



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

DALYLA SALAZAR DE VASCONCELOS
NARALICE PINHEIRO DE SOUZA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES
CONSTRUÍDAS COM PAREDES DE BLOCOS DE CONCRETO: um**
estudo de caso em Tucuruí-PA.

TUCURUÍ
2020

DALYLA SALAZAR DE VASCONCELOS

NARALICE PINHEIRO DE SOUZA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES CONSTRUÍDAS COM
PAREDES DE BLOCOS DE CONCRETO: um estudo de caso em Tucuruí-PA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Civil, na Faculdade de Engenharia Civil da
Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof.º Me. Marlon Braga dos Santos.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

V331a Vasconcelos, Dalyla Salazar de
Análise do desempenho térmico de habitações construídas com
paredes de blocos de concreto : um estudo de caso em Tucuruí-PA.
/ Dalyla Salazar de Vasconcelos, Naralice Pinheiro de Souza . —
2020.
133 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Me. Marlon Braga dos Santos
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de
Engenharia Civil, Campus Universitário de Tucuruí, Universidade
Federal do Pará, Tucuruí, 2020.

1. Desempenho térmico. 2. Sistema de vedação. 3. Blocos
de concreto. I. Título.

CDD 624.1834

DALYLA SALAZAR DE VASCONCELOS

NARALICE PINHEIRO DE SOUZA

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES CONSTRUÍDAS COM PAREDES DE BLOCOS DE CONCRETO: um estudo de caso em Tucuruí-PA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, na Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará.

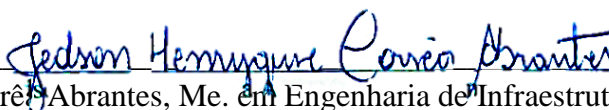
Orientador: Prof.º Me. Marlon Braga dos Santos.

Tucuruí, 18 de fevereiro de 2020.

Aprovado por:



Marlon Braga dos Santos, Me. em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental (UFPA)
(Orientador)



Jedson Henryque Corrêa Abrantes, Me. em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético (UFPA)
(Examinador Interno)



Karen Suely Martins Bernardo, Me. em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético (UFPA)
(Examinador Externo)

Dedicamos aos nossos pais, familiares, amigos e animais, que sempre estão ao nosso lado. Somos eternamente gratas.

AGRADECIMENTOS

Dalyla Salazar de Vasconcelos

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por ter me dado forças e por estar sempre comigo, sem Ele nada aconteceria.

Aos meus pais Maria Ruth Salazar e Fernando Nonato de Vasconcelos, que são as pessoas mais importantes da minha vida e que são responsáveis por tudo que sou e tenho.

Aos meus queridos irmãos e irmãs: Irismar, Leandro, Leovandro, Fernanda, Raiza, Danila e Júlia.

Aos meus queridos sobrinhos, que apesar de crescidos, serão sempre meus bebês.

Aos meus amigos: irmã Francisca e irmão Fernando, por quem eu tenho profundo carinho e sempre terei.

Ao meu namorado Renan, por ser tão paciente e amoroso comigo desde antes do ingresso na faculdade. Ele sempre cuidou de mim e aguentou meus estresses e choros nos momentos mais complicados durante esses 5 anos.

À família do Renan, que também considero minha, mesmo sem ter me casado ainda (hehe). Principalmente meus sogros Márcia e José, por serem pessoas tão legais e que sempre me acolheram com carinho.

Aos meus amigos: Naralice, Cleomar, Dani Novaes, Raissa, Nicole e Leonel por estarem comigo desde o início nos melhores e piores momentos dessa vida acadêmica que não foi fácil. Todos nós passamos por muitas coisas, mas vocês são os “frenons” por quem meu coração tem mais apreço s2.

E, finalmente, ao nosso orientador Marlon Braga dos Santos, por ter sido um excelente professor e por ter nos ajudado a tornar este trabalho possível.

AGRADECIMENTOS

Naralice Pinheiro de Souza

Aos meus amados pais: Antonio Francisco de Souza Filho e Marly de Fátima Souza Pinheiro, que me trouxeram ao mundo, me deram oportunidades, me passaram valores sólidos de vida valiosos e proporcionaram a realização dos meus estudos graças ao trabalho árduo durante todos esses anos apesar das dificuldades enfrentadas.

À minha querida avó Maria Cleonice Sousa Pinheiro, por estar ao meu lado em todos os momentos da minha vida, por todo apoio, carinho, dedicação, preocupação e suporte financeiro que foram essenciais para a qualificação dos meus estudos.

Aos meus queridos irmãos: Natália Pinheiro de Souza e Renan Pinheiro de Souza, pela compreensão e irmandade de sempre.

Aos meus animais, Beethoven (*in memoriam*), Scott (*in memoriam*), Spike (*in memoriam*), Malu, Killjoy, Tina e Jude Lee, por todo amor incondicional, por toda a felicidade que eu sinto ao vê-los e pela oportunidade de fazer parte da vida de cada um.

Aos amigos que fiz até agora, principalmente aos que conheci na faculdade, em especial Dalyla, Dani Novaes, Raissinha, Cleomar, Nicole e Leonel pela amizade e apoio em todos os momentos ao longo desses cinco anos.

Ao nosso orientador Marlon Braga dos Santos, pela ajuda e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

E, por fim, a todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão desta etapa acadêmica.

“Porque nós somos o mundo glória a Deus e amém.”

(Inês Brasil)

RESUMO

O presente trabalho aborda estudos referentes ao desempenho térmico de edificações construídas em paredes com blocos de concreto e faz uma avaliação dessa técnica no Conjunto Habitacional Vivacidade (CHV), em Tucuruí-PA, de forma a verificar a conformidade com as normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) ABNT NBR 15575:2013 e ABNT NBR 15220:2005 para alguns critérios de acordo com a Zona Bioclimática 8 (ZB8), a qual a unidade habitacional estudada está inserida. Além disso, foi realizada uma análise comparativa entre o sistema de vedação empregado no estudo de caso e o sistema construtivo de paredes de concreto (sistema de vedação executado na primeira fase da obra). Para tal estudo foram adotados três métodos de avaliação de desempenho térmico: simplificado, com base na análise das propriedades térmicas dos materiais que compõem as habitações do CHV; informativo, baseado na execução de medições de temperatura do ar na unidade habitacional representativa; e normativo, com a realização de uma simulação computacional por meio do *software EnergyPlus*, juntamente com o apoio do programa *SketchUp* para a construção do modelo tridimensional da edificação e do *plug-in OpenStudio*, que faz integração da modelagem com o *software* energético. Através dos resultados obtidos pelos métodos empregados para a avaliação do desempenho térmico da edificação foi possível concretizar qual dos sistemas construtivos é mais adequado para ser empregado na região de estudo.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Blocos de concreto. Sistemas de vedação. Simulação computacional.

ABSTRACT

The present work addresses studies related to the thermal performance of buildings built on walls with concrete blocks and makes an evaluation of this technique in the Vivicidade Housing Complex (CHV), in Tucuruí-PA, in order to verify the compliance with the current rules of the Brazilian Association of Technical Norms (ABNT) ABNT NBR 15575: 2013 and ABNT NBR 15220: 2005 for some criteria according to Bioclimatic Zone 8 (ZB8), in which the studied housing unit is inserted. In addition, a comparative analysis was carried out between the sealing system used in the case study and the concrete wall construction system (sealing system performed in the first phase of the work). For this study, three methods of evaluating thermal performance were adopted: simplified, based on the analysis of the thermal properties of the materials that make up the CHV dwellings; informative, based on the execution of air temperature measurements in the representative housing unit; and normative, with a computer simulation using the EnergyPlus software, together with the support of the SketchUp program for the construction of the three-dimensional model of the building and the OpenStudio plug-in, which integrates the modeling with the energy software. Through the results obtained by the methods used for the evaluation of the thermal performance of the building it was possible to realize which of the construction systems is more suitable to be used in the study region.

Keywords: Thermal performance. Concrete blocks. Sealing systems. Computer simulation.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 — Logomarca do programa MCMV.....	28
Figura 2.2 — Edifício Jardim Prudência.	30
Figura 2.3 — Prédios precursores da alvenaria estrutural no Brasil.	31
Figura 2.4 — Bloco vazado de concreto simples.	33
Figura 2.5 — Detalhes da alvenaria de bloco de concreto.	35
Figura 2.6 — Blocos do tipo canaleta (a) e os blocos compensadores (b).	36
Figura 2.7 — Vedação e estrutura como único elemento.....	37
Figura 2.8 — Sistemas Gethal (a) e Outinord (b).....	37
Figura 2.9 — Principais Políticas de Eficiência Energética no Brasil de 1984 a 2011.	40
Figura 2.10 — Fatores do estudo de conforto térmico.	41
Figura 2.11 — Indicadores de conforto térmico.....	43
Figura 2.12 — Representação esquemática da fisiologia humana e a trocas térmicas.....	43
Figura 2.13 — Representação esquemática do processo de troca de calor homem-edifício.....	45
Figura 2.14 — Representação esquemática do desempenho térmico.....	45
Figura 2.15 — PPD em função do PMV.	47
Figura 2.16 — Zoneamento bioclimático brasileiro.....	52
Figura 2.17 — Carta bioclimática adaptada.	53
Figura 2.18 — Zona Bioclimática 8.	56
Figura 2.19 — Carta Bioclimática da Zona Bioclimática 8.	56
Figura 2.20 — Etapas da avaliação por simulação numérica.	61
Figura 2.21 — Procedimentos de avaliação de desempenho térmico.	65
Figura 2.22 — Etapas da modelagem no <i>EnergyPlus</i>	67

Figura 2.23 — Detalhes da unidade habitacional de paredes de concreto.	70
Figura 2.24 — Etapas de realização da pesquisa.	71

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 — Localização e Inserção Regional de Tucuruí.	77
Figura 3.2 — Vista aérea de Tucuruí e localização do CHV.	80
Figura 3.3 — Vista aérea do CHV.	81
Figura 3.4 — Plantas ilustrativas das casas com dois e três dormitórios.	82
Figura 3.5 — Painel informativo e a perspectiva ilustrativa do empreendimento.	82
Figura 3.6 — Planta baixa da casa 2D.	83
Figura 3.7 — Fachada da unidade habitacional monitorada (Casa 2D).	84
Figura 3.8 — Vista em perspectiva do bloco de concreto.	86
Figura 3.9 — Vista da cobertura.	87
Figura 3.10 — Aparelhos utilizados no monitoramento.	92
Figura 3.11 — Vista frontal do lote da unidade habitacional monitorada (Casa 2D).	93
Figura 3.12 — Posicionamento de sensores no interior da casa.	93
Figura 3.13 — Sensor posicionado sobre apoio.	94

APÊNDICE A

Figura A.1 — Área de trabalho <i>SketchUp 2019</i>	121
Figura A.2 — Modelagem tridimensional da unidade habitacional.	121
Figura A.3 — Zonas térmicas definidas no <i>SketchUp</i>	122
Figura A.4 — Interface de lançamento do programa.	123
Figura A.5 — Campo <i>Simulation Control</i>	124

Figura A.6 – Campo <i>Timestep</i>	125
Figura A.7 – Campo <i>Run Period</i>	126
Figura A.8 – Campo <i>Ground Temperature: Shallow</i>	126
Figura A.9 – Campo <i>Material</i>	127
Figura A.10 – Campo <i>Window Material: Glazing</i>	128
Figura A.11 – Campo <i>Construction</i>	129
Figura A.12 – Campo <i>Output: Variable</i>	130
Figura A.13 – Interface de lançamento do programa, campo <i>View Results</i>	130

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição do <i>déficit</i> habitacional por situação de domicílio em 2015.	26
Gráfico 2 – Temperaturas do ar dos ambientes internos da residência e externo no dia 01/10/2015.	73
Gráfico 3 – Temperatura superficial interna e externa de parede de concreto.	74
Gráfico 4 – Temperaturas médias mensais em Tucuruí-PA.	78
Gráfico 5 – Temperaturas máximas e mínimas em Tucuruí-PA.	79
Gráfico 6 – Velocidades médias dos ventos em Tucuruí-PA.	79
Gráfico 7 – Umidade relativa média em Tucuruí-PA.	80
Gráfico 8 – Temperaturas do ar do ambiente interno e externo no dia 12/11/2019.	102
Gráfico 9 – Temperaturas do ar do ambiente interno e externo no dia 13/11/2019.	102
Gráfico 10 – Temperaturas do ar do ambiente interno e externo no dia 14/11/2019.	103
Gráfico 11 – Temperaturas do ar do ambiente interno e externo no dia 15/11/2019.	103
Gráfico 12 – Temperatura superficial interna e externa da parede orientada para o leste (sala/cozinha).	105
Gráfico 13 – Temperatura superficial interna e externa da parede orientada para o oeste (dormitório 02).	106
Gráfico 14 – Temperatura superficial interna e externa da parede orientada para o oeste (dormitório 01).	107
Gráfico 15 – Temperaturas em cada zona térmica modelada.	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico.	55
Quadro 2 – Características construtivas da residência em estudo.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Dimensões nominais.	36
Tabela 2 — Aberturas para ventilação.	54
Tabela 3 — Classificação de vedações externas.	54
Tabela 4 — Transmitância térmica de paredes externas.	58
Tabela 5 — Capacidade térmica de paredes externas.	58
Tabela 6 — Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar.	59
Tabela 7 — Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica.	60
Tabela 8 — Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.	64
Tabela 9 — Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.	64
Tabela 10 — Critério da transmitância térmica (U) para as vedações externas.	71
Tabela 11 — Desempenho das paredes externas de acordo com o critério de aberturas de ventilação.	72
Tabela 12 — Critério da transmitância térmica (U) para cobertura.	72
Tabela 13 — Valores máximos, médios e mínimos do ar no ambiente externo.	73
Tabela 14 — Critérios de vedação e cobertura quanto à transmitância e capacidade térmica para ZB8.	87
Tabela 15 — Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais.	88
Tabela 16 — Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura.	89
Tabela 17 — Resistência térmica superficial interna e externa.	89
Tabela 18 — Percentual da área mínima de ventilação em dormitórios e salas para ZB8.	90
Tabela 19 — Dimensões das aberturas de portas e janelas e áreas dos cômodos.	91
Tabela 20 — Áreas efetivas dos cômodos.	91
Tabela 21 — Resistências térmicas das seções do bloco de concreto.	97

Tabela 22 — Resistência térmica total da parede.....	97
Tabela 23 — Critério da transmitância térmica (U) para as vedações externas.....	97
Tabela 24 — Desempenho das paredes externas de acordo com o critério de abertura de ventilação.....	98
Tabela 25 — Propriedades dos materiais da cobertura.	98
Tabela 26 — Resistência térmica total da cobertura.	98
Tabela 27 — Critério da transmitância térmica (U) para cobertura.	99
Tabela 28 — Dados registrados do monitoramento em 12/11/2019.	99
Tabela 29 — Dados registrados do monitoramento em 13/11/2019.	100
Tabela 30 — Dados registrados do monitoramento em 14/11/2019.	100
Tabela 31 — Dados registrados do monitoramento em 15/11/2019.	100
Tabela 32 — Temperaturas máximas, médias e mínimas do ar no ambiente interno.	101
Tabela 33 — Temperaturas máximas, médias e mínimas do ar no ambiente externo.	101
Tabela 34 — Temperaturas nas zonas térmicas para o sistema construtivo em análise.....	108
Tabela 35 — Confronto dos sistemas construtivos de vedação pelo método simplificado.....	109
Tabela 36 — Confronto dos sistemas construtivos de vedação pelo método informativo.....	109
Tabela 37 — Confronto dos sistemas construtivos de vedação pelo método normativo.	109
Tabela 38 — Resumo da avaliação de desempenho térmico dos sistemas construtivos.....	110
Tabela A.1 — Propriedade dos materiais conforme ABNT NBR 15220-2.	127
Tabela A.2 — Camadas dos materiais do exterior pra o interior.	129
Tabela B.1 — Temperaturas das superfícies das paredes de blocos de concreto.....	132
Tabela C.1 — Temperaturas das zonas térmicas modeladas na unidade habitacional.....	133

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APO	Avaliação Pós-Ocupação
ASBEA	Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
ASHRAE	<i>American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
BNH	Banco Nacional de Habitação
CHV	Conjunto Habitacional Vivacidade
DOE	Departamento de Energia dos Estados Unidos da América
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FNHIS	Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social
FV	Fator de Ventilação
HIS	Habitação de Interesse Social
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ISSO	<i>International Organization for Standardization</i>
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
MCMV	Minha Casa Minha Vida
NBR	Norma Brasileira
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PAC	Programa de Aceleração de Crescimento
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PEC	Projeto de Emenda Constitucional
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i> ou Voto Médio Estimado
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PPD	<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>
SNHIS	Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social
TRY	<i>Typical Meteorological Year</i>
UHE	Usina Hidrelétrica Tucuruí
ZB8	Zona Bioclimática 8

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	20
1.2	OBJETIVOS	22
1.2.1	Objetivo geral	22
1.2.2	Objetivos específicos	22
1.3	JUSTIFICATIVA	23
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	25
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1	HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL	26
2.2	SISTEMAS CONSTRUTIVOS	29
2.2.1	Alvenaria Estrutural no Brasil	29
2.2.2	Paredes de Blocos de Concreto	32
2.2.2.1	<i>Blocos de Concreto</i>	32
2.2.3	Paredes de Concreto	36
2.3	SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	39
2.3.1	Eficiência energética.....	39
2.4	CONFORTO TÉRMICO.....	41
2.5	DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	44
2.6	NORMAS DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES.....	46
2.6.1	Normatização de desempenho térmico em âmbito mundial.....	46
2.6.1.1	<i>Norma ISO 7730</i>	46
2.6.1.2	<i>Norma ISO 7726</i>	47
2.6.1.3	<i>Norma ASHRAE 55</i>	49
2.6.2	Normatização de desempenho térmico em âmbito nacional	50

2.6.2.1	Norma ABNT NBR 15220.....	50
2.6.2.1.1	ABNT NBR 15220-2.....	51
2.6.2.1.2	ABNT NBR 15220-3.....	52
2.6.2.2	Norma ABNT NBR 15575.....	57
2.6.2.2.1	ABNT NBR 15575-1.....	57
2.7	APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA <i>ENERGYPLUS</i>	65
2.7.1	Parâmetros de simulação	66
2.8	APRESENTAÇÃO DOS PROGRAMAS <i>SKETCH-UP</i> E <i>OPEN STUDIO</i>	68
2.9	ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA PAREDES DE CONCRETO.....	69
2.9.1	Método simplificado.....	71
2.9.2	Método informativo.....	72
2.9.3	Método normativo	74
3	METODOLOGIA.....	76
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ E DO CHV	77
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE RESIDENCIAL EM ESTUDO.....	82
3.3	ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO SIMPLIFICADO ..	85
3.3.1	Descrição dos componentes.....	86
3.3.2	Critérios para o desempenho térmico de vedações e cobertura.....	87
3.3.3	Critérios de aberturas para ventilação	90
3.4	ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO INFORMATIVO ..	91
3.5	ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO NORMATIVO.....	94
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
4.1	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO SIMPLIFICADO.....	96

4.1.1	Avaliação das vedações verticais	96
4.1.2	Avaliação das aberturas de ventilação.....	97
4.1.3	Avaliação da cobertura	98
4.2	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO INFORMATIVO.....	99
4.3	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO NORMATIVO.....	104
4.4	AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO ENTRE OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS	108
5	CONCLUSÕES.....	111
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	113
	REFERÊNCIAS	114
	APÊNDICES.....	121
	APÊNDICE A — Etapas da simulação computacional	121
	APÊNDICE B — Temperaturas das superfícies das paredes de blocos de concreto obtidas na simulação computacional	132
	APÊNDICE C — Temperaturas das zonas térmicas modeladas na unidade habitacional em paredes de blocos de concreto obtidas na simulação computacional	133

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O bom desempenho térmico de edificações garante a satisfação do usuário quanto às condições térmicas dos ambientes internos e contribui na redução do consumo de energia elétrica elevado dos sistemas ativos de climatização. Com isso, a utilização de estratégias bioclimáticas no projeto de habitações passa a ter mais relevância nos debates, à medida que se passa a entender que o emprego de meios artificiais de climatização em edificações pode tornar-se economicamente inviável, principalmente, para os usuários de menor poder aquisitivo (MOHAMAD, 2015).

Sendo assim, cada vez mais os sistemas construtivos devem ter a preocupação de incluir as considerações energéticas e ambientais no projeto, harmonizando as construções, a fim de aperfeiçoar as relações entre o homem e a natureza, no que diz respeito à redução de impactos ambientais e a melhoria da qualidade de vida. Neste contexto, o conhecimento do comportamento térmico das edificações permite aos projetistas estabelecerem estratégias para que o desempenho das construções seja eficiente às variações climáticas, fornecendo as condições técnicas necessárias para o atendimento de critérios mínimos de desempenho, oferecendo conforto ao usuário, minimizando o uso de equipamentos e o consumo de energia (SANTOS *et al.*, 2015).

Para Gomes (2012), uma forma de solucionar os problemas decorrentes da racionalização dos processos construtivos no país engloba as avaliações de desempenho. Os critérios de desempenho expressam as condições quantitativas das edificações que estão submetidas a determinados fatores de exposição e devem atender satisfatoriamente às exigências dos usuários.

Em virtude disso, a avaliação do desempenho térmico de edificações com blocos de concreto pode contribuir para o aumento da eficiência deste sistema no Brasil. Assim, através de medições *in loco*, Avaliações Pós-Ocupação (APO) e simulações computacionais, pode-se determinar os tipos de fechamento mais adequados às condições climáticas da região onde a habitação está localizada, diminuindo-se o consumo energético para condicionamento dos ambientes internos e melhorando as condições de conforto (GOMES, 2012).

Neste sentido, para realizar a avaliação de desempenho térmico de edificações é necessário seguir recomendações técnicas de caráter normativo. Segundo Sorgato (2009), o Protocolo de *Kyoto* desencadeou um processo de elevação do rigor das normas internacionais referentes ao desempenho térmico das edificações. Estas normas regulam o desempenho térmico e/ou a eficiência das edificações, as quais já existiam desde a década de 70, originadas pela crise do petróleo ocorrida em 1973.

Desde então, muitos países vêm desenvolvendo normas de eficiência energética e de desempenho térmico de edificações residenciais e comerciais. No Brasil, já existem duas normas de desempenho térmico de edificações, assim como o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, implantado em 2009, e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, em vigor desde 2010 (SORGATO, 2009).

O processo de avaliação do desempenho térmico de edificações pode ser realizado nas etapas de projeto ou após a construção da edificação. Para a fase de projeto, são realizadas simulações computacionais e análises dos processos construtivos, enquanto que para a construção finalizada, podem ser realizadas medições *in loco* de temperatura. Além disso, a norma brasileira apresenta uma divisão do território brasileiro em oito zonas bioclimáticas agrupando as regiões de acordo com as condições do clima. Essa classificação possibilita a identificação dos problemas climáticos, apresentando para cada uma das zonas, recomendações técnicas que podem ser adotadas durante a fase de projeto, visando garantir condições de conforto térmico (ABNT, 2005c).

Com relação aos sistemas construtivos, tem-se a alvenaria estrutural, onde a sua técnica está sendo cada vez mais utilizada na construção de edifícios habitacionais. Aos poucos os profissionais veem realizando o aprimoramento de estudos e conhecimentos técnicos acerca desse sistema construtivo. Atualmente, em países desenvolvidos como os Estados Unidos, a Inglaterra, a Alemanha, entre outros, a alvenaria estrutural alcança níveis de cálculo, execução e controle semelhantes ao utilizado nas estruturas tanto de aço como de concreto. Tornou-se, então, um competitivo sistema racionalizado, versátil, econômico e de fácil execução (HASHIGUTI, 2018).

No atual contexto brasileiro, ainda são poucos os estudos que avaliam o desempenho de sistemas construtivos frente às características locais, principalmente no que se refere ao

conforto térmico, que poderia indicar a adequação ou não às condições climáticas brasileiras. Bem como, a existência de poucas propostas de soluções arquitetônicas mais adequadas a um determinado sistema construtivo racionalizado que permitissem o seu emprego nas Habitações de Interesse Social (HIS) na região. Dessa forma, torna-se essencial garantir as condições de conforto dos ocupantes, tendo em conta a qualidade do ambiente interior e a sustentabilidade, incorporando a preservação de valores culturais, a proteção ambiental, a eficiência energética e a redução de custos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o desempenho térmico de edificações unifamiliares de interesse social executadas com paredes de blocos de concreto no Conjunto Habitacional Vivacidade (CHV), em Tucuruí-PA.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos que norteiam o presente trabalho estão expressos nos seguintes itens:

- a) avaliar as temperaturas no período do verão na unidade habitacional representativa;
- b) analisar as propriedades térmicas dos materiais constituintes do método construtivo em estudo;
- c) analisar através do programa computacional *EnergyPlus* o comportamento da edificação frente às variações térmicas em seu entorno;
- d) avaliar comparativamente o conforto térmico das unidades habitacionais dos dois métodos construtivos executados no CHV.

1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo Souza e Nery (2012), o conforto térmico está em o maior número de pessoas se sentirem bem. Se o ambiente não oferece condições térmicas agradáveis a um indivíduo ou para a população tem-se então o estado de desconforto térmico. Este tem efeitos diretos na produção e na satisfação de indivíduos e apresenta grande influência sobre a saúde humana.

No caso de Tucuruí, cidade localizada na região amazônica, de clima equatorial quente e úmido, possui características climáticas específicas, que conforme o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) tem destaque o período de seca entre os meses de junho a novembro, quando ocorre a redução das precipitações e elevados índices de temperaturas e de umidade relativa do ar (SANTOS; GOUVEIA, 2018).

Ainda de acordo com Santos e Gouveia (2018), o clima do município caracteriza-se por apresentar a sensação de desconforto por calor, principalmente, no período da tarde durante o ano inteiro, enquanto que os demais períodos (manhã e noite) apresentam uma sensação de conforto. A sensação de desconforto por frio é mínima, sendo irrelevante um estudo de desempenho térmico das edificações no período de inverno.

Ferreira (2016) constatou na análise do clima local de Tucuruí que as variáveis analisadas individualmente de maior contribuição para a melhoria do desempenho térmico de edificações foram: para as paredes: a transmitância térmica do vidro, o sombreamento das aberturas e a ventilação natural, enquanto para a cobertura: a transmitância térmica, capacidade térmica e a ventilação no ático. Observou-se que a redução do ganho térmico pelas aberturas e o emprego da ventilação natural para retirada de calor são considerados como as principais estratégias para este contexto climático.

Do ponto de vista habitacional, o déficit de moradias da Região Norte, em 2010, era de 816 mil domicílios representando 12,1% do total do país, assim como o déficit no estado do Pará no mesmo ano era de 423,4 mil domicílios correspondentes a 51,9% do total da Região Norte e 6,3% do Brasil (PARÁ, 2014).

Estes números demonstram que existe a necessidade de investimentos governamentais tanto para fortalecer os programas e ações desenvolvidas já existentes como para novas ações otimizadas ou baseadas em estudos científicos, visando à redução do déficit habitacional.

Dentre essas ações, destaca-se o emprego de sistemas construtivos mais apropriados ao clima da região que proporcionem melhor eficiência energética e minimizem os desperdícios e os impactos ambientais de modo a fazer frente à necessidade de construção de grande volume de obras em um período relativamente curto de tempo.

Neste contexto, outro ponto importante que deve ser enfatizado refere-se à energia e ao desenvolvimento sustentável. De acordo com Lamberts *et al.* (2014), da produção total de energia elétrica, 23,3% se destinam ao uso em residências. Entre os aparelhos domésticos consumidores de energia, o ar condicionado apresenta o maior consumo, chegando a 20% da média nacional, sendo que a região Norte é a que mais gasta energia com ar condicionado em residências, atingindo 40% do total do consumo residencial de energia elétrica. Residências bem climatizadas reduzem o uso de condicionadores de ar, proporcionando significativa redução no uso de energia e conseqüentemente menos uso de recursos naturais.

Dessa forma, os sistemas construtivos se apresentam como uma alternativa de construção racionalizada, resultando em uma construção mais rápida, econômica, sem desperdícios e com alto padrão de qualidade. Sendo tecnicamente viáveis, de custos reduzido, funcionais e duráveis, os empreendimentos da construção civil brasileira de habitação de interesse social utilizam em sua maioria os sistemas construtivos de alvenaria estrutural (blocos de concreto ou cerâmicos) e parede de concreto, justificando assim a importância do estudo.

Apesar da abrangente utilização de vedações em alvenaria de blocos de concreto em obras de interesse social no Brasil e em diversos países, Sorgato *et al.* (2014) afirma que ainda há dúvidas sobre a qualidade desses sistemas construtivos, principalmente no que se refere ao desempenho térmico. Sacht e Rossignolo (2009) constataram em um estudo de desempenho térmico realizado em dez cidades de diferentes regiões através de simulações computacionais, que a alvenaria em bloco de concreto não apresentou desempenho térmico mínimo tanto para a cidade de Belém-PA como para a maioria das demais localidades brasileiras analisadas.

Santos e Gouveia (2018) apontam que na cidade de Tucuruí o emprego de sistema construtivo racionalizado é recente, justificando a carência de estudos sobre o comportamento e desempenho térmico de edificações no município. Diante do quadro de carência de informações sobre desempenho dos sistemas construtivos racionalizados destaca a relevância da realização de um trabalho que avalie o desempenho térmico de edificações construídas

com alvenaria estrutural em blocos de concreto, comparando os resultados com outro sistema construtivo, alvenaria em paredes de concreto, também já utilizado na região.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além do presente capítulo introdutório, o trabalho está organizado conforme os capítulos descritos a seguir.

O capítulo 2 refere-se ao referencial teórico utilizado como base ao longo de todo o trabalho, destacando-se os principais conceitos, definições e o histórico sobre as habitações de interesse social, sistema construtivo de edificações com paredes de blocos de concreto e paredes de concreto e o desempenho térmico com suas correspondentes normas técnicas de âmbito nacional e internacional.

No capítulo 3 está descrito a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa e os procedimentos técnicos de levantamento de dados. Neste tópico consta a caracterização do município de Tucuruí, do CHV e da unidade habitacional em estudo e os métodos de avaliação do desempenho térmico que foram desenvolvidos.

No capítulo 4 apresenta os resultados obtidos pelos métodos utilizados para a realização da avaliação do desempenho térmico da edificação no período de verão, onde são realizadas as discussões e as interpretações dos resultados alcançados, assim como, consta uma análise comparativa entre o sistema construtivo em paredes de concreto e o sistema de vedação em estudo, executado respectivamente na primeira e segunda fase da obra do conjunto habitacional.

E por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões, assim como sugestões para os trabalhos futuros referentes ao tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

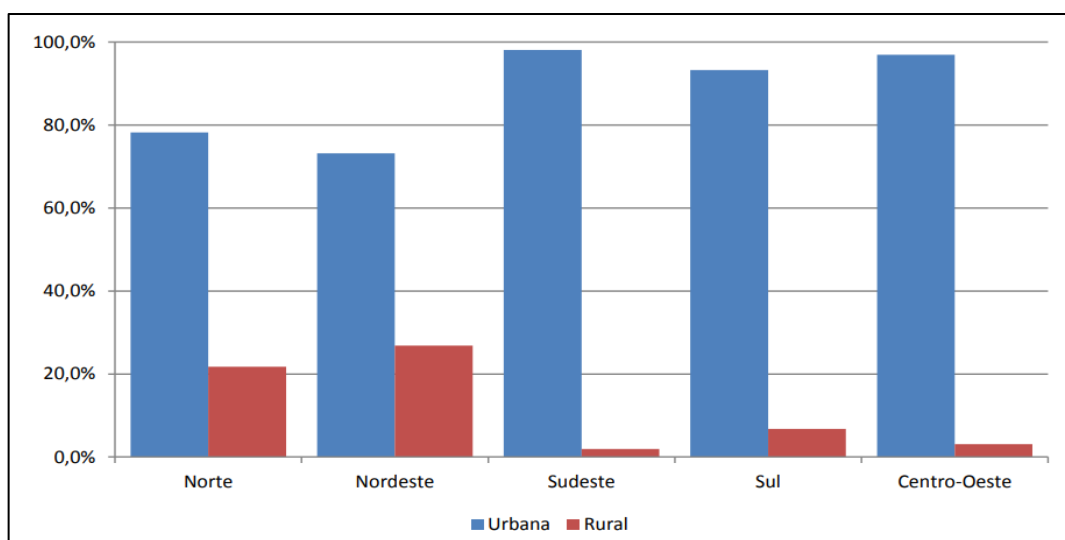
2.1 HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL

De acordo com Motta (2011), ter uma moradia em condições decente para se viver é o sonho de milhões de pessoas em todo mundo e também um direito previsto na Declaração Universal dos Direitos Humanos. No Brasil, a Constituição da República reconhece esse direito como social assim como a saúde, a educação e a justiça.

No Brasil, de acordo com a Fundação João Pinheiro (2018), no ano de 2015 o *déficit* habitacional era de 6.355.743 milhões de domicílios. O Sudeste é a região que concentra a maior porcentagem populacional, com 39% do total de necessidade habitacional do país, seguida pela Região Nordeste, com 31% do total. Em termos de localização do *déficit* habitacional existem diferenças entre as regiões brasileiras, como por exemplo, nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste o *déficit* nas áreas urbanas chega a ser mais de 90%, enquanto nas regiões Norte e Nordeste o mais agravante é nas áreas rurais, pois ainda tem um peso relativamente alto, sendo respectivamente de 21,8% e 26,8% para essas regiões.

O Gráfico 1 apresenta a distribuição do *déficit* habitacional em 2015, por situação de domicílio, segundo as regiões geográficas do Brasil, dados estes coletados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) através da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD).

Gráfico 1 – Distribuição do *déficit* habitacional por situação de domicílio em 2015.



Fonte: Fundação João Pinheiro (2018).

Segundo Cunha *et al.* (2007), o direito à moradia no Brasil surge em meados no início do século XX quando começa a industrialização em São Paulo. As fábricas se localizavam longe dos centros urbanos, em locais sem estruturas. Devido à falta também de infraestrutura para o transporte, o trabalhador era forçado a morar perto das fábricas para facilitar a ida ao trabalho. Esse fato fez com que fossem surgindo vilas de trabalhadores ao redor das fábricas, e com o tempo, os sindicatos dos trabalhadores passaram a financiar a construção de moradias por meio de uma caixa de assistência.

Motta (2011) afirma que no início do século XX até os anos de 1930, diversas cidades brasileiras tiveram problemas graves de habitação, pois as políticas públicas atuavam de forma pontual e sem eficiência, percebendo-se, então, que o setor privado não conseguiria solucionar o problema habitacional em questão. Para tal, esta tarefa deveria ser assumida pelo Estado, que passou a ser pressionado pela classe de trabalhadores e também do empresariado.

Durante o Estado Novo, na ditadura de Getúlio Vargas nos anos de 1937 a 1945, foram construídas vilas operárias e as construções irregulares de favelas e cortiços foram desocupados por serem considerados pólos de geração de várias doenças. Mas a principal marca da política habitacional do período populista foi no governo de Eurico Gaspar Dutra, em 1946, onde foi criada a primeira ação governamental voltada à habitação social no Brasil, a Fundação Casa Popular, que tinha como um dos seus objetivos financiar a construção de habitações (BONDUKI, 2014).

