



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

MARLON BRAGA DOS SANTOS  
VANESSA DA CONCEIÇÃO DE SOUZA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS RESIDÊNCIAS  
CONSTRUÍDAS EM PAREDES DE CONCRETO: UM ESTUDO DE  
CASO DO CONJUNTO HABITACIONAL VIVACIDADE – TUCURUÍ –  
PA**

TUCURUÍ – PA  
2015

MARLON BRAGA DOS SANTOS  
VANESSA DA CONCEIÇÃO DE SOUZA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS RESIDÊNCIAS CONSTRUÍDAS EM  
PAREDES DE CONCRETO: UM ESTUDO DE CASO DO CONJUNTO  
HABITACIONAL VIVACIDADE – 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<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fernanda Pereira Gouveia.

TUCURUÍ – PA  
2015

MARLON BRAGA DOS SANTOS  
VANESSA DA CONCEIÇÃO DE SOUZA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS RESIDÊNCIAS CONSTRUÍDAS EM  
PAREDES DE CONCRETO: UM ESTUDO DE CASO DO CONJUNTO  
HABITACIONAL VIVACIDADE - 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 Para.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fernanda Pereira Gouveia.

Tucuruí, 15 de dezembro de 2015.

Aprovado por:

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fernanda Pereira Gouveia (FEC – UFPA)  
Orientadora

---

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Aarão Ferreira Lima Neto (FEC – UFPA)  
Examinador interno

---

Prof<sup>o</sup>. MSc. Jessé Luís Padilha (FEM – UFPA)  
Examinador interno

## DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aos nossos familiares e amigos e, em especial, ao pequeno João Henrique.

## AGRADECIMENTOS DE MARLON SANTOS

Como não poderia deixar de ser, agradeço primeira e primordialmente ao Senhor Deus, a Ele toda honra e toda glória, agora e para sempre.

Aos meus pais, por todo carinho e dedicação, por estarem ao meu lado sempre, não apenas incentivando, mas também acreditando como ninguém em minha capacidade. Maria e Dinaldo, vocês são as pessoas mais importantes da minha vida, obrigado por constituírem minha fundação, eu não seria nada sem a educação e disciplina que vocês repassaram a mim.

Aos demais familiares, em especial minhas irmãs Dayara e Silvia, vocês fazem parte de mim, obrigado por todo amor e carinho, sentimentos que sempre posso buscar em vocês.

Aos amigos que conquistei na infância e que preservo até hoje (Taís, Christian, Andreza, Francisca), além daqueles conquistados ao longo de minha vida escolar (Thiara e Cia.) é muito bom saber que posso contar com vocês sempre, para continuamente me fazer mais feliz e aproveito para dizer que estar ao lado de vocês me faz extremamente bem. Ao meu parceiro Matheus, por todo o apoio, suporte e compreensão nos momentos essenciais dessa jornada.

Aos meus amigos do Banco da Amazônia, Agência Tomé-Açu, vocês embasaram minha carreira profissional. Mesmo seguindo por um ramo tão distinto, a ética, disciplina e profissionalismo adquiridos com vocês, sempre estarão presentes em mim. Obrigado pelo apoio constante.

Aos colegas de faculdade (independente da turma) pelo companheirismo, trocas de conhecimentos e convivência amistosa ao longo de cinco anos, espero que todos sejam excelentes profissionais.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnologia, pela concessão de bolsa no âmbito do Programa Ciência sem Fronteiras, pela oportunidade de ampliar meus conhecimentos acadêmicos, assim como proporcionar uma experiência fantástica e pelas pessoas incríveis que conheci em terras lusitanas.

À Universidade do Algarve (UAAlg) pela excelente acolhida, aos professores pelo conteúdo repassado, pela paciência e empenho em suas funções acadêmicas.

À minha parceira neste trabalho (Vanessa), ela fez parte de minha jornada acadêmica desde o princípio, companheira em diversas pesquisas e projetos. Obrigado pela parceria intelectual e também pelos diversos conselhos e até mesmo broncas, elas foram essenciais para meu amadurecimento profissional e pessoal.

À Universidade Federal do Pará – Campus Tucuruí, sua direção e colaboradores em geral pela oportunidade ofertada, pelo esforço e trabalho árduo para que essa trajetória em busca do conhecimento científico e cultural se concretizasse. Ao corpo docente da Faculdade de Engenharia Civil, digo que a palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados, os quais, sem citar nomes, terão os meus sinceros agradecimentos.

À professora e orientadora Fernanda Gouveia, pela dedicação e empenho, suas revisões, sugestões e correções na elaboração deste trabalho. Assim como os colaboradores do Conjunto Habitacional Vivacidade e à arquiteta MSc. Heliana Aguiar, pela assistência e apoio durante a realização da pesquisa.

À Eletrobras Eletronorte, na figura do senhor Walter Raleigh Benchimol da Rocha, pelo estágio ofertado, o qual foi essencial para meu aprendizado, por ampliar meus horizontes e para a compreensão da dinâmica do mercado de trabalho. Agradeço também ao senhor Luiz Carvalho, pelo aprendizado em campo, nas diversas visitas às obras.

À todos que direta ou indiretamente contribuíram para a pesquisa, seja com sugestões ou até mesmo com palavras de incentivo as quais me deram forças para concluí-la.

## AGRADECIMENTOS DE VANESSA SOUZA

Primeiramente a Deus por guiar meus passos, iluminar meus caminhos e me fortalecer nos momentos em que eu quis desanimar.

Ao meu pai que sempre teve muito orgulho dos meus passos, que sempre sorriu e chorou comigo, que para ele eu já era engenheira desde o dia em que passei no vestibular. Pai, sei que aí pertinho de Deus, vai estar feliz com essa minha vitória, obrigada pela força que me manda todos os dias. Saudades, te amo.

À minha linda mãe que sempre me apoiou, me ajudou, me deu a mão e me incentivou a nunca desistir dos meus sonhos. Minha heroína, te amo muito.

Às minhas irmãs e sobrinhas que são minha base, minha alegria, meus sorrisos todos os dias. Vocês fazem a diferença em minha vida.

Ao meu filho, minha força, meu refúgio, minha razão e emoção. Tão pequenino, é minha maior inspiração.

Ao meu companheiro Pedro, por esses 10 anos de amizade e parceria e pela divisão de todas nossas conquistas juntos.

À nossa orientadora Doutora Fernanda Gouveia por sua disposição em sempre nos ajudar, pelas reuniões de orientação, e pela franqueza no desenvolvimento deste trabalho. Ensinamentos que levarei pela vida toda.

Ao meu parceiro de TCC e de vida Marlon, que sempre me incentivou e me ajudou, e que é um exemplo de profissional e de pessoa, teu sucesso é visível e certo. Obrigada por tudo amigo.

À todos os colaboradores da TechCasa, em especial ao Eng. Marcos e aos funcionários Luan e Roberto que não mediram esforços para nos ajudar quando precisamos.

À Universidade Federal do Pará, aos professores e colegas de curso, por todos os ensinamentos e trocas de experiências durante essa jornada, serão lembranças e momentos que levarei para a vida toda.

## RESUMO

O presente trabalho busca avaliar o desempenho térmico das edificações construídas com paredes de concreto armado moldadas in loco no Conjunto Habitacional Vivacidade – CHV, em Tucuruí – PA, com o intuito de verificar a conformidade com as normas de desempenho vigentes em território nacional. Além disso, procedeu-se uma análise comparativa entre o sistema de vedação empregado no estudo de caso e o sistema convencional típico da região (alvenaria com blocos cerâmicos), a fim de fornecer subsídios para a escolha de soluções construtivas em futuros projetos no município. A metodologia adotada consistiu na execução dos três métodos de avaliação de desempenho térmico recomendados pela NBR 15575:2013: simplificado, com a análise das propriedades térmicas dos materiais que compõem as paredes externas e a cobertura das habitações do CHV, comparando-as com as referências normativas; informativo, baseado na execução de medições de temperatura e umidade relativa do ar em uma unidade habitacional representativa, no período típico de verão; normativo, com realização de simulação computacional por meio do software EnergyPlus da habitação estudo de caso e outra com paredes de alvenaria. Com base nos métodos informativo e simplificado constatou-se que o comportamento térmico da unidade habitacional foi insatisfatório, uma vez que esta não se adequa ao critério de desempenho mínimo estabelecido pela NBR 15575:2013. A partir de uma análise minuciosa dos resultados auferidos na simulação computacional, observou-se que os valores da temperatura interna e externa são numericamente bastante próximos, o que implica em uma avaliação de desempenho satisfatória no limite especificado pelo critério normativo para os dois casos simulados. Ao final das análises pelos três métodos indicados pela norma de desempenho, pode-se inferir que o método a ser considerado como conclusivo é o normativo (realizado pela simulação computacional). Além disso, o sistema de vedação não exerceu grande influência sobre o comportamento térmico global da residência avaliada, sendo que as paredes de concreto proporcionaram desempenho térmico ligeiramente superior em relação ao sistema constituído por blocos cerâmicos para vedação. Logo, conclui-se que o sistema de vedação com paredes de concreto pode ser aplicado na região em estudo, contanto que adequem-se os projetos às condições climáticas locais.

**Palavras-chave:** paredes de concreto, sistemas de vedação, desempenho térmico, análise computacional.

## ABSTRACT

The present work seeks to evaluate the thermal performance of buildings constructed with reinforced concrete walls cast in situ at the Vivacidade housing estate in Tucuruí- PA, with the purpose of checking compliance with the Brazilian codes. We also performed comparative analysis between the sealing system used in the case study and the system traditionally used (masonry with ceramic blocks), providing subsidies for the choice of constructive solutions for projects in the region in the future. The chosen method consisted of the execution of three types of evaluation method recommended by NBR 15575:2013: simplified, analysis of thermal properties of the materials that make up the external walls and the roof of the houses at the Vivacidade housing estate, referencing them against the Brazilian code; informative, based on temperature and relative air humidity measurements in a representative housing unit, at a typical summer period; normative, performing computer simulation using Energy Plus software, which included one study case housing units and another housing unit with masonry walls.. Based on the informative and simplified methods, it was found that the housing unit thermal behavior was unsatisfactory, since this does not meet the minimum performance criteria established by the NBR 15575:2013. From the analysis of computer simulation results studied in great detail, it was clear that the values of internal and external temperature are numerically quite similar. This implies that the performance was satisfactory in both simulated cases in regards to the normal codes. At the end of the analysis of the three methods according to the performance codes, it can be concluded that the method to be regarded as conclusive is the normative method (performed by computer simulation). Furthermore, the sealing system does not exert a great influence on the thermal behavior, considering that the concrete walls have provided slightly higher thermal performance in relation to the system composed of ceramic blocks to seal. Therefore, it was concluded that the sealing system using concrete walls can be used in the study case region, as long as the projects are designed according to the climate conditions in the area.

Keywords: concrete walls, sealing systems, thermal performance, computational analysis.

**LISTA DE FOTOGRAFIAS**

Fotografia 2.1 – Residência unifamiliar com vedações em concreto armado.....	6
Fotografia 2.2 – Obras de construção dos condomínios residenciais Sol e Mar I e II, em Ilhéus-BA.....	9
Fotografia 2.3 – Instalações hidrossanitárias e elétricas embutidas à fundação.....	13
Fotografia 2.4 – Tela soldada e instalações elétricas posicionadas (a) e detalhe do posicionamento do espaçador (b).....	14
Fotografia 2.5 – Sistema de formas plásticas (a), metálicas (b) e metálicas e compensado (c).....	15
Fotografia 2.6 – Aspecto superficial de paredes de concreto após desforma.....	17
Fotografia 3.1 – Termômetro de globo (a) e termo higrômetro digital (b).....	46
Fotografia 3.2 – Fachada da residência monitorada.....	47
Fotografia 3.3 – Sensor posicionado sobre cavalete.....	48
Fotografia 4.1 – Visão geral do empreendimento.....	57

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	28
Figura 2.2 – Carta bioclimática de Givone esquematizada.....	29
Figura 2.3 – Carta climatológica de Givoni adaptada ao Brasil.....	29
Figura 2.4 – Carta Bioclimática da cidade de Tucuruí.....	31
Figura 2.5 – Recomendações e estratégias para edificações na cidade de Tucuruí.....	32
Figura 2.6 – Trocas térmicas da edificação com o meio.....	34
Figura 3.1 – Posicionamento de sensores no interior da edificação.....	47
Figura 3.2 – Croqui em 3D da unidade habitacional e zonas térmicas simuladas.....	53
Figura 4.1 – Vista aérea de Tucuruí e localização do CHV.....	56
Figura 4.2 – Implantação por fases do CHV, em planta, sem escala.....	57
Figura 4.3 – Planta baixa de habitação do tipo T-2 (à esquerda) e de habitação do tipo T-3 (à direita), escala não indicada.....	58

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 – Tipos de concreto utilizados em obras nacionais.....	16
Gráfico 4.1 – Temperaturas médias mensais em Tucuruí – PA.....	60
Gráfico 4.2 – Precipitações médias mensais em Tucuruí – PA.....	61
Gráfico 4.3 – Temperaturas do ar no interior dos ambientes da residência e exterior no dia 30/09/2015.....	65
Gráfico 4.4 – Temperaturas do ar no interior dos ambientes da residência e exterior no dia 01/10/2015.....	66
Gráfico 4.5 – Temperaturas do ar no interior dos ambientes da residência e exterior no dia 02/10/2015.....	66
Gráfico 4.6 – Temperatura e umidade relativa do ar na sala no dia 02/10/2015.....	68
Gráfico 4.7 – Temperatura e umidade relativa do ar no dormitório Q <sub>1</sub> no dia 02/10/2015.....	69
Gráfico 4.8 – Temperatura e umidade relativa do ar no dormitório Q <sub>2</sub> no dia 02/10/2015.....	69
Gráfico 4.9 – Temperaturas internas e externas para residência com paredes de concreto.....	71
Gráfico 4.10 – Sala: temperaturas simuladas e medidas no local.....	72
Gráfico 4.11 – Dormitório Q <sub>1</sub> : temperaturas simuladas e medidas no local.....	72
Gráfico 4.12 – Dormitório Q <sub>2</sub> : temperaturas simuladas e medidas no local.....	73
Gráfico 4.13 – Temperaturas internas e externas para residência com paredes de alvenaria com blocos cerâmicos.....	74
Gráfico 4.14 – Temperatura superficial interna e externa de parede de concreto orientada para o leste.....	75

Gráfico 4.15 – Temperatura superficial interna e externa de parede de concreto orientada para o oeste.....	76
Gráfico 4.16 – Temperatura da superfície interna e externa de parede de alvenaria orientada para o leste.....	77
Gráfico 4.17 – Temperatura da superfície interna e externa de parede de alvenaria orientada para o oeste.....	78

