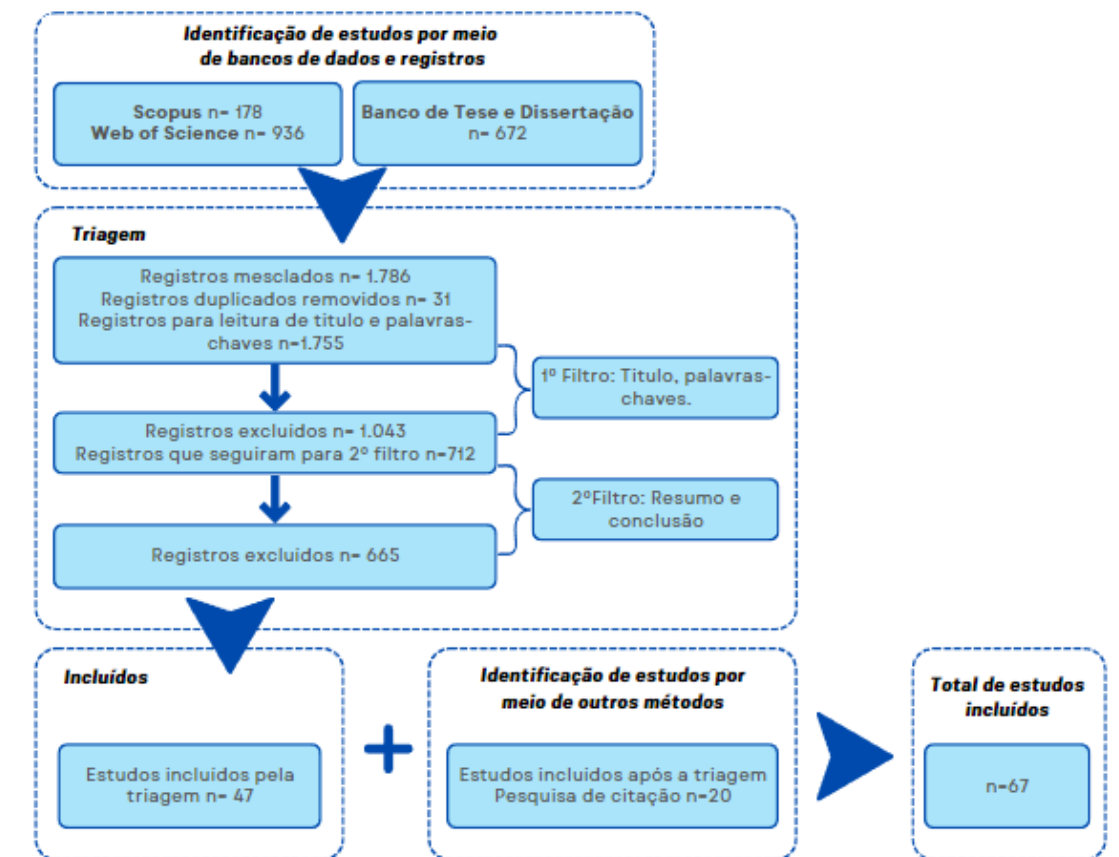
Para filtrar os artigos foi usado o Rayyan, que é um aplicativo desenvolvido para tornar o processo de triagem inicial de títulos e resumos mais ágil (OUZZANI *et al.*, 2016). Neste aplicativo foram inseridos os dados obtidos na busca, e após remoção dos duplicados os arquivos foram mesclados e filtrados pelo título e palavras-chaves. As Teses e Dissertações foram filtrados por títulos, com auxílio de planilhas do Excel.

Os registros seguiram então para o filtro da leitura do resumo, aqueles trabalhos que tinha relação clara com o “**desempenho térmico e energético**” e “**habitação de interesse social**” no Brasil foram selecionados. Conforme fora realizado os primeiros filtros, percebeu-se uma tendência de crescimento nos trabalhos em considerar o fator das mudanças climáticas no desempenho térmico e energético das edificações.

Identificou-se a relevância da associação entre mudanças climáticas e o desempenho térmico das edificações e com isso oportunidades de pesquisas em aberto ainda não exploradas. Por isso, optou-se por agregá-lo neste trabalho, sendo ele o responsável pela mudança de direcionamento da pesquisa. Dessa, forma além de considerar os termos anteriormente citados incluiu também o termo “**mudanças climáticas**” para o filtro de resumo.

Ao final da leitura dos resumos foram selecionados os textos conforme sua relação com o tema e cuja metodologia se enquadra-se em uma análise ou avaliação do desempenho térmico e/ou eficiência energética de habitações residências através dos métodos de simulação (preferencialmente), prescritivo e/ou simplificado das normas NBR 15.220-3 (ABNT, 2005) e NBR 15.575-1 (ABNT, 2013; ABNT, 2021). A Figura 3 mostra as etapas de seleção e a quantidade de trabalhos filtrados durante cada uma das etapas.

Figura 3 - Fluxograma da seleção de artigos.



Fonte: Autora, 2023.

Os trabalhos filtrados nas etapas da revisão, Figura 3, são apresentados nas seções 2.2, 2.3 e 2.4. Dentre os trabalhos filtrados na etapa de triagem, 10 foram usados para embasar a seção de justificativa. O item 2.5 presente na revisão de literatura refere-se a NBR 15.575 (ABNT, 2021) e ao procedimento de simulação. Esta revisão teve por finalidade compreender os principais aspectos relatados na literatura sobre o sistema de concreto armado e o seu desempenho térmico, além de investigar os estudos e ferramentas usadas para avaliar a associação das mudanças climáticas com o desempenho térmico das edificações serão apresentadas a seguir.

2.2 Sistema de concreto armado moldado *in loco* em habitações residenciais

O sistema de parede de concreto armado moldado *in loco* tem se mostrado uma técnica construtiva promissora no Brasil, principalmente porque tem sido amplamente usado pelo Programa Minha Casa Minha Vida (SANTOS, 2016). O método consiste em moldar as paredes de concreto no próprio local, utilizando forma pré-fabricadas e armadura de aço. A aplicação desse sistema proporciona diversas vantagens, como velocidade de execução, maior

controle de qualidade, redução de desperdícios e economia de mão de obra (PRUDÊNCIO *et al.*, 2017).

Além disso, as paredes de concreto armado moldado *in loco* possuem boa resistência estrutural, durabilidade e bom desempenho térmico e acústico (FIGUEIREDO *et al.*, 2019). Essas características têm impulsionado sua utilização em diferentes tipos de edificações, desde residenciais até comerciais e industriais. Contudo, o sistema apresenta algumas desvantagens como dificuldade para realizar mudanças não planejadas e/ou improvisações, além da limitação na execução de balanços e grandes vãos (SANTOS, 2017).

O uso de paredes de concreto em edificações multifamiliares parte do princípio da racionalização do processo de construção civil. Este sistema ganhou uma norma específica em 2012, a NBR-16055 (ABNT, 2012), demonstrando a importância que este sistema construtivo apresenta na produção habitacional brasileira, principalmente em razão da maior rapidez de execução, quando comparado aos sistemas tradicionais de vedação, assim como a diminuição de custo e do desperdício dos materiais (MELHADO, 1998).

No contexto brasileiro, o sistema de parede de concreto armado moldado *in loco* tem sido amplamente adotado na construção civil, especialmente em empreendimentos de habitação popular e no segmento de edifícios multifamiliares. A sua crescente popularidade deve-se, em parte, às políticas governamentais de incentivo à construção de moradias acessíveis e à necessidade de redução do déficit habitacional no país (FIGUEIREDO *et al.*, 2019).

Além disso, a eficiência e a rapidez na execução desse sistema têm contribuído para a adoção por parte de construtoras, que buscam otimizar o tempo de construção e reduzir os custos envolvidos (PRUDÊNCIO *et al.*, 2017). Apesar das vantagens é importante ressaltar que sua aplicação requer conhecimento técnico especializado e controle rigoroso durante todas as etapas do processo construtivo (FIGUEIREDO *et al.*, 2019).

O desempenho térmico das paredes de concreto armado moldado *in loco* tem sido objeto de estudo, especialmente em relação ao seu emprego nas diferentes zonas bioclimáticas no Brasil. Silva *et al.* (2018) mostram que as paredes de concreto apresentam boa inércia térmica, auxiliando na regulação da temperatura interna dos ambientes e proporcionando maior conforto térmico em climas quentes e úmidos como o da zona bioclimática 8 (ZB 8). Além disso, a baixa permeabilidade do concreto utilizado nas paredes contribui para a redução da entrada de calor externo e da umidade, favorecendo o desempenho térmico das edificações (CAMACHO *et al.*, 2020).

Apesar das vantagens relacionadas ao desempenho térmico, é importante considerar outros fatores que podem influenciar o conforto térmico nas edificações, como a adequada

orientação solar, utilização de elementos de sombreamento e ventilação adequada (DIAS *et al.*, 2021). Um dos principais desafios enfrentados por esse sistema é a alta condutividade térmica do concreto, que pode acentuar a transferência de calor do ambiente externo para o interior da edificação. Barbosa *et al.* (2016) e Magalhães *et al.* (2018), destacam que a falta de isolamento térmico adequado nas paredes pode resultar em desconforto térmico e aumento do consumo de energia para refrigeração em climas quentes.

Gallardo *et al.* (2016) afirmam que um bom desempenho térmico depende em grande parte da especificação de materiais e sistemas construtivos. Ao analisar um clima quente e úmido do Equador, os autores identificaram que a escolha adequada dos materiais pode reduzir em até 50% o total de horas em desconforto térmico de uma habitação.

Santos *et al.* (2018) investigaram este sistema construtivo para a cidade de Curitiba-PR e concluíram que ocorre desconforto por frio, em aproximadamente 42,7% das horas ocupadas, constatando desconformidade com as recomendações das normas brasileiras (DUMKE, 2002; OLIVEIRA, 2015; JAUDY *et al.*, 2015).

O uso de paredes de concreto tem se mostrado ineficiente em diversas zonas bioclimáticas, como na ZB 3 (MORAGA, 2017) e na ZB 4 (ALVARES, 2018; BRAGA, 2018). No caso da ZB 2, Carvalho (2012) concluiu que este sistema, apesar de atender minimamente durante o verão aos requisitos da NBR-15575 (ABNT, 2013), são insatisfatórias durante o inverno.

Nesse sentido, a NBR 15.575 propõe requisitos técnicos que devem ser atendidos pelas construções para garantir desempenho adequado. Quando aplicada ao sistema construtivo de parede de concreto moldado *in loco*, a norma pode contribuir para garantir o desempenho térmico adequado das edificações que usam o sistema. A seguir serão abordados alguns aspectos da norma de desempenho em edificações que utilizam esse sistema.

2.3 Desempenho térmico em habitações residenciais

O Brasil possui um clima muito diversificado, devido sua dimensão continental, fazendo com que as edificações precisem se adequar ao clima onde estão implantadas, a fim de proporcionar conforto térmico interno aos usuários. Essas adequações podem ser feitas utilizando técnicas de arquitetura passiva, como por exemplo ventilação cruzada, sombreamento de abertura, uso de inércia térmica dentre outros (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014) .

O desempenho e o conforto térmico se relacionam de forma proporcional, porém eles têm metodologias diferentes de avaliação. A NBR 15.575 (ABNT, 2021) define desempenho como sendo o comportamento de uma edificação e de seus sistemas quando a edificação está em uso, assim, o desempenho tem como foco avaliar o funcionamento do edifício. Já o conforto, segundo a ASHRAE (2017), é expresso como um estado de satisfação com a ambiência térmica. Ou seja, o conforto procura avaliar a resposta comportamental homem dentro do meio que ele habita.

Mattos (2015) acrescenta ainda que o desempenho térmico está associado ao comportamento térmico mínimo da edificação em resposta às condições do clima externo e de uso dos ambientes avaliados, visando o conforto térmico interno. Nesse sentido, quando o edifício tem boas características físicas e construtivas ele minimiza o uso sistemas artificiais de condicionamento favorecendo não apenas o conforto térmico como também a eficiência energética da edificação (PEREIRA E GHISI, 2010; FROTA E SCHIFFER, 2001).

De forma a propor o desempenho térmico das edificações residências no Brasil estão em vigor duas normas a NBR 15.220 (ABNT, 2005) e a NBR 15.575 (ABNT, 2021), onde e a última foi revisada e entrou em vigor em 2021. A NBR 15.220 traz diretrizes construtivas baseadas em estratégias de condicionamento passivo para obtenção de conforto, como dimensão das aberturas para ventilação e o sombreamento delas, tipo de vedação externa (parede e coberturas)(ABNT, 2005). Além disso, são fatores importantes para a avaliação do desempenho térmico o fator solar, o atraso térmico e a transmitância e capacidade térmica das vedações.

Em sua primeira versão em 2008, a NBR 15.575 trouxe requisitos mínimos de desempenho a serem seguidos, devido ao seu caráter não prescritivo não teve boa aceitação pelas construtoras. Assim, a norma foi revisada e entrou em vigor em 2013, onde o desempenho térmico é avaliado na primeira, quarta e quinta parte da norma. A norma está dividida em seis partes, são elas:

1. Requisitos gerais;
2. Sistemas estruturais;
3. Sistemas de pisos;
4. Sistema vedações verticais internas e externas (SVVIE);
5. Sistemas de coberturas;
6. Sistemas hidrossanitários.

A norma propunha três métodos para a avaliação do desempenho térmico. O primeiro deles é o método simplificado onde o desempenho térmico é verificado a partir do

atendimento dos requisitos definidos para as propriedades térmicas dos materiais constituintes dos sistemas de vedação verticais e cobertura. Além disso, ela avalia a área disponível de abertura para a ventilação natural, que deve atender a um critério mínimo (ABNT, 2013).

O método de simulação computacional é o segundo estabelecido pela norma. Ele preconizava a simulação para dois dias típicos (verão e inverno) e não considerava as cargas internas de ocupação iluminação e equipamentos nos ambientes de permanência prolongada (APP). E para obter o nível mínimo de desempenho, tanto no inverno quanto no verão, as condições térmicas internas deveriam ser melhores ou iguais a do ambiente externo, a depender da situação avaliada (ABNT, 2013).

O terceiro método é o de medição, realizado através de medições *in loco* ou em protótipos era verificado o atendimento dos critérios e requisitos. Este método tinha caráter informativo não se sobrepondo aos métodos anteriores (ABNT, 2013).

Mesmo após ter sido revisada e ter entrado em vigor, a norma continuou recebendo críticas e assim como estudos visando aprimorar as metodologias usadas na avaliação de desempenho. De acordo com Oliveira; Souza e Silva (2013) os valores indicados para algumas propriedades térmicas de paredes e coberta no método simplificado, como a transmitância térmica, divergiam entre a NBR 15.220 e a NBR 15.575.

Chvatal (2014) alertou que o procedimento simplificado não apresentava de maneira adequada o impacto da transmitância e da absorptância, e que havia uma influência da capacidade térmica nesses limites, sendo necessário ajustes nas recomendações dos limites dessas propriedades térmicas. Além disso, não considerar as propriedades da edificação como um todo, é uma forma de não expressar o desempenho da edificação de modo real (GRIGOLETTI E SATTLE, 2010).

Outra situação apresentada por Sorgato *et al* (2014) é que o método simplificado e de simulação não demonstram ser equivalentes, uma vez que a edificação poderia atender o nível mínimo de desempenho por um método e pelo outro não. Porém, a norma propunha que fosse realizada uma análise global da edificação através da simulação computacional caso o desempenho de vedação e cobertura fosse insatisfatório.

Embora a NBR 15.575 (ABNT, 2013) apresente divergências em seus métodos de avaliação, ela serviu de base para a avaliação do desempenho térmico dos sistemas construtivos mais usados no Brasil em programas de habitação social. Muitos desses trabalhos contribuíram para a produção de dados e para a melhoria da norma.

Dentre os trabalhos, Moreno (2013) analisou o desempenho da envoltória de uma habitação para oito cidades diferentes pertencentes cada uma a uma zona bioclimáticas. Foram

usados o método prescritivo da NBR 15.575 e método da NBR 15.220, que analisa requisitos como a transmitância e capacidade térmica da envoltória. Foi constatado que o sistema exclusivo de parede de concreto foi reprovado em todas as zonas bioclimáticas.

Também usando o método prescritivo e de simulação da NBR 15.575 e prescritivo NBR15.220 para oito cidades pertencentes a diferentes zonas bioclimáticas, Oliveira (2015), constatou que o desempenho térmico do sistema de parede de concreto armado foi insuficiente para todas as zonas, sendo necessários ajustes na sua composição. Com exceção das zonas de climas quentes, que mesmo usando as estratégias bioclimáticas não foi possível promover conforto para os usuários sem o uso de condicionamento.

Vasques (2017) analisou o conforto ambiental de acordo com os requisitos da NBR15.575 em dois projetos de habitação de interesse social, e também constatou que o sistema de concreto armado não alcançou o desempenho térmico mínimo para o dia típico de inverno na cidade do Rio de Janeiro. Resultado semelhante foi obtido para a cidade de São Carlo/SP, onde foram avaliados o desempenho térmico e o conforto térmico pelo procedimento simplificado (prescritivo) da NBR 15.575 e NBR 15.220 (ALVARES, 2018).

Além disso, Alvares (2018) observou uma inadequação do sistema de vedação vertical e cobertura com o desempenho térmico mínimo exigido pelas normas. O autor realizou entrevistas com os residentes a fim de verificar o conforto deles nas edificações estudadas. Os resultados das entrevistas reforçaram a presença de desconforto térmico no inverno e no verão. Além disso algumas das casas estudadas sofreram alterações dos próprios moradores visando a promoção de conforto.

Em contrapartida, Silva (2021) usou o método da simulação computacional descrita pela emenda nº 1 NBR 15.575-1 divulgada em 2021, no intuito de avaliar a influência do sistema de parede, do padrão de uso e de operação no desempenho de habitações residenciais unifamiliar e multifamiliar em quatro cidades de zonas bioclimáticas distintas. Ele constatou que a parede de concreto obteve resultados melhores em climas quentes quando se utilizava a ventilação natural.

Ainda nesse contexto, Costa (2022) analisou o desempenho térmico de habitações unifamiliares construídas em parede de concreto moldado *in loco* em Paulo Afonso/BA. Ele constatou que o sistema de parede de concreto pode atingir o desempenho de nível intermediário, mas que dependendo da orientação no terreno podem não ser alcançada boas condições de conforto térmico.

Vale ressaltar que ambos os estudos se basearam na emenda nº 1 da NBR 15.575 divulgada em 2021, que traz novas recomendações para realizar avaliação de desempenho

térmico. Essa diferença entre os resultados obtidas entre as duas versões da norma abre margem para questionar a validade dos requisitos da norma e dos dados obtidos pelos estudos, questionando se realmente o sistema construtivo apresenta um adequado desempenho térmico.

Nesse sentido, Peixoto e Souza (2022) compararam os métodos de avaliação do desempenho das duas versões da NBR 15.575 (ABNT, 2013) e (ABNT, 2021), a fim de entender como as mudanças entre as versões afeta o resultado do desempenho. As autoras avaliaram o sistema de bloco cerâmico e o sistema de parede de concreto armado. Pelo método simplificado das duas versões o sistema de concreto não atendeu ao desempenho mínimo para nenhuma das zonas estudadas (ZB 1, ZB 3 e ZB 8). Contudo, pelo método de simulação, na versão de 2013, é possível atingir níveis intermediário e superior de desempenho no sistema de parede de concreto.

Porém, o método de simulação, da versão de 2021 é mais restritivo para os cenários analisados, onde foi máximo o nível mínimo de desempenho, e o sistema de bloco cerâmico obteve resultados piores do que os outros sistemas. As autoras concluíram que a nova metodologia é menos permissiva e tem mais detalhes que a anterior, e que a obtenção do nível mínimo pode estar relacionada aos limites do modelo de referência presentes na nova versão.

2.4 Mudanças climáticas e desempenho térmico e energético

A partir do crescimento do consumo e das mudanças no padrão de vida, as ações provocadas pelo homem vêm contribuindo para o aumento das emissões de gases do efeito estufa (GEE). Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (2018), devido ao aumento das emissões de GEE é possível que ocorra um acréscimo de 1,5°C na temperatura global entre 2030 e 2052. Dessa forma aumenta os riscos de situações de clima extremos como ondas de calor, secas, inundações entre outros eventos extremos, que colocam em situação de vulnerabilidade populações ao redor do mundo, mas principalmente aquelas que habitam regiões de média e baixa renda (IPCC, 2018).

No caso no Brasil, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) aponta um aumento de temperatura não uniforme, com variações entre 2°C e 8°C até o fim do século XXI, onde as regiões Centro-Oeste, Norte, Nordeste e Sudeste apresentaram máximos de aquecimento e redução no volume da precipitação no verão. Para a região Sul é previsto um aumento da precipitação no verão, e do o risco de desastres nessa época (PLANO NACIONAL DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016).

As pressões sobre as condições de vida implicam na adoção de medidas adaptativas e de mitigação visando a redução da vulnerabilidade humana diante as alterações climáticas. Assim, investir em infraestrutura física e social é um passo importante para o futuro das cidades. A construção de edifícios de baixo consumo energético, empregando técnicas do desenho passivo podem ajudar nesse processo (UNEP, 2021)

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), elabora avaliações e documentos científicos sobre os riscos das mudanças climáticas e os possíveis impactos ambientais e socioeconômicos, riscos futuros e a possíveis opções de adaptação e mitigação desses riscos. Estes relatórios chamados de *Assessment Reports* (AR), são utilizados como base de diversas pesquisas (IPCC, 2007).

Além disso, esses relatórios produzem diversos cenários referente as emissões de GEE, esses cenários são denominados de *Special Report Emission Scenarios* (SRES). Estes cenários podem ser usados na elaboração de modelos matemáticos, dentre estes modelos destaca-se o Modelo de Circulação Geral da atmosfera (MCGA), que considera características físicas importantes do clima como umidade, temperatura, precipitação, vento, dentre outras através de uma rede cartesiana de vários níveis verticais e horizontais (SAMPAIO E DIAS, 2014).

Um dos modelos de circulação global mais usados é o Hadley Centre Coupled Model version 3 (HadCM3), proveniente do *Assessment Reports 4* (AR4). Esse modelo apresenta horizontes climáticos típicos para os anos de 2020 (contendo a serie do período de 2011 a 2040), 2050 (contendo a serie do período de 2041 a 2070) e 2080 (contendo a serie do período de 2071 a 2100)(IPCC, 2007; IPCC, 2014).

Para confecção do AR4 foram usados cenários de emissões de GEE baseados no SRES. Estes cenários estão divididos em 4 grupos, A1, A2, B1 e B2, onde o grupo A representa o baixo compromisso com as questões de sustentabilidade e o B corresponde ao alto compromisso. Dentre os cenários, o A2 é considerado o mais pessimista, pois indica uma tendência de crescimento contínuo da população, economia fragmentada e lento desenvolvimento tecnológico além de alto níveis de emissões de GEE.

Montes (2016) afirma que os cenários são projeções de como se comportará o clima no futuro, mas que possuem elevado grau de incerteza, mesmo assim, eles são úteis para estudar os impactos gerados pelas mudanças climáticas e para traçar medidas de como atenuar esses impactos. Porém, o autor ressalta que nenhum dos cenários tem maior chance de ocorrência em relação ao outro.

Assim, para avaliar os impactos das mudanças climáticas foram desenvolvidas algumas metodologias que usam os cenários (SRES e dos relatórios AR4 e AR5). Uma delas, que é mais aceita no momento, foi desenvolvida por Belcher, Hacker e Powell (2005), faz a conversão de arquivos climáticos atuais em futuros pela técnica denominada “morphing”. Este processo combina arquivos climáticos do tipo Test Reference Year (TRY) ou Test Meteorological Year (TMY) com os modelos climáticos de circulação geral da atmosfera (MCGA) para simular uma condição climática futura.

Entre os efeitos do baixo desempenho ambiental das edificações frente às mudanças climáticas estão os limites fisiológicos de tolerância ao calor. Considerando as condições ambientais que não permitem uma evapotranspiração adequada, ocorre um desequilíbrio da termorregulação fisiológica, que é limitada pela umidade do ar, podendo levar a maiores dificuldades na evaporação do suor, aumentando a sensação de desconforto térmico devido ao calor (RIVAS; ALLIE; SALVADOR, 2019).

Esse desequilíbrio traz riscos, principalmente para as populações mais vulneráveis, como crianças e idosos, consolidando cenários menos favoráveis à vida humana, principalmente em locais que projetam maior aquecimento, exigindo aumento do consumo de energia para manter o conforto térmico (ALVAREZ; BRAGANÇA, 2018; KOČÍ *et al.*, 2019).

Diante de tais projeções de mudanças climáticas e alto consumo de energia no ambiente construído, estratégias e soluções de adaptação das edificações precisam ser consideradas para cenários climáticos futuros (FARAH *et al.*, 2019; NUNES; GIGLIO, 2020), como os propostos por Guarda, Durante e Callejas (2020), Machado *et al.*, (2022) e Alves, Duarte e Gonçalves (2016), para que elas se tornem mais resilientes e eficientes.

Invidiata e Ghisi (2016) investigaram os efeitos das mudanças climáticas nas condições de conforto térmico e demanda energética para aquecimento e resfriamento em habitações residenciais em três cidades no Brasil. Foi identificado que com a adoção de estratégias de projeto passivo pode-se reduzir até 50% do consumo de energia com condicionamento ambiental, frente às mudanças climáticas e cenários climáticos futuros.

Triana, Lamberts e Sassi (2018) pesquisaram os impactos no desempenho térmico em duas cidades frente as mudanças climáticas e avaliaram o impacto de medidas de eficiência energética na fase operacional. Foi usado o Climate Change World Weather File Generator (CCWorldWeatherGen), na elaboração de arquivos futuros para os anos de 2020 e 2050. Eles constataram que há um aumento na necessidade de refrigeração e decréscimo na necessidade de aquecimento.

Machado (2019) também avaliou o desempenho térmico de uma edificação multifamiliar naturalmente ventilada em quatro cidades e também usou a mesma ferramenta CCWorldWeatherGen para gerar arquivos climáticos para 2020, 2050 e 2080. A autora observou também um aumento da frequência e intensidade de desconforto por calor e concluiu que outras formas de adaptação deverão ser adotadas, além daquelas recomendadas pela NBR 15.220-3. Recomendando-se modificações nas normas regulamentadoras para que as edificações possam atender as condições climáticas mais atuais.

Nunes (2021) avaliou o comportamento térmico energético de habitação unifamiliar de interesse social para quatro climas distintos nos períodos de 2020, 2050 e 2080. O autor afirma que os anos climáticos de referência apresentaram aumento na temperatura do ar, o que influencia os parâmetros termo físicos da envoltória, que são responsáveis pelo desempenho térmico e energético do edifício e conforto térmico dos usuários. O autor concluiu que o projeto deve considerar as alterações provocadas pelas mudanças climáticas, a fim de garantir a resiliência no desempenho do ambiente construído.

Nunes e Giglio (2022) acrescentam ainda a essa discussão que a ventilação natural é fundamental na melhoria do desempenho térmico, seguido pela absorvância solar e transmitância térmica das envoltórias, concluindo que é necessário desenvolver mais estudos com foco em estratégias para mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

Como visto, a envoltória (piso, paredes, cobertura e aberturas) com suas características e propriedades termo físicas está diretamente relacionada ao desempenho térmico e energético das edificações e conseqüentemente ao conforto do ambiente. Além disso, com o aumento da temperatura global é necessário tomar ações adaptativas visando o bom desempenho térmico e energético da edificação, bem como o conforto dos usuários.

Outro ponto discutido nesta seção diz respeito às pesquisas realizadas para avaliar o desempenho térmico e/ou energético e conforto ambiental de edificações produzidas em concreto armado moldado *in loco*. Os estudos apresentados ao longo desta seção foram realizados utilizando versão de 2013 da NBR 15.575 (ABNT, 2013), e apontaram que este sistema construtivo não apresenta desempenho térmico adequado em algumas localidades do Brasil, principalmente aquelas que têm clima quente. Entretanto, trabalhos como o de Silva (2021) e Costa (2022) realizados seguindo os procedimentos da atual versão da NBR 15.575 (ABNT, 2021) demonstram que o sistema apresenta um resultado satisfatório referente ao desempenho térmico, incluindo localidades de clima quente.

Nesse sentido, sabendo que não há estudos sobre o desempenho térmico para cidade de Caruaru/PE e que o sistema de parede de concreto armado *in loco* é usado na cidade

para a construção de habitações de interesse social, principalmente em habitações multifamiliares, percebe-se que há necessidade de desenvolver pesquisas para compreender como esse sistema se comporta no clima da cidade.

Além disso, um dos requisitos da NBR 15.575 (ABNT, 2021) é que a edificação tenha vida útil de 50 anos, assim é importante considerar a influência do clima não apenas no momento da implantação do projeto como também no decorrer do uso e operação da edificação. Visto que a temática do desempenho térmico associado as mudanças climáticas é um campo com oportunidade de pesquisa e com tendência de crescimento, este trabalho pretende analisar e contribuir com esse campo trazendo dados sobre o desempenho de habitação multifamiliar em parede de concreto armado moldado in loco para o clima atual e para os períodos de 2050 e 2080, no município de Caruaru/PE.

Assim, portanto, a revisão literatura aqui apresentada colaborou na definição da metodologia adotada para a avaliação do desempenho térmico, que será conduzida segundo procedimento da norma brasileira de desempenho, NBR 15.575, assim como, para a produção dos arquivos climáticos futuros e sua aplicabilidade no contexto da avaliação de desempenho térmico. Assim, a seguir é apresentada de forma breve a nova versão da NBR 15.575 (ABNT, 2021) e são detalhados o procedimento de simulação computacional.

2.5 NBR 15.575:2021

A NBR 15.575 teve sua primeira versão lançada em 2008 e posteriormente revisada e posta em vigor em 2013, já atual versão da norma passou a vigorar em 30 de março de 2021. Na primeira parte do conjunto de normas ela analisa o desempenho térmico da edificação com o uso de ventilação natural (sem uso de condicionamento do ar) como também para a edificação condicionada artificialmente (uso de condicionadores de ar). O desempenho é dividido em três níveis, mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), e é obrigatório o atendimento ao nível mínimo e facultativo para os outros dois níveis por parte das edificações.

O desempenho térmico é avaliado pelo procedimento simplificado, que compara propriedades físicas e térmicas dos sistemas construtivos constituintes dos ambientes de permanência prolongada (APP), com valores de referência (recomendados segundo a zona bioclimática que a edificação está localizada). Nessa versão houve a inserção da análise dos elementos de transparentes dos APP, que não havia na versão anterior.

Assim como acontecia na versão de 2013, caso a edificação não atenda a algum dos critérios do método simplificado, ela deverá passar pelo procedimento de simulação a fim de

analisar seu desempenho térmico. Além disso, o procedimento simplificado só atende ao nível mínimo, que é obrigatório, os demais também devem ser avaliados por meio de simulação.

O segundo procedimento é o de simulação computacional, que usa modelos digitais para realizar a avaliação de desempenho térmico, sendo possível avaliar a edificação nos três níveis. Para esse procedimento é necessário o uso de um software que atenda a determinados critérios, são eles:

- Estar em conformidade com a ASHRAE 140;
- Ter a possibilidade de modelar os efeitos da inércia térmica e das trocas de calor entre o solo e a edificação;
- Efetuar o cálculo das cargas térmicas latente e sensível;
- Dever ter a capacidade de simular o efeito do sombreamento dos elementos externos às zonas térmicas;
- Dever ser capaz de simular o efeito da ventilação cruzada entre ambientes;
- Deve ter a capacidade de, ao longo das 8.760 horas do ano, calcular as variações de temperatura operativa, cargas térmicas e o uso de ventilação natural da unidade habitacional (UH). Considerando as variações horárias na ocupação e da potência de iluminação e equipamentos nos APPs.

Além dos requisitos de software a norma traz quais são os critérios na escolha do arquivo climático que será usado para representar o clima da cidade onde está localizada a edificação. A norma recomenda o uso de arquivos disponíveis em um base-padrão descrita pela NBR 15.575-1-1(ABNT, 2021). E em caso da cidade não possuir arquivo climático deve-se considerar a distância euclidiana com uma cidade próxima de clima semelhante, ponderando a latitude, a longitude e a altitude.

Algumas características desse arquivo são a existência de valores horários para as 8.760 horas do ano meteorológico típico, fornecendo temperatura média do solo em graus Celsius (°C), temperatura de bulbo seco, temperatura de ponto de orvalho em (°C), umidade relativa em porcentagem (%), pressão atmosférica em Pascal (Pa), radiação (horizontal, normal direta, horizontal difusa e intensidade de radiação horizontal de onda longa) expressas em wats-hora por metro quadrado (Wh/m^2) e informação sobre ventilação (direção em graus (°) em relação ao norte e velocidade em metros por segundo (m/s)).

Vale salientar que o procedimento de medição *in loco* não é referenciado nesta versão da norma. Como o foco deste trabalho é a utilização do procedimento de simulação computacional para a avaliação do desempenho térmico, a seguir é apresentado os

procedimento e critérios da nova versão.

2.5.1 Procedimento da simulação computacional e atendimento aos níveis de desempenho térmico

No método de simulação computacional é necessário produzir dois modelos, sendo um modelo real e outro de referência, que serão usados para comparar o desempenho térmico entre eles durante a análise dos dados. O modelo real deve considerar as características geométricas, as propriedades térmicas e as composições de paredes, coberturas e elementos transparentes da unidade habitacional analisada.

O modelo de referência usa as mesmas características geométricas do modelo real, porém ele possui características e propriedades térmicas de referência, segundo valores de referência determinados pela norma.

Para classificar o desempenho térmico das edificações deve ser feita duas simulações, a primeira com o uso da ventilação natural e a segunda sem o uso da ventilação natural, para a obtenção das cargas térmicas. Para atender o nível mínimo é considerado apenas o uso da ventilação natural. Para o atendimento aos níveis intermediário e superior deve-se simular os ambientes para as duas condições com e sem ventilação natural.

A verificação do atendimento ao nível mínimo é feita por meio da simulação da edificação naturalmente ventilada. A partir dela devem ser obtidos o percentual de horas de ocupação dos APPs que eles estão dentro de uma faixa de temperatura operativa (PHFT_{APP}) e as temperaturas operativas máxima ($To_{Máx., APP}$) e temperaturas operativas mínima ($To_{Mín., APP}$) de cada um dos ambientes de permanência prolongada (APP), ressaltando que temperatura operativa mínima deve ser obtida apenas para as zonas bioclimáticas de 1 a 4.

Para calcular o PHFT é necessário selecionar a faixa de temperatura operativa, que corresponde ao clima da cidade estudada. A faixa de temperatura operativa é dividida em três intervalos e para selecioná-la é preciso determinar o intervalo no qual a média anual da temperatura de bulbo seco (TBS_m) do arquivo climático usado na simulação encontra-se. O quadro 1 apresenta os três intervalos, a TBS anual média e as faixas de temperatura que são usadas para avaliação dos ambientes da edificação.

Quadro 1- Intervalos de temperatura de bulbo seco externa e as faixas de temperaturas operativas para a obtenção do $PHFT_{APP}$.

Intervalos de temperatura externa	Média anual de temperatura de bulbo seco (TBS_m) °C	Faixas de temperatura operativa a ser considerada (°C)
Intervalo 1	$TBS_m < 25,0^\circ\text{C}$	$18,0^\circ\text{C} < T_{OAPP} < 26,0^\circ\text{C}$
Intervalo 2	$25,0^\circ\text{C} \leq TBS_m < 27,0^\circ\text{C}$	$T_{OAPP} < 28,0^\circ\text{C}$
Intervalo 3	$TBS_m \geq 27,0^\circ\text{C}$	$T_{OAPP} < 30,0^\circ\text{C}$

Fonte: Adaptado ABNT 15.575, 2021.