Com isso, foram se consolidando as ações para a habitação social no Brasil e o dever do Estado de garantir moradia digna à sua população. Em março de 1964, a ditadura militar toma conta do Brasil e em maio, como uma das primeiras medidas do regime, cria-se o Banco Nacional de Habitação (BNH) que passou a construir milhares de unidades (SILVA; OTERO, 2014).

Dando um salto no tempo, de acordo com Bonduki (2014), alguns eventos importantes ocorreram entre os anos 2000 e 2005, marcando um novo momento para a política de habitação, como por exemplo: a introdução do direito à habitação na Constituição, obtida com a aprovação de um Projeto de Emenda Constitucional (PEC), aprovado em 2000; a promulgação do Estatuto da Cidade, em 2001, que regulamentou a função social da propriedade, presente no capítulo de Política Urbana da Constituição de 1988; a criação do Ministério das Cidades e do Conselho das Cidades, em 2003; a formulação de uma nova

política habitacional, em 2004; e a aprovação do Projeto de Lei de Iniciativa Popular, que criou o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social (FNHIS) e o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS), em 2005.

Sendo que ainda em 2004, o Ministério das Cidades coordenou a Política Nacional de Habitação que estabeleceu as diretrizes para dois grandes e importantes programas do governo Federal, o Programa de Aceleração de Crescimento (PAC), criado em 2007, e o programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), criado em 2009 (Figura 2.1).

Figura 2.1 – Logomarca do programa MCMV.



Fonte: Minha Casa Minha Vida (2019).

Conforme Silva e Otero (2014), com o PAC os municípios passaram a receber mais investimentos para implantar infraestruturas e unidades habitacionais em locais de habitação precárias. Já o programa MCMV, permitiu a possibilidade de provisão de habitações para atender as necessidades de cidades brasileiras, buscando atender principalmente as famílias em questão de vulnerabilidade tanto física como social.

Apesar de ótimos resultados obtidos pelas políticas criadas com o intuito de sanar o problema de habitação, percebe-se que os programas ainda não superaram as expectativas e as necessidades de toda a população e percebe-se que ainda está longe de atender a toda demanda que necessita de uma moradia digna e em condições de conforto e salubridade, visto que, conforme a Fundação João Pinheiro (2018), não basta simplesmente incrementar

programas de habitação, é essencial que outras políticas públicas, como a de transporte, energia elétrica, esgotamento sanitário e de abastecimento de água, também sejam integradas, pois a questão habitacional é muito complexa e envolve, além das políticas públicas, os aspectos sociais, econômicos e ideológicos deste processo ao longo do tempo.

2.2 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

2.2.1 Alvenaria Estrutural no Brasil

Segundo Marinoski (2011), modernamente a definição de alvenaria pode ser entendida como um sistema construtivo formado de um conjunto coeso e rígido de tijolos ou blocos (elementos de alvenaria), unidos entre si, com ou sem argamassa de ligação, em fiadas horizontais que se sobrepõem uma sobre as outras com a principal finalidade de fazer a separação entre os ambientes.

Diferente da alvenaria de vedação que trabalha apenas com o fechamento de áreas sob estruturas, a alvenaria estrutural é um processo construtivo em que as próprias paredes da alvenaria da habitação resistem às cargas, substituindo os pilares e vigas utilizados no sistema de concreto, aço ou madeira. Esse sistema é utilizado desde a antiguidade, sendo utilizado até o início do século XX de forma empírica, resultando em estruturas robustas em comparação com as executadas nos dias atuais (NETO; PELUSO; CARVALHO, 2015).

De acordo com Mohamad *et al.* (2017), no Brasil as construções em alvenaria estrutural surgiram no início da década de 1960. Nesse período, houve a intensificação de pesquisas e avanços tecnológicos para a implantação do método, uma vez que os poucos exemplares executados na época não tiveram tanto sucesso.

Campos (2017) afirma que o ano de 1951, o engenheiro suíço Paul Haller construiu um edifício de treze pavimentos na Basílica em alvenaria não armada, a qual se tornou o marco dessa técnica. No Brasil, o mesmo aconteceu com a construção do edifício Jardim Prudência, no ano de 1977 em São Paulo, com nove pavimentos em blocos de concreto de silício-calcário e paredes de 24 cm de espessura (Figura 2.2).

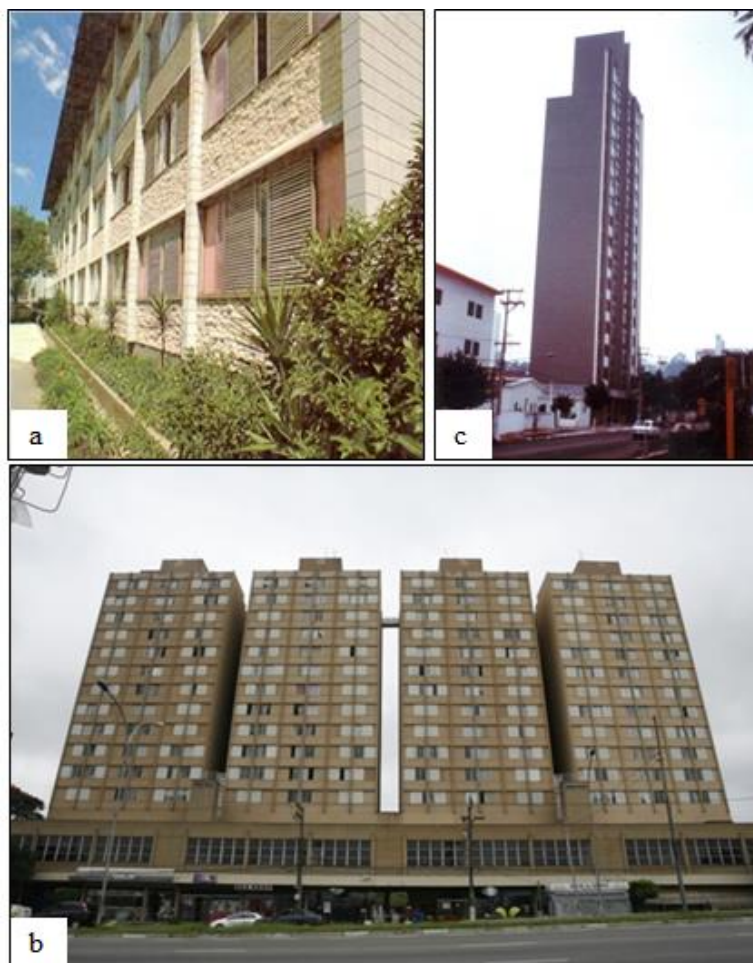
Figura 2.2 – Edifício Jardim Prudência.



Fonte: Comunidade da Construção (2019).

Já em termo de alvenaria estrutural armada no Brasil, os primeiros prédios foram construídos também em São Paulo, no ano de 1966, no chamado Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa, com paredes de 19 cm de espessura e quatro pavimentos (Figura 2.3a), assim como os quatro edifícios de doze pavimentos construídos em 1972 neste mesmo conjunto habitacional (Figura 2.3b), e em 1970 foi construído o edifício Muriti em São José dos Campos no estado de São Paulo, com dezesseis pavimentos em blocos de concreto de 19 cm de espessura (Figura 2.3c), sendo estes os mais importantes no marco arquitetônico em alvenaria estrutural do país (MOHAMAD, 2015).

Figura 2.3 — Prédios precursoros da alvenaria estrutural no Brasil.



Fonte: Adaptada de Comunidade da Construção (2019).

Segundo Mohamad (2015), a alvenaria estrutural é muito vantajosa, principalmente quando se trata de economia, devido a fatores como a otimização de tarefas na obra, técnicas executivas simplificadas e facilidade de controle nas etapas de produção e eliminação de interferências, gerando uma redução no desperdício de materiais produzido pelo constante retrabalho. Como consequência disso, o sistema construtivo em alvenaria estrutural conseguiu proporcionar uma flexibilidade no planejamento das etapas de execução das obras. Isso tornou o sistema em alvenaria competitivo no Brasil, quando comparado com o concreto armado e o aço. A alvenaria estrutural pode ser dividida em quatro tipos distintos: armada, parcialmente armada, não armada e protendida.

- a) alvenaria armada é somente aquela cuja taxa de armadura total da obra (horizontal e vertical) seja de 20%, e dimensionada para resistir a esforços de tração, flexão,

cisalhamento e compressão. Geralmente a armadura é colocada nos vazios dos blocos estruturais e depois esses vazados são preenchidos com graute;

- b) a alvenaria é parcialmente armada quando há paredes de alvenaria armadas e outras não armadas, pois apenas em alguns trechos da estrutura surgem solicitações com tensões acima das admissíveis;
- c) considera-se não armada quando não possui armaduras. Armaduras usadas para amarração das paredes ou ligações de laje e parede não caracterizam a alvenaria como armada;
- d) a alvenaria protendida possui armadura de reforço pré-tensionada, submetendo a estrutura a esforços de compressão.

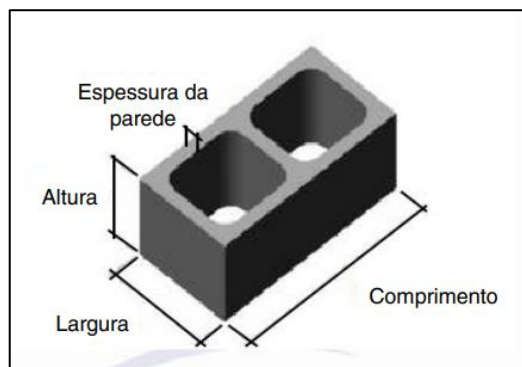
2.2.2 Paredes de Blocos de Concreto

Os sistemas construtivos do tipo modular como a alvenaria estrutural de blocos de concreto possuem uma concepção básica, em que a partir da repetição de um único componente dar origem as mais complexas elaborações, desenvolvendo, assim, conjuntos harmoniosamente concebidos. Desta forma, Tauil e Nese (2010) afirmam que a alvenaria de blocos de concreto executada adequadamente, proporciona vantagens significativas no processo de racionalização da construção em comparação a outros processos mais tradicionais.

2.2.2.1 Blocos de Concreto

A ABNT NBR 6136 (2016) conceitua o bloco vazado de concreto simples (Figura 2.4) como componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior em que a área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta. Os blocos de classe A com função estrutural, são recomendados para o uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo, enquanto que os de classe B e C com função estrutural, para o uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo. Já para a Classe D sem função estrutural, são para o uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo. A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) é a responsável por realizar os ensaios e conceder o Selo da Qualidade às empresas que fabricam os blocos dentro das normas.

Figura 2.4 – Bloco vazado de concreto simples.



Fonte: ABNT NBR 6136 (2016).

De acordo com Sahara (2019), o bloco de concreto é amplamente utilizado no Brasil e foi o pioneiro a ter uma norma brasileira para subsidiar o cálculo de alvenaria estrutural. Sua invenção data nos anos de 1832 e 1904, criado para a substituição do tijolo artesanal fabricado de barro com a finalidade de deixar as casas mais seguras. Os países que mais utilizam os blocos de concreto são Inglaterra, Estados Unidos, Alemanha e Brasil, sendo a capital paulista a que mais faz uso desse componente no país.

O bloco de concreto deve apresentar qualidade e também ser econômico. Diante disso, alguns parâmetros são determinantes para a sua qualidade de acordo com os limites apropriados por normas técnicas, como: dimensões e formas adequadas, compacidade, resistência, bom acabamento geométrica e boa aparência visual, além também de garantir isolamento termo acústico (SAHARA, 2019).

Existe um conjunto completo de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) voltadas à qualidade dos materiais e ao sistema construtivo de alvenaria estrutural com blocos de concreto. As principais são:

- a) ABNT NBR 15873:2010 — Coordenação Modular para Edificações;
- b) ABNT NBR 15961-1:2011 — Alvenaria estrutural — Blocos de concreto — Parte 1: Projeto;
- c) ABNT NBR 15961-2:2011 — Alvenaria estrutural — Blocos de concreto — Parte 2: Execução e controle de obras;

- d) ABNT NBR 12118:2013 — Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria — Métodos de ensaio;
- e) ABNT NBR 6136:2016 — Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria — Requisitos;
- f) ABNT NBR 16522:2016 — Alvenaria de blocos de concreto — Métodos de ensaio.

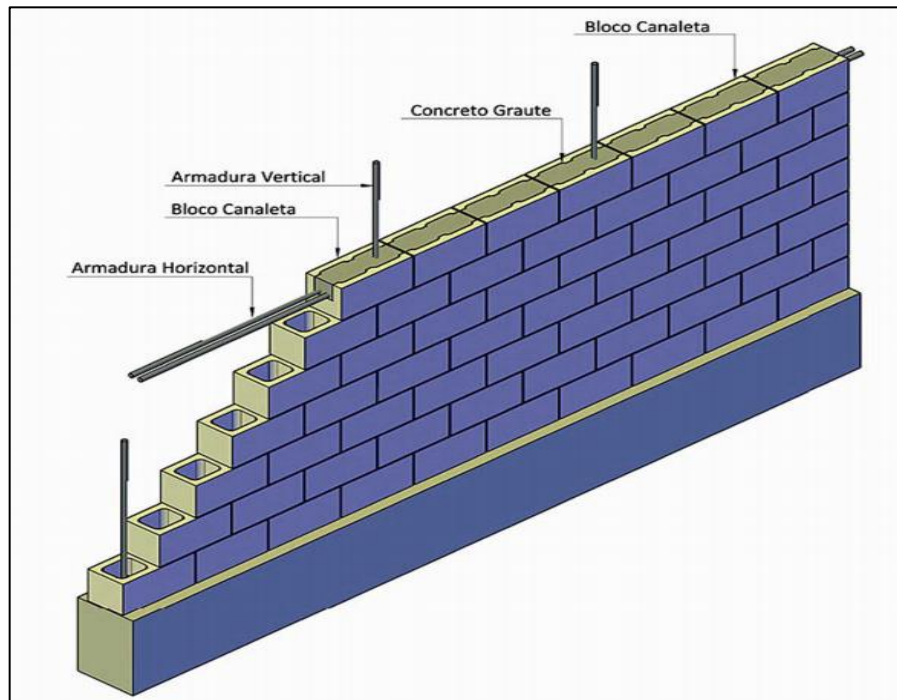
De acordo com Comunidade da Construção (2019), o material industrializado bloco de concreto, é produzido em máquinas que vibram e fazem a prensagem dos mesmos, além da possibilidade de serem fabricados com grande variedade de composições. Devido a sua moldagem ser feita em formas de aço, possuem uma grande precisão dimensional, que permite uma fácil execução da alvenaria e suas características e desempenho vão depender do equipamento, da qualidade dos materiais empregados e da sua proporção adequada durante sua fabricação. Os blocos de concreto também possuem diversas outras vantagens, como:

- a) podem ser produzidos em resistências características variadas, em função da necessidade estrutural das edificações;
- b) podem ser produzidos com diferentes formas, cores e texturas;
- c) possuem vazados de grandes dimensões que permitem a passagem de tubulações elétricas e, em alguns casos, sanitárias. Estes vazados também podem ser preenchidos com graute (micro concreto) para a execução de cintas de amarração, vergas ou quando se deseja aumentar a resistência da alvenaria à compressão;
- d) por serem produzidos a partir da mistura de cimento, agregados miúdos e graúdos, estão disponíveis em praticamente todas as cidades de médio e grande porte do país;
- e) apresentam baixíssima variação de dimensões, que são modulares, evitando desperdícios por quebras em obra e diminuindo substancialmente as espessuras dos revestimentos aplicados.

Conforme Sahara (2019) existem dois tipos de blocos vazados de concreto de acordo com sua aplicação, definidos pela norma brasileira: o bloco vazado de concreto simples para alvenaria sem função estrutural, utilizado para vedação e o bloco vazado de concreto simples

para alvenaria estrutural com função estrutural. Independentemente do tipo de aplicação, o bloco deve ser vazado, pois essa característica serve para permitir a passagem das instalações, armações e também para que seja aplicado o graute, que se trata de um concreto com alta plasticidade (Figura 2.5).

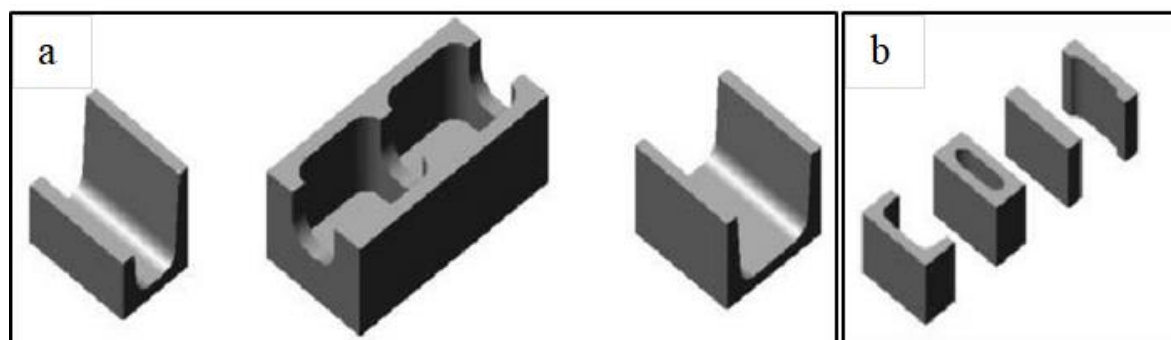
Figura 2.5 – Detalhes da alvenaria de bloco de concreto.



Fonte: Tauil e Nese (2010).

De acordo com a ABNT NBR 6136 (2016), a família de blocos é a denominação para o conjunto de componentes de alvenaria que interagem modularmente entre si e com outros elementos construtivos. Os blocos que compõem uma família, segundo suas dimensões indicadas na Tabela 1, são designados como: bloco inteiro (bloco predominante), meio bloco, blocos de amarração L e T (blocos para encontros de paredes), blocos compensadores A e B (blocos para ajustes de modulação) e blocos tipo canaleta. A Figura 2.6 apresenta os blocos do tipo canaleta (a) e os blocos compensadores (b).

Figura 2.6 – Blocos do tipo canaleta (a) e os blocos compensadores (b).



Fonte: ABNT NBR 6136 (2016).

Tabela 1 – Dimensões nominais.

Família		20x40	15x40	15x30	12,5x40	12,5x25	12,5x37,5	10x40	10x30	7,5x40
Medida Nominal (mm)	Largura	190	140		115			90		65
	Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190
	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290	390
	Meio	190	190	140	190	115	-	190	140	190
	2/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
	1/3	-	-	-	-	-	115	-	90	-
	Amarração L	-	340	-	-	-	-	-	-	-
	Amarração T	-	540	440	-	365	-	-	290	-
	Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	90
	Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	40
	Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290	-
	Meia canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140	-

NOTA 1 As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados nesta Tabela são de $\pm 2,0$ mm para a largura e $\pm 3,0$ mm para a altura e para o comprimento.

NOTA 2 Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com a ABNT NBR 15873.

NOTA 3 As dimensões da canaleta J devem ser definidas mediante acordo entre fornecedor e comprador, em função do projeto.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6136 (2016).

2.2.3 Paredes de Concreto

A parede de concreto é definida como um sistema estrutural que se compõe de paredes que podem se denominar autoportantes, ou seja, suportam o seu próprio peso. Nesse sistema construtivo a vedação e a estrutura formam um único elemento (Figura 2.7) e o método da sua construção se resume basicamente em montar formas que posteriormente serão preenchidas com o concreto, sendo as instalações elétricas e hidráulicas embutidas durante o processo da concretagem (REIS; BRAGA; NUNES, 2016).

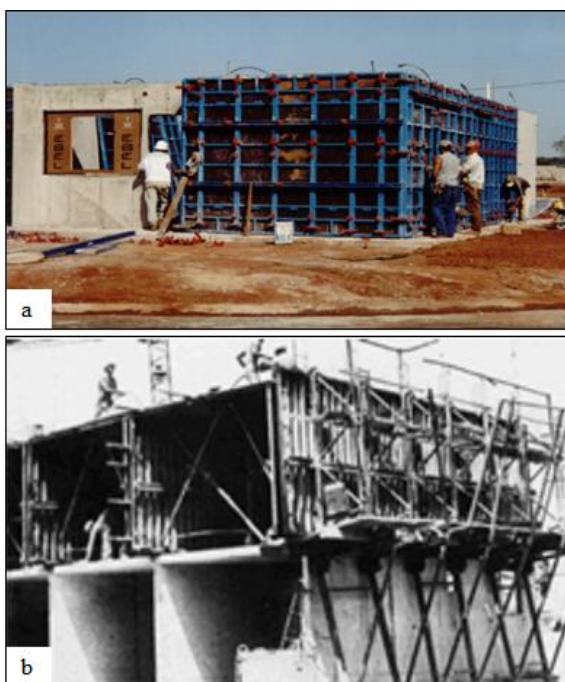
Figura 2.7 – Vedação e estrutura como único elemento.



Fonte: Pinho (2010).

De acordo com ABCP (2007), por volta das décadas de 70 e 80 o sistema paredes de concreto foi inspirado em construções executadas com o sistema Gethal (concreto celular) e sistema Outinord (concreto convencional), como mostra a Figura 2.8, mas diante da falta de escala e de continuidade de obras desse tipo e a inexistência de financiamentos e programas habitacionais, essas tecnologias não foram consolidadas no mercado brasileiro.

Figura 2.8 – Sistemas Gethal (a) e Outinord (b).



Fonte: Adaptada de Braguim (2013).

A parede de concreto trata-se de um sistema racionalizado que permite que seja possível fazer o planejamento completo e detalhado da obra. O mesmo também faz com que haja reduções de atividades do tipo improvisadas e artesanais e contribui para a redução de mão de obra (ABCP, 2007).

Massuda e Misurelli (2009) admitem que para a execução do tal sistema construtivo no Brasil, há quatro tipos de concretos recomendados: concreto celular, concreto com elevado teor de ar incorporado até 9%, concreto com agregados leves ou com baixa massa específica e o concreto convencional ou concreto auto adensável. Os mesmos autores descrevem sobre pontos específicos de algumas etapas da construção, como:

- a) sistemática: a metodologia do sistema construtivo é baseada em processos industrializados, em que certos pontos exigem constante monitoração como a rapidez e a qualidade, para que haja a garantia de cumprimento de prazos;
- b) execução: a moldagem dos elementos estruturais no local da obra é a principal característica do sistema. A moldagem de todas as paredes deve ser realizada de uma só vez, ou em uma única etapa durante o processo de concretagem, permitindo que depois da desforma, no interior das paredes já estejam embutidos todos os elementos como: tubulação hidráulica, tubulação elétrica, janelas, elementos de fixação, portas etc.;
- c) fundação: o local do empreendimento ditará a escolha do tipo de fundação, já que esta depende de fatores como solo e geografia do terreno. As fundações mais recomendadas para esse sistema é a do tipo radier, sapata corrida e bloco de travamento de estacas e tubulões, no entanto a escolha deve sempre levar em consideração fatores como segurança, estabilidade e durabilidade, além do alinhamento que é necessário para a construção das paredes;
- d) armação: o tipo de armação utilizada nesse sistema é a tela soldada, que fica posicionada no eixo vertical das paredes. Vão de portas, janelas e as bordas são reforçadas com telas ou barras de armaduras convencionais. Estas armaduras devem atender a três requisitos básicos: flexo-torção nas paredes, controle de retração do concreto e estruturação e fixação das tubulações de água, energia, etc.

O sistema parede de concreto para Morquecho (2016), além de proporcionar rapidez no processo, este também padroniza o mesmo, o que confere as edificações mais segurança. O procedimento de cálculo das paredes de concreto pode ser baseado na normatização nacional, na NBR 16055:2012 — Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações — Requisitos e procedimentos, e na norma americana ACI 318:2014 — *Building Code Requirements for Structural Concrete*.

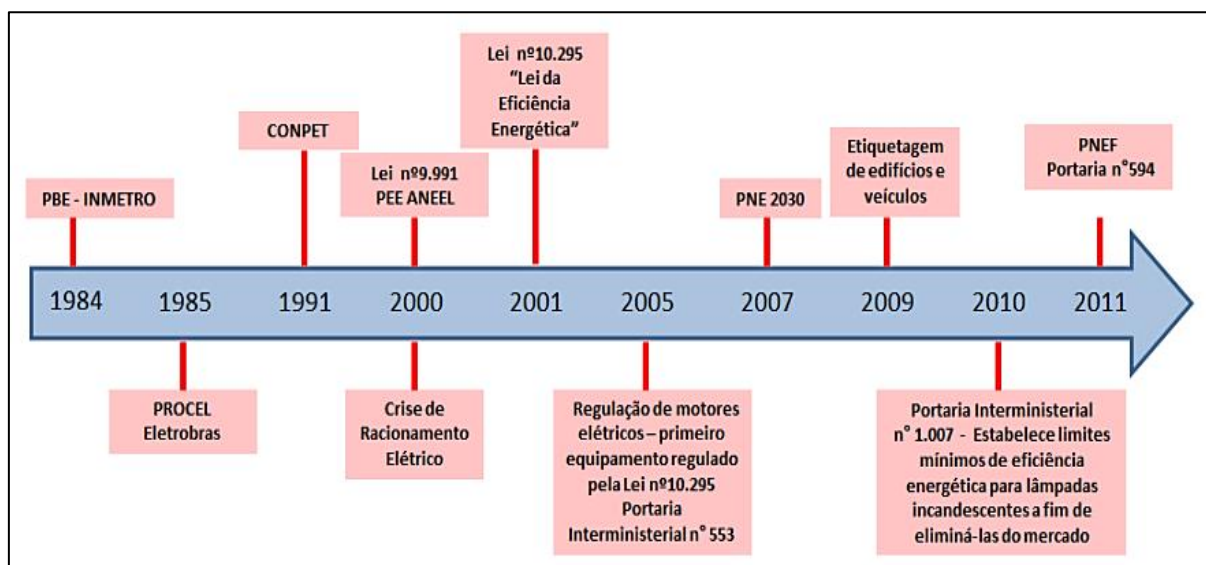
2.3 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.3.1 Eficiência energética

Conforme Lamberts *et al.* (2010), desde a Revolução Industrial tem se intensificado e crescido cada vez mais o uso da energia. Em específico, da energia elétrica, uma grande quantidade de equipamentos das residências, prédios comerciais e públicos dependem da mesma para seu funcionamento. Diante deste fator, percebe-se o tamanho da importância da energia para o desenvolvimento e funcionamento de diversas tecnologias, instigando assim a crescente preocupação com seu esgotamento nas últimas décadas.

O termo eficiência energética para Schinazi *et al.* (2018), refere-se resumidamente a utilização da energia da melhor forma possível, ou seja, da forma mais otimizada, fazendo uso da menor quantidade, mas com qualidade e atendendo os requisitos de conforto, segurança e saúde. No Brasil, as principais ações de políticas públicas atuantes sobre a eficiência energética surgiram na década de 1980, tendo o lançamento do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) em 1984 (EPE, 2014). A Figura 2.9 apresenta uma linha do tempo para as políticas de eficiência energética implantadas no Brasil entre 1984 e 2011.

Figura 2.9 – Principais Políticas de Eficiência Energética no Brasil de 1984 a 2011.



Fonte: EPE (2014).

No que diz respeito ao setor da construção civil, este é considerado um grande responsável por geração de resíduos para o meio ambiente e também do esgotamento dos recursos naturais. Dessa forma é necessário que se crie novas formas de construir para que sejam minimizados os impactos no meio ambiente. Para isso, devem ser criadas e adotadas novas tecnologias e intervenções para que haja uma melhor eficiência energética com sistemas mais racionais e sustentáveis (BASSO *et al.*, 2015).

Para Baltar *et al.* (2006) na indústria civil todas as partes do processo da obra desde a fase do planejamento até a fase construtiva deve ser considerada a eficiência energética. No entanto, no Brasil, devido a fatores como o baixo custo da energia elétrica e a crença de que as fontes energéticas são permanentes, as obras são realizadas em arquitetura universalista onde são utilizadas instalações elétricas e eletromecânicas que geram um alto consumo de energia nessas edificações.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no ano de 2015 o setor das edificações (residencial, comercial e serviços públicos) no Brasil alcançou 51,8% do consumo de energia elétrica e 14,4% do consumo total de energia, sendo que parte dessa energia consumida está relacionada ao conforto térmico para o bem estar do usuário. A taxa de crescimento anual de consumo de energia elétrica no setor residencial é de 4,1% e no setor comercial estima 5,1% até 2024 (CBIC, 2017).

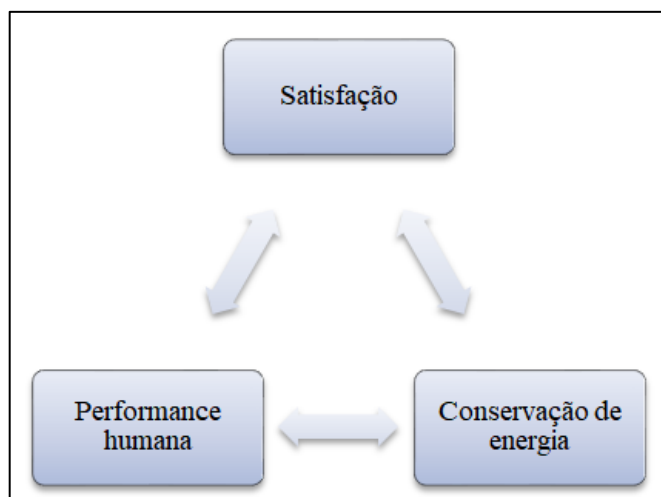
Assis *et al.* (2007) ainda alegam que grande parte das edificações desperdiçam energia e aumentam seus custos operacionais por não levarem em conta os critérios de desempenho e de produção construtiva da arquitetura bioclimática, assim como materiais, equipamentos e tecnologia construtiva vinculados à eficiência energética, desde a fase de projeto arquitetônico até a sua utilização final.

Para que uma edificação possa consumir menos energia, Lamberts *et al.* (2014) admitem que é necessário o uso mais racional deste recurso. Para tal, algumas medidas simples e eficazes podem ser adotadas, como especificar equipamentos que tenham mais eficiência energética e incentivar o uso racional para que não haja desperdícios. Outras soluções também podem ser utilizadas ainda na fase de planejamento como a adequação climática da forma, da função e dos materiais utilizados. Além disso, é de extrema importância que se conheça as características do clima do local e do uso e ocupação, entre outros fatores, para que obtenha uma edificação com mais eficiência.

2.4 CONFORTO TÉRMICO

Lamberts *et al.* (2011) afirmam que os estudos sobre conforto térmico têm o objetivo de analisar e estabelecer condições que são consideradas essenciais para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas. A importância do estudo de conforto térmico está baseada em três fatores principais (Figura 2.10):

Figura 2.10 – Fatores do estudo de conforto térmico.



Fonte: Adaptada de Lamberts *et al.* (2011).

Ainda de acordo com Lamberts *et al.* (2011), a satisfação ou a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa define um ambiente termicamente confortável. Esta sensação está diretamente relacionada com a performance humana, pois estudos mostram uma visível tendência de que o desconforto térmico reduz o desempenho humano em suas atividades diárias. As atividades intelectuais, manuais e perceptivas, em geral, apresentam um melhor rendimento quando desenvolvidas em conforto térmico.

O fator conservação de energia também possui sua parcela de contribuição aos estudos de conforto térmico, pois devido à evolução da sociedade pela crescente mecanização e industrialização, tornou-se comum a utilização de climatizadores artificiais e condicionados nos ambientes. Sendo assim, conhecendo-se as condições e os parâmetros relativos ao conforto térmico dos ocupantes do ambiente, evitam-se desperdícios com calefação e refrigeração, muitas vezes desnecessários.

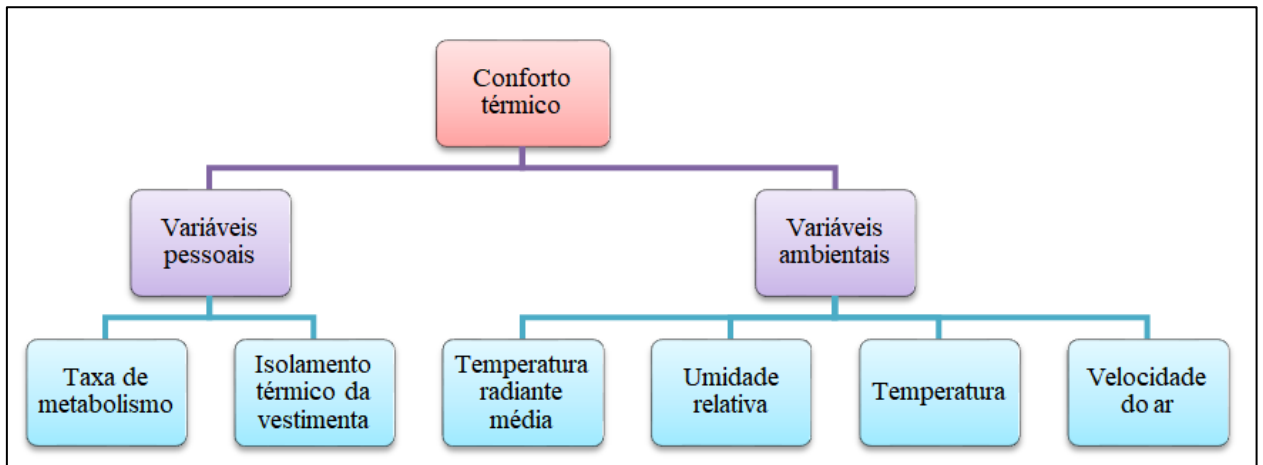
Para Lamberts *et al.* (2011), convém ressaltar que a sensação de conforto térmico varia de indivíduo para indivíduo, ou seja, um mesmo ambiente pode ser termicamente confortável para um e ser desconfortável para o outro. Dessa forma, busca-se criar condições de conforto para o grupo, ou seja, condições nas quais o ambiente propicie o bem-estar ao maior número de pessoas (ASHRAE, 2017).

Desta forma, conforme Fontanella (2009), o conforto térmico pode ser analisado sob o ponto de vista pessoal ou ambiental. Se considerar apenas o ponto de vista pessoal, o conforto térmico é definido como uma condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico. Já o ponto de vista ambiental (físico e confortável) se define pelas condições que permitam a manutenção da temperatura interna do corpo sem a necessidade de serem acionados os mecanismos termorreguladores, ou seja, o organismo humano necessita encontrar o balanço térmico¹ com o meio ambiente.

Os fatores que influenciam no conforto térmico, os quais atuam diretamente sobre o sistema termorregulador estão indicados na Figura 2.11.

¹ Balanço térmico é uma verificação das condições de conforto térmico necessária para que a troca de calor entre o corpo e o meio seja termicamente confortável (LAMBERTS *et al.*, 2011).