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 2.1 – Comparativo entre os principais sistemas estruturais.....	12
Quadro 2.2 – Resumo dos principais conceitos e recomendações da NBR 16055:2012.....	18
Quadro 2.3 – Resistência térmica superficial interna e externa.....	24
Quadro 2.4 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.....	35
Quadro 4.1 – Características construtivas das habitações do CHV.....	59
Quadro 4.2 – Análise do desempenho térmico pelo método de medição.....	70
Quadro 4.3 – Análise do desempenho térmico de paredes de concreto pelo método normativo.....	72
Quadro 4.4 – Análise do desempenho térmico de paredes de alvenaria com blocos cerâmicos pelo método normativo.....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas).....	21
Tabela 2.2 – Condutividade térmica de alguns materiais, conforme sua densidade de massa aparente.....	22
Tabela 2.3 – Relatório da média anual de porcentagem das horas por desconforto.....	31
Tabela 2.4 – Valores admissíveis de transmitância e capacidade térmica de paredes externas.....	36
Tabela 2.5 – Valores mínimos de ventilação em dormitórios e salas de estar.....	37
Tabela 2.6 – Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica.....	38
Tabela 3.1 – Propriedades térmicas dos materiais construtivos (paredes e sistema de cobertura).....	44
Tabela 3.2 – Dados técnicos dos aparelhos utilizados.....	46
Tabela 3.3 – Tabela modelo para registro de dados.....	48
Tabela 3.4 – Propriedades térmicas dos materiais construtivos para paredes de blocos cerâmicos.....	51
Tabela 3.5 – Coordenadas geográficas e dados de dias típicos de verão para Belém – PA.....	54
Tabela 4.1 – Valores de resistência térmica ( $R_T$ ), transmitância térmica ( $U$ ), capacidade térmica ( $C_T$ ), atraso térmico ( $\phi$ ) e fator solar das vedações.....	59
Tabela 4.2 – Valores de resistência térmica ( $R_T$ ), transmitância térmica ( $U$ ), capacidade térmica ( $C_T$ ), atraso térmico ( $\phi$ ) e fator solar do sistema de cobertura.....	60
Tabela 4.3 – Valores de resistência térmica ( $R_T$ ), transmitância térmica ( $U$ ), capacidade térmica ( $C_T$ ), atraso térmico ( $\phi$ ) e fator solar para paredes com blocos cerâmicos.....	62

Tabela 4.4 – Desempenho das paredes externas de acordo com o critério da transmitância térmica (U).....	62
Tabela 4.5 – Desempenho das paredes externas de acordo com o critério de aberturas para ventilação.....	63
Tabela 4.6 – Desempenho da cobertura de acordo com o critério de transmitância térmica (U).....	64
Tabela 4.7 – Valores máximos, médios e mínimos para o ar exterior no período de medição.....	64
Tabela 4.8 – Valores da temperatura do solo (°C) para a cidade de Belém – PA.....	70
Tabela 4.9 – Temperaturas nas zonas térmicas para os sistemas construtivos em análise.....	78

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABESC	Associação Brasileira de Serviços de Concretagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
<i>apud</i>	Citado por, segundo
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers</i>
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CDHU	Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano
CEF	Caixa Econômica Federal
CHV	Conjunto Habitacional Vivacidade
ECP	<i>European Concrete Platform</i>
<i>et al</i>	e outros
HVAC	<i>Heating, Ventilating and Air Conditioning</i>
IBTS	Instituto Brasileiro de Telas Soldadas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IWEC	<i>International Weather for Energy Calculations</i>
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
NBR	Norma Brasileira
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PNH	Política Nacional de Habitação
PROCEL	Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica
PVC	Policloreto de vinila
OMM	Organização Meteorológica Mundial
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SNHIS	Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social
TRY	<i>Test Reference Year</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
WBGT	Temperatura Global com Termômetro Úmido

**LISTA DE SÍMBOLOS**

mm	Milímetro
cm	Centímetro
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
h	Hora
%	Porcentagem
f <sub>ck</sub>	Resistência característica do concreto à compressão
°C	Grau Celsius
°K	Grau Kelvin
J	Joule
W	Watts
ρ	Densidade específica aparente
λ	Condutividade térmica
φ	Atraso térmico
α	Absortância à radiação solar
ε	Emissividade
R <sub>ar</sub>	Resistência térmica do ar
R <sub>t</sub>	Resistência térmica de superfície a superfície
R <sub>T</sub>	Resistência térmica de ambiente a ambiente
R <sub>se</sub>	Resistência superficial externa
R <sub>si</sub>	Resistência superficial interna
τ	Transmitância à radiação solar
T <sub>i</sub>	Temperatura interna
T <sub>e</sub>	Temperatura externa
A <sub>p</sub>	Área de piso
A <sub>A</sub>	Área de aberturas
A	Área de ventilação
FV	Fator de ventilação

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	3
1.1.1 Objetivo Geral.....	3
1.1.2 Objetivos específicos .....	3
1.2 JUSTIFICATIVA .....	4
1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	4
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	5
<b>CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1 SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM PAREDES DE CONCRETO.....	6
2.1.1 Vantagens e desvantagens do sistema .....	9
2.1.2 Sistemática de execução .....	13
2.1.3 Normalização .....	17
2.2 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES .....	19
2.2.1 Conceitos básicos de transmissão de calor e inércia térmica.....	19
2.2.2 Zoneamento Bioclimático Brasileiro .....	27
2.2.2.1 <i>Carta Bioclimática de Givone</i> .....	29
2.2.2.2 <i>Zona bioclimática oito e diretrizes construtivas</i> .....	30
2.3 NBR 15575:2013: DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES .....	32
2.3.1 Aspectos gerais da norma .....	34
2.3.2 Sistemas de Vedação Vertical.....	36
2.3.3 Sistemas de cobertura .....	37
2.4 PESQUISAS REALIZADAS SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO TÉRMICO ..	38
<b>CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DA PESQUISA.....</b>	<b>43</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO .....	44
3.2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO SIMPLIFICADO	45
3.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO INFORMATIVO	45
3.3.1 Análise dos dados coletados <i>in loco</i> .....	49
3.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO NORMATIVO ...	50
3.4.1 <i>Software EnergyPlus</i> .....	51

3.4.1.1	<i>Modelagem de zonas térmicas</i> .....	52
3.4.1.2	<i>Dados climáticos e dia típico de projeto</i> .....	53
3.4.1.3	<i>Método utilizado para as análises dos resultados da simulação</i> .....	54
<b>CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....		<b>56</b>
4.1	DETALHAMENTO DO ESTUDO DE CASO .....	56
4.1.1	Caracterização da unidade habitacional objeto de estudo .....	58
4.1.2	Propriedades térmicas de materiais e componentes .....	58
4.1.3	Dados climáticos de Tucuruí – PA .....	60
4.2	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO SIMPLIFICADO	61
4.2.1	Requisitos para vedações verticais .....	62
4.2.2	Requisitos para cobertura.....	63
4.3	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO INFORMATIVO	64
4.3.1	Avaliação das temperaturas internas <i>versus</i> temperaturas externas .....	65
4.3.2	Avaliação da temperatura e umidade do ar por ambiente.....	67
4.3.3	Análise do desempenho térmico pelo método informativo .....	70
4.4	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO NORMATIVO...	70
4.4.1	Resultados da simulação para paredes de concreto .....	71
4.4.2	Resultados da simulação para paredes de alvenaria com blocos cerâmicos .....	73
4.4.3	Paredes de concreto <i>versus</i> paredes de alvenaria com blocos cerâmicos .....	75
<b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES</b> .....		<b>80</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO .....	80
5.2	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO CONFORME NBR 15575:2013.....	80
<b>CAPÍTULO 6 - SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS</b> .....		<b>82</b>
<b>CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....		<b>83</b>
<b>APÊNDICE A – VALORES DE TEMPERATURA REGISTRADOS <i>IN LOCO</i></b> .....		<b>91</b>
<b>APÊNDICE B – CÁLCULO DA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, DA CAPACIDADE TÉRMICA, DO ATRASO TÉRMICO E DO FATOR SOLAR DE ELEMENTOS E COMPONENTES DO CHV</b> .....		<b>94</b>
<b>APÊNDICE C – VALORES DE TEMPERATURA DO AR OBTIDOS NO PROGRAMA ENERGYPLUS</b> .....		<b>102</b>

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2013), o déficit habitacional brasileiro passou de 10% no ano de 2007 para 8,53% no ano de 2012, apresentando uma acentuada redução. Um fator relevante para este resultado é a implantação por parte do Governo Federal, da Política Nacional de Habitação – PNH, prevista na Lei nº 11.124/05, que instituiu o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social – SNHIS. Com a crescente demanda habitacional e o objetivo de universalização do acesso à moradia, a indústria da construção civil buscou métodos construtivos que priorizassem a rapidez na execução e garantissem a viabilidade técnica e econômica, sem comprometer aspectos de qualidade e conforto nos empreendimentos residenciais. Nesse sentido, as paredes de concreto armado moldadas *in loco* destacam-se como solução adotada em grande parte dos projetos voltados à habitação de interesse social executados no país.

Face aos sistemas de vedação tradicionais (executados com blocos cerâmicos), os sistemas de vedação que utilizam painéis monolíticos de concreto armado possuem especificidades que os tornam mais vantajosos em algumas situações. A principal diferença entre as técnicas é a dupla função exercida pela parede de concreto: estrutural e de vedação da edificação. Utilizada no Brasil desde a década de 1970, pode ser empregada tanto em edificações térreas como de múltiplos pavimentos (IPT, 1998; CEF 2013 *apud* SACHT, 2008). Trata-se de um sistema vantajoso em obras que visam à produção de unidades habitacionais em grande escala (com repetição de formas) em um curto período de tempo.

As viabilidades técnica e econômica do sistema já foram atestadas em diversos estudos (VIEIRA, 2014; NUNES, 2011; ECP, 2009), em âmbito nacional e internacional, porém ao se tratar de conforto térmico para o usuário, deve-se proceder à análise direcionada ao projeto específico, pois os fatores intervenientes têm grande variabilidade de acordo com a região analisada, principalmente no Brasil, um país com dimensões continentais e que segundo a NBR 15220-3:2005 conta com oito zonas bioclimáticas distintas.

O zoneamento bioclimático brasileiro foi criado para padronizar o clima em relação à análise térmica dos ambientes (AKUTSU *et al*, 2005). O conhecimento do clima e geografia da região onde se desenvolve o projeto arquitetônico é fundamental, uma vez que estes são fatores condicionantes no desempenho térmico da edificação e no conforto térmico de seus usuários (CARVALHO, P., 2012).

Conforto térmico é a condição mental que expressa a satisfação com o ambiente térmico (ASHRAE, 2004), característica que afeta diretamente o bem-estar e a produção de cada indivíduo dentro da edificação, além de apresentar grande influência sobre a saúde humana. Já desempenho térmico é o comportamento do edifício frente às variações de temperatura e umidade de sua envoltória. Quando exposta a condições climáticas urbanas inadequadas, parte da população perde qualidade de vida enquanto para a outra, conduz ao aporte de energia para o condicionamento térmico das edificações (ANDREASI *et al.*, 2010; LAMBERTS *et al.*, 1997 *apud* NOGUEIRA *et al.*, 2012). Nas regiões de clima tropical e equatorial, a preocupação com conforto térmico dos usuários de unidades habitacionais é especial nas estações mais quentes, que geralmente são mais frequentes durante o ano, onde temperaturas elevadas condicionam ao uso de sistemas de refrigeração para reduzir o desconforto ocasionado pelas condições climáticas.

O município de Tucuruí – PA, localizado na região amazônica, detém características climáticas específicas, onde se destaca o período de seca entre os meses de junho a novembro (INMET, 2015), quando as precipitações são reduzidas e observam-se altas temperaturas, contando ainda com uma elevada umidade relativa do ar, fatores que somados proporcionam o desconforto térmico ao ser humano. Logo, o uso de equipamentos elétricos de refrigeração e ventilação é frequente no município, causando assim um consumo elevado de energia elétrica pelo setor residencial do seu núcleo urbano.

As edificações locais são oportunidades ideais para reduzir tal problemática, seja em melhorias na fase de elaboração do projeto, com a difusão da arquitetura bioclimática, seja no aperfeiçoamento de técnicas construtivas já existentes, ou ainda, na introdução de novos métodos de construção que utilizem equipamentos e/ou materiais não usuais na região. Nesse sentido, os sistemas de vedação em paredes de concreto armado moldadas no local, método construtivo recentemente adotado em empreendimentos habitacionais executados no município, deve ser estudado para que possa garantir condições térmicas adequadas aos seus ocupantes.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico de habitações de interesse social do Conjunto Habitacional Vivacidade – CHV, localizadas no município de Tucuruí – PA e que são executadas com paredes de concreto armado moldadas *in loco*. Tal avaliação é efetuada de acordo com as recomendações da NBR 15575:2013 – regulamentadora de edificações habitacionais.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a obra estudo de caso e realizar análise dos projetos de implantação e arquitetônico;
- Avaliar o desempenho térmico das habitações com paredes de concreto do estudo de caso, com base na norma de desempenho (NBR 15575:2013), a qual indica três métodos de análise:
  - (i) Método simplificado: o qual consta da avaliação dos materiais de construção utilizados nas residências e a influência destes no desempenho térmico das habitações;
  - (ii) Método informativo: trata-se da avaliação do desempenho térmico da habitação do estudo de caso por meio de medições *in loco* da temperatura e umidade relativa do ar, no período típico de verão (condição climática mais desfavorável);
  - (iii) Método normativo: consiste em executar simulação computacional, introduzindo os dados de acordo com o projeto arquitetônico, orientação solar e materiais e elementos construtivos empregados no CHV; será aplicado ao próprio estudo de caso e também irá considerar o sistema de vedação típico da região (blocos cerâmicos) a fim de realizar uma análise comparativa.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O Programa Minha Casa Minha Vida – PMCMV emprega um padrão nacional de projeto para habitações de interesse social, onde as vedações são constituídas por paredes de concreto. Porém, devido às características climáticas específicas de cada região, o desempenho térmico das unidades habitacionais pode ser inferior ao mínimo estabelecido pelas normas de desempenho vigentes no país, proporcionando desconforto térmico aos seus usuários.

Por ser uma técnica pouco difundida e empregada recentemente no município de Tucuruí – PA, que está localizado na zona bioclimática oito, as pesquisas relacionadas ao desempenho térmico de habitações que utilizam paredes de concreto ainda são incipientes. Nesse sentido, percebe-se a escassez de subsídios para a escolha de métodos construtivos na implantação de futuros empreendimentos no setor habitacional do município.