A determinação do $PHFT_{APP}$ e das temperaturas operativas máximas e mínimas (T_{Omin} para as zonas 1 a 4) devem ser obtidas tanto para o modelo real quanto para o modelo de referência, considerando o modelo com ventilação natural e os períodos de ocupação dos APP. A norma recomenda que os resultados devem ser arredondados adotando uma casa decimal. O $PHFT$ dos ambientes de permanência prolongada (APP) é obtido a partir da equação 1 abaixo.

$$PHFT_{APP} = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{ocup}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$PHFT_{APP}$ – É o percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada (APP) dentro da faixa de temperatura, expresso em porcentagem (%);

Nh_{FT} – Representa o número de horas no quais os ambientes de permanência prolongada (APP) estão ocupados e com a temperatura operativa dentro da faixa apresentada no quadro 1;

Nh_{ocup} – Representa o número de horas no quais os ambientes de permanência prolongada (APP) estão ocupados ao longo do ano, onde a ocupação da sala equivale a 2.920 horas e 3.650 horas para os dormitórios.

Depois de determinar o valor do $PHFT$ dos APPs é necessário encontrar o $PHFT_{UH}$ da unidade habitacional, que é obtido através da equação 2:

$$PHFT_{UH} = \frac{\sum_{i=1}^n PHFT_{APP,i}}{n} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$PHFT_{APP}$ – É o percentual de horas de ocupação da unidade habitacional (UH) que está dentro da faixa de temperatura operativa, em porcentagem (%);

$PHFT_{APP,i}$ – Representa o percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada (APP) i dentro da faixa de temperatura operativa, em porcentagem (%);

N – É o número de APP da UH.

A unidade habitacional atenderá ao nível mínimo de desempenho se $\mathbf{PHFT}_{UH,Real}$ for superior à 90% do $\mathbf{PHFT}_{UH,Ref.}$. Além disso, é necessário avaliar as temperaturas operativas máxima ($T_{O_{Máx.,UH}}$) e mínima ($T_{O_{Mín.,UH}}$) da unidade habitacional. Mas antes de obter a temperatura para a UH é necessário obter a temperatura para os APPs. A temperatura operativa máxima do APP, é o maior valor horário de temperatura registrado quando o APP está ocupado.

Sendo assim, a temperatura operativa anual máxima da UH é obtida a partir da comparação entre as temperaturas operativas máximas dos APPs, no qual é adotado o maior valor entre eles. Já a temperatura operativa anual mínima é a comparação entre as temperaturas operativas mínimas dos APPs, onde é adotado o menor valor entre eles. Segundo a norma, a temperatura operativa anual mínima ($T_{O_{Mín.,APP}}$) deve ser obtida apenas para as edificações localizadas nas zonas bioclimáticas 1 a 4, que possuem clima frio.

Tanto a temperatura operativa anual máxima ($T_{O_{Máx.,UH}}$) quanto a temperatura operativa anual mínima ($T_{O_{Mín.,UH}}$) devem ser obtidas para o modelo real e para o modelo de referência. A temperatura operativa anual máxima ($T_{O_{Máx.,UH}}$) deve ser obtidas para todas as zonas e para todos os níveis de desempenho (mínimo, intermediário e superior). Onde a $T_{O_{Máx.,UH}}$ deve ser menor ou igual a temperatura operativa anual máxima após ser acrescido um valor de tolerância ($\Delta T_{O_{Máx.}}$).

Este incremento ($\Delta T_{O_{Máx.}}$) deve ser igual a 2°C para unidades habitacionais unifamiliares, assim como para o pavimento de cobertura de UH em edificações multifamiliares. Para as unidades habitacionais localizadas nos pavimentos térreo e tipo o incremento deve ser igual a 1°C. A equação 3 a seguir é usada para comparar as temperaturas operativas anuais entre o modelo real e de referência.

$$T_{O_{Máx, UH, Real}} \leq T_{O_{Máx, UH, Ref}} + \Delta T_{O_{Máx}} \quad (3)$$

Onde:

$T_{O_{Máx.,UH,Real}}$ – Representa a temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional (UH) do modelo real, em graus Celsius (°C);

$T_{O_{Máx.,UH,Ref.}}$ – Representa a temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional (UH) do modelo de referência, em graus Celsius (°C);

$\Delta T_{O_{Máx.}}$ – Representa o valor de tolerância da temperatura operativa anual máxima, em graus Celsius (°C).

Com relação à tolerância da temperatura operativa anual mínima, equação 4, o incremento ($\Delta T_{oMin.}$) deve ser igual a 1°C para todas as unidades habitacionais avaliadas (unifamiliares ou multifamiliares).

$$T_{oMin\ UH,Real} \leq T_{oMin\ UH,Ref} + \Delta T_{oMin} \quad (4)$$

Onde:

$T_{oMin.,UH,Real}$ – Representa a temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional (UH) do modelo real, em graus Celsius (°C);

$T_{oMin.,UH,Ref.}$ – Representa a temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional (UH) do modelo de referência, em graus Celsius (°C);

$\Delta T_{oMin.}$ – Representa o valor de tolerância da temperatura operativa anual mínima, em graus Celsius (°C).

Além de considerar os critérios da simulação com ventilação natural, usado no nível mínimo, para o nível intermediário e superior é usado a simulação sem ventilação natural. Para esta simulação deve ser determinado o somatório anual dos valores horários da carga térmica de refrigeração ($CgTR_{APP}$). Já para as cidades do intervalo 1 deve ser considerada a carga térmica de aquecimento ($CgTA_{APP}$). Com estes valores é determinado o valor horário anual da carga térmica total UH ($CgTT_{UH}$).

Vale salientar que para ser calculado $CgTR_{APP}$ e $CgTA_{APP}$ o ambiente de permanência prolongada (APP) deve estar ocupado, os valores de saída precisam ser horários. Bem como a temperatura operativa do APP, na simulação com ventilação natural, deve estar dentro do limite de temperatura operativa no quadro 2.

Quadro 2 – Intervalos e valores de temperatura operativa para o cálculo da $CgTR_{APP}$ e da $CgTA_{APP}$.

Intervalos de temperatura externa	Faixa de temperatura operativa para o cálculo da $CgTR_{APP}$	Faixa de temperatura operativa para o cálculo da $CgTA_{APP}$
Intervalo 1	$T_{oAPP} \geq 26,0^{\circ}\text{C}$	$T_{oAPP} \leq 18,0^{\circ}\text{C}$
Intervalo 2	$T_{oAPP} \geq 28,0^{\circ}\text{C}$	Não considera
Intervalo 3	$T_{oAPP} \geq 30,0^{\circ}\text{C}$	Não considera

Fonte: Adaptado ABNT 15.575, 2021.

De forma a atender o nível intermediário e superior, o modelo real deve atender os critérios referente ao desempenho mínimo, como também um incremento no $PHFT_{UH}$ da unidade habitacional ($\Delta PHFT$) e à redução da carga térmica total ($RedCgTT$) do modelo real em relação ao modelo de referência. A equação 5 determina o incremento do $PHFT_{UH\ Real}$ do modelo real em relação ao $PHFT_{UH\ Ref.}$ do modelo de referência.

$$\Delta PHFT = PHFT_{UH,Real} - PHFT_{UH,Ref}. \quad (5)$$

Onde:

$\Delta PHFT$ – Representa o incremento do $PHFT_{UH,Real}$ em relação ao $PHFT_{UH,Ref.}$, em porcentagem (%);

$PHFT_{UH,Real}$ – Representa o percentual de horas de ocupação da unidade habitacional (UH) do modelo real dentro da faixa de temperatura operativa, em porcentagem (%);

$PHFT_{UH,Ref.}$ – Representa o percentual de horas de ocupação da unidade habitacional (UH) do modelo referência dentro da faixa de temperatura operativa, em porcentagem (%);

É importante lembrar que esses valores são estipulados para o modelo real e de referência, e que o atendimento ao nível intermediário e superior não é obrigatório. Para calcular a carga térmica de refrigeração da unidade habitacional ($CgTR_{UH}$) utiliza-se a equação 6:

$$CgTR_{UH} = \sum_{i=1}^n CgTR_{APP,i} \quad (6)$$

Onde:

$CgTR_{UH}$ – Representa a carga térmica de refrigeração da unidade habitacional (UH), em quilowatts-hora por ano (kWh/ano);

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

n – É o número de ambientes de permanência prolongada da unidade habitacional (UH).

Para o intervalo 1 é necessário calcular a carga térmica de aquecimento ($CgTA_{UH}$), que é descrita pela equação 7:

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

Onde:

$CgTA_{UH}$ – Representa a carga térmica de aquecimento da unidade habitacional (UH), em quilowatts-hora por ano (kWh/ano);

$CgTR_{APP,i}$ – Representa a carga térmica de aquecimento do APP i , em quilowatts-hora por ano (kWh/ano);

n – É o número de ambientes de permanência prolongada da unidade habitacional (UH).

Após obter as cargas de aquecimento e refrigeração para os APP, é necessário obter a carga térmica total da unidade ($CgTT_{UH}$). A equação 8 é usada para obter os valores da carga térmica total da unidade habitacional, sendo ela usada para o intervalo 1.

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

Já a equação 9 é usada para os intervalos 2 e 3, os quais não necessita de carga térmica de aquecimento.

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

A redução da carga térmica total da unidade habitacional do modelo real ($CgTT_{UH, Real}$) em relação a carga térmica total da unidade habitacional do modelo de referência ($CgTT_{UH, Ref.}$) é expressa pela equação 10:

$$RedCgTT = \left[1 - \frac{(CgTT_{UH, Real})}{(CgTT_{UH, Ref.})} \right] \times 100 \quad (10)$$

Onde:

RedCgTT – Representa a redução da carga térmica total da unidade habitacional no modelo real em relação ao modelo de referência, em porcentagem (%);

$CgTT_{UH, Real}$ – Representa a carga térmica total da unidade habitacional real, em quilowatts-hora por ano (kWh/ano);

$CgTT_{UH, Ref.}$ – Representa a carga térmica total da unidade habitacional referência, em quilowatts-hora por ano (kWh/ano);

Para verificar o atendimento a estes critérios é necessário verificar a redução de carga térmica total em relação a um valor mínimo ($RedCgTT_{Min.}$). Este valor indica um percentual mínimo de redução da carga térmica total da unidade habitacional ($CgTT_{UH, Real}$) do modelo real em relação a carga térmica total da unidade habitacional ($CgTT_{UH, Ref.}$) do modelo de referência, que a edificação precisa atender para obter o nível intermediário e superior.

A Quadro 3 resume os critérios que devem ser atendidos para se obter os níveis mínimo, intermediário e superior de desempenho térmico.

Quadro 3 – Resumo dos critérios para a obtenção dos níveis mínimo, intermediário e superior de desempenho térmico.

Nível de Desempenho	Crítérios
Mínimo (M)	$PHFT_{UH, Real} > 0,9 \times PHFT_{UH, Ref.}$ $Tomáx_{UH, Real} \leq Tomáx_{UH, Ref.} + \Delta Tomáx$ $Tomín_{UH, Real} \geq Tomín_{UH, Ref.} - \Delta Tomín$ (zona 1 a 4) Não considera RedCgTT
Intermediário (I)	$\Delta PHFT > \Delta PHFT_{min.}$ $Tomáx_{UH, Real} \leq Tomáx_{UH, Ref.} + \Delta Tomáx$ $Tomín_{UH, Real} \geq Tomín_{UH, Ref.} - \Delta Tomín$ (zona 1 a 4) $RedCgTT \geq RedCgTT_{Min.}$
Superior (S)	$PHFT_{UH, Real} > 0,9 \times PHFT_{UH, Ref.}$ $Tomáx_{UH, Real} \leq Tomáx_{UH, Ref.} + \Delta Tomáx$ $Tomín_{UH, Real} \geq Tomín_{UH, Ref.} - \Delta Tomín$ (zona 1 a 4) $RedCgTT \geq RedCgTT_{Min.}$

Fonte: Adaptado ABNT 15.575, 2021.

Os valores usados como $\Delta PHFT_{min.}$ e $RedCgTT_{Min.}$ para a obtenção nível intermediário, tabela 1, e nível superior, tabela 2, devem ser analisados a partir dos valores de $PHFT_{UH, Ref.}$ e do $CgTT_{UH, Ref.}$ do modelo de referência.

Quadro 4- Critérios de incremento mínimo do $PHFT_{UH, Real}$ e redução mínima da $CgTT_{UH, Real}$ para a obtenção do nível intermediário de desempenho térmico.

Crítérios		Tipologia			
		Unifamiliar	Multifamiliar		
			Pavimento Térreo	Pavimento Tipo	Pavimento Cobertura
$PHFT_{UH, Ref.} (%)$	$CgTT_{UH, Ref.} / A_{p, UH}$ kWh/(ano.m ²)	$\Delta PHFT_{Min.} (%)$			
$PHFT_{UH, Ref.} < 70%$	Todos os valores	Obtido do ábaco ou das equações da Figura 1.			
$PHFT_{UH, Ref.} \geq 70%$	Todos os valores	0	0	0	0
$PHFT_{UH, Ref.} (%)$	$CgTT_{UH, Ref.} / A_{p, UH}$ kWh/(ano.m ²)	$RedCgTT_{Min.} (%)$			
$PHFT_{UH, Ref.} < 70%$	Todos os valores	0	0	0	0
$PHFT_{UH, Ref.} \geq 70%$	$CgTT_{UH, Ref.} / A_{p, UH} < 100$	17	15	22	15
	$CgTT_{UH, Ref.} / A_{p, UH} \geq 100$	27	20	25	20

Fonte: Adaptado ABNT 15.575, 2021.

Para escolher o valor do incremento $\Delta PHFT_{min.}$ adequadamente é preciso determinar a relação entre $CgTT_{UH, ref}$ e $A_{p, UH}$, onde $A_{p, UH}$ é a soma das áreas dos pisos de todos os APP da UH, expresso em metros quadrados (m²).

Quadro 5- Critérios de incremento mínimo do $PHFT_{UH, Real}$ e redução mínima da $CgTT_{UH, Real}$ para a obtenção do

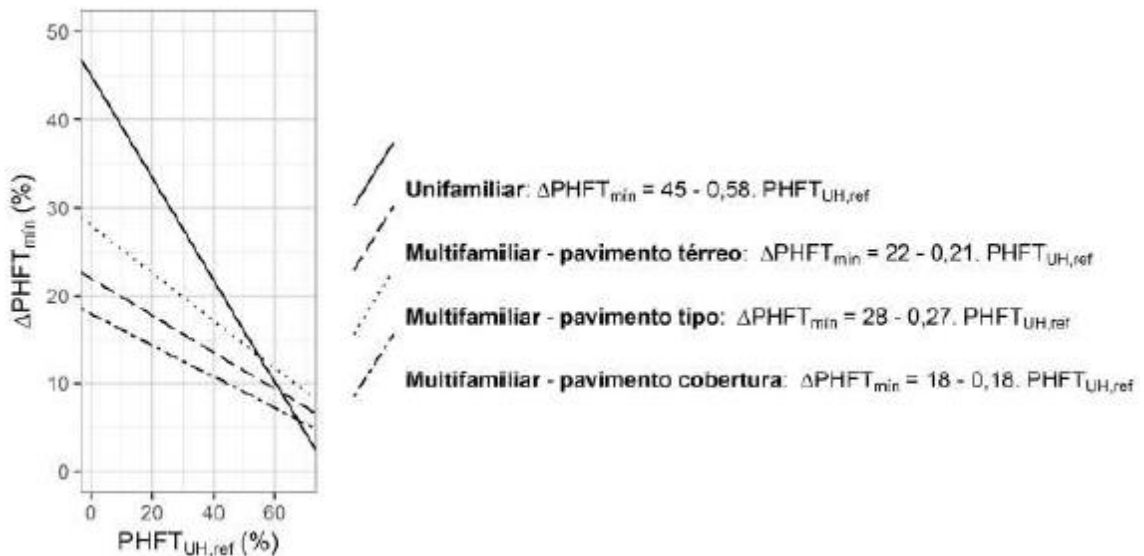
nível superior de desempenho térmico.

Critérios		Tipologia			
		Unifamiliar	Multifamiliar		
			Pavimento Térreo	Pavimento Tipo	Pavimento Cobertura
$PHFT_{UH,Ref.} (%)$	$CgTT_{UH,Ref.} / A_{p,UH}$ kWh/(ano.m ²)	$\Delta PHFT_{Min.} (%)$			
$PHFT_{UH,Ref.} < 70\%$	Todos os valores	Obtido do ábaco ou das equações da Figura 1.			
$PHFT_{UH,Ref.} \geq 70\%$	Todos os valores	0	0	0	0
$PHFT_{UH,Ref.} (%)$	$CgTT_{UH,Ref.} / A_{p,UH}$ kWh/(ano.m ²)	$RedCgTT_{Min.} (%)$			
Todos os valores	$CgTT_{UH,Ref.} / A_{p,UH}$ < 100	35	30	45	30
	$CgTT_{UH,Ref.} / A_{p,UH}$ ≥ 100	55	40	50	40

Fonte: Adaptado ABNT 15.575, 2021.

Quando o valor de $PHFT_{UH,Ref.}$ for menor que 70%, deverá ser consultado o ábaco da Figura 1 para determinar os valores ou deverão ser usadas as equações referentes ao tipo de edificação e/ou pavimento que se encontra a UH.

Figura 4- Equações e ábaco para a obtenção do $\Delta PHFT_{min}$ quando o $PHFT_{UH,Ref.}$ for inferior a 70%.



Fonte: ABNT 15.757, 2021.

No método de simulação computacional ainda são definidos outros valores como as propriedades físicas do modelo de referência, os padrões de ocupação e iluminação, taxa metabólica e fração radiante dos ocupantes, densidade de carga e potência instalada da iluminação e dos equipamentos presentes nos ambientes de permanência prolongada. Esses

detalhes são abordados na seção 3.4 referentes as propriedades termo físicas do objeto de estudo do modelo de referência e configuração da simulação no capítulo 3.

3 MATERIAIS E METÓDOS

A caracterização de uma pesquisa acadêmica envolve diferentes abordagens, que depende dos objetivos e métodos usados. Os três tipos mais comuns de abordagem são a pesquisa aplicada, a descritiva e a exploratória. A pesquisa de abordagem aplicada é realizada com o objetivo de gerar conhecimento que possa ser aplicado na solução de problemas práticos ou no desenvolvimento de novas tecnologias (SMITH, 2010).

A pesquisa descritiva busca descrever características, fenômenos ou relações existentes em um determinado contexto, sem se aprofundar nas causas ou explicação dos fenômenos observados (JOHNSON *et al.*, 2015). Por fim, a pesquisa exploratória tem como objetivo explorar um determinado assunto ou problema de pesquisa que ainda não foi suficientemente compreendido ou investigado, permitindo ao pesquisador gerar *insights* e hipóteses para pesquisas futuras (CRESWELL, 2013).

Assim, este trabalho é uma pesquisa de abordagem aplicada uma vez que se propõe gerar dados sobre o desempenho térmico do sistema de parede de concreto moldado *in loco* na cidade de Caruaru/PE, além de poder usar os dados para compreender o comportamento térmico e do sistema com relação as condições climáticas atual e futura na cidade.

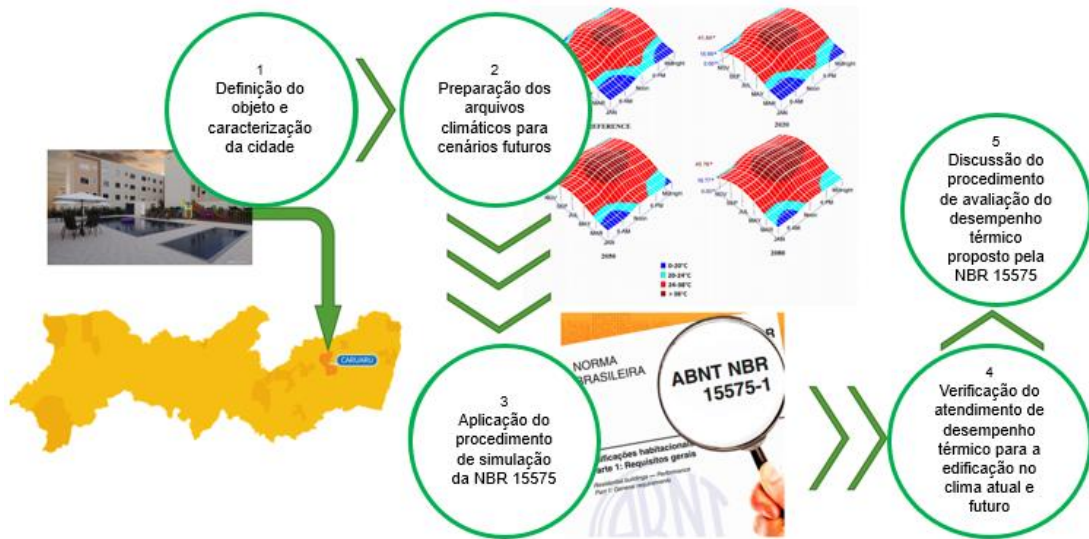
É importante destacar que os tipos de pesquisa não são mutuamente excludentes, e uma pesquisa pode combinar elementos de pesquisa aplicada, descritiva e exploratória, dependendo dos objetivos e da natureza da investigação (CRESWELL, 2013).

Assim, esta pesquisa tem objetivo descritivo e exploratório uma vez que procurou compreender o contexto e as relações entre as variáveis estudadas, assim como explorar o tema do desempenho térmico para uma cidade que ainda não dispõe de estudos semelhantes a este. Ela é uma pesquisa quantitativa visto que ela se baseia na coleta e análise de dados numéricos, utilizando técnicas estatísticas e matemáticas (CRESWELL, 2013).

Assim, neste capítulo serão apresentados os materiais e os procedimentos metodológicos utilizados para a avaliação do desempenho térmico de habitações multifamiliares de concreto armado moldado *in loco* empregadas do Programa Minha Casa Minha Vida, no município de Caruaru-PE.

Para o desenvolvimento desta pesquisa as etapas desenvolvidas estão apresentadas na Figura 5.

Figura 5- Etapas do procedimento metodológico.

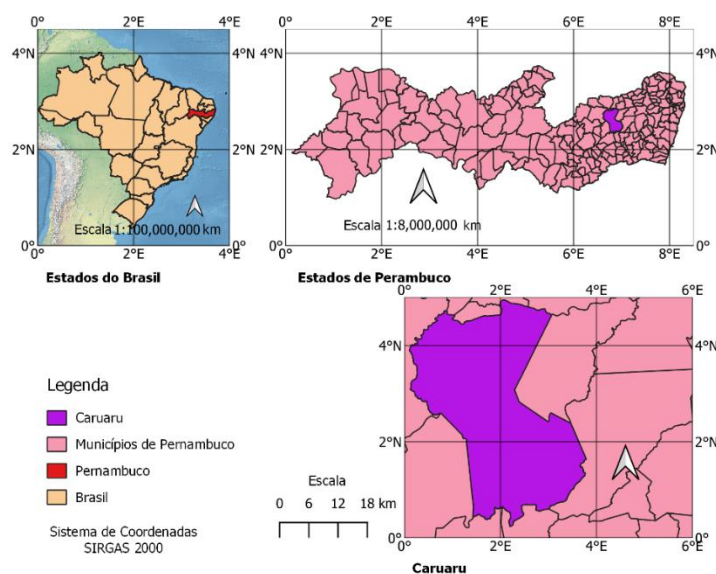


Fonte: Autora, 2023.

3.1 Caracterização de Caruaru

Caruaru está localizada a 135km de Recife, a capital do estado de Pernambuco, situada na mesorregião do agreste pernambucano na microrregião do Vale do Ipojuca, conforme Figura 6. A cidade está a uma altitude de 545 metros acima do nível do mar, a 8,24°S de latitude e 35,99°O de longitude. Conforme classificação de Köppen, possui clima de estepe quente de baixa latitude e altitude ou semiárido (BSh), caracterizado por verões quentes e secos e invernos amenos e chuvosos (ALVARES *et al.*, 2013; IBGE, 2023).

Figura 6- Mapa de localização de Caruaru-PE.



Fonte: Adaptado IBGE, 2023.

A temperatura média anual é de 22,6°C, com variação entre 20,6°C e 24,1°C. Conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Tabela 1, é possível verificar que as temperaturas mais baixas ocorrem entre os meses de maio e agosto, período caracterizado pelo outono e inverno na região. Durante este período também é possível verificar a ocorrência dos maiores volumes de precipitação, com valores variando entre 97,6mm a 134,7mm entre março e julho, período que também tem as maiores taxas de umidade relativa do ar (INMET, 2023).

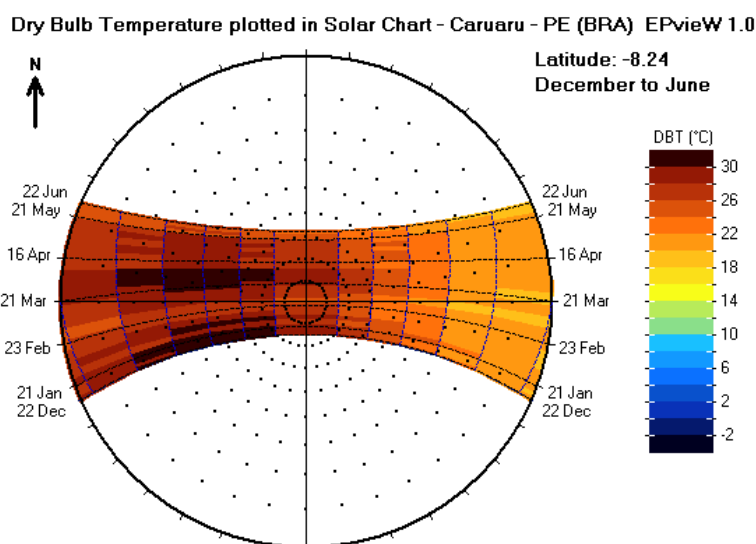
Tabela 1- Valores das normais climatológicas de Caruaru/PE entre 1961-1990.

Variável	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out	Nov.	Dec.	Ano
T_{Mínima} (°C)	19,7	19,8	20,1	20	19,3	18,4	17,3	17,4	17,9	18,6	19,3	19,6	18,95
T_{Média} (°C)	23,9	24,1	24,1	23,6	22,7	21,6	20,6	20,9	21,7	23,1			22,63
T_{Máxima} (°C)	29,7	30	29,3	28,4	27,1	25,4	24,4	25,4	26,8	29,1	30,1	30,4	28,01
U_{Relativa} (%)	75,1	75,2	78,6	81,3	83,1	85,7	85,8	83,8	79,9	74,9			80,34
Precip. (mm)	63,1	35	97,6	116	80,2	115,7	134,7	45,5	25,2	11,4	9,6	30,1	63,68

Fonte: INMET, 2023.

A Figura 7 mostra a carta solar da cidade, elaborada no Software EPview, usando o arquivo climático disponível no site do Laboratório de Eficiência Energética (LabEEE). É possível no site encontrar os arquivos climáticos para 411 municípios brasileiros, esses arquivos foram elaborados tendo como base dados disponibilizados pelo INMET (RORIZ, 2012).

Figura 7- Carta Solar com temperaturas de bulbo seco para Caruaru/PE.



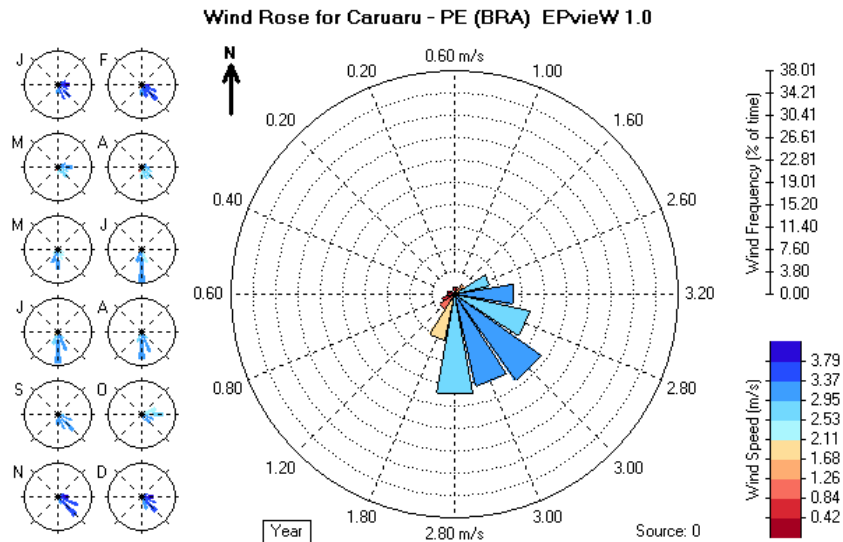
Fonte: Software EPview, 2023.

Analisando a carta solar é possível ver que as maiores temperaturas são registradas entre outubro e março, coincidindo com a primavera e o verão na região. As temperaturas seguem a tendência das normais climatológicas apresentadas na tabela 1. O nascer do sol acontece por volta das 5:30 da manhã e o pôr do sol acontece por volta das 6:30 da noite, e os

horários com as maiores temperaturas ocorrem entre 11h e 17h, e a temperatura de bulbo seco pode ultrapassar os 30°C.

A Figura 8 mostra a rosa dos ventos para o município. A ventilação predominante tem direção Sul e Sudeste, com frequência máxima de 19,0%. Porém, nos primeiros quatro meses do ano é possível notar ventos na direção leste e nordeste, com frequência máxima de 11,4%. A velocidade média mensal dos ventos varia entre 0,8 m/s e 2,9m/s.

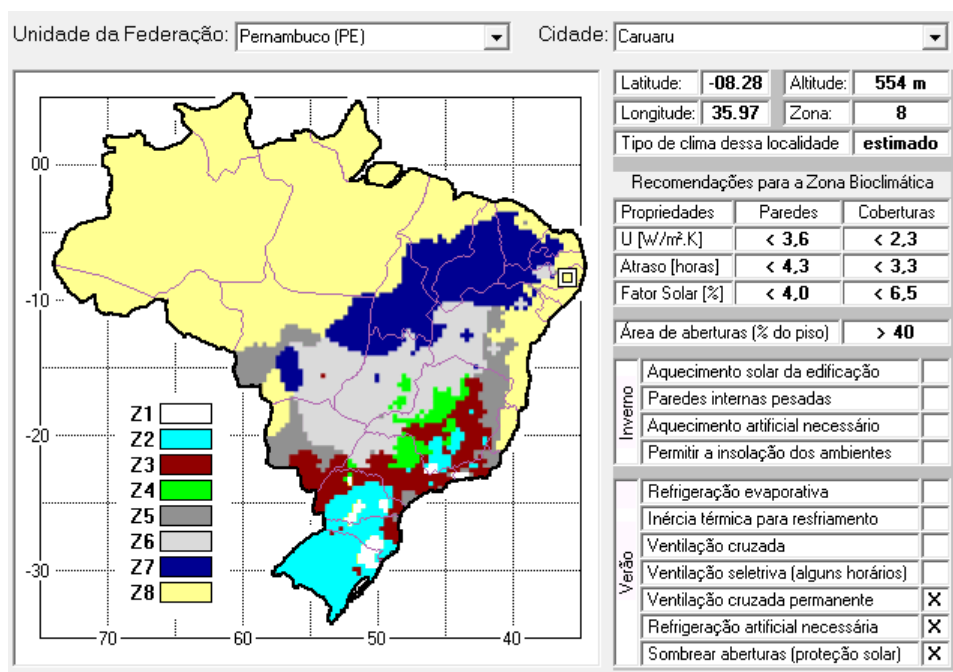
Figura 8 - Rosa dos Ventos para a cidade de Caruaru/PE.



Fonte: Software EPview, 2023.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) divide o Brasil em oito zonas bioclimáticas, Figura 9, já o município de Caruaru encontra-se na zona bioclimática 8, que é a maior zona e abrange cerca de 54% do território nacional. A norma traz diretrizes construtivas para cada uma das oito zonas, que funcionam como recomendação para alcançar um melhor desempenho térmico nas edificações.

Figura 9 - Divisão bioclimática brasileira conforme ABNT 15.220-3 (ABNT, 2005).



Fonte: Software ZBBR, 2023.

A Figura 9 mostra algumas das recomendações para a cidade de Caruaru. São elas: a existência de grandes aberturas para a ventilação, ventilação cruzada permanente para reduzir o desconforto por calor. Além disso as aberturas devem ser sombreadas a fim de evitar o ganho calor devido ao excesso de radiação solar incidente.

Além disso, é recomendado o uso da refrigeração artificial quando necessário, ou seja, nos momentos nos quais a ventilação natural não consegue manter o ambiente termicamente confortável. É possível perceber que todas as recomendações são feitas para o verão e que não há nenhuma feita para o inverno, o que sugere que na cidade o desconforto se dá mais pelo calor do que pelo frio, isso também pode ser inferido após a análise dos dados climáticos mostrados acima.

A Figura 9 mostra ainda algumas propriedades recomendadas para as vedações externas (paredes e coberturas), onde a transmitância térmica (U) deve ser menor que 3,6 W/m².k para as paredes e menor que 2,3 W/m².k para a cobertura. Já o atraso térmico (ϕ) para as paredes deve ser menor que 4,3 horas e menor que 3,3 horas para as coberturas. A NBR 15.220-3 (ABNT, 2005), sugere que as vedações devem ser leves e refletoras.

Nesse sentido, uma das configurações possíveis proposta pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) é a parede simples de tijolo de seis furos quadrados assentados na maior dimensão com espessura total da parede de 19cm. Essa parede possui uma transmitância térmica (U) de 2,0 W/m².k, capacidade térmica (C_T) de 192 kJ/m².K e atraso térmico (ϕ) de 4,5 horas.

Com relação a cobertura, uma das configurações possíveis seria o uso de telha de barro com forro de laje mista, que possui os seguintes valores de propriedades termo físicas: $U = 1,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$, $C_T = 113 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$ e $\phi = 3,6$ horas.

Ao comparar a configuração sugerida pelo programa, que tem como base a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), com as propriedades da parede de concreto de 10cm de espessura: $U = 4,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$, $C_T = 240 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$ e $\phi = 2,7$ horas, conclui-se que esse sistema não é adequado para uma cidade localizada na zona 8, como Caruaru.

3.2 Caracterização do objeto de estudo

Para este trabalho foi elaborado um modelo de habitação multifamiliar baseado em um projeto existente feito por uma construtora de abrangência nacional de grande porte, subsidiária de programas habitacionais, como o Minha Casa Minha Vida. Este modelo trata-se de um projeto padrão que é replicado em todo o território nacional, como pode ser visto na Figura 10, onde é possível ver duas implantações do projeto em diferentes localidades. Uma das cidades é Caruaru/PE e a outra cidade é Franca/SP.

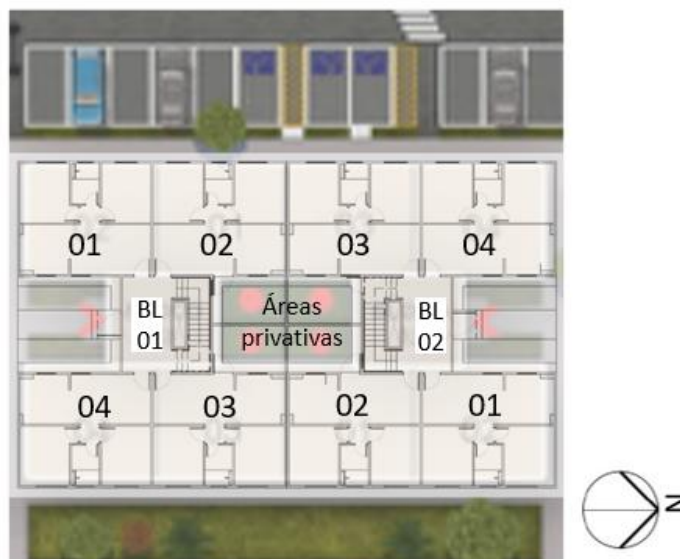
Figura 10 - Exemplo de projeto padrão de habitação multifamiliar em duas cidades brasileiras.



Fonte: Adaptado de <https://www.mrv.com.br/> Acesso em fev., 2022.

O atual sistema construtivo adotado pela empresa para este tipo de projeto é o de sistema de paredes estruturais em concreto armado moldado in loco. O edifício em questão faz parte do modelo popular elaborado pela construtora e designado ao financiamento no mercado imobiliário, cuja tipologia é “H”, porém os blocos são geralmente construídos em forma de “duplo-H”, conforme Figura 11.

Figura 11 – Distribuição das unidades habitacionais na tipologia "duplo-H".



Fonte: Adaptado de <https://www.mrv.com.br/> Acesso em fev., 2022.