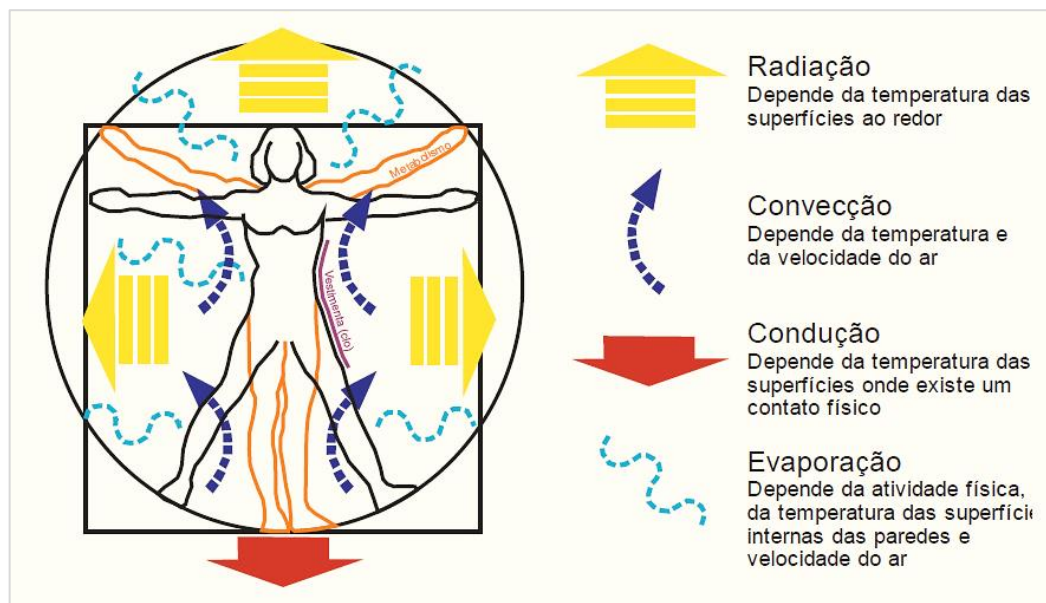
Figura 2.11 – Indicadores de conforto térmico.



Fonte: Adaptado de Silveira (2014).

Segundo Ribeiro (2008), a taxa de metabolismo produzida depende do ambiente externo, bem como do tamanho corporal, idade e nível de atividade destes. A vestimenta funciona como uma resistência térmica entre o indivíduo e o ambiente, pois o tipo e intensidade de atividade realizada alteram a quantidade de calor gerada pelo corpo. A temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade do ar influenciarão nas perdas de calor por convecção e evaporação, que podem ser observadas na Figura 2.12. Além destes fatores expostos, há outras variáveis que determinarão o grau de conforto, que dependem de cada indivíduo: a idade, o sexo e o grau de aclimação.

Figura 2.12 – Representação esquemática da fisiologia humana e a trocas térmicas.



Fonte: Lamberts *et al.* (2011).

Sendo assim, a atuação contínua da combinação entre as variáveis pessoais e variáveis ambientais sobre o corpo humano define a sensação de conforto ou desconforto térmico em um ambiente (SILVEIRA, 2014).

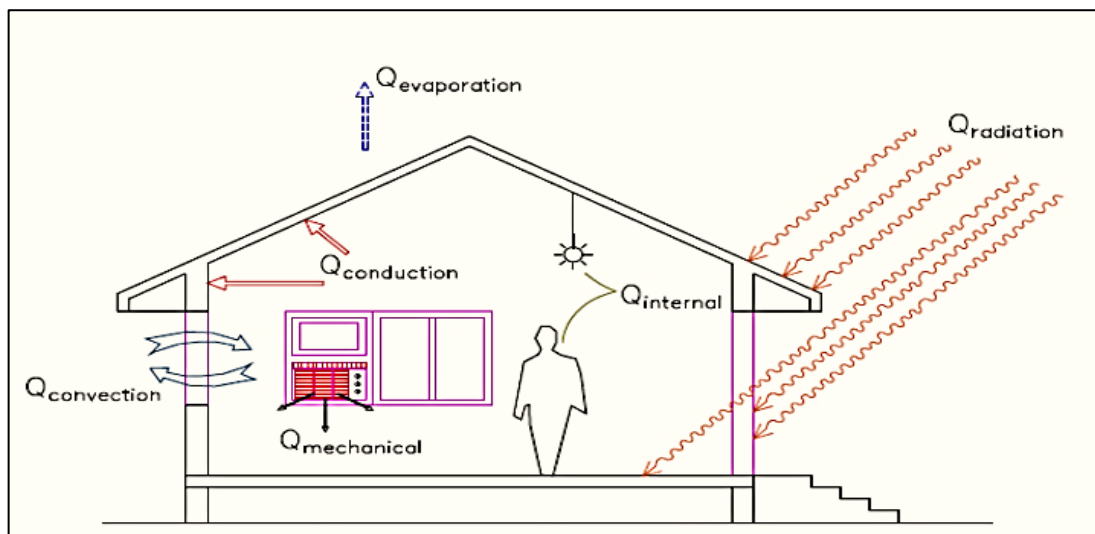
2.5 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

Mohamad (2015) afirma que o conhecimento do desempenho térmico dos fechamentos das edificações permite aos projetistas estabelecerem estratégias para que os edifícios possam atuar de maneira eficiente às variações climáticas, dessa forma, fornecendo as condições necessárias para o conforto do usuário, minimizando o consumo de energia elétrica que está associado ao uso de equipamentos para melhorar a climatização do ambiente.

Já segundo Joseph *et al.* (2015), o desempenho térmico de um edifício refere-se ao processo de modelagem da transferência de energia entre um edifício e o ambiente. Para analisar o desempenho térmico, o conhecimento dos processos de troca de calor entre a edificação e o ambiente externo é necessário. A transferência de calor pode ocorrer de três formas: radiação, condução e convecção.

A troca por radiação térmica é efetuada sob a forma de ondas eletromagnéticas entre o sol e a construção, o corpo e as paredes e entre as faces internas da envoltória, enquanto que a troca por convecção térmica acontece entre o corpo e o ar que está em seu contato direto e, bem como, entre o ar e os componentes da edificação (externa e internamente). Já o fluxo de calor por condução ocorre através de vários elementos de construção, tais como paredes, cobertura, portas, janelas, etc. Na Figura 2.13 é possível observar a representação deste processo.

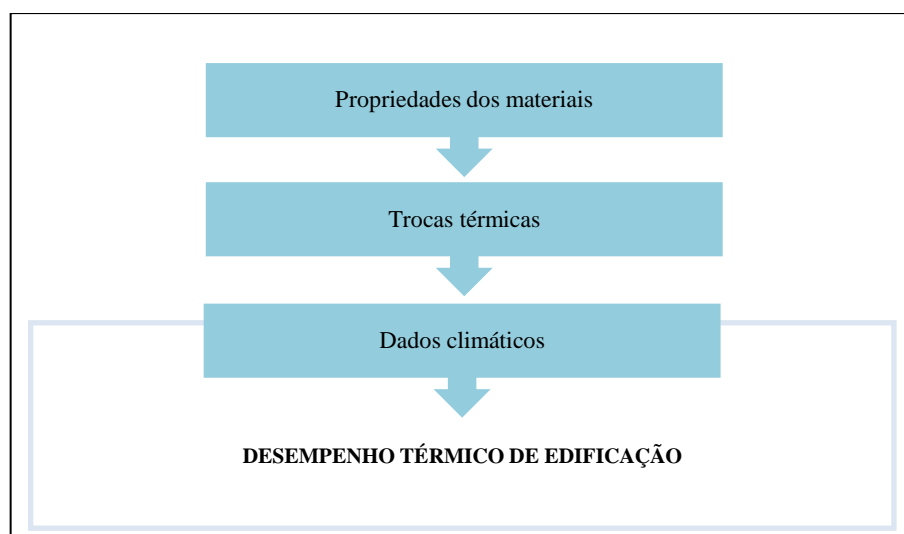
Figura 2.13 – Representação esquemática do processo de troca de calor homem-edifício.



Fonte: Joseph *et al.* (2015).

Para uma edificação obter um bom desempenho térmico, Costa (2011) considera necessário alcançar o equilíbrio entre os componentes desta edificação, suas fontes internas de calor e o ambiente externo no qual está inserida (Figura 2.14), sendo que os componentes são os materiais construtivos, a sua arquitetura e o seu entorno. Já suas fontes internas de calor constituem todos os elementos ocupantes que geram calor, tais como pessoas, iluminação, aparelhos e equipamentos eletrônicos. E por fim, o ambiente externo se refere às condições climáticas da localização onde a edificação está implantada.

Figura 2.14 – Representação esquemática do desempenho térmico.



Fonte: Adaptado de Costa (2011).

2.6 NORMAS DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

As normas de desempenho de edificações trazem diretrizes para auxiliar na avaliação técnica do setor da construção civil, garantindo tanto um padrão mínimo de qualidade como o desempenho das residências. Além disso, estas normas permitem identificar os materiais construtivos mais adequados à determinada edificação, de acordo com a zona climática que está inserida (SORGATO *et al.*, 2013).

Nesse contexto, é possível conceituar as normas de desempenho como um grupo de documentos, nos quais constam requisitos e critérios estabelecidos para uma edificação habitacional e seus sistemas, com base em requisitos do usuário, não dependendo da sua forma ou dos materiais constituintes. Em suma, é nítida a sua importância na escolha dos materiais construtivos apropriados para as características climáticas do local onde o imóvel está inserido.

2.6.1 Normatização de desempenho térmico em âmbito mundial

2.6.1.1 Norma ISO 7730

Esta norma da *International Organization for Standardization* ou Organização Internacional de Normalização (ISO), *Ergonomics of the thermal environment: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, publicada em 2005, apresenta métodos para avaliar a sensação térmica geral e grau de desconforto térmico das pessoas expostas a ambientes térmicos moderados, bem como especifica condições térmicas aceitáveis para o conforto (ISO, 2005).

De acordo com Lamberts *et al.* (2011), esta norma descreve a determinação analítica e interpretação de conforto térmico usando cálculo de *Predicted Mean Vote* ou Voto Médio Estimado (PMV) e *Predicted Percentage of Dissatisfied* ou Porcentagem Predita de Insatisfeitos (PPD) e apresenta critérios de conforto térmico local relativo à condição de aceitabilidade térmica de um ambiente, considerando-se os índices.

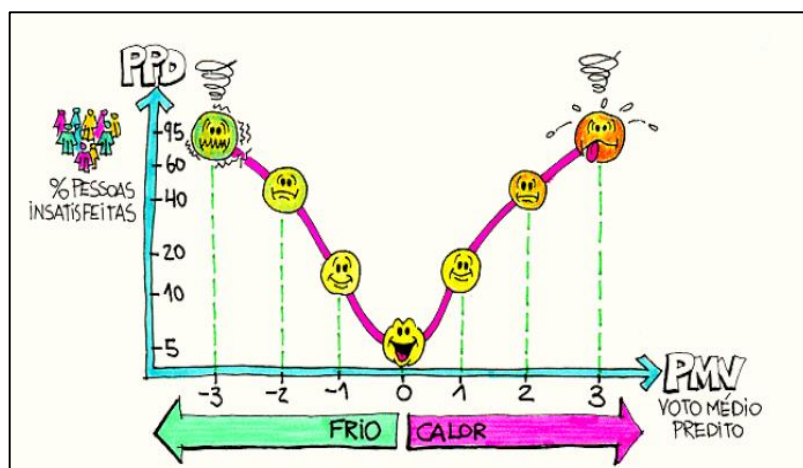
Em 1970, P. O. Fanger propôs um método analítico que prevê, para diferentes tipos de atividade metabólica e vestimenta de ocupantes, as combinações de quatro variáveis térmicas

ambientais internas (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade do ar) que resultam na maior porcentagem possível de pessoas em conforto térmico dentro de um mesmo espaço (FANGER, 1970 apud RUPP *et al.*, 2017).

Com base em estudos executado em câmaras climáticas durante o inverno na América do Norte e validado por meio de outros estudos em câmara climática realizados durante o outono na Dinamarca, esse modelo avalia a sensação térmica a partir de dois índices complementares: o PMV que descreve a sensação térmica média de um grupo de pessoas ocupando o mesmo ambiente, e o PPD que determina a quantidade de pessoas insatisfeitas nesse mesmo ambiente com base no PMV (RUPP *et al.*, 2017).

Segundo Carvalho (2012), o índice PMV consiste em um valor numérico que corresponde à sensibilidade humana ao frio e ao calor, tendo em vista que o valor zero se refere ao estado de conforto, os valores negativos ao estado de desconforto para frio, e os valores positivos ao estado de desconforto para calor. Já o índice PPD é a percentagem preferencial das pessoas em relação ao ambiente mais quente ou mais frio. A relação entre estes dois índices está representada na Figura 2.15 a seguir.

Figura 2.15 — PPD em função do PMV.



Fonte: Lamberts e Duarte (2016).

2.6.1.2 Norma ISO 7726

A norma internacional ISO 7726, *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*, publicada em 1998, especifica as características mínimas dos equipamentos de medição de grandezas físicas que caracterizam

um ambiente, assim como os métodos utilizados para aferir as grandezas físicas deste ambiente (ISO, 1998).

Os propósitos desta norma internacional conforme Lamberts *et al.* (2011) são apresentar as definições para os termos usados nos métodos de medição, tendo em vista as normas já existentes ou em processo de execução, bem como as especificações relativas aos métodos de medição das variáveis térmicas, a seleção de um ou mais métodos para a análise desses parâmetros, a especificação dos limites de exposição para ambientes extremos (calor ou frio) e a especificação de métodos de medição da eficiência dos instrumentos ou processos.

No que diz respeito aos padrões de conforto e padrões de estresse térmico, a norma subdivide em dois tipos as especificações e os métodos adotados, conforme a situação a ser analisada. As especificações e métodos enquadrados no tipo C, remetem-se às medições executadas em ambientes moderados e no tipo S, referem-se às medições executadas em ambientes sujeitos a estresse térmico.

As medições realizadas em ambientes próximos ao conforto térmico, classe C, e as medições de estresse térmico, classe S, podem ser executadas em ambientes homogêneos ou heterogêneos. Definem-se ambientes homogêneos aqueles onde não há variações nos valores dos parâmetros físicos no espaço ao redor da pessoa (variações inferiores a 5%) e ambientes heterogêneos aqueles que apresentam variações nos valores dos parâmetros físicos no espaço ao redor da pessoa superiores a 5% (LAMBERTS *et al.*, 2011).

As variáveis físicas que caracterizam a sensação térmica local podem ser divididas em duas categorias de acordo com seu grau de dependência em relação ao meio ambiente, consideradas variáveis básicas e variáveis derivadas. As variáveis básicas caracterizam fatores ambientais, independentemente dos outros. São elas (ISO, 1998):

- a) temperatura do ar, temperatura localizada ao redor do corpo humano, expressa em Kelvins, T_a , ou em graus Celsius, t_a ;
- b) temperatura radiante média, temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a transferência de calor por radiação do corpo humano é igual à transferência de calor por radiação em um ambiente real não uniforme, expressa em Kelvins, T_r , ou em graus Celsius, t_r ;

- c) temperatura radiante plana, temperatura uniforme de um ambiente imaginário, onde a radiação sobre um lado de um pequeno elemento plano seja igual a de um ambiente real não uniforme, expressa em Kelvins, T_{pr} , ou em graus Celsius, t_{pr} ;
- d) umidade absoluta do ar, parâmetro relativo ao montante real de vapor de água contido no ar, expressa pela pressão parcial do vapor de água, P_a , em kilopascals;
- e) velocidade do ar, v_a , parâmetro definido por sua magnitude e direção. No caso de ambientes térmicos considera-se a velocidade efetiva do ar, expressa em metros por segundo;
- f) temperatura superficial, utilizada para avaliar as trocas de calor radiativo entre o corpo humano, por meio da temperatura radiante média e/ou temperatura radiante plana, expressa em Kelvins, T_s , ou em graus Celsius, t_s .

A categoria das variáveis derivadas caracteriza certo conjunto de fatores do ambiente, que ao contrário das variáveis básicas, são dependentes de outras variáveis, principalmente das próprias básicas. Geralmente são utilizadas para definir índices empíricos de conforto e estresse térmico, quando não se têm recursos para a utilização de métodos racionais ligados ao balanço térmico. Algumas variáveis derivadas podem ser encontradas em normas específicas onde elas se aplicam, as quais apresentam as suas respectivas exigências de medição.

2.6.1.3 Norma ASHRAE 55

A norma internacional *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* elaborada pela *American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers* ou Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE), publicada em 2017, especifica condições para ambientes com temperaturas aceitáveis à maioria dos ocupantes em relação ao conforto térmico (ASHRAE, 2017).

Esta última edição da *ASHRAE Standard 55* fornece três métodos de conformidade através de simulações para determinar a aceitabilidade das condições térmicas de um ambiente ocupado, sendo eles: um método gráfico para situações simples, um método analítico para casos mais gerais, e um método que usa velocidade do ar elevada para proporcionar conforto.

Para Carvalho (2012), essa norma apresenta especificações das combinações de fatores do ambiente interno e de fatores pessoais que geram um ambiente térmico aceitável com mais de 80% dos ocupantes de um espaço. Além disso, tem a finalidade de integrar fatores ambientais e pessoais, como temperatura, radiação térmica, umidade, velocidade do ar, vestimenta e atividade metabólica, tendo em conta, pessoas saudáveis em espaços internos cuja permanência seja superior a 15 minutos.

2.6.2 Normatização de desempenho térmico em âmbito nacional

2.6.2.1 Norma ABNT NBR 15220

Esta Norma Brasileira (NBR) da ABNT NBR 15220 intitulada “Desempenho térmico de edificações”, elaborada pela Comissão de Estudos de Desempenho de Edificações (CE-02.136.01), publicada em 2005, se divide em cinco partes, as quais abordam os seguintes temas, respectivamente (ABNT, 2005):

- a) parte 1: definições, símbolos e unidades;
- b) parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica², da capacidade térmica³, do atraso térmico⁴ e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- c) parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- d) parte 4: medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- e) parte 5: medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

² É a transmissão de calor em unidade de tempo que ocorre através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo. Neste caso, dos vidros e dos componentes opacos das paredes externas e coberturas (ABNT, 2013a).

³ É a quantidade de calor necessária para que ocorra variação em uma unidade a temperatura de um sistema (ABNT, 2005).

⁴ Definido como tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor (ABNT, 2005).

Sendo que a ABNT NBR 15220-1:2005a determina as variáveis referentes ao desempenho térmico em edificações e suas correspondentes definições, símbolos e unidades. Já a ABNT NBR 15220-2:2005b se refere aos métodos adotados de cálculo das propriedades térmicas dos fechamentos de uma edificação.

E no que tange a ABNT NBR 15220-3:2005c, esta norma apresenta o país dividido em oito zonas bioclimáticas considerando as regiões geográficas relativamente homogêneas quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano e, além disso, faz recomendações de diretrizes construtivas para habitações de interesse social, sendo aplicáveis em edificações de até três pavimentos.

Na ABNT NBR 15220-4:2005d apresenta a descrição do método da placa quente protegida para determinar a resistência e a condutividade térmica de materiais sólidos ou granulares. São apresentados também os critérios indispensáveis de projeto, dimensões e tolerâncias para o conjunto de equipamentos, sendo também especificadas as exigências mínimas em termos de instrumentação. E por fim, o detalhamento dos procedimentos de medida, condições de ensaio e o modo de preparação dos corpos-de-prova, para os diferentes materiais.

E a ABNT NBR 15220-5:2005e estabelece o método de utilização de técnicas fluximétricas para medir a resistência térmica em regime estacionário através de corpos-de-prova na forma de placas planas, onde através de cálculos pode-se deduzir a condutividade térmica, caso os corpos-de-prova sejam constituídos de material homogêneo.

A parte 2 desta norma foi utilizada no presente estudo para o cálculo das propriedades físicas dos materiais e componentes, enquanto a parte 3, para classificar e analisar a zona bioclimática da localidade escolhida.

2.6.2.1.1 ABNT NBR 15220-2

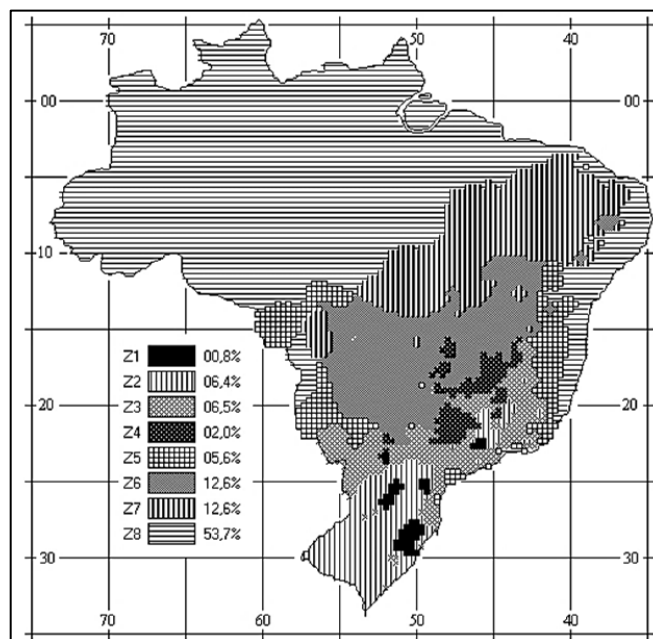
Nesta parte da norma conforme Silveira (2014) estão detalhadas as formulações de resistência e transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar para elementos opacos e transparentes. Além disso, são apresentadas tabelas para variáveis como absorvância (α), radiação solar e emissividade (ϵ), radiações de ondas longas, densidade de

massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c), tornando mais fácil o processo de cálculo para variados materiais convencionais na construção civil.

2.6.2.1.2 ABNT NBR 15220-3

Conforme a ABNT (2005c) o zoneamento bioclimático brasileiro divide-se em oito distintas zonas climáticas relativamente homogêneas, onde com base nessas zonas elaborou-se um conjunto de recomendações com objetivo de aperfeiçoar o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática. As oito zonas climáticas podem ser vistas na Figura 2.16.

Figura 2.16 – Zoneamento bioclimático brasileiro.



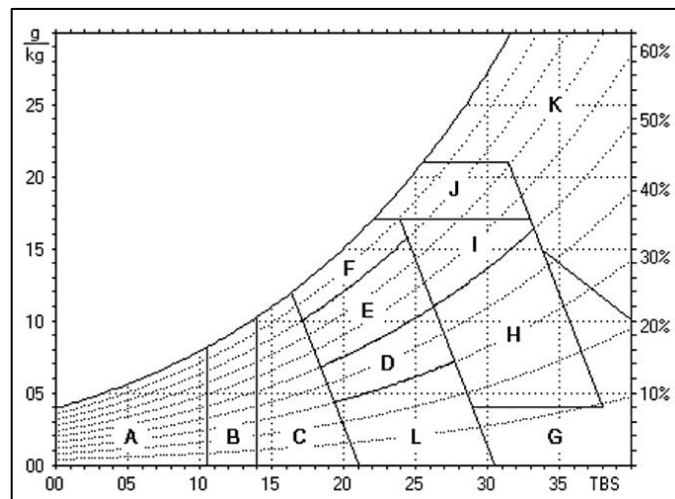
Fonte: ABNT NBR 15220 (2005c).

A base de dados climáticos se deu por meio de levantamentos climatológicos de 330 cidades brasileiras, em quais foram aferidas as médias mensais de temperatura máxima, mínima e de umidade relativa do ar em 6500 pontos de análises de todo o território nacional. A partir da interpolação destas médias para estes pontos, adotou-se uma carta bioclimática como pode ser observada na Figura 2.17, adaptada a partir do modelo sugerido por Givoni (1992), onde são estipuladas para cada zona da carta as seguintes estratégias (ABNT, 2005c):

- a) A – Zona de aquecimento artificial (calefação);

- b) B – Zona de aquecimento solar da edificação;
- c) C – Zona de massa térmica para aquecimento;
- d) D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade);
- e) E – Zona de Conforto Térmico;
- f) F – Zona de desumidificação (renovação do ar);
- g) G + H – Zona de resfriamento evaporativo;
- h) H + I – Zona de massa térmica de refrigeração;
- i) I + J – Zona de ventilação;
- j) K – Zona de refrigeração artificial;
- k) L – Zona de umidificação do ar.

Figura 2.17 – Carta bioclimática adaptada.



Fonte: ABNT NBR 15220 (2005c).

Consideraram-se parâmetros e condições de contorno para a formulação das diretrizes construtivas para cada zona bioclimática brasileira e para o estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo. Os mesmos estão descritos a seguir:

- a) tamanho das aberturas para ventilação

O tamanho das aberturas é classificado em função do percentual da relação da área do piso e da área de ventilação no ambiente. As aberturas são classificadas como pequenas, médias e grandes, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 – Aberturas para ventilação.

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220 (2005c).

b) proteção das aberturas

São prescritas as condições de sombreamento de aberturas para períodos específicos do ano. Não são definidas as estratégias de sombreamento exigido.

c) vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura)

Os componentes constituintes das paredes e coberturas são diferenciados de acordo com os valores para a transmitância térmica, atraso térmico e fator solar, sendo então classificadas como leves ou pesados e isolados ou refletores, conforme a Tabela 3:

Tabela 3 – Classificação de vedações externas.

Vedações externas		Transmitância térmica - U W/m ² .K	Atraso térmico - ϕ Horas	Fator solar - FS _o %
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

NOTAS

1 Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver 02:135.07-001/2)

2 Aberturas efetivas para ventilação são dadas em percentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar).

3 No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente.

4 O termo “ático” refere-se à câmara de ar existente entre o telhado e o forro.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220 (2005c).

d) estratégias de condicionamento térmico passivo

Posterior à análise climática, as estratégias de condicionamento térmico passivo são obtidas através da carta bioclimática. Para tal, a norma apresenta o detalhamento para aplicação de cada uma das estratégias e obtenção de melhores resultados, de acordo com o Quadro 1.

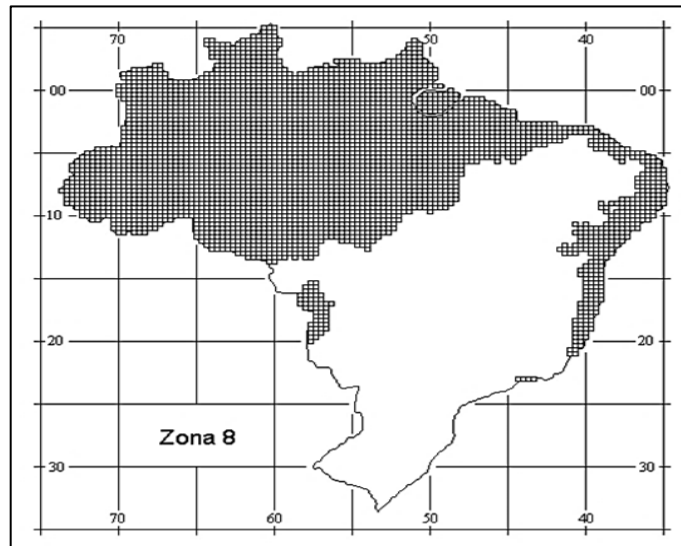
Quadro 1 – Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico.

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).
E	Caracteriza a zona de conforto térmico.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
G e H	Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21°C e 30°C, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida através da utilização de recipientes com água e do controle da ventilação, pois esta é indesejável por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220 (2005c).

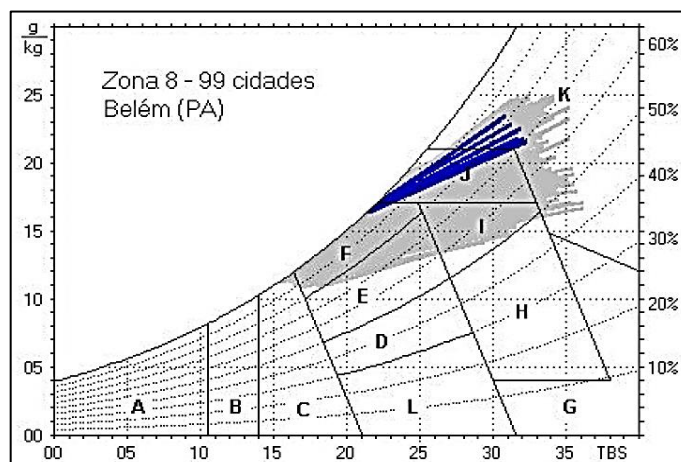
Para análise deste estudo de caso serão contempladas as recomendações prescritas para a Zona Bioclimática 8 (ZB8). Para a esta zona, a qual pode ser vista na Figura 2.18, a norma destaca a cidade de Belém-PA e apresenta as diretrizes construtivas que devem ser atendidas, as quais propõem: aberturas grandes e sombreadas e vedações externas e cobertura do tipo leve refletora. Já as estratégias recomendadas para o verão adota-se uma ventilação cruzada permanente (estratégia J), onde o condicionamento passivo é insuficiente durante as horas mais quentes. Esta estratégia está indicada na Figura 2.19, onde apresenta a carta bioclimática com as normais climatológicas das cidades desta zona, destacando a cidade de Belém-PA.

Figura 2.18 – Zona Bioclimática 8.



Fonte: ABNT NBR 15220 (2005c).

Figura 2.19 – Carta Bioclimática da Zona Bioclimática 8.



Fonte: ABNT NBR 15220 (2005c).

2.6.2.2 Norma ABNT NBR 15575

A norma ABNT NBR 15575, sob o título “Edificações habitacionais — Desempenho”, também elaborada pela Comissão de Estudos de Desempenho de Edificações, publicada em 2013, traz um conjunto de seis normas regulatórias, sendo elas: requisitos gerais (ABNT NBR 15575-1:2013a), requisitos para os sistemas estruturais (ABNT NBR 15575-2:2013b), requisitos para os sistemas de pisos (ABNT NBR 15575-3:2013c), requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas (ABNT NBR 15575-4:2013d), requisitos para os sistemas de coberturas (ABNT NBR 15575-5:2013e) e requisitos para os sistemas hidrossanitários (ABNT NBR 15575-6:2013f), conforme a ABNT (2013a).

Nas seções desta norma contém exigências referentes ao desempenho estrutural, segurança contra incêndio, estanqueidade, desempenho acústico e lumínico, saúde, higiene e qualidade de ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto visual e tátil, durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental e se destina somente para habitações de até cinco pavimentos. Dessa forma, as partes da ABNT NBR 15575 são utilizadas em toda etapa produtiva da construção definida como os resultados mínimos esperados do desempenho dos materiais, dos procedimentos e das condições da habitação durante sua vida útil⁵ (ASBEARS, 2014).

O presente trabalho utilizou somente as partes desta norma que tratam sobre desempenho térmico, que são: a parte 1, para a avaliação de desempenho térmico da habitação em estudo pelos três métodos prescritos na norma, assim como as parte 4 e 5, para comparar os resultados obtidos nos cálculos das propriedades dos materiais que compõem o sistema de vedações verticais e cobertura com os valores normativos para cada critério.

2.6.2.2.1 ABNT NBR 15575-1

Segundo a ABNT (2013a), a ABNT NBR 15575-1 “Requisitos Gerais” estabelece métodos de caráter normativo (simplificado), informativo (medição) e simulação computacional para avaliar o desempenho térmico, sendo que método de caráter informativo não se sobrepõe aos procedimentos do método normativo. A avaliação por meio da simulação

⁵ Período de tempo que o edifício e/ou seus sistemas mantém o desempenho das atividades para as quais foram projetados e construídos considerando a periodicidade e correta execução dos processos de manutenção predefinidos em projeto (ABNT, 2013a).

computacional é indicada para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica resultem em desempenho térmico insatisfatório, conforme os critérios e métodos estabelecidos nas ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5. Os resultados obtidos variam entre os índices M, I ou S (mínimo, intermediário ou superior). Para a avaliação são adotados os seguintes procedimentos:

a) método normativo

A avaliação pelo método simplificado é feita através da verificação das propriedades físicas dos componentes dos sistemas construtivos de paredes e coberturas, de acordo com a zona bioclimática que a edificação está situada. O nível de desempenho térmico é obtido pela escolha do material da envoltória. Deve-se verificar também o desempenho mínimo exigido com relação à área destinada à ventilação natural (ABNT, 2013a).

— Requisitos para vedações verticais

As paredes devem apresentar transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C_T) para proporcionar um nível de desempenho térmico mínimo de acordo com a zona bioclimática que se insere. O critério estabelece valores máximos admissíveis para a transmitância térmica e capacidade térmica, conforme as Tabelas 4 e 5, respectivamente, a seguir.

Tabela 4 — Transmitância térmica de paredes externas.

Transmitância térmica U	$W/m^2 \cdot K$	
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^* \leq 0,6$	$\alpha^* > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

* α é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575 (2013d).

Tabela 5 — Capacidade térmica de paredes externas.

Capacidade térmica (C_T)	$kJ/m^2 \cdot K$
Zona 8	Zona 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575 (2013d).

Tanto para transmitância quanto para capacidade térmica, há apenas o nível mínimo (M), através do cumprimento do critério.

— Requisitos para abertura para ventilação

Neste item apresenta as dimensões consideradas adequadas das aberturas nas fachadas das edificações a conferir ventilação interna nos ambientes de permanência prolongada (salas, cozinhas e dormitórios). No critério são estabelecidos valores mínimos aceitos para dimensão das aberturas para ventilação, apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 — Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar.

Nível de desempenho	Aberturas para ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7 Aberturas médias	Zona 8 Aberturas grandes A ≥ 12 % da área de piso REGIÃO NORTE DO BRASIL
Mínimo	A ≥ 7% da área de piso	A ≥ 8 % da área de piso REGIÃO NORDESTE E SUDESTE DO BRASIL

Nota: nas zonas de 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575 (2013d).

Onde o nível de desempenho para aceitação é o mínimo (M). O cálculo para determinar a abertura de ventilação para cada ambiente de longa permanência se dá pela seguinte relação:

$$A = 100 \times (A_A / A_P) (\%) \quad (1)$$

Onde:

A_A — é a área efetiva de abertura de ventilação do ambiente;

A_P — é a área de piso do ambiente.

— Requisitos para cobertura

No que se refere à transmitância térmica e absorvância a radiação solar, as coberturas

devem apresentar um desempenho térmico adequado para cada zona bioclimática correspondente, onde deve atender o nível mínimo (M) para aceitação. O critério para transmitância térmica determina valores máximos admissíveis em função das zonas bioclimáticas, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica.

Transmitância térmica U W/m ² .K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3$ FV	$U \leq 1,5$ FV

α é absortância à radiação solar da superfície externa da parede.