No atual contexto energético do país, com o aumento nas tarifas das concessionárias, medidas que visem à redução do emprego de equipamentos elétricos de refrigeração e/ou ventilação são primordiais, sendo que os componentes e sistemas construtivos de edificações são oportunidades ideais para auxiliar em tal redução. Vale ressaltar que uma das funções básicas de residências unifamiliares é o conforto ambiental proporcionado aos usuários, sendo esse parâmetro indispensável na concepção do projeto e assegurado durante toda sua vida útil.

## 1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Na elaboração do presente trabalho, a avaliação de alguns fatores relevantes foi limitada. Para a simulação computacional, a análise se restringiu apenas a uma unidade habitacional com orientação solar considerada crítica do ponto de vista térmico, desprezando-se as duas outras orientações existentes no CHV. Além disso, os parâmetros de ventilação e sombreamento não foram alterados, o que não gerou conclusões a respeito da influência dos mesmos sobre o desempenho térmico global da edificação.

No procedimento de medição *in loco*, os registros de temperatura e umidade relativa do ar foram manuais, com frequência horária e utilizando equipamentos com precisão de temperatura do ar inferior à requerida para este estudo, metodologia que eleva a probabilidade de erros na interpretação dos resultados.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em sete capítulos e três apêndices. Os principais capítulos serão sucintamente descritos a seguir, com uma pequena abordagem da temática principal presente em cada um deles:

**Capítulo 1: Introdução** – apresenta os tópicos relevantes do tema a ser estudado, ressaltando a importância da pesquisa. Em seguida são expostos os objetivos geral e específicos; justificativa do trabalho; e conclui-se com as limitações da pesquisa.

**Capítulo 2: Referencial Teórico** – caracterizam-se os sistemas de vedação que utilizam paredes de concreto armado moldadas no local, versando sobre as vantagens e desvantagens desse método construtivo. No decorrer do capítulo, referenciam-se as normas que são fundamentais para a elaboração e compreensão dos resultados deste trabalho, definições de termos significativos na área de trocas de energia térmica e pesquisas nacionais e internacionais consideráveis sobre desempenho e conforto térmico de edificações.

**Capítulo 3: Metodologia da pesquisa** – descrevem-se as técnicas empregadas no levantamento de informações sobre as residências do CHV, a análise de suas orientações solares e propriedades térmicas dos materiais utilizados, assim como os procedimentos para a caracterização dos elementos climáticos do município de Tucuruí – PA. Revela o método de aferição de temperatura e umidade relativa do ar *in loco* e detalha também o *software* EnergyPlus e demais parâmetros aplicados na simulação computacional de sistemas de vedação em alvenaria convencional e em concreto armado.

**Capítulo 4: Apresentação e discussão dos resultados** – expõem-se as características das unidades habitacionais do CHV e os elementos climáticos do município de Tucuruí, necessários para a definição do período ideal para o monitoramento da residência selecionada. Em seguida, apresenta a análise dos materiais de construção empregados nas habitações do CHV e os dados obtidos nas medições *in loco* de temperatura e umidade relativa do ar. Exibe os resultados da simulação computacional e o paralelo entre os sistemas de vedação estudados.

**Capítulo 5: Conclusões** – apresenta as conclusões gerais observadas a partir dos resultados obtidos, verificando o atendimento aos objetivos propostos por este trabalho.

## CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre paredes de concreto, seus benefícios e desvantagens face aos demais sistemas de vedação, além de técnicas construtivas, sequência executiva, características de arranjos estruturais, formas, materiais e equipamentos utilizados. Expõe-se ainda, a caracterização do zoneamento bioclimático brasileiro, com enfoque na zona bioclimática oito, o desempenho exigido para edificações e conceituação das principais variáveis e termos essenciais para a compreensão de conforto térmico em edifícios habitacionais. E por fim, serão citadas pesquisas sobre o desempenho de edificações, realizadas no contexto nacional.

### 2.1 SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM PAREDES DE CONCRETO

O sistema construtivo que utiliza paredes de concreto para vedação ganha cada vez mais força em território nacional. Neste sistema, as paredes são moldadas no local, em concreto armado, com o uso de formas moduladas e com o posicionamento preliminar das instalações elétricas e hidrossanitárias no interior das mesmas, onde as vedações desempenham também a função estrutural, como pode ser observado na Fotografia 2.1.

**Fotografia 2.1 – Residência unifamiliar com vedações em concreto armado.**



**Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (2008).**

O método é inspirado em experiências bem-sucedidas de construções industrializadas em concreto celular (sistema Gethal) e concreto convencional (sistema Outinord), que eram mundialmente conhecidas nas décadas de setenta e oitenta (MISURELLI; MASSUDA, 2009).

O sistema Gethal é assim chamado devido à empresa que implementou a técnica no Brasil. A Gethal, em 1980, desenvolveu o sistema de paredes e lajes em concreto celular moldadas no local, o qual permitia já na ocasião, a construção de paredes e lajes em apenas um dia. Através de pesquisa internacional e junto com outras empresas do setor, a tecnologia difundiu-se e consagrou o concreto celular como produto com eficiência técnica superior e de menor custo do que o concreto convencional, que até o presente momento era bastante utilizado (GETHAL, 2015). Já o sistema Outinord, utiliza concreto convencional e conjunto de formas metálicas e formas metálicas e de madeira: *Geo-sistem* e *Preford* (COHABS, 1977), para a produção de paredes maciças moldadas no local.

O empreendimento pioneiro em paredes de concreto no país e citado por Sacht (2008) como o primeiro a ser efetivamente implantado, foram as quarenta e seis casas no Conjunto Habitacional Carreira Comprida, no estado de Minas Gerais, especificamente na cidade de Santa Luzia, em 1979, pela Companhia de Habitação – COHAB – MG. Também é de autoria da mesma Companhia, o conjunto habitacional Dr. Pedro Afonso Junqueira, na cidade de Poços de Caldas, no ano de 1980. De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002), ainda na década de 1980, destaca-se também a utilização de paredes de concreto nas cidades de Natal-RN e Manaus-AM, ambas em casas populares.

Contudo, as estratégias do regime político brasileiro à época (ditadura militar), pouco contribuíram para solucionar o problema da habitação, uma vez que o país se urbanizava aceleradamente e os financiamentos tinham um caráter rígido e centralizado, não beneficiando a população dos estratos inferiores da pirâmide social (BONDUKI, 2008). Além disso, o setor da construção civil dispunha de recursos financeiros limitados e havia uma falta de escala e continuidade de empreendimentos nesses padrões, o que resultou na não consolidação da técnica em território nacional.

A partir de 2003, início da gestão do presidente Luís Inácio Lula da Silva, com a criação do Ministério das Cidades, a política habitacional brasileira ganha um novo arranjo institucional (RUBIN; BOLFE, 2014). A inclusão de famílias com baixo poder aquisitivo ao direito à casa própria em regiões urbanas tornou-se prioridade, sendo uma das formas de melhorar a qualidade de vida da população e diminuir a disparidade social do país. A PNH, aprovada pelo Conselho das Cidades, em novembro de 2004, apresenta como principal instrumento o Sistema Nacional de Habitação, que estabelece as bases do desenho institucional que se propõe participativo e democrático (MINISTÉRIO DAS CIDADES,

2004). Nota-se, a partir de então um crescimento dos recursos técnicos e financeiros destinados à produção habitacional de baixa renda.

Nesse contexto, elaborou-se o PMCMV - Lei nº 11.977/09, que tinha por meta a construção de um milhão de moradias no prazo de dois anos, sendo a maior parte destas destinadas a financiamento pela população com renda inferior a seis salários mínimos, considerada historicamente como um dos principais gargalos da política habitacional do país (ROMAGNOLI, 2012). Porém, o lançamento do programa não definia critérios de qualidade de projetos, referências técnicas, não indicava apoio e incentivo para o uso de tecnologia construtiva alternativa ou até mesmo avançada (ARAUJO, 2013).

Nesse cenário e diante de uma demanda grandiosa, o setor da construção civil assumiu um papel fundamental para o cumprimento da meta. Entretanto, o maior desafio seria executar residências eficientes em curto prazo, proporcionando à população de menor poder aquisitivo, moradia digna e condições de conforto adequadas, sem prejuízos financeiros. Diante deste momento singular, a construção convencional não se mostrou uma solução economicamente viável, e as empresas começaram a estudar alternativas tecnológicas para buscar o equilíbrio da tríade custo, cronograma e qualidade no segmento popular (FARIA, 2009).

Logo, ganha destaque o sistema de vedação em paredes de concreto, que neste momento encontrou fatores propícios para sua difusão no país, como: o conhecimento já desenvolvido na área, a demanda gerada pelo programa habitacional, através da PNH e a escala necessária para se consolidar como o sistema mais adiantado e apto ao atendimento de tal demanda. Então, dentro das premissas do mercado, foi o sistema que ofereceu as vantagens de uma metodologia construtiva voltada à produção de empreendimentos que têm alta repetitividade, como condomínios e edifícios residenciais (ABCP, 2008), conforme a Fotografia 2.2.

**Fotografia 2.2 – Obras de construção dos condomínios residenciais Sol e Mar I e II, em Ilhéus – BA.**



**Fonte: Prefeitura de Ilhéus (2015).**

Em 2010, após um ano de atividade, o PMCMV atingiu a meta inicial de um milhão de contratações, porém ficou longe de sanar o déficit habitacional brasileiro. Para tal, entre os anos de 2011 e 2014, o Governo Federal estabeleceu a segunda fase do programa, com a meta de construir dois milhões de unidades habitacionais, das quais 60% voltadas para famílias de baixa renda (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, 2015). Com os bons resultados obtidos com as paredes de concreto e a nova demanda intuituída pelo governo, construtoras passaram a interessar-se mais pela técnica e vêm utilizando-a com maior frequência, proporcionando a industrialização da construção brasileira.

### 2.1.1 Vantagens e desvantagens do sistema

Segundo as pesquisas de algumas instituições de grande respeito no meio técnico, como a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP, a Associação Brasileira de Serviços de Concretagem - ABESC e o Instituto Brasileiro de Telas Soldadas - IBTS (2008), países como México, Colômbia e outras nações da América Central apresentam experiências recentes e inspiradoras para as construtoras nacionais. São diversas as tipologias de edificações que utilizam paredes de concreto: casas térreas, casas assobradadas, edifícios de até trinta pavimentos e edifícios com mais de trinta pavimentos (considerados casos especiais e específicos).

Apesar das inúmeras aplicações, a competitividade para o negócio não é a mesma em todas elas, estando fortemente relacionada ao nível de produtividade e pela relação custo *versus* benefício do sistema. Um fator determinante no custo do empreendimento é o

investimento em formas, devido ao seu elevado valor e à quantidade de repetições de utilização possíveis. Quando se proporciona um grande número de repetições das formas, o custo final de um residencial multifamiliar cai substancialmente (VIEIRA, 2014).

O desempenho técnico é assegurado principalmente pelo alto grau de industrialização que o sistema construtivo requer, com o emprego de materiais normalizados, com controle tecnológico elevado e redução de insumos. Somado a estes, a maior integração entre os projetos (estrutural, hidrossanitário, elétrico, etc.) também diminui a ocorrência de erros no canteiro e facilita a execução da obra, reduzindo o seu tempo. Logo, há a possibilidade de produção em alta escala sem perda de qualidade e em prazos reduzidos.

As principais vantagens das vedações em concreto armado citadas por Vieira (2014) são: execução mais rápida e precisa, o que melhora a qualidade final do empreendimento e a diminuição na quantidade de entulhos e desperdícios, o que torna a obra mais limpa. Sobre o último aspecto, vale ressaltar que a destinação e o tratamento adequado dos resíduos de construção custam caro, assim como são pouco produtivas as adaptações que ocorrem em canteiro (LOTURCO, 2007). A redução da geração de resíduos sólidos resulta em um controle maior do impacto ambiental da obra, além de ganhar um caráter econômico para o empreendedor. Outros fatores que favorecem a escolha por paredes de concreto são:

- supressão de algumas etapas da construção, o que demanda mão de obra reduzida em relação aos demais sistemas construtivos, principalmente, o convencional executado com alvenaria de blocos cerâmicos;
- as atividades independem das habilidades do operário, não exigindo mão de obra qualificada, apenas treinada (LORDSLEEM JUNIOR *et al.*, 1998);
- a simultaneidade de execução de estrutura e vedação faz com que haja um esquadreamento perfeito da edificação, aberturas com medidas exatas e acabamentos mais simples e menos onerosos.

A aplicação deste sistema construtivo também possui algumas desvantagens, aspectos que dificultam sua integral aplicação em território nacional, a principal delas é o alto investimento inicial, que faz com que o mesmo se torne inviável para empreendedores de pequeno porte. Vieira (2014) também cita que o conforto térmico é um ponto que deve ser avaliado, visto que, como o concreto não é um bom isolante térmico, pode ocasionar

temperaturas internas elevadas em regiões com grande incidência de radiação solar. Outras desvantagens são o elevado peso da estrutura e o mau isolamento acústico quanto a ruídos de impacto (CARVALHO, L., 2012).

Por seu caráter estrutural e de contraventamento, em caso de mudanças nas disposições de comôdos, ou até mesmo no caso de ampliações e reformas, as paredes não podem ser removidas sem prévia consulta ao seu projeto estrutural, o que cria certo empecilho para o usuário, ou seja, o próprio sistema construtivo impõe uma inflexibilidade arquitetônica à edificação. Fatores como transporte, logística e treinamento dos empregados para a perfeita utilização do método também são vistos como desvantagens em relação aos demais utilizados em todo país. Comparadas aos demais métodos contrutivos, as paredes de concreto apresentam algumas especificidades, as principais diferenças e singularidades são descritas no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Comparativo entre os principais sistemas estruturais.

	<b>Paredes de concreto moldadas <i>in loco</i></b>	<b>Estrutura convencional</b>	<b>Alvenaria estrutural</b>	<b>Painéis de concreto pré-fabricados</b>
<b>Características</b>	Estrutura única de concreto, moldada em formas metálicas, de madeira ou de plástico.	Formada por pilares, vigas e lajes de concreto armado. Os vãos são preenchidos com blocos cerâmicos de vedação.	Estrutura com blocos de concreto ou cerâmicos mais resistentes, adequados para exercer a função estrutural.	Peças pré-fabricadas (no canteiro ou em usinas), montadas geralmente com o auxílio de guas.
<b>Distribuição de cargas</b>	As cargas se distribuem por toda a estrutura de concreto autoportante até a interface com as fundações.	As cargas atuantes na edificação são distribuídas nas lajes, vigas e pilares para as fundações (as paredes não suportam cargas).	As paredes são autoportantes (capazes de suportar a carga da obra sem a necessidade de vigas e pilares).	Os painéis normalmente são autoportantes. Há modelos, porém, com função exclusiva de fechamento.
<b>Armação</b>	Concretada em tela soldada (no centro da parede ou próximas às duas faces).	Não há armação nas áreas de vedação, somente em pilares, vigas e lajes.	Geralmente não há armação (embora exista alvenaria estrutural armada).	Normalmente os painéis são de concreto armado
<b>Revestimento</b>	Normalmente não recebe revestimento.	Revestimento, base com chapisco.	Revestimento, base com chapisco.	Caso receba, o mesmo é incorporado na fabricação.
<b>Instalações elétricas/hidráulicas</b>	Quando embutidas, são instaladas antes da concretagem.	Depois da execução das paredes, em geral é preciso “rasgá-las” para embutir tais instalações.	Instalações embutidas dentro dos blocos, que são cortados nos pontos de saída.	Já vêm embutidas, normalmente nos próprios painéis pré-fabricados.