Cada torre é composta de quatro pavimentos (térreo + três pavimentos) com quatro unidades habitacionais por pavimento, totalizando 16 apartamentos por bloco. Os apartamentos têm área total variando entre 42,0m² e 45,3m². As unidades de 42,0m² são contabilizadas a área vaga de garagem e área do apartamento padrão que é composto por dois quartos, banheiro, uma sala de jantar/jantar integrada com cozinha/área de serviço.

Os apartamentos do térreo, de 45,3m², além de contabilizarem a área da vaga de garagem e a área do apartamento padrão, contabilizam também a área privativa a unidade, que é uma área descoberta que fica no meio dos dois blocos, conforme Figura 11 e Figura 12.

Figura 12 - Planta Baixa do objeto de estudo.



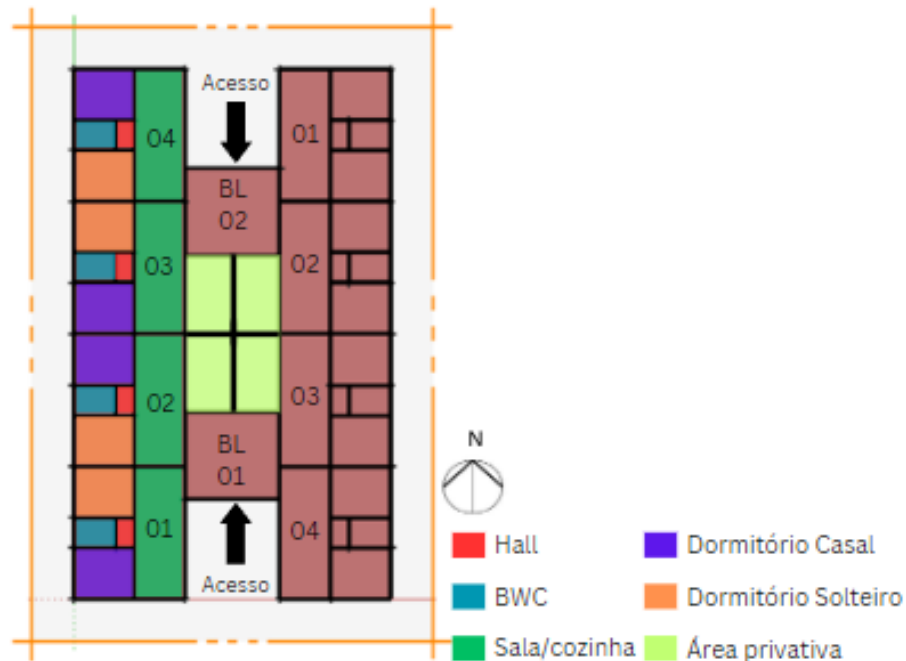
Fonte: Adaptado de <https://www.mrv.com.br/> Acesso em fev., 2022.

As unidades do térreo de finais 02 e 03, possuem uma área privativa delimitada por muro e sem cobertura, como pode ser visto na Figura 11 e na Figura 12.

3.3 Modelagem do objeto de estudo e do modelo de referência

A edificação foi modelada usando o software Sketchup® 2017 com o auxílio do plugin OpenStudio® versão 2.7. Cada unidade habitacional (UH) teve seus cômodos modelados em zonas térmicas (ZT), onde cada UH tem cinco zonas térmicas: dormitório casal, dormitório solteiro, hall, banheiro e sala/cozinha, Figura 13.

Figura 13 - Setorização da edificação.



Fonte: Autora, 2023.

Das cinco zonas térmicas elaboradas nas unidades habitacionais (UH) só serão analisadas três, dormitório casal, dormitório solteiro e sala/cozinha, esses cômodos são denominados pela NBR 15.575 (ABNT, 2021) como ambientes de permanência prolongada (APP). No entanto, o banheiro e o hall são definidos pela NBR 15.575 (ABNT, 2021) como ambientes de permanência transitória (APT), esses ambientes não são considerados na simulação de acordo com a norma.

Conforme capacitação sobre o procedimento de simulação computacional da seção de desempenho térmico, ofertado no canal do Youtube doo LabEEE, quando os ambientes que não possuem fechamento do piso ao teto podem compor um único APP. Considerando essa possibilidade e analisando a planta do objeto de estudo onde a sala estar/jantar e a cozinha/área de serviço não possuem fechamento do piso ao teto separando-as, esses cômodos foram considerados como um ambiente de permanência prolongada (APP) tipo sala, Figura 14. Sendo assim, os dados usados são baseados na configuração do APP sala, conforme norma NBR 15.575 (ABNT, 2021).

Figura 14 - Divisão dos cômodos em APP e APT.

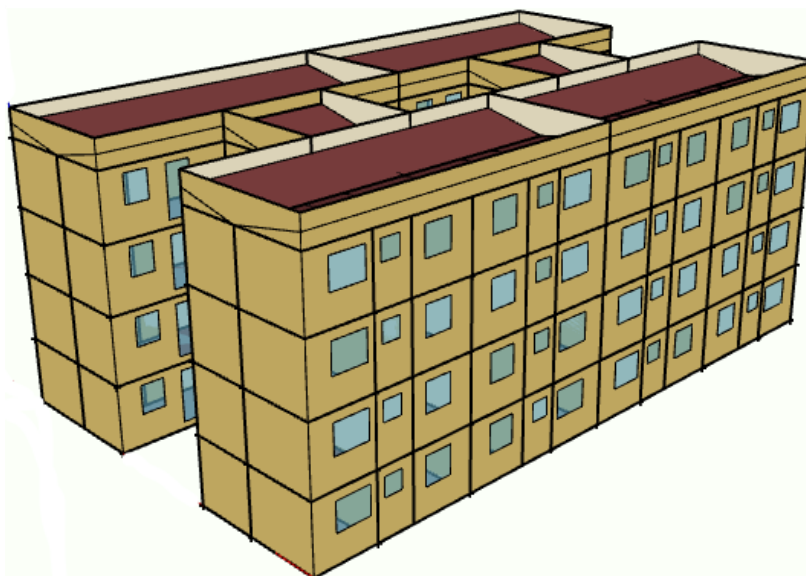


Fonte: Autora, 2023.

Além disso, a área privativa que pertence as unidades de final 02 e 03 no pavimento térreo, Figura 13, não foram modeladas como zona térmica, pois são áreas divididas apenas por muros e não possuem cobertura.

Além disso, a tipologia estudada possui quatro pavimento (térreo + três pavimentos), como pode ser visto na Figura 15. Para edifícios multifamiliares a norma discorre que a modelagem deve considerar todas as unidades habitacionais (UHs) dos pavimentos térreo, tipo e cobertura. Porém, os pavimentos tipo idênticos (geometria e característica construtiva) podem ser modelados uma única vez (ABNT, 2021). Neste trabalho optou-se por modelar e simular todos os pavimentos.

Figura 15 - Modelo da edificação multifamiliar usado na simulação computacional.



Fonte: Autora, 2023.

A fim de realizar o procedimento de avaliação conforme orientação da NBR 15.575 (ABNT, 2021) foi elaborado um modelo de referência, este modelo possui as mesmas características geométricas do modelo real, porém com algumas alterações nas aberturas (percentual de abertura para ventilação e elementos transparentes) e nas características termo físicas do sistema construtivo conforme valores solicitados pela norma. As outras características espaciais, de entorno e ocupação são iguais em ambos os modelos (ABNT, 2021). O modelo de referência é detalhado na subseção 3.4.2.

3.4 Configuração das propriedades dos modelos para a simulação

Para realizar a simulação foi escolhido o software Energyplus® versão 9.2, visto que é um dos softwares que atende aos requisitos da norma simulando as variações de temperatura operativa dos ambientes, das cargas térmicas de aquecimento e refrigeração e ventilação ao longo das 8.760 horas do ano (ABNT, 2021).

Além da análise dos condicionantes ambientais deve-se estudar os materiais e os componentes construtivos a serem empregados no edifício (LAMBERTS; DUTRA E PEREIRA, 2014), uma vez que eles compõem a envoltória dele e estão em contato direto com as intempéries do ambiente externo. A seguir serão apresentadas as propriedades termo físicas do modelo real e modelo de referência.

3.4.1 Propriedades termo físicas do modelo real

O Quadro 6 apresenta os materiais usados no modelo real e os valores das propriedades termo físicas, que foram obtidos na norma NBR 15.220-2 e NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). Alguns valores como a emissividade e absorptância foram adaptados para simular condição mais próxima ao real, visto que o concreto está finalizado com uma pintura de cor clara.

Quadro 6 – Propriedades termo físicas do modelo energético.

	Concreto - parede (int. e ext.), piso e lajes	Argamassa	Cerâmica piso	Gesso	Telha de aço	EPS - junta de dilatação	Madeira porta
e (m)	0,1	0,01	0,01	0,01	0,005	0,02	0,03
λ W/(m.K)	1,75	1,15	0,9	0,35	55	0,04	0,15
δ (kg/m³)	2200	2000	1600	1000	7800	35	650
c. J/(kg.K)	1000	1000	920	840	460	1420	2300
ϵ	0,9	0,95	0,9	0,9	0,25	0,9	0,9
α	0,5	0,8	0,2	0,2	0,25	0,2	0,7

Fonte: Adaptado de NBR 15.220-2 e NBR 15.220-3 (ABNT, 2005).

Como visto na seção de modelagem do objeto de estudo, as torres são conectadas formando uma área privativa no centro, assim entre as paredes dos blocos foi considerada uma junta de dilatação em EPS. Tanto o EPS como o gesso tiveram valores de emissividade e absorptância iguais a cor de pintura branca. Já a madeira usada nas portas teve estes valores considerando a pintura vermelha (ABNT, 2005).

O telhado é composto por telha metálica, manta metálica e câmara de ar. Para a câmara de ar adotou-se uma resistência térmica de $0,21\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, conforme NBR 15.220-2 (ABNT, 2005). Além disso, é empregado uma manta metálica no telhado do modelo real, porém a norma NBR 15.220-2 (ABNT, 2005) não traz valores para este material, assim foi considerado o valor que a NBR 15.575 (ABNT, 2021) estabelece para o isolamento do telhado no modelo de referência, Quadro 7. Ressaltando que a norma recomenda o uso desse isolamento apenas para a zona bioclimática 8.

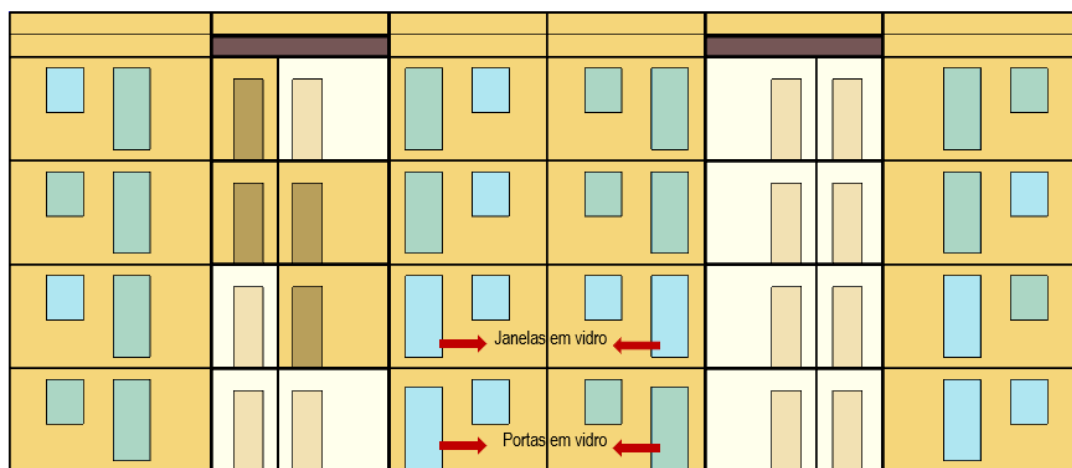
Quadro 7 - Elemento de isolamento térmico para cobertura indicado para ZB 8.

Elemento	Resistência Térmica (m ² .K)/W	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa
Isolamento térmico	0,67	0,70	0,90

Fonte: Adaptado de NBR 15.575 (ABNT, 2021).

As portas dos APP do modelo real são de madeira. Não foi possível verificar os dados técnicos relacionados a abertura para ventilação no objeto de estudo real, por isso foi considerado uma abertura de 90% para a ventilação natural nas portas, conforme orientação do guia brasileiro de esquadria com foco em eficiência energética (SINDUSCON, 2018). As unidades de final 02 e 03 no térreo, possuem portas de vidro com caixilho em alumínio, essas portas dão acesso as áreas privativas das unidades do térreo. Já nos pavimentos superiores as portas são substituídas por janelas de correr na sala, conforme Figura 16.

Figura 16- Portas de vidro das unidades térreo.



Fonte: Autora, 2023.

As janelas dos dormitórios, da sala e da cozinha do modelo real são compostas por duas folhas de vidro incolor simples com espessura de 3mm, com caixilhos em alumínio pintados na cor branca. Assim como aconteceu para as portas, não foi possível checar na edificação real o percentual de abertura para ventilação e iluminação. Dessa forma, foi considerado o valor de 45% de sua dimensão para a ventilação natural e 80% da abertura para a iluminação natural, de acordo com o guia brasileiro de esquadria com foco em eficiência energética (SINDUSCON, 2018). Com relação as propriedades físicas do vidro, foi considerado os valores pré-configurados da biblioteca de vidros do software EnergyPlus.

3.4.2 Propriedades termo físicas do modelo de referência

A norma determina que o modelo de referência deve ter a mesma volumetria que o modelo real, com exceção de elementos de sombreamento, que devem ser removidos no modelo de referência e das aberturas que devem ser redimensionadas para valores estabelecidos na norma. As propriedades termo físicas do modelo de referência deve atender aos valores determinados pela norma, conforme Quadro 8.

É possível perceber que os valores usados pela NBR 15.575 (ABNT, 2021) para a envoltória do modelo de referência coincidem com os valores de paredes de concreto maciço de 10cm. Assim, o modelo de real que tem a envoltória de parede de concreto será comparado com um modelo de referência que também tem as mesmas propriedades termo físicas.

Quadro 8 - Propriedades termo físicas do modelo de referência.

	Parede externa	Parede interna	Piso	Telha 6mm	Laje 100mm
Condutividade térmica (λ) W/(m.K)	1,75	1,75	1,75	0,65	1,75
Calor específico (c) J/(kg.K)	1000	1000	1000	840	1000
Densidade (δ) (kg/m³)	2200	2200	2200	1700	2200
Absortância à radiação solar (α)	0,58	valor modelo real	valor modelo real	0,65	valor modelo real
Emissividade de onda longa (ϵ)	0,9	valor modelo real	valor modelo real	0,9	valor modelo real

Fonte: Adaptado de NBR 15.575 (ABNT, 2021).

Além disso, a norma recomenda que o percentual de abertura das esquadrias para ventilação deve ser igual a 45% da área do elemento transparente, de forma a atingir 7,65% da área do piso da APP, conforme Quadro 9. E que o percentual de elemento transparente para a iluminação deve ser igual a 17% da área do piso da APP. Além disso, os vidros devem ter fator solar (FS) de 0,87 e transmitância térmica de 5,70 W/(m².K), como pode ser visto no Quadro 9.

Quadro 9 - Características e propriedades dos elementos transparentes do modelo de referência.

Características dos elementos transparentes das esquadrias no modelo de referência				
Elemento	Fator Solar (FS)	Transmitância Térmica (U) W/(m².K)	Percentual de elementos transparentes (P_{t,APP}) (%)	
Elementos transparentes	0,87	5,70	17,00	
Percentual de abertura para ventilação nas esquadrias no modelo de referência				
Elemento	Percentual de abertura para Ventilação (P_{v,APP}) (%)			
Abertura para ventilação	7,65			
Características dos perfis das esquadrias no modelo de referência				
Elemento	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	Transmitância Térmica (U) W/(m².K)	Largura dos perfis (mm)
Perfis das esquadrias	0,58	0,90	56,00	50,00

Fonte: Adaptado de NBR 15.575 (ABNT, 2021).

Considerando os percentuais recomendados pela norma, as esquadrias dos APP no modelo de referência precisaram ser redimensionadas. Por exemplo, a janela do dormitório de solteiro tinha área de elemento transparente igual a 1,61m², após o redimensionamento ela passou a ter área de elemento transparente igual a 1,44m², atendendo ao percentual de 17,0% de elemento transparente, como visto no Quadro 10.

Quadro 10 - Modificações das esquadrias no modelo de referência para o atendimento aos critérios da NBR 15.575.

	Área nominal esquadrias do modelo real	Área de elemento transparente no modelo real	Percentual de elemento transparente no modelo real	Área do elemento transparente do modelo de ref., (17% de elemento transparente)	Percentual de Ventilação do modelo de ref. com 17% de elemento transparente
Sala/ Cozinha	3,40m ²	3,00m ²	17,0%	3,00m ²	7,7%
Porta/janela – área privativa/Cozinha	3,30m ²	2,82m ²	16,1%	2,98m ²	7,7%
Dormitório solteiro	1,44m ²	1,27m ²	15,8%	1,37m ²	7,7%
Dormitório Casal	1,80m ²	1,61m ²	19,0%	1,44m ²	7,7%

Fonte: Adaptado NBR 15.575 (ABNT, 2021).

Como a sala e a cozinha são considerados um único APP (tipo sala), foi somada a área das esquadrias e área de elemento transparente dos dois cômodos para obter a área de elemento transparente do APP. As unidades do pavimento tipo e cobertura, que possuem janelas de correr na sala e na cozinha, alcançaram o percentual de 17% de área de elemento transparente e por isso elas permaneceram sem alteração.

No entanto as esquadrias da sala e cozinha referente as unidades habitacionais de final 02 e 03 do térreo, que são compostas por uma porta de giro na sala e uma janela de correr na cozinha, sofreram alteração, pois elas não atingiam o percentual de 17,0% de área de elemento transparente. Foi somado a área de elemento transparente duas esquadrias obtendo-se o valor de $2,82\text{m}^2$, após o redimensionamento elas passaram a ter área de elemento transparente igual a $2,98\text{m}^2$, como pode ser visto no Quadro 10. Essa modificação foi transferida de forma proporcional para as duas janelas durante a modelagem do modelo de referência.

Os ambientes de permanência transitória (APT), permaneceram com a mesma configuração do modelo real. Dentro da unidade habitacional o único cômodo que se enquadra como APT é o banheiro, que possui uma janela tipo Maxim-ar, sendo essa esquadria usada em ambos os modelos.

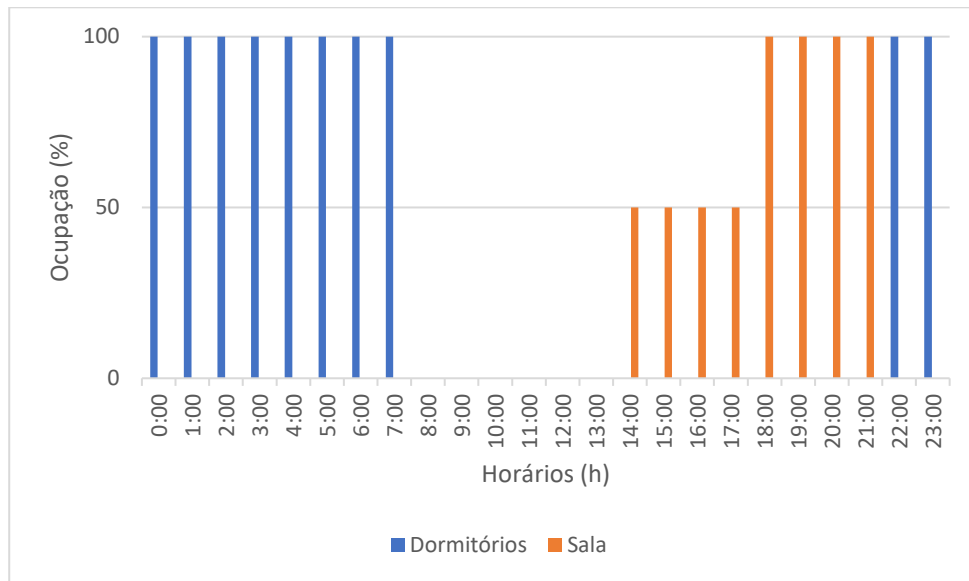
Como mencionado na subseção anterior, deve ser acrescentado um isolamento térmico a cobertura do modelo de referência, caso ele esteja localizado na zona bioclimática 8. Como Caruaru está localizada na zona 8 será acrescentado o isolamento cujas propriedades estão expressas no Quadro 7 da subseção 3.4.1.

3.4.3 Padrões de ocupação, iluminação e demais configurações para os modelos real e referência

Um dos requisitos para a avaliação do desempenho térmico da edificação é que os ambientes permanência prolongada (APPs) devem possuir um padrão para a ocupação, iluminação e uso dos equipamentos elétricos. O primeiro padrão, ocupação, determina quais são os horários nos quais o ambiente está ocupado e se a quantidade de ocupantes é máxima ou não. Vale salientar que estes padrões devem ser determinados para ambos os modelos (real e referência).

A Figura 17 apresenta a ocupação dos dormitórios no período das 00:00hrs às 07:59hrs e das 22:00hrs às 23:59hrs, ambos com 100% de ocupação. A ocupação da sala e cozinha (sala) das 14:00hrs às 17:59hrs com 50% da ocupação do cômodo e das 14:00 às 23:59hrs com 100% da ocupação.

Figura 17 - Padrão de ocupação dos dormitórios e sala.



Fonte: Adaptado de NBR 15.575 (ABNT, 2021).

É adotada a ocupação de duas pessoas por dormitório, onde o valor de ocupação máxima da sala depende do número de dormitórios, porém o valor máximo de ocupação da sala não deve ultrapassar quatro pessoas e a do quarto duas.

O Quadro 11 apresenta o calor dissipado e a fração radiante para os ambientes de permanência prolongada (APP). Esses valores foram considerados para todo o ano. Para a sala/cozinha dos modelos real de referência foram utilizados os valores do APP tipo sala considerando as pessoas sentada ou assistindo TV.

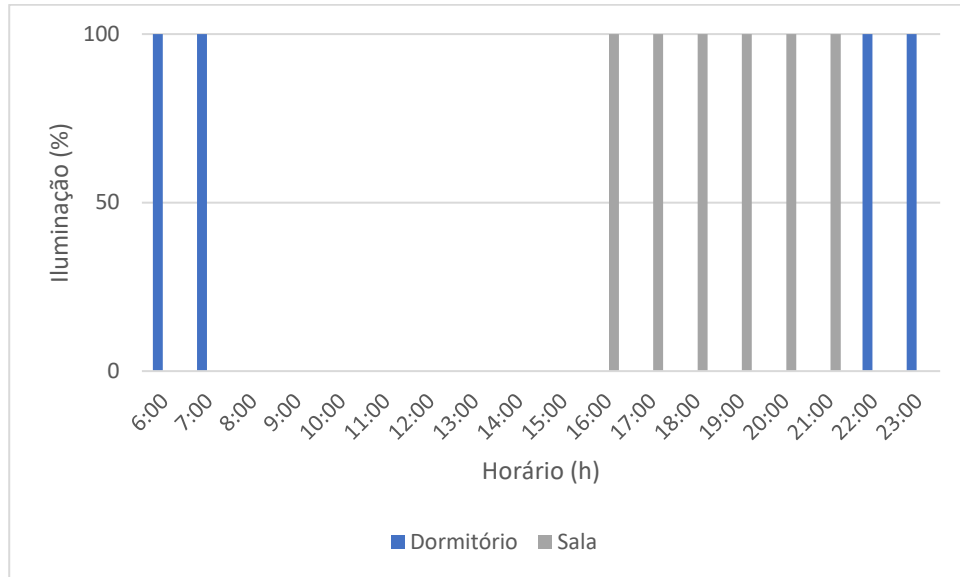
Quadro 11 - Taxa metabólica e fração radiante para os ocupantes do APPs.

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido por área de superfície corporal (W/m^2)	Calor produzido por uma pessoa com $1,80 m^2$ de área de superfície corporal (W)	Fração radiante
Dormitório	Dormindo ou descansando	45	81	0,30
Sala	Sentada ou assistindo TV	60	108	0,30
Uso Misto	Dormindo ou descansando	45	81	0,30
	Sentada ou assistindo TV	60	108	0,30

Fonte: Adaptado NBR 15.575 (ABNT, 2021).

A Figura 18 apresenta o padrão de uso da iluminação para os dormitórios e para sala/cozinha (APP tipo sala).

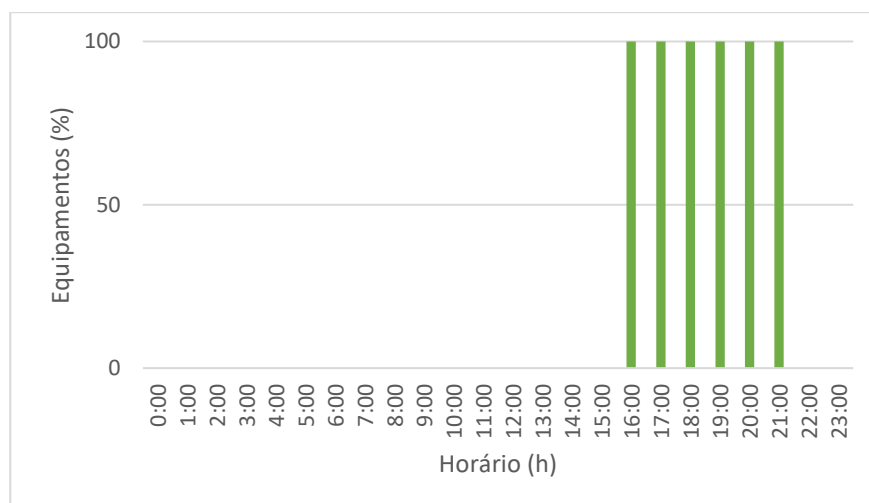
Figura 18 - Padrão de iluminação para os APPs.



Fonte: Adaptado de NBR 15.575 (ABNT, 2021).

A Figura 19 mostra o padrão de uso dos equipamentos elétricos. O padrão de iluminação é considerado tanto para os dormitórios quanto para a sala/cozinha (APP tipo sala). Vale salientar que os valores para equipamento são admitidos apenas para o APP sala ou APP de uso misto.

Figura 19 - Padrão de uso dos equipamentos elétricos.



Fonte: Adaptado de NBR 15.575 (ABNT, 2021).

O Quadro 12, traz os valores de densidade de potência instalada de iluminação e o valor de fração radiante e visível. Além disso, ela traz os valores de potência e fração radiante

dos equipamentos usados nos APP. Os valores foram considerados para todas as horas do ano em ambos os modelos simulados.

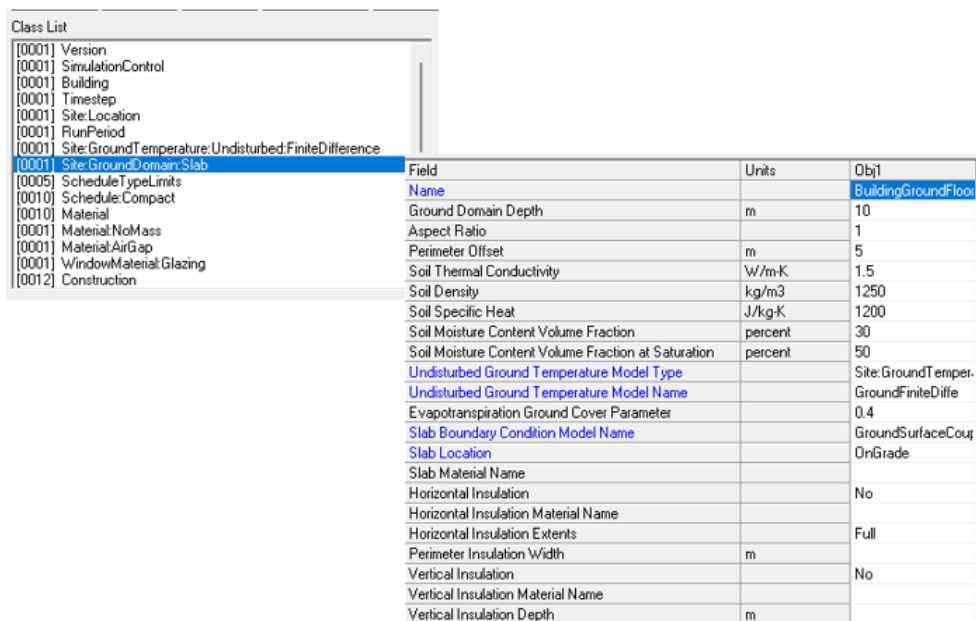
Quadro 12 - Valores de DPI, fração radiante, fração visível e potência da iluminação e dos equipamentos elétricos.

Ambiente	Iluminação			Equipamentos	
	Densidade de potência instalada (DPI) (W/m ²)	Fração radiante	Fração Visível	Potência (W)	Fração radiante
Dormitório	5,00	0,32	0,23	-	-
Sala	5,00	0,32	0,23	120	0,30
Uso misto	5,00	0,32	0,23	120	0,30

Fonte: Adaptado de NBR 15.575 (ABNT, 2021).

Outra configuração que foi usada para ambos os modelos foi o contato da edificação com o solo. Ela foi modelada com o módulo *GroundDomain:Slab*, que é usado para simular as transferências de calor entre o solo e as superfícies horizontais em contato com ele conforme Figura 20.

Figura 20 - Interface do *GroundDomain:Slab* - modelagem do contato com o solo.



Field	Units	Objt
Name		BuildingGroundFloor
Ground Domain Depth	m	10
Aspect Ratio		1
Perimeter Offset	m	5
Soil Thermal Conductivity	W/m-K	1.5
Soil Density	kg/m3	1250
Soil Specific Heat	J/kg-K	1200
Soil Moisture Content Volume Fraction	percent	30
Soil Moisture Content Volume Fraction at Saturation	percent	50
Undisturbed Ground Temperature Model Type		Site:GroundTemper.
Undisturbed Ground Temperature Model Name		GroundFiniteDiffe
Evapotranspiration Ground Cover Parameter		0.4
Slab Boundary Condition Model Name		GroundSurfaceCoupl
Slab Location		OnGrade
Slab Material Name		
Horizontal Insulation		No
Horizontal Insulation Material Name		
Horizontal Insulation Extents		Full
Perimeter Insulation Width	m	
Vertical Insulation		No
Vertical Insulation Material Name		
Vertical Insulation Depth	m	

Fonte: Adaptado de EnergyPlus, 2023.

Além do contato com o solo, foi modelada a ventilação natural na edificação com auxílio no módulo *AirflowNetwork*, pois um dos requisitos para a obtenção do desempenho

mínimo é que a edificação deve ser simulada sem o uso de condicionamento artificial, devendo ser calculados os valores de $PHFT_{UH}$ e $To_{máx,UH}$.

Assim, a norma determina que as janelas devem ser abertas em duas condições: a primeira quando a temperatura de bulbo seco interna (TBS_{APP}) do ambiente de permanência prolongada (APP) for igual ou superior a $19^{\circ}C$, ou quando a TBS_{APP} interna do APP for superior a TBS externa ao APP.

A norma estabelece valores para a infiltração de ar pelas frestas das janelas e das portas, Quadro 13.

Quadro 13 - Valores dos parâmetros de infiltração de ar das frestas das aberturas.

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

Fonte: Adaptado de NBR 15.575 (ABNT, 2021).

Outro critério a ser observado é que as portas dos APPs e dos APTs devem estar abertas durante a simulação, exceto a porta do banheiro que deve estar constantemente fechada. As portas externas devem estar sempre fechadas, exceto as portas transparentes das varandas que terão funcionamento similar as janelas. Esse comportamento foi admitido para a porta de vidro que está localizada nas unidades de final 02 e 03 do térreo que dão acesso a área privativa.

Por fim, para se obter os valores das cargas térmica é necessário simular a edificação sem ventilação natural e com uso do condicionamento artificial. A partir da obtenção da carga térmica é possível avaliar a edificação para os níveis intermediário e superior. Para a simulação sem ventilação natural a norma pede que todas as portas e janelas estejam fechadas durante todas as horas do ano, exceto a janela do banheiro que deve ser mantida aberta constantemente.

Para a configuração do condicionamento de ar deve-se considerar um *setpoint* de $23^{\circ}C$ todas as vezes que o APP estiver ocupado. O cálculo da carga térmica para refrigeração do ambiente deve ser do tipo ideal, operando sem perdas de energia para retirar o calor dos ambientes. Além disso, os coeficientes de infiltração de ar usados na simulação com ventilação natural devem ser mantidos também para a simulação sem ventilação natural.

Para realizar as análises foram solicitados os seguintes dados de saída: os schedules de ocupação dos APPs (padrão de ocupação), a temperatura de bulbo seco externa (TBS), as temperaturas operativas dos APPs, as cargas térmicas de refrigeração e de aquecimento.

3.5 Caracterização dos arquivos climáticos e do programa de conversão de dados climáticos

Os arquivos climáticos produzidos com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) consistem em uma ferramenta essencial para a análise do desempenho térmico das edificações. De acordo com Menezes *et al.* (2019), esses arquivos fornecem informações detalhadas sobre as condições climáticas, como temperatura e umidade do ar, sendo usados em simulações computacionais e modelos preditivos para análise de eficiência energética. Assim como na tomada de decisões, auxiliando a seleção de estratégias de projeto que visam o aumento do conforto térmico e a redução do consumo de energia.

Vale salientar que boa parte dos arquivos climáticos utilizados são referentes a série histórica de 1961 a 1990. Porém, Robert e Kummert (2012) criticam o uso de dados climáticos passados na elaboração de projetos eficientes energeticamente para o presente e o futuro, devido as mudanças climáticas significativas. Eles ainda enfatizam que os edifícios devem ser projetados utilizando dados meteorológicos de diversos anos, considerando as alterações do clima.

Nesse sentido, Santos *et al.* (2020) afirmam que os arquivos climáticos baseados em dados históricos podem não capturar de forma precisa as mudanças climáticas. As discrepâncias podem resultar em estimativas imprecisas do desempenho térmico, comprometendo a eficiência energética e o conforto dos ocupantes.

Os arquivos climáticos são uma ferramenta valiosa para a análise de desempenho, no entanto é importante considerar as limitações desses arquivos, uma vez que os dados históricos utilizados são anteriores às mudanças climáticas. Com isso, é necessário buscar métodos que considerem as tendências climáticas recentes e a incerteza aos arquivos climáticos, a fim de aprimorar a confiabilidade e a precisão das análises de desempenho térmico nas edificações.

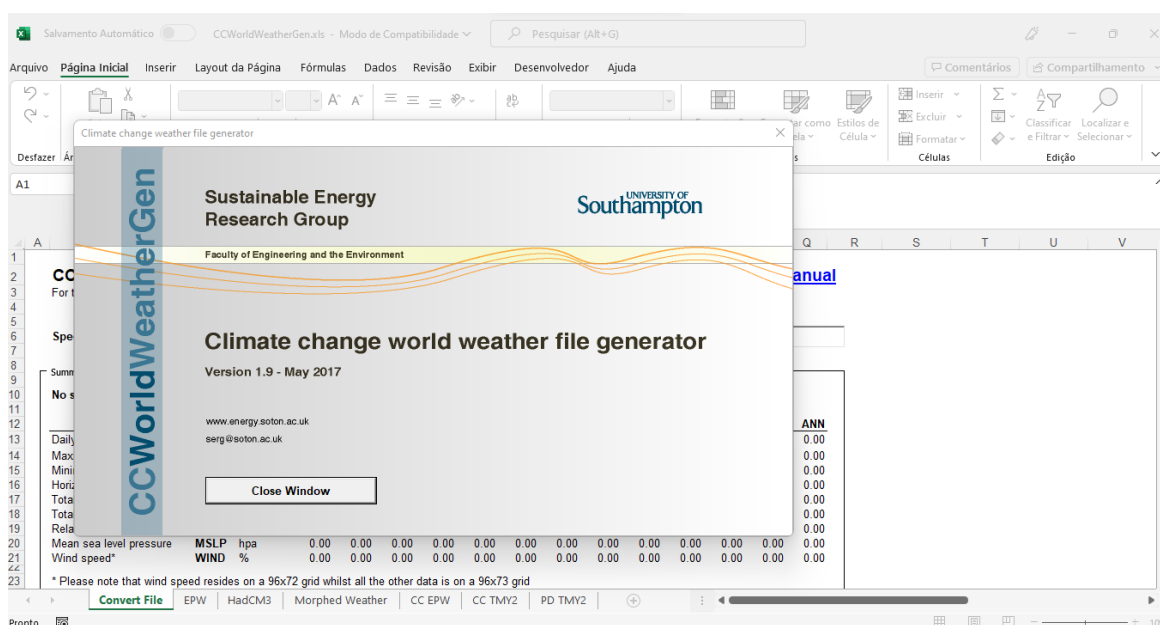
Um método muito aceito é o método morphing desenvolvido por Belcher, Hacker e Powell (2005). O método mescla os dados climáticos “atuais” com os modelos climáticos de circulação geral (MCG), gerando cenários futuros de condições climáticas para um local (BELCHER; HACKER; POWELL, 2005).