NOTA: O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575 (2013e).

b) método informativo

O procedimento de análise do desempenho térmico por meio de medições in loco consta na norma como uma ferramenta adicional para avaliar, de forma menos criteriosa do que os métodos normativos, o desempenho térmico da unidade habitacional. Através da medição, a temperatura de bulbo seco pode ser comparada com os critérios de temperatura estabelecidos no método de simulação computacional. Este método deve ser realizado em edificações em escala real (1:1) e conforme as seguintes recomendações apresentadas na ABNT (2013a):

— medir a temperatura de bulbo seco do ar no centro dos recintos dormitórios e salas, a 1,20 m do piso. Para as medições de temperatura, seguir as especificações de equipamentos e montagem dos sensores, apresentadas na ISO 7726;

— avaliar as edificações existentes considerando as situações seguintes: no caso de uma única unidade habitacional, medir nos recintos dormitórios e salas; em conjunto habitacional de unidades térreas e edifícios multipiso, deve-se escolher uma ou mais unidades que possibilitem a avaliação nas condições estabelecidas na norma;

— para avaliação no período de verão: janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte;

— para avaliação no período de inverno: janela do dormitório ou sala de estar voltada para sul e outra parede exposta voltada para leste;

— no caso de edifício multipiso, selecionar unidades do último andar;

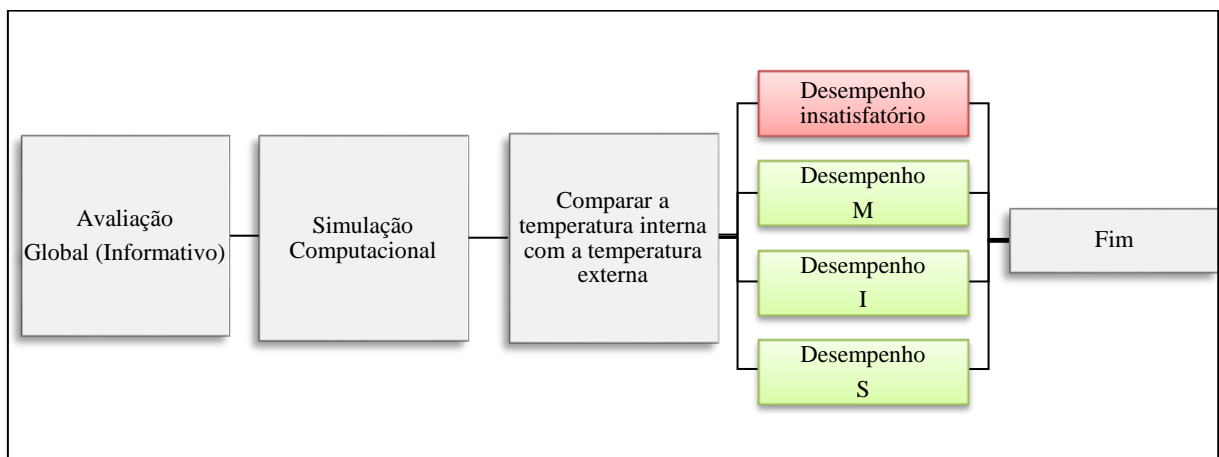
— caso as orientações das janelas dos recintos não correspondam exatamente às especificações anteriores, deve-se priorizar as unidades que tenham o maior número de paredes expostas e cujas orientações das janelas sejam mais próximas da orientação especificada;

— período de medição: O dia escolhido para análise deve corresponder a um dia típico de projeto, de verão ou de inverno, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. É recomendado, em geral, trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. Para efeito da avaliação por medição, o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local.

c) método de simulação computacional

Esta norma estabelece requisitos e critérios de desempenho que se aplicam às edificações habitacionais para sua avaliação por meio de simulação computacional. As etapas sugeridas são ilustradas na Figura 2.20.

Figura 2.20 — Etapas da avaliação por simulação numérica.



Fonte: Adaptada de Gomes (2012).

Por meio da simulação computacional busca-se avaliar o desempenho global da edificação, ao invés do desempenho individual de cada componente construtivo. Nesse método são consideradas as variáveis tratadas na avaliação simplificada e as variáveis que irão influenciar de forma direta no comportamento térmico da edificação, tais como orientação do imóvel, tipologia da edificação, renovação de ar nos ambientes, dados climáticos, dentre outros. A aplicação da simulação computacional na análise do desempenho térmico das habitações implica um trabalho muito detalhado, porém, com maior possibilidade de obtenção do desempenho requerido, visto que a quantidade de variáveis a serem tratadas aumenta consideravelmente (SILVEIRA, 2014).

Para a realização de simulações computacionais ainda de acordo com o mesmo autor, devem ser utilizadas como referência as informações sobre a localização geográfica da cidade e os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e/ou de inverno dependendo do objetivo do trabalho em estudo. Esta norma recomenda adotar os dados climáticos de uma cidade, na mesma zona bioclimática brasileira, com características climáticas semelhantes caso haja falta de dados para a cidade onde se encontra a habitação. Contudo, se o histórico climatológico da cidade não for semelhante ao de nenhuma outra que tenha dados disponíveis, deve-se evitar este método.

Os dias típicos de projeto são obtidos por meio de um tratamento estatístico dos valores das médias máximas diárias e mínimas diárias para o verão e inverno, respectivamente, definindo assim os meses mais quentes e mais frios do ano. Deve-se considerar ainda um intervalo de 0,5 °C como valor máximo de variação de temperatura em relação ao dia de referência. O período recomendado para a obtenção do dia típico de projeto varia de 10 a 15 anos (AKUTSO, 1998 apud SIQUEIRA *et al.*, 2005).

Para avaliar o desempenho térmico de edificações naturalmente ventiladas utiliza-se o critério da temperatura interna do ar. A análise dos resultados pode-se apoiar em uma análise gráfica da distribuição da temperatura ou na quantidade de graus-hora de desconforto, que representa a contagem em graus da diferença entre a temperatura de referência e a temperatura interna encontrada (GOMES, 2012).

São sugeridas pela norma as seguintes diretrizes para padronização das simulações computacionais de edificações em fase de projeto:

— a avaliação deve ser feita para um dia típico de projeto, de verão e de inverno;

— para unidades habitacionais isoladas: simular todos os recintos considerando as trocas térmicas entre os seus ambientes e avaliar os resultados dos recintos dormitórios e salas; considerar na entrada de dados que os recintos adjacentes de outras edificações separados por paredes de geminação ou entrepisos, apresentem a mesma condição térmica do ambiente que está sendo simulado;

— a unidade habitacional escolhida para a simulação deve ser a mais crítica do ponto de vista térmico; deve ter pelo menos um dormitório ou sala com duas paredes expostas, sendo que, preferencialmente: no verão, a janela do dormitório ou sala deve estar voltada para oeste e a outra parede exposta voltada para norte; no inverno, a janela do dormitório ou sala deve estar voltada para sul e a outra parede exposta voltada para leste;

— considerar que as paredes expostas e as janelas estão desobstruídas (sem a presença de edificações ou vegetação nas proximidades que modifiquem a incidência de sol e/ou vento); adotar uma taxa de ventilação do ambiente de 1 ren/h, onde a taxa de renovação da cobertura deve ser a mesma; e a absorvância à radiação solar das superfícies expostas deve ser definida conforme a cor e as características das superfícies externas da cobertura e das paredes expostas. Para as paredes recomenda-se: cor clara: $\alpha = 0,3$; cor média: $\alpha = 0,5$ e cor escura: $\alpha = 0,7$;

— para edifício multipiso: selecionar uma unidade do último andar com cobertura exposta e seguir o mesmo procedimento descrito anteriormente para as unidades habitacionais isoladas;

— para a edificação que não atender aos critérios estabelecidos para o verão, deve ser realizada outra simulação considerando as alterações do sombreamento das janelas e/ou a taxa de ventilação dos ambientes. As novas condições são limitadas a uma taxa de ventilação do ambiente de 5 ren/h e um dispositivo de proteção solar que reduza no máximo 50% da radiação solar direta.

O valor máximo diário da temperatura do ar interior nos recintos de longa permanência (dormitórios e salas) deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior, isso para as condições do dia típico de verão (Tabela 8), onde na avaliação devem-se desconsiderar as fontes internas de calor. Já para as condições do dia

típico de inverno (Tabela 9), o valor mínimo diário da temperatura do ar interior nos recintos de longa permanência deve ser sempre maior ou igual à temperatura mínima externa acrescida de 3 °C (ABNT, 2013a).

Tabela 8 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2 \text{ °C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1 \text{ °C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4 \text{ °C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2 \text{ °C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1 \text{ °C})$

$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;
 $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;
 NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575 (2013a).

Tabela 9 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3 \text{ °C})$	Nestas zonas, este critério não deve ser verificado.
I	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5 \text{ °C})$	
S	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7 \text{ °C})$	

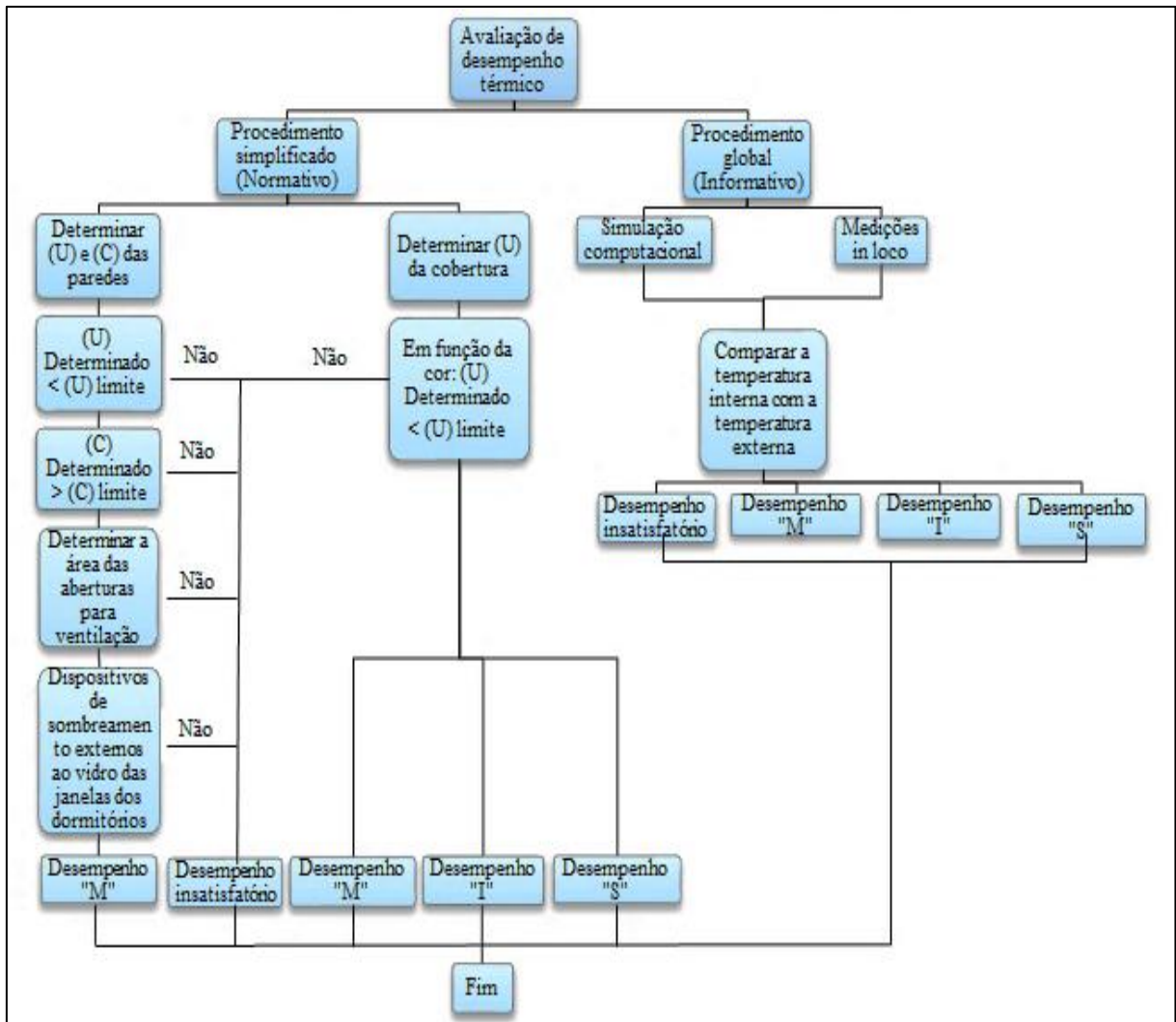
$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em °C;
 $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em °C;
 M: nível mínimo; I: nível intermediário; S: nível superior;
 NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575 (2013a).

Recomenda-se nesta norma o emprego do programa *EnergyPlus* para realizar a simulação computacional. A simulação também pode ser realizada por outros programas, desde que permitam a determinação do comportamento térmico de edificações sob as condições de caráter dinâmico dos fenômenos de trocas de energia e massa entre a edificação e o ambiente externo.

Em resumo, estes procedimentos se organizam conforme a Figura 2.21 a seguir.

Figura 2.21 – Procedimentos de avaliação de desempenho térmico.



Fonte: Adaptado de Moreno (2013).

2.7 APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA *ENERGYPLUS*

O ritmo acelerado da exploração, degradação e destruição dos recursos naturais são fatores que geram um problema ecológico preocupante, pois a reposição dos recursos naturais pela natureza é lenta, assim, pondo em risco o equilíbrio sustentável do meio ambiente. Este fator foi crucial para a busca de soluções que permitam o controle de gastos dos recursos naturais e a utilização, se possível, de energias renováveis. Uma possibilidade para controlar os gastos energéticos em uma habitação é o uso de ferramentas computacionais de simulação, como *EnergyPlus*, para analisar o seu comportamento térmico (SILVA, 2010).

O *EnergyPlus* trata-se de uma das ferramentas de software de simulação de carga térmica e análise energética mais conhecida. Seu desenvolvimento começou em 1996, financiado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América (DOE), a partir de duas ferramentas de *software*, o BLAST e DOE-2, que foram criadas nos anos 70 para realizar a simulação numérica de desempenho energético e dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar (LOBO, 2018). Assim, através desta ferramenta de otimização é possível complementar qualquer análise, tanto pela sua eficiência como por propiciar um estudo mais próximo da realidade.

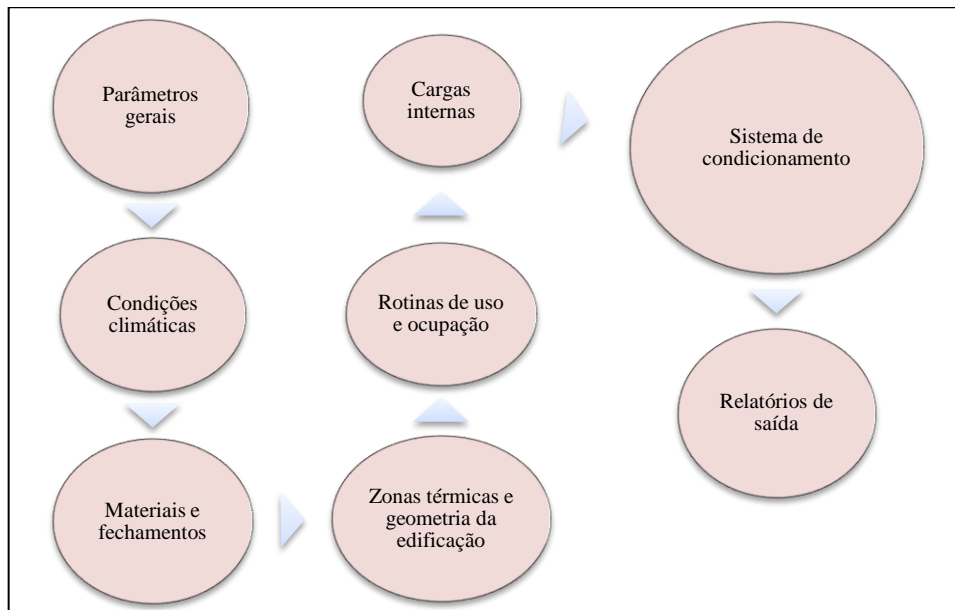
Os arquivos climáticos de dados horários servem como base para o *EnergyPlus* calcular as temperaturas internas em edifícios não condicionados, bem como as cargas térmicas provenientes dos componentes construtivos necessárias para manter o controle da temperatura no dimensionamento dos sistemas de condicionamento de ar, possibilitando, assim, a verificação do desempenho térmico de distintos tipos de edificações, atendendo as condições ambientais dos locais onde estas estão inseridas (BATISTA *et al.*, 2005).

Conforme Pereira *et al.* (2013), para realizar uma simulação no *EnergyPlus* é necessário, inicialmente, modelar a geometria por meio de coordenadas cartesianas e os componentes construtivos do modelo, os quais são tratados como *layers* (camadas) distintos. Grande parte das informações necessárias para o cálculo do fluxo de ar é extraída da descrição da edificação para a modelagem térmica, como as medidas de volume e a altura neutra das zonas, a orientação e localização da região da edificação que contém algum tipo de abertura.

2.7.1 Parâmetros de simulação

Na Figura 2.22 a seguir, apresenta-se as etapas da modelagem de uma edificação no programa computacional *EnergyPlus*.

Figura 2.22 – Etapas da modelagem no *EnergyPlus*.



Fonte: Adaptado de Gomes (2012).

Primeira etapa: definem-se os parâmetros gerais de simulação numérica. Nesta fase define o modelo de cálculo de transferência de calor e umidade que será utilizado pelo programa, o intervalo de tempo entre cada simulação e o tipo de condicionamento ambiental (natural ou artificial). Assim como, a determinação dos parâmetros que influenciam nos cálculos da carga térmica, ventilação e sombreamento, além dos dados gerais da residência e seu entorno, como o tipo de terreno e orientação solar.

Segunda etapa: realiza-se a caracterização das condições climáticas, considerando as variáveis climáticas como a temperatura e umidade do ar, velocidade e direção do vento, pressão barométrica, radiação solar, temperatura do solo, índice de limpidez do céu e indicadores de chuva.

Terceira etapa: especificam-se os materiais e a composição dos fechamentos internos e externos na descrição do arquivo de simulação numérica. No *EnergyPlus*, os materiais podem ser caracterizados por suas propriedades termofísicas (condutividade térmica, massa específica e calor específico), espessura, absorvidade e rugosidade ou pela resistência térmica. Os materiais descritos são utilizados para compor os fechamentos (ou painéis) em camadas.

Quarta etapa: definem-se as zonas térmicas para a modelagem da geometria da edificação, onde cada zona corresponde a um volume de ar de temperatura uniforme. Pode-se simplificar o projeto arquitetônico unindo as zonas adjacentes em uma análise preliminar. Cada zona é formada por superfícies que constituem os fechamentos da edificação: paredes, piso, teto, cobertura, portas e janelas. Os fechamentos são relacionados aos materiais e condições de ventilação e iluminação. Ainda nesta etapa, são desenhados os dispositivos de proteção solar, internos ou externos, ou superfícies externas de sombreamento.

Quinta etapa: definem-se as rotinas de uso e ocupação da edificação. É preciso criar uma rotina diária, semanal ou anual para a abertura e fechamento de portas e janelas, períodos de acionamento do sistema de ar condicionado, cargas térmicas internas e densidade de ocupação.

Sexta etapa: caracterizam-se as cargas térmicas internas, onde as mais comuns são pessoas, iluminação e equipamentos elétricos. Dentre as variáveis principais na entrada das cargas internas, é fundamental caracterizar a atividade realizada pelos ocupantes e a respectiva taxa de calor liberada e as taxas e fração radiante da iluminação e equipamentos elétricos.

Por fim, a última etapa consiste na descrição da ventilação natural ou do sistema de condicionamento de ar e a definição dos relatórios de saída.

2.8 APRESENTAÇÃO DOS PROGRAMAS *SKETCH-UP* E *OPEN STUDIO*

De acordo com Schaedler (2014), o *SketchUp* é um *software* que foi desenvolvido pela Google para fazer o desenho da modelagem de qualquer ambiente 3D. Possui várias funcionalidades e permite criar desde objetos simples até complexas edificações residenciais ou industriais.

Segundo Andrade (2016) é bastante utilizado para fazer simulações termo energéticas e uma das suas grandes vantagens está na facilidade de utilização da sua interface, como também na capacidade de suportar *plug-ins* que são desenvolvidos por terceiros, como é o caso do *OpenStudio*. O *SketchUp* não é um software gratuito, mas é disponível para testes de até 30 dias. Após esse período o programa perde algumas funcionalidades, mas pode ainda ser usado para simulação energética.

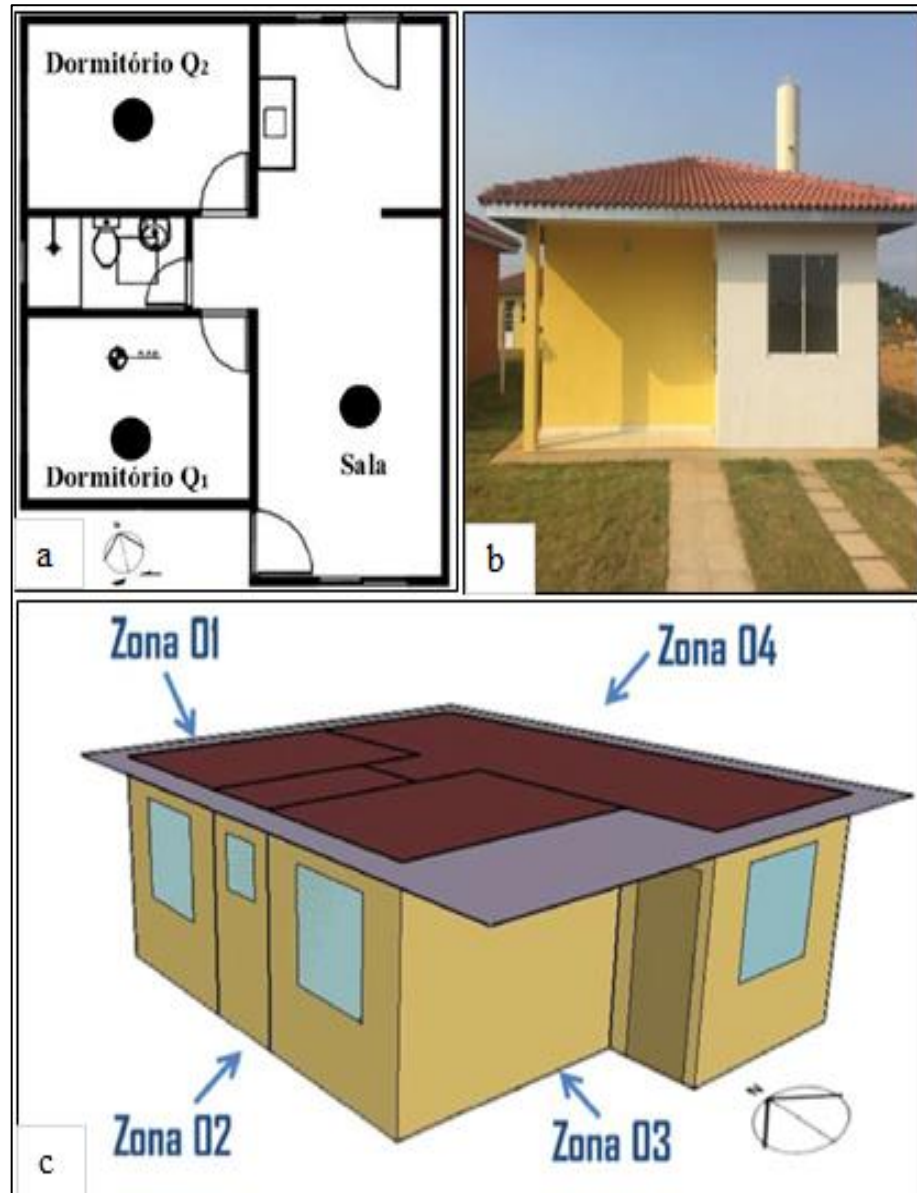
Já o *OpenStudio*, ainda de acordo com Andrade (2016), é um *plug-in* gratuito desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos de código aberto, podendo receber alterações pelos seus usuários. O *OpenStudio* serve para a fazer a integração dos desenhos modelados no programa *SketchUp* para que estes possam ser inseridos no *EnergyPlus* para a simulação. Uma vez instalado o *plug-in* do *OpenStudio*, novas ferramentas de trabalho são disponibilizadas na área de trabalho do *SketchUp*, permitindo que as características do modelo 3D sejam editadas.

2.9 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA PAREDES DE CONCRETO

Este tópico trata de todo levantamento de dados do estudo de desempenho térmico de habitações de interesse social construídas em paredes de concreto em Tucuruí-PA, segundo Santos e Gouveia (2018), cujo objetivo geral é especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações construídas em paredes de concreto armado moldadas in loco na primeira fase da obra do CHV. Este trabalho foi utilizado como base para uma análise comparativa entre o sistema de vedação empregado no estudo de caso e o sistema de paredes de concreto das edificações residenciais unifamiliares.

O sistema de fechamento da habitação residencial de área total de 44,50 m², área útil de 40,56 m² e pé direito de 2,5 m, é constituído por paredes de concreto armado, cobertura em telhas de argamassa com forro em PVC e esquadrias externas em alumínio e vidro. A Figura 2.23 apresenta a planta baixa da habitação com a indicação dos sensores de monitoramento (a), a fachada da mesma (b) e o croqui em 3D da unidade habitacional e a indicação das zonas térmicas simuladas (c).

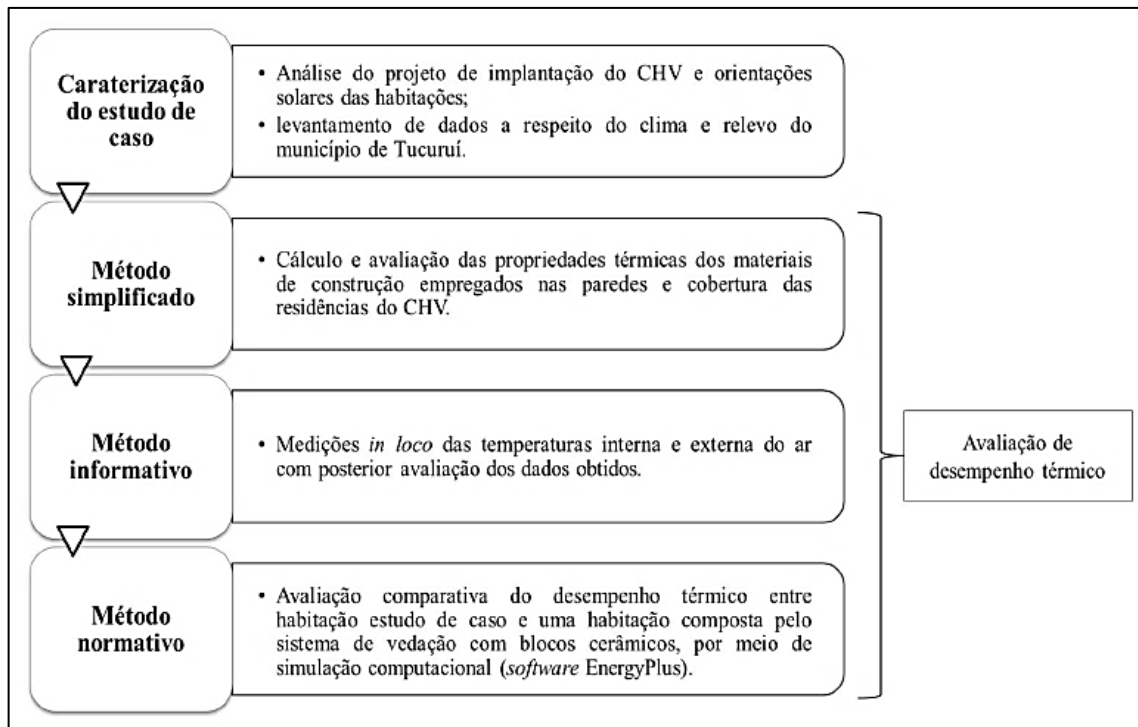
Figura 2.23 – Detalhes da unidade habitacional de paredes de concreto.



Fonte: Adaptado de Santos e Gouveia (2018).

Para a etapa de avaliação de desempenho da unidade residencial em questão, utilizaram-se como base três métodos prescritos na ABNT NBR 15575-1:2013 e foi desenvolvida de acordo com a sequência de etapas apresentada na Figura 2.24.

Figura 2.24 – Etapas de realização da pesquisa.



Fonte: Santos e Gouveia (2018).

Os métodos de desempenho térmico: simplificado, informativo e normativo, foram desenvolvidos com a mesma metodologia adotada deste presente trabalho, a qual será apresentada no capítulo 3.

2.9.1 Método simplificado

Através da avaliação do desempenho térmico pelo método simplificado do sistema de vedações verticais externas e cobertura, assim como as aberturas de ventilação, comparam-se os resultados obtidos com os valores normativos para cada critério apresentado pelas normas ABNT NBR 15575-4:2013b e 15575-5:2013c. O resultado da avaliação para o sistema de paredes de concreto está expresso na Tabela 10.

Tabela 10 – Critério da transmitância térmica (U) para as vedações externas.

Sistema construtivo	Cor	Condição normativa	α	U (W/m ² .K)	Avaliação de desempenho	
Parede de concreto	Amarela	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,7$	0,3	4,40	Desempenho insatisfatório

Fonte: Adaptada de Santos e Gouveia (2018).

Observa-se que o sistema de fechamento apresenta um desempenho insatisfatório, sendo assim, não atende o nível de desempenho térmico mínimo (M) exigido.

No requisito aberturas para ventilação, estão expressos na Tabela 11 os resultados para os ambientes de longa permanência (sala/cozinha e dormitórios).

Tabela 11 – Desempenho das paredes externas de acordo com o critério de aberturas de ventilação.

Cômodo	Aa (m ²)	Ap (m ²)	A (%)	A normativa (%)	Avaliação de desempenho
Sala/Cozinha	4,2	20,16	20,8	≥ 12	Desempenho satisfatório
Dormitório Q1	0,72	8,16	8,82	≥ 12	Desempenho insatisfatório
Dormitório Q2	0,72	8,16	8,82	≥ 12	Desempenho insatisfatório

Fonte: Santos e Gouveia (2018).

Vale ressaltar que os resultados obtidos serão os mesmos na avaliação de aberturas para ventilação do sistema construtivo paredes de blocos de concreto devido a tipologia das edificações em estudo ser a mesma. Desta forma, verifica-se que somente o ambiente sala/cozinha está desempenhando satisfatoriamente a ventilação ao obter o nível de desempenho mínimo (M) exigido pela norma.

Para o requisito de transmitância térmica, a Tabela 12 apresenta os resultados obtidos para o sistema de cobertura da edificação em estudo.

Tabela 12 – Critério da transmitância térmica (U) para cobertura.

Sistema construtivo	Cor	Condição normativa	α	U (W/m ² .K)	Avaliação de desempenho	
Telhas de argamassa e forro em PVC	Marrom	$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,5$ FV	0,74	2,05	Desempenho insatisfatório

Fonte: Adaptada de Santos e Gouveia (2018).

O valor de absorvância à radiação solar 0,74 corresponde a pintura de cor vermelha na norma NBR 15220-2:2005b já que inexistente o valor para a cor marrom das telhas da unidade residencial analisada. Diante das condições normativas expostas, o valor da transmitância térmica da cobertura não atende ao desempenho térmico mínimo (M) necessário.

2.9.2 Método informativo

A Tabela 13 apresenta a temperatura máxima, média e mínima do ar com o seu respectivo desvio padrão, no ambiente externo da unidade nos dias com características climáticas semelhantes. Os valores foram obtidos durante as medições nas datas 30/09/2015, 01/10/2015 e 02/10/2015, respectivamente.

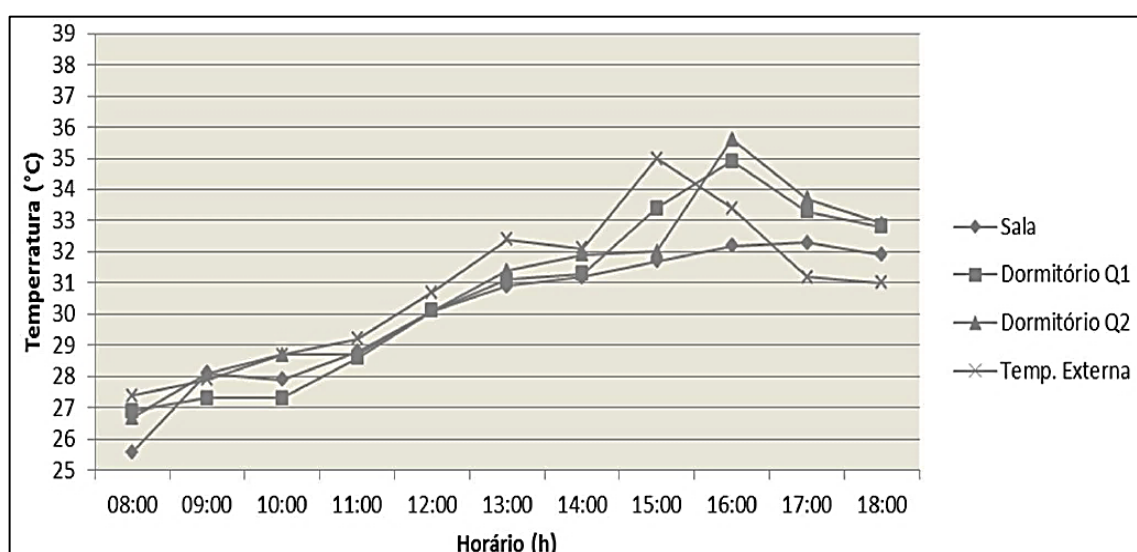
Tabela 13 – Valores máximos, médios e mínimos do ar no ambiente externo.

	Ambiente externo				
	30/09/2015 Temp. (°C)	01/10/2015 Temp. (°C)	02/10/2015 Temp. (°C)	Média (°C)	Desvio Padrão
Temp. máxima	33,4	35	33,6	34,0	0,87
Temp. média	31,1	30,8	30,7	30,9	0,21
Temp. mínima	28,5	27,4	26,1	27,3	1,20
Amplitude térmica	4,9	7,6	7,5	6,7	1,53

Fonte: Adaptada de Santos e Gouveia (2018).

De acordo com Santos e Gouveia (2018), no dia 01/10/2015 (Gráfico 2), o valor da temperatura externa mínima foi igual a 27,4 °C às oito horas e máxima de 35,0 °C às quinze horas, o que resulta em uma amplitude térmica de 7,6 °C. Sendo que as temperaturas mais baixas foram registradas durante a manhã, tendo um aumento gradativo até o término da tarde. Durante a maior parte do período de medição no interior da edificação, as temperaturas apresentaram valores superiores aos aferidos na área externa, chegando a ultrapassá-la em 2,5 °C às dezessete na sala.

Gráfico 2 – Temperaturas do ar dos ambientes internos da residência e externo no dia 01/10/2015.



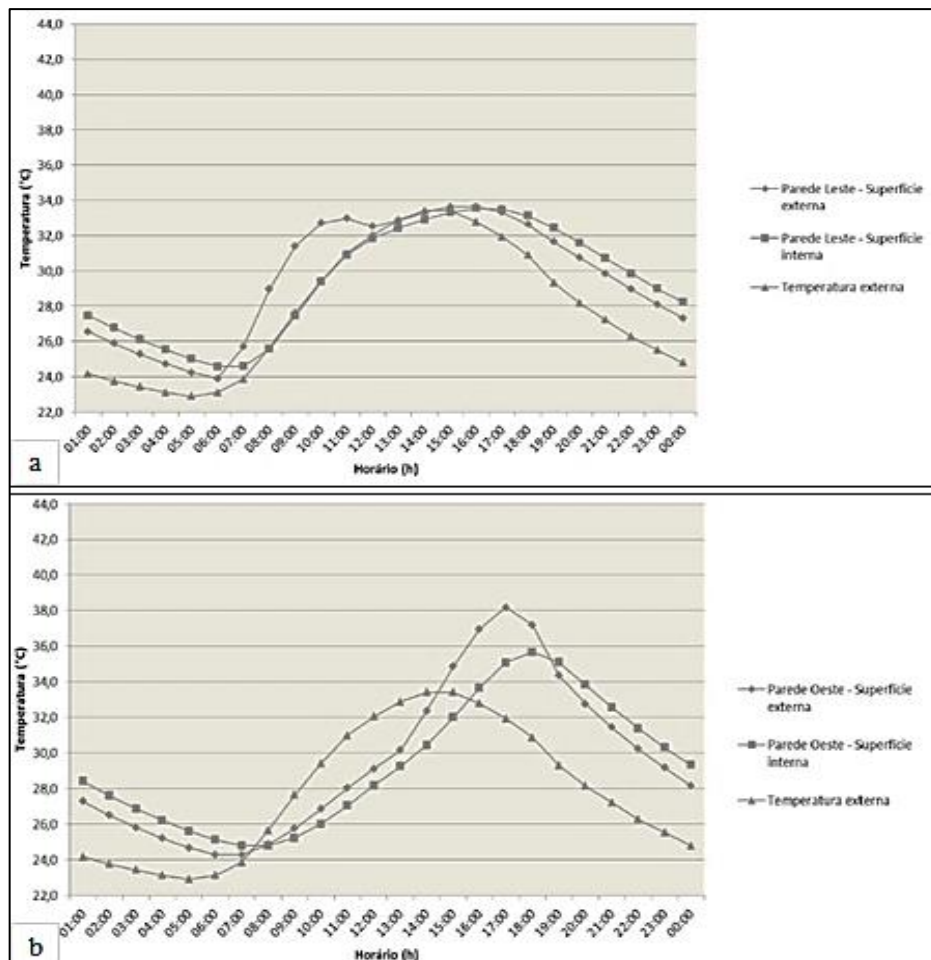
Fonte: Santos e Gouveia (2018).