Fonte: Adaptado de Corsini (2012).

### 2.1.2 Sistemática de execução

As etapas da construção em paredes de concreto são bem definidas e são essenciais no aumento da produtividade dentro do canteiro de obras, reduzindo os custos do empreendimento. Um fator que ganha destaque nesse tipo de metodologia é o planejamento da obra, uma vez que antes da execução, os projetos e plantas devem ser integrados a fim de reduzir erros e retrabalhos, garantindo maior organização no canteiro de obras. A metodologia é baseada em processos industrializados, onde a rapidez e a qualidade devem ser monitoradas constantemente para garantir os prazos e custos projetados (MISURELLI; MASSUDA, 2009). Em geral, a sequência de tarefas é a seguinte: execução da fundação, locação das paredes, montagem das formas, posicionamento de instalações e armaduras, fixação de negativos das esquadrias, concretagem, desforma e serviços de acabamento.

Para a escolha das fundações devem ser analisadas as características geotécnicas e topográficas e aspectos como: tipologia da edificação, nível do lençol freático, técnica mais empregada na região, entre outras. Usualmente para habitações térreas com paredes de concreto, adota-se fundação tipo *radier* (SILVA, 2010). A NBR 6122:2010 define o *radier* como o elemento de fundação superficial que abrange parte ou todos os pilares de uma estrutura, distribuindo os carregamentos ao terreno natural. De maneira geral, a planta de fundações deve ser compatibilizada com os demais projetos, principalmente ao elétrico e hidrossanitário, uma vez que as instalações deverão estar embutidas na mesma após a concretagem, conforme o observado na Fotografia 2.3. Portanto, na etapa que antecede a concretagem, especialmente em *radiers*, devem-se posicionar caixas sifonadas, eletrodutos e tubulações com o uso de gabarito específico.

**Fotografia 2.3 – Instalações hidrossanitárias e elétricas embutidas à fundação.**

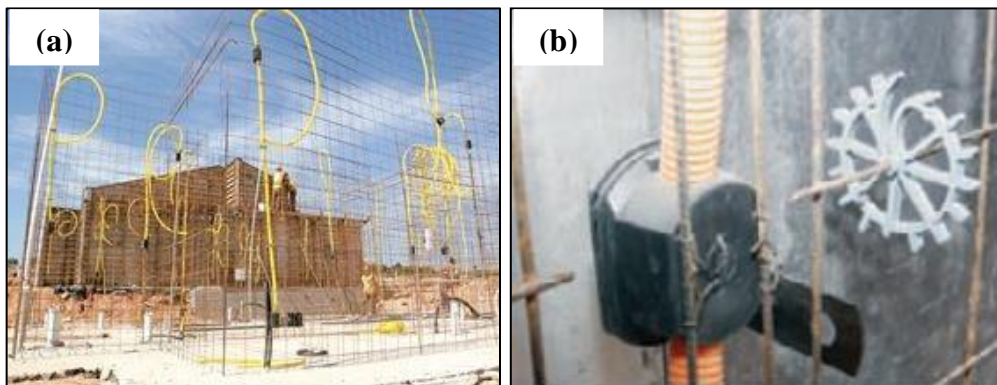


**Fonte: Faria (2008).**

As armaduras das paredes normalmente são telas soldadas posicionadas em sua superfície média (Fotografia 2.4) ou junto às suas duas faces. O projetista deve prever ainda, barras de aço e armadura convencional em pontos específicos, principalmente aqueles que concentrarão mais tensões, como é o caso de ligações entre paredes e lajes e nas vergas e contra-vergas das janelas e portas (TESTONI, 2013). O emprego dessas armaduras visa garantir a rigidez do sistema estrutural e também evitar fissurações na superfície de concreto.

De acordo com a NBR 16055:2012, durante a execução as armaduras devem estar limpas e seu posicionamento e cobrimento conferidos. Os elementos embutidos devem estar devidamente posicionados e fixos, para que não ocorra o seu deslocamento durante a concretagem. A ABCP (2008) recomenda a utilização de espaçadores plásticos (Fotografia 2.4), que são imprescindíveis para garantir o posicionamento das telas e a geometria dos painéis em obediência ao projeto, especialmente no que diz respeito a alinhamentos e espessura de paredes.

**Fotografia 2.4 – Tela soldada e instalações elétricas posicionadas (a) e detalhe do posicionamento do espaçador (b).**



**Fonte: Corsini (2012); ABCP (2008).**

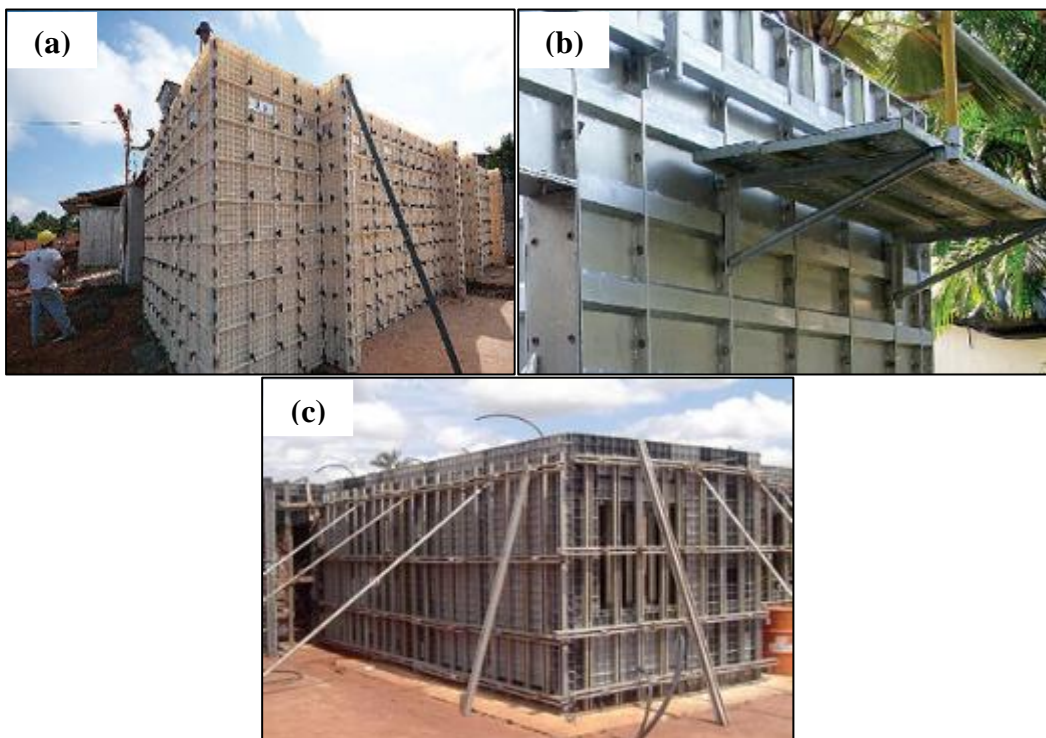
Após a correta montagem e execução das armaduras e instalações hidrossanitárias e elétricas, inicia-se o processo de locação das formas, elementos que desempenham papel essencial para a viabilidade econômica de paredes de concreto. Elas devem garantir a geometria das peças moldadas e resistir aos esforços provenientes do lançamento do concreto.

No mercado brasileiro existem diversos tipos de formas, o que aumenta a responsabilidade do gestor do empreendimento no momento de decidir qual tipo deve ser adotado. As inovações no setor são frequentes, como é o caso dos painéis monolíticos de

alumínio, que ganham força nas obras executadas em todo território nacional. A ABCP (2008) aponta como mais utilizados no Brasil, os seguintes tipos de formas:

- formas plásticas (Fotografia 2.5);
- formas metálicas (Fotografia 2.5); e
- formas metálicas e compensado (Fotografia 2.5).

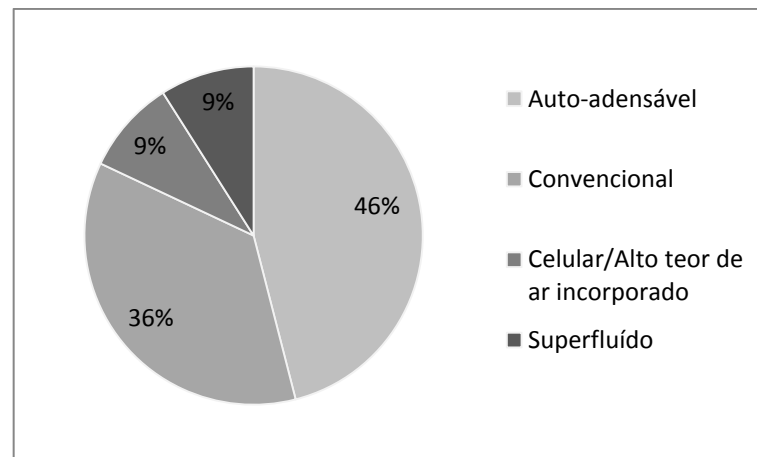
**Fotografia 2.5 – Sistema de formas plásticas (a), metálicas (b) e metálicas e compensado (c).**



**Fonte: Silva (2010); Silva (2009); Nakamura (2014).**

Para edifícios de múltiplos pavimentos, podem-se utilizar formas trepantes, estruturadas com painéis de grandes dimensões e andaimes de serviço e que são transportadas de uma só vez, diminuindo etapas de montagem. Em pesquisa divulgada pela Associação Brasileira de Cimento Portland em 2013, relacionam-se os tipos de concreto empregados em obras de treze grandes construtoras nacionais, que em agosto de 2012 representavam 85% do mercado de paredes de concreto, os resultados são apresentados no Gráfico 2.1.

**Gráfico 2.1 – Tipos de concreto utilizados em obras nacionais.**



Fonte: ABCP (2013).

A massiva utilização de concretos auto-adensáveis é justificada pela vantagem de acelerar a execução da obra e pelo tipo de acabamento proporcionado pelo mesmo, uma vez que esse material não precisa de adensamento mecânico, sendo capaz de preencher os espaços vazios das formas e se auto-adensar apenas sob o efeito da gravidade, se moldando facilmente entre a armadura e os demais componentes embutidos, mantendo sua estabilidade, sem sofrer segregação e/ou exsudação de seus materiais constituintes (CAVALCANTI, 2006).

O uso de concretos convencionais não é recomendado por técnicos da área, pois requer maior cuidado durante o lançamento e adensamento, para que não se formem vazios no interior da forma ou até mesmo segregação dos materiais e danos nos painéis da mesma, além de apresentar alta massa específica, o que gera maiores esforços nas fundações. Também vale destacar que o isolamento térmico e acústico são inferiores em relação aos obtidos com a utilização de concretos leves (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Quando utilizados, os mesmos recebem aditivos (geralmente, superplastificantes ou incorporadores de ar).

A utilização de paredes de concreto reduz ou até mesmo elimina camadas de revestimento. Os painéis de vedação, em geral, recebem acabamento com massa corrida e pintura, dispensando o tradicional reboco. Outros materiais comumente empregados no acabamento desse tipo de obra são: massa corrida, revestimentos cerâmicos (áreas molhadas, fachadas, etc.), texturas e argamassas industrializadas. Após a cura úmida da parede, os revestimentos já podem ser aplicados, reduzindo assim o tempo de execução deste serviço.

Normalmente, após a desforma deve-se efetuar o controle de qualidade, para identificar eventuais defeitos na execução. As paredes devem estar niveladas e aprumadas

com uma textura regular, apresentando apenas os sinais superficiais das junções entre painéis e furos das ancoragens, como pode ser observado na Fotografia 2.6.

**Fotografia 2.6 – Aspecto superficial de paredes de concreto após desforma.**



**Fonte: ABCP (2013).**

### 2.1.3 Normalização

O sistema de paredes de concreto moldadas no local é utilizado no Brasil há algumas décadas, porém as práticas eram regidas pela consulta a diversos documentos normativos nacionais e internacionais, o que dificultava a padronização de projetos. No dia 10 de maio de 2012, entrou em vigor a norma NBR 16055:2012 – Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações — Requisitos e procedimentos, que fixa os requisitos básicos para o projeto e a execução das construções que utilizam esse tipo de sistema. Vale ressaltar que construir e projetar, segundo esta norma técnica, além de colaborar na difusão e maior implementação dos sistemas de vedação com paredes de concreto em território nacional, também ocasionou uma elevação da confiança e credibilidade desse processo construtivo, uma vez que o financiador ou o empreendedor é capaz de cobrar qualidade, baseando-se nos critérios impostos pela legislação.

As diretrizes foram elaboradas buscando-se conceitos da NBR 6118:2007 e referências internacionais como a norma norte-americana de concreto armado ACI-318 (2011) e também a francesa DTU 23.1 (1993). Quanto ao dimensionamento e análises de paredes de concreto a norma australiana AS3600 (2009) e a britânica BS 8110 (1997) forneceram bons subsídios para a elaboração da norma brasileira.

A NBR 16055:2012 estabelece as disposições de cálculo considerando a estrutura em paredes de concreto submetidas à carga axial, com ou sem flexão, concretadas com todos os elementos que farão parte da construção final (CARVALHO, L., 2012). Além disso, apresenta recomendações sobre os materiais e técnicas que devem ser seguidas, bem como limites e tolerâncias dimensionais. No Quadro 2.2 se apresenta uma súmula dos principais conceitos e recomendações instituídas pela norma.