Baseado nesse método Jentsch, Bahaj e James (2012) desenvolveram a ferramenta Climate Change World Weather File Generator (CCWorldWeatherGen), que aplica o método morphing para adaptar os arquivos climáticos usados no EnergyPlus (EnergyPlus Weather – EPW) nas simulações computacionais. Nesta ferramenta é usado o modelo climático de circulação geral do Hadley Centre Coupled Model version 3 (HadCM3) para o cenário A2 do IPCC para o período de 1961-1990.

Neste trabalho optou-se por utilizar a ferramenta CCWorldWeatherGen versão 1.9, para conversão de dados climáticos atuais em arquivos de dados climáticos futuros. Ela foi escolhida por ser disponibilizada de forma gratuita pelo grupo de pesquisa em energia sustentável (SERG) na página da Universidade de Southampton. Porém, esta ferramenta utiliza apenas o cenário A2 de mudanças climáticas.

Além disso, ela possui uma interface intuitiva, pois funciona como uma extensão do Microsoft Excel, Figura 21. Como também, é uma ferramenta que vem sendo frequentemente usada em diversos estudos que associam o desempenho e a eficiência energéticas das edificações e as mudanças climáticas.

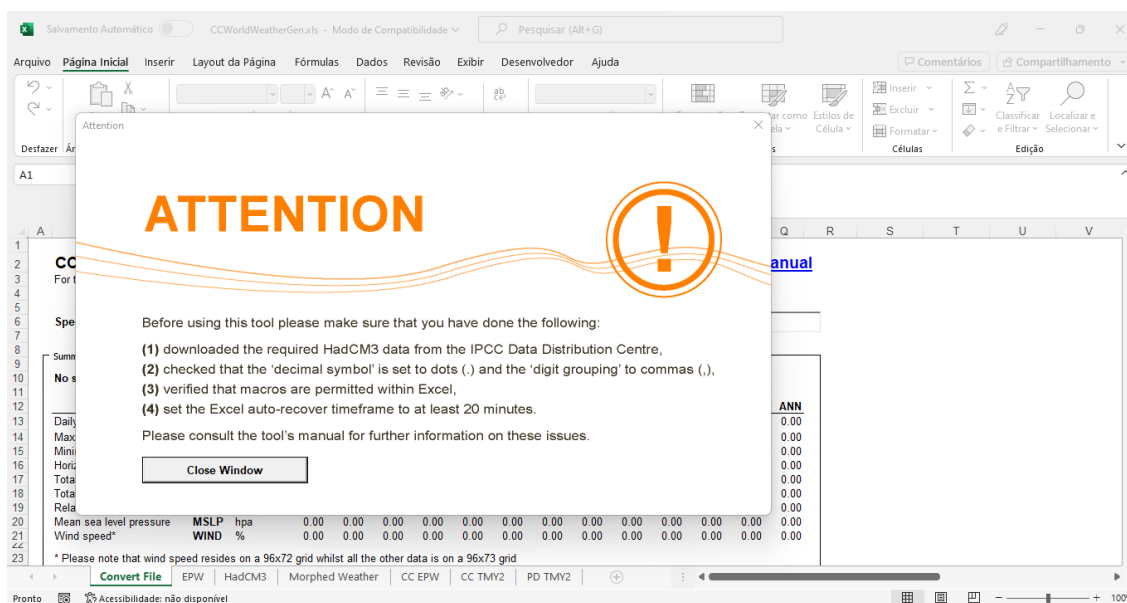
Figura 21 - Inicialização da ferramenta CCWorldWeatherGen.



Fonte: CCWorldWeatherGen, 2023.

Ao inicializar a ferramenta é exibido uma alerta, com algumas orientações e uma delas informa que é necessário ter baixado previamente os arquivos do Modelo de Circulação Geral HadCM3, que foi elaborado pelo Meteorological Office Hadley Centre no Reino Unido, Figura 22.

Figura 22 – Aviso de alerta as condições de funcionamento da ferramenta.



Fonte: CCWorldWeatherGen, 2023.

O CCWorldWeatherGen usa arquivos climáticos do tipo *Test Reference Year* (TRY) ou *Typical Meteorological Year* (TMY) e deve ser usado o período de 1960-1990, como “clima atual”, evitando possíveis imprecisões no arquivo modificado. Assim, é possível traçar arquivos climáticos para os períodos de 2020 (2011-2040), 2050 (2041-2070) e 2080 (2071-2100)(BELCHER; HACKER; POWELL, 2005).

A cidade de Caruaru possui um arquivo climático INMET 2016 no banco de dados das 400 cidades, porém não possui arquivo do tipo TRY que é o recomendado para realizar a transformação. Contudo, Machado (2019) desenvolveu um estudo no qual foi utilizado o arquivo climático INMET 2016 para produzir o EPW usado na simulação computacional. A autora realizou testes no arquivo atual e do clima futuro e constatou que eles não apresentaram nenhuma inconsistência na conversão e nas simulações, apresentando resultados adequados ao esperado. Dessa forma, decidiu-se continuar utilizando o arquivo EPW tipo IMET 2016, para a cidade de Caruaru. O arquivo tem link disponível para download no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE).

O processo para transformar os arquivos inicia-se com o download do MCG HadCM3, que deve ser incluído no campo destacado em verde na Figura 23, e com o download do arquivo climático da cidade escolhida. Depois o EPW do arquivo climático deve ser inserido no campo de número um, em seguida o usuário escolhe qual o período deseja gerar os novos arquivos, no campo dois e clica em “load cenário”. A ferramenta emite um aviso informando

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo é estruturado em três partes, onde a primeira parte são apresentadas as modificações que acontecem com algumas das variáveis climáticas que afetam o desempenho térmico das edificações. A segunda parte são apresentados e discutidos os resultados obtidos nas simulações para os cenários atual, 2050 e 2080, assim como é verificado o atendimento aos critérios estabelecidos pela norma. Por fim, é apresentada uma análise do modelo de referência e dos critérios estabelecidos pela norma para os cenários de mudanças climáticas.

4.1 Alterações no clima para os cenários atual, 2050 e 2080

Para compreender como as alterações climáticas podem influenciar o desempenho térmico das edificações é necessário entender o que acontece com as variáveis climáticas nos cenários estudados. Valores como temperatura, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento são algumas das variáveis as quais a edificação está exposta e que influenciam nas trocas térmicas da envoltória da edificação e conseqüentemente no desempenho térmico.

A fim organizar os dados das variáveis climáticas obtidas nos arquivos EPW e analisar as mudanças ocorridas nelas devido as alterações no clima, foi utilizado o software Climate Consultant 6.0. É importante salientar que a ferramenta CCWorldWeatherGen, usada para gerar os arquivos climáticos futuros, utiliza apenas o cenário A2 de mudanças climáticas, que é o cenário mais pessimista dentre os elaborados para o AR4 do IPCC.

Os demais dados das variáveis climáticas, como radiação solar, ponto de orvalho, direção da ventilação para o clima atual, 2050 e 2080 estão disponíveis nos anexos A, B e C, em um formato maior para uma melhor visualização. Porém, a Tabela 2 traz duas variáveis que podem impactar negativamente o desempenho e o conforto térmico, são elas: a média mensal da temperatura de bulbo seco e a média mensal da umidade relativa do ar média mensal.

Tabela 2 - Variação da Temperatura de Bulbo Seco e da Umidade Relativa para o clima atual, 2050 e 2080.

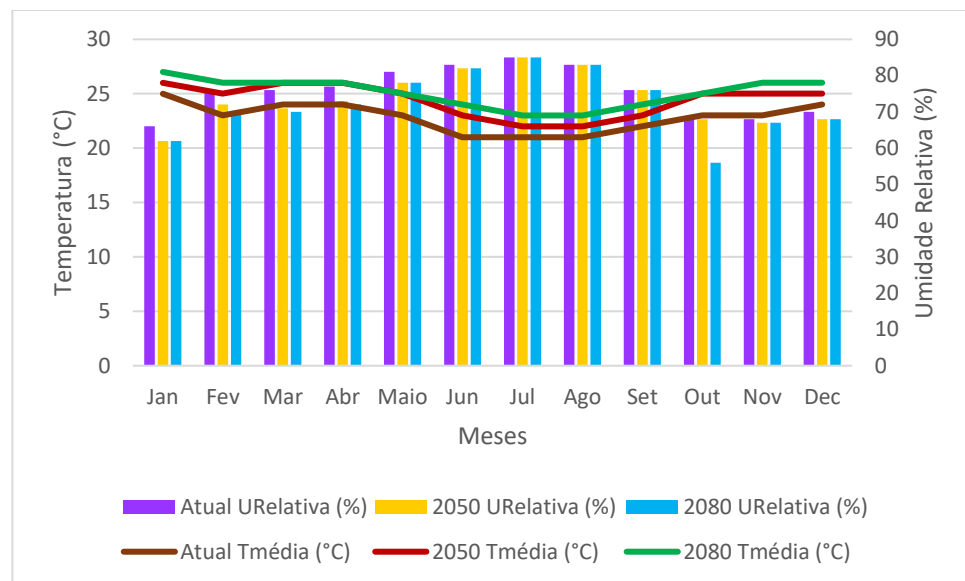
Ano	Variável	Jan	Fev.	Mar	Abr.	Mai	Jun.	Jul	Ago.	Set	Out	Nov.	Dec.	Ano
Atual	T _{média} (°C)	25	23	24	24	23	21	21	21	22	23	23	24	22.83
2050	T _{média} (°C)	26	25	26	26	25	23	22	22	23	25	25	25	24.42
2080	T _{média} (°C)	27	26	26	26	25	24	23	23	24	25	26	26	25.08
Atual	U _{Relativa} (%)	66	76	76	77	81	83	85	83	76	68	68	70	75.75
2050	U _{Relativa} (%)	62	72	71	73	78	82	85	83	76	68	67	68	73.75

2080	U _{Relativa} (%)	62	70	70	72	78	82	85	83	76	56	67	68	72.42
------	---------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	--------------

Fonte: Arquivos EPW adaptado no software Climate Consultant, 2023.

A temperatura e a umidade altas podem indicar maior desconforto térmico, além de indicarem valores mais altos na escala de sensação térmica (KONG *et al*, 2019). Como pode ser visto na Figura 24, há um aumento da temperatura nos três períodos estudados. Ao comparar os dados da tabela 2, é possível ver que esse aumento é cerca de 1°C entre o clima atual e 2050 e de 2°C entre o clima atual e 2080.

Figura 24 – Gráfico da variação de Temperatura de Bulbo Seco e Umidade Relativa média mensal para o clima atual, 2050 e 2080.



Fonte: Arquivos EPW adaptado no software Climate Consultant, 2023.

A umidade relativa está relacionada à temperatura do ar, assim é possível notar de forma geral que a umidade relativa do ar tende a reduzir conforme aumenta a temperatura, essa diferença é mais perceptível nos meses de outubro a março, que coincidem com a primavera e verão em Caruaru. Segundo Oliveira, Rupp e Ghisi *et al* (2020), conhecer os parâmetros associados ao conforto, como a umidade, permite a escolha das melhores alternativas para o condicionamento térmico do ambiente ajustando ele a preferência dos usuários.

Entendendo como as modificações no clima afetam as variáveis a ele relacionadas é possível traçar paralelos entre o desempenho térmico e as mudanças climáticas. A seguir serão apresentadas as análises de desempenho térmico para os cenários estudados.

4.2 Análise de desempenho térmico para os cenários atual, 2050 e 2080

Para verificar o atendimento aos níveis de desempenho recomendados pela NBR 15.575 (ABNT, 2021) foram seguidos os procedimentos da simulação computacional, os quais foram apresentados em seções anteriores. Vale salientar que o município de Caruaru/PE está localizado na zona bioclimática 8 e é classificado no intervalo 1 de temperatura externa, pois a média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBS_m) do arquivo climático utilizado na simulação para a cidade é de 23,4°C, devendo seguir os critérios apresentados no Quadro 14 abaixo.

Por estar enquadrado no primeiro intervalo, é necessário considerar as cargas térmicas para aquecimento e refrigeração. Porém, não será considerado a temperatura operativa mínima já que a cidade está na zona 8 e a temperatura operativa mínima é obrigatória para as cidades dentro das zonas 1 a 4.

Quadro 14 – Critérios para análise de desempenho térmico para Caruaru/PE.

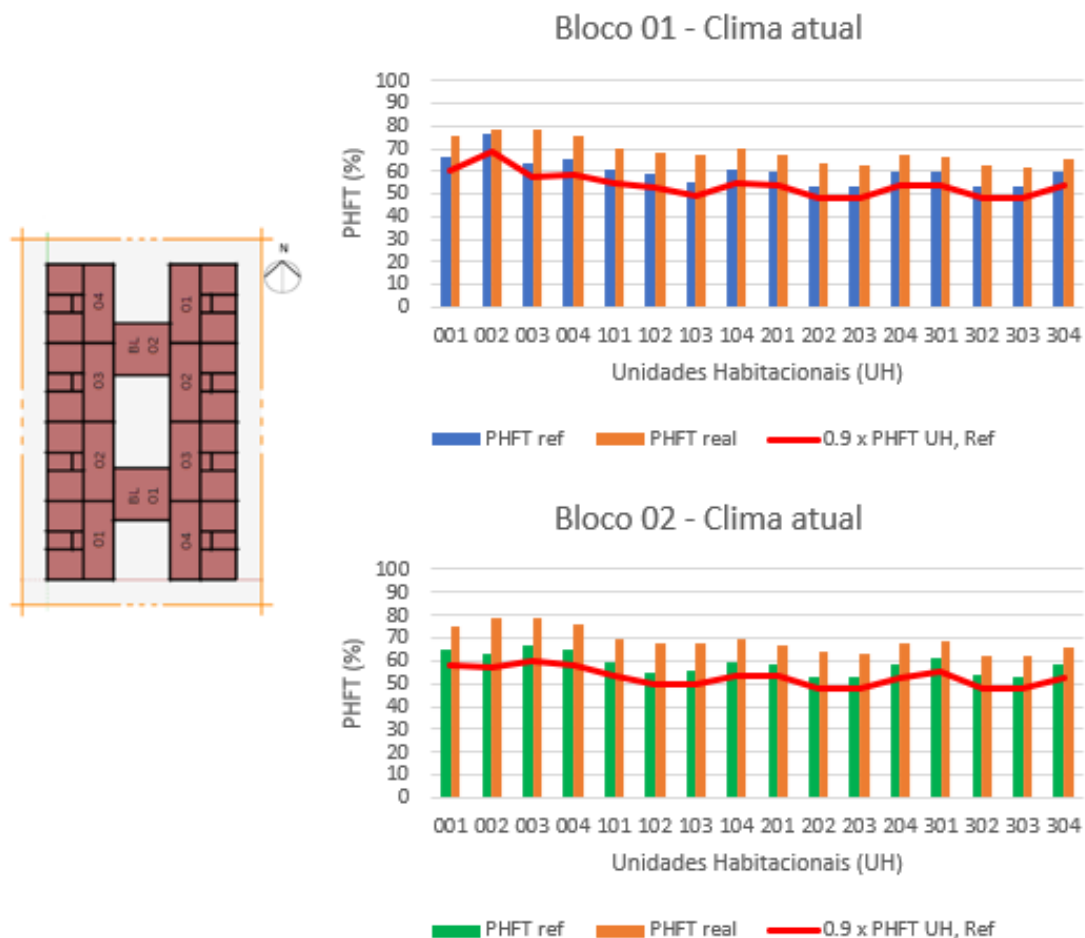
Intervalos de temperatura externa	Média anual de temperatura de bulbo seco (TBS _m) °C	Faixas de temperatura operativa a ser considerada (°C)	Faixa de temperatura operativa para o cálculo da CgTR _{APP}	Faixa de temperatura operativa para o cálculo da CgTA _{APP}
Intervalo 1	TBS _m < 25,0°C	18,0°C < T _{OAPP} < 26,0°C	T _{OAPP} ≥ 26,0°C	T _{OAPP} ≤ 18,0°C

Fonte: Adaptado de NBR 15.575, (ABNT, 2021).

Para a edificação estudada atender o nível mínimo o PHFT da unidade habitacional do modelo real (PHFT_{UH,Real}) deve ser maior que 90% do PHFT obtido no modelo referência (PHFT_{UH,Ref.}) (**PHFT_{UH,Real} > 0,9 x PHFT_{UH,Ref.}**). Além, disso a temperatura operativa máxima da UH do modelo real deve ser menor ou igual a temperatura operativa da UH do modelo de referência adicionando um incremento (**Tomáx_{UH,Real} ≤ Tomáx_{UH,Ref.} + ΔTomáx**).

A Figura 25 apresenta os valores de PHFT obtidos pelas unidades habitacionais para os blocos 01 e 02, referente ao clima atual. Além disso, a Figura 25 apresenta o percentual de 90% do PHFT que deve ser atingido pelo modelo real para que ele atenda ao critério da norma.

Figura 25 – Gráficos do percentual de horas dentro da faixa de temperatura das UH (PHFT_{UH}) para os blocos 01 e 02 no clima atual.



Fonte: Autora, 2023.

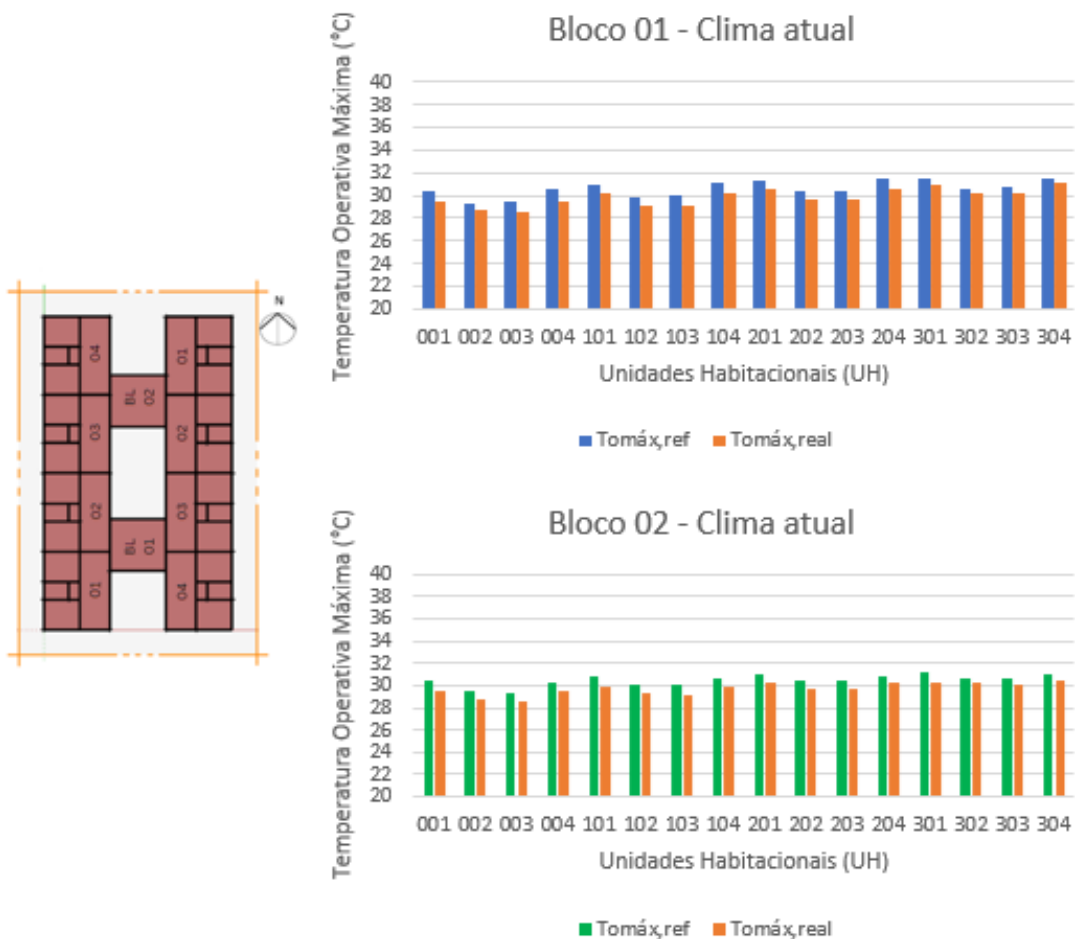
Ao analisar os gráficos da Figura 25 percebe-se que todas as unidades habitacionais do modelo real obtiveram valores acima da faixa de 90% do valor do PHFT do modelo referência. Destacando que os percentuais de PHFT das unidades do térreo, que estão em contato o solo são maiores do que os das unidades dos pavimentos subsequentes. Isso pode ser explicado devido as unidades mais próximas a cobertura possuírem maior exposição à radiação solar, principalmente as unidades 301 a 304. O mesmo não acontece com as unidades próximas que estão em contato com o solo, além de terem uma área menor de exposição à radiação elas também realizam trocas térmicas com o solo o que influencia na temperatura interna da unidade.

As unidades de final 02 e 03, que conectam um bloco ao outro, possuem entre elas uma junta de EPS de 2 cm. O EPS é um material isolante que atua como uma barreira para a transmissão do fluxo de calor, evitando que o calor se dissipe ou se transmita através da superfície. Assim, se observa que as unidades 002 e 003 de ambos os blocos têm valores maiores de PHFT em comparação com as demais unidades de final 02 e 03. Onde as unidades

202/302 e 203/303 de ambos os blocos, apresentam os menores valores de PHFT. Indicando que este material pode estar influenciando nas trocas térmicas (retenção e/ou transmissão) interior/exterior nas unidades habitacionais.

A Figura 26 mostra as temperaturas operativas máximas das unidades habitacionais para os dois blocos. O PHFT tem relação direta com a temperatura operativa do ambiente (zona térmica) analisada. Conforme visto na Figura 25 as unidades do térreo possuem maiores valores de PHFT indicando que elas possuem mais horas dentro da temperatura estipulada no Quadro 14. Isso pode ser confirmado na Figura 26, uma vez que as unidades do térreo apresentam valores menores $To_{Máx}$ do que as unidades do pavimento da cobertura, que pode ser justificado pela transferência de calor com o solo, que permite que a unidades possam permanecer mais tempo dentro da faixa de temperatura aumentando o valor do PHFT.

Figura 26 – Gráficos da temperatura operativa máxima ($To_{máx}$) para os blocos 01 e 02 no clima atual.



Fonte: Autora, 2023.

Já as unidades de final 02 e 03 apresentam valores menores de $To_{máx}$ do que as unidades de final 01 e 04, uma das justificativa para esses valores mais baixos pode ser a

presença do “pátio interno”, que aumenta a exaustão do ar quente da edificação colaborando na redução de temperatura interna.

Analisando os critérios da norma para obtenção do nível mínimo de desempenho é percebe-se que as temperaturas do modelo real são menores que as temperaturas do modelo de referência em todas as unidades habitacionais nos dois blocos. Consequentemente, elas serão menores também que o incremento da temperatura no modelo de referência ($\Delta T_{O_{Máx}}$), fazendo com que todas as unidades sejam aprovadas nesse requisito.

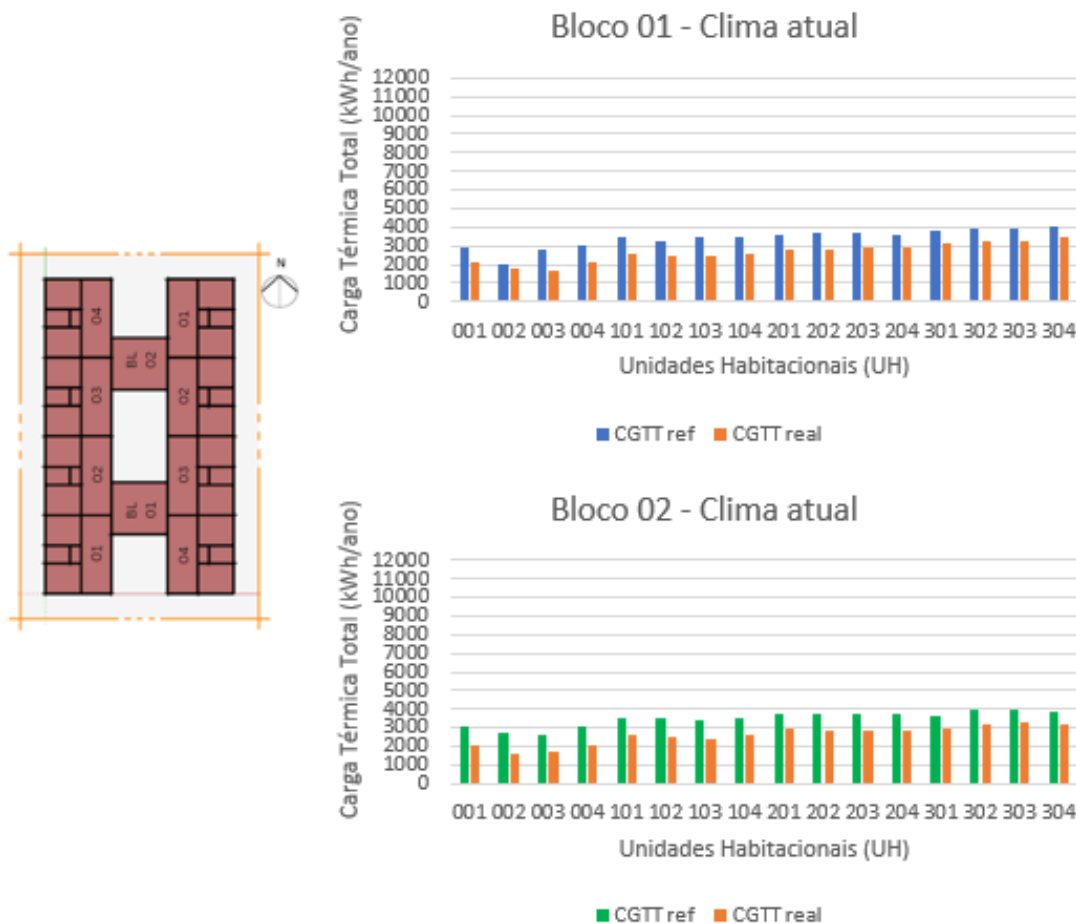
Com relação ao PHFT todas as unidades do modelo real têm o PHFT acima de 90% do PHFT do modelo de referência, fazendo com que elas atendam também ao segundo requisito para obtenção do desempenho mínimos. Assim, as unidades habitacionais do objeto de estudo, que é representado pelo modelo real, atendem ao nível mínimo de desempenho térmico estabelecido pela NBR 15.575 (ABNT, 2021).

Para obter o nível mínimo de desempenho a edificação utilizou os dados referentes a simulação com a configuração considerando o uso da ventilação natural. Já para o nível intermediário além de atender aos requisitos anteriores, o modelo real deve ser avaliado também para a simulação sem ventilação natural onde serão obtidos os valores das cargas térmicas para aquecimento e para refrigeração. Esses dados irão resultar na carga térmica total da UH ($C_{gTT_{UH}}$).

Onde o modelo real deve ter uma redução da carga térmica total ($RedC_{gTT}$) maior ou igual ao valor de uma redução de carga térmica mínima ($RedC_{gTT_{Mín.}}$) ($RedC_{gTT} \geq RedC_{gTT_{Mín.}}$). Além disso, incremento no percentual de horas dentro de uma faixa de temperatura ($\Delta PHFT$) do modelo real deve ser maior que $\Delta PHFT_{mín.}$ ($\Delta PHFT > \Delta PHFT_{mín.}$). Ambos os valores de $\Delta PHFT$ e $RedC_{gTT_{Mín.}}$ são tabelados e foram apresentados no capítulo 2 na subseção 2.5.1.

A Figura 27 mostra o valor da carga térmica total das unidades habitacionais, onde pode ser visto o aumento da carga térmica conforme os pavimentos se aproximam da cobertura. Quando comparado com o gráfico da temperatura na Figura 26 perceber-se que esse aumento está coerente com o aumento da temperatura nos pavimentos superiores, pois é necessária uma carga de resfriamento maior para alcançar a faixa de temperatura do intervalo 1. As únicas unidades habitacionais que alcançaram o desempenho intermediário foram: 001, 003, 004 e 302 do bloco 01 e 001, 002, 003, 004, 301, 302 e 303 do bloco 02.

Figura 27 – Gráficos da carga térmica total (CgTT) das unidades habitacionais dos blocos 01 e 02 para o clima atual.



Fonte: Autora, 2023.

Foram criadas planilhas para a compilação dos dados, cálculo dos critérios e apresentação dos resultados das unidades habitacionais do objeto de estudo. Essas planilhas foram elaboradas tanto para o modelo real quanto para o modelo de referência para o clima atual, 2050 e 2080 e estão disponíveis nos Apêndices A à L. Nelas é possível ver quais as unidades atingiram o nível mínimo, intermediário e superior e os valores atingidos pelas unidades em cada um dos critérios. Vale salientar que quando a unidade não atende o nível mínimo ela não atende os demais e isso também acontece quando não é atendido o nível intermediário a unidade também não atenderá o nível superior.

Como dito na seção 3.4.2 onde foi descrito o modelo de referência, a envoltória do modelo de referência tem as mesmas propriedades termo físicas de uma parede de concreto de 10cm. Ou seja, tanto o modelo real quanto o modelo de referência possuem as mesmas propriedades termo físicas, pois ambos compartilham o mesmo sistema construtivo. Porém, há algumas diferenças na configuração entre eles, como a dimensão e características das aberturas

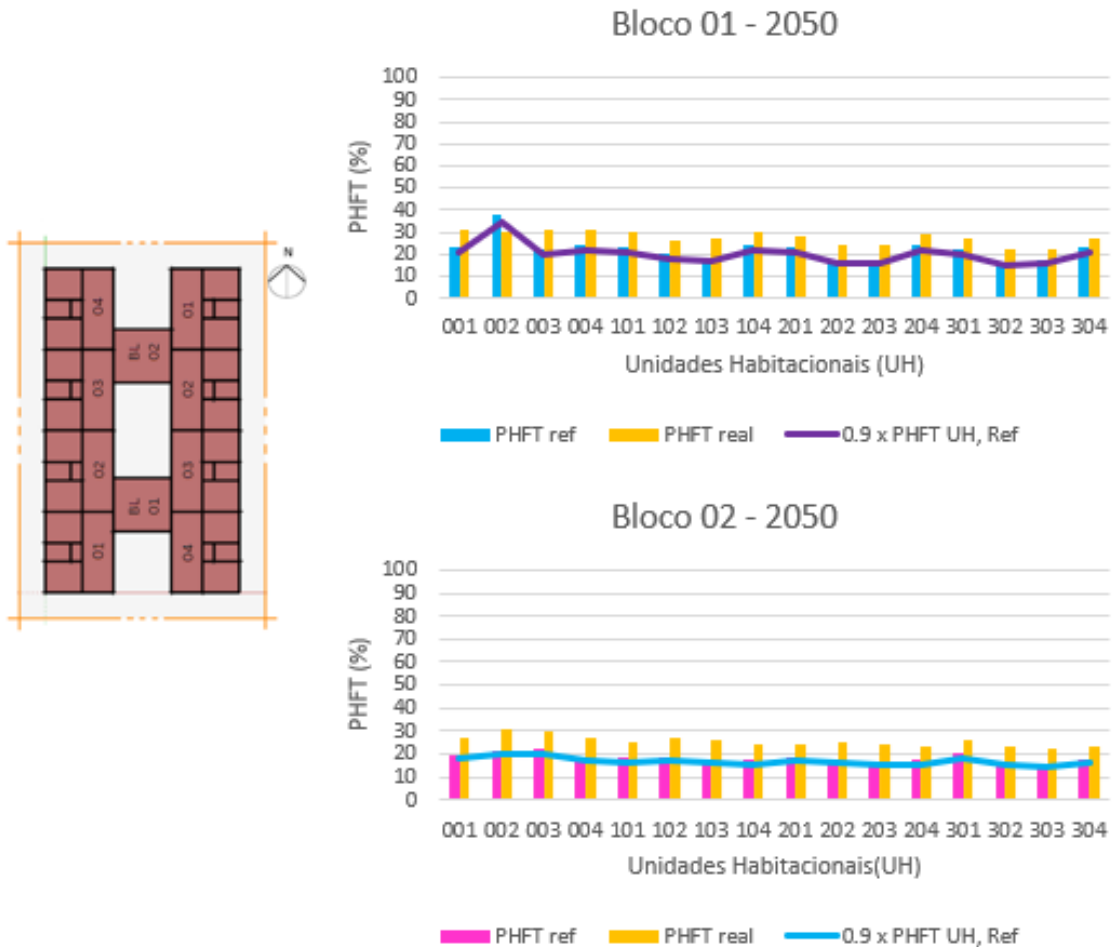
para iluminação e ventilação. Mesmo eles sendo elaborados com o mesmo sistema construtivo e com a diferença entre os valores deles não apresenta uma discrepância grande.

A avaliação do desempenho térmico é realizada utilizando os arquivos climáticos disponibilizados pelo INMET na página do LabEEE. O arquivo climático do INMET foi usado e considerado como o arquivo que representa clima atual, já para os climas futuros foram gerados arquivos a partir da ferramenta CCWorldWeatherGen.

A norma de desempenho cita que a vida útil de projeto deve ser pelo menos 50 e que durante este período os sistemas devem atender os requisitos de desempenho estabelecidos pela norma. Porém, ela norma não estabelece critérios para avaliar as edificações no futuro, assim como ela não traz critérios para o uso de arquivos climáticos futuros. Dessa forma, para a avaliação da edificação em 2050 e 2080 optou-se por replicar o mesmo procedimento usado na simulação do clima atual. Para isso, foram simulados o modelo real e o modelo de referência com e sem o uso da ventilação natural, onde foi alterado apenas o arquivo climático utilizado.

A Figura 24 apresenta o gráfico dos valores de PHFT para as unidades habitacionais para o ano de 2050. É possível perceber que todas as unidades atenderam a condição ($\mathbf{PHFT_{UH, Real} > 0,9 \times PHFT_{UH, Ref.}}$), com exceção da unidade 002 do térreo do bloco 01. Nesta unidade o PHFT do modelo de referência é maior do que o PHFT do modelo real, atendendo a condição acima.

Figura 28 – Gráficos percentual de horas dentro da faixa de temperatura das UH (PHFT_{UH}) para os blocos 01 e 02 no ano de 2050.



Fonte: Autora, 2023.

Um ponto que deve ser mencionado é que os valores do PHFT obtidos para o ano de 2050 são menores que os valores PHFT para o clima atual, em ambos os modelos real e de referência. Os valores de PHFT do modelo real para o clima atual variam entre 60% e 80%, já os valores do PHFT do modelo real para 2050 variam entre 20% e 30%. Isso é um indicativo que o desempenho da edificação diminui e o nível de conforto dos usuários também reduz caso o cenário climático previsto para 2050 ocorra.