Desta forma, a unidade habitacional apresentou desempenho insatisfatório para o período típico de verão na zona bioclimática oito, pois o valor máximo de temperatura interna de 35,6 °C foi superior ao máximo valor de temperatura externa igual a 35,0 °C.

2.9.3 Método normativo

Através da simulação computacional da unidade analisada obtiveram-se temperaturas superficiais em elementos de vedação com diferentes orientações solares, sendo possível compreender a influência das propriedades térmicas dos componentes construtivos utilizados sobre o comportamento térmico global da residência. O Gráfico 3 apresenta os valores de temperatura superficial interna e externa da parede da sala orientada para o leste (a) e a parede do dormitório Q2 para o oeste (b), os quais foram obtidos com o objetivo de avaliar o comportamento térmico de cada sistema de vedação específico.

Gráfico 3 – Temperatura superficial interna e externa de parede de concreto.



Fonte: Santos e Gouveia (2018).

Santos e Gouveia (2018) afirmam que as principais diferenças existentes entre as paredes de concreto estudadas estão no pico de temperatura e temperaturas máximas atingidas pelas suas superfícies externas e internas, as quais estão diretamente relacionadas pela orientação solar do elemento construtivo e também pela intensidade dessa radiação. Assim, as paredes orientadas para o oeste além de terem apresentado picos de temperatura deslocados para a direita, que corresponde ao período da tarde, também alcançarão temperaturas mais elevadas do que aquelas voltadas para o leste.

Com o resultado da simulação, Santos e Gouveia (2018) concluíram que o sistema de vedação não interfere tanto no desempenho global da residência e por meio da comparação com as condições normativas, considerou-se que o sistema possui um desempenho térmico satisfatório, já que as temperaturas máximas no dormitório Q1 (33,4 °C), dormitório Q2 (33,3 °C) e sala (33,5 °C) tiveram diferenças mínimas de até 0,3 °C com a registrada na área externa (33,4 °C). Com isso, estas diferenças foram desprezadas, pois são irrelevantes para o conforto térmico dos usuários da edificação na faixa de temperatura local.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a descrição do método utilizado para o desenvolvimento da pesquisa e para obtenção dos dados necessários para a avaliação do desempenho térmico da unidade habitacional de interesse social analisada. Para isso, foram realizadas as seguintes etapas:

- a) abordagem da revisão bibliográfica para o conhecimento das definições e conceitos relacionados ao tema através de estudos já desenvolvidos;
- b) caracterização do município de Tucuruí e do CHV;
- c) caracterização da unidade residencial em estudo;
- d) definição dos métodos utilizados na pesquisa e dos procedimentos técnicos para o levantamento de dados;
- e) realização de cálculos necessários para a avaliação das propriedades térmicas dos materiais de construção empregados nas paredes e na cobertura das unidades do CHV, através do método simplificado;
- f) realização do monitoramento na unidade das temperaturas internas e externas, por meio do método informativo;
- g) simulação computacional para a avaliação do desempenho térmico do sistema de vedação em blocos de concreto, através do método normativo;
- h) análise do sistema construtivo em paredes de concreto para a avaliação comparativa do desempenho térmico com a unidade composta pelo sistema construtivo em blocos de concreto em estudo.

Os métodos utilizados nas etapas de avaliação de desempenho térmico da residência do estudo de caso foram desenvolvidos conforme as recomendações presentes na ABNT NBR 15575-1:2013a.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ E DO CHV

De acordo com a divisão administrativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município de Tucuruí situa-se na mesorregião do Sudeste do Pará e, juntamente com os municípios de Breu Branco, Goianésia do Pará, Jacundá, Nova Ipixuna, Itupiranga e Novo Repartimento, integra a microrregião de Tucuruí (Figura 3.1). O município encontra-se nas coordenadas 03°45'58" de latitude sul e 49°40'21" de longitude oeste (PARÁ, 2011), a uma altitude de quarenta e dois metros em relação ao nível do mar, mais conhecido por abrigar a segunda maior usina hidrelétrica totalmente brasileira e a quinta do mundo: a Usina Hidrelétrica Tucuruí (UHE).

Figura 3.1 – Localização e Inserção Regional de Tucuruí.



Fonte: Tenório e Lima (2013).

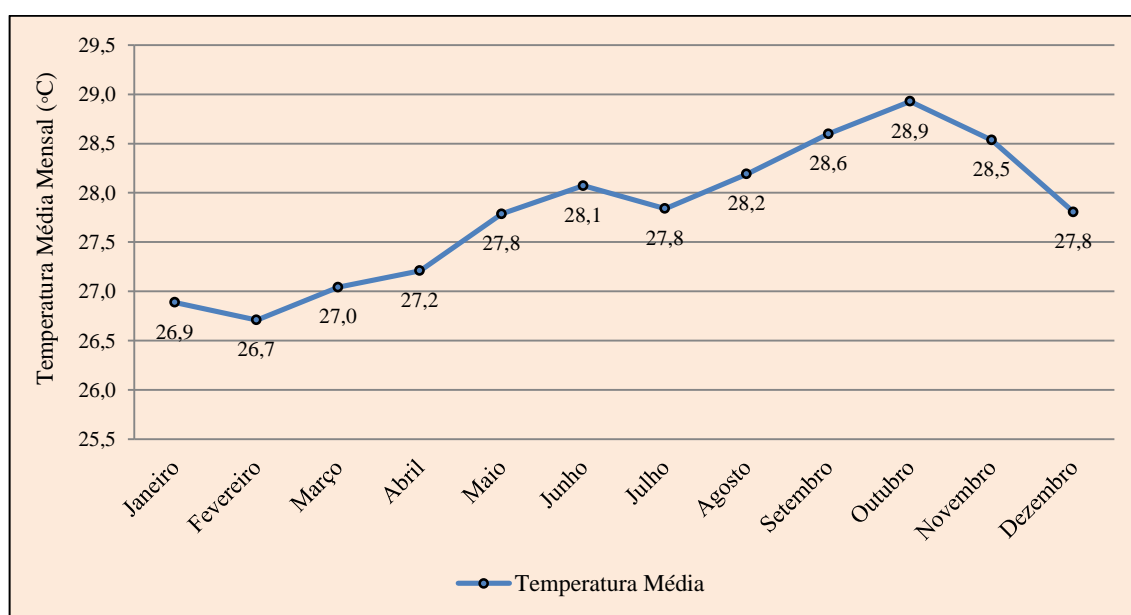
O município de Tucuruí possui uma área de 2.084,289 km² e conforme o censo demográfico apresenta uma estimativa de 113.659 habitantes com uma densidade de 46,56

hab./km² (IBGE, 2010, 2018, 2019). O clima da cidade é tropical úmido de monção, tipo Am (classificação de Köppen), apresentando temperaturas elevadas, com temperaturas variando entre a mínima de 22 °C e máxima de 36 °C. Em suma, nos meses de dezembro a abril, tem-se a mais baixa temperatura, umidade elevada e alta pluviosidade. A média anual da temperatura varia de 26 °C a 27 °C, com máxima de 32 °C a 35 °C e mínima de 22 °C a 23 °C e registra uma precipitação anual entre 2.250 mm a 2.500 mm nos meses de inverno (PARÁ, 2011).

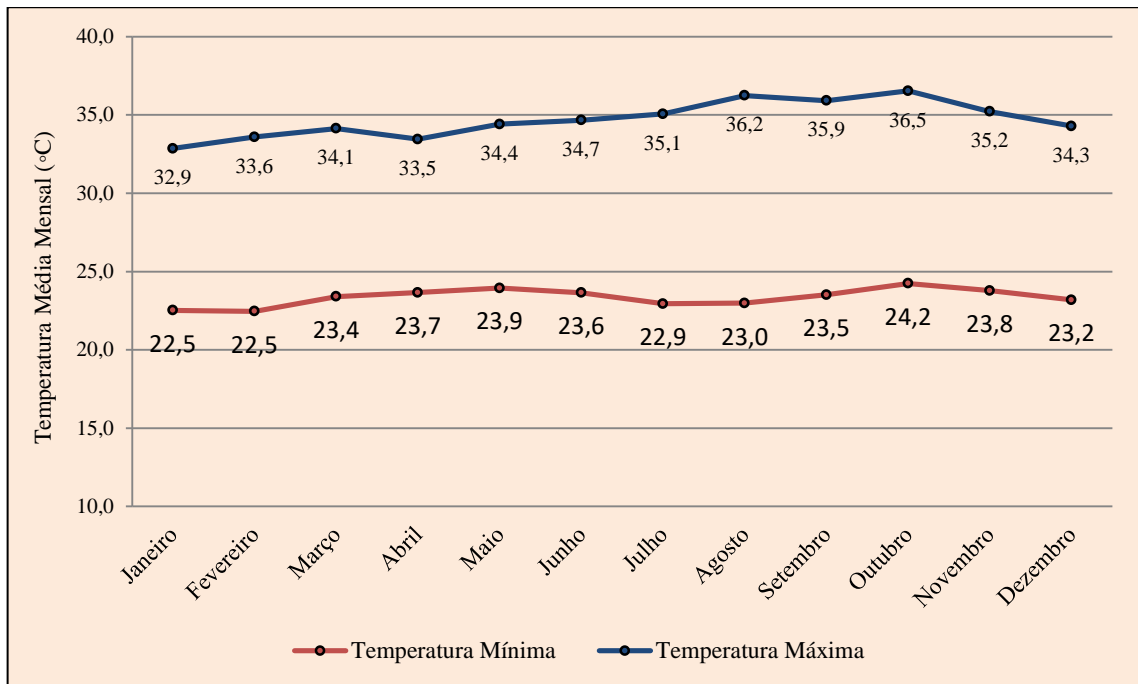
O município em estudo encontra-se situado na Zona Bioclimática 8 (ZB8), por esse motivo as análises no período de inverno, devido as elevadas temperaturas durante todo o ano, são dispensadas. Para as análises no período de verão torna-se necessário o levantamento das médias mensais de temperatura, a fim de determinar o período crítico ideal para realização do procedimento de medição in loco, ou seja, quando as médias de temperaturas são mais elevadas. Assim, determinaram-se as médias mensais de temperatura em um período de coleta de dez anos (2008-2018) obtidas pela estação convencional 82361 com código OMM (Organização Meteorológica Mundial), acessadas através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Abaixo estão expostas as temperaturas médias mensais durante o período 2008-2018, com destaque para o período de setembro a novembro com as maiores médias mensais (Gráfico 4), e suas respectivas temperaturas máximas e mínimas (Gráfico 5).

Gráfico 4 – Temperaturas médias mensais em Tucuruí-PA.

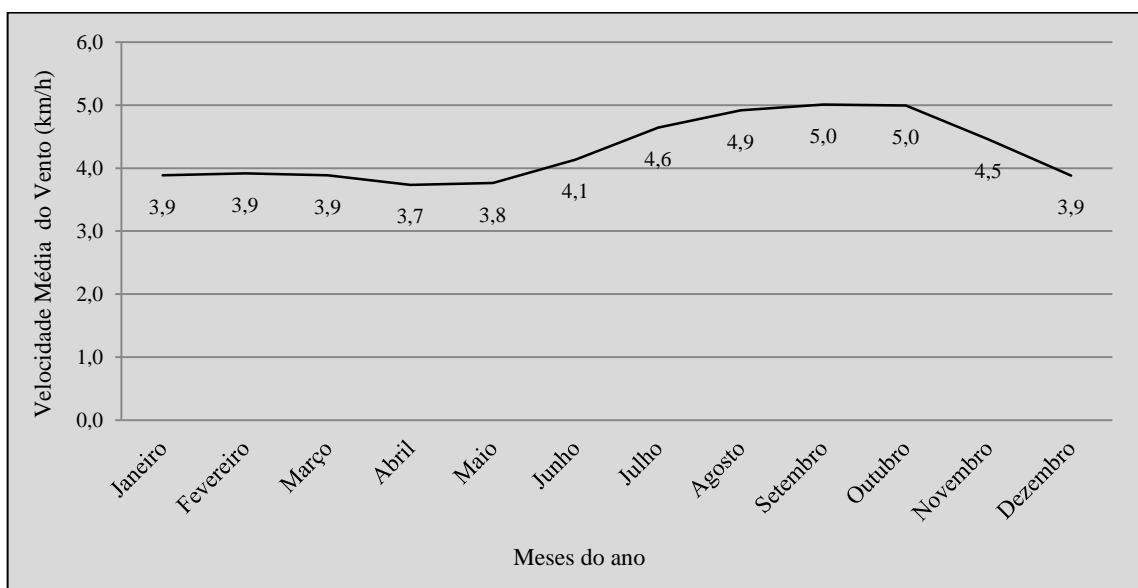


Fonte: Autoria própria (2020).

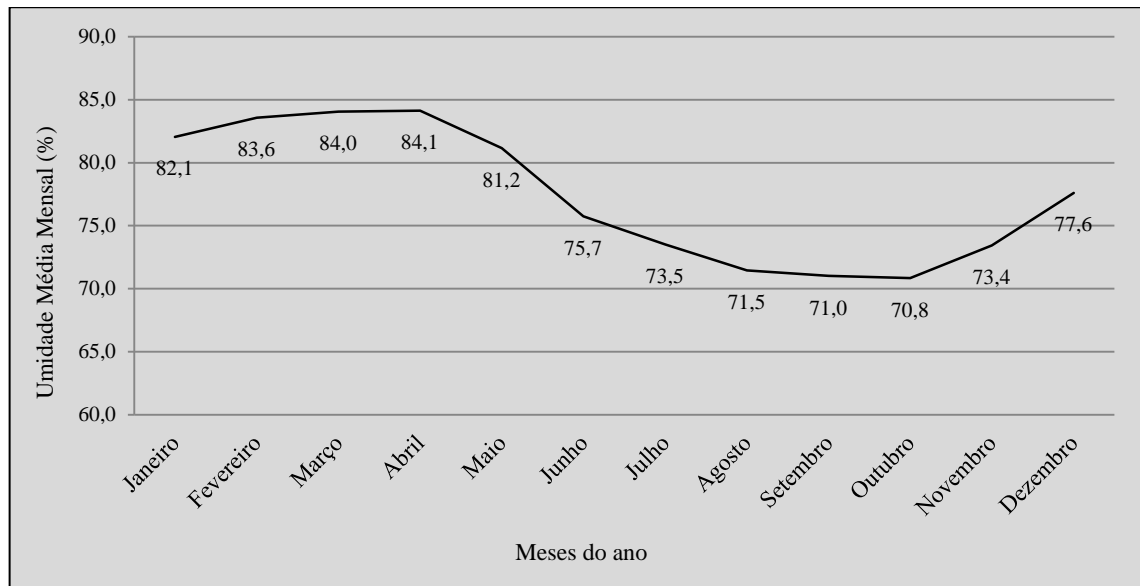
Gráfico 5 – Temperaturas máximas e mínimas em Tucuruí-PA.

Fonte: Autoria própria (2020).

Quanto aos ventos dominantes na cidade, são os do quadrante norte-leste, com velocidade média horária que não varia significativamente ao longo do ano, situada entre 3,9 e 5,0 km/h (Gráfico 6). Bem como, a umidade relativa média do ar é alta, variando entre 71% e 84% durante o ano (Gráfico 7).

Gráfico 6 – Velocidades médias dos ventos em Tucuruí-PA.

Fonte: Autoria própria (2020).

Gráfico 7 – Umidade relativa média em Tucuruí-PA.

Fonte: Autoria própria (2020).

O objeto de estudo deste trabalho consiste em habitações unifamiliares do CHV situadas a quatro quilômetros do centro urbano da cidade e próximas ao aeroporto do município, tendo como principal via de acesso a estrada do aeroporto, a qual pode ser acessada pela BR 422. A Figura 3.2 apresenta a vista aérea de parte da cidade de Tucuruí (à direita) e do aeroporto do município (à esquerda) indicando a localização do CHV. Em seguida, a Figura 3.3 ilustra a vista aérea mais aproximada do conjunto residencial em estudo.

Figura 3.2 – Vista aérea de Tucuruí e localização do CHV.

Fonte: Adaptado do Google Earth (2020).

Figura 3.3 — Vista aérea do CHV.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2020).

O empreendimento em questão faz parte de um projeto financiado pela Caixa Econômica Federal como parte do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) e com apoio da Prefeitura de Tucuruí em 2012, no mandato do ex-prefeito Sancler Antonio Wanderley Ferreira, desenvolvido com o propósito de impulsionar a geração de emprego, renda e a economia local, assim como, voltado para atender pessoas com renda familiar de até três salários mínimos.

O projeto apresentado pela Casa Pinar Empreendimento Imobiliário compreende a execução de 883 unidades habitacionais em uma área de 449.000 m² em suas três fases, contendo casas com dois e três dormitórios (Figura 3.4) e serviços de infraestrutura complementares às habitações, sendo executadas pela Techcasa Incorporação e Construção e MK Engenharia, respectivamente, na primeira e segunda fase. A Figura 3.5 apresenta o painel informativo e a perspectiva ilustrativa do empreendimento.

Figura 3.4 — Plantas ilustrativas das casas com dois e três dormitórios.



Fonte: Techcasa (2013).

Figura 3.5 — Painel informativo e a perspectiva ilustrativa do empreendimento.



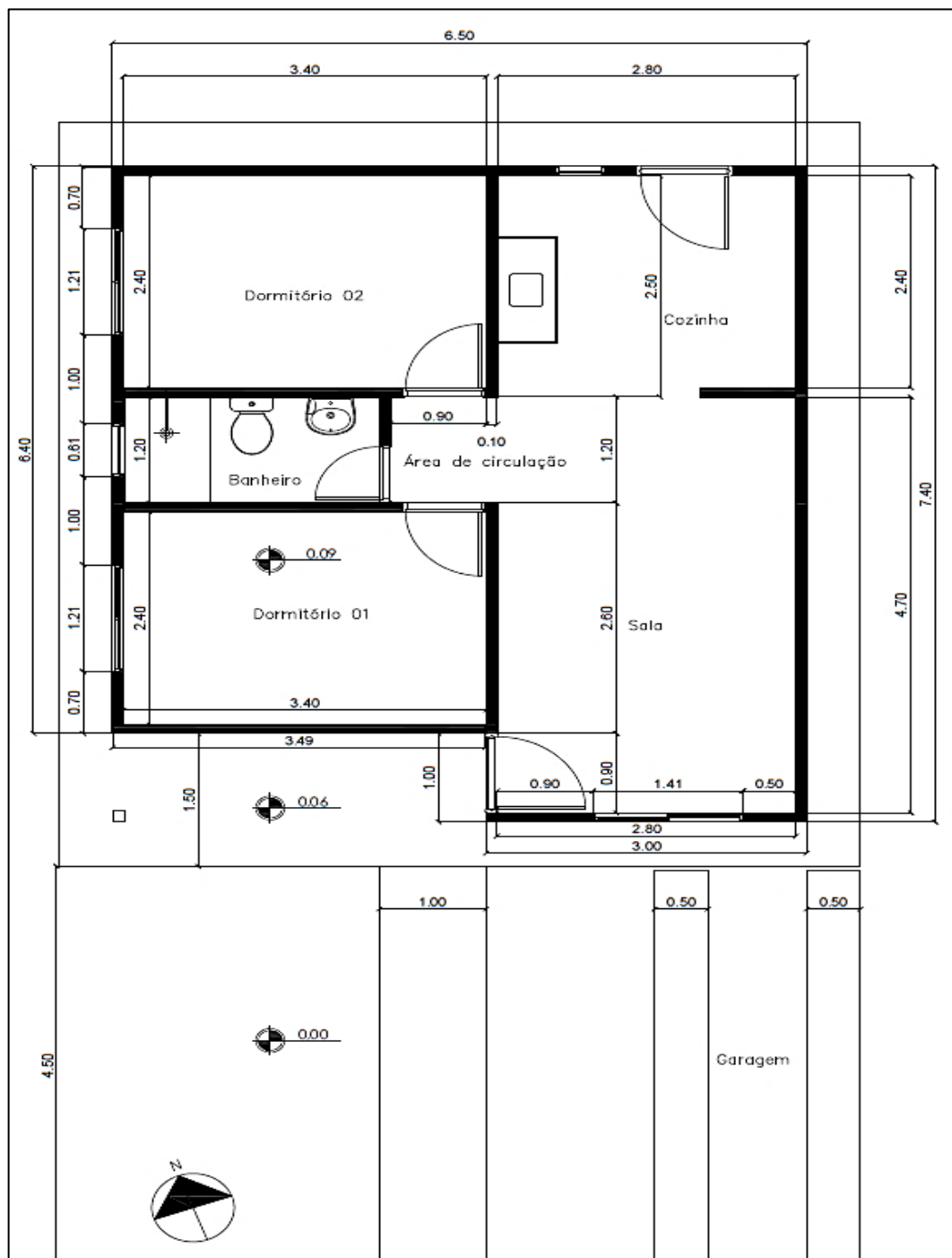
Fonte: Techcasa (2013).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE RESIDENCIAL EM ESTUDO

As habitações do CHV são térreas, individuais e possuem duas tipologias: residência com dois dormitórios (Casa 2D) com área total de 44,50 m², área útil de 40,56 m² e pé direito

de 2,5 m, conforme Figura 3.6; e residência com três dormitórios (Casa 3D) com área total de 62,40m², área útil de 51,52 m² e pé direito de 2,5 m. Todas as unidades de mesma tipologia possuem a mesma planta baixa, apresentando variações quanto à implantação das mesmas no loteamento, sendo assim, possuem diferentes orientações solares. São organizadas internamente com sala, cozinha, dormitórios, área de circulação, banheiro e garagem.

Figura 3.6 – Planta baixa da casa 2D.



Fonte: Adaptado da planta do empreendimento (2020).

Quanto aos materiais utilizados na habitação de estudo, destaca-se paredes com blocos de concreto (segunda fase), a cobertura em telhas de concreto, com forro em argamassa de gesso e esquadrias internas em madeira e as externas em alumínio e vidro, conforme ilustra a Figura 3.7.

Figura 3.7 – Fachada da unidade habitacional monitorada (Casa 2D).



Fonte: Autoria própria (2020).

Neste trabalho foi analisada uma unidade habitacional com orientação solar que se enquadra nas condições desfavoráveis do ponto de vista térmico da norma ABNT NBR 15575, ou seja, no período de verão a janela do dormitório ou sala deve estar voltada para oeste e a outra parede exposta deve estar voltada para o norte.

As principais características construtivas da residência em estudo estão resumidas no Quadro 2.

Quadro 2 – Características construtivas da residência em estudo.

Elemento construtivo	Material/ técnica construtiva	Observação
Paredes	Blocos de concreto 14 x 19 x 39 cm	Paredes externas: 17 cm Paredes hidráulicas: 17 cm Paredes internas: 17 cm
Esquadrias	Externas: alumínio e vidro Internas: madeira	Porta em alumínio anodizado branco, tipo basculante com veneziana e vidro: cozinha e sala; porta em madeira, tipo kit porta pronta: dormitórios e banheiro; janela em alumínio anodizado branco, de correr: dormitórios e sala; e janela em alumínio anodizado branco, tipo maxim-air: banheiro e cozinha.
Cobertura	Telhas de concreto tipo telha e pintura látex PVA sobre laje acabada	Somente o teto do banheiro tem a pintura látex.
Acabamento das paredes	Paredes externas: textura rolada Paredes internas: parede 01 (massa corrida, látex PVA e rodapé cerâmico de 5 cm), parede 02 (azulejo cerâmico de 35 x 35 cm somente no box, 1 fiada sobre a pia e no restante das paredes massa corrida, látex PVA, rodapé cerâmico de 5 cm), e parede 03 (na parede hidráulica, somente 2 fiadas de azulejo de 35 x 35 cm sobre a pia e no restante das paredes massa corrida, látex PVA, rodapé de 5 cm).	As paredes do tipo 01 são referentes às paredes dos dormitórios e da sala; A parede do tipo 02 refere-se à parede do banheiro; e tipo 03 refere-se à parede da cozinha.
Pisos	Interno: piso cerâmico Externa: cimentado liso desempenado	Dimensão com 35 x 35 cm

Fonte: Adaptado das plantas do empreendimento (2020).

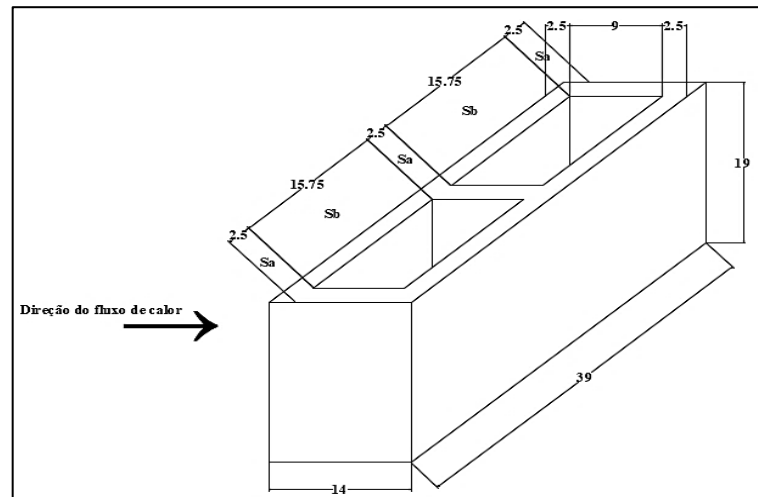
3.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO SIMPLIFICADO

Na avaliação simplificada, a qual pode ser considerada uma avaliação preliminar, realizou-se a verificação do atendimento do nível mínimo (M) de desempenho térmico dos componentes que constituem o sistema de vedação e cobertura da unidade habitacional do CHV através dos cálculos de transmitância térmica e capacidade térmica, que podem ser determinadas conforme estabelecido na norma ABNT NBR 15220-2:2005b, sendo necessário obter os valores de condutividade térmica de cada material utilizado na composição da parede avaliada. Também foram analisadas as aberturas de portas e janelas da residência para avaliar se as dimensões destas aberturas são adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes.

3.3.1 Descrição dos componentes

Neste trabalho foi estudado a tipologia de parede composta por blocos de concreto com dimensões de 14 x 19 x 39 cm, assentados na sua menor dimensão, com revestimento externo de 2,5 cm de argamassa comum e revestimento interno de 0,5 cm de gesso, levando a vedação a ter espessura total de 17 cm. Sendo que para os cálculos de transmitância térmica da vedação externa, considerou-se a direção horizontal do fluxo de calor atuante em cada seção do componente, como ilustra a Figura 3.8.

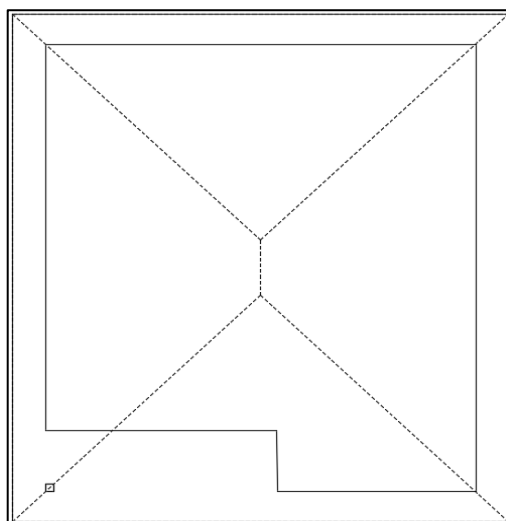
Figura 3.8 — Vista em perspectiva do bloco de concreto.



Fonte: Autoria própria (2020).

Já o sistema de cobertura da unidade residencial é composto por telhas de concreto e laje pré-moldada treliçada de 12 cm, empregada como forro. A cobertura é formada por quatro águas (Figura 3.9) e não possui aberturas para ventilação do ático junto aos beirais. Para os cálculos de transmitância térmica, considerou-se a direção descendente do fluxo de calor atuante no componente.

Figura 3.9 – Vista da cobertura.



Fonte: Adaptado da planta do empreendimento (2020).

3.3.2 Critérios para o desempenho térmico de vedações e cobertura

Consideraram-se os critérios para transmitância térmica e capacidade térmica para edificações residenciais na zona bioclimática oito, exigidos pela ABNT NBR 15575:2013, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Critérios de vedação e cobertura quanto à transmitância e capacidade térmica para ZB8.

Zona	Componente	Absortância solar (adimensional)	Transmitância térmica U W/m ² .K	Capacidade térmica (C _T) kJ/(m ² .K)
Bioclimática 8	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,7$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,5$	
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,3$ FV	
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,5$ FV	

α é absortância à radiação solar da superfície externa da parede.
O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575 (2013).

A absortância solar (α) é definida pela ABNT NBR 15220-1:2005a como o resultado da divisão entre a taxa de radiação solar absorvida por uma superfície e a taxa de radiação solar incidente sobre a mesma superfície. Sendo que o valor é determinado pelo tipo e cor da superfície, em que para pinturas na cor branca, amarela, verde clara e alumínio adota-se $\alpha \leq 0,6$ e para pinturas na cor verde escura, vermelha e preta, $\alpha > 0,6$.

Para a realização da avaliação é necessário o conhecimento das formulações de transmitância térmica e capacidade térmica. Adiante serão demonstradas as equações que foram utilizadas para a determinação dos parâmetros de isolamento térmico do sistema de fechamento.

a) cálculo da resistência térmica (R)

A resistência térmica é calculada pela Equação 2, a qual depende tanto da espessura da camada de material (e) como da condutividade térmica (λ) do mesmo (Tabela 15).

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (2)$$

Tabela 15 – Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais.

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/m.K)	C (kJ/kg.K)
Argamassa comum	1800-2100	1,15	1
Argamassa de gesso	1200	0,7	0,84
Concreto normal	2200-2400	1,75	1

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220 (2005).

Sendo que este cálculo é realizado para cada seção das camadas do material, sendo que a resistência para cada seção (R_t) é obtida de acordo com a Equação 3, considerando a existência de seções com distintas resistências térmicas.

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a + A_b}{R_a + R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (3)$$

Onde:

A_a, A_b, \dots, A_n — são as áreas de cada seção;

R_a, R_b, \dots, R_n — são as resistências térmicas de superfície a superfície para cada seção obtidas através da Equação 4.

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{am} \quad (4)$$

Onde:

$R_{t1}, R_{t2}, \dots, R_{tn}$ — são as resistências térmicas das n camadas homogêneas;

$R_{ar1}, R_{ar2}, \dots, R_{arn}$ — são as resistências térmicas das n câmaras de ar, obtidas da Tabela 16.

Tabela 16 — Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura.

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar (cm)	Resistência térmica R_{ar} ($m^2 \cdot K/W$)		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal (\Rightarrow)	Ascendente (\Uparrow)	Descendente (\Downarrow)
Superfície de alta emissividade $e > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $e < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220 (2005).

A resistência térmica de ambiente a ambiente é dada pela Equação 5.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (5)$$

Onde:

R_t — é a resistência térmica de superfície a superfície;

R_{se} e R_{si} — são as resistências superficiais externas e internas, cujos valores são obtidos da Tabela 17.

Tabela 17 — Resistência térmica superficial interna e externa.

Resistência térmica R_{si} $m^2 \cdot K/W$			Resistência térmica R_{se} $m^2 \cdot K/W$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal (\Rightarrow)	Ascendente (\Uparrow)	Descendente (\Downarrow)	Horizontal (\Rightarrow)	Ascendente (\Uparrow)	Descendente (\Downarrow)
0,13	0,1	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220 (2005).

b) cálculo da transmitância térmica (U)

Com o valor da resistência térmica (R_T), se obtém a transmitância térmica (U) de acordo com a Equação 6.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (6)$$

c) cálculo da capacidade térmica (C_T)

De acordo com a norma ABNT NBR 15575-4:2013d, as paredes e coberturas devem apresentar uma capacidade térmica (C_T) com nível de desempenho térmico mínimo conforme a zona bioclimática que se insere, contudo, para a zona bioclimática 8 não há exigência de capacidade térmica mínima.

3.3.3 Critérios de aberturas para ventilação

Outro requisito analisado para a unidade habitacional em estudo foi o de aberturas para ventilação (A) nos ambientes de longa permanência: sala, cozinha e dormitórios, respeitando a condição estabelecida na ABNT NBR 15575-4:2013d para a ZB8 na Região Norte (Tabela 18).

Tabela 18 — Percentual da área mínima de ventilação em dormitórios e salas para ZB8.

Ambiente	Abertura para ventilação em relação à área de piso (A) para a ZB8
Ambientes de permanência prolongada	A ≥ 12%

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575 (2013).

As áreas utilizadas para o cálculo foram as que de fato contribuem para a ventilação efetiva da casa, ou seja, somente as áreas de portas e janelas localizadas nas paredes externas referente aos cômodos citados. As Tabelas 19 e 20, respectivamente, apresentam as áreas e as

dimensões totais analisadas no ambiente e as áreas e dimensões efetivas consideradas no cálculo.

Tabela 19 – Dimensões das aberturas de portas e janelas e áreas dos cômodos.

Ambiente	Localização	Abertura (m)	Dimensões dos cômodos (m)
Sala/Cozinha	Fachada Norte	Porta 01 (2,10 x 0,80)	7,20 x 2,80
	Fachada Oeste	Porta 02 (2,10 x 0,80)	
	Fachada Sul	Janela (1,40 x 1,20)	
Dormitório 01 e 02	Fachada Oeste	Janela (1,20 x 1,20)	3,40 x 2,40

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 20 – Áreas efetivas dos cômodos.

Ambiente	AA (m²)	Ap (m²)
Sala/Cozinha	4,2	20,16
Dormitório 01	0,72	8,16
Dormitório 02	0,72	8,16

Fonte: Autoria própria (2020).

Vale ressaltar que as janelas dos dormitórios e da sala são do tipo de correr com uma folha fixa e a outra móvel, portanto, no cálculo foi considerado somente a metade das áreas destas como parte da área efetiva para ventilação.

As áreas de ventilação foram obtidas através da Equação 7:

$$A = 100 \times (A_A / A_P) (\%) \quad (7)$$

Onde:

A_A — é a área efetiva de abertura de ventilação do ambiente (m²);

A_P — é a área de piso do ambiente (m²).

3.4 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO INFORMATIVO

Por meio das médias mensais de temperatura do período de coleta de dez anos (2008-2018) indicadas no Gráfico 4, definiu-se o mês de novembro para a realização das medições na residência selecionada, que apesar deste mês selecionado não ser o de maior média de

temperatura, está entre o período mais quente do ano. Não foram realizadas as análises no mês de outubro ou setembro (meses com temperaturas mais altas) pela falta, neste período, de um dos aparelhos utilizados nas medições.