**Quadro 2.2 – Resumo dos principais conceitos e recomendações da NBR 16055:2012.**

<b>Aplicação</b>	<b>Edificações de qualquer geometria (em planta ou altura) com paredes de concreto moldadas <i>in loco</i> com formas removíveis.</b>
<b>Características de projeto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Concretagem simultânea de paredes e lajes (ou com especificação de ligação armada entre elas);</li> <li>– Os projetos de formas, escoramentos, detalhes embutidos ou vazados e os projetos de instalações devem ser validados pelo projetista de estrutura.</li> </ul>
<b>Concreto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Recomenda-se o uso de concreto comum ou auto-adensável, com densidade normal de 2,0 tf/m<sup>3</sup> a 2,8 tf/m<sup>3</sup>, com resistência característica à compressão aos 28 dias entre 20 e 40 MPa.</li> </ul>
<b>Telas Soldadas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Para paredes de até 15 cm, pode-se utilizar uma tela centrada;</li> <li>– Paredes com mais de 15 cm, assim como qualquer outra sujeita a esforços horizontais ou momento fletores aplicados devem ser armadas com duas telas.</li> </ul>
<b>Espessura mínima</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Para paredes de até três metros, a espessura deve ser de 10 cm. Permite-se espessura de 8 cm apenas nas paredes internas de edificações de até dois pavimentos;</li> <li>– Para paredes que excedam os três metros de altura, a espessura mínima deve ser de 1/30 do menor valor entre a altura e metade do comprimento equivalente da parede.</li> </ul>
<b>Juntas de controle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Espaçamento máximo determinado em ensaios específicos (na falta deles, adotar o distanciamento máximo de 8 mm entre juntas de paredes internas e 6 mm em paredes externas;</li> <li>– Em face à dilatação da última laje, deve ser prevista uma junta de controle imediatamente sob a mesma.</li> </ul>
<b>Tubulações embutidas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Não se admitem tubulações horizontais, a não trechos com até um terço do comprimento das paredes e inferiores a um metro (desde que o trecho seja considerado não estrutural);</li> <li>– Nos encontros de paredes não são permitidas tubulações verticais ou horizontais.</li> </ul>
<b>Análise estrutural</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Quando existirem vigas de fundação ou de transição deve se considerar a flexibilidade relativa entre paredes e vigas.</li> </ul>

**Fonte: Corsini (2012).**

## 2.2 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

Os atributos de materiais e componentes empregados nas edificações modificam a interação da mesma com o ambiente térmico de sua envoltória. Os edifícios devem ser projetados então, para atender de maneira eficaz e eficiente seus usuários, proporcionando-os condições adequadas de conforto térmico. Nesse sentido, é importante salientar que o conhecimento das características climáticas locais é determinante na concepção do projeto, a fim de que o produto final atenda às normas de desempenho vigentes no país.

### 2.2.1 Conceitos básicos de transmissão de calor e inércia térmica

Para entender os fenômenos de trocas de energia térmica entre o edifício e o ambiente que o cerca, se faz necessária a definição de alguns parâmetros e variáveis que regulam tais fenômenos. A seguir, definem-se de maneira sucinta tais aspectos e faz-se a análise voltada para materiais e componentes construtivos.

#### a) Temperatura de Bulbo Seco – TBS

A TBS é a variável que melhor se adequa à representação de sensação de conforto do indivíduo com o ambiente térmico. Ela exprime apenas a temperatura do ar no recinto, uma vez que não é sensível nem à umidade, à movimentação do ar e ao calor irradiado (SÁ, 1936 *apud* OLIVEIRA, 2003). Esta pode ser aferida com um termômetro comum, com bulbo de mercúrio, por exemplo.

Por vezes a TBS é usada pelo não técnico para exprimir a “ideia” de dia quente e dia frio, o mesmo pressupõe que os dias quentes possuem elevadas temperaturas de bulbo seco e os dias frios, temperaturas mais baixas (SÁ, 1936 *apud* OLIVEIRA, 2003).

#### b) Temperatura de Bulbo Úmido – TBU

Essa temperatura é medida pelo termômetro de bulbo úmido natural, o qual tem seu bulbo envolto por uma gaze (ou outro material poroso) embebida em água destilada. Seu valor é influenciado pela TBS como também pelo teor de umidade presente no ar, o qual facilita ou dificulta a evaporação da água contida no bulbo (SÁ, 1936 *apud* OLIVEIRA, 2003).

Tanto a TBS quanto a TBU são medidas em °K (grau Kelvin), segundo o Sistema Internacional de Unidades (SI). Apesar disso, é comum a referência de tais variáveis em °C (grau Celsius), uma vez que essa medida é habitualmente usada em diversos países.

c) Umidade relativa – RH

A umidade é caracterizada pela quantidade de vapor d'água contido no ar. Logo, é influenciada por mudanças de temperatura, já que o processo de evaporação da água supõe alterações em seu estado físico conforme as variações de temperatura. Frequentemente se diz que o ar encontra-se “pesado”, esta expressão indica que o ar apresenta alta umidade relativa – RH, que é a razão entre a quantidade de vapor d'água em um dado volume de ar, num dado instante, e a quantidade de vapor que este volume poderia conter se o ar estivesse saturado, à mesma temperatura e pressão. Portanto, a RH para a situação em que o ar esteja saturado é igual a 100%.

Seguindo os mesmos princípios, a umidade absoluta representa o peso de vapor d'água contido em uma unidade de massa de ar (g/kg). Logo, a definição de RH pode ser interpretada como a relação entre a umidade absoluta do ar e a umidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura (LAMBERTS *et al.*, 2014).

d) Velocidade do ar

Além da temperatura e umidade relativa, a velocidade do ar no interior dos cômodos da habitação é estudada com o intuito de analisar a sua capacidade de contribuição na remoção da sensação de desconforto por calor do corpo humano. Segundo Ruas (1999), para a condição de ar não saturado, com temperatura inferior à da pele em climas quentes:

- se a ventilação aumenta: o processo de evaporação aumenta, porque a umidade presente no corpo é retirada mais rapidamente. O processo de convecção aumenta, porque a velocidade de troca do ar que rodeia o corpo é maior, aumentando a sensação de conforto térmico;
- se a ventilação diminui: os processos de convecção e evaporação também diminuem, prejudicando a velocidade de troca do ar que circunda o corpo, o que ocasiona sensação de desconforto térmico.

e) Absortância à radiação solar –  $\alpha$

Conforme a definição da NBR 15220-1:2005, caracteriza-se pelo quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. Os valores desta propriedade para doze materiais e sete cores de pintura, estão descritos na Tabela 2.1. Destaca-se que para alguns materiais, a norma não atribui um valor unitário de  $\alpha$ , mas sim uma faixa de valores que podem ser utilizados.

**Tabela 2.1 – Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas).**

Superfície	$\alpha$	Diferença percentual entre mínimo e máximo (%)
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	-
Chapa de alumínio oxidada	0,25	-
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	-
Caiação nova	0,12 – 0,15	25,00
Concreto aparente	0,65 – 0,80	23,08
Telha de barro	0,75 – 0,80	6,67
Tijolo aparente	0,65 – 0,80	23,08
Reboco claro	0,3 – 0,50	66,67
Revestimento asfáltico	0,85 – 0,98	15,29
Vidro incolor	0,06 – 0,25	316,67
Vidro colorido	0,4 – 0,80	100,00
Vidro metalizado	0,35 – 0,80	128,57
Pintura:		
Branca	0,20	-
Amarela	0,30	-
Verde clara	0,40	-
“Alumínio”	0,40	-
Verde escura	0,70	-
Vermelha	0,74	-
Preta	0,97	-

Fonte: NBR 15220-2:2005.

f) Calor específico –  $c$

É a quantidade de calor necessária para elevar em 1°C a temperatura da massa unitária (1g) de um determinado material. Sua unidade é J/(Kg.K).

g) Fluxo de calor ou taxa de fluxo de calor –  $Q$

O fluxo de calor está relacionado à potência irradiada por uma fonte de calor. Entende-se por potência, a quantidade de calor fornecida ou trocada em determinada unidade

de tempo. Deste modo, sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios diferentes, ocorre necessariamente uma transferência de energia térmica. O calor (ou fluxo de calor) é definido, então, como a taxa de energia térmica transferida por unidade de tempo devido a uma diferença de temperatura, sendo expresso em Watts (LAMBERTS *et al.*, 2014). Segundo a lei de Fourier, que rege a condução térmica, parâmetros como: a espessura, o material e a área da superfície onde a energia térmica está sendo trocada, bem como a diferença de temperatura entre os dois meios, são essenciais para mensurar o fluxo de calor em tal superfície.

h) Condutividade térmica –  $\lambda$

É a propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de  $1 \text{ W/m}^2$ , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro (NBR 15220-1:2005). A condutividade térmica expressa à habilidade de um material em conduzir calor, ou seja, materiais com altos valores de condutividade térmica são bons condutores de calor, já os que apresentam baixos valores são designados materiais isolantes. A Tabela 2.2 apresenta os valores de condutividade térmica de alguns materiais frequentemente utilizados na construção civil.

**Tabela 2.2 – Condutividade térmica de alguns materiais, conforme sua densidade de massa aparente.**

<b>Material</b>	<b><math>\rho</math> (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/(m.K))</b>
Argamassa comum	1800 - 2100	1,15
Tijolos e telhas de barro	1800 - 2000	1,05
Concreto normal	2200 - 2400	0,95
Brita ou seixo	1000 - 1500	0,70
Membranas betuminosas	1000 - 1100	0,23
Lã de vidro	10 - 100	0,045
Poliestireno expandido moldado	15 - 35	0,040
Compensado	450 - 550	0,15
Aço, ferro fundido	7800	55
Granito	2300 - 2900	3,00
Polimetacrílicos de metila (acrílicos), policloreto de vinila (PVC)	1200 - 1400	0,20
Vidro comum	2500	1,00

**Fonte:** NBR 15220-2:2005.

i) Capacidade térmica –  $C_T$

A utilização de componentes construtivos com capacidade térmica –  $C_T$  superior faz com que a amplitude da temperatura interior diminua em relação à exterior, ou seja, os picos de temperatura verificados externamente não serão percebidos internamente, isso porque os mesmos necessitam de maior quantidade de calor para variar em uma unidade a temperatura do ambiente. A  $C_T$  pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$C_T = \sum_{i=1}^n e_i \times c_i \times \rho_i \quad (1)$$

Onde:

$e_i$  é a espessura da camada  $i^a$ ;

$c_i$  é o calor específico do material da camada  $i^a$ ;

$\rho_i$  é a densidade de massa aparente do material da camada  $i^a$ .

Componentes construtivos com elevada  $C_T$  são indicados para climas quentes e secos onde a temperatura atinge valores muito altos durante o dia e extremamente baixos durante a noite. Nestes casos, a capacidade térmica do componente permite o atraso da onda de calor fazendo com que este calor incida no ambiente interno apenas no período da noite, quando existe a necessidade de aquecimento (LAMBERTS, 2000).

j) Resistência térmica –  $R$

É o quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário (NBR 15220-1:2005). A resistência térmica –  $R$ , expressa em  $(m^2.K)/W$ , de um material corresponde à dificuldade de transmissão de calor e também pode ser determinada pelo quociente entre a espessura do material ( $e$ ) e a sua condutividade térmica ( $\lambda$ ):

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

Segundo a expressão 2, a condutividade térmica do material é inversamente proporcional à sua resistência térmica, assim como a espessura tem relação direta com a mesma. Logo, materiais mais espessos e com menor condutividade térmica apresentam

melhores propriedades de isolamento térmico. Para o cálculo da resistência total de componentes com camadas homogêneas, de ambiente a ambiente, utiliza-se a seguinte expressão:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (3)$$

Onde:

$R_T$  Resistência térmica de ambiente a ambiente;

$R_{se}$  e  $R_{si}$  são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas no Quadro 2.3;

$R_t$  é a resistência térmica de superfície a superfície, conforme a NBR 15220:2005.

**Quadro 2.3 – Resistência térmica superficial interna e externa.**

$R_{si}$ (m <sup>2</sup> .K)/W			$R_{se}$ (m <sup>2</sup> .K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
<b>0,13</b>	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220-2:2005.

No caso de componentes que possuam camadas homogêneas e não homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, a resistência térmica total de superfície a superfície é determinada pela expressão 4:

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (4)$$

Onde:

$R_a, R_b, R_n$  são as resistências térmicas de superfície a superfície para cada seção do componente;

$A_a, A_b, A_n$  são as áreas de cada seção.

k) Transmitância térmica – U

Variável que representa a quantidade de calor que passa através de uma janela de tempo em determinada área, sendo o inverso da resistência térmica total –  $R_T$ . Quando um material apresenta baixos valores de U, ele possui maior capacidade de isolamento térmico.

l) Emissividade –  $\varepsilon$

A radiação incidente sobre um corpo qualquer pode assumir três comportamentos:

- uma parcela ( $\alpha$ ) pode ser absorvida ou emitida, segundo a lei de Kirchhoff;
- uma parcela ( $\delta$ ) pode ser refletida;
- uma parcela ( $\tau$ ) pode ser transmitida.

A lei de Kirchhoff estabelece a igualdade entre a capacidade de um corpo qualquer em absorver energia radiante e sua capacidade de reemití-la. A esta última chamamos de emissividade. Logo, a emissividade é a relação entre a energia emitida (ou irradiada) por um corpo qualquer e a energia emitida por um corpo negro (material que absorve toda radiação incidente independente do comprimento de onda) para um mesmo comprimento de onda. Varia em função da composição química e da textura superficial do material, bem como de sua temperatura e do comprimento de onda da radiação emitida. Pode ser expressa desta forma:

$$\varepsilon = \frac{W'}{W} \quad (5)$$

Onde:

- $\varepsilon$  é a emissividade;
- $W'$  é a quantidade de energia emitida por um corpo qualquer ( $\lambda$  constante);
- $W$  é a quantidade de energia emitida por um corpo negro ( $\lambda$  constante).

m) Fator Solar – FS

É uma variável geralmente relacionada ao sistema de aberturas de uma edificação. Em elementos opacos, é chamado também de fator de ganho de calor solar de elementos

opacos –  $FS_o$  – e refere-se ao quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo, conforme a expressão 6 (NBR 15220-1:2005).

$$FS_o = 100.U.\alpha.R_{se} \quad (6)$$

Onde:

$FS_o$  é o fator solar de elementos opacos em percentagem;

$U$  é a transmitância térmica do componente;

$\alpha$  é a absorptância à radiação solar;

$R_{se}$  é a resistência superficial externa.

Já o Fator de ganho de calor solar de elementos transparentes ou translúcidos ou Fator solar de elementos transparentes ou translúcidos –  $FS_t$  – pode ser entendido como a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa o material e a quantidade que nele incide. Este valor é característico para cada tipo de abertura e varia com o ângulo de incidência da radiação solar, pode ser calculado a partir da expressão 7. Por exemplo, para o vidro simples, com a incidência direta de radiação solar, normal à superfície, o fator solar é aproximadamente 0,85. Isto significa que 85% da radiação solar incidente sobre a janela com vidro simples ultrapassa para o interior em forma de calor (DUTRA, 1994).

$$FS_t = U.\alpha.R_{se} + \tau \quad (7)$$

Onde:

$FS_t$  é o fator solar de elementos transparentes ou translúcidos;

$U$  é a transmitância térmica do componente;

$\alpha$  é a absorptância à radiação solar;

$R_{se}$  é a resistência superficial externa;

$\tau$  é a transmitância à radiação solar.

n) Atraso térmico –  $\varphi$

A NBR 15220-1:2005 o define 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, sendo expresso em horas. Esse conceito pode ser simplificado como o tempo que a variação de temperatura externa leva para atingir o interior da edificação (CARVALHO, P., 2012).