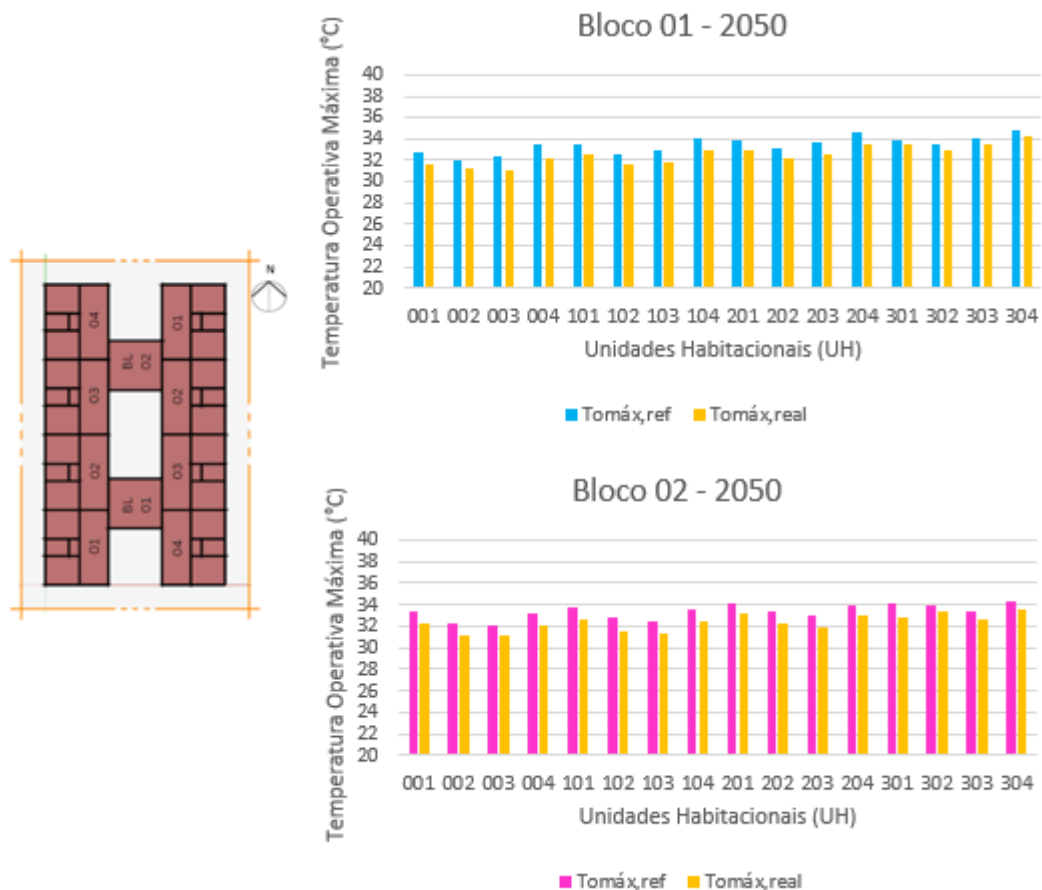
Vale ressaltar que o PHFT é quantificado por meio de faixas de temperatura operativa, que foram estabelecidas com base em limites de conforto, isso significa que por si só o PHFT não consegue mensurar as situações de desconforto por calor e por frio. Porém, o conforto e/ou desconforto podem ser inferidos a partir da quantidade de horas que aquele APP está dentro ou fora do intervalo de temperatura estabelecido pela norma. Ou seja, as faixas de temperatura associadas aos intervalos de temperatura de bulbo seco (TBSm) avaliam de

maneira muito simplificada o conforto que atendem de maneira geral o clima das cidades dentro dos intervalos.

Assim, mesmo a maioria das unidades habitacionais tendo alcançado o primeiro critério para obtenção do desempenho mínimo, elas não apresentam um desempenho térmico adequado, pois o PHFT abaixo de 50% indica que a UH não só está fora da faixa de temperatura para o intervalo 1 ($18,0^{\circ}\text{C} < T_{\text{OAPP}} < 26,0^{\circ}\text{C}$) em boa parte das horas analisadas, como também informa que as UHs estão na maioria do tempo em desconforto térmico.

A Figura 29 mostra o gráfico das temperaturas operativas máximas das UHs para o ano de 2050. Observa-se um aumento da temperatura média em ambos os modelos, a média da temperatura operativa máxima do modelo real para o clima atual é de $29,8^{\circ}\text{C}$, já no modelo real para o ano de 2050 a média aumenta para $32,4^{\circ}\text{C}$, ou seja, um incremento de aproximadamente $2,6^{\circ}\text{C}$.

Figura 29 – Gráficos da temperatura operativa máxima (Tomáx) para os blocos 01 e 02 para o ano de 2050.



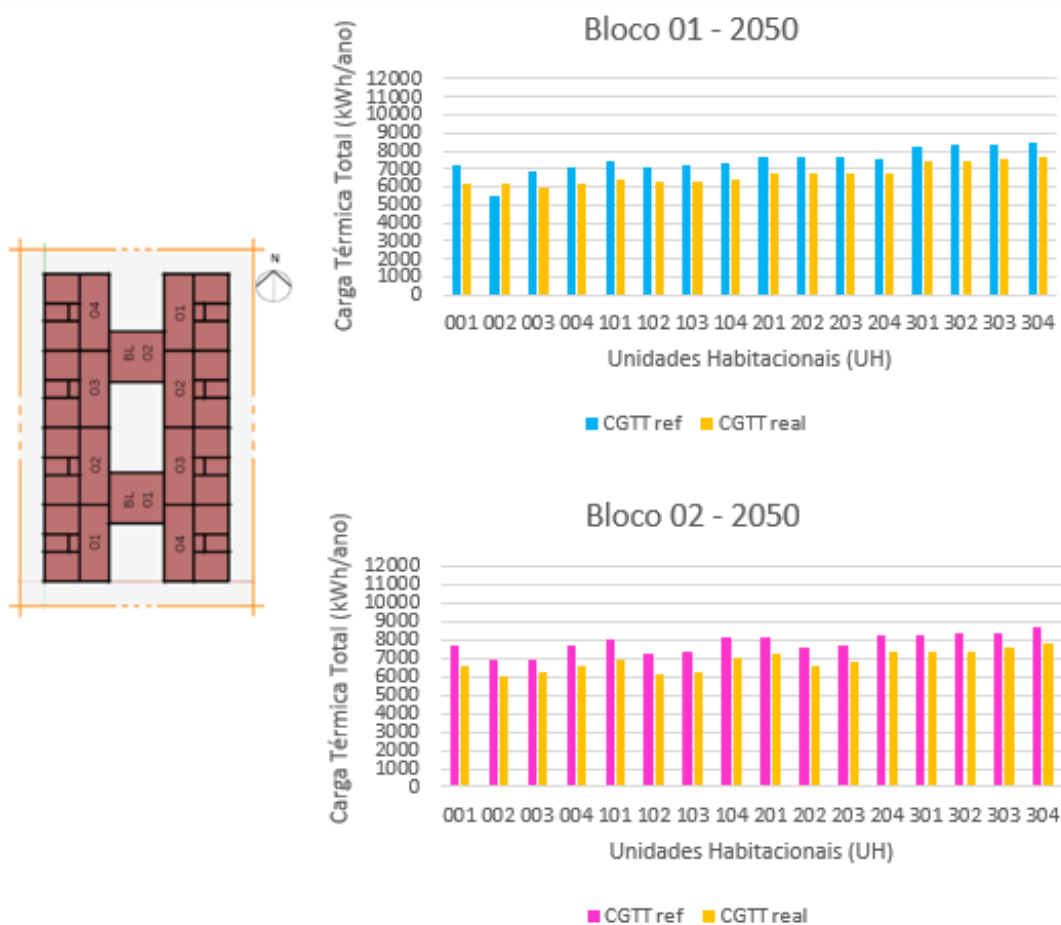
Fonte: Autora, 2023.

Como visto no item 4.1 a temperatura para o ano de 2050 aumenta cerca de 1°C e isso tem reflexo no aumento da temperatura operativa das unidades habitacionais. Além disso,

as temperaturas do modelo de referência são maiores do que as temperaturas modelo real, indicando que o segundo critério para obtenção do nível mínimo de desempenho é atendido. A norma cita ainda, que quando um dos APPs não atende a um dos critérios a UH não atende ao desempenho mínimo e o mesmo acontece quando uma das UHs não atende o desempenho mínimo toda a edificação também não atenderá. Como a unidade habitacional 002 do térreo do bloco 01, não atendeu ao desempenho mínimo o bloco 01 não atende nível mínimo de desempenho, já o bloco 02 todas as UHs atendem aos requisitos do desempenho mínimo.

Devido ao aumento da temperatura operativa nas UHs aumenta o uso de aparelhos de condicionamento de ar para obter uma temperatura adequada, assim verifica-se também o aumento da carga térmica total. Para o clima atual a carga térmica total tanto do modelo de referência quanto do modelo real não ultrapassava o valor de 4.500 kWh/ano. Porém, como pode ser visto na Figura 30, os valores de CgTT ultrapassam 8.000kWh/ano, e que não há uma variação grande entre os valores de CgTT do modelo real e de referência, como acontecia para o clima atual.

Figura 30 – Gráficos da carga térmica total (CgTT) das unidades habitacionais dos blocos 01 e 02 para 2050.

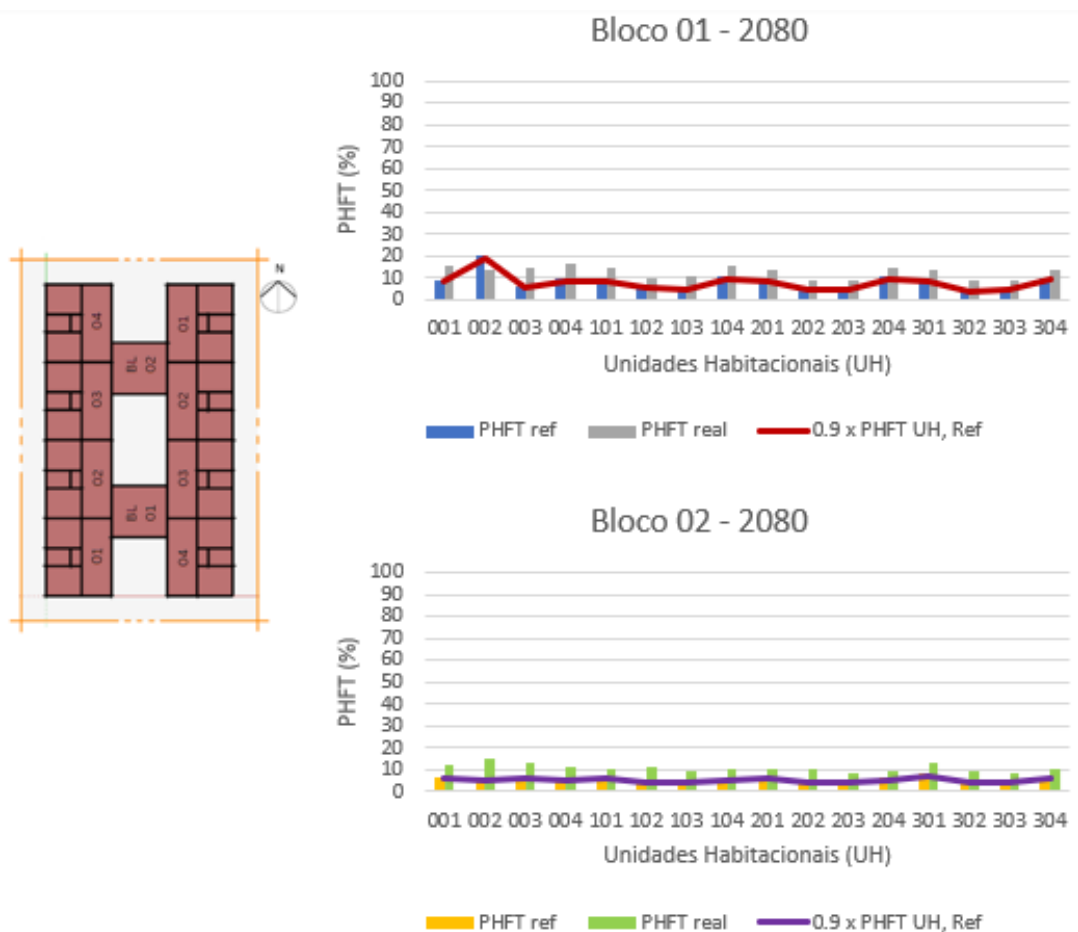


Fonte: Autora, 2023.

É importante salientar que Caruaru está no intervalo 1 e que para esse intervalo é necessário calcular as cargas de aquecimento e resfriamento dos APPs e depois as cargas de aquecimento e resfriamento da UH. Após organização dos dados na planilha foi verificada que para todos os anos estudados os valores da carga de aquecimento são iguais a zero. Além de não interferir no cálculo do CgTT da UH, essa informação indica que o uso de condicionamento nas UH acontece quando a temperatura está acima da faixa de temperatura determinada pelo intervalo, ou seja o uso de refrigeração mecânica acontece pelo desconforto por calor.

Analisando os dados obtidos para o ano de 2080, Figura 31, percebe-se que a tendência de redução nos valores do PHFT continua de forma acentuada. Uma vez que o valor do PHFT agora está variando entre 0% e 20% para o modelo de referência e entre 0% e 15% para o modelo real. Esses valores são mais baixos do que aqueles obtidos no PHFT do modelo real para 2050, que variam entre 20% e 30%. Ou seja, observa-se que as UHs há redução das horas dentro da faixa de temperatura muito maior quando comparado os três períodos de tempo estudados.

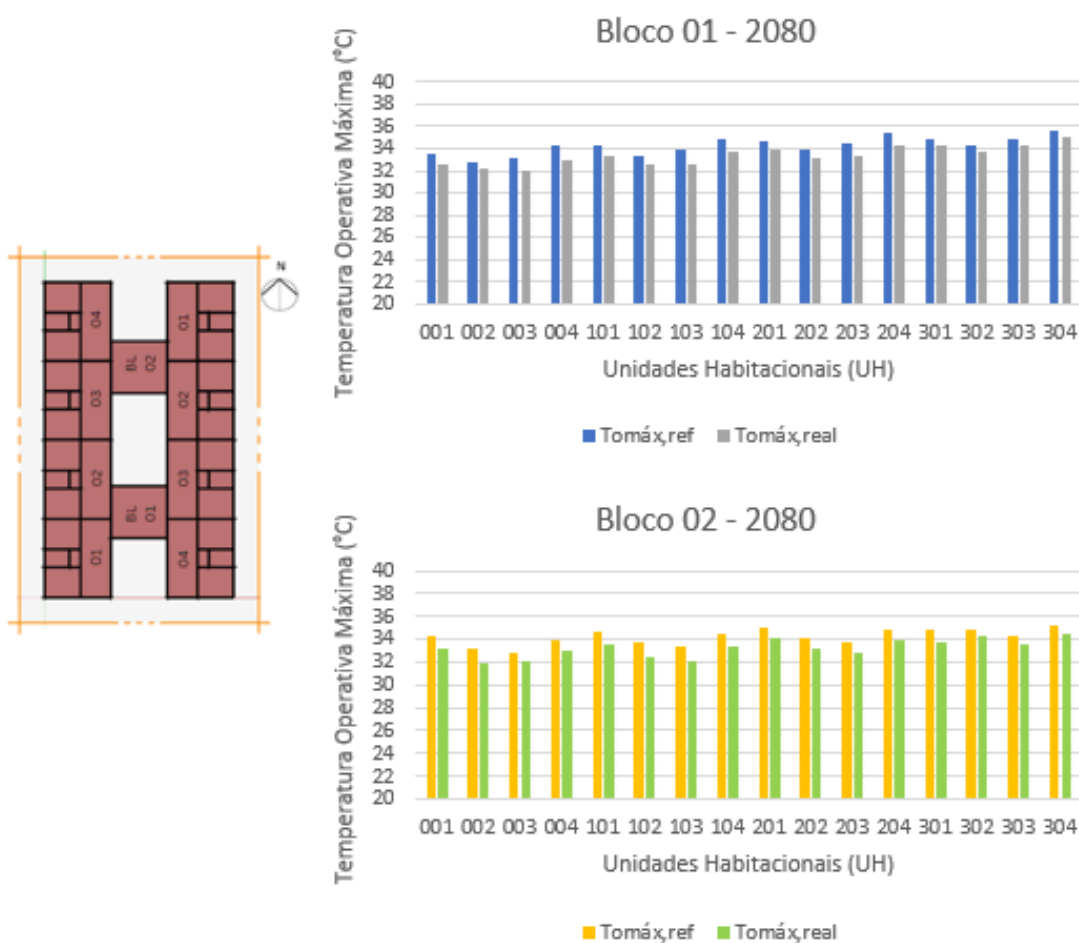
Figura 31 – Gráficos do percentual de horas dentro da faixa de temperatura das UH (PHFT_{UH}) para os blocos 01 e 02 no ano de 2080.



Mesmo alcançando percentuais muito baixos para as UH, todas as unidades habitacionais do bloco 02 e a maior parte das UHs alcançaram a condição de condição ($PHFT_{UH, Real} > 0,9 \times PHFT_{UH, Ref.}$), com exceção mais uma vez da unidade 002 do bloco 01.

Conforme Tabela 2 da seção 4.1 percebe-se um aumento na temperatura de bulbo seco em cerca de 2°C entre o clima atual e 2080 e de 1°C entre 2050 e 2080. A Figura 32 apresenta as temperaturas operativas máximas da UHs. Elas também seguem a mesma tendência de crescimento que aconteceu para o clima em 2050.

Figura 32 – Gráficos de temperatura operativa máxima (T_{omax}) para os blocos 01 e 02 para o ano de 2080.



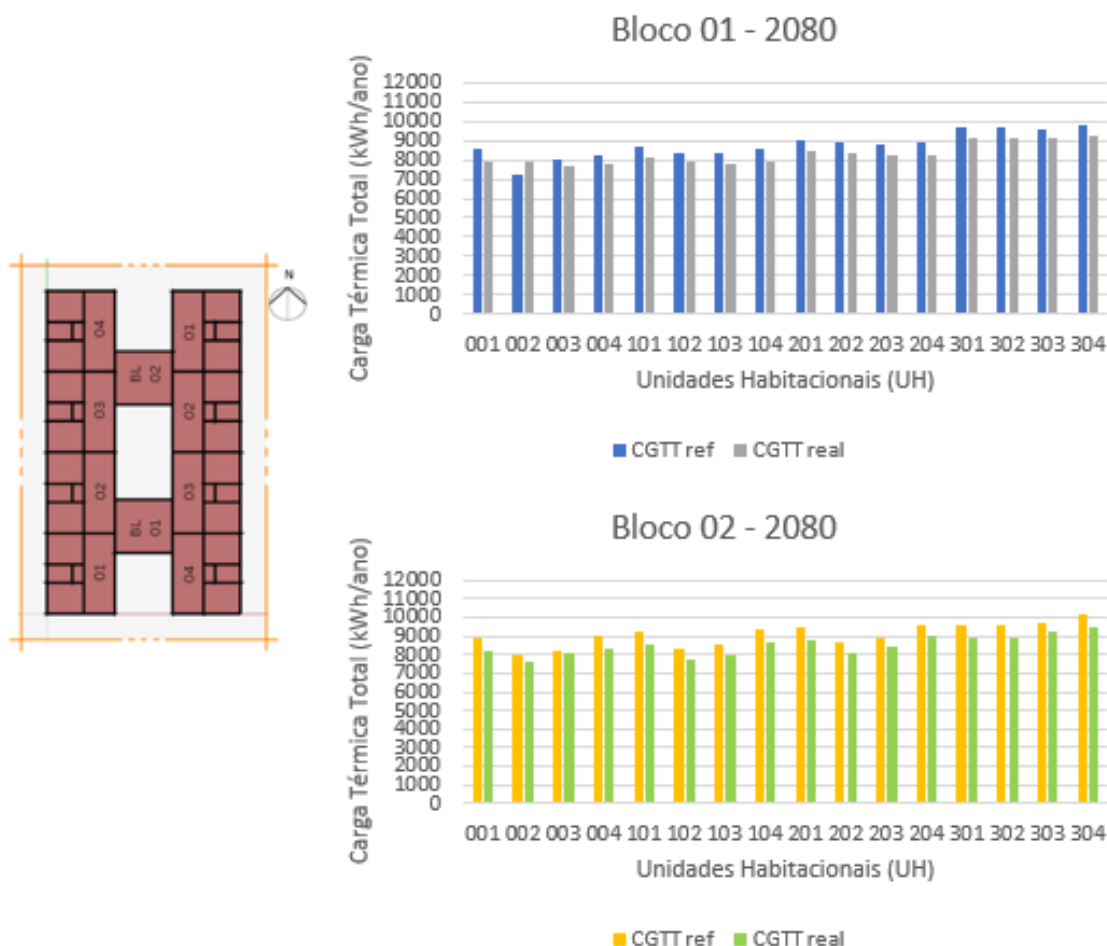
Fonte: Autora, 2023.

Quando comparadas as médias de temperatura operativa, a média da T_{omax} para o modelo real é 33,3°C para 2080, já a T_{omax} para o clima atual é de 29,8°C e para 2050 a T_{omax} é 32,4°C. Observa-se que ocorreu um acréscimo de cerca 3,5°C entre o clima atual e 2080 e cerca de 1°C entre 2050 e 2080. Percebe-se também que o modelo de referência tem as temperaturas mais altas que o modelo real, assim, pelo critério da temperatura as unidades habitacionais também alcançam o nível de desempenho mínimo. Para o ano de 2080 o bloco 02

atingiu o nível mínimo de desempenho e o bloco 01 não atingiu pois a unidade 02 não alcançou o nível mínimo de desempenho assim como ocorreu no período de 2050. Assim como foi observado para o clima atual e para 2050, o ano de 2080 também apresentou um aumento da temperatura conforme a unidade habitacional se aproximava do pavimento de cobertura, que tem as maiores temperaturas operativas da edificação estudada.

Em 2080, assim como para 2050, conforme ocorre o aumento da temperatura também há o acréscimo da carga térmica total das unidades habitacionais, Figura 33, e como salientado anteriormente, o maior responsável pelo aumento da carga térmica total é carga de resfriamento.

Figura 33 – Gráficos da carga térmica total (CgTT) das unidades habitacionais dos blocos 01 e 02 para 2080.



Fonte: Autora, 2023.

Ao analisar os três períodos foi verificado que mesmo ocorrendo a redução do PFHT, o aumento da $T_{oMáx}$ e da CgTT em ambos os modelos, as unidades habitacionais continuaram atingindo o nível mínimo de desempenho. Porém, pelos dados obtidos e as informações expostas anteriormente, a edificação em parede de concreto moldado *in loco* para

a cidade de Caruaru/PE tende a ser desconfortável termicamente caso o cenário de mudança climática ocorra, assim como terá o desempenho energético comprometido, uma vez que é necessário consumir mais energia para manter a temperatura interna dentro do valor estabelecido pelo intervalo da norma.

Vale ressaltar que este trabalho não considerou a degradação natural dos materiais empregados na edificação, ou seja, as propriedades termo físicas não foram modificadas com o passar dos anos, foi considerado apenas as alterações climáticas.

Analisando detalhadamente os gráficos da seção anterior é possível perceber que o modelo real, em geral, apresenta melhores índices de PHFT para as UHs do que o modelo de referência. O desempenho é melhor que o modelo de referência para todos os anos avaliados, mesmo com a redução do PHFT e o aumento da $T_{máx}$ e da C_{gTT} , mesmo os dois modelos possuindo a mesma configuração de parede de concreto maciço. Isso pode ser justificado devido as alterações que o modelo de referência passou, como os ajustes nas aberturas para ventilação e iluminação. Algumas aberturas precisaram ser reduzidas, como no quarto de casal, que reduziu a área de elemento transparente de $1,61m^2$ para $1,44m^2$, ficando com uma área de ventilação de 7,7%.

Dessa forma, é interessante analisar o comportamento do modelo de referência diante dos cenários climáticos aqui estudados, assim como observar como os limites adotados pelo modelo de referência para a obtenção do nível mínimo.

4.3 Análise do modelo de referência e do limite de desempenho térmico mínimo

De acordo Krelling, *et al* (2020) o modelo de referência é baseado na DATec N° 035-A (PBQP-H, 2020), que é constituído de parede de concreto de 10cm, laje de 10cm, telhado de fibrocimento de 8mm. Segundo os autores a comparação entre modelo real e modelo de referência ajuda a neutralizar ou diminuir as imprecisões das simplificações dos processos físicos e imperfeições das simulações computacionais. Além disso, a abordagem metodológica foi escolhida pois já usada por normas internacionais como a ASHRAE 90.1 (ASHRAE, 2019).

Contudo, Oliveira (2015) constatou que o sistema de parede de concreto necessita de adequações na composição ou uso de estratégias bioclimáticas para se tornar adequado a diversidade climática brasileira. Ela também verificou que o método prescritivo é mais rigoroso que o método de simulação da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Alvares (2018) identificou que há inadequação do sistema de vedação vertical em concreto armado com relação ao desempenho térmico mínimo. Assim como Costa (2022) que

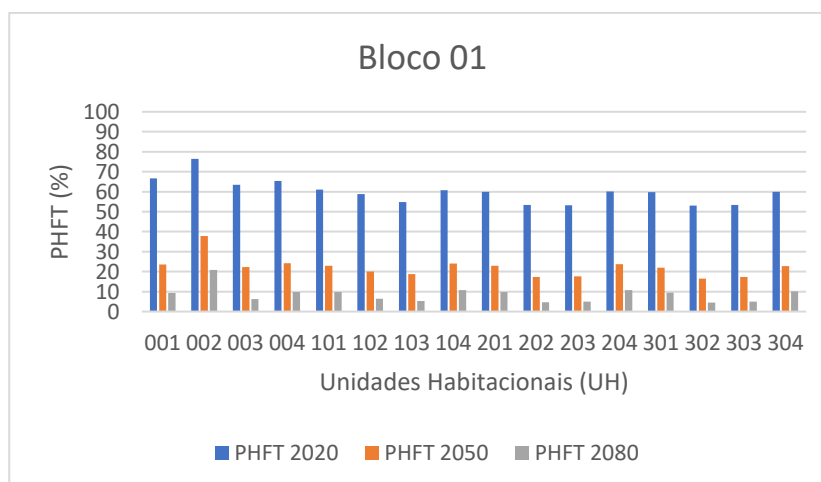
afirma que a parede de concreto armado continua sendo inadequada para todas as zonas bioclimáticas no Brasil, após ter analisado o sistema pelo procedimento simplificado da NBR 15:575 (ABNT, 2021), pois o sistema tem alto valor de transmitância térmica. Brito (2022) também avaliou o desempenho térmico de habitações unifamiliares em Palma/TO, pelo método simplificado, e concluiu a não adequação do sistema ao clima local, mostrando a necessidade de encontrar soluções para melhorar o desempenho térmico das habitações.

Mesmo diante do baixo desempenho térmico apresentado pelo sistema de parede de concreto armado que os estudos realizados por Oliveira (2015), Alvares (2018), Costa (2022) e Brito (2022) mostraram esse foi o modelo escolhido para servir como referência na metodologia de simulação computacional da NBR 15.575 (ABNT, 2021).

Além do sistema construtivo usado pelo modelo de referência escolhido não ser o mais adequado para comparação outros modelos de edificação disso, um dos critérios usados pela norma para obtenção do desempenho mínimo aparenta ser inadequado quando usado em conjunto com esse modelo de referência. Ao ser estabelecido como critério para a obtenção do desempenho mínimo que a edificação do modelo real deve alcançar 90% do desempenho da edificação de referência, o modelo real tem grandes chances de alcançar o desempenho mínimo.

A Figura 34 apresenta o gráfico do comportamento do PHFT do modelo de referência ao longo dos períodos estudados. A partir da é possível traçar o seguinte exemplo: assumindo que o PHFT da unidade 102 para 2050 é exatamente 20% e que 90% desse valor é igual a 18%, qualquer valor obtido pelo modelo real acima de 18% irá considerar que a unidade habitacional 102 do modelo real atingiu o desempenho mínimo.

Figura 34 – Gráfico do PHFT do modelo de referência para o clima atual, 2050 e 2080.



Fonte: Autora, 2023.

Como visto no exemplo, mesmo apresentando um baixo percentual de PHFT a unidade seria aprovada no critério de desempenho mínimo. Contudo, isso não significa que o

modelo real tem um bom desempenho térmico, visto que quanto menor for PHFT menor é o número de horas dentro do limite de temperatura estabelecido pela norma.

Assim, percebe-se que ao adotar como modelo de referência um sistema construtivo que não apresenta adequado desempenho térmico associado a um critério baixo para o atendimento do desempenho mostra que as edificações avaliadas estão obtendo facilmente o nível mínimo de desempenho térmico, e isso pode ser verdade não apenas para as edificações avaliadas considerando o clima futuro como também as edificações produzidas para o clima atual.

Uma vez que para a comparação feita neste trabalho usou tanto para o modelo real quanto o modelo de referência o mesmo sistema construtivo, ambos em concreto armado, que possuem as mesmas propriedades termo físicas, salvo algumas alterações realizadas nas aberturas e na cobertura do modelo de referência, como mencionado anteriormente.

Dessa forma, portanto, é possível inferir que são necessários ajustes não apenas nas características e propriedades termo físicas do modelo de referência, como também nos limites estabelecidos para o atendimento do critério do PHFT, para que a avaliação possa ser realizada de forma mais coerente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que a ação antropogênica vem colaborado para o aumento da temperatura global e com isso agravando os efeitos causados pelos eventos climáticos, faz-se necessária a adoção de medidas de mitigação e adaptação para conter os impactos das mudanças climáticas, principalmente o impacto gerado sobre as cidades, que é principal habitat do homem. Essas mudanças visam garantir o acesso à habitação segura e adequada, mesmo diante de eventos climáticos extremos, como por exemplo, as ondas de calor.

Nesse sentido garantir desempenho térmico adequado e baixo consumo energético nas edificações é o ideal para assegurar uma habitação segura e confortável aos usuários. No intuito de certificar o correto desempenho das edificações no Brasil, a norma de desempenho NBR15.575 (ABNT, 2021) define alguns critérios que devem ser seguidos para obtenção do desempenho mínimo, que é obrigatório, em alguns componentes da edificação como por exemplo a envoltória.

Este trabalho avaliou o desempenho térmico de uma habitação multifamiliar em parede de concreto moldado in loco para a cidade de Caruaru/PE, considerando o clima atual e dois cenários de mudanças climáticas no futuro (2050 e 2080). O objeto de estudo trata-se de um projeto padrão de habitação multifamiliar que é empregado em todo o país utilizando o mesmo sistema construtivo de parede de concreto moldado no local.

A metodologia empregada foi a simulação computacional da nova versão da NBR 15.575 (ABNT, 2021). O procedimento de simulação computacional trazido por esta versão norma permite averiguar o impacto que as diferentes características geométricas e termo físicas do projeto têm sobre o desempenho térmico da edificação. O processo de simulação gerou dados para a edificação com e sem o uso de ventilação natural para o clima atual, 2050 e 2080.

Além de analisar os dados das simulações foram analisados também os valores das variáveis climáticas, presentes nos arquivos climáticos para 2050 e 2080, e seu comportamento diante as alterações no clima. Foi constatado o aumento na temperatura de bulbo seco em 1°C entre o clima atual e o de 2050, e o aumento de 2°C entre o clima atual e 2080. No entanto a umidade apresentou uma redução maior entre o clima atual e 2050 do que entre 2050 e 2080, onde a redução foi menos significativa.

Os valores obtidos nas simulações foram analisados primeiramente para a obtenção do desempenho mínimo, que é de caráter obrigatório. Foi observado que a edificação atendeu a todos os critérios para o alcance do desempenho mínimo para o clima atual e que apenas o bloco 02 atendeu a todos os critérios para os climas de 2050 e 2080. Como a unidade 02 do

bloco 01 não atendeu ao critério do PHFT, ele não obteve o desempenho mínimo em 2050 e 2080.

Após a análise das unidades para o desempenho mínimo foi averiguado o desempenho intermediário. Este nível de desempenho foi alcançado apenas para o clima atual e apenas para as unidades 001, 003, 004 e 302 do bloco 01 e 001, 002, 003, 004, 301, 302 e 303 do bloco 02. Para 2050 e 2080 as unidades não alcançaram os critérios de desempenho intermediário. Vale ressaltar que uma vez não alcançado o nível de intermediário, as unidades também não vão obter o nível superior. Assim, foi observado que todas as unidades nos três períodos estudados não atingiram o nível superior de desempenho térmico, mesmo aquelas que obtiveram o nível intermediário.

Constatou-se que por mais que as unidades habitacionais tenham obtido o nível de desempenho mínimo em 2050 e 2080, estas unidades apresentaram porcentagens de PHFT inferior a 50% em 2050 e inferior a 30% em 2080. Isso sugere que conforme acontece um aumento no desconforto térmico dentro da unidade, assim como há um acréscimo na carga térmica total das unidades nesses períodos.

Com a elevação de 1°C na temperatura entre o clima atual e 2050 ocorre uma redução no percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa em cerca de 50% e um aumento na carga térmica das unidades de aproximadamente 50%. Essa tendência se repete ao comparar os anos de 2050 e 2080, onde o PHFT das unidades decai em 50% e a carga térmica cresce em 50% no ano de 2080 e comparação ao valor de 2050.

Outro ponto importante a ser evidenciado é que ambos os modelos usados na simulação têm propriedades termo físicas semelhantes, eles há poucas diferenças, como por exemplo o dimensionamento das aberturas. Tanto o modelo real, que representa o objeto de estudo, quanto o modelo de referência tem o mesmo sistema construtivo, o concreto armado. É necessário realçar isto, pois o sistema de parede de concreto pelo método prescritivo não atende ao desempenho mínimo para Caruaru. Porém, ao realizar a simulação computacional seguindo o método da NBR 15.575 (ABNT, 2021) e comparando um modelo de referência em parede de concreto com o modelo real em parede de concreto, para o clima de Caruaru, foi atingido o nível mínimo de desempenho das unidades para todos os anos estudados, com exceção na unidade 002 do bloco 01 nos anos de 2050 e 2080.

Foi possível perceber que o modelo de referência utilizado na metodologia de simulação não é condizente para ser um comparativo com outras edificação, pois é um sistema que se mostra inadequado a diversos climas do Brasil, conforme Moreno (2013), Oliveira (2015)

e Alvares (2018) demonstram em seus estudos, assim como não é adequado para Caruaru, como indica o método prescritivo.

Além disso, foi verificado que o limite usado para o cálculo do PHFT usado na norma também é bastante permissivo ao atendimento do nível mínimo. Dessa forma, ao associar um modelo de referência que inadequado a um critério de PFHT no qual as unidades devem atender a 90% do desempenho de um modelo que não apresenta desempenho térmico adequado, essas unidades passarão nesse critério com facilidade.

Isso é algo preocupante, já que é obrigatório o atendimento ao desempenho mínimo nas edificações residenciais, principalmente aquelas que são auditadas pelo Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H). Segundo Rafael (2017) a maior parte dos processos de licitação dos programas habitacionais exigem que as construtoras sejam certificadas pelo PBQP-H, para obtenção de recursos para as obras. Assim, após a revisão do PBQP-H no início de 2017, as empresas só ganham a certificação ao atender os requisitos da NBR 15.575 e do PBQP-H.

Devido essa importância do atendimento aos requisitos da norma é necessário um ajuste do modelo de referência usado no método da simulação, assim como do critério usado para o cálculo do PFHT, de forma que as edificações possam ser avaliadas de forma precisa sem mascarar o real desempenho das unidades habitacionais.

Assim, portanto, este trabalho conseguiu não apenas obter dados sobre o desempenho térmico para a Caruaru/PE como também observou algumas imprecisões quanto ao método de avaliação de simulação computacional da NBR 15.575 (ABNT, 2021). Concluindo que são necessário ajustes no modelo de referência e no critério do PHFT usado pela referida norma, além da sugestão de inclusão de avaliação das edificações em cenários futuros por parte da norma, visto que as edificações devem ter uma vida útil projeto (VUP) de pelo menos 50 anos e mesmo diante da incerteza sobre os cenários futuros, é importante considerá-las no desenvolvimento de projetos mais eficientes termicamente e energeticamente.

5.1 Limitações da Pesquisa

Nesta seção são apresentadas algumas das limitações encontradas durante a execução deste trabalho. A primeira delas se refere aos arquivos climáticos usados tanto para o clima atual quanto para o clima futuro. O arquivo climático relativo ao clima atual, é elaborado por uma série histórica, que em geral usa dados de 1961 a 1990, assim esses dados não refletem as condições climáticas para o clima atual em 2023.

Relacionado aos arquivos climáticos gerados pela ferramenta CCWorldWeatherGen, a limitação é que ela considera apenas o cenário A2 de mudanças climáticas, que é o cenário mais pessimista dentre os produzidos. Além disso, os dados produzidos pelo cenário são apenas estimativas de como será o comportamento do clima caso as emissões de poluentes se concretizem, assim há muitas incertezas associadas ao cenário.