Para o levantamento dos dados foram utilizados dois aparelhos distintos referentes à temperatura do ar: três termômetros de globo modelo POL-2000, fabricados pela Politem, para o monitoramento dos ambientes internos da habitação e um termo higrômetro digital da fabricante J. Prolab, para a aferição de temperaturas externas. Na Figura 3.10, pode-se observar o termômetro de globo à direita e o termo higrômetro à esquerda.

Figura 3.10 — Aparelhos utilizados no monitoramento.



Fonte: Autoria própria (2020).

A unidade residencial escolhida para o monitoramento apresenta condições desfavoráveis do ponto de vista térmico para o período de verão, pois o dormitório 02 possui janela voltada aproximadamente para o oeste e a outra parede exposta para o norte. O monitoramento foi realizado com as portas internas abertas, assim como todas as janelas dos cômodos, em uma habitação finalizada, inabitada e sem mobiliário, e o loteamento se encontrava pavimentado e sem arborização como mostra a Figura 3.11.

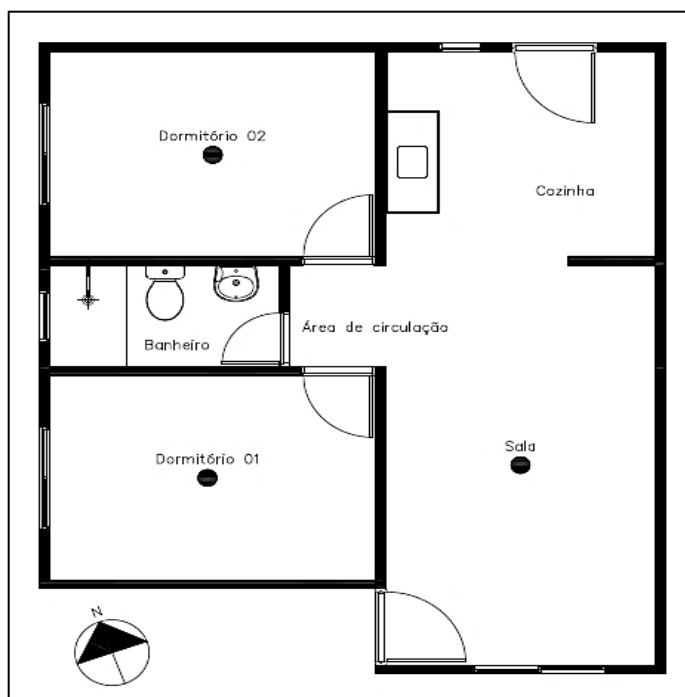
Figura 3.11 – Vista frontal do lote da unidade habitacional monitorada (Casa 2D).



Fonte: A autoria própria (2020).

Para aferição de temperaturas no ambiente interno, a instrumentação foi posicionada no centro dos cômodos de longa permanência da residência, que são os dormitórios e a sala, conforme mostra a Figura 3.12. Já nas medições de temperatura e umidade do ar no ambiente externo, o termo higrômetro digital foi instalado sobre um apoio próximo à unidade habitacional.

Figura 3.12 – Posicionamento de sensores no interior da casa.



Fonte: Adaptado da planta do empreendimento (2020).

A série de medições ocorreu em quatro dias do mês de novembro, nas datas 12/11/2019, 13/11/2019, 14/11/2019 e 15/11/2019, com início às oito horas e término às dezessete horas, devido ao horário de expediente do escritório responsável do CHV. Realizou-se a coleta de dados manualmente com o auxílio do programa *Microsoft Excel*, na frequência horária de uma hora, com os sensores posicionados sobre apoios confeccionados pelos autores a 1,20 m do piso, como apresenta a Figura 3.13.

Figura 3.13 – Sensor posicionado sobre apoio.



Fonte: Autoria própria (2020).

De acordo com a norma NBR 15575, recomenda-se trabalhar com uma sequência de três dias e realizar a análise dos dados coletados in loco do terceiro dia, sendo que o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior. Como a habitação foi monitorada por quatro dias, definiu-se o dia 15/11/2019 conforme a norma, uma vez que este foi o último dia das medições realizadas e, além disso, apresentou valores de temperatura mais próximos da média calculada para os quatro dias supracitados, sendo esta, a data que mais representa o período de medições.

3.5 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO NORMATIVO

Para a análise do desempenho térmico da edificação em estudo pelo método normativo, foi realizada a simulação computacional utilizando o programa *EnergyPlus* versão 9.2. O processo de simulação iniciou-se com a modelagem estrutural 3D da residência no

software SketchUp 2019 com o auxílio do *OpenStudio* , pois embora o *EnergyPlus* permita o modelamento de edifícios, há uma complexidade de criação na modelagem tridimensional, uma vez que este utiliza várias coordenadas, o que demanda muito tempo na elaboração e torna o processo muito trabalhoso. No Apêndice A consta as etapas da simulação computacional realizada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo apresenta os dados obtidos através das análises realizadas pelos métodos utilizados, os quais são apresentados em três partes. Primeiramente são apresentados os resultados dos cálculos de transmitância térmica e capacidade térmica para paredes e cobertura, conforme o método simplificado, bem como a descrição detalhada do cálculo de transmitância térmica e capacidade térmica para os componentes da alvenaria e cobertura.

A segunda parte apresenta os resultados das análises dos dados coletados das medições *in loco* realizadas na unidade monitorada, de acordo com o método informativo. E na terceira e última parte consta os resultados das análises da simulação computacional, conforme o método normativo. Por fim, os resultados obtidos nas três partes são confrontados com os resultados da avaliação do sistema de vedação paredes de concreto.

4.1 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO SIMPLIFICADO

Com os valores de transmitância térmica dos componentes do sistema de vedações verticais externas e cobertura, assim como as áreas de ventilação determinadas, comparam-se os resultados obtidos com os valores normativos para cada critério apresentado pelas normas ABNT NBR 15575-4:2013b e 15575-5:2013c.

4.1.1 Avaliação das vedações verticais

A Tabela 21 apresenta as propriedades dos materiais com as respectivas resistências térmicas em cada seção do bloco de concreto obtidas através da Equação 2 e, em seguida, a Tabela 22 com o valor da resistência total da parede dada pela Equação 5 para a determinação da transmitância térmica através da Equação 6.

Tabela 21 – Resistências térmicas das seções do bloco de concreto.

Seção A						
Material	Espessura (m)	Altura (m)	Aa	Espessura (m)	λ	Ra
argamassa comum	0,025	0,19	0,005	0,025	1,15	0,02
concreto	0,025	0,19	0,005	0,14	1,75	0,08
argamassa de gesso	0,025	0,19	0,005	0,005	0,7	0,007
						0,11
Seção B						
Material	Espessura (m)	Altura (m)	Ab	Espessura (m)	λ	Rb
argamassa comum	0,1575	0,19	0,03	0,025	1,15	0,02
concreto	0,1575	0,19	0,03	0,025	1,75	0,01
câmara de ar	0,1575	0,19	0,03	0,09	0,53	0,17
concreto	0,1575	0,19	0,03	0,025	1,75	0,01
argamassa de gesso	0,1575	0,19	0,03	0,005	0,7	0,007
						0,23

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 22 – Resistência térmica total da parede.

Rt	0,19
Rsi	0,13
Rse	0,04
RT	0,36

Fonte: Autoria própria (2020).

Os resultados obtidos para a avaliação do sistema construtivo de paredes de blocos de concreto estão expressos na Tabela 23.

Tabela 23 – Critério da transmitância térmica (U) para as vedações externas.

Sistema construtivo	Cor	Condição normativa	α	U (W/m ² .K)	Avaliação de desempenho	
Parede de blocos de concreto	Laranja	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,7$	0,3	2,79	Desempenho satisfatório

Fonte: Autoria própria (2020).

Com base na comparação dos valores obtidos nos cálculos com os valores normativos, o sistema de paredes de blocos de concreto utilizado no CHV apresenta um desempenho satisfatório, ou seja, atende o nível de desempenho térmico mínimo (M) exigido.

4.1.2 Avaliação das aberturas de ventilação

A Tabela 24 a seguir apresentam os resultados obtidos de área ventiladas para cada ambiente através da Equação 7.

Tabela 24 – Desempenho das paredes externas de acordo com o critério de abertura de ventilação.

Ambiente	Aa (m ²)	Ap (m ²)	A (%)	A normativa (%)	Avaliação de desempenho
Sala/Cozinha	4,2	20,16	20,8	≥ 12	Desempenho satisfatório
Dormitório 01	0,72	8,16	8,82	≥ 12	Desempenho insatisfatório
Dormitório 02	0,72	8,16	8,82	≥ 12	Desempenho insatisfatório

Fonte: Autoria própria (2020).

A partir das porcentagens das áreas de ventilação obtidas, observa-se que somente o ambiente sala/cozinha está desempenhando satisfatoriamente a ventilação ao obter o nível de desempenho mínimo (M) exigido pela norma. Já os dormitórios apresentam porcentagens menores, caracterizando seu desempenho como insatisfatório.

4.1.3 Avaliação da cobertura

Para o sistema de cobertura formado pelo conjunto: telhas de concreto, laje de concreto e gesso (acabamento do forro), apresentam-se os materiais e suas propriedades na Tabela 25. E, em seguida, a Tabela 26 apresenta os valores totais das resistências da cobertura obtidos por meio da Equação 5.

Tabela 25 – Propriedades dos materiais da cobertura.

Material	Espessura (m)	λ	R
Concreto (Telha)	0,012	1,75	0,007
Câmara de ar	-	-	0,21
Concreto (Laje)	0,12	1,75	0,069
Argamassa de gesso	0,005	0,7	0,007
			0,29

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 26 – Resistência térmica total da cobertura.

Rt	0,29
Rsi	0,17
Rse	0,04
RT	0,50

Fonte: Autoria própria (2020).

A tabela 27 demonstra os resultados obtidos da Equação 6 para o sistema de cobertura da edificação em estudo.

Tabela 27 – Critério da transmitância térmica (U) para cobertura.

Sistema construtivo	Cor	Condição normativa	α	U (W/m ² .K)	Avaliação de desempenho
Telhas de concreto e forro em laje	Vermelha	$\alpha > 0,4$ $U \leq 1,5$ FV	0,74	1,99	Desempenho insatisfatório

Fonte: Autoria própria (2020).

O Fator de Ventilação (FV) considerado foi igual a 1, devido a inexistência de aberturas para ventilação do ático junto aos beirais.

Diante das condições normativas, o valor da transmitância térmica da cobertura não corresponde ao que está prescrito para a zona bioclimática 8, assim, não atendendo ao desempenho térmico mínimo (M) necessário.

4.2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO INFORMATIVO

As Tabelas 28, 29, 30 e 31 apresentam os valores das temperaturas do ambiente interno (Dormitório 01, Dormitório 02 e Sala) e as temperaturas e porcentagens de umidade do ambiente externo, obtidos durante as medições nas datas 12/11/2019, 13/11/2019, 14/11/2019 e 15/11/2019, respectivamente.

Tabela 28 – Dados registrados do monitoramento em 12/11/2019.

Hora	12/11/2019					
	Temperatura interna (°C)			Ambiente externo		
	Dormitório 01	Dormitório 02	Sala	Temperatura (°C)	Umidade (%)	
08:00 h	28,1	29,1	28,2	28,9	74	
09:00 h	28,9	29	28,9	32	64	
10:00 h	28,7	29	28,5	29,5	71	
11:00 h	30,4	30	31,1	37,4	44	
12:00 h	30,7	30,5	31,3	34,1	54	
13:00 h	31,8	31,4	32,6	36,3	53	
14:00 h	32,3	32,1	33,7	39,3	43	
15:00 h	33,8	33,3	35,4	38,3	42	
16:00 h	35,8	34,3	37,4	40,6	40	
17:00 h	34,3	33,7	34,6	33,3	55	

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 29 – Dados registrados do monitoramento em 13/11/2019.

13/11/2019					
Hora	Temperatura interna (°C)			Ambiente externo	
	Dormitório 01	Dormitório 02	Sala	Temperatura (°C)	Umidade (%)
08:00 h	28,4	28,7	27,7	26,9	80
09:00 h	28,6	28,7	28,5	31,4	68
10:00 h	30,1	29,6	30,4	35,4	52
11:00 h	30,4	30,2	31,1	34,8	54
12:00 h	31,1	30,5	31,9	38	51
13:00 h	32,1	31,9	33,4	43,6	38
14:00 h	32,1	31,8	32,6	38,9	61
15:00 h	32,8	32,4	33,9	36,9	68
16:00 h	31,2	31,6	30,5	30,1	70
17:00 h	31,2	31,1	30,6	30,2	71

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 30 – Dados registrados do monitoramento em 14/11/2019.

14/11/2019					
Hora	Temperatura interna (°C)			Ambiente externo	
	Dormitório 01	Dormitório 02	Sala	Temperatura (°C)	Umidade (%)
08:00 h	27,3	27,4	26,7	26,7	81
09:00 h	27,7	27,8	27,6	28,5	75
10:00 h	29,2	29,1	29,8	31,7	65
11:00 h	30,7	29,8	31,8	38,8	47
12:00 h	30,7	30,5	31,4	35,2	54
13:00 h	31,7	31,6	32,7	38,6	46
14:00 h	31,7	31,9	32,6	37,6	45
15:00 h	32,6	32,9	33,5	42,4	32
16:00 h	34,7	33,8	36,4	45,5	30
17:00 h	33,4	33,2	34,3	40,2	37

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 31 – Dados registrados do monitoramento em 15/11/2019.

15/11/2019					
Hora	Temperatura interna (°C)			Ambiente externo	
	Dormitório 01	Dormitório 02	Sala	Temperatura (°C)	Umidade (%)
08:00 h	27,7	27,9	27,3	28,1	77
09:00 h	27,9	28	27,4	29,4	72
10:00 h	28,9	28,6	29	31,4	64
11:00 h	29,8	29,5	30,3	34,3	54
12:00 h	30,1	29,8	30,6	34,3	53
13:00 h	31,4	31	32,6	37,1	46
14:00 h	31,6	31,5	32,7	41,9	34
15:00 h	32,1	32,1	32,8	44,1	34
16:00 h	31,2	31,3	31,3	33,9	55
17:00 h	33,2	33,1	34,2	41,4	35

Fonte: Autoria própria (2020).

Após o monitoramento da unidade residencial, realizou-se o tratamento estatístico das temperaturas do ar registradas. A Tabela 32 apresenta a temperatura máxima, média e mínima do ar no ambiente interno com o seu respectivo desvio padrão, para cada dia analisado.

Tabela 32 – Temperaturas máximas, médias e mínimas do ar no ambiente interno.

Ambientes internos						
Dormitório 01						
	12/11/2019	13/11/2019	14/11/2019	15/11/2019	Média	Desvio
	Temp. (°C)	Temp. (°C)	Temp. (°C)	Temp. (°C)	(°C)	Padrão
Temp. máxima	35,8	32,8	34,7	33,2	34,1	1,20
Temp. média	31,5	30,8	31,0	30,4	30,9	0,39
Temp. mínima	28,1	28,4	27,3	27,7	27,9	0,41
Amplitude térmica	7,7	4,4	7,4	5,5	6,3	1,36
Dormitório 02						
Temp. máxima	34,3	32,4	33,8	33,1	33,4	0,72
Temp. média	31,2	30,7	30,8	30,3	30,7	0,34
Temp. mínima	29	28,7	27,4	27,9	28,3	0,63
Amplitude térmica	5,3	3,7	6,4	5,2	5,2	0,96
Sala						
Temp. máxima	37,4	33,9	36,4	34,2	35,5	1,47
Temp. média	32,2	31,1	31,7	30,8	31,4	0,53
Temp. mínima	28,2	27,7	26,7	27,3	27,5	0,55
Amplitude térmica	9,2	6,2	9,7	6,9	8,0	1,48

Fonte: Autoria própria (2020).

Bem como, a Tabela 33 apresenta a temperatura máxima, média e mínima do ar com o seu respectivo desvio padrão, no ambiente externo da unidade para cada dia analisado, constatando que os dias tiveram características climáticas semelhantes através dos valores baixos do desvio padrão calculado, atendendo assim ao requisito da ABNT NBR 15575-1:2013a para o procedimento de avaliação deste método.

Tabela 33 – Temperaturas máximas, médias e mínimas do ar no ambiente externo.

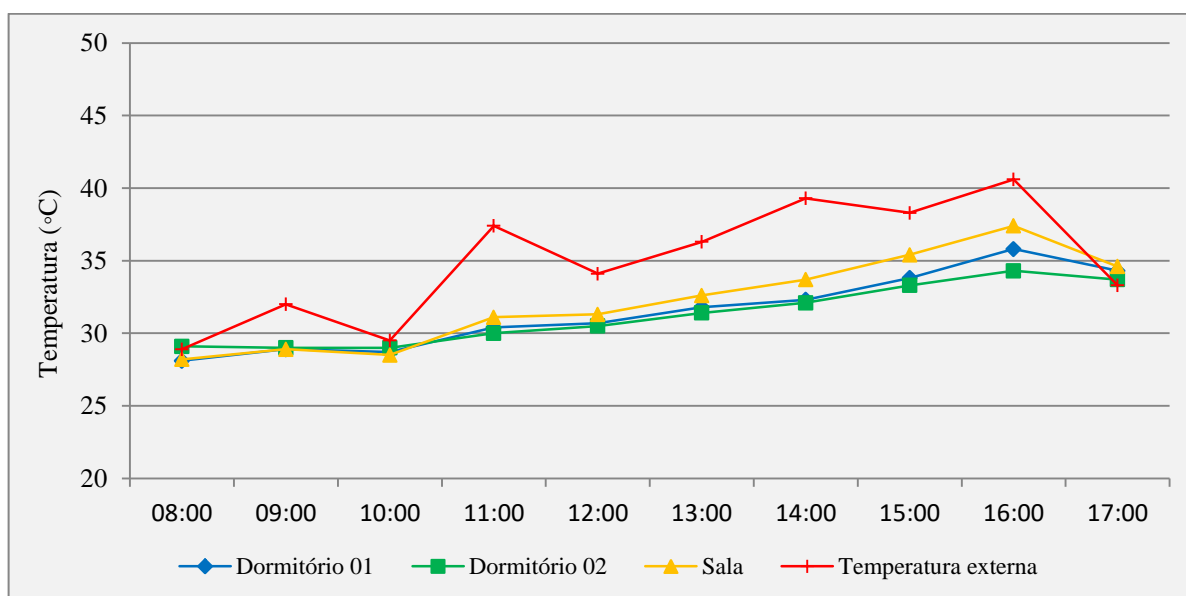
Ambiente externo						
	12/11/2019	13/11/2019	14/11/2019	15/11/2019	Média	Desvio
	Temp. (°C)	Temp. (°C)	Temp. (°C)	Temp. (°C)	(°C)	Padrão
Temp. máxima	40,6	43,6	45,5	44,1	43,5	1,79
Temp. média	35,0	34,6	36,5	35,6	35,4	0,72
Temp. mínima	28,9	26,9	26,7	28,1	27,7	0,90
Amplitude térmica	11,7	16,7	18,8	16	15,8	2,58

Fonte: Autoria própria (2020).

O período de monitoramento no ambiente externo apresentou uma média de temperatura mínima de 27,7 °C, média de 35,4 °C e máxima de 43,5 °C, resultando a amplitude térmica média de 15,8 °C, conforme observado na Tabela 31.

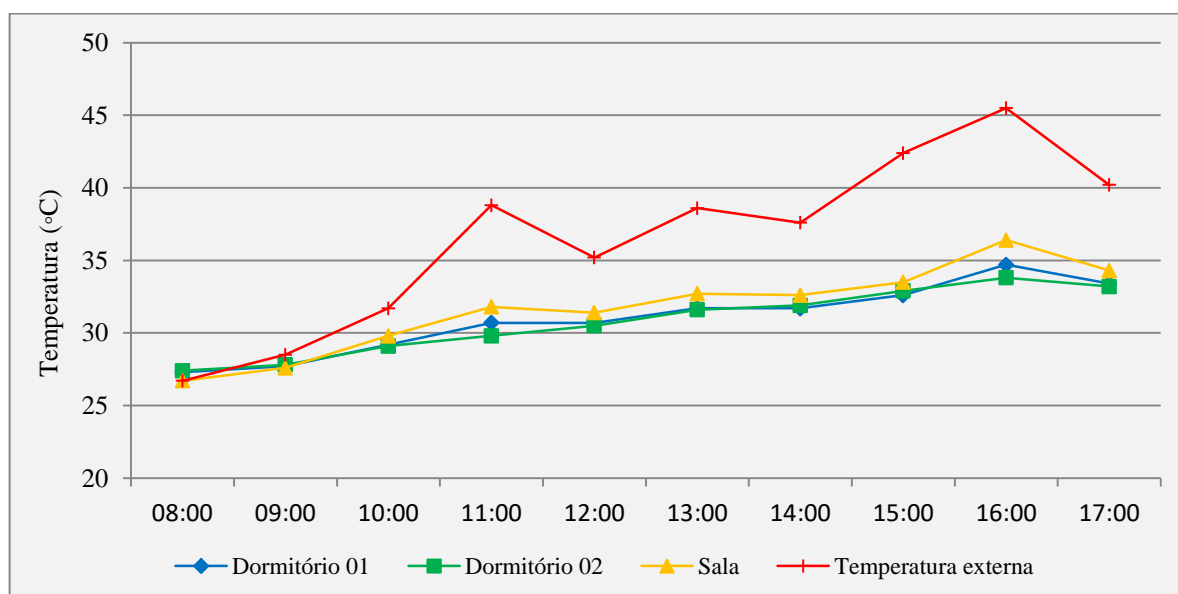
Durante este período, observou-se o primeiro horário das medições apresentava as temperaturas mais baixas do dia, em que as temperaturas internas foram mais altas do que as temperaturas externas, exceto no dia 15/11/2019. As altas temperaturas davam início a partir das onze horas, onde as temperaturas do ambiente interno eram mais baixas do que as do ambiente externo. Os Gráficos de 8 a 11 mostram o comportamento gráfico das temperaturas durante o monitoramento, sendo perceptíveis os horários de pico dos ambientes em cada dia.

Gráfico 8 – Temperaturas do ar do ambiente interno e externo no dia 12/11/2019.



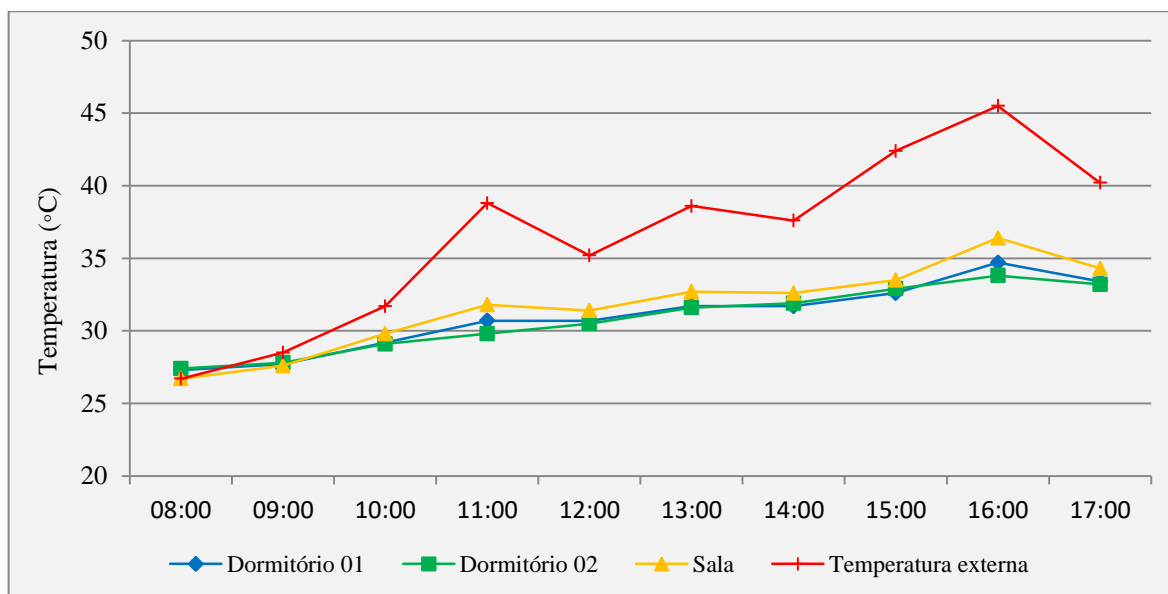
Fonte: Autoria própria (2020).

Gráfico 9 – Temperaturas do ar do ambiente interno e externo no dia 13/11/2019.



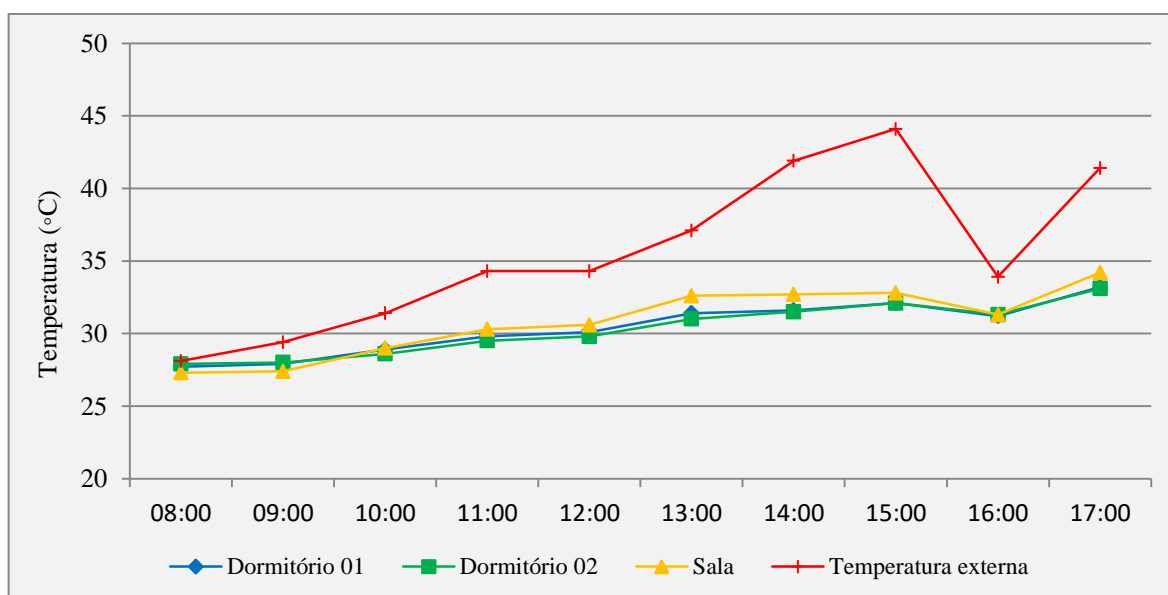
Fonte: Autoria própria (2020).

Gráfico 10— Temperaturas do ar do ambiente interno e externo no dia 14/11/2019.



Fonte: Autorial própria (2020).

Gráfico 11 — Temperaturas do ar do ambiente interno e externo no dia 15/11/2019.



Fonte: Autorial própria (2020).

No dia 15/11/2019, data considerada para a avaliação de desempenho, a temperatura externa mínima registrada foi de 28,1 °C às oito horas e máxima de 44,1 °C às quinze horas, resultando em uma amplitude térmica de 16,0 °C. As temperaturas mais baixas foram registradas durante a manhã, ocorrendo um aumento gradativo até o fim da tarde. No ambiente interno da habitação, as temperaturas apresentavam valores inferiores aos aferidos no ambiente externo. A partir do Gráfico 11, observa-se uma grande diferença térmica entre

as curvas de temperaturas do ambiente interno e externo, onde estas curvas não se cruzam em nenhum momento durante esse o período monitorado.

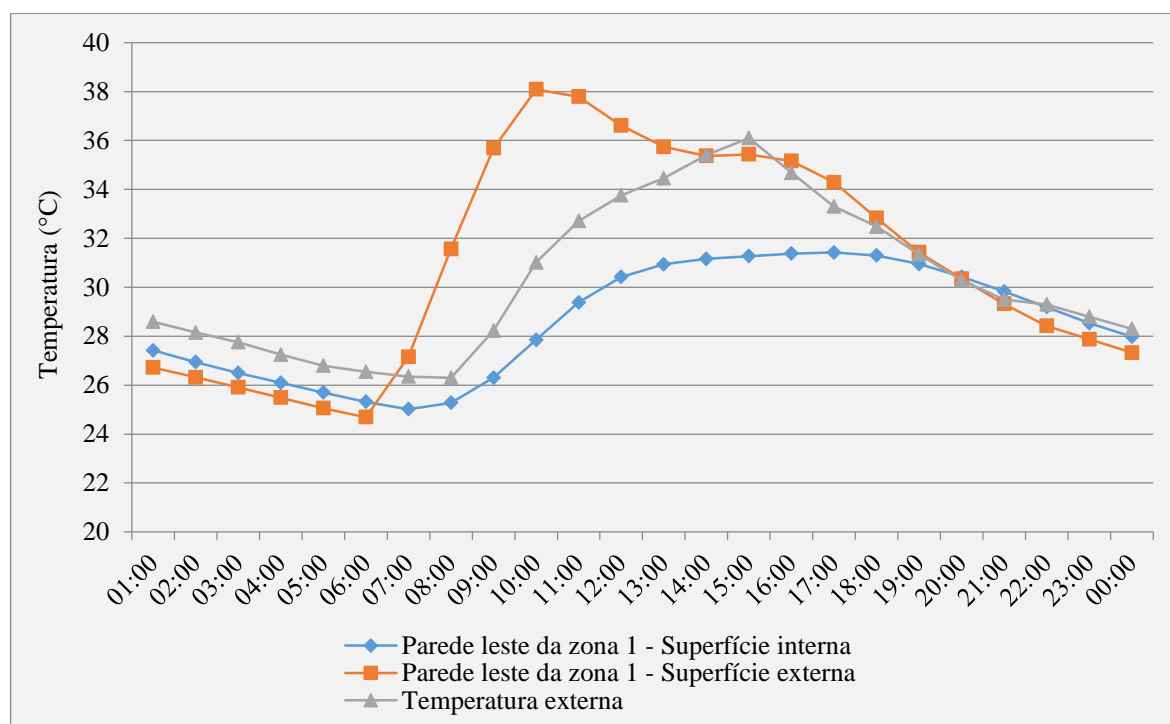
Com isso, após a análise dos indicadores estatísticos e a realização dos procedimentos necessários, a avaliação de desempenho é dada pela condição prescrita na norma, a qual diz que a temperatura interna máxima ($T_{i,máx.}$) deve ser menor ou igual à temperatura externa máxima ($T_{e,máx.}$). Dessa forma, a avaliação no período típico de verão constatou que a unidade habitacional localizada na zona bioclimática oito apresenta um desempenho satisfatório, pois o valor máximo da temperatura interna registrado ($34,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) foi inferior ao máximo registrado na área externa ($44,1\text{ }^{\circ}\text{C}$), sendo assim, atendendo a norma ABNT NBR 15575-1:2013a.

4.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO NORMATIVO

A seguir são apresentados os resultados da simulação, referentes à análise do desempenho térmico das paredes do sistema construtivo, a qual pontuou valores de temperaturas das superfícies internas e externas das paredes de cada zona da unidade habitacional com orientação solar distinta (APÊNDICE B), assim como, as temperaturas internas de cada zona e a temperatura externa (APÊNDICE C).

As temperaturas superficiais das paredes analisadas com orientações solares distintas possibilitaram a compreensão da influência das propriedades térmicas dos materiais utilizados sobre o comportamento térmico global da residência. Com o objetivo de avaliar o comportamento térmico do sistema de vedação, as paredes analisadas foram as que estão mais expostas ao sol, tendo a parede da zona 1 (sala) orientada para o leste e a parede tanto da zona 3 (dormitório 02) como da zona 4 (dormitório 01) orientadas para o oeste. Nos Gráficos 12 a 14, pode-se observar o período de resfriamento e aquecimento das paredes, bem como o atraso térmico e as diferenças de temperatura interna e externa de cada uma.

Gráfico 12 – Temperatura superficial interna e externa da parede orientada para o leste (sala/cozinha).

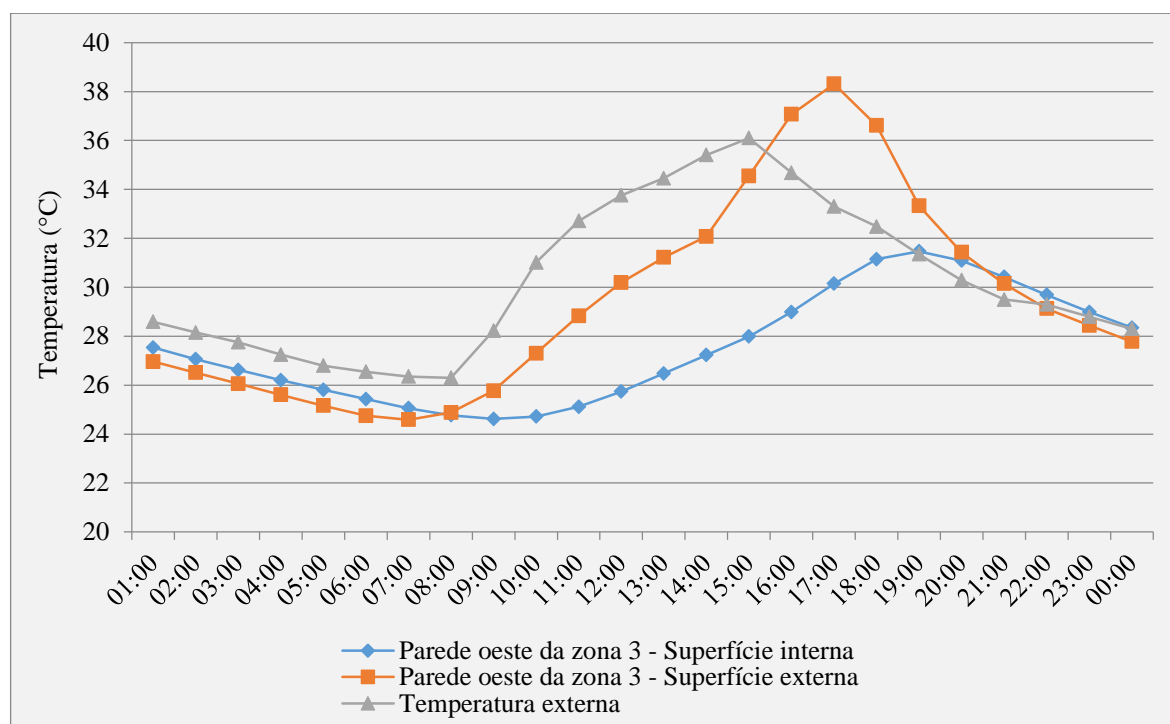


Fonte: Autoria própria (2020).

Através do Gráfico 12, percebe-se que a parede de bloco de concreto possui um período de aquecimento que inicia às sete horas devido à incidência de raios solares sobre a superfície, e termina às cinco horas, mesmo que a radiação solar já não incida diretamente sobre esta superfície. A temperatura máxima da superfície externa obtida foi de 38,1 °C e na superfície interna foi igual a 31,4 °C. Analisando-se o deslocamento lateral que ocorre entre as curvas de temperatura, percebe-se um atraso térmico de duas horas, ou seja, a temperatura externa leva este determinado tempo para atingir o interior da edificação. Quanto à máxima diferença entre a temperatura externa e interna, observou-se que o período da manhã de oito às doze horas tiveram os maiores valores, sendo a maior diferença de aproximadamente 10 °C às dez horas. Já no período de resfriamento da parede, esta diferença não variou muito e manteve-se abaixo de 1 °C.