Em uma placa homogênea (constituída por um único material), com espessura “e” e submetida a um regime térmico variável e senoidal com período de 24 horas, o atraso térmico pode ser determinado pelas seguintes expressões:

$$\varphi = 1,382 \times e \times \sqrt{\frac{\rho \times c}{3,6 \times \lambda}} \quad (8)$$

$$\varphi = 0,7284 \times \sqrt{R_t \times C_T} \quad (9)$$

Onde:

- $\varphi$  é o atraso térmico;
- e é a espessura da placa;
- $\lambda$  é a condutividade térmica do material;
- $\rho$  é a densidade de massa aparente do material;
- c é o calor específico do material;
- $R_t$  é a resistência térmica de superfície a superfície do componente;
- $C_T$  é a capacidade térmica do componente.

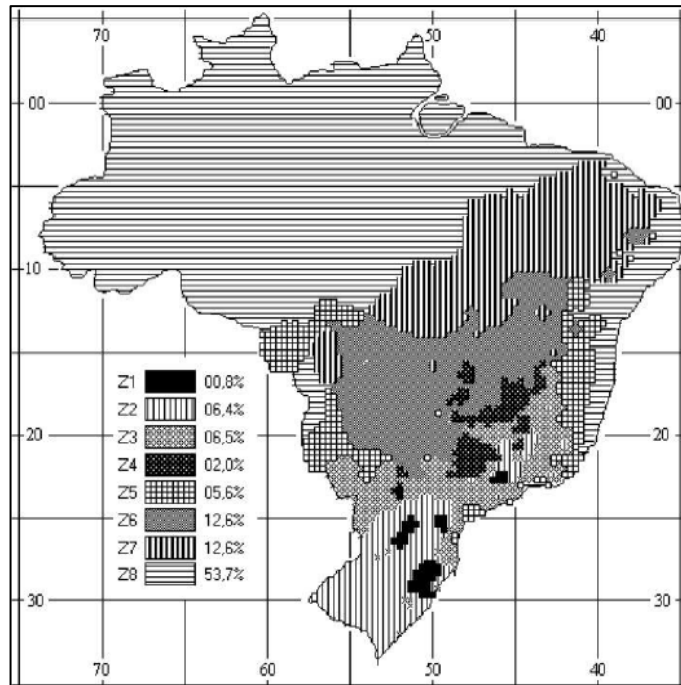
### 2.2.2 Zoneamento Bioclimático Brasileiro

A NBR 15220-3:2005 dispõe sobre o zoneamento bioclimático brasileiro e as diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, sendo parte de uma série de normas sobre o desempenho térmico de edificações. Para Roriz *et al.* (1999 *apud* DUMKE, 2002, p. 68), o zoneamento bioclimático tem por finalidade adequar às edificações ao clima, melhorando seu desempenho térmico.

As zonas bioclimáticas são regiões geográficas com características climáticas relativamente homogêneas. Através da utilização de uma base de dados climáticos do Brasil, contendo as médias mensais de temperaturas máximas, mínimas e umidades relativas do ar,

propõe-se a divisão do território nacional em oito zonas, conforme observado na Figura 2.1. Além disso, a norma expõe a classificação do clima de trezentos e trinta cidades brasileiras.

**Figura 2.1 – Zoneamento bioclimático brasileiro.**



**Fonte: NBR 15220-3:2005.**

Os parâmetros e diretrizes construtivas adotadas pela NBR 15220-3:2005 para cada uma das zonas são:

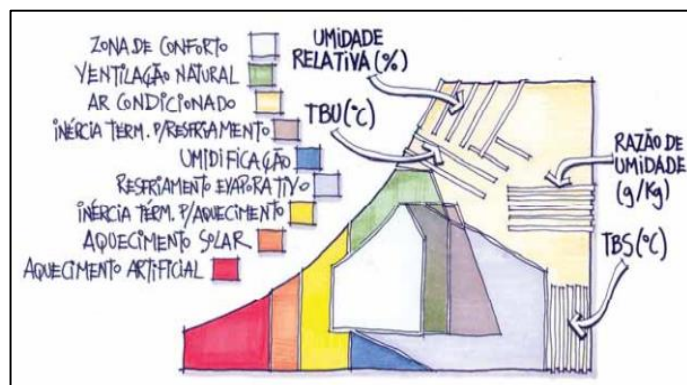
- Tamanho das aberturas para ventilação (expressas como percentual de área de piso);
- Proteção das aberturas;
- Vedações externas, parede externa e cobertura, informando o tipo de vedação (leve ou pesada, refletora ou isolada);
- Estratégias de condicionamento térmico passivo.

Para compreender melhor as estratégias de condicionamento térmico passivo adotadas para cada região, deve-se elucidar o conceito de carta bioclimática de Givone e as variáveis que influenciam sobre a mesma.

### 2.2.2.1 Carta Bioclimática de Givone

A carta bioclimática de Givone é construída sobre o diagrama psicrométrico, relacionando a temperatura do ar e sua umidade. A psicrometria é o estudo das propriedades termodinâmicas do ar úmido, sendo o diagrama psicrométrico a representação gráfica dos principais parâmetros de interesse dessa ciência – temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade absoluta, umidade relativa, razão de umidade – conforme definição de Viana (2010). A carta é dividida em nove zonas, conforme a figura 2.2, cada qual associada a uma estratégia de projeto.

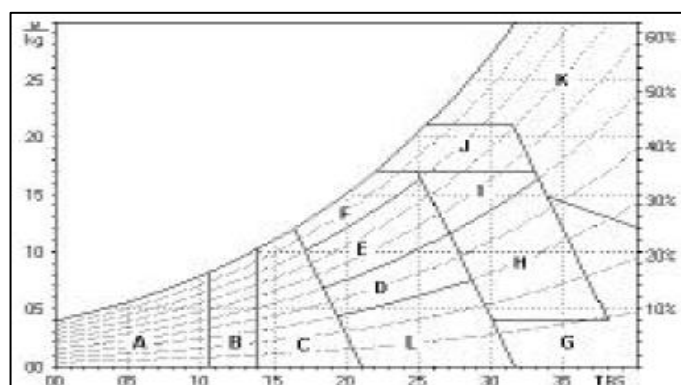
**Figura 2.2 – Carta bioclimática de Givone esquematizada.**



Fonte: Lamberts; Pereira; Dutra (2014).

Para a classificação das zonas bioclimáticas brasileiras adaptou-se a carta bioclimática sugerida por Givoni em 1992 (Figura 2.3), com adoção da seguinte metodologia: as informações mensais de temperatura e umidade do ar de cada cidade em estudo foram dispostas no gráfico, tais informações somadas a cálculos realizados possibilitaram determinar as estratégias de projeto para o clima de cada região estudada (NBR 15220:2005).

**Figura 2.3 – Carta climatológica de Givoni adaptada ao Brasil.**



Fonte: NBR 15220-3:2005.

Após a análise da Figura 2.3, identifica-se as seguintes zonas de conforto de Givoni, conforme a NBR 15220-3:2005:

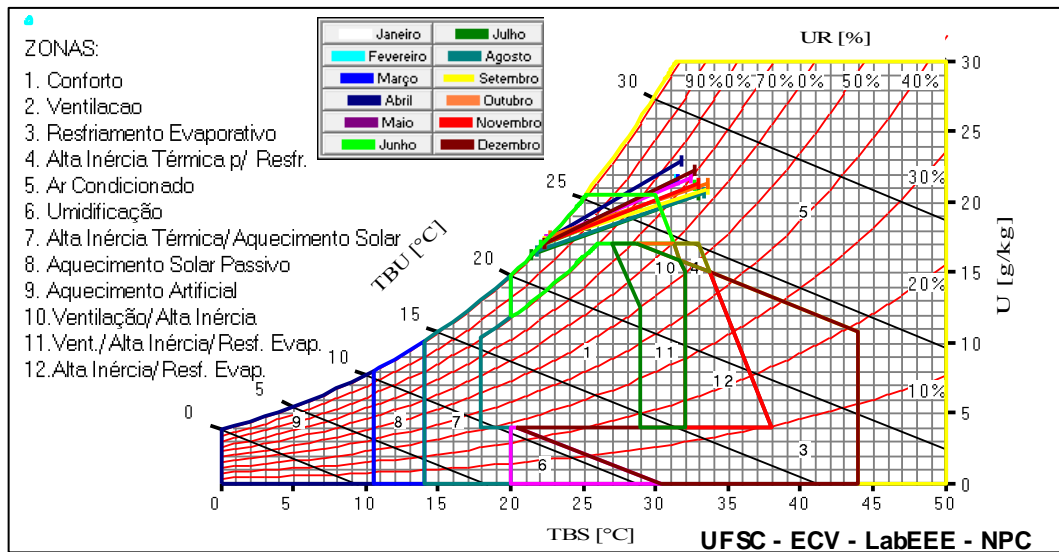
- A: Zona de aquecimento artificial (calefação);
- B: Zona de aquecimento solar da edificação;
- C: Zona de massa térmica para aquecimento;
- D: Zona de conforto térmico (baixa umidade);
- E: Zona de conforto térmico;
- F: Zona de desumidificação (renovação do ar);
- G+H: Zona de resfriamento evaporativo;
- H+I: Zona de massa térmica de refrigeração;
- I+J: Zona de ventilação;
- K: Zona de refrigeração artificial;
- L: Zona de umidificação do ar.

Logo, de acordo com as características da carta específica de determinada cidade definem-se as estratégias aplicáveis e o percentual de cada estratégia acumulado no decorrer do ano (BAGNATI, 2013). Abaixo se ressaltam as características e diretrizes construtivas que são recomendadas pela NBR 15220-3:2005 para a zona bioclimática oito, onde o município de Tucuruí – PA está localizado.

#### *2.2.2.2 Zona bioclimática oito e diretrizes construtivas*

A zona bioclimática oito é a maior do Brasil, representando 53,7% da área do país. Nessa zona se situam a maioria das capitais brasileiras e quase que a totalidade do estado do Pará. A cidade de Tucuruí está integralmente inserida nesta zona e apresenta a seguinte carta bioclimática (Figura 2.4) obtida com o auxílio do programa *Analysis - Bio 2.2*, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

**Figura 2.4 – Carta Bioclimática da cidade de Tucuruí.**



Fonte: Programa Analysis - Bio – LabEEE (2006).

A análise da Figura 2.4 revela que para todos os meses do ano devem ser efetuadas duas estratégias para atenuar zonas de desconforto: a ventilação e o ar condicionado. A Tabela 2.3 apresenta as porcentagens de cada uma delas durante os meses do ano.

**Tabela 2.3 – Relatório da média anual de porcentagem das horas por desconforto.**

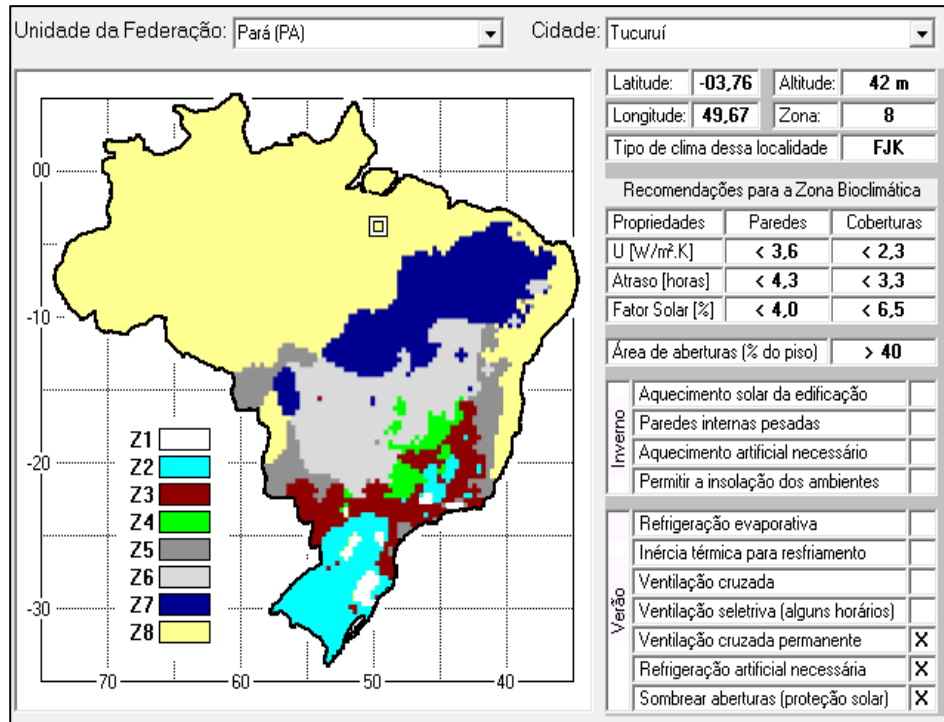
Mês	Ventilação (%)	Ar Condicionado (%)
Janeiro	75,85	24,16
Fevereiro	77,50	22,51
Março	76,04	23,97
Abril	58,38	41,63
Maio	73,53	26,48
Junho	75,78	24,22
Julho	77,11	22,90
Agosto	73,73	26,28
Setembro	70,23	29,78
Outubro	68,43	31,57
Novembro	73,31	26,70
Dezembro	67,86	32,15

Fonte: Programa Analysis – Bio – LabEEE (2006).

Através do programa ZBBR Versão 1.1 (RORIZ, 2004), buscou-se as recomendações construtivas a serem adotadas para a cidade de Tucuruí à luz da norma 15220-3 (2005c). A Figura 2.5 apresenta a interface do programa e as recomendações para o período

de inverno e verão, assim como as propriedades térmicas dos materiais utilizados em paredes e coberturas das edificações locais.

**Figura 2.5 – Recomendações e estratégias para edificações na cidade de Tucuruí.**



Fonte: Programa ZBBR Versão 1.1 (2004).

A partir dos dados obtidos no programa conclui-se que as edificações locais devem dispor de ventilação cruzada permanente e refrigeração artificial no período de verão. As aberturas devem ser superiores em área a 40% da área do piso e devem ser sombreadas a fim de gerar proteção solar. Os materiais para paredes devem ter condutividade térmica menor que 3,6 W/m<sup>2</sup>.K, fator solar menor que 4% e atraso térmico inferior a 4,3 horas. Já as coberturas devem possuir a condutividade menor que 2,3 W/m<sup>2</sup>.K, fator solar menor que 6,5% e atraso térmico inferior a 3,3 horas. No inverno dispensam-se estratégias de aquecimento.