Não foi possível obter algumas informações relacionadas ao objeto de estudo como por exemplo: percentual das aberturas de portas e janelas para ventilação e iluminação e tipo e propriedades da manta usada sob a cobertura. Com isso os resultados obtidos são válidos apenas o sistema construtivo e características climáticas analisadas sob as condições de uso e operação determinados pela NBR 15.575 (ABNT, 2021). Além disso, não foi considerado a degradação que ocorre nos materiais devido ao uso e/ou exposição as condições climáticas.

Além disso, não foram estudadas alterações da proposta original como inclusão de soluções de sombreamento de abertura ou alteração na propriedade dos materiais ou do sistema construtivo para a cidade. Por fim, foi feita uma modesta análise estatística dos dados apresentados.

5.2 Sugestão de trabalhos futuros

Tendo em vista as limitações apresentadas, as seguintes sugestões de trabalho futuro podem ser feitas:

- Investigar a edificação para outros cenários de mudanças climáticas;
- Utilizar outra ferramenta para gerar os arquivos climáticos, a fim de comparar a consistência dos dados apresentados;
- Incluir alterações no modelo real seguindo as orientações da arquitetura bioclimática e ou alteração no sistema construtivo;
- Realizar análise estatística mais elaborada dos dados obtidos
- Análise do conforto térmico e da eficiência energética da edificação.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005.
- _____. **NBR 15220-2**: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro. 2005
- _____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.
- _____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021.
- _____. **NBR 16055**: Paredes de concreto armado moldado no local. Rio de Janeiro, 2012.
- ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.
- ALVARES, S. M. **Desempenho térmico de habitações do PMCMV em paredes de concreto : estudo de caso em São Carlos-SP e diretrizes de projeto para a Zona Bioclimática 4**. Dissertação – São Carlos: Universidade de São Paulo, 30 jul. 2018.
- ALVAREZ, C.; BRAGANÇA, L. **Medidas para o Enfrentamento dos Impactos das Mudanças Climáticas no Ambiente Construído**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SUSTENTABILIDADE URBANA, 1.; JORNADA URBENERE, 14.; JORNADA CIRES, 2, 2018. Anais [...]. Vitória; Vila Velha: URBENERE; CIRES, 2018. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/59308>>. Acesso em: 29 maio 2023.
- ALVES, C. A.; DUARTE, D. H. S.; GONÇALVES, F. L. T. **Residential buildings' thermal performance and comfort for the elderly under climate changes context in the city of São Paulo, Brazil**. Energy and Buildings, v. 114, p. 62-71. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.044>.
- ASHRAE - The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers is an American. **STANDARD 55 - 2017: Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, Georgia, 2017. ISSN 1041-2336.
- _____. The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers is an American. **ANSI/ASHRAE 90.1-2019: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. SI ed. Atlanta, 2019.
- BARBOSA, J., GOMES, G., & FERREIRA, V. **Desempenho térmico de paredes de concreto em clima quente**. Revista Ambiente Construído, 16(1), 165-178, 2016.
- BARROS, Izabelle Souza. **O cenário do polo de confecções do agreste de Pernambuco**. 2009. Disponível em: < <http://www.faculdadesenacpe.edu.br/encontro-de-ensino->

[pesquisa/2011/III/anais/comunicacao/015_2009_ap_oral.pdf](#) >. Acessado em: 02 de junho de 2023.

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

BRAGA, N. K. M. **Potencial de aquecimento global de paredes de concreto a partir da avaliação do ciclo de vida**. Brasília, 2018. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 30 out. 2022.

_____. **Lei n. 12.424**, de 7 de julho de 2009, dispõe sobre o Programa Minha Casa Minha Vida - PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas. Diário Oficial da União, Brasília, 8 de julho de 2009.

_____. **Lei nº 14.118**, de 12 de janeiro de 2021, institui o Programa Casa Verde e Amarela. Diário Oficial da União, Brasília, 12 de janeiro de 2021.

_____. **Medida provisória nº 1.162**, de 14 de fevereiro de 2023. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida. Diário Oficial da União, Brasília 14 de fevereiro de 2023.

BRITO, D. R. **Análise de desempenho térmico de paredes em concreto armado em uma habitação social em Palmas - TO**. Monografia (Graduação). Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2022.

CALADO, Caroline Barreto *et al.* **Os caminhos do crescimento urbano e territorial de Caruaru-PE**. In: Anais da Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia 2017. Fortaleza –CE, 2017. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/mpct2017/45520-os-caminhos-do-crescimento-urbano-e-territorial-de-caruaru-pe>>. Acesso em: 18 de maio de 2023.

C40 CITIES CLIMATE LEADERSHIP GROUP *et al.* **THE FUTURE WE DON'T WANT How Climate Change Could Impact the World's Greatest Cities - UCCRN Technical Report**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.c40.org/what-we-do/scaling-up-climate-action/adaptation-water/the-future-we-dont-want/>>. Acesso em: 6 nov. 2022.

CAMACHO, A., GUIMARÃES, V., & SILVA, G. **Desempenho térmico de paredes de concreto armado em regiões quentes**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, 22(48), 134-145, 2020.

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

CAVALCANTI, F. A. de M. S.. **Paredes trombe no Brasil: análise do potencial de**

utilização para aquecimento e refrigeração. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2013.

CBN CARUARU. Estudo revela que Pernambuco sofre com déficit habitacional de 326.844 unidades. Disponível em: <<https://www.cbncaruaru.com/artigo/estudo-revela-que-pernambuco-sofre-com-deficit-habitacional-de-326-844-unidades>>. Acesso em: 27 abr. 2023. CCWORLDWEATHERGEN. Climate change world weather file generator Software. Version 1.9. 2017.

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

CNM. Confederação Nacional de Municípios | Comunicação. Disponível em: <<https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/cnm-faz-analise-dos-10-anos-do-minha-casa-minha-vida>>. Acesso em: 30 out. 2022.

COSTA, G. M. DA. Desempenho e conforto térmico em habitações com parede de concreto armado moldado in loco no município de Paulo Afonso - BA. Dissertação – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2022.

COSTA, S. R. G. D. Desempenho térmico e habitação: uma avaliação comparativa no contexto climático da zona bioclimática 8. Dissertação – Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2011.

CRESWELL, J. W. Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. Sage Publications, 2013.

DANTAS, C. M. Avaliação térmica de habitações unifamiliares do programa minha casa minha vida em Maceió-AL. Dissertação—Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2015.

DÍAZ, C., SILVA, J., & MOTA, C. Análise do desempenho térmico de paredes de concreto em edificações no contexto da Amazônia brasileira. Ambiente Construído, 21(3), 93-107, 2021.

DUMKE, E.M.S. Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da vila tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em habitação de interesse social. 2002. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 200213–620.

EPE. Balanço Energético Nacional (BEN) 2022: Ano base 2021. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_Síntese_2022_PT.pdf>. Acesso em: 31 out. 2022.

FARAH, S.; WHALEY, D.; SAMAN, W.; BOLAND, J. Integrating climate change into meteorological weather data for building energy simulation. Energy and Buildings, v. 183, p. 749-760, Jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.045>.

FERREIRA, M. P. T. Avaliação do conforto térmico com base em critérios normativos em

apartamentos representativos do programa minha casa minha vida em Maceió-AL. Dissertação—Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2019.

FIGUEIREDO, E., OLIVEIRA, D., GONÇALVES, M., & BRITO, J. **Análise técnico-econômica de estruturas de paredes de concreto armado no Brasil.** Ambiente Construído, 19(2), 233-250, 2019.

FJP. FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil – 2016-2019.** Belo Horizonte: FJP, 2021. 169 p. Disponível: <www.fjp.mg.gov.br>. Acesso em: 30 out. 2022.

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

GALLARDO, A. A. et al. **Analysis and optimization of the thermal performance of social housing construction materials in Ecuador.** PLEA 2016 - 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. **Anais...**Los Angeles: PLEA 2016.

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

GUARDA, E. L. A.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. **Impacto das mudanças climáticas no ambiente térmico interno de habitação unifamiliar em Cuiabá-MT.** PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 11, p. e020031, dez. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v11i0.8657188>.

GUITARRARA, P. **Apagão de 2001: o que foi e quanto tempo durou? - Brasil Escola.** Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/historiab/apagao.htm>>. Acesso em: 6 nov. 2022.

HACHEM-VERMETTE, C. **Green Energy and Technology Solar Buildings and Neighborhoods Design Considerations for High Energy Performance.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.springer.com/series/8059>>.

HU, Z. et al. **A review on the application of Trombe wall system in buildings.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 70, p. 976–987, 2017.

IBGE. **Brasil | Cidades e Estados | Caruaru.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/caruaru.html>>. Acesso em: 3 fev. 2023.

IBRACON. INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO. **Sistemas construtivos paredes de concreto, alvenaria estrutural e pré-fabricados de concreto.** Concreto e Construção, ed. 90, 2018. Disponível em:<http://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/revista90.pdf>. Acesso em: 05 maio 2023.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1990.** Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/NormaisClimatologicas/1961-1990/precipitacao_acumulada_mensal_anual>. Acesso em 20 maio 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE -IPCC. **Climate change 2007: Synthesis Report.** Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: 2007. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf >. Acesso em: 05 jan. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE -IPCC. **Climate change 2014: Synthesis Report.** Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: 2014. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf >. Acesso em: 14 nov. 2022.

INVIDIATA, A.; GHISI, E. **Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil.** *Energy and Buildings*, v. 130, p. 20-32, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.067>

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE: **Summary for Policymakers.** In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-24, 2018. doi:10.1017/9781009157940.001. Acesso em 13 ago. 2022.

JAUDY, L. F. R.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A.; ROSSETI, K. A.C.; BUTTNER, S. B.; NOGUEIRA, M. C. de J. A.; PORTO, A. H. H.. **Desempenho Térmico e Conservação de Energia de Habitação de Interesse Social em Cuiabá - MT.** In: Encontro Nacional e Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, ENCAC 13/ELACAC 9, 2015. Campinas. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015.

JENTSCH, M. F.; JAMES, P. A. B.; BOURIKAS, L.; BAHAJ, A. S. **Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates.** *Renewable Energy*, vol. 55, p. 514-524, 2013.

JENTSCH, M. F.; BAHAJ, A. S.; JAMES, O. A. B. **Manual CCWorldWeatherGen Climate change world weather file generator: Manual.** Version 1.9. Southampton: University of Southampton, 2017.

JOHNSON, B.; CHRISTENSEN, L.; TURNER, L. **Research methods, design, and analysis.** Routledge, 2015.

KOČÍ, J.; KOČÍ, V.; MADĚRA, J.; ČERNÝ, R. **Effect of applied weather data sets in simulation of building energy demands: Comparison of design years with recent**

weather data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 100, p. 22-32. Feb. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.022>.

KONG, D. *et al.* **Effects of indoor humidity on building occupants' thermal comfort and evidence in terms of climate adaptation.** *Building and Environment*, v. 155, p. 298-307, 2019.

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

LABEEE. LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES **Arquivos climáticos INMET 2016.** Florianópolis. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>>. Acesso em: 15 out 2022.

_____. **Capacitação na seção de desempenho térmico da NBR 15575-1: 2021.** Disponível em: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLm60eQHb8XvRYwiyeRo4zUI8ipHz_wSDI>. Acesso em: 25 jan. 2023.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3ª edição. [S.l.]: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

MACHADO, J. D. M. **Avaliação de desempenho térmico em edificações multifamiliares considerando as mudanças climáticas futuras.** Dissertação – Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2019.

MACHADO, J. de M.; MALTA, N. S.; BUSSOLOTI, V. M.; FERRÃO, A. L. S.; NICORODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. **Impacts of climate change on the thermal and energy performance of Brazilian residential buildings.** *PARC Pesq. em Arquit. e Constr.*, Campinas, SP, v. 13, p. e022025, 2022. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v13i00.8665832>

MAGALHÃES, L., SANTOS, A., & KOWALTOWSKI, D.. **Eficiência energética de sistemas construtivos de habitações populares para regiões tropicais.** *Revista Ambiente Construído*, 18(4), 147-161, 2018.

MARQUES, T. H. T.; CHVATAL, K. M. S. **A review of the Brazilian NBR 15575 Standard: Applying the simulation and simplified methods for evaluating a social house thermal performance.** *Simulation Series. Anais.2013.* Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.5555/2500004.2500017>>. Acesso em: 26 out. 2022.

MARTINEZ, G. F. *et al.* **Habitação de interesse social: as tipologias habitacionais e o seu reflexo na produção da cidade através do programa minha casa minha vida.** *Colloquium Humanarum*, v. 10, n. Especial, p. 316–323, 25 out. 2013.

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

MELHADO, S.B. **Metodologia de projeto voltada à qualidade na construção de edifícios: metodologia envolvendo os novos procedimentos de projeto.** In: VII Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, **Anais**. Florianópolis, ENTAC, 1998.

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

MENEZES, E. R. B., GHISI, E., & LAMBERTS, R. **Climate data and their influence on thermal simulation results for a case study in Florianópolis, Brazil.** Energy and Buildings, 202, 109418, 2019.

MONTES, M. A. T. **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2016.

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

MOREIRA, S. **O que é Habitação de Interesse Social?** ArchDaily Brasil, 10 out. 2020. Disponível em: < <https://www.archdaily.com.br/br/925932/o-que-e-habitacao-de-interesse-social> >. Acesso em: 30 out. 2022.

MORENO, A. C. R. **Minha casa minha vida: análise de desempenho térmico pela NBR 15.220-3, NBR 15.575, selo casa azul e RTQ-R.** Dissertação—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

MORENO, A. C. R.; MORAIS, I. S. DE; SOUZA, R. G. DE. **Thermal Performance of Social Housing— A Study Based on Brazilian Regulations.** Energy Procedia, v. 111, p. 111–120, mar. 2017.

MRV. **Ferrete Residencial.** Disponível em: <<https://www.mrv.com.br/imoveis/apartamentos/sao-paulo/franca/regiao-do-jardim-noemia/ferrete-residencial>> Acesso em: 27 fev. 2022.

_____. **Residencial Parque Caminho das Baraúnas.** Disponível em: <<https://www.mrv.com.br/imoveis/apartamentos/pernambuco/caruaru/indianopolis/parque-caminho-das-baraunas>>. Acesso em: 27 fev. 2022.

NUNES, G. H. **Influência das mudanças climáticas na sensibilidade global de parâmetros termo físicos de habitações brasileiras.** Dissertação – Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2021.

NUNES, G. H.; GIGLIO, T. G. F. **Influência das mudanças climáticas no desempenho térmico de uma habitação com diferentes sistemas construtivos: análise do clima de São**

Paulo. Revista Principia–Divulgação Científica do IFPB, v. 48, p. 46-61, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-03062015v1n48p46-61>.

NUNES, G.; GIGLIO, T. **Effects of climate change in the thermal and energy performance of low-income housing in Brazil—assessing design variable sensitivity over the 21st century.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 168, p. 112885, out. 2022.

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

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

OLIVEIRA, R.D. **Classificação do desempenho térmico da envoltória de habitação popular em concreto armado.** Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas) Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

OLIVEIRA, C. C.; RUPP, R. F.; GHISI, E. **Influence of air humidity on the thermal comfort of users of office buildings in Florianópolis/SC.** Ambiente Construído, v. 20, p. 7-21, 2020. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000400457>

ONU. **ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050 | | 1ONU News.** Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>>. Acesso em: 31 out. 2022.

OUZZANI, M. et al. Rayyan-a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic Reviews**, v. 5, n. 1, 5 dez. 2016.

PBQP-H. Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat. **DATec N° 035-A.** 2020. Disponível em: <http://pbqp-h.mdr.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em: 1 set. 2020.

PEIXOTO, L. B.; DE SOUZA, R. V. G.. **Desempenho térmico pela ABNT NBR 15575: versões 2013 e 2021.** Revista Sítio Novo, v. 7, p. 149-160, 2022.

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

PNA. **Plano nacional de adaptação às mudanças.** 2016. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/arquivos-biomas/plano-nacional-de-adaptacao-a-mudanca-do-clima-pna-vol-i.pdf>>. Acesso em: 04 jan. 2023.

PRUDÊNCIO, R., TAVARES, P., & SANTOS, R. **Análise comparativa do desempenho termoacústico entre alvenaria convencional e paredes de concreto armado moldadas in loco.** Revista da Escola de Minas, 2017, 70(1), 67-73.

RAFAEL, J. **A Norma de Desempenho e o PBQP-H - Certificação ISO**. Disponível em: <<https://certificacaoiso.com.br/a-norma-de-desempenho-e-o-pbqp-h/>>. Acesso em: 6 jul. 2023.

RIOS, G. A. D. A. **Desempenho termo energético de habitação de interesse social**. Tese— Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2015.

RIVAS, E.; ALLIE, K. N.; SALVADOR, P. M. **Progressive dry to humid hyperthermia alters exercise cerebral blood flow**. *Journal of Thermal Biology*, v. 84, p. 398-406, Aug. 2019. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2019.07.036.

ROBERT, A.; KUMMERT, M. **Designing net-zero energy buildings for the future climate, not for the past**. *Building and Environment*, v. 55, p. 150–158, 2012.

ROLNIK, R. et al. **O Programa Minha Casa Minha Vida nas regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas: aspectos socioespaciais e segregação**. *Cadernos Metrôpole*, v. 17, n. 33, p. 127–154, 2015.

RORIZ, M. **Uma Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. Relatório Interno, 2012. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016> > Acesso em: 10 maio 2023.

SAMPAIO, G.; DIAS, P. L. S. **Evolução dos modelos climáticos e de previsão de tempo e clima**. *Revista USP*, vol. n. 103, p. 41-54. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/287863885_Evolucao_dos_Modelos_Climaticos_e_de_Previsao_de_Tempo_e_Clima>. Acesso: 14 nov. 2022.

SANTO, A. D.; ALVAREZ, CE de; NICO-RODRIGUES, E. A. **Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575**. *Cadernos PROARQ*, v. 20, p. 116-136, 2014.

SANTOS, A. **Paredes de concreto já dominam Minha Casa Minha Vida | Cimento Itambé**. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/paredes-de-concreto-minha-casa-minha-vida/>>. Acesso em: 26 jun. 2023.

SANTOS, C. R.R. **Análise comparativa financeira dos métodos construtivos em alvenaria estrutural e paredes de concreto moldadas in loco aplicados em empreendimentos na cidade de Caruaru**. Monografia. Universidade Federal de Pernambuco – Campus Acadêmico do Agreste, 2017.

SANTOS, F. C., ALVIM-FERRAZ, M. C., & MARTINS, F. G. **Climate change effects on building energy demand estimation: an analysis of different climatic data sources and downscaling techniques**. *Science of the Total Environment*, 748, 141258, 2020.

SANTOS, J. M.; FREITAS, L. F. de; OLIVEIRA, R. D. **Análise do desempenho térmico em habitação unifamiliar de interesse social em Curitiba**. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 17., 2018. *Anais [...]*. Porto Alegre: ANTAC, 2018. p. 6

SANTOS, T. L. DOS; PORTO, F. H. F. DOS S.; SILVA, A. S. **Análise da correlação entre conforto e desempenho térmico em habitações de interesse social por simulação computacional.** *Ambiente Construído*, v. 20, n. 2, p. 211–229, 8 jun. 2020.

SERG. **Sustainable Energy Research Group.** Disponível em: <<https://energy.soton.ac.uk/>> Acesso em: 20 out. 2022.

SILVA, A. S.; GHISI, E. **Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1.** *Ambiente Construído*, v. 14, n. 1, p. 215–230, mar. 2014.

SILVA, P. E. M. DA. **Desempenho térmico de edificações residenciais: análise da influência de sistemas de parede, padrões de uso e operação e métodos de modelagem para simulação.** Dissertação – São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio Sinos, 2021.

SILVA, R. R.; NASCIMENTO, F. P.; SILVA, G. R.; CÂMARA, G. **Climatic data quality control and analysis using open-source tools.** *Computers, Environment and Urban Systems*, 71, 119-129, 2018.

SINDUSCON. **Esquadria com foco em eficiência energética - guia orientativo para projetos de edificações eficientes.** SindusCon-SP. 2018.

SMITH, M. **Research methods in education.** Routledge, 2010.

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

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. **Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais.** *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83-101, 2014.

SOUZA, M. G. DE; BRASILEIRO, C. DA F. L. **"Da inserção urbana de habitação de interesse social: uma análise de conjuntos habitacionais do Programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Caruaru-PE"**. In: III Seminário Nacional sobre Urbanização de Favelas - URBFAVELAS, Salvador - BA - Brasil. 2018.

TRIANA, M. A.; 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, 2018.

UNEP. **A Practical Guide to Climate-resilient Buildings & Communities.** Nairobi: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm>>. Acesso em: 20 out. 2022.

VASQUEZ, E. M. A. **Análise do conforto ambiental em projetos de habitações de interesse social segundo a NBR 15.575:2013.** Dissertação—Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica, 2017.

APÊNDICE A – RESULTADO DO MODELO REAL PARA O CLIMA ATUAL (BLOCO 01)

Modelo Real - Bloco 01														
Ambiente	Ventilação Natural						Sem Ventilação Natural					Nível de Desempenho		
	Nh _{ocup} (horas)	NH _t (horas)	PHFT _{APP} (%)	PHFT _{UH} (%)	To _{Máx APP} (°C)	To _{Máx UH} (°C)	CgTR _{APP} (kWh/ano)	CgTA _{APP} (kWh/ano)	CgTR _{UH} (kWh/ano)	CgTA _{UH} (kWh/ano)	CgTT _{UH} (kWh/ano)	Mínimo	Intermediário	Superior
Quarto_Casal_01_1	3650	3397	9306.8%		27.37		166.06	0.00						
Quarto_Solteiro_01_1	3650	3120	8547.9%	75.90	27.40	29.54	319.86	0.00	2065.10	0.00	2065.10	SIM	SIM	NÃO
Sala_Cozinha_01_1	2920	1435	4914.4%		29.54		1579.18	0.00						
Quarto_Casal_02_1	3650	3259	8928.8%		27.30		233.74	0.00						
Quarto_Solteiro_02_1	3650	3135	8589.0%	78.80	27.40	28.74	306.42	0.00	1726.04	0.00	1726.04	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_02_1	2920	1788	6123.3%		28.74		1185.88	0.00						
Quarto_Casal_03_1	3650	3230	8849.3%		27.23		251.61	0.00						
Quarto_Solteiro_03_1	3650	3155	8643.8%	78.60	27.33	28.54	288.96	0.00	1634.25	0.00	1634.25	SIM	SIM	NÃO
Sala_Cozinha_03_1	2920	1777	6085.6%		28.54		1093.68	0.00						
Quarto_Casal_04_1	3650	3392	9293.2%		27.41		164.03	0.00						
Quarto_Solteiro_04_1	3650	3126	8564.4%	75.31	27.48	29.55	314.00	0.00	2101.78	0.00	2101.78	SIM	SIM	NÃO
Sala_Cozinha_04_1	2920	1383	4736.3%		29.55		1623.76	0.00						
Quarto_Casal_101_1	3650	3217	8813.7%		27.93		289.26	0.00						
Quarto_Solteiro_101_1	3650	2795	7657.5%	70.11	28.00	30.17	521.04	0.00	2579.22	0.00	2579.22	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_101_1	2920	1332	4561.6%		30.17		1768.92	0.00						
Quarto_Casal_102_1	3650	2926	8016.4%		27.87		437.00	0.00						
Quarto_Solteiro_102_1	3650	2779	7613.7%	68.05	27.94	29.16	519.61	0.00	2457.85	0.00	2457.85	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_102_1	2920	1397	4784.2%		29.16		1501.24	0.00						
Quarto_Casal_103_1	3650	2864	7846.6%		27.30		480.75	0.00						
Quarto_Solteiro_103_1	3650	2793	7652.1%	67.00	28.04	29.13	507.34	0.00	2507.95	0.00	2507.95	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_103_1	2920	1344	4602.7%		29.13		1519.86	0.00						
Quarto_Casal_104_1	3650	3219	8819.2%		28.02		281.00	0.00						
Quarto_Solteiro_104_1	3650	2805	7684.9%	69.69	28.17	30.20	514.38	0.00	2598.81	0.00	2598.81	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_104_1	2920	1286	4404.1%		30.20		1803.43	0.00						
Quarto_Casal_201_1	3650	3154	8641.1%		28.07		331.25	0.00						
Quarto_Solteiro_201_1	3650	2659	7284.9%	67.58	28.21	30.51	608.29	0.00	2848.05	0.00	2848.05	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_201_1	2920	1270	4349.3%		30.51		1908.51	0.00						
Quarto_Casal_202_1	3650	2780	7616.4%		28.09		528.94	0.00						
Quarto_Solteiro_202_1	3650	2622	7183.6%	64.00	28.15	29.62	616.25	0.00	2846.04	0.00	2846.04	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_202_1	2920	1285	4400.7%		29.62		1700.85	0.00						
Quarto_Casal_203_1	3650	2718	7446.6%		28.19		574.80	0.00						
Quarto_Solteiro_203_1	3650	2636	7221.9%	63.06	28.28	29.63	604.64	0.00	2896.55	0.00	2896.55	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_203_1	2920	1241	4250.0%		29.63		1717.11	0.00						
Quarto_Casal_204_1	3650	3164	8668.5%		28.17		317.79	0.00						
Quarto_Solteiro_204_1	3650	2681	7345.2%	67.23	28.37	30.61	592.98	0.00	2872.19	0.00	2872.19	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_204_1	2920	1213	4154.1%		30.61		1961.42	0.00						
Quarto_Casal_301_1	3650	3133	8583.6%		28.21		356.79	0.00						
Quarto_Solteiro_301_1	3650	2638	7227.4%	66.18	28.44	30.91	651.17	0.00	3158.99	0.00	3158.99	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_301_1	2920	1181	4044.5%		30.91		2151.03	0.00						
Quarto_Casal_302_1	3650	2778	7611.0%		28.26		555.34	0.00						
Quarto_Solteiro_302_1	3650	2593	7104.1%	62.61	28.37	30.17	665.39	0.00	3193.36	0.00	3193.36	SIM	SIM	NÃO
Sala_Cozinha_302_1	2920	1188	4068.5%		30.17		1972.63	0.00						
Quarto_Casal_303_1	3650	2713	7432.9%		28.38		600.25	0.00						
Quarto_Solteiro_303_1	3650	2624	7189.0%	61.46	28.48	30.18	637.16	0.00	3281.50	0.00	3281.50	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_303_1	2920	1114	3815.1%		30.18		2044.09	0.00						
Quarto_Casal_304_1	3650	3156	8646.6%		28.27		560.55	0.00						
Quarto_Solteiro_304_1	3650	2668	7309.6%	65.87	28.54	31.03	625.32	0.00	3429.85	0.00	3429.85	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_304_1	2920	1111	3804.8%		31.03		2243.98	0.00						

APÊNDICE B – RESULTADO DO MODELO REAL PARA O CLIMA ATUAL (BLOCO 02)

Modelo Real - Bloco 02														
Ambiente	Ventilação Natural						Sem Ventilação Natural					Nível de Desempenho		
	Nh _{ocup} (horas)	NH _{it} (horas)	PHFT _{APP} (%)	PHFT _{UH} (%)	To _{Máx APP} (°C)	To _{Máx UH} (°C)	CgTR _{APP} (kWh/ano)	CgTA _{APP} (kWh/ano)	CgTR _{UH} (kWh/ano)	CgTA _{UH} (kWh/ano)	CgTT _{UH} (kWh/ano)	Mínimo	Intermediário	Superior
Quarto_Casal_01_2	3650	3419	9367.1%	75.06	27.31	29.48	150.52	0.00	2098.09	0.00	2098.09	SIM	SIM	SIM
Quarto_Solteiro_01_2	3650	3134	8586.3%		27.42		310.73	0.00						
Sala_Cozinha_01_2	2920	1333	4565.1%	78.50	29.48	28.67	1636.84	0.00	1650.79	0.00	1650.79	SIM	SIM	SIM
Quarto_Casal_02_2	3650	3249	8901.4%		27.25		238.35	0.00						
Quarto_Solteiro_02_2	3650	3137	8594.5%	78.59	27.37	28.61	304.12	0.00	1739.98	0.00	1739.98	SIM	SIM	SIM
Sala_Cozinha_02_2	2920	1768	6054.8%		28.67		1108.31	0.00						
Quarto_Casal_03_2	3650	3216	8811.0%	75.79	27.30	29.42	262.69	0.00	2060.84	0.00	2060.84	SIM	SIM	SIM
Quarto_Solteiro_03_2	3650	3136	8591.8%		27.40		304.27	0.00						
Sala_Cozinha_03_2	2920	1803	6174.7%	69.20	28.61	29.96	1173.01	0.00	2620.03	0.00	2620.03	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Casal_04_2	3650	3420	9369.9%		27.35		153.45	0.00						
Quarto_Solteiro_04_2	3650	3139	8600.0%	67.42	27.48	29.29	310.23	0.00	2491.86	0.00	2491.86	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_04_2	2920	1392	4767.1%		29.42		1597.15	0.00						
Quarto_Casal_101_2	3650	3243	8884.9%	67.80	27.78	29.08	270.71	0.00	2432.18	0.00	2432.18	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_101_2	3650	2829	7750.7%		28.04		502.32	0.00						
Sala_Cozinha_101_2	2920	1204	4123.3%	69.85	29.96	29.93	1847.00	0.00	2590.81	0.00	2590.81	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Casal_102_2	3650	2920	8000.0%		27.96		439.99	0.00						
Quarto_Solteiro_102_2	3650	2788	7638.4%	66.81	28.05	30.32	514.98	0.00	2900.59	0.00	2900.59	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_102_2	2920	1340	4589.0%		29.29		1536.90	0.00						
Quarto_Casal_103_2	3650	2859	7832.9%	63.87	27.85	29.72	481.50	0.00	2854.03	0.00	2854.03	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_103_2	3650	2781	7619.2%		27.92		514.40	0.00						
Sala_Cozinha_103_2	2920	1427	4887.0%	63.48	29.08	29.66	1436.28	0.00	2877.80	0.00	2877.80	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Casal_104_2	3650	3249	8901.4%		27.85		273.42	0.00						
Quarto_Solteiro_104_2	3650	2813	7706.8%	68.53	28.03	30.20	511.11	0.00	2967.41	0.00	2967.41	SIM	SIM	NÃO
Sala_Cozinha_104_2	2920	1269	4345.9%		29.93		1806.28	0.00						
Quarto_Casal_201_2	3650	3182	8717.8%	63.87	27.94	29.72	311.03	0.00	2854.03	0.00	2854.03	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_201_2	3650	2721	7454.8%		28.24		573.49	0.00						
Sala_Cozinha_201_2	2920	1130	3869.9%	63.48	30.32	29.66	2016.07	0.00	2877.80	0.00	2877.80	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Casal_202_2	3650	2789	7641.1%		28.20		524.09	0.00						
Quarto_Solteiro_202_2	3650	2641	7235.6%	67.28	28.28	30.24	604.64	0.00	2869.81	0.00	2869.81	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_202_2	2920	1251	4284.2%		29.72		1725.30	0.00						
Quarto_Casal_203_2	3650	2692	7375.3%	68.53	28.07	30.20	587.10	0.00	2967.41	0.00	2967.41	SIM	SIM	NÃO
Quarto_Solteiro_203_2	3650	2619	7175.3%		28.13		613.75	0.00						
Sala_Cozinha_203_2	2920	1312	4493.2%	62.59	29.66	30.30	1676.95	0.00	3219.45	0.00	3219.45	SIM	SIM	NÃO
Quarto_Casal_204_2	3650	3177	8704.1%		27.98		320.68	0.00						
Quarto_Solteiro_204_2	3650	2684	7353.4%	61.92	28.22	30.15	594.98	0.00	3248.18	0.00	3248.18	SIM	SIM	NÃO
Sala_Cozinha_204_2	2920	1205	4126.7%		30.24		1954.15	0.00						
Quarto_Casal_301_2	3650	3189	8737.0%	65.92	28.07	30.54	326.73	0.00	3182.25	0.00	3182.25	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_301_2	3650	3005	8232.9%		28.22		341.85	0.00						
Sala_Cozinha_301_2	2920	1048	3589.0%	61.92	30.20	30.15	2298.83	0.00	3248.18	0.00	3248.18	SIM	SIM	NÃO
Quarto_Casal_302_2	3650	2792	7649.3%		28.35		542.61	0.00						
Quarto_Solteiro_302_2	3650	2652	7265.8%	65.92	28.45	30.54	626.85	0.00	3182.25	0.00	3182.25	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_302_2	2920	1128	3863.0%		30.30		2049.99	0.00						
Quarto_Casal_303_2	3650	2680	7342.5%	65.92	28.23	30.54	623.02	0.00	3182.25	0.00	3182.25	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_303_2	3650	2598	7117.8%		28.32		659.53	0.00						
Sala_Cozinha_303_2	2920	1202	4116.4%	65.92	30.15	30.54	1965.63	0.00	3182.25	0.00	3182.25	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Casal_304_2	3650	3154	8641.1%		28.06		347.21	0.00						
Quarto_Solteiro_304_2	3650	2659	7284.9%	65.92	28.37	30.54	638.99	0.00	3182.25	0.00	3182.25	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_304_2	2920	1124	3849.3%		30.54		2196.06	0.00						

APÊNDICE C – RESULTADO DO MODELO DE REFERÊNCIA PARA O CLIMA ATUAL (BLOCO 01)