A seguir, o Gráfico 13 apresenta as temperaturas das superfícies interna e externa da parede de bloco de concreto da zona 3 (dormitório 02) voltada para o oeste.

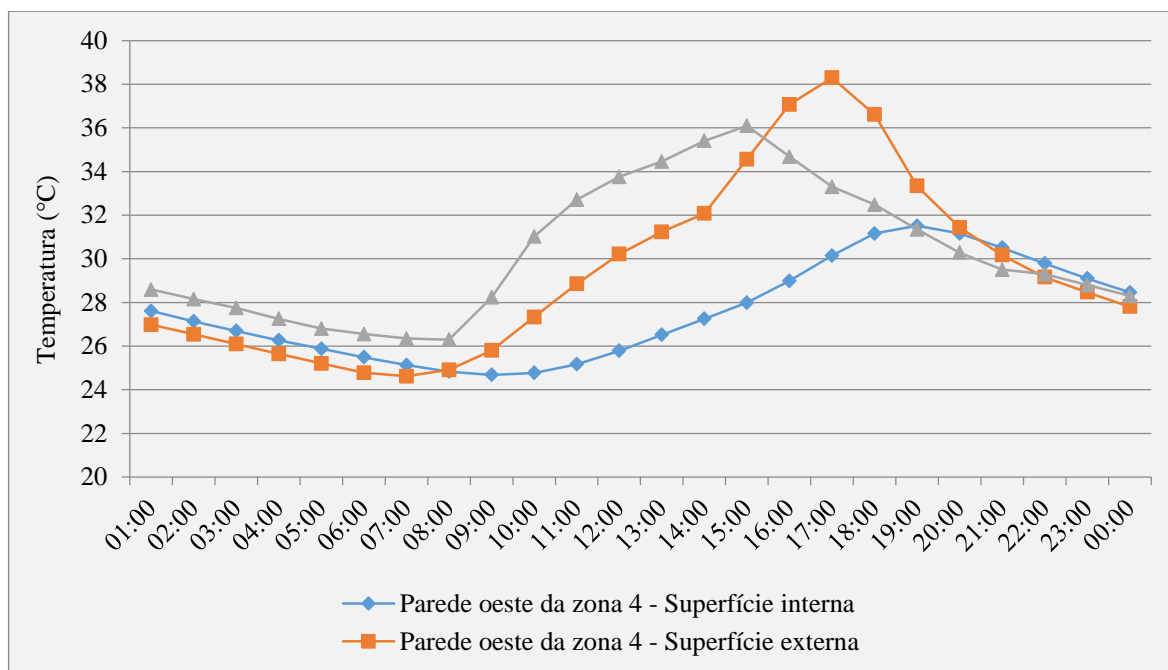
Gráfico 13 – Temperatura superficial interna e externa da parede orientada para o oeste (dormitório 02).



Fonte: Autoria própria (2020).

No que se refere à parede de bloco de concreto voltada para o oeste (dormitório 02), sabe-se que esta tem uma orientação crítica do ponto de vista térmico, devido o contato direto dos raios solares em sua superfície no período da tarde, o qual possui as mais intensas temperaturas. O período de aquecimento acontece entre às nove e dezenove horas, com temperatura máxima da superfície externa igual a 38,3 °C e interna de 31,5 °C, conforme o Gráfico 13. O atraso térmico foi de aproximadamente quatro horas e a máxima diferença entre a temperatura externa e interna foi de aproximadamente 8 °C às dezessete horas, sendo que o período da tarde de meio-dia às dezesseis horas tiveram os maiores valores. No período de resfriamento da parede, a diferença entre a temperatura interna e externa não ultrapassou 1 °C. A parede de bloco de concreto voltada para o oeste localizada na zona 4 (dormitório 01) obteve resultados semelhantes, como pode ser visto no Gráfico 14.

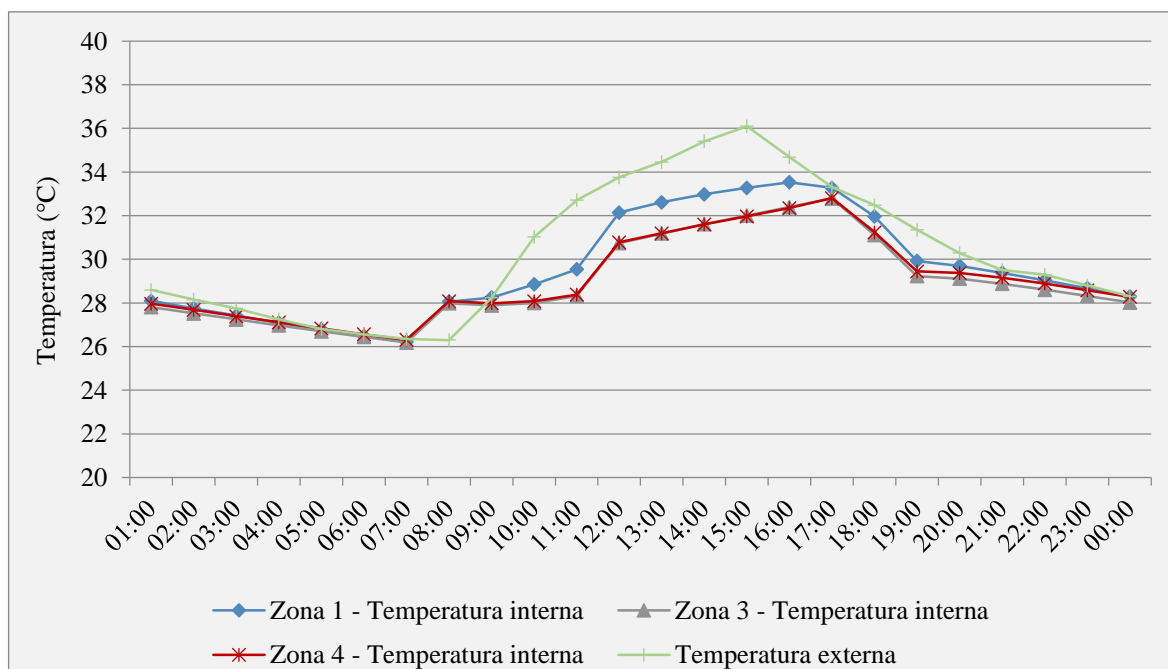
Gráfico 14 – Temperatura superficial interna e externa da parede orientada para o oeste (dormitório 01).



Fonte: Autoria própria (2020).

O Gráfico 15 apresenta os valores da temperatura em cada zona térmica para melhor detalhamento na análise do desempenho térmico das vedações da unidade habitacional simulada e a Tabela 34 destaca a temperatura máxima em cada zona térmica.

Gráfico 15 – Temperaturas em cada zona térmica modelada.



Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 34 – Temperaturas nas zonas térmicas para o sistema construtivo em análise.

Sistema construtivo	Zona 1 (Sala/Cozinha) Ti, máx. (°C)	Zona 3 (Dormitório 02) Ti, máx. (°C)	Zona 4 (Dormitório 01) Ti, máx. (°C)	Te, máx. (°C)
Parede de bloco de concreto	33,53	32,79	32,8	36,1

Fonte: Autoria própria (2020).

Analisando os resultados obtidos entre as paredes de bloco de concreto, percebe-se que as maiores diferenças estão no pico de temperatura e as temperaturas máximas de suas superfícies externas e internas, as quais são influenciadas tanto pela orientação solar como pela intensidade desta radiação no elemento construtivo. Isto se confirma através do deslocamento lateral das temperaturas, onde as paredes orientadas para oeste apresentarão picos de temperatura deslocados para a direita que corresponde ao período da tarde, sendo assim atingirão temperaturas mais elevadas em comparação com a voltada para o leste.

Notou-se também que durante o período de aquecimento a unidade em estudo mantém a sua temperatura interna menor do que a temperatura do ar exterior, e durante o período de resfriamento a sua temperatura interna se mantém maior, evidenciando o bom amortecimento térmico da residência, que pode ser explicado pela elevada inércia térmica dos materiais que compõe o sistema de fechamento. Desta forma, esta habitação atende a norma ABNT NBR 15575-1:2013a, a qual estabelece que a temperatura interna deve ser igual ou inferior à temperatura máxima externa, apresentando um desempenho térmico mínimo (M) exigido para o período de verão.

4.4 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO ENTRE OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Ao avaliar comparativamente os sistemas construtivos em estudo pelos três métodos, percebe-se que as paredes construídas em blocos de concreto possuem melhor desempenho térmico. Pelo método simplificado verificou-se que a resistência térmica do sistema construtivo de paredes de blocos de concreto foi superior às paredes de concreto, tendo assim, transmitância térmica menor (Tabela 35), proporcionando assim um bom amortecimento térmico. Esta baixa transmitância térmica pode ser justificada pelo espaço de ar existente no interior do bloco já que ambos os sistemas são compostos pelo mesmo material principal (concreto), ou seja, possui mesma densidade, condutividade térmica e peso específico.

Tabela 35 – Confronto dos sistemas construtivos de vedação pelo método simplificado.

Sistema construtivo	Cor	Condição normativa		α	U (W/m ² .K)	Avaliação de desempenho
Parede de blocos de concreto	Laranja	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,7$	0,3	2,79	Desempenho satisfatório
Parede de concreto	Amarela	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,7$	0,3	4,40	Desempenho insatisfatório

Fonte: Autoria própria (2020).

Através do método informativo constatou-se que as paredes de blocos de concreto também são superiores às paredes de concreto, devido o valor máximo de temperatura interna ter sido inferior à máxima temperatura na área externa, ao passo que o sistema de vedação parede de concreto teve o valor máximo de temperatura interna superior ao máximo valor de temperatura externa, conforme indica a Tabela 36.

Tabela 36 – Confronto dos sistemas construtivos de vedação pelo método informativo.

Sistema construtivo	Condição normativa	Ti,max (°C)	Te,max (°C)	Avaliação de desempenho
Parede de blocos de concreto	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	34,2	44,1	Desempenho satisfatório
Parede de concreto		35,6	35,0	Desempenho insatisfatório

Fonte: Autoria própria (2020).

E, por fim, após observar o desempenho térmico das vedações pelo método normativo, os valores da temperatura máxima em cada zona térmica da unidade simulada foram utilizados para a comparação dos sistemas construtivos, como mostra a Tabela 37, que em relação aos critérios normativos os dois sistemas apresentaram desempenho térmico satisfatório, pois a temperatura máxima no interior da edificação foi igual ou inferior à registrada na área externa.

Tabela 37 – Confronto dos sistemas construtivos de vedação pelo método normativo.

Sistema construtivo	Sala/Cozinha Ti, máx. (°C)	Dormitório 01 Ti, máx. (°C)	Dormitório 02 Ti, máx. (°C)	Te, máx. (°C)
Parede de bloco de concreto	33,5	32,8	32,8	36,1
Parede de concreto	33,5	33,4	33,3	33,4

Fonte: Autoria própria (2020).

Com base nos dados acima, nota-se que a temperatura interna de cada zona para ambos os sistemas construtivos apresenta valores próximos, concluindo que os sistemas de vedação não interferiram significativamente no desempenho global da edificação.

A Tabela 38 apresenta o resumo da avaliação dos sistemas construtivos em cada método.

Tabela 38 – Resumo da avaliação de desempenho térmico dos sistemas construtivos.

Método Simplificado					
Sistema construtivo	Paredes	Aberturas de ventilação		Cobertura	
Parede de bloco de concreto	Desempenho satisfatório	Desempenho insatisfatório		Desempenho insatisfatório	
Parede de concreto	Desempenho insatisfatório	Desempenho insatisfatório		Desempenho insatisfatório	
Método Informativo					
Sistema construtivo	T_{i,max} (°C)	T_{e,max} (°C)		Avaliação de desempenho	
Parede de bloco de concreto	34,2	44,1		Desempenho satisfatório	
Parede de concreto	35,6	35,0		Desempenho insatisfatório	
Método Normativo					
Sistema construtivo	Sala/Cozinha T_{i, máx.} (°C)	Dormitório 01 T_{i, máx.} (°C)	Dormitório 02 T_{i, máx.} (°C)	T_{e, máx.} (°C)	Avaliação de desempenho
Parede de bloco de concreto	33,5	32,8	32,8	36,1	Desempenho satisfatório
Parede de concreto	33,5	33,4	33,3	33,4	Desempenho satisfatório

Fonte: Autoria própria (2020).

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar o desempenho térmico de edificações de interesse social executadas com paredes de blocos de concreto em Tucuruí-PA, município pertencente à Zona Bioclimática 8 brasileira. O conhecimento sobre o desempenho térmico de sistemas construtivos ainda é escasso em algumas regiões do Brasil, sendo assim esta pesquisa tem grande importância, tendo em vista que o sistema construtivo em estudo é usado em larga escala em habitações, principalmente as destinadas à população de baixa renda.

Por meio da revisão bibliográfica foi possível fazer o levantamento de dados de obras científicas consideradas relevantes para um melhor embasamento teórico e metodológico do desenvolvimento do estudo. Bem como, a metodologia utilizada se mostrou adequada e eficaz para a coleta dos dados, a qual foi dividida em três métodos da ABNT NBR 15575-1:2013a: método simplificado, informativo e normativo.

Através das análises propostas pelo método simplificado, constatou-se que os materiais de construção que compõem o sistema de vedação de blocos de concreto atendem o nível de desempenho térmico mínimo exigido pela norma brasileira de desempenho, porém a cobertura da habitação do CHV apresenta propriedades térmicas inferiores ao exigido, tendo assim, um desempenho insatisfatório. Na análise do método informativo verificou-se que a unidade habitacional apresentou um comportamento térmico satisfatório, pois a temperatura interna máxima se mantém abaixo da temperatura externa máxima.

A análise do método normativo dado pela simulação computacional, concluiu que o sistema de vedação em blocos de concreto não exerce uma influência significativa no desempenho térmico global da habitação, sendo assim importante a consideração de outros fatores, que podem está relacionados ao posicionamento da edificação diante a orientação solar, as dimensões das aberturas efetivas para ventilação, a influência do beiral, como também a alta transmitância térmica da cobertura.

Já a análise dos métodos de desempenho térmico do sistema de vedação em paredes de concreto obteve-se os seguintes resultados: através do método simplificado o desempenho tanto do sistema de vedação como do sistema de cobertura apresentado foi insatisfatório; tal como pelo método informativo, pois o valor máximo de temperatura interna registrado foi

superior ao máximo registrado na área externa, não atendendo ao nível de desempenho térmico mínimo exigido pela norma; e por meio do método normativo (simulação computacional) o desempenho térmico apresentou-se satisfatório.

Então através da análise comparativa entre os sistemas construtivos de vedação paredes de blocos de concreto e paredes de concreto foi possível concluir que as paredes de blocos de concreto, além de serem mais adequadas no que diz respeito ao desempenho térmico, agregam mais benefícios do que o emprego de paredes de concreto para a região em estudo, principalmente do ponto de vista econômico e ambiental, uma vez que seu processo de produção é eficiente, célere, limpo e rentável para a construção.

Com base nos resultados obtidos nas análises dos três métodos indicados pela norma brasileira de desempenho, conclui-se que este sistema construtivo é adequado ao uso em habitações de interesse social na Zona Bioclimática 8 brasileira para o período de verão, e que além dos resultados obtidos na avaliação do desempenho térmico pelo método normativo, devem-se dar importância às conclusões alcançadas por meio do método informativo, tendo em vista que as medições *in loco* proporciona dados mais próximos do desempenho térmico real observado na edificação objeto de estudo.

Diante do exposto, entende-se que para a obtenção de um bom desempenho térmico é essencial conhecer as características dos materiais que compõem os sistemas construtivos por parte dos projetistas e a adequação da edificação às condições climáticas do local em que está inserida, como é o caso de Tucuruí-PA que tem tendência a proporcionar desconforto por calor aos seus usuários devido as condições climáticas serem desfavoráveis ao bom desempenho térmico das edificações. Entretanto, quando se trata de habitações de interesse social, a qual é uma questão complexa e abrange vários aspectos, principalmente os econômicos, o conforto térmico fica em segundo plano.

Sendo assim, o presente estudo traz uma contribuição importante no sentido de esclarecer a questão do desempenho térmico de paredes de blocos de concreto em habitações de interesse social, possibilitando o uso adequado deste tipo de sistema de fechamento com a melhora das condições de conforto térmico destas habitações, diminuindo desta maneira a demanda de energia elétrica com condicionamento térmico.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para a continuidade deste trabalho, recomenda-se a realização de estudos considerando outros fatores, conforme os exemplos a seguir:

- a) estudo da aplicação de condições normativas da arquitetura bioclimática ainda na fase de projeto das edificações, tendo em vista o planejamento do posicionamento das aberturas, assim como de suas dimensões;
- b) estudo do posicionamento de elementos externos de sombreamento para que não interfiram na infiltração de ar na habitação;
- c) estudo da obtenção dos dados climáticos locais em variadas cidades e estudo para inserção de tais dados no programa *EnergyPlus*;
- c) estudo da influência das cores das pinturas das paredes externas nas temperaturas internas dos ambientes;
- d) estudo de tipos de exaustão da camada de ar quente junto ao teto para facilitar o resfriamento dos ambientes em tempos menores.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55**: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2017.

ANDRADE, Flávia de. **Estudo de caso**: simulação computacional de desempenho energético do edifício da empresa MGD Eficiência Energética. Orientador: Eduardo Moletta. 2016. 53 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) – Universidade Tecnológica federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.

ASSIS, E. S.; PEREIRA, E. M. D.; SOUZA, R. V. G.; DINIZ, A. S. A. C. Habitação social e eficiência energética: um protótipo para o clima de Belo Horizonte. Artigo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2., 2007, Vitória. **Anais** [...].Vitória: ABEE, 2007. p. 1-7.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Coletânea de ativos**: parede de concreto. 2007/2008. Disponível em: <<https://acbp.org.br/download/coletanea-de-ativos-em-paredes-de-concreto-2007-2008/>>. Acesso em: 3, nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220**: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **ABNT NBR 15220-1**: desempenho térmico de edificações: parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **ABNT NBR 15220-2**: desempenho térmico de edificações: parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **ABNT NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **ABNT NBR 15220-4**: desempenho térmico de edificações: parte 4: medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro, 2005d.

_____. **ABNT NBR 15220-5**: desempenho térmico de edificações: parte 5: medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico. Rio de Janeiro, 2005e.

_____. **ABNT NBR 15575**: edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **ABNT NBR 15575-1**: edificações habitacionais – Desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **ABNT NBR 15575-2:** edificações habitacionais – Desempenho: parte 2: requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **ABNT NBR 15575-3:** edificações habitacionais – Desempenho: parte 3: requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013c.

_____. **ABNT NBR 15575-4:** edificações habitacionais – Desempenho: parte 4: sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013d.

_____. **ABNT NBR 15575-5:** edificações habitacionais – Desempenho: parte 5: requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013e.

_____. **ABNT NBR 15575-6:** edificações habitacionais – Desempenho: parte 6: requisitos para os sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro, 2013f.

_____. **ABNT NBR 6136:** blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA-RS. **Caderno técnico ASBEA-RS:** norma de desempenho. Porto Alegre: ASBEA-RS, 2014.

BALTAR, M. G.; KAEHLER, J. W. M.; PEREIRA, L. A. Indústria da construção civil e eficiência energética. **Programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <http://tede2.pucrs.br/tede2/bitstream/tede/2983/8/000384715-Texto%252bCompleto%252banexo%252bE-5.pdf>. Acesso em: 17 out. 2019.

BASSO, T. M.; NOGUEIRA, C. E. C.; SILVA, D. S. Eficiência energética na construção civil no Brasil. **Revista Acta Iguazu**. Cascavel, v. 4, n. 1, p. 48-56, 2015.

BATISTA, Juliana Oliveira; LAMBERTS, Roberto; WESTPHAL, Fernando Simon. Avaliação de desempenho térmico de componentes construtivos utilizando o *EnergyPlus*. Artigo. In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: ENCAC/ELACAC, 2005. p. 145-154.

BONDUKI, Nabil. **Os pioneiros da habitação social:** cem anos de construção da política pública no Brasil. 1.ed. São Paulo: Fundação Editora UNESP: Edições Sesc, 2014.

BRAGUIM, T. C. **Utilização de modelos de cálculo para projeto de edifícios de paredes de concreto armado moldadas no local.** Orientador: Túlio Nogueira Bittencourt. 2013. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

CAMPOS, João Carlos. **Alvenaria Estrutural:** especialização em Engenharia de Estruturas. 2017. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/pbastos/alv.estrutural/Alvenaria%20Estrutural%20-%20JC%20Campos.pdf>. Acesso em: 02 out. 2019.

CARVALHO, Paula Pereira. **Desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social com paredes de concreto armado na zona bioclimática 2**

brasileira. Orientador: Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos. 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil e Preservação Ambiental) — Faculdade de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

CBIC. **Energia nas construções:** uma contribuição do setor à redução de emissões e de uso de fontes renováveis de energia. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Brasília: CBIC, 2017. 130 p.

Comunidade da construção. **Alvenaria Estrutural.** Disponível em: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemascontrutivos/1/materiais/qualidade/9/materiais.html/>. Acesso em: 15 nov. 2019.

Comunidade da Construção. **Banco de obras.** Disponível em: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/banco-obras/>. Acesso em: 10 out. 2019.

COSTA, Sammea Ribeiro Granja Damasceno. **Desempenho térmico e habitação:** uma avaliação comparativa no contexto climático da zona bioclimática 8. Orientadora: Gianna Melo Barbirato. 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

CUNHA, E. M. P.; ARRUDA, A. M. V.; MEDEIROS, Yara. **Experiências em habitações de interesse social no Brasil.** Brasília: Secretaria Nacional de Habitação, 2007. 219 p.

EPE. **Nota técnica DEA 10/14:** consumo de energia no Brasil — Análises setoriais. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

FERREIRA, Camila Carvalho. **Análise de sensibilidade por meio de experimento fatorial de parâmetros de desempenho térmico de envoltórias de edificações residenciais:** contribuição à revisão das normas brasileiras. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

FONTANELLA, Márcia Silva. **Percepção do ambiente térmico:** preferências subjetivas e conforto térmico. Orientador: Henor Artur de Souza. 2009. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Diretoria de Estatística e Informações. **Déficit habitacional no Brasil 2015.** 12. ed. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 2018. 78 p.

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

GOMES, A. P. **Método de avaliação do desempenho térmico de edifícios comerciais e residenciais em Light Steel Framing.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

GOOGLE Earth. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em: 15 dez. 2019.

GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ. Companhia de Habitação do Estado do Pará. **Síntese e atualização do Plano Estadual de Habitação de Interesse Social.** Belém, nov. 2014.

Governo do Estado do Pará. Companhia Paraense de Turismo (Paratur). **Inventário da Oferta Turística**. Tucuruí, out. 2011.

HASHIGUTI, Akemy Alyne. **Estudo sobre alvenaria estrutural com blocos de concreto**. Orientador: Luiz Becher. 2018. 51 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) — Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/tucuruui/panorama>. Acesso em: 10 dez. 2019.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**: Tucuruí-PA. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 05 out. 2019.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 7726**: ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities. Atlanta, 1998.

_____. **ISO 7730**: ergonomics of the thermal environment: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Atlanta, 2005.

JOSEPH, Mathew; JOSE, Victor; HABEEB, Anjuman. Thermal performance of buildings: case study and experimental validation of educational building. **International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering**. Tamil Nadu, v. 4, n. 6, p. 4968-4974, jun. 2015.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2014.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. **Casa eficiente**: consumo e geração de energia. 2. ed. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P.; GOULART, S.; DE VECCHI, R. **Conforto Térmico e Stress Térmico**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

LAMBERTS, Roberto; DUARTE, Vanessa C. P. **Desempenho térmico das edificações**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

LOBO, Eduardo Berenger de Carvalho. **Desempenho térmico de painéis em Light Steel Framing em uma habitação de interesse social frente ao clima equatorial da Amazônia**. Orientador: Márcio Santos Barata. 2018. 130 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

MARINOSKI, Luis Deivis. **Alvenarias**: conceitos, alvenaria de vedação, processo executivo. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. Disponível em:

http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula%20-%20Alvenarias_%20introducao%20Bvedacao.pdf. Acesso em: 02 out. 2019.

Minha Casa Minha Vida. **Minha Casa Minha Vida inscrições:** inscrição Minha Casa Minha Vida 2019. Disponível em: <https://www.minhacasaminhavidainscricao.com/>. Acesso em: 10 out. 2019.

MISURELLI, Hugo; MASSUDA, Clovis. Como construir paredes de concreto. **Revista Técnica**, São Paulo, v. 17, n. 147, p. 74-80, jun. 2009.

MOHAMAD, G.; MACHADO, D. W. N.; JANTSCH, A. C. A. **Alvenaria Estrutural:** construindo conhecimento. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2017. 167 p.

MOHAMAD, Gihad. **Construções em alvenaria estrutural:** materiais, projetos e desempenho. São Paulo: Blucher, 2015. 360 p.

MORENO, Ana Cecília Rodrigues. **Minha Casa Minha Vida:** análise de desempenho térmico pela NBR 15.220-3, NBR 15.575, Selo Casa Azul e RTQ-R. Orientadora: Roberta Vieira Gonçalves de Souza. 2013. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) — Escola de Arquitetura da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MORQUECHO, Fernando Bezerra Galvão. **Análise de edifícios em paredes de concreto moldadas in loco.** Orientador: Joel Araújo do Nascimento Neto. 2016. 86 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) — Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MOTTA, Luana Dias. A questão da habitação no Brasil: políticas públicas, conflitos urbanos e o direito à cidade. **Grupo de estudos em temáticas ambientais.** Belo Horizonte, 2010. Disponível em: https://conflitosambientaismg.lcc.ufmg.br/wp-content/uploads/2014/04/TAMC-MOTTA_Luana_-_A_questao_da_habitacao_no_Brasil.pdf. Acesso em: 01 set. 2019.

NETO, A. P. C.; PELUSO, E. O.; CARVALHO, V. T. A. **Alvenaria Estrutural.** Orientador: Gilson Natal Guimarães. 2015. 58 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) — Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

PEREIRA, H. A. C.; MELO, A. P.; VERSAGE, R.; SORGATO, M.; LAMBERTS, R. **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus—Versão 8.0.** Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

PINHO, D. T. P. **Sistema construtivo parede de concreto:** um estudo de caso. Orientador: Augusto Teixeira de Albuquerque. 2010. 54 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) — Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

REIS, D. S. N.; BRAGA, A. C. S.; NUNES, N. M. S. Paredes de concreto: a importância da sua utilização. **Revista Científica Interdisciplinar**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p.125-155, abril/jun. 2016.

RIBEIRO, Luciana Pagnano. **Conforto térmico e a prática do projeto de edificações:** recomendações para Ribeirão Preto. Orientadora: Rosana Maria Caram. 2008. Dissertação

(Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

RUPP, R. F.; DE VECCHI, R.; ASMUS, B. F.; CANDIDO, C. M.; GHISI, E. Conforto térmico humano em escritórios com sistema central de condicionamento artificial em clima subtropical úmido: estudos de campo vs. abordagem analítica. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 111-123, jan./mar. 2017.

SACHT, H. M.; ROSSIGNOLO, J. A. Habitações térreas e multipavimentos de interesse social: avaliação de desempenho térmico para tipologias com vedações em alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto. **Revista PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**. Campinas, v. 1, n. 4, p. 2-19, jul./dez. 2009.

SAHARA. **Obras em Alvenaria**. Disponível em: <http://www.sahara.com.br/artefato-vibromoldado/blocos-de-concreto.php/>. Acesso em: 15 nov. 2019.

SANTOS, J. C. P.; KOTHE, K. K.; MOHAMAD, G.; VAGHETTI, M. A. O.; RIZZATTI, E. Comportamento térmico de fechamentos em alvenaria estrutural para a Zona Bioclimática 2 brasileira. **Revista Matéria**, v. 20, n. 4, p. 1030-1047. 2015.

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

SCHAEDLER, Luciano. **Simulação computacional de uma residência visando a análise do consumo energético**. Orientador: Fabiano Cassol. 2014. 49 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) — Faculdade de Horizontina, 2014.

SCHINAZI, A.; FUKUOKA, R.; JORDAN, M.; ORTIZ, H.; FERRONATO, B.; ISSA, I. **Guia interativo de eficiência energética em edificações**. São Paulo: Mitsidi Projetos, 2018.

SILVA, L. O. F.; OTERO, Ruben. **Habitação e cidade: pós-graduação *lato sensu* da escola da cidade**. 5.ed. São Paulo: Escola da Cidade, 2014. 270 p.

SILVA, Patrícia Manuela Almeida. **Aplicação do Programa Energy Plus como ferramenta do projecto de comportamento térmico de edifícios e habitação**. Orientador: Nuno Manuel Monteiro Ramos. 2010. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto-Portugal, 2010.

SILVEIRA, Francisco Massucci. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15575 e ASHRAE 55**. Orientadora: Lucila Chebel Labaki. 2014. 240 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) — Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

SIQUEIRA, T. C. P. A.; AKUTSU, M.; LOPES, J. I. E.; SOUZA, H. E. Dados climáticos para avaliação do desempenho térmico de edificações. **Escola de Minas**. Ouro Preto, v.58, n. 2, p. 133-138, abr./jun. 2005.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO

LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2013, Brasília. **Anais** [...]. Brasília: ENCAC/ELACAC, 2013. p. 13-21.

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

SORGATO, Marcio José. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Orientador: Roberto Lamberts. 2009. 216 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SOUZA, D. M.; NERY, J. T. O Conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. **Revista Geografia**, Londrina, v. 21, n. 2, p. 65-83, maio/ago. 2012.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria Estrutural**. 1. ed. São Paulo: PINI, 2010.

TECHCASA. Folder Techcasa. São Paulo: Golf Engenharia, 2013.

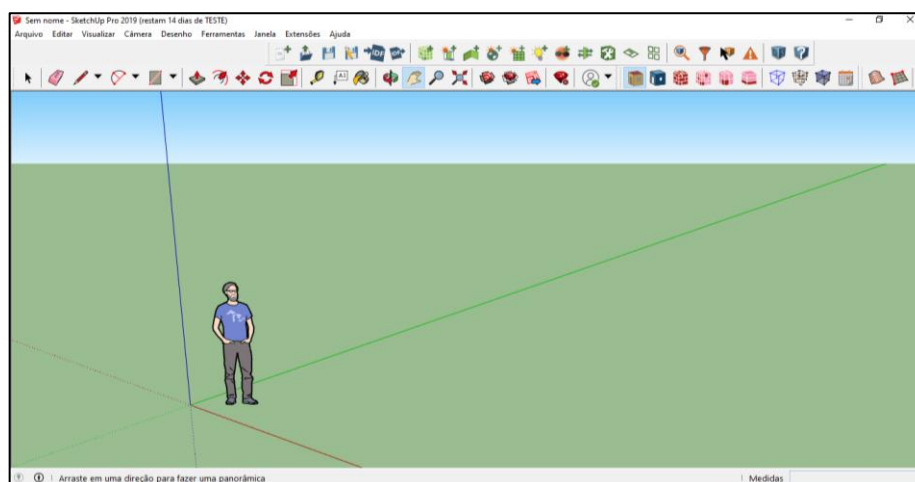
TENÓRIO, C. R.; LIMA, A. M. M. Indicadores de eficiência do Plano Diretor Municipal de Tucuruí-PA. **Geografia (UFPE)**, Recife, v. 30, n. 3, p. 146-162, abr./jun. 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE A — Etapas da simulação computacional

A Figura A.1 ilustra a área de trabalho do programa *SketchUp*, onde se realizou a modelagem já com *plug-in* do *OpenStudio* instalado.

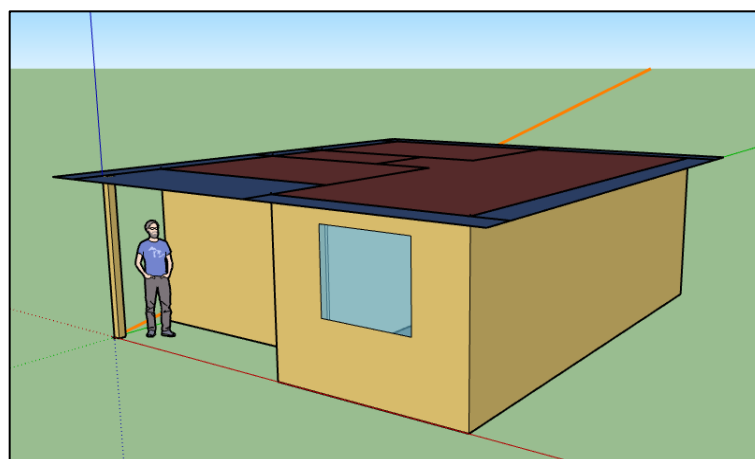
Figura A.1 — Área de trabalho *SketchUp* 2019.



Fonte: Autoria própria (2020).

O processo de modelagem no programa *SketchUp* foi realizado respeitando as características da residência monitorada de acordo com a volumetria e orientação solar e respeitando as aberturas de portas e janelas como mostra a Figura A.2.

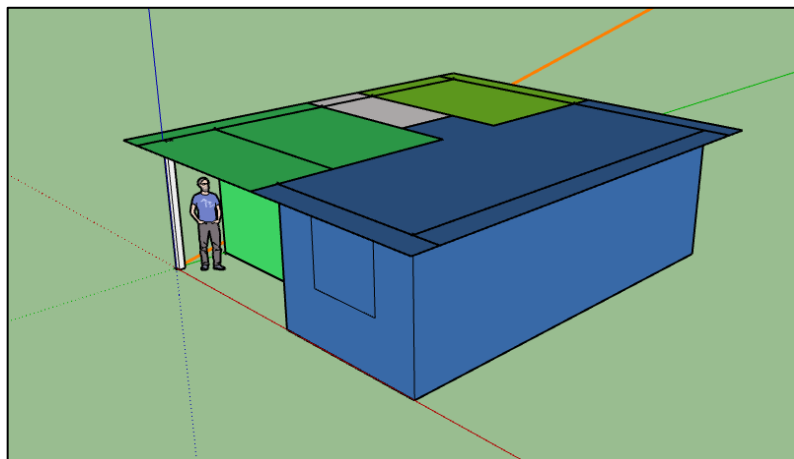
Figura A.2 — Modelagem tridimensional da unidade habitacional.



Fonte: Autoria própria (2020).

Após esse processo foram definidas as quatro zonas térmicas (Figura A.3), correspondentes aos cômodos: zona 1 - sala/cozinha (cor azul), zona 2 - banheiro (cor branca), zona 3 - dormitório 02 (cor verde claro) e zona 4 - dormitório 01 (cor verde escuro).

Figura A.3 – Zonas térmicas definidas no SketchUp.