### 2.3 NBR 15575:2013: DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

A NBR 15575-1:2013 define desempenho como comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas. A norma de desempenho, como é conhecida, expõe um conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para uma edificação habitacional e seus sistemas, com base em exigências do usuário, independentemente da sua forma ou dos materiais constituintes. Nela também são definidos alguns critérios mínimos que devem ser

atendidos para que o prédio abrigue de maneira eficiente seus usuários. Está estruturada em seis partes que contêm critérios para sistemas estruturais, piso, vedações verticais, coberturas e instalações hidrossanitárias.

Diferente da NBR 15220:2005, na NBR 15575:2013 as recomendações sobre desempenho térmico são voltadas para a unidade habitacional acabada e o atendimento às percepções de seus usuários. Já a primeira recomenda estratégias de intervenção na fase de projeto, interferindo diretamente na edificação, antes mesmo de sua construção.

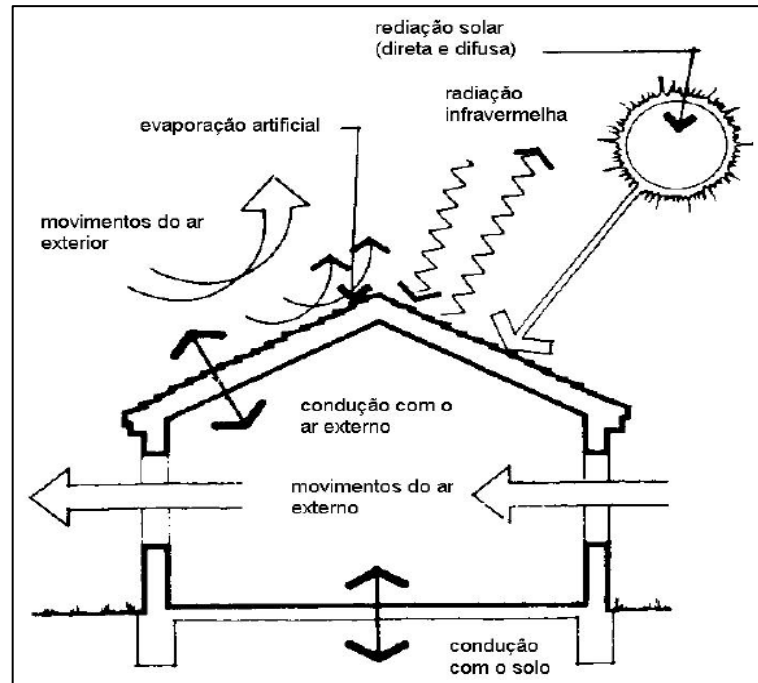
Na análise de um edifício isolado, a interação térmica com o meio ocorre principalmente por trocas secas: condução, radiação e convecção, assim chamadas, pois não envolvem água no processo, apenas mudanças de temperatura. Podem ocorrer também trocas úmidas, como a evaporação e condensação, onde além de variações térmicas, acontece a mudança de estado físico da água. Essas trocas estão ilustradas na Figura 2.6. Vale ressaltar que calor é a energia transferida de um sistema para o ambiente devido a uma diferença de temperatura e, espontaneamente, quem tiver uma temperatura maior cede calor para quem tiver uma temperatura menor (HALLIDAY; RESNICK, 2009).

Quando dois corpos mantêm contato, a transmissão de calor entre eles se dá por condução. Em uma unidade habitacional geralmente tal fenômeno ocorre na interface piso/solo. Outra forma de transmissão, que ocorre entre um elemento sólido e outro fluído, é a convecção, comumente vista na interação do ar atmosférico e paredes e áticos de coberturas, por exemplo. Já a radiação é a forma mais elementar de aquecimento de uma edificação, onde a energia é transmitida de um corpo a outro, não necessitando de um meio físico para tal, os mesmos têm que estar distanciados e possuir capacidade individual de emitir ou absorver energia térmica. Nas edificações, a radiação solar é a principal fonte de calor para os ambientes.

Em relação às trocas úmidas, a evaporação se caracteriza pela mudança do estado líquido para o gasoso de uma molécula de água, com um dispêndio de energia para ocorrer. Bagnati (2013) define a condensação como processo em que o vapor d'água contido no ar passa do estado gasoso para o líquido, sendo também acompanhada pelo dispêndio de energia. O termo “ponto de orvalho” se refere à temperatura em que o ar se encontra em um grau higrométrico de 100% e o vapor d'água excedente no ar se condensa, ou seja, passa para o estado líquido. Se o ar estiver em contato com uma parede de temperatura inferior, por

exemplo, ocorrerá a formação de gotículas de água na superfície da mesma (situação comum em banheiros e cozinhas).

**Figura 2.6 – Trocas térmicas da edificação com o meio.**



Fonte: Camous; Watson (1986 *apud* BAGNATI, 2013).

Em seu corpo, a NBR 15575:2013 define critérios para a avaliação de desempenho térmico e os níveis mínimos que devem ser atendidos pelas edificações, além de métodos de verificação dos mesmos. A seguir, relacionam-se tais recomendações, considerando a habitação em geral e alguns sistemas específicos, como sistemas de vedações verticais e cobertura.

### 2.3.1 Aspectos gerais da norma

Para a edificação habitacional ficam definidos pela NBR 15575:2013 um procedimento normativo e outro informativo para verificação do desempenho térmico. No primeiro devem-se analisar os sistemas de vedações e cobertura, conforme a NBR 15575-4:2013 e NBR 15575-5:2013, respectivamente. Caso o resultado aponte para desempenho insatisfatório, o projetista deve avaliar a habitação através do método de simulação computacional. Já o segundo procedimento é o de medição *in loco* ou em protótipos construídos em escala real.

Para realização da avaliação computacional, os dados climáticos utilizados devem corresponder aos dias típicos de projeto de verão e de inverno. A NBR 15575-1:2013 apresenta tabelas com tais informações para algumas cidades brasileiras, na falta de dados para a cidade onde se encontra a habitação, recomenda-se adotar os valores de uma cidade com características climáticas semelhantes e na mesma zona bioclimática.

Em relação à geometria adotada para o modelo de simulação, vale ressaltar que a unidade habitacional deve ser analisada como um todo, considerando cada ambiente como uma zona térmica – volume de ar a uma temperatura uniforme em que ocorrem as trocas e armazenamentos de calor de superfícies internas e na borda deste volume de ar. As propriedades térmicas dos materiais e/ou componentes construtivos, nomeadamente: condutividade térmica, calor específico, emissividade, absorvância à radiação solar, densidade de massa aparente, resistência ou transmitância térmica de elementos e características fotoenergéticas (vidros), devem ser obtidos em ensaios laboratoriais específicos ou na ausência destes dados ou quando não for possível sua obtenção junto aos respectivos fabricantes, permite-se adotar os fornecidos pela NBR 15220-2:2005.

Nas zonas bioclimáticas seis, sete e oito, o desempenho da edificação no período de inverno não pode ser verificado, sendo assim dispensáveis os critérios normativos para tal período. Porém, no período de verão, deve-se proceder a análise tendo como critério os valores máximos de temperatura. Dessa forma, a TBS máxima diária no interior de recintos de longa permanência – salas e dormitórios –, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas ou outros equipamentos) deve sempre ser menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar no exterior, conforme o disposto no Quadro 2.4.

**Quadro 2.4 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.**

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_i, \text{máx.} \leq T_e, \text{máx.}$	$T_i, \text{máx.} \leq T_e, \text{máx.}$
<p><math>T_i, \text{máx.}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  <math>T_e, \text{máx.}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;            NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a NBR 15220-3:2005.</p>		

**Fonte: NBR 15575-1:2013.**

As medições no local devem ser executadas no centro dos recintos dormitórios e salas, a um metro e vinte centímetros do piso. Em conjuntos habitacionais de unidades térreas,

escolhe-se sempre uma ou mais habitações que compreendam o caso mais crítico do ponto de vista térmico: no verão, a janela do dormitório ou sala tem que estar voltada para oeste e outra parede exposta voltada para o norte ou com o maior número de paredes expostas e com as orientações de janelas mais próximas do oeste. Na prática, deve-se aferir a temperatura de uma sequência de três dias no período de verão e/ou inverno e adotam-se os dados coletados no último dia. Tais dados são comparados com os valores de temperatura do dia típico, que neste caso é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local.

### 2.3.2 Sistemas de Vedação Vertical

Na NBR 15575-4:2013 é abordado o sistema de vedações verticais internas e externas, dispondo sobre os critérios de desempenho desejáveis. Além de volumetria e compartimentação dos espaços de edificações, esse sistema integra-se de forma estreita aos demais elementos de construção, podendo ainda assumir função estrutural, recebendo e influenciando o desempenho da edificação habitacional. Os requisitos e critérios presentes na norma são expostos a seguir.

#### a) Adequação de paredes externas

Neste requisito, as vedações verticais externas devem apresentar transmitância e capacidade térmica que proporcionem pelo menos o desempenho mínimo apresentado na Tabela 2.4.

**Tabela 2.4 – Valores admissíveis de transmitância e capacidade térmica de paredes externas.**

<b>Transmitância térmica – U</b>		
<b>Zonas 1 e 2</b>	<b>Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8</b>	
$U \leq 2,5$	$\alpha^* \leq 0,6$	$\alpha^* > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
* $\alpha$ é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede		
<b>Capacidade térmica - C<sub>T</sub></b>		
<b>Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7</b>	<b>Zona 8</b>	
$\geq 130$	Sem requisito	

Fonte: NBR 15575-4:2013.

## b) Aberturas para ventilação

Para proporcionar a ventilação interna dos ambientes da habitação, as paredes de ambientes de longa permanência – salas e dormitórios – devem apresentar aberturas com dimensões adequadas, atendendo a legislação específica do local da obra ou os valores da Tabela 2.5. Para a avaliação deve-se recorrer ao projeto arquitetônico e verificar a seguinte relação:

$$A = 100 \times (A_A/A_P) \quad (10)$$

Onde:

$A_A$  é a área efetiva de abertura de ventilação do ambiente, sendo que para o cálculo desta são consideradas somente as aberturas que permitam a livre circulação do ar, desconsiderando obstáculos. Não se computa as áreas de portas internas;

$A_P$  é a área de piso do ambiente.

**Tabela 2.5 – Valores mínimos 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
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área de piso	$A \geq 12\%$ da área de piso – região norte do Brasil $A \geq 8\%$ da área de piso – região nordeste do Brasil
Nas zonas de 1 a 6, as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.		

**Fonte:** NBR 15575-4:2013.

### 2.3.3 Sistemas de cobertura

Para sistemas de cobertura, o requisito a ser analisado é o de isolamento térmica. Os critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico são apresentados na NBR 15575-5:2013.

A cobertura deve apresentar transmitância térmica e absorvância à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada zona bioclimática. Os valores máximos admissíveis para tais variáveis, considerando fluxo térmico descendente, encontram-se indicados na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica.

Transmitância térmica (U)				
W/m <sup>2</sup> .K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
U ≤ 2,30	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4
	U ≤ 2,30	U ≤ 1,5	U ≤ 2,30 FV	U ≤ 1,5 FV

α é a absorptância à radiação solar da superfície externa da cobertura.

O fator de ventilação (FV) é estabelecido na NBR 15220-2:2005.

Fonte: NBR 15575-5:2013.

## 2.4 PESQUISAS REALIZADAS SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO TÉRMICO

Em suas pesquisas, Sá (1938) já se preocupava com a delimitação de uma zona térmica, para criar uma escala ou um índice de temperaturas efetivas para os brasileiros. O autor afirmou que num mesmo país e para um mesmo povo, as reações serão diversas se submetidos aos mesmos fatores climáticos, variando ainda de acordo com a ocasião e o indivíduo. O que é considerado confortável para alguns, pode ser inadequado para outros.

De maneira geral, Fanger (1970) define o conforto térmico como “uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”, pois envolve variáveis ambientais ou físicas e variáveis pessoais, sendo assim não é possível satisfazer termicamente todas as pessoas que estão submetidas ao mesmo ambiente térmico, devido aos aspectos individuais dos ocupantes. Segundo o mesmo autor, ao se tratar dessa temática, deve-se observar os seguintes parâmetros: temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, temperatura média radiante do ambiente, vestimenta e metabolismo do indivíduo.

Segundo Frota e Schiffer (2001), o conhecimento das exigências humanas de conforto térmico e do clima, associado ao das características térmicas dos materiais e das premissas genéricas para o partido arquitetônico adequado a climas particulares, proporciona condições de projetar edifícios e espaços urbanos cuja resposta térmica atenda às exigências iniciais. De acordo com os autores, em 1916 a Comissão Americana da Ventilação efetuou estudos e pesquisas com o objetivo de determinar a influência das condições de variação de temperatura e umidade do ambiente no rendimento do trabalho, visando, principalmente ao trabalho físico do operário, aos interesses de produção surgidos com a Revolução Industrial e às situações especiais de guerra, quando as tropas eram deslocadas para regiões de diferentes

tipos de clima. Notou-se que ocorriam variações de produção nas indústrias, de acordo com a mudança das estações do ano, concluindo ainda, que ambientes termicamente desconfortáveis apresentavam índices elevados de acidentes no trabalho.

Seguindo para a nuance de comportamento térmico em edificações, várias são as pesquisas a nível nacional a cerca do tema. As pesquisas, em geral, visam avaliar o conforto proporcionado por componentes, materiais e sistemas empregados em casos específicos. A seguir, destacam-se trabalhos acadêmicos que versam sobre o referido tema e apresentam conclusões interessantes sobre o desempenho térmico de edificações.

Em estudo recente, Bagnati (2013) analisou a influência da adoção de medidas da arquitetura bioclimática no desempenho térmico de edificações e qualidade do ambiente construído. Esse ramo da arquitetura aproveita as características climáticas desejáveis em que a edificação está inserida, subtraindo aquelas menos favoráveis ao conforto humano. Notou-se, então, que a adoção de estratégias de projeto é essencial para que se atenuem ou elimine o desconforto dos usuários. A autora, por meio de análises de trabalhos do arquiteto Paulo Mendes da Rocha, que produziu nas oito zonas bioclimáticas brasileiras, concluiu que cada uma delas requer soluções construtivas distintas, conforme o disposto na NBR 15220-3:2005. Além disso, um dos pontos fundamentais de sua pesquisa foi a avaliação de instrumentos que viabilizem a averiguação de projetos e edifícios, como é o caso do Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica – PROCEL, o qual salienta como fator positivo que suscita a busca pela qualificação arquitetônica quanto à performance térmica e energética.