Ambiente	Modelo Referência - Bloco 01										Nível de Desempenho									
	Ventilação Natural					Sem Ventilação Natural					0.9xPHFT	$\Delta T_{o_{MáxUH}}$	Intermediário		RedCgT _{MIN}					
	N _{h_occup} (horas)	NH _h (horas)	PHFT _{APP} (%)	PHFT _{UH} (%)	To _{MáxAPP} (°C)	To _{MáxUH} (°C)	Cg _{TR_APP} (kWh/ano)	Cg _{TA_APP} (kWh/ano)	Cg _{TR_UH} (kWh/ano)	Cg _{TA_UH} (kWh/ano)			Cg _{TT_UH} (kWh/ano)	RedCgT _{INT}	RedCgT _{MIN}	Superior				
Quarto_Casal_01_1	3650	3070	8411.0%	66.62	27.98	30.37	363.78	0.00	2912.41	0.00	2912.41	59.95	31.37	9.28	ΔPHFT	85.61				
Quarto_Solteiro_01_1	3650	2732	7484.9%		27.95		556.97	0.00						2912.41	0.00	2912.41	29.09	RedCgT _{INT}	0	INT
Sala_Cozinha_01_1	2920	1194	4089.0%		30.37		1991.65	0.00						2912.41	0.00	2912.41	8.01	ΔPHFT _{MIN}	30	Superior
Quarto_Casal_02_1	3650	3644	9983.6%	76.44	26.23	29.23	3.49	0.00	1947.15	0.00	1947.15	68.80	30.23	2.36	ΔPHFT	57.24				
Quarto_Solteiro_02_1	3650	2895	7931.5%		27.73		454.94	0.00						1947.15	0.00	1947.15	11.36	RedCgT _{INT}	15	INT
Sala_Cozinha_02_1	2920	1465	5017.1%		29.23		1488.73	0.00						1947.15	0.00	1947.15	0.00	ΔPHFT _{MIN}	30	Superior
Quarto_Casal_03_1	3650	2647	7252.1%	63.51	27.97	29.45	583.30	0.00	2778.02	0.00	2778.02	57.16	30.45	15.09	ΔPHFT	81.66				
Quarto_Solteiro_03_1	3650	2596	7112.3%		28.01		609.65	0.00						2778.02	0.00	2778.02	41.17	RedCgT _{INT}	0	INT
Sala_Cozinha_03_1	2920	1369	4688.4%		29.45		1585.07	0.00						2778.02	0.00	2778.02	8.66	ΔPHFT _{MIN}	30	Superior
Quarto_Casal_04_1	3650	3100	8493.2%	65.33	28.02	30.61	338.78	0.00	2999.95	0.00	2999.95	58.80	31.61	9.98	ΔPHFT	88.2				
Quarto_Solteiro_04_1	3650	2621	7180.8%		28.13		611.04	0.00						2999.95	0.00	2999.95	29.94	RedCgT _{INT}	0	INT
Sala_Cozinha_04_1	2920	1146	3924.7%		30.61		2050.13	0.00						2999.95	0.00	2999.95	8.28	ΔPHFT _{MIN}	30	Superior
Quarto_Casal_101_1	3650	2919	7997.3%	61.02	28.54	31.03	477.57	0.00	3431.17	0.00	3431.17	54.92	32.03	9.09	ΔPHFT	100.86				
Quarto_Solteiro_101_1	3650	2344	6421.9%		28.65		801.84	0.00						3431.17	0.00	3431.17	24.83	RedCgT _{INT}	0	INT
Sala_Cozinha_101_1	2920	1135	3887.0%		31.03		2151.75	0.00						3431.17	0.00	3431.17	11.52	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_102_1	3650	2645	7246.6%	58.89	28.23	29.88	577.60	0.00	3188.62	0.00	3188.62	53.00	30.88	9.16	ΔPHFT	93.73				
Quarto_Solteiro_102_1	3650	2350	6438.4%		28.49		768.82	0.00						3188.62	0.00	3188.62	22.92	RedCgT _{INT}	0	INT
Sala_Cozinha_102_1	2920	1163	3982.9%		29.88		1842.20	0.00						3188.62	0.00	3188.62	12.10	ΔPHFT _{MIN}	45	Superior
Quarto_Casal_103_1	3650	2346	6427.4%	54.81	27.74	30.05	766.93	0.00	3481.88	0.00	3481.88	49.33	31.05	12.19	ΔPHFT	102.35				
Quarto_Solteiro_103_1	3650	2306	6317.8%		28.72		789.91	0.00						3481.88	0.00	3481.88	27.97	RedCgT _{INT}	0	INT
Sala_Cozinha_103_1	2920	1080	3698.6%		30.05		1925.04	0.00						3481.88	0.00	3481.88	13.20	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_104_1	3650	2929	8024.7%	60.79	28.63	31.20	461.28	0.00	3451.40	0.00	3451.40	54.71	32.20	8.90	ΔPHFT	101.45				
Quarto_Solteiro_104_1	3650	2365	6479.5%		28.82		783.52	0.00						3451.40	0.00	3451.40	24.70	RedCgT _{INT}	0	INT
Sala_Cozinha_104_1	2920	1090	3732.9%		31.20		2206.59	0.00						3451.40	0.00	3451.40	11.59	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_201_1	3650	2896	7934.2%	59.92	28.59	31.35	493.62	0.00	3600.20	0.00	3600.20	53.92	32.35	7.67	ΔPHFT	105.83				
Quarto_Solteiro_201_1	3650	2286	6263.0%		28.78		847.03	0.00						3600.20	0.00	3600.20	20.89	RedCgT _{INT}	0	INT
Sala_Cozinha_201_1	2920	1103	3777.4%		31.35		2259.54	0.00						3600.20	0.00	3600.20	11.82	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_202_1	3650	2284	6257.5%	53.38	28.63	30.32	810.15	0.00	3704.58	0.00	3704.58	48.04	31.32	10.62	ΔPHFT	108.89				
Quarto_Solteiro_202_1	3650	2210	6054.8%		28.70		858.05	0.00						3704.58	0.00	3704.58	23.18	RedCgT _{INT}	0	INT
Sala_Cozinha_202_1	2920	1081	3702.1%		30.32		2036.38	0.00						3704.58	0.00	3704.58	13.59	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_203_1	3650	2288	6268.5%	53.18	28.82	30.46	807.66	0.00	3717.38	0.00	3717.38	47.86	31.46	9.88	ΔPHFT	109.27				
Quarto_Solteiro_203_1	3650	2245	6150.7%		28.87		830.17	0.00						3717.38	0.00	3717.38	22.08	RedCgT _{INT}	0	INT
Sala_Cozinha_203_1	2920	1032	3534.2%		30.46		2079.55	0.00						3717.38	0.00	3717.38	13.64191781	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_204_1	3650	2924	8011.0%	60.06	28.70	31.50	467.39	0.00	3607.48	0.00	3607.48	54.06	32.50	7.16	ΔPHFT	106.04				
Quarto_Solteiro_204_1	3650	2338	6405.5%		28.94		808.91	0.00						3607.48	0.00	3607.48	20.38	RedCgT _{INT}	0	INT
Sala_Cozinha_204_1	2920	1052	3602.7%		31.50		2331.18	0.00						3607.48	0.00	3607.48	11.78	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_301_1	3650	2898	7939.7%	59.81	28.57	31.40	501.04	0.00	3754.17	0.00	3754.17	53.83	33.40	6.37	ΔPHFT	110.35				
Quarto_Solteiro_301_1	3650	2295	6287.7%		28.80		870.34	0.00						3754.17	0.00	3754.17	15.85	RedCgT _{INT}	0	INT
Sala_Cozinha_301_1	2920	1085	3715.8%		31.40		2382.78	0.00						3754.17	0.00	3754.17	7.23	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_302_1	3650	2258	6186.3%	53.07	28.66	30.55	866.70	0.00	3954.09	0.00	3954.09	47.76	32.55	9.54	ΔPHFT	116.23				
Quarto_Solteiro_302_1	3650	2213	6063.0%		28.72		892.80	0.00						3954.09	0.00	3954.09	19.24	RedCgT _{INT}	0	INT
Sala_Cozinha_302_1	2920	1072	3671.2%		30.55		2194.59	0.00						3954.09	0.00	3954.09	8.45	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_303_1	3650	2307	6320.5%	53.38	28.81	30.66	829.35	0.00	3941.24	0.00	3941.24	48.04	32.66	8.08	ΔPHFT	115.85				
Quarto_Solteiro_303_1	3650	2272	6224.7%		28.85		848.32	0.00						3941.24	0.00	3941.24	16.74	RedCgT _{INT}	0	INT
Sala_Cozinha_303_1	2920	1013	3469.2%		30.66		2263.56	0.00						3941.24	0.00	3941.24	8.39	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_304_1	3650	2930	8027.4%	60.01	28.63	31.51	774.66	0.00	4083.42	0.00	4083.42	54.01	33.51	5.86	ΔPHFT	120.03				
Quarto_Solteiro_304_1	3650	2355	6452.1%		28.90		823.62	0.00						4083.42	0.00	4083.42	16.01	RedCgT _{INT}	0	INT
Sala_Cozinha_304_1	2920	1029	3524.0%		31.51		2485.14	0.00						4083.42	0.00	4083.42	7.20	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior

APÊNDICE D – RESULTADO DO MODELO REFERÊNCIA PARA O CLIMA ATUAL (BLOCO 02)

Ambiente	Modelo Referência - Bloco 02																
	Ventilação Natural					Sem Ventilação Natural					Nível de Desempenho						
	Nh _{ocup} (horas)	NH _{it} (horas)	PHFT _{APP} (%)	PHFT _{UH} (%)	To _{Máx APP} (°C)	To _{Máx UH} (°C)	Cg _{TR APP} (kWh/ano)	Cg _{TA APP} (kWh/ano)	Cg _{TR UH} (kWh/ano)	Cg _{TA UH} (kWh/ano)	Cg _{TT UH} (kWh/ano)	0.9xPHFT	ΔTo _{MáxUH}	Intermediário		RedCg _{TT MIN}	
Quarto_Casal_01_2	3650	3140	8602.7%	64.67	27.88	30.39	318.96	0.00	3037.58	0.00	3037.58	58.20	31.39	10.39	ΔPHFT	89.29	
Quarto_Solteiro_01_2	3650	2646	7249.3%		28.02		28.02	597.58						0.00	2785.64	0.00	2785.64
Sala_Cozinha_01_2	2920	1036	3547.9%	63.50	30.39	29.44	2121.04	0.00	2785.64	0.00	2785.64	57.15	30.44	8.42	ΔPHFT _{MIN}	30	Superior
Quarto_Casal_02_2	3650	2645	7246.6%		27.97		27.97	584.54						0.00	2627.54	0.00	2627.54
Quarto_Solteiro_02_2	3650	2598	7117.8%	66.44	28.00	29.37	608.96	0.00	3018.77	0.00	3018.77	58.44	31.27	40.74	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_02_2	2920	1368	4684.9%		29.44		29.44	1592.14						0.00	2627.54	0.00	2627.54
Quarto_Casal_03_2	3650	2908	7967.1%	64.93	27.74	30.27	425.49	0.00	3530.66	0.00	3530.66	53.72	31.78	12.15	ΔPHFT	77.24	
Quarto_Solteiro_03_2	3650	2616	7167.1%		28.00		28.00	602.41						0.00	3018.77	0.00	3018.77
Sala_Cozinha_03_2	2920	1401	4797.9%	59.69	29.37	30.78	1599.64	0.00	3480.26	0.00	3480.26	49.48	31.07	8.05	ΔPHFT _{MIN}	30	Superior
Quarto_Casal_04_2	3650	3108	8515.1%		27.95		27.95	343.00						0.00	3530.66	0.00	3530.66
Quarto_Solteiro_04_2	3650	2631	7208.2%	64.93	28.14	30.27	609.81	0.00	3530.66	0.00	3530.66	53.72	31.78	31.73	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_04_2	2920	1097	3756.8%		30.27		30.27	2065.96						0.00	3530.66	0.00	3530.66
Quarto_Casal_101_2	3650	2953	8090.4%	59.69	28.35	30.78	449.91	0.00	3480.26	0.00	3480.26	49.48	31.07	9.51	ΔPHFT	103.78	
Quarto_Solteiro_101_2	3650	2393	6556.2%		28.68		28.68	769.06						0.00	3480.26	0.00	3480.26
Sala_Cozinha_101_2	2920	952	3260.3%	54.97	30.78	30.07	2311.70	0.00	3480.26	0.00	3480.26	49.48	31.07	11.88	ΔPHFT _{MIN}	45	Superior
Quarto_Casal_102_2	3650	2343	6419.2%		28.67		28.67	768.87						0.00	3480.26	0.00	3480.26
Quarto_Solteiro_102_2	3650	2304	6312.3%	55.72	28.71	30.03	791.47	0.00	3431.74	0.00	3431.74	50.15	31.03	28.40	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_102_2	2920	1098	3760.3%		30.07		30.07	1919.91						0.00	3431.74	0.00	3431.74
Quarto_Casal_103_2	3650	2401	6578.1%	59.70	28.45	30.66	733.93	0.00	3529.89	0.00	3529.89	53.73	31.66	12.08	ΔPHFT	100.87	
Quarto_Solteiro_103_2	3650	2269	6216.4%		28.58		28.58	815.13						0.00	3529.89	0.00	3529.89
Sala_Cozinha_103_2	2920	1145	3921.2%	58.84	30.03	31.06	1882.68	0.00	3707.39	0.00	3707.39	52.96	32.06	12.96	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_104_2	3650	2931	8030.1%		28.43		28.43	472.15						0.00	3707.39	0.00	3707.39
Quarto_Solteiro_104_2	3650	2332	6389.0%	58.84	28.69	31.06	808.13	0.00	3707.39	0.00	3707.39	52.96	32.06	26.60	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_104_2	2920	1019	3489.7%		30.66		30.66	2249.61						0.00	3707.39	0.00	3707.39
Quarto_Casal_201_2	3650	2936	8043.8%	53.35	28.44	30.47	464.52	0.00	3719.21	0.00	3719.21	48.02	31.47	7.97	ΔPHFT	108.98	
Quarto_Solteiro_201_2	3650	2361	6468.5%		28.80		28.80	797.04						0.00	3719.21	0.00	3719.21
Sala_Cozinha_201_2	2920	917	3140.4%	52.90	31.06	30.47	2445.83	0.00	3719.21	0.00	3719.21	48.02	31.47	12.11	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_202_2	3650	2281	6249.3%		28.82		28.82	811.59						0.00	3719.21	0.00	3719.21
Quarto_Solteiro_202_2	3650	2251	6167.1%	52.90	28.86	30.45	830.17	0.00	3748.05	0.00	3748.05	47.61	31.45	23.26	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_202_2	2920	1048	3589.0%		30.47		30.47	2077.45						0.00	3748.05	0.00	3748.05
Quarto_Casal_203_2	3650	2247	6156.2%	58.68	28.66	30.91	834.89	0.00	3695.22	0.00	3695.22	52.81	31.91	10.58	ΔPHFT	110.17	
Quarto_Solteiro_203_2	3650	2183	5980.8%		28.73		28.73	874.47						0.00	3695.22	0.00	3695.22
Sala_Cozinha_203_2	2920	1090	3732.9%	61.60	30.45	31.20	2038.70	0.00	3587.37	0.00	3587.37	55.44	33.20	13.72	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_204_2	3650	2901	7947.9%		28.48		28.48	493.08						0.00	3587.37	0.00	3587.37
Quarto_Solteiro_204_2	3650	2274	6230.1%	53.48	28.80	30.67	851.97	0.00	3948.05	0.00	3948.05	48.13	32.67	22.34	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_204_2	2920	1000	3424.7%		30.91		30.91	2350.17						0.00	3948.05	0.00	3948.05
Quarto_Casal_301_2	3650	2937	8046.6%	53.48	28.41	30.62	484.62	0.00	3978.95	0.00	3978.95	47.49	32.62	6.93	ΔPHFT	105.45	
Quarto_Solteiro_301_2	3650	2654	7271.2%		28.61		28.61	518.46						0.00	3978.95	0.00	3978.95
Sala_Cozinha_301_2	2920	923	3161.0%	52.77	31.20	30.62	2584.29	0.00	3978.95	0.00	3978.95	47.49	32.62	6.91	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_302_2	3650	2300	6301.4%		28.80		28.80	834.24						0.00	3978.95	0.00	3978.95
Quarto_Solteiro_302_2	3650	2282	6252.1%	58.74	28.82	31.00	843.40	0.00	3840.35	0.00	3840.35	52.86	33.00	18.45	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_302_2	2920	1019	3489.7%		30.67		30.67	2270.41						0.00	3840.35	0.00	3840.35
Quarto_Casal_303_2	3650	2241	6139.7%	58.74	28.69	31.00	876.91	0.00	3840.35	0.00	3840.35	52.86	33.00	9.15	ΔPHFT	116.96	
Quarto_Solteiro_303_2	3650	2196	6016.4%		28.74		28.74	902.71						0.00	3840.35	0.00	3840.35
Sala_Cozinha_303_2	2920	1073	3674.7%	58.74	30.62	31.00	2199.33	0.00	3840.35	0.00	3840.35	52.86	33.00	8.50	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_304_2	3650	2891	7920.5%		28.42		28.42	506.89						0.00	3840.35	0.00	3840.35
Quarto_Solteiro_304_2	3650	2288	6268.5%	58.74	28.77	31.00	873.26	0.00	3840.35	0.00	3840.35	52.86	33.00	17.14	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_304_2	2920	1002	3431.5%		31.00		31.00	2460.20						0.00	3840.35	0.00	3840.35

APÊNDICE E – RESULTADO DO MODELO REAL PARA O CLIMA 2050 (BLOCO 01)

Modelo Real - Bloco 01														
Ambiente	Ventilação Natural						Sem Ventilação Natural					Nível de Desempenho		
	NH _{ocup} (horas)	NH _R (horas)	PHF _{T,APP} (%)	PHFT _{UH} (%)	To _{Máx,APP} (°C)	To _{Máx,UH} (°C)	Cg _{TR,APP} (kWh/ano)	Cg _{TA,APP} (kWh/ano)	Cg _{TR,UH} (kWh/ano)	Cg _{TA,UH} (kWh/ano)	Cg _{TT,UH} (kWh/ano)	Mínimo	Intermediário	Superior
Quarto_Casal_01_1	3650	1504	4120.5%	30.80	29.74	31.69	1436.49	0.00	6213.82	0.00	6213.82	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_01_1	3650	1161	3180.8%		30.11		1704.32	0.00						
Sala_Cozinha_01_1	2920	566	1938.4%		31.69		3073.01	0.00						
Quarto_Casal_02_1	3650	1244	3408.2%	30.07	30.04	31.27	1584.89	0.00	6194.30	0.00	6194.30	NÃO	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_02_1	3650	1140	3123.3%		30.16		1692.93	0.00						
Sala_Cozinha_02_1	2920	727	2489.7%		31.27		2916.48	0.00						
Quarto_Casal_03_1	3650	1246	3413.7%	30.73	30.53	31.13	1645.33	0.00	5996.16	0.00	5996.16	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_03_1	3650	1204	3298.6%		30.37		1639.64	0.00						
Sala_Cozinha_03_1	2920	732	2506.8%		31.13		2711.19	0.00						
Quarto_Casal_04_1	3650	1514	4147.9%	31.10	29.89	32.09	1437.13	0.00	6181.80	0.00	6181.80	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_04_1	3650	1204	3298.6%		30.26		1682.07	0.00						
Sala_Cozinha_04_1	2920	550	1883.6%		32.09		3062.60	0.00						
Quarto_Casal_101_1	3650	1468	4021.9%	29.97	30.42	32.48	1519.45	0.00	6437.38	0.00	6437.38	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_101_1	3650	1073	2939.7%		30.71		1809.26	0.00						
Sala_Cozinha_101_1	2920	593	2030.8%		32.48		3108.67	0.00						
Quarto_Casal_102_1	3650	1119	3065.8%	26.07	30.76	31.64	1714.02	0.00	6299.37	0.00	6299.37	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_102_1	3650	1019	2791.8%		30.82		1807.55	0.00						
Sala_Cozinha_102_1	2920	573	1962.3%		31.64		2777.79	0.00						
Quarto_Casal_103_1	3650	1135	3109.6%	26.78	30.04	31.74	1777.27	0.00	6255.15	0.00	6255.15	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_103_1	3650	1110	3041.1%		30.80		1744.60	0.00						
Sala_Cozinha_103_1	2920	550	1883.6%		31.74		2733.28	0.00						
Quarto_Casal_104_1	3650	1477	4046.6%	30.43	30.20	32.87	1512.04	0.00	6371.42	0.00	6371.42	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_104_1	3650	1146	3139.7%		30.61		1768.32	0.00						
Sala_Cozinha_104_1	2920	567	1941.8%		32.87		3091.06	0.00						
Quarto_Casal_201_1	3650	1421	3893.2%	28.30	30.57	32.90	1574.31	0.00	6780.94	0.00	6780.94	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_201_1	3650	1028	2816.4%		30.97		1884.22	0.00						
Sala_Cozinha_201_1	2920	520	1780.8%		32.90		3322.40	0.00						
Quarto_Casal_202_1	3650	1052	2882.2%	23.69	31.05	32.25	1805.51	0.00	6748.12	0.00	6748.12	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_202_1	3650	968	2652.1%		31.10		1888.03	0.00						
Sala_Cozinha_202_1	2920	459	1571.9%		32.25		3054.58	0.00						
Quarto_Casal_203_1	3650	1070	2931.5%	24.23	31.18	32.55	1867.50	0.00	6745.49	0.00	6745.49	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_203_1	3650	1048	2871.2%		31.00		1846.83	0.00						
Sala_Cozinha_203_1	2920	428	1465.8%		32.55		3031.17	0.00						
Quarto_Casal_204_1	3650	1448	3967.1%	28.89	30.36	33.41	1551.84	0.00	6712.02	0.00	6712.02	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_204_1	3650	1112	3046.6%		30.83		1829.75	0.00						
Sala_Cozinha_204_1	2920	483	1654.1%		33.41		3330.42	0.00						
Quarto_Casal_301_1	3650	1413	3871.2%	26.69	30.67	33.41	1633.57	0.00	7424.50	0.00	7424.50	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_301_1	3650	1020	2794.5%		31.20		1991.86	0.00						
Sala_Cozinha_301_1	2920	392	1342.5%		33.41		3799.06	0.00						
Quarto_Casal_302_1	3650	1072	2937.0%	22.54	31.21	32.89	1887.48	0.00	7464.00	0.00	7464.00	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_302_1	3650	966	2646.6%		31.31		2001.86	0.00						
Sala_Cozinha_302_1	2920	344	1178.1%		32.89		3574.65	0.00						
Quarto_Casal_303_1	3650	1070	2931.5%	22.49	31.13	33.45	1953.82	0.00	7544.91	0.00	7544.91	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_303_1	3650	1034	2832.9%		31.08		1928.14	0.00						
Sala_Cozinha_303_1	2920	287	982.9%		33.45		3662.95	0.00						
Quarto_Casal_304_1	3650	1452	3978.1%	27.09	30.46	34.33	1800.87	0.00	7649.44	0.00	7649.44	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_304_1	3650	1092	2991.8%		30.97		1924.54	0.00						
Sala_Cozinha_304_1	2920	338	1157.5%		34.33		3924.03	0.00						

APÊNDICE F – RESULTADO DO MODELO REAL PARA O CLIMA 2050 (BLOCO 02)

Modelo Real - Bloco 02														
Ambiente	Ventilação Natural						Sem Ventilação Natural					Nível de Desempenho		
	NH _{ocup} (horas)	NH _R (horas)	PHFT _{APP} (%)	PHFT _{UH} (%)	TO _{Máx APP} (°C)	TO _{Máx UH} (°C)	CgTR _{APP} (kWh/ano)	CgTA _{APP} (kWh/ano)	CgTR _{UH} (kWh/ano)	CgTA _{UH} (kWh/ano)	CgTT _{UH} (kWh/ano)	Mínimo	Intermediário	Superior
Quarto_Casal_01_2	3650	1471	4030.1%	27.43	30.16	32.26	1472.12	0.00	6614.69	0.00	6614.69	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_01_2	3650	1158	3172.6%		30.39		1713.84	0.00						
Sala_Cozinha_01_2	2920	300	1027.4%		32.26		3428.73	0.00						
Quarto_Casal_02_2	3650	1272	3484.9%	30.80	30.64	31.09	1591.09	0.00	5975.83	0.00	5975.83	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_02_2	3650	1188	3254.8%		30.38		1674.06	0.00						
Sala_Cozinha_02_2	2920	730	2500.0%		31.09		2710.69	0.00						
Quarto_Casal_03_2	3650	1194	3271.2%	29.56	30.04	31.13	1671.74	0.00	6276.50	0.00	6276.50	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_03_2	3650	1128	3090.4%		30.15		1691.03	0.00						
Sala_Cozinha_03_2	2920	732	2506.8%		31.13		2913.73	0.00						
Quarto_Casal_04_2	3650	1434	3928.8%	26.86	30.06	32.09	1486.75	0.00	6640.09	0.00	6640.09	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_04_2	3650	1092	2991.8%		30.27		1746.74	0.00						
Sala_Cozinha_04_2	2920	332	1137.0%		32.09		3406.60	0.00						
Quarto_Casal_101_2	3650	1386	3797.3%	25.16	30.50	32.70	1584.46	0.00	6944.65	0.00	6944.65	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_101_2	3650	1038	2843.8%		30.84		1835.88	0.00						
Sala_Cozinha_101_2	2920	265	907.5%		32.70		3524.31	0.00						
Quarto_Casal_102_2	3650	1183	3241.1%	27.30	31.09	31.60	1696.16	0.00	6178.07	0.00	6178.07	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_102_2	3650	1091	2989.0%		30.80		1772.61	0.00						
Sala_Cozinha_102_2	2920	572	1958.9%		31.60		2709.30	0.00						
Quarto_Casal_103_2	3650	1067	2923.3%	25.82	30.72	31.30	1801.77	0.00	6287.17	0.00	6287.17	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_103_2	3650	1002	2745.2%		30.80		1802.94	0.00						
Sala_Cozinha_103_2	2920	607	2078.8%		31.30		2682.47	0.00						
Quarto_Casal_104_2	3650	1321	3619.2%	24.09	30.64	32.53	1623.21	0.00	7037.52	0.00	7037.52	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_104_2	3650	953	2611.0%		30.93		1883.84	0.00						
Sala_Cozinha_104_2	2920	291	996.6%		32.53		3530.47	0.00						
Quarto_Casal_201_2	3650	1353	3706.8%	24.22	30.65	33.28	1632.23	0.00	7246.80	0.00	7246.80	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_201_2	3650	999	2737.0%		31.04		1900.13	0.00						
Sala_Cozinha_201_2	2920	240	821.9%		33.28		3714.44	0.00						
Quarto_Casal_202_2	3650	1132	3101.4%	25.37	31.28	32.25	1771.48	0.00	6582.61	0.00	6582.61	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_202_2	3650	1039	2846.6%		30.99		1846.83	0.00						
Sala_Cozinha_202_2	2920	486	1664.4%		32.25		2964.30	0.00						
Quarto_Casal_203_2	3650	995	2726.0%	23.80	31.00	31.97	1899.27	0.00	6762.14	0.00	6762.14	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_203_2	3650	955	2616.4%		31.07		1882.25	0.00						
Sala_Cozinha_203_2	2920	525	1797.9%		31.97		2980.62	0.00						
Quarto_Casal_204_2	3650	1282	3512.3%	22.94	30.79	32.95	1678.21	0.00	7352.44	0.00	7352.44	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_204_2	3650	904	2476.7%		31.16		1959.88	0.00						
Sala_Cozinha_204_2	2920	261	893.8%		32.95		3714.36	0.00						
Quarto_Casal_301_2	3650	1384	3791.8%	26.01	30.67	32.87	1700.02	0.00	7411.72	0.00	7411.72	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_301_2	3650	1209	3312.3%		31.00		1516.63	0.00						
Sala_Cozinha_301_2	2920	204	698.6%		32.87		4195.06	0.00						
Quarto_Casal_302_2	3650	1119	3065.8%	23.45	31.26	33.37	1857.57	0.00	7402.35	0.00	7402.35	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_302_2	3650	1035	2835.6%		31.12		1941.68	0.00						
Sala_Cozinha_302_2	2920	331	1133.6%		33.37		3603.10	0.00						
Quarto_Casal_303_2	3650	998	2734.2%	22.06	31.21	32.62	2005.98	0.00	7548.85	0.00	7548.85	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_303_2	3650	954	2613.7%		31.30		1999.61	0.00						
Sala_Cozinha_303_2	2920	371	1270.5%		32.62		3543.27	0.00						
Quarto_Casal_304_2	3650	1302	3567.1%	23.05	30.89	33.64	1720.02	0.00	7858.14	0.00	7858.14	SIM	NÃO	NÃO
Quarto_Solteiro_304_2	3650	934	2558.9%		31.34		2048.12	0.00						
Sala_Cozinha_304_2	2920	230	787.7%		33.64		4090.00	0.00						

APÊNDICE G – RESULTADO DO MODELO REFERÊNCIA PARA O CLIMA 2050 (BLOCO 01)

Ambiente	Modelo Referência - Bloco 01										Nível de Desempenho						
	Ventilação Natural					Sem Ventilação Natural					0.9xPHFT	$\Delta T_{MáxUH}$	Intermediário		RedCgTT _{MIN}		
	NH _{ocup} (horas)	NH _r (horas)	PHFT _{APP} (%)	PHFT _{UH} (%)	T _{MáxAPP} (°C)	T _{MáxUH} (°C)	CgTR _{APP} (kWh/ano)	CgTA _{APP} (kWh/ano)	CgTR _{UH} (kWh/ano)	CgTA _{UH} (kWh/ano)			CgTT _{UH} (kWh/ano)	APHFT	RedCgTT	Superior	INT
Quarto_Casal_01_1	3650	1204	3298.6%	23.55	30.53	32.72	1682.78	0.00	7201.20	0.00	7201.20	21.20	33.72	7.25	APHFT	211.68	
Quarto_Solteiro_01_1	3650	941	2578.1%		30.85		30.85	1939.15						0.00	13.71	RedCgTT	0
Sala_Cozinha_01_1	2920	347	1188.4%	37.85	32.72	31.91	3579.27	0.00	5468.22	0.00	5468.22	34.06	32.91	17.05	APHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_02_1	3650	2476	6783.6%		28.69		28.69	586.12						0.00	-7.78	APHFT	160.74
Quarto_Solteiro_02_1	3650	997	2731.5%	22.26	30.62	32.38	1854.58	0.00	6906.25	0.00	6906.25	20.03	33.38	-13.28	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_02_1	2920	537	1839.0%		31.91		31.91	3027.52						0.00	14.05	APHFT _{MIN}	40
Quarto_Casal_03_1	3650	935	2561.6%	24.28	30.84	33.45	1895.28	0.00	7126.46	0.00	7126.46	21.85	34.45	8.47	APHFT	203.01	
Quarto_Solteiro_03_1	3650	916	2509.6%		30.90		30.90	1913.28						0.00	13.18	RedCgTT	0
Sala_Cozinha_03_1	2920	469	1606.2%	23.00	32.38	33.40	3097.69	0.00	7447.34	0.00	7447.34	20.70	34.40	17.33	APHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_04_1	3650	1274	3490.4%		30.21		30.21	1622.42						0.00	6.82	APHFT	209.5
Quarto_Solteiro_04_1	3650	958	2624.7%	20.00	30.74	32.52	1925.65	0.00	7039.19	0.00	7039.19	18.00	33.52	13.26	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_04_1	2920	341	1167.8%		33.45		33.45	3578.39						0.00	16.90	APHFT _{MIN}	40
Quarto_Casal_101_1	3650	1216	3331.5%	23.00	31.27	33.40	1733.46	0.00	7447.34	0.00	7447.34	20.70	34.40	6.98	APHFT	218.91	
Quarto_Solteiro_101_1	3650	832	2279.5%		31.54		31.54	2080.74						0.00	13.56	RedCgTT	0
Sala_Cozinha_101_1	2920	376	1287.7%	20.00	33.40	32.52	3633.14	0.00	7039.19	0.00	7039.19	18.00	33.52	21.79	APHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_102_1	3650	946	2591.8%		31.23		31.23	1813.53						0.00	6.07	APHFT	206.91
Quarto_Solteiro_102_1	3650	800	2191.8%	18.69	31.56	32.98	2029.01	0.00	7250.69	0.00	7250.69	16.82	33.98	10.51	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_102_1	2920	355	1215.8%		32.52		32.52	3196.65						0.00	22.60	APHFT _{MIN}	50
Quarto_Casal_103_1	3650	846	2317.8%	24.12	30.65	34.13	1992.77	0.00	7342.82	0.00	7342.82	21.71	35.13	8.09	APHFT	213.13	
Quarto_Solteiro_103_1	3650	821	2249.3%		31.58		31.58	2019.61						0.00	13.73	RedCgTT	0
Sala_Cozinha_103_1	2920	304	1041.1%	22.86	32.98	33.79	3238.31	0.00	7669.06	0.00	7669.06	20.57	34.79	22.95	APHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_104_1	3650	1290	3534.2%		30.89		30.89	1671.08						0.00	6.31	APHFT	215.84
Quarto_Solteiro_104_1	3650	915	2506.8%	17.24	31.42	33.08	2018.87	0.00	7665.26	0.00	7665.26	15.52	34.08	13.23	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_104_1	2920	349	1195.2%		34.13		34.13	3652.86						0.00	21.49	APHFT _{MIN}	50
Quarto_Casal_201_1	3650	1229	3367.1%	17.62	31.31	33.60	1742.97	0.00	7597.26	0.00	7597.26	21.35	35.52	5.44	APHFT	225.43	
Quarto_Solteiro_201_1	3650	828	2268.5%		31.68		31.68	2124.51						0.00	11.58	RedCgTT	0
Sala_Cozinha_201_1	2920	357	1222.6%	16.56	33.79	33.49	3801.58	0.00	8372.79	0.00	8372.79	14.91	35.49	21.83	APHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_202_1	3650	790	2164.4%		31.73		31.73	2060.18						0.00	6.45	APHFT	225.32
Quarto_Solteiro_202_1	3650	749	2052.1%	23.72	31.82	34.52	2113.73	0.00	8216.02	0.00	8216.02	19.83	35.95	11.96	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_202_1	2920	279	955.5%		33.08		33.08	3491.35						0.00	23.35	APHFT _{MIN}	50
Quarto_Casal_203_1	3650	826	2263.0%	22.03	31.66	33.95	2038.16	0.00	8216.02	0.00	8216.02	19.83	35.95	6.61	APHFT	224.32	
Quarto_Solteiro_203_1	3650	803	2200.0%		31.69		31.69	2074.85						0.00	11.61	RedCgTT	0
Sala_Cozinha_203_1	2920	240	821.9%	16.34	33.60	34.06	3518.50	0.00	8325.66	0.00	8325.66	15.61	36.06	23.24	APHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_204_1	3650	1295	3547.9%		30.95		30.95	1681.77						0.00	5.17	APHFT	223.32
Quarto_Solteiro_204_1	3650	910	2493.2%	16.56	31.51	33.49	2052.41	0.00	8372.79	0.00	8372.79	14.91	35.49	11.65	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_204_1	2920	314	1075.3%		34.52		34.52	3863.08						0.00	21.60	APHFT _{MIN}	50
Quarto_Casal_301_1	3650	1209	3312.3%	16.56	31.12	33.95	1827.91	0.00	8372.79	0.00	8372.79	14.91	35.49	4.66	APHFT	241.51	
Quarto_Solteiro_301_1	3650	831	2276.7%		31.67		31.67	2230.98						0.00	9.63	RedCgTT	0
Sala_Cozinha_301_1	2920	298	1020.5%	17.34	33.95	34.06	4157.13	0.00	8325.66	0.00	8325.66	15.61	36.06	14.03	APHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_302_1	3650	772	2115.1%		31.78		31.78	2216.87						0.00	5.97	APHFT	246.11
Quarto_Solteiro_302_1	3650	748	2049.3%	22.73	31.81	34.83	2240.13	0.00	8463.95	0.00	8463.95	20.46	36.83	10.85	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_302_1	2920	235	804.8%		33.49		33.49	3915.80						0.00	15.02	APHFT _{MIN}	40
Quarto_Casal_303_1	3650	832	2279.5%	17.34	31.55	34.06	2153.23	0.00	8325.66	0.00	8325.66	15.61	36.06	5.15	APHFT	244.73	
Quarto_Solteiro_303_1	3650	822	2252.1%		31.57		31.57	2165.41						0.00	9.38	RedCgTT	0
Sala_Cozinha_303_1	2920	196	671.2%	22.73	34.06	34.83	4007.03	0.00	8463.95	0.00	8463.95	20.46	36.83	14.88	APHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_304_1	3650	1277	3498.6%		30.90		30.90	1994.89						0.00	4.36	APHFT	248.79
Quarto_Solteiro_304_1	3650	898	2460.3%	22.73	31.42	34.83	2157.79	0.00	8463.95	0.00	8463.95	20.46	36.83	9.62	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_304_1	2920	251	859.6%		34.83		34.83	4311.27						0.00	13.91	APHFT _{MIN}	40

APÊNDICE H – RESULTADO DO MODELO REFERÊNCIA PARA O CLIMA 2050 (BLOCO 02)