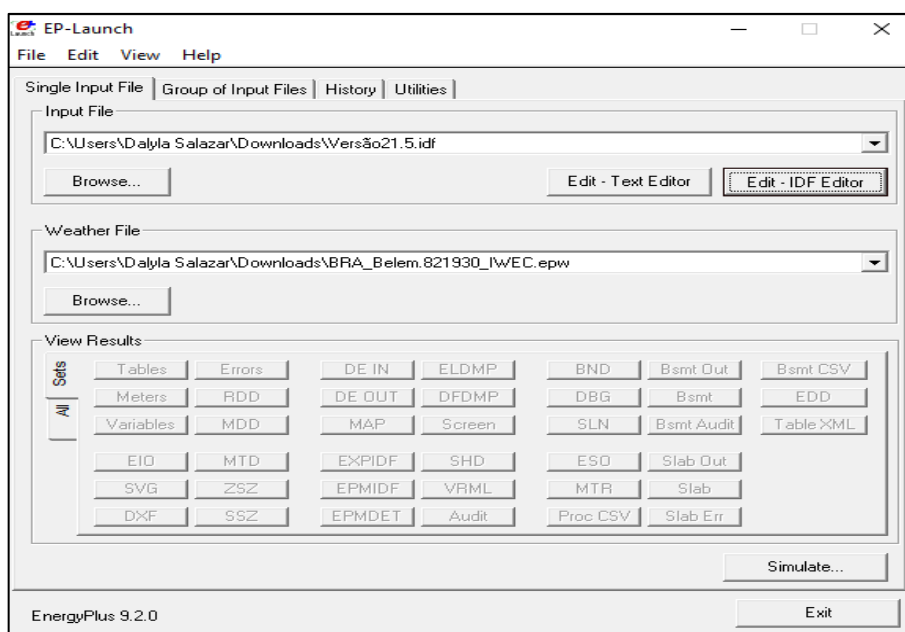
Fonte: Autoria própria (2020).

Vale ressaltar que a zona 2, correspondente ao ambiente banheiro (representada pela cor branca), não foi considerada para análise devido não ser um ambiente de longa permanência. O modelo foi construído com todas as coberturas horizontais para facilitar a entrada de dados e foi inserido um beiral referente à cobertura na forma de dispositivo de sombreamento da parte externa para a residência.

a) simulação térmica

A calibração do modelo computacional foi realizada de forma manual, levando em consideração alguns parâmetros de entrada na interface de lançamento do programa *EnergyPlus*, denominada de *EP-launch*, representada na Figura A.4.

Figura A.4 – Interface de lançamento do programa.



Fonte: Autoria própria (2020).

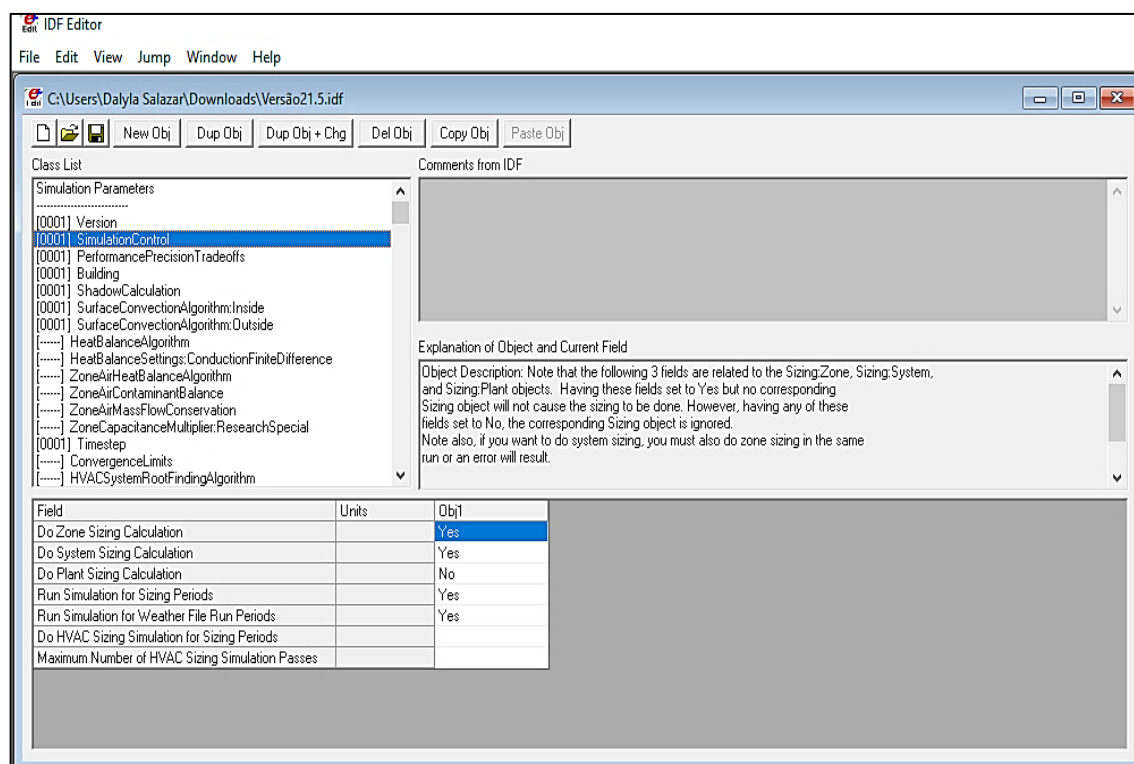
Inicialmente foi introduzido no campo *Single Input File* o modelo computacional 3D, modelado no programa *SketchUp* e exportado no formato IDF para o *software EnergyPlus*. No campo *Weather File* foi exportado como base o arquivo climático da cidade de Belém no formato TRY (Typical Meteorological Year), diante da inexistência de dados normativos para a cidade de Tucuruí-PA. Este arquivo foi obtido do site LabEEE (Laboratório de eficiência energética em Edificações) e inclui informações básicas como localização (Belém), latitude (-1,22) e longitude (-48,8), além de condições extremas (máximos e mínimos) e temperaturas do solo.

O campo *Edit - IDF Editor* nos leva ao grupo *Simulation Parameters*, que por sua vez divide-se em vários grupos de variáveis e subdivide-se em vários outros campos específicos, onde foi feita a calibração para a simulação de acordo com as características da edificação em estudo.

b) grupo *Simulation Parameters*: campo *Simulation Control*

O campo *Simulation Control* (Figura A.5) permite definir o período de simulação. Para tal, foi definido executar a simulação para o período de dimensionamento e para o período do arquivo climático inserido.

Figura A.5 – Campo *Simulation Control*.

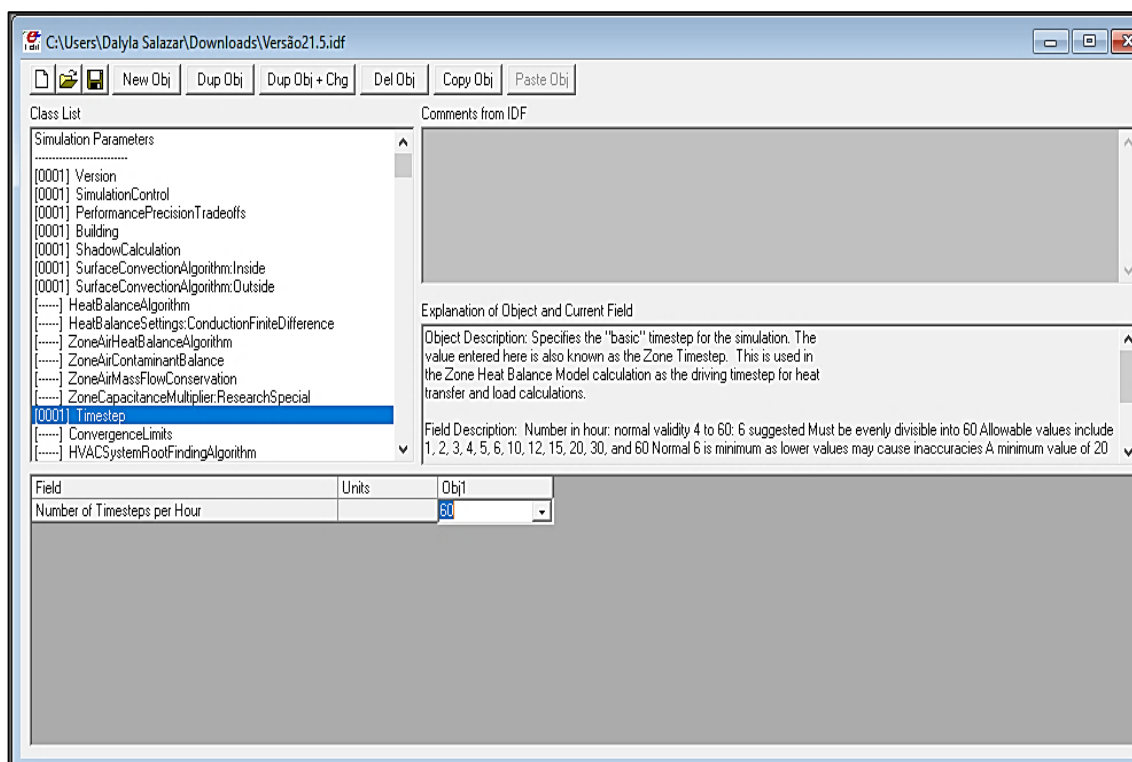


Fonte: Autoria própria (2020).

c) grupo *Simulation Parameters*: campo *Timestep*

Este campo (Figura A.6) permite estipular o tempo de apresentação dos resultados. Definiu-se que o cálculo seria em intervalos de tempo de 1 em 1 hora, logo foi selecionado 60 minutos.

Figura A.6 – Campo *Timestep*.

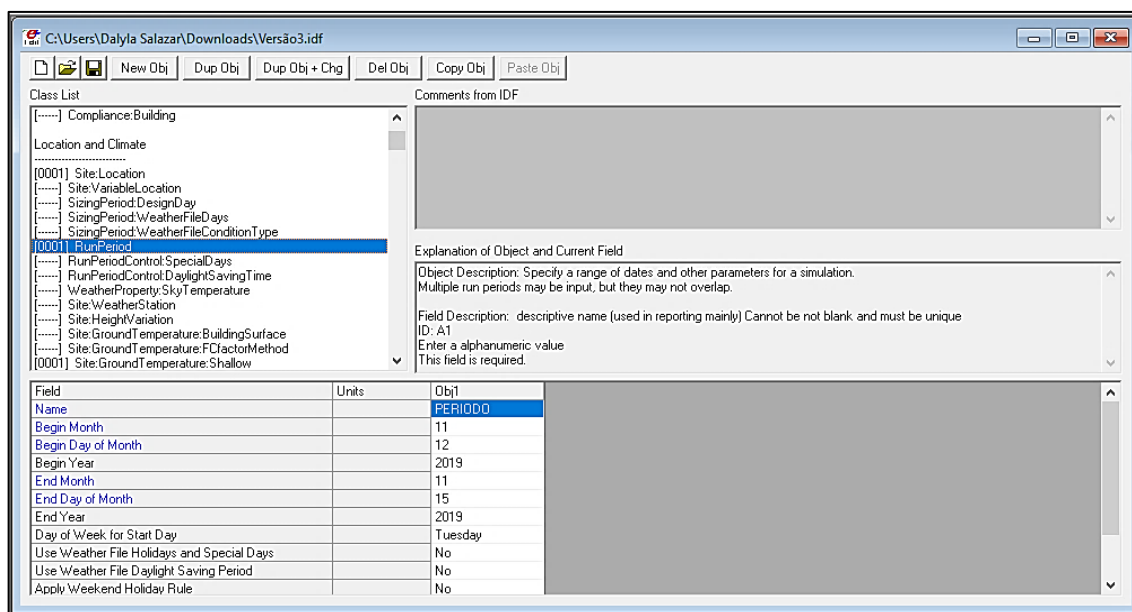


Fonte: A autoria própria (2020).

d) grupo *Location and Climate*: campo *Run Period*

Neste campo (Figura A.7), define-se o dia e mês em que começa e termina o período para a simulação. A simulação será em um tempo pré-definido, referente aos quatro dias em que foram aferidas as temperaturas da unidade habitacional. Diante disto, definiu-se o início no dia 12 de novembro e término no dia 15 de novembro de 2019.

Figura A.7 – Campo *Run Period*.

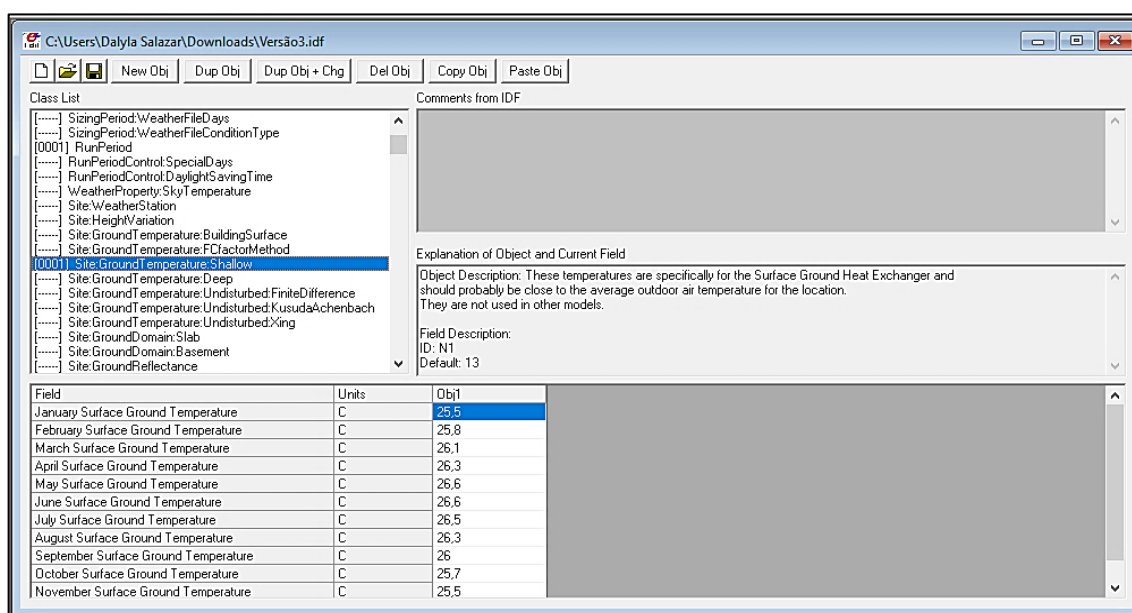


Fonte: Autoria própria (2020).

e) grupo *Location and Climate*: campo *Ground Temperature – Shallow*

Neste campo (Figura A.8) são adicionadas as temperaturas do solo para cada mês do ano. As temperaturas adicionadas para a simulação foram do arquivo climático da cidade de Belém, consideradas a 0,5 m abaixo do solo.

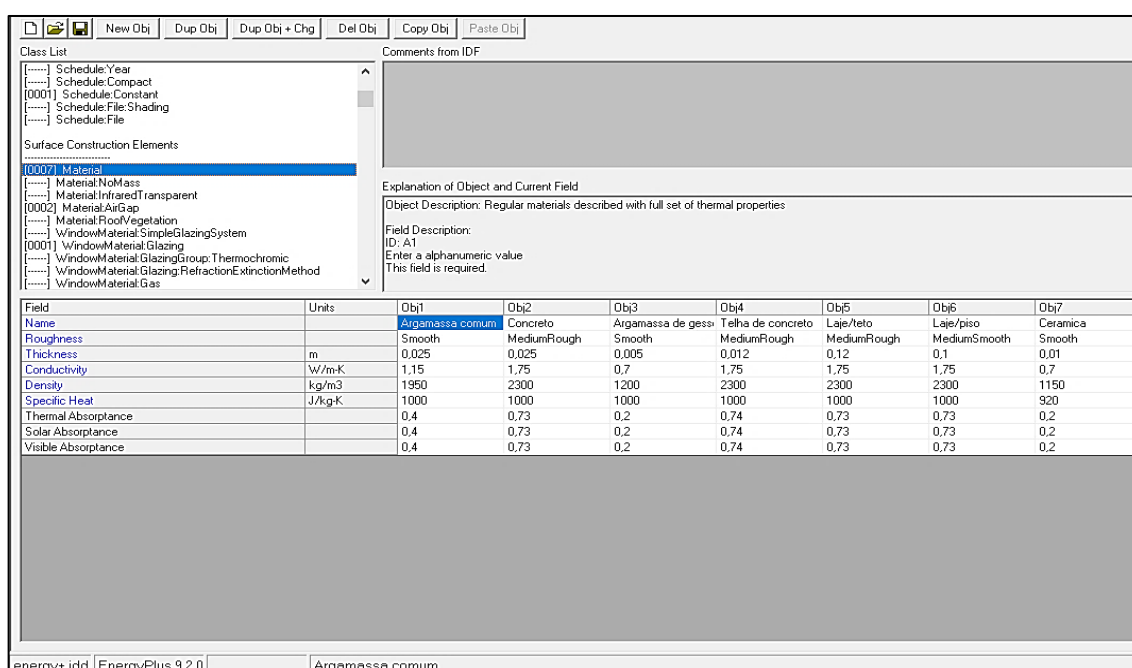
Figura A.8 – Campo *Ground Temperature: Shallow*.



Fonte: Autoria própria (2020).

f) grupo *Surface Construction Elements*: campo *Material*

Neste campo (Figura A.9) foi introduzido todos os materiais constituintes de cada elemento estrutural (paredes, pisos, cobertura e janelas), assim como suas espessuras e o tipo de rugosidade da superfície de contato de cada material mostrado na Tabela A.1. As propriedades térmicas adotadas para os materiais foram retiradas da ABNT NBR 15220-2:2005b.

Figura A.9 – Campo *Material*.


Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Argamassa comum	Concreto	Argamassa de gesso	Telha de concreto	Laje/teto	Laje/piso	Ceramica
Roughness		Smooth	MediumRough	Smooth	MediumRough	MediumRough	MediumSmooth	Smooth
Thickness	m	0,025	0,025	0,005	0,012	0,12	0,1	0,01
Conductivity	W/m-K	1,15	1,75	0,7	1,75	1,75	1,75	0,7
Density	kg/m3	1950	2300	1200	2300	2300	2300	1150
Specific Heat	J/kg-K	1000	1000	1000	1000	1000	1000	920
Thermal Absorptance		0,4	0,73	0,2	0,74	0,73	0,73	0,2
Solar Absorptance		0,4	0,73	0,2	0,74	0,73	0,73	0,2
Visible Absorptance		0,4	0,73	0,2	0,74	0,73	0,73	0,2

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela A.1 – Propriedade dos materiais conforme ABNT NBR 15220-2.

Nome	Rugosidade	Espessura (m)	Condutividade W/m.k	Densidade Kg/m ³	Calor específico J/m.k	Absortância térmica
Argamassa comum	Lisa	0,025	1,15	1950	1000	0,4
Concreto	Média	0,025	1,75	2300	1000	0,73
Argamassa de gesso	Lisa	0,005	0,7	1200	840	0,2
Telha de concreto	Média	0,012	1,75	2300	1000	0,74
Laje/teto	Média	0,12	1,75	2300	1000	0,73
Laje/piso	Média	0,1	1,75	2300	1000	0,73
Cerâmica	Lisa	0,01	0,7	1150	920	0,2

Fonte: Autoria própria (2020).

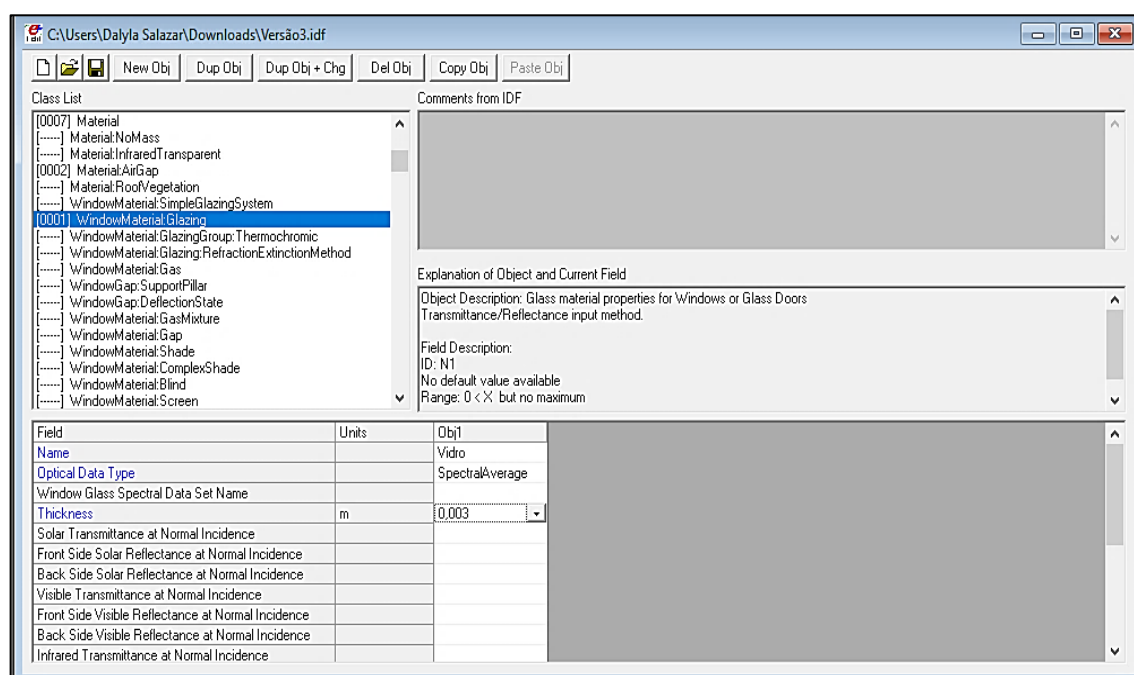
g) grupo *Surface Construction Elements*: campo *Material – Air Gap*

Aqui são definidos os espaços de ar presentes nas paredes, pavimentos e cobertura. Assim sendo, introduziu-se dois objetos, a câmara de ar presente na parede (bloco de concreto vazado) e na cobertura (espaço entre o telhado e o forro), sendo as suas resistências térmicas respectivamente $0,17 \text{ m}^2\cdot\text{k}/\text{w}$ e $0,21 \text{ m}^2\cdot\text{k}/\text{w}$.

h) grupo *Surface Construction Elements*: campo *Window Material – Glazing*

Neste campo, mostrado na Figura A.10, foi definido o tipo de material da janela (vidro), e a espessura do mesmo (0,003 m).

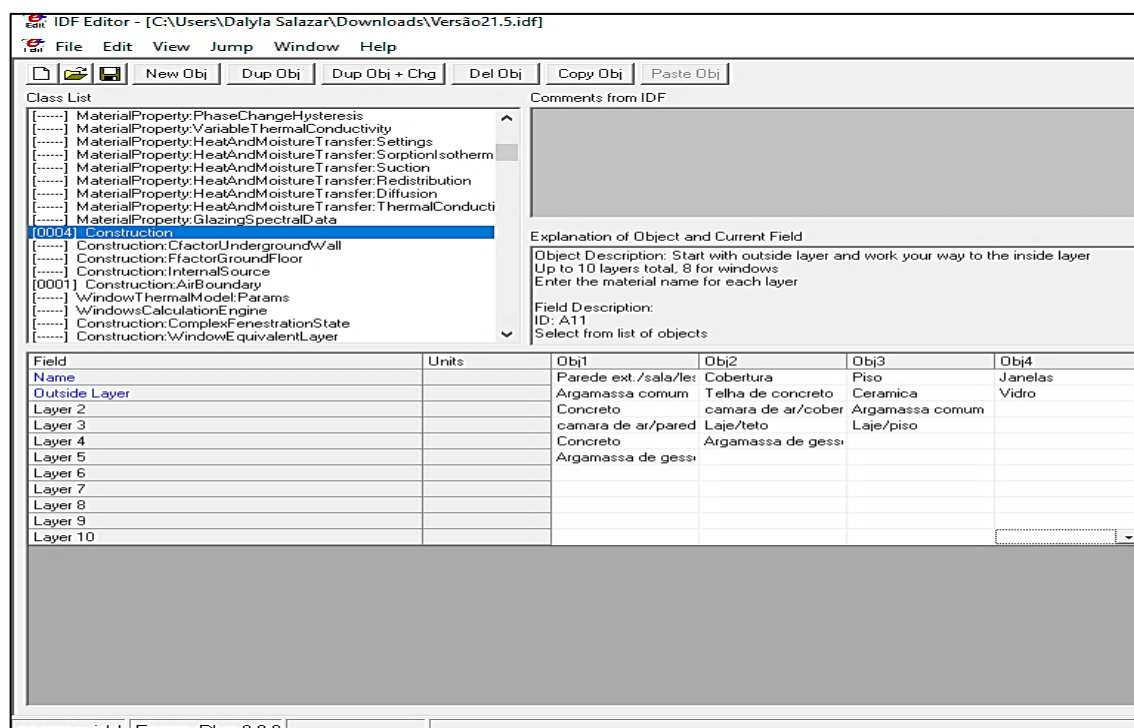
Figura A.10 — Campo *Window Material: Glazing*.



Fonte: Autoria própria (2020).

i) grupo *Surface Construction Elements*: campo *Construction*

Neste campo (Figura A.11) foi definida a constituição das paredes, do piso, da cobertura e das janelas, dos materiais anteriormente introduzidos. Também foram separados todos elementos por camadas (*layers*), listando-as do exterior para o interior em no máximo 10 camadas, respeitando o limite do programa, conforme a Tabela A.2.

Figura A.11 – Campo *Construction*.

Fonte: Autoria própria (2020).

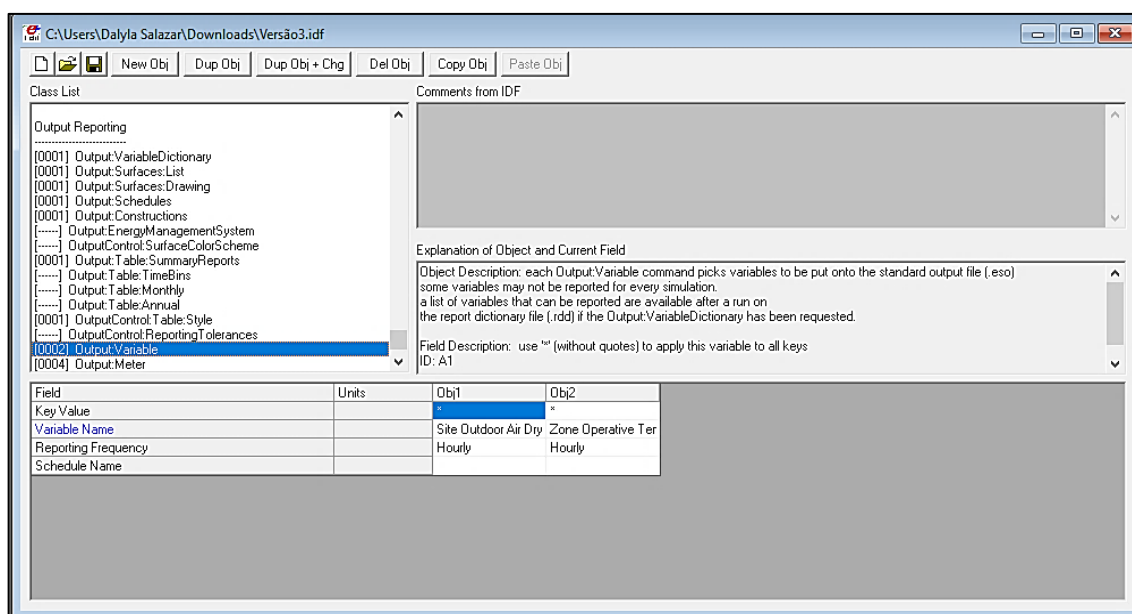
Tabela A.2 – Camadas dos materiais do exterior pra o interior.

Parede (camadas)	Cobertura (camadas)	Piso (camadas)	Janela (camadas)
Argamassa comum	Telha de concreto	Cerâmica	Vidro
Concreto	Câmara de ar	Argamassa Comum	
Câmara de ar	Laje/teto	Laje/piso	
Concreto	Argamassa de gesso		
Argamassa de gesso			

Fonte: Autoria própria (2020).

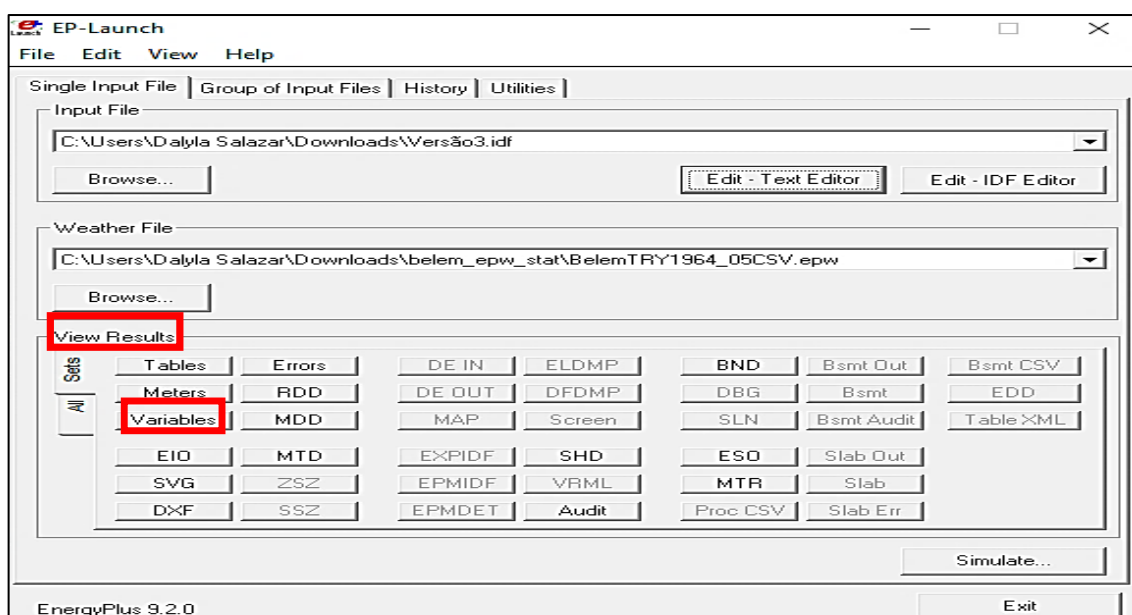
j) grupo *Surface Construction Elements*: campo *Output – Variable*

Neste campo (Figura A.12), são escolhidos os tipos de variáveis que se deseja obter como resultados. Neste estudo as variáveis foram: temperatura interna e externa da superfície das paredes, temperatura das zonas e temperatura do ar externa.

Figura A.12 – Campo *Output: Variable*.

Fonte: A autoria própria (2020).

Introduzidos os dados necessários à simulação, já como indicado o ficheiro climático e de modelagem adicionados na interface, procedeu-se a simulação. Uma vez finalizada, o programa retorna a interface inicial *EP-launch*, onde se é possível acessar os resultados da simulação no campo *View Results*, que gera uma série de resultados de acordo com a necessidade de estudo, como mostra a Figura A.13.

Figura A.13 – Interface de lançamento do programa, campo *View Results*.

Fonte: A autoria própria (2020).

E por fim no campo *Variables*, foi possível obter os dados solicitados. Vale ressaltar, que o programa *EnergyPlus* permite fazer uma definição minuciosa de todo tipo de equipamentos que alimentam as diversas zonas, cargas internas a que estas estão sujeitas, interligação entre vários equipamentos e etc. No entanto, foi considerado somente as condições verdadeiras em que a unidade habitacional se encontrava durante o processo de medição: sem ocupação, equipamentos e energia elétrica.

APÊNDICE B – Temperaturas das superfícies das paredes de blocos de concreto obtidas na simulação computacional

Tabela B. 1 – Temperaturas das superfícies das paredes de blocos de concreto.

Horário	Zona 1 (Sala/Cozinha)		Zona 3 (Dormitório 02)		Zona 4 (Dormitório 01)		Temperatura externa
	Parede Leste		Parede Oeste		Parede Oeste		
	Superfície interna	Superfície externa	Superfície interna	Superfície externa	Superfície interna	Superfície externa	
01:00	27,42	26,72	27,54	26,96	27,61	26,98	28,59
02:00	26,94	26,32	27,06	26,51	27,13	26,54	28,15
03:00	26,5	25,91	26,62	26,06	26,69	26,09	27,75
04:00	26,1	25,49	26,2	25,61	26,27	25,64	27,25
05:00	25,7	25,06	25,81	25,16	25,88	25,2	26,8
06:00	25,32	24,69	25,43	24,75	25,49	24,78	26,55
07:00	25,02	27,16	25,06	24,59	25,13	24,62	26,35
08:00	25,28	31,57	24,77	24,88	24,83	24,91	26,3
09:00	26,31	35,68	24,62	25,77	24,68	25,8	28,23
10:00	27,85	38,09	24,72	27,3	24,77	27,33	31,02
11:00	29,38	37,79	25,12	28,83	25,17	28,85	32,71
12:00	30,42	36,61	25,74	30,19	25,78	30,21	33,76
13:00	30,94	35,74	26,48	31,22	26,52	31,23	34,46
14:00	31,16	35,37	27,23	32,08	27,25	32,08	35,41
15:00	31,27	35,43	27,99	34,55	27,99	34,56	36,1
16:00	31,38	35,16	28,99	37,07	28,99	37,07	34,68
17:00	31,42	34,29	30,15	38,31	30,15	38,3	33,3
18:00	31,3	32,83	31,15	36,61	31,16	36,61	32,48
19:00	30,95	31,43	31,47	33,33	31,51	33,34	31,35
20:00	30,43	30,35	31,09	31,43	31,16	31,44	30,29
21:00	29,83	29,32	30,42	30,15	30,51	30,17	29,5
22:00	29,19	28,42	29,69	29,13	29,79	29,16	29,3
23:00	28,53	27,88	28,99	28,44	29,1	28,47	28,8
00:00	27,98	27,33	28,35	27,78	28,46	27,81	28,3

Fonte: Autoria própria (2020).

APÊNDICE C — Temperaturas das zonas térmicas modeladas na unidade habitacional em paredes de blocos de concreto obtidas na simulação computacional

Tabela C.1 — Temperaturas das zonas térmicas modeladas na unidade habitacional.

Horário	Zona 1 (Sala/Cozinha) Temperatura interna (°C)	Zona 3 (Dormitório 02) Temperatura interna (°C)	Zona 4 (Dormitório 01) Temperatura interna (°C)	Temperatura externa (°C)
01:00	28,09	27,81	27,96	28,59
02:00	27,75	27,52	27,68	28,15
03:00	27,42	27,24	27,39	27,75
04:00	27,09	26,97	27,11	27,25
05:00	26,78	26,7	26,83	26,8
06:00	26,48	26,44	26,56	26,55
07:00	26,21	26,19	26,31	26,35
08:00	28,06	27,98	28,08	26,3
09:00	28,25	27,89	27,98	28,23
10:00	28,85	28	28,08	31,02
11:00	29,54	28,32	28,38	32,71
12:00	32,14	30,74	30,78	33,76
13:00	32,61	31,18	31,19	34,46
14:00	32,98	31,61	31,6	35,41
15:00	33,27	32	31,97	36,1
16:00	33,53	32,39	32,35	34,68
17:00	33,27	32,79	32,8	33,3
18:00	31,96	31,11	31,23	32,48
19:00	29,92	29,23	29,44	31,35
20:00	29,7	29,11	29,37	30,29
21:00	29,38	28,88	29,16	29,5
22:00	29,04	28,61	28,89	29,3
23:00	28,67	28,32	28,58	28,8
00:00	28,3	28,02	28,28	28,3

Fonte: Autoria própria (2020).