Seguindo os preceitos da arquitetura bioclimática, uma das estratégias mais recomendadas e adotadas por projetistas é a ventilação natural, por proporcionar a qualidade do ar, promover o resfriamento do edifício e favorecer o conforto térmico aos usuários, sempre que as condições do clima externo forem favoráveis (SORGATO, 2009). Nesse contexto, Sorgato (2009) investigou a influência das áreas de superfície expostas ao exterior e do tamanho dos ambientes no desempenho térmico das edificações residenciais unifamiliares que se valem de tal técnica, em quatro diferentes tipologias residenciais localizadas em Florianópolis – SC, duas representando habitações de interesse social e outras duas tipologias, cada uma representando habitação para classe média e alta. Através de simulação computacional, utilizando o programa de simulação energética EnergyPlus, o autor chegou às seguintes conclusões:

- a envoltória é determinante no comportamento térmico das edificações ventiladas naturalmente;
- a combinação da transmitância térmica e da absorvância à radiação solar da cobertura apresenta grandes influências nos graus-hora de resfriamento para os quatro modelos analisados;
- o aumento do tamanho do ambiente resulta em uma quantidade maior de graus-hora de aquecimento;
- a cobertura foi um dos principais componentes construtivos intervenientes nos ganhos e perdas de calor e em ambientes menores, as paredes demonstraram maior influência que nos ambientes de maior área;
- através da ventilação, ocorreram as maiores perdas de calor em todos os modelos, em todas as estações, com exceção do inverno;
- o comportamento térmico dos ambientes estudados variou de acordo com as diferentes áreas de superfície expostas ao exterior, o tamanho dos ambientes, as superfícies em contato com o solo e com a cobertura.

As obras que integram a PNH estão sendo constantemente analisadas para avaliar sua conformidade com as recomendações normativas existentes, em relação à qualidade e eficiência. Na dissertação de Moreno (2013) pesquisou-se sobre uma unidade unifamiliar típica do PMCMV do Governo Federal avaliada conforme as normas NBR 15757:2008, NBR 15220-3:2005 e as recomendações do Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal e do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R, um dos instrumentos do PROCEL Edifica.

A avaliação de desempenho foi realizada para sete tipos de sistemas construtivos de parede e cinco de cobertura para a caracterização da envoltória do estudo de caso em todas as zonas bioclimáticas do país. Os resultados demonstraram que os sistemas construtivos que possuem cerâmica em sua composição e cores externas claras, bem como lâmina de alumínio sob as telhas apresentam os melhores níveis de desempenho, os que têm concreto em sua composição apresentaram níveis inferiores. O sistema construtivo composto unicamente por concreto moldado em forma de parede foi reprovado em todas as zonas bioclimáticas. Os

níveis de eficiência notados pela avaliação do método prescritivo e de simulação foram baixos, sendo “C” o nível máximo obtido. Pelo método prescritivo predomina-se o nível “D”, e pelo método de simulação o nível “E”, de acordo com o critério do RTQ-R.

Sacht (2008) elaborou uma dissertação bastante abrangente sobre a performance térmica de painéis de concreto moldados *in loco* e uma proposta de desenvolvimento desse material para tal sistema construtivo. Sua metodologia baseou-se em simulação computacional utilizando o programa ARQUITROP 3.0 e definição de diversas espessuras para os painéis e análise de concretos com diferentes massas específicas, considerando as particularidades das zonas bioclimáticas brasileiras e as recomendações da CEF e da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano – CDHU.

A partir dos resultados da simulação, verificou-se que as tipologias habitacionais com painéis de concreto com massa específica de  $2400 \text{ Kg/m}^3$  e com espessura de 12 cm foram as que apresentaram melhores resultados para todas as regiões analisadas. Além disso, a autora comparou a performance dos painéis com a apresentada por paredes constituídas de alvenaria em blocos cerâmicos e blocos de concreto, onde percebeu que entre os blocos, o comportamento esteve próximo e a tipologia de blocos de concreto apresentou desempenho equivalente ao de painéis de concreto de 10 cm, independente da massa específica dos mesmos.

Carvalho, P. (2012) apresentou em sua dissertação uma análise sobre o desempenho térmico de habitações de interesse social construídas com paredes de concreto na zona bioclimática dois. Através de medições *in loco* da temperatura do ar no interior de quatro unidades habitacionais com orientações solares predominantes no loteamento Zilda Arns, na cidade de Santa Maria – RS. Avaliou-se a relação entre as variações das temperaturas internas e das temperaturas externas, considerando as interferências da orientação solar e da infiltração de ar. As condições de conforto térmico internas foram verificadas de acordo com uma análise comparativa de temperaturas com valores limites da ASHRAE (2004).

A pesquisa concluiu que a orientação solar exerce influência nos períodos de inverno e verão, porém verificou-se que a infiltração de ar pouco influencia sobre o desempenho em relação às trocas de calor com o ambiente das unidades habitacionais. Outra conclusão interessante é que ainda que o sistema construtivo apresente bom desempenho térmico para o período de verão, não é adequado à zona bioclimática 2 no período de inverno. Quanto ao

conforto térmico, as habitações apresentaram desconforto por frio em todo o período de inverno analisado e conforto na maior parte do período de verão.

Nota-se nas pesquisas sobre o desempenho térmico de edificações que as estratégias e características específicas do projeto devem ser levadas em consideração, toda a envoltória deve contribuir para que os requisitos propostos pelas normas de desempenho brasileiras sejam atendidos. No caso específico de paredes de concreto, os resultados variam conforme as técnicas e materiais utilizados e a região de implantação da residência. Em alguns casos o sistema acaba não satisfazendo as recomendações normativas, tornando-se indispensável então uma avaliação mais criteriosa do projeto e revisão minuciosa dos procedimentos construtivos. Tendo em vista tais fatores, os próximos capítulos expõem a metodologia e avaliação de resultados de simulação computacional e aferição de temperaturas para unidades habitacionais que utilizam esse sistema em Tucuruí – PA, a fim de gerar dados sobre sua eficiência no local.

### CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DA PESQUISA

Para o desenvolvimento da pesquisa, realizou-se primeiramente:

- caracterização da obra adotada como estudo de caso;
- análise do projeto de implantação do CHV (caracterização das unidades habitacionais com diferentes orientações solares) a fim de escolher o protótipo que está de acordo com as recomendações da NBR 15575-1:2013;
- levantamento de dados a respeito do clima e relevo do município de Tucuruí, com a finalidade de estabelecer uma data ideal para a realização das medições. Tal data foi definida de acordo com a época do ano onde se observam as maiores temperaturas do ar – período de verão.

Para a etapa da avaliação de desempenho da habitação estudo de caso, utilizaram-se como base os três métodos indicados pela norma de desempenho (NBR 15575-1:2013). Os mesmos são descritos a seguir:

- **método simplificado:** cálculo e avaliação das propriedades térmicas dos materiais de construção empregados nas paredes e cobertura das residências do CHV, de acordo com a NBR 15220-2:2005b, NBR 15575-4:2013 e NBR 15575-5:2013;
- **método informativo:** medição *in loco* das temperaturas interna e externa e da umidade relativa do ar com posterior avaliação dos dados obtidos. No caso da medição interna utilizaram-se termômetros de globo em três cômodos da habitação e a temperatura externa foi aferida com um termo higrômetro digital;
- **método normativo:** avaliação comparativa do desempenho térmico entre habitação estudo de caso e uma habitação composta pelo sistema de vedação com blocos cerâmicos, por meio de simulação computacional (*software* EnergyPlus).

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

As informações referentes ao CHV foram coletadas a partir de quatro visitas técnicas realizadas no local da obra e dados de projetos fornecidos pela construtora responsável por sua execução. O projeto de implantação geral do empreendimento embasou a escolha da unidade habitacional a ser monitorada, pois através dele se observou a orientação solar de todos os lotes e dentre as três orientações constatadas – fachada principal voltada para o norte, sul ou leste –, escolheu-se a residência que apresenta condição próxima à crítica do ponto de vista térmico para o período de verão (comôdo com abertura voltada para o oeste e uma parede exposta ao norte).

Para o detalhamento das residências quanto às áreas, às divisões internas e aos materiais utilizados, recorreu-se à análise de suas plantas baixas e demais indicações do engenheiro responsável pela obra. Posteriormente, executou-se a especificação dos sistemas de vedação, piso e cobertura das habitações por meio de cálculos de suas propriedades térmicas. A Tabela 3.1 expõe os valores considerados para os cálculos efetuados, conforme as recomendações da NBR 15220-2:2005.

**Tabela 3.1 – Propriedades térmicas dos materiais construtivos (paredes e sistema de cobertura).**

<b>Material</b>	<b><math>\rho</math> Kg/m<sup>3</sup></b>	<b><math>\lambda</math> W/(m.K)</b>	<b><math>c</math> KJ/(kg.K)</b>
<b>Concreto</b>	2400	1,75	1,00
<b>Telha de argamassa</b>	2000	1,15	1,00
<b>Forro de PVC</b>	1300	0,20	0,96

Fonte: NBR 15220-2:2005.

Para complementar as informações necessárias à realização das medições *in loco*, estudaram-se as características climáticas da cidade de Tucuruí a partir de dois elementos: temperatura do ar e índices pluviométricos. As médias mensais de temperatura e pluviosidade foram baseadas em um período de coleta de dez anos (2004 – 2014) pela estação convencional 82361 – código OMM (Organização Meteorológica Mundial), acessadas através do BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa) e posteriormente dispostas em gráficos para definição do mês com temperatura média mais elevada. Após tais procedimentos, realizaram-se as medições na residência selecionada no período de transição entre os meses com as mais altas temperaturas médias.

### 3.2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO SIMPLIFICADO

Essa etapa se constituiu da verificação dos requisitos necessários para que os sistemas de vedação e cobertura das unidades habitacionais do CHV atingissem o nível mínimo (M) de desempenho térmico estabelecidos na norma de desempenho, procedimento intitulado de análise simplificada. Para os casos em que o desempenho foi insatisfatório, sugeriram-se medidas para que os sistemas se adequem ao nível mínimo requerido, baseadas apenas nos critérios normativos. A absorvância à radiação solar adotada para as paredes externas foi de 0,3 (pintura com cor amarela).

Para os sistemas de vedação, os critérios analisados foram: o de transmitância térmica das paredes externas, com valores calculados anteriormente com base na NBR 15220-2:2005, para paredes de concreto e em alvenaria com blocos cerâmicos; e aberturas para ventilação, calculadas conforme as recomendações da NBR 15575-4:2013. Vale destacar, que as aberturas referentes às portas internas foram desconsideradas, pois não são efetivas para ventilação de seus respectivos ambientes. Para a sala/cozinha computou-se a área referente às portas localizadas nas fachadas norte e oeste, que têm as dimensões de 2,10 m x 0,80 m e somente metade da área de abertura da janela na fachada sul, uma vez que é a região que de fato, permite a livre circulação de ar para o interior do ambiente, já que a janela é do tipo de correr com uma folha fixa e outra móvel (1,40 m x 1,20 m). Nos dormitórios Q<sub>1</sub> e Q<sub>2</sub>, as janelas são semelhantes à da sala, porém com menores dimensões (1,20 m x 1,20 m) e localizam-se na fachada oeste da residência.

Para a cobertura, o único requisito analisado conforme o estabelecido pela NBR 15575-5:2013 foi o de isolamento térmica, que leva em consideração apenas o critério de transmitância térmica do telhado. Uma observação importante é que como inexistente o valor de absorvância à radiação solar para a cor marrom (cor das telhas da habitação analisada) na NBR 15220-2:2005, adotou-se o valor de 0,74 que é estipulado para a cor vermelha, devido à semelhança entre as mesmas.

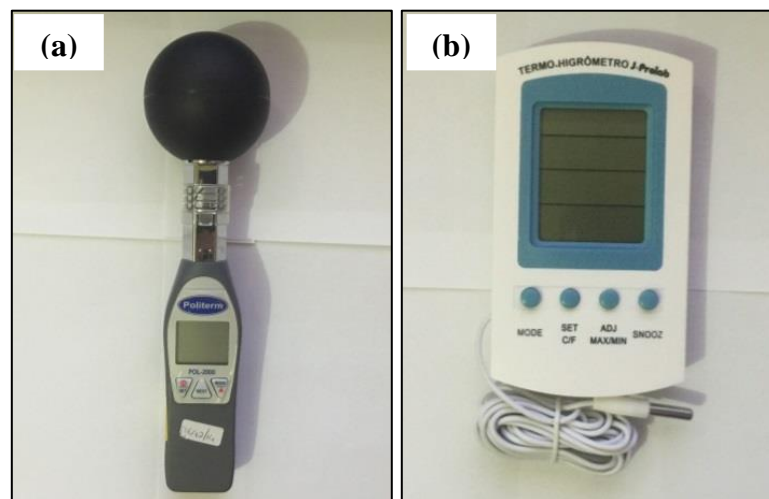
### 3.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO INFORMATIVO

O método consistiu na realização de medições *in loco* em uma unidade habitacional representativa do CHV. Para o levantamento dos dados referentes à temperatura e umidade

relativa do ar foram utilizados dois modelos distintos de aparelhos: três termômetros de globo modelo POL-2000, fabricados pela Politerm e um termo higrômetro digital da fabricante J. Prolab. Os primeiros realizam medição direta do efeito da radiação sobre a esfera preta de latão, indicando a TG (temperatura de globo), temperatura do ar, WBGT (Temperatura Global com Termômetro Úmido) e umidade relativa. O segundo é mais simples, indicando apenas a temperatura de bulbo seco e umidade relativa do local.

Todos os equipamentos utilizados se adequam a medições internas e externas. Para a pesquisa se utilizaram os três termômetros de globo (Fotografia 3.1) nos ambientes internos da habitação. Já o termo higrômetro digital (Fotografia 3.1) foi utilizado na aferição de temperaturas externas.

**Fotografia 3.1 – Termômetro de globo (a) e termo higrômetro digital (b).**



**Fonte: Elaborado pelos autores.**

As especificações técnicas dos aparelhos são apresentadas na Tabela 3.2, conforme o manual de seus respectivos fabricantes.

**Tabela 3.2 – Dados técnicos dos aparelhos utilizados.**

Especificação	Termômetro de globo	Termo higrômetro digital
Faixa de temperatura do ar	0°C a 50°C	-10°C a 70°C (Externo)
Precisão de temperatura do ar	± 0,6°C	± 1,0°C
Faixa de umidade	0% a 100%	20% a 90%
Precisão de Umidade Relativa	± 3% (para 10 a 90% RH)	± 5% RH
Tempo de resposta	15 segundos	Não informado

**Fonte:** Politerm