Ambiente	Modelo Referência - Bloco 02																
	Ventilação Natural						Sem Ventilação Natural					Nível de Desempenho					
	Nh _{ocup} (horas)	NH _{it} (horas)	PHFT _{APP} (%)	PHFT _{UH} (%)	To _{Máx APP} (°C)	To _{Máx UH} (°C)	Cg _{TR APP} (kWh/ano)	Cg _{TA APP} (kWh/ano)	Cg _{TR UH} (kWh/ano)	Cg _{TA UH} (kWh/ano)	Cg _{TT UH} (kWh/ano)	0.9xPHFT	ΔTo _{MáxUH}	Intermediário		RedCg _{TT MIN}	
Quarto_Casal_01_2	3650	1137	3115.1%	19.89	30.55	33.36	1711.24	0.00	7651.26	0.00	7651.26	17.91	34.36	7.54	ΔPHFT	224.90	
Quarto_Solteiro_01_2	3650	849	2326.0%		30.91		1989.55	0.00						13.55	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_01_2	2920	154	527.4%	21.84	33.36	32.30	3950.47	0.00	6936.58	0.00	6936.58	19.66	33.30	17.82	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_02_2	3650	932	2553.4%		30.80		1896.94	0.00						8.95	ΔPHFT	203.90	
Quarto_Solteiro_02_2	3650	885	2424.7%	22.09	30.88	32.07	1931.42	0.00	6912.43	0.00	6912.43	19.88	33.07	13.85	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_02_2	2920	460	1575.3%		32.30		3108.21	0.00						17.41	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_03_2	3650	1003	2747.9%	19.00	30.65	33.15	1761.09	0.00	7717.09	0.00	7717.09	17.10	34.15	7.47	ΔPHFT	203.19	
Quarto_Solteiro_03_2	3650	835	2287.7%		30.99		1966.29	0.00						9.20	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_03_2	2920	465	1592.5%	18.53	32.07	33.72	3185.04	0.00	7990.74	0.00	7990.74	16.67	34.72	17.36	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_04_2	3650	1081	2961.6%		30.78		1755.40	0.00						7.86	ΔPHFT	226.8	
Quarto_Solteiro_04_2	3650	777	2128.8%	18.58	31.13	32.79	2042.43	0.00	7246.32	0.00	7246.32	16.73	33.79	13.96	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_04_2	2920	178	609.6%		33.15		3919.26	0.00						18.01	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_101_2	3650	1096	3002.7%	17.89	31.20	32.47	1805.52	0.00	7317.52	0.00	7317.52	16.10	33.47	6.63	ΔPHFT	234.88	
Quarto_Solteiro_101_2	3650	749	2052.1%		31.68		2119.63	0.00						13.09	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_101_2	2920	147	503.4%	17.26	33.72	33.61	4065.59	0.00	8114.69	0.00	8114.69	15.54	34.61	23.00	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_102_2	3650	844	2312.3%		31.54		1994.07	0.00						8.71	ΔPHFT	213.00	
Quarto_Solteiro_102_2	3650	796	2180.8%	18.64	31.61	34.18	2035.28	0.00	8201.53	0.00	8201.53	16.78	35.18	14.74	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_102_2	2920	316	1082.2%		32.79		3216.97	0.00						22.98	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_103_2	3650	808	2213.7%	17.69	31.52	33.33	1993.39	0.00	7589.39	0.00	7589.39	15.92	34.33	7.93	ΔPHFT	215.09	
Quarto_Solteiro_103_2	3650	731	2002.7%		31.69		2087.39	0.00						14.08	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_103_2	2920	336	1150.7%	16.73	32.47	33.33	3236.74	0.00	8201.53	0.00	8201.53	16.78	35.18	23.17	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_104_2	3650	1009	2764.4%		31.34		1879.12	0.00						6.83	ΔPHFT	238.53	
Quarto_Solteiro_104_2	3650	675	1849.3%	18.64	31.79	34.18	2185.93	0.00	8201.53	0.00	8201.53	16.78	35.18	13.27	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_104_2	2920	165	565.1%		33.61		4049.65	0.00						23.34	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_201_2	3650	1103	3021.9%	17.69	31.25	33.33	1821.20	0.00	7589.39	0.00	7589.39	15.92	34.33	5.58	ΔPHFT	241.08	
Quarto_Solteiro_201_2	3650	757	2074.0%		31.76		2147.03	0.00						11.64	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_201_2	2920	145	496.6%	16.73	34.18	33.33	4233.30	0.00	7589.39	0.00	7589.39	15.92	34.33	22.97	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_202_2	3650	821	2249.3%		31.66		2041.36	0.00						7.69	ΔPHFT	223.09	
Quarto_Solteiro_202_2	3650	787	2156.2%	16.73	31.72	32.94	2074.85	0.00	7704.30	0.00	7704.30	15.05	33.94	13.27	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_202_2	2920	263	900.7%		33.33		3473.18	0.00						23.22	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_203_2	3650	759	2079.5%	17.29	31.77	34.00	2090.50	0.00	8312.34	0.00	8312.34	15.56	35.00	7.08	ΔPHFT	226.46	
Quarto_Solteiro_203_2	3650	705	1931.5%		31.87		2144.46	0.00						12.23	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_203_2	2920	294	1006.8%	20.31	32.94	34.13	3469.34	0.00	8294.15	0.00	8294.15	18.28	36.13	23.48	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_204_2	3650	1011	2769.9%		31.39		1897.61	0.00						5.65	ΔPHFT	244.34	
Quarto_Solteiro_204_2	3650	675	1849.3%	17.10	31.91	33.95	2225.13	0.00	8323.97	0.00	8323.97	15.39	35.95	11.55	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_204_2	2920	166	568.5%		34.00		4189.60	0.00						23.33	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_301_2	3650	1109	3038.4%	15.97	31.13	33.42	1932.07	0.00	8414.09	0.00	8414.09	14.37	35.42	5.70	ΔPHFT	243.80	
Quarto_Solteiro_301_2	3650	935	2561.6%		31.53		1769.13	0.00						10.64	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_301_2	2920	144	493.2%	17.10	34.13	33.95	4592.95	0.00	8323.97	0.00	8323.97	15.39	35.95	14.34	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_302_2	3650	819	2243.8%		31.58		2164.08	0.00						6.35	ΔPHFT	244.68	
Quarto_Solteiro_302_2	3650	796	2180.8%	15.97	31.64	34.27	2181.15	0.00	8750.02	0.00	8750.02	15.80	36.27	11.07	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_302_2	2920	206	705.5%		33.95		3978.73	0.00						14.92	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_303_2	3650	748	2049.3%	17.56	31.81	34.27	2234.33	0.00	8750.02	0.00	8750.02	15.80	36.27	6.09	ΔPHFT	247.33	
Quarto_Solteiro_303_2	3650	713	1953.4%		31.87		2266.56	0.00						10.28	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_303_2	2920	230	787.7%	17.56	33.42	34.27	3913.20	0.00	8750.02	0.00	8750.02	15.80	36.27	15.13	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_304_2	3650	1027	2813.7%		31.33		1961.43	0.00						5.49	ΔPHFT	257.20	
Quarto_Solteiro_304_2	3650	692	1895.9%	17.56	31.87	34.27	2324.45	0.00	8750.02	0.00	8750.02	15.80	36.27	10.19	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_304_2	2920	163	558.2%		34.27		4464.13	0.00						14.84	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior

APÊNDICE I – RESULTADO DO MODELO REAL PARA O CLIMA 2080 (BLOCO 01)

Modelo Real - Bloco 01														
Ambiente	Ventilação Natural						Sem Ventilação Natural					Nível de Desempenho		
	NH _{ocup} (horas)	NH _r (horas)	PHF _{T,APP} (%)	PHFT _{UH} (%)	TO _{Máx,APP} (°C)	TO _{Máx,UH} (°C)	Cg _{TR,APP} (kWh/ano)	Cg _{TA,APP} (kWh/ano)	Cg _{TR,UH} (kWh/ano)	Cg _{TA,UH} (kWh/ano)	Cg _{TT,UH} (kWh/ano)	Mínimo	Intermediário	Superior
Quarto_Casal_01_1	3650	949	2600.0%		30.53		1890.39	0.00						
Quarto_Solteiro_01_1	3650	522	1430.1%	15.16	30.88	32.61	2212.27	0.00	7908.80	0.00	7908.80	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_01_1	2920	151	517.1%		32.61		3806.14	0.00						
Quarto_Casal_02_1	3650	628	1720.5%		30.80		2062.89	0.00						
Quarto_Solteiro_02_1	3650	484	1326.0%	13.80	30.92	32.13	2206.63	0.00	7955.66	0.00	7955.66	NÃO	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_02_1	2920	319	1092.5%		32.13		3686.13	0.00						
Quarto_Casal_03_1	3650	638	1747.9%		31.27		2119.39	0.00						
Quarto_Solteiro_03_1	3650	570	1561.6%	14.71	31.11	31.93	2122.27	0.00	7645.75	0.00	7645.75	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_03_1	2920	322	1102.7%		31.93		3404.09	0.00						
Quarto_Casal_04_1	3650	993	2720.5%		30.63		1859.34	0.00						
Quarto_Solteiro_04_1	3650	601	1646.6%	16.27	31.01	32.87	2156.02	0.00	7758.57	0.00	7758.57	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_04_1	2920	150	513.7%		32.87		3743.20	0.00						
Quarto_Casal_101_1	3650	908	2487.7%		31.25		1985.74	0.00						
Quarto_Solteiro_101_1	3650	491	1345.2%	14.85	31.49	33.35	2286.42	0.00	8105.88	0.00	8105.88	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_101_1	2920	182	623.3%		33.35		3833.71	0.00						
Quarto_Casal_102_1	3650	531	1454.8%		31.52		2179.41	0.00						
Quarto_Solteiro_102_1	3650	416	1139.7%	10.30	31.59	32.49	2289.53	0.00	7923.83	0.00	7923.83	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_102_1	2920	145	496.6%		32.49		3454.88	0.00						
Quarto_Casal_103_1	3650	528	1446.6%		30.80		2253.41	0.00						
Quarto_Solteiro_103_1	3650	481	1317.8%	10.89	31.55	32.55	2220.13	0.00	7810.31	0.00	7810.31	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_103_1	2920	147	503.4%		32.55		3336.78	0.00						
Quarto_Casal_104_1	3650	979	2682.2%		31.12		1929.59	0.00						
Quarto_Solteiro_104_1	3650	553	1515.1%	16.00	31.37	33.75	2233.20	0.00	7908.39	0.00	7908.39	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_104_1	2920	176	602.7%		33.75		3745.60	0.00						
Quarto_Casal_201_1	3650	876	2400.0%		31.41		2039.48	0.00						
Quarto_Solteiro_201_1	3650	458	1254.8%	13.80	31.75	33.82	2360.78	0.00	8447.23	0.00	8447.23	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_201_1	2920	142	486.3%		33.82		4046.96	0.00						
Quarto_Casal_202_1	3650	470	1287.7%		31.81		2278.65	0.00						
Quarto_Solteiro_202_1	3650	367	1005.5%	8.91	31.86	33.11	2376.27	0.00	8343.54	0.00	8343.54	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_202_1	2920	111	380.1%		33.11		3688.62	0.00						
Quarto_Casal_203_1	3650	454	1243.8%		31.94		2356.04	0.00						
Quarto_Solteiro_203_1	3650	416	1139.7%	9.16	31.75	33.37	2335.31	0.00	8278.73	0.00	8278.73	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_203_1	2920	106	363.0%		33.37		3587.39	0.00						
Quarto_Casal_204_1	3650	949	2600.0%		31.28		1976.73	0.00						
Quarto_Solteiro_204_1	3650	504	1380.8%	14.88	31.60	34.20	2310.94	0.00	8252.99	0.00	8252.99	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_204_1	2920	141	482.9%		34.20		3965.32	0.00						
Quarto_Casal_301_1	3650	867	2375.3%		31.51		2120.56	0.00						
Quarto_Solteiro_301_1	3650	470	1287.7%	13.33	31.98	34.33	2490.21	0.00	9116.06	0.00	9116.06	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_301_1	2920	98	335.6%		34.33		4505.29	0.00						
Quarto_Casal_302_1	3650	505	1383.6%		31.98		2381.37	0.00						
Quarto_Solteiro_302_1	3650	389	1065.8%	9.00	32.08	33.69	2511.20	0.00	9091.34	0.00	9091.34	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_302_1	2920	73	250.0%		33.69		4198.77	0.00						
Quarto_Casal_303_1	3650	468	1282.2%		31.89		2470.14	0.00						
Quarto_Solteiro_303_1	3650	443	1213.7%	9.02	31.85	34.33	2429.10	0.00	9082.75	0.00	9082.75	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_303_1	2920	61	208.9%		34.33		4183.50	0.00						
Quarto_Casal_304_1	3650	927	2539.7%		31.40		2302.08	0.00						
Quarto_Solteiro_304_1	3650	504	1380.8%	14.03	31.75	35.13	2429.46	0.00	9257.14	0.00	9257.14	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_304_1	2920	84	287.7%		35.13		4525.61	0.00						

APÊNDICE J – RESULTADO DO MODELO REAL PARA O CLIMA 2080 (BLOCO 02)

Modelo Real - Bloco 02														
Ambiente	Ventilação Natural						Sem Ventilação Natural					Nível de Desempenho		
	NH _{ocup} (horas)	NH _r (horas)	PHFT _{APP} (%)	PHFT _{UH} (%)	TO _{Máx APP} (°C)	TO _{Máx UH} (°C)	CgTR _{APP} (kWh/ano)	CgTA _{APP} (kWh/ano)	CgTR _{UH} (kWh/ano)	CgTA _{UH} (kWh/ano)	CgTT _{UH} (kWh/ano)	Mínimo	Intermediário	Superior
Quarto_Casal_01_2	3650	799	2189.0%		30.89		1999.36	0.00						
Quarto_Solteiro_01_2	3650	478	1309.6%	12.28	31.13	33.13	2239.09	0.00	8230.94	0.00	8230.94	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_01_2	2920	54	184.9%		33.13		3992.49	0.00						
Quarto_Casal_02_2	3650	694	1901.4%		31.37		2035.37	0.00						
Quarto_Solteiro_02_2	3650	536	1468.5%	14.87	31.12	31.91	2174.30	0.00	7609.77	0.00	7609.77	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_02_2	2920	319	1092.5%		31.91		3400.11	0.00						
Quarto_Casal_03_2	3650	547	1498.6%		30.80		2184.73	0.00						
Quarto_Solteiro_03_2	3650	456	1249.3%	12.78	30.91	31.99	2213.03	0.00	8090.38	0.00	8090.38	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_03_2	2920	317	1085.6%		31.99		3692.61	0.00						
Quarto_Casal_04_2	3650	749	2052.1%		30.82		2030.58	0.00						
Quarto_Solteiro_04_2	3650	408	1117.8%	11.24	31.03	32.94	2286.57	0.00	8355.07	0.00	8355.07	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_04_2	2920	59	202.1%		32.94		4037.91	0.00						
Quarto_Casal_101_2	3650	711	1947.9%		31.23		2128.58	0.00						
Quarto_Solteiro_101_2	3650	394	1079.5%	10.73	31.56	33.60	2342.12	0.00	8514.73	0.00	8514.73	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_101_2	2920	56	191.8%		33.60		4044.03	0.00						
Quarto_Casal_102_2	3650	590	1616.4%		31.84		2146.77	0.00						
Quarto_Solteiro_102_2	3650	457	1252.1%	11.31	31.55	32.41	2255.26	0.00	7718.98	0.00	7718.98	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_102_2	2920	153	524.0%		32.41		3316.95	0.00						
Quarto_Casal_103_2	3650	449	1230.1%		31.48		2299.31	0.00						
Quarto_Solteiro_103_2	3650	390	1068.5%	9.42	31.57	32.15	2287.65	0.00	7952.13	0.00	7952.13	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_103_2	2920	154	527.4%		32.15		3365.16	0.00						
Quarto_Casal_104_2	3650	667	1827.4%		31.42		2169.24	0.00						
Quarto_Solteiro_104_2	3650	332	909.6%	9.82	31.70	33.42	2389.75	0.00	8681.69	0.00	8681.69	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_104_2	2920	61	208.9%		33.42		4122.70	0.00						
Quarto_Casal_201_2	3650	690	1890.4%		31.38		2178.16	0.00						
Quarto_Solteiro_201_2	3650	373	1021.9%	10.29	31.77	34.18	2403.82	0.00	8803.81	0.00	8803.81	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_201_2	2920	51	174.7%		34.18		4221.83	0.00						
Quarto_Casal_202_2	3650	534	1463.0%		32.03		2234.65	0.00						
Quarto_Solteiro_202_2	3650	407	1115.1%	9.94	31.74	33.09	2335.31	0.00	8117.65	0.00	8117.65	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_202_2	2920	118	404.1%		33.09		3547.70	0.00						
Quarto_Casal_203_2	3650	406	1112.3%		31.77		2390.50	0.00						
Quarto_Solteiro_203_2	3650	347	950.7%	8.27	31.84	32.82	2371.90	0.00	8417.01	0.00	8417.01	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_203_2	2920	122	417.8%		32.82		3654.61	0.00						
Quarto_Casal_204_2	3650	643	1761.6%		31.58		2222.81	0.00						
Quarto_Solteiro_204_2	3650	309	846.6%	9.33	31.93	33.85	2460.56	0.00	8978.44	0.00	8978.44	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_204_2	2920	56	191.8%		33.85		4295.06	0.00						
Quarto_Casal_301_2	3650	747	2046.6%		31.41		2259.57	0.00						
Quarto_Solteiro_301_2	3650	606	1660.3%	12.80	31.76	33.75	1961.89	0.00	8933.01	0.00	8933.01	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_301_2	2920	39	133.6%		33.75		4711.55	0.00						
Quarto_Casal_302_2	3650	536	1468.5%		32.00		2347.24	0.00						
Quarto_Solteiro_302_2	3650	438	1200.0%	9.65	31.87	34.25	2448.13	0.00	8948.76	0.00	8948.76	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_302_2	2920	66	226.0%		34.25		4153.38	0.00						
Quarto_Casal_303_2	3650	425	1164.4%		31.98		2524.10	0.00						
Quarto_Solteiro_303_2	3650	363	994.5%	8.10	32.07	33.50	2515.34	0.00	9225.71	0.00	9225.71	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_303_2	2920	79	270.5%		33.50		4186.26	0.00						
Quarto_Casal_304_2	3650	699	1915.1%		31.68		2260.45	0.00						
Quarto_Solteiro_304_2	3650	350	958.9%	10.13	32.12	34.51	2572.41	0.00	9519.89	0.00	9519.89	SIM	NÃO	NÃO
Sala_Cozinha_304_2	2920	48	164.4%		34.51		4687.04	0.00						

APÊNDICE K – RESULTADO DO MODELO REFERÊNCIA PARA O CLIMA 2080 (BLOCO 01)

Modelo Referência - Bloco 01																		
Ambiente	Ventilação Natural					Sem Ventilação Natural					Nível de Desempenho							
	NH _{ocup} (horas)	NH _r (horas)	PHFT _{APP} (%)	PHFT _{UH} (%)	To _{Máx APP} (°C)	To _{Máx UH} (°C)	Cg _{TR APP} (kWh/ano)	Cg _{TA APP} (kWh/ano)	Cg _{TR UH} (kWh/ano)	Cg _{TA UH} (kWh/ano)	Cg _{TT UH} (kWh/ano)	0.9xPHFT	ΔTo _{Máx UH}	Intermediário		RedCg _{TT MIN}		
Quarto_Casal_01_1	3650	638	1747.9%	9.34	31.29	33.56	1992.52	0.00	8585.29	0.00	8585.29	8.41	34.56	5.82	ΔPHFT	252.36		
Quarto_Solteiro_01_1	3650	321	879.5%		31.59		31.59	2352.29						0.00	7.88	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_01_1	2920	51	174.7%		33.56		33.56	4240.48						0.00	20.04	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_02_1	3650	1722	4717.8%	20.81	29.29	32.71	1344.67	0.00	7182.87	0.00	7182.87	18.73	33.71	-7.01	ΔPHFT	211.14		
Quarto_Solteiro_02_1	3650	370	1013.7%		31.33		31.33	2301.17						0.00	-10.76	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_02_1	2920	149	510.3%		32.71		32.71	3537.03						0.00	17.63	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_03_1	3650	278	761.6%	6.19	31.56	33.20	2222.62	0.00	7978.83	0.00	7978.83	5.57	34.20	8.52	ΔPHFT	234.53		
Quarto_Solteiro_03_1	3650	262	717.8%		31.61		31.61	2271.08						0.00	4.17	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_03_1	2920	110	376.7%		33.20		33.20	3485.13						0.00	20.70	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_04_1	3650	711	1947.9%	9.78	31.09	34.21	1932.41	0.00	8290.90	0.00	8290.90	8.80	35.21	6.49	ΔPHFT	243.7		
Quarto_Solteiro_04_1	3650	305	835.6%		31.45		31.45	2289.31						0.00	6.42	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_04_1	2920	44	150.7%		34.21		34.21	4069.18						0.00	19.95	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_101_1	3650	692	1895.9%	9.73	32.09	34.30	2082.00	0.00	8715.61	0.00	8715.61	8.76	35.30	5.12	ΔPHFT	256.19		
Quarto_Solteiro_101_1	3650	276	756.2%		32.31		32.31	2453.14						0.00	7.00	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_101_1	2920	78	267.1%		34.30		34.30	4180.47						0.00	25.37	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_102_1	3650	390	1068.5%	6.49	31.96	33.39	2191.64	0.00	8294.59	0.00	8294.59	5.84	34.39	3.81	ΔPHFT	243.82		
Quarto_Solteiro_102_1	3650	236	646.6%		32.30		32.30	2414.97						0.00	4.47	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_102_1	2920	68	232.9%		33.39		33.39	3687.99						0.00	26.25	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_103_1	3650	267	731.5%	5.26	31.37	33.82	2334.13	0.00	8338.01	0.00	8338.01	4.73	34.82	5.64	ΔPHFT	245.09		
Quarto_Solteiro_103_1	3650	251	687.7%		32.30		32.30	2373.57						0.00	6.33	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_103_1	2920	46	157.5%		33.82		33.82	3630.31						0.00	26.58	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_104_1	3650	753	2063.0%	10.67	31.80	34.92	2005.16	0.00	8517.34	0.00	8517.34	9.60	35.92	5.33	ΔPHFT	250.36		
Quarto_Solteiro_104_1	3650	323	884.9%		32.14		32.14	2385.97						0.00	7.15	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_104_1	2920	74	253.4%		34.92		34.92	4126.21						0.00	25.12	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_201_1	3650	706	1934.2%	9.79	32.13	34.69	2120.96	0.00	9037.82	0.00	9037.82	8.81	35.69	4.02	ΔPHFT	265.66		
Quarto_Solteiro_201_1	3650	277	758.9%		32.45		32.45	2518.69						0.00	6.53	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_201_1	2920	71	243.2%		34.69		34.69	4398.18						0.00	25.36	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_202_1	3650	236	646.6%	4.68	32.48	33.91	2420.75	0.00	8899.47	0.00	8899.47	4.22	34.91	4.23	ΔPHFT	261.60		
Quarto_Solteiro_202_1	3650	217	594.5%		32.57		32.57	2509.98						0.00	6.25	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_202_1	2920	48	164.4%		33.91		33.91	3968.74						0.00	26.74	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_203_1	3650	260	712.3%	5.00	32.37	34.45	2416.10	0.00	8781.71	0.00	8781.71	4.50	35.45	4.15	ΔPHFT	258.13		
Quarto_Solteiro_203_1	3650	248	679.5%		32.41		32.41	2459.36						0.00	5.73	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_203_1	2920	32	109.6%		34.45		34.45	3906.24						0.00	26.65	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_204_1	3650	763	2090.4%	10.71	31.87	35.34	2040.22	0.00	8850.67	0.00	8850.67	9.63	36.34	4.17	ΔPHFT	260.16		
Quarto_Solteiro_204_1	3650	328	898.6%		32.23		32.23	2451.25						0.00	6.75	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_204_1	2920	65	222.6%		35.34		35.34	4359.19						0.00	25.11	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_301_1	3650	680	1863.0%	9.45	31.95	34.87	2225.26	0.00	9673.61	0.00	9673.61	8.50	36.87	3.88	ΔPHFT	284.35		
Quarto_Solteiro_301_1	3650	282	772.6%		32.44		32.44	2655.53						0.00	5.76	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_301_1	2920	58	198.6%		34.87		34.87	4792.81						0.00	16.30	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_302_1	3650	229	627.4%	4.52	32.53	34.30	2586.21	0.00	9698.40	0.00	9698.40	4.07	36.30	4.48	ΔPHFT	285.08		
Quarto_Solteiro_302_1	3650	221	605.5%		32.56		32.56	2662.37						0.00	6.26	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_302_1	2920	36	123.3%		34.30		34.30	4449.82						0.00	17.19	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_303_1	3650	261	715.1%	4.94	32.31	34.91	2564.45	0.00	9598.66	0.00	9598.66	4.44	36.91	4.08	ΔPHFT	282.15		
Quarto_Solteiro_303_1	3650	247	676.7%		32.32		32.32	2584.47						0.00	5.37	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_303_1	2920	26	89.0%		34.91		34.91	4449.74						0.00	17.11	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_304_1	3650	723	1980.8%	10.10	31.82	35.65	2413.73	0.00	9845.49	0.00	9845.49	9.09	37.65	3.93	ΔPHFT	289.40		
Quarto_Solteiro_304_1	3650	324	887.7%		32.18		32.18	2584.64						0.00	5.98	RedCgTT	0	INT
Sala_Cozinha_304_1	2920	47	161.0%		35.65		35.65	4847.11						0.00	16.18	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior

APÊNDICE L – RESULTADO DO MODELO REFERÊNCIA PARA O CLIMA 2080 (BLOCO 02)

Ambiente	Modelo Referência - Bloco 02																
	Ventilação Natural					Sem Ventilação Natural					Nível de Desempenho						
	Nh _{ocup} (horas)	NH _{it} (horas)	PHFT _{APP} (%)	PHFT _{UH} (%)	To _{Máx APP} (°C)	To _{Máx UH} (°C)	Cg _{TR APP} (kWh/ano)	Cg _{TA APP} (kWh/ano)	Cg _{TR UH} (kWh/ano)	Cg _{TA UH} (kWh/ano)	Cg _{TT UH} (kWh/ano)	0.9xPHFT	ΔTo _{Máx UH}	Intermediário		RedCg _{TT MIN}	
Quarto_Casal_01_2	3650	501	1372.6%	6.79	31.27	34.22	2079.94	0.00	8865.75	0.00	8865.75	6.11	35.22	5.49	ΔPHFT	260.60	
Quarto_Solteiro_01_2	3650	224	613.7%		31.62		2376.42	0.00						7.16	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_01_2	2920	15	51.4%		34.22		4409.39	0.00						20.57	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_02_2	3650	273	747.9%	5.98	31.52	33.11	2191.62	0.00	7972.46	0.00	7972.46	5.38	34.11	8.89	ΔPHFT	234.35	
Quarto_Solteiro_02_2	3650	247	676.7%		31.59		2294.24	0.00						4.55	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_02_2	2920	108	369.9%		33.11		3486.60	0.00						20.74	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_03_2	3650	373	1021.9%	6.56	31.37	32.88	2168.98	0.00	8156.85	0.00	8156.85	5.91	33.88	6.21	ΔPHFT	239.77	
Quarto_Solteiro_03_2	3650	207	567.1%		31.72		2358.07	0.00						0.81	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_03_2	2920	111	380.1%		32.88		3629.81	0.00						20.62	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_04_2	3650	454	1243.8%	5.97	31.53	33.95	2130.77	0.00	8966.61	0.00	8966.61	5.38	34.95	5.27	ΔPHFT	263.6	
Quarto_Solteiro_04_2	3650	180	493.2%		31.87		2442.27	0.00						6.82	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_04_2	2920	16	54.8%		33.95		4393.57	0.00						20.75	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_101_2	3650	478	1309.6%	6.57	31.93	34.62	2216.88	0.00	9197.36	0.00	9197.36	5.91	35.62	4.16	ΔPHFT	270.35	
Quarto_Solteiro_101_2	3650	211	578.1%		32.40		2503.81	0.00						7.42	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_101_2	2920	24	82.2%		34.62		4476.67	0.00						26.23	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_102_2	3650	265	726.0%	5.06	32.25	33.67	2300.04	0.00	8301.28	0.00	8301.28	4.55	34.67	6.25	ΔPHFT	244.01	
Quarto_Solteiro_102_2	3650	235	643.8%		32.32		2390.76	0.00						7.01	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_102_2	2920	43	147.3%		33.67		3610.48	0.00						26.63	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_103_2	3650	243	665.8%	4.69	32.26	33.33	2365.76	0.00	8524.28	0.00	8524.28	4.22	34.33	4.73	ΔPHFT	250.57	
Quarto_Solteiro_103_2	3650	196	537.0%		32.44		2458.17	0.00						6.71	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_103_2	2920	60	205.5%		33.33		3700.35	0.00						26.73	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_104_2	3650	435	1191.8%	5.90	32.11	34.46	2279.63	0.00	9381.70	0.00	9381.70	5.31	35.46	3.92	ΔPHFT	275.77	
Quarto_Solteiro_104_2	3650	175	479.5%		32.55		2576.49	0.00						7.46	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_104_2	2920	29	99.3%		34.46		4525.58	0.00						26.41	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_201_2	3650	489	1339.7%	6.74	31.98	35.02	2253.42	0.00	9464.86	0.00	9464.86	6.07	36.02	3.55	ΔPHFT	278.21	
Quarto_Solteiro_201_2	3650	217	594.5%		32.49		2552.10	0.00						6.98	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_201_2	2920	26	89.0%		35.02		4659.34	0.00						26.18	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_202_2	3650	259	709.6%	4.88	32.37	34.18	2374.33	0.00	8700.48	0.00	8700.48	4.39	35.18	5.06	ΔPHFT	255.75	
Quarto_Solteiro_202_2	3650	228	624.7%		32.44		2459.36	0.00						6.70	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_202_2	2920	38	130.1%		34.18		3866.79	0.00						26.68	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_203_2	3650	224	613.7%	4.34	32.52	33.81	2470.44	0.00	8948.46	0.00	8948.46	3.91	34.81	3.93	ΔPHFT	263.04	
Quarto_Solteiro_203_2	3650	189	517.8%		32.62		2531.20	0.00						5.94	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_203_2	2920	50	171.2%		33.81		3946.82	0.00						26.83	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_204_2	3650	448	1227.4%	6.14	32.16	34.88	2318.32	0.00	9643.18	0.00	9643.18	5.53	35.88	3.19	ΔPHFT	283.46	
Quarto_Solteiro_204_2	3650	187	512.3%		32.67		2633.84	0.00						6.89	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_204_2	2920	30	102.7%		34.88		4691.01	0.00						26.34	ΔPHFT _{MIN}	50	Superior
Quarto_Casal_301_2	3650	513	1405.5%	8.17	31.86	34.92	2361.66	0.00	9558.65	0.00	9558.65	7.35	36.92	4.63	ΔPHFT	280.97	
Quarto_Solteiro_301_2	3650	350	958.9%		32.27		2130.46	0.00						6.55	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_301_2	2920	25	85.6%		34.92		5066.52	0.00						16.53	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_302_2	3650	248	679.5%	4.66	32.34	34.81	2530.37	0.00	9542.83	0.00	9542.83	4.20	36.81	4.99	ΔPHFT	280.51	
Quarto_Solteiro_302_2	3650	230	630.1%		32.36		2590.31	0.00						6.23	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_302_2	2920	26	89.0%		34.81		4422.16	0.00						17.16	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_303_2	3650	218	597.3%	4.11	32.57	34.23	2637.07	0.00	9753.99	0.00	9753.99	3.70	36.23	3.99	ΔPHFT	286.71	
Quarto_Solteiro_303_2	3650	193	528.8%		32.62		2685.91	0.00						5.42	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_303_2	2920	31	106.2%		34.23		4431.01	0.00						17.26	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior
Quarto_Casal_304_2	3650	463	1268.5%	6.36	32.10	35.15	2379.07	0.00	10142.98	0.00	10142.98	5.72	37.15	3.77	ΔPHFT	298.15	
Quarto_Solteiro_304_2	3650	197	539.7%		32.63		2751.60	0.00						6.14	RedCg _{TT}	0	INT
Sala_Cozinha_304_2	2920	29	99.3%		35.15		5012.31	0.00						16.86	ΔPHFT _{MIN}	40	Superior

ANEXO A – VARIÁVEIS CLIMÁTICAS PARA O CLIMA ATUAL

WEATHER DATA SUMMARY	LOCATION: Caruaru, PE, BRA												
	Latitude/Longitude: 8.24° South, 35.99° West, Time Zone from Greenwich -3												
	Data Source: INMET 828950 WMO Station Number, Elevation 550 m												
MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	480	458	504	428	354	368	370	409	492	482	467	453	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	210	207	243	168	112	131	129	156	233	221	204	190	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	224	212	213	213	201	185	192	208	209	216	222	221	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	1124	1142	1150	1082	959	931	929	997	1062	1149	1115	1153	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	857	909	891	839	705	642	637	759	830	855	869	812	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Max Hourly)	454	457	457	433	402	373	379	409	434	455	454	447	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	5970	5627	6067	5066	4120	4252	4290	4811	5885	5886	5791	5658	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	2619	2550	2932	1996	1311	1518	1497	1835	2796	2699	2525	2375	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	2795	2606	2566	2516	2337	2143	2226	2441	2507	2641	2760	2768	Wh/sq.m
Global Horiz Illumination (Avg Hourly)	51758	49541	54397	46012	38058	39477	39586	44014	52948	52224	50477	48899	lux
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	20626	20355	23928	16406	10890	12713	12481	15200	22880	21712	19959	18562	lux
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	25	23	24	24	23	21	21	21	22	23	23	24	degrees C
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	17	19	19	19	19	18	18	18	17	17	17	18	degrees C
Relative Humidity (Avg Monthly)	66	76	76	77	81	83	85	83	76	68	68	70	percent
Wind Direction (Monthly Mode)	140	140	100	140	180	180	180	170	140	90	130	140	degrees
Wind Speed (Avg Monthly)	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	m/s
Ground Temperature (Avg Monthly of 3 Depths)	23	23	23	24	24	24	23	22	21	21	21	22	degrees C

Fonte: Software Climate Consultant 6.0, 2023.

ANEXO B – VARIÁVEIS CLIMÁTICAS PARA O CLIMA DE 2050

WEATHER DATA SUMMARY	LOCATION: Caruaru, PE, BRA												
	Latitude/Longitude: 8.24° South, 35.99° West, Time Zone from Greenwich -3												
	Data Source: INMET 828950 WMO Station Number, Elevation 550 m												
MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	470	464	532	445	361	370	363	394	464	453	447	428	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	300	318	433	311	212	263	239	238	296	271	254	234	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	243	218	200	218	213	193	204	224	238	245	250	249	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	1101	1157	1196	1123	980	936	912	961	1003	1080	1068	1088	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	945	1100	1100	1100	1082	946	889	902	810	890	893	924	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Max Hourly)	558	551	540	515	466	455	464	477	526	525	531	554	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	5848	5699	6405	5257	4201	4274	4210	4634	5555	5532	5545	5340	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	3737	3916	5210	3680	2468	3034	2772	2795	3542	3305	3144	2924	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	3026	2684	2410	2578	2482	2236	2364	2640	2852	2993	3099	3113	Wh/sq.m
Global Horiz Illumination (Avg Hourly)	51964	51491	58779	49403	40292	41130	40392	43839	51437	50258	49585	47519	lux
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	27770	29365	40829	28532	19062	24029	21359	21296	26758	24783	23264	21238	lux
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	26	25	26	26	25	23	22	22	23	25	25	25	degrees C
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	17	19	19	20	20	20	19	19	18	18	18	19	degrees C
Relative Humidity (Avg Monthly)	62	72	71	73	78	82	85	83	76	68	67	68	percent
Wind Direction (Monthly Mode)	140	140	100	140	180	180	180	170	140	90	130	140	degrees
Wind Speed (Avg Monthly)	3	2	2	2	2	3	2	2	2	3	3	3	m/s
Ground Temperature (Avg Monthly of 3 Depths)	24	24	25	25	25	25	24	23	23	23	23	24	degrees C

Fonte: Software Climate Consultant 6.0, 2023.

ANEXO C – VARIÁVEIS CLIMÁTICAS PARA O CLIMA DE 2080

WEATHER DATA SUMMARY	LOCATION: Caruaru, PE, BRA												
	Latitude/Longitude: 8.24° South, 35.99° West, Time Zone from Greenwich -3												
	Data Source: INMET 828950 WMO Station Number, Elevation 550 m												
MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	453	454	522	443	363	366	358	390	446	437	439	414	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	263	297	411	308	215	253	227	230	256	237	237	207	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	253	225	207	218	213	196	206	226	250	254	254	256	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	1060	1132	1193	1120	982	925	898	952	963	1041	1048	1053	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	868	1087	1094	1100	1092	925	859	884	727	811	854	854	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Max Hourly)	575	553	540	515	466	457	464	480	539	525	531	556	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	5634	5577	6294	5244	4221	4226	4149	4590	5338	5333	5442	5169	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	3279	3648	4948	3649	2507	2925	2636	2700	3066	2893	2939	2591	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	3152	2764	2494	2586	2475	2261	2393	2663	2996	3108	3154	3195	Wh/sq.m
Global Horiz Illumination (Avg Hourly)	50175	50459	57857	49340	40546	40755	39892	43520	49491	48581	48816	46110	lux
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	24021	27042	38461	28152	19239	22885	19982	20312	22729	21332	21467	18513	lux
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	27	26	26	26	25	24	23	23	24	25	26	26	degrees C
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	18	20	20	21	21	20	20	20	19	19	19	19	degrees C
Relative Humidity (Avg Monthly)	62	70	70	72	78	82	85	83	76	68	67	68	percent
Wind Direction (Monthly Mode)	140	140	100	140	180	180	180	170	140	90	130	140	degrees
Wind Speed (Avg Monthly)	3	3	2	2	2	3	2	2	2	3	3	3	m/s
Ground Temperature (Avg Monthly of 3 Depths)	25	25	26	26	26	26	25	24	24	24	24	24	degrees C

Fonte: Software Climate Consultant 6.0, 2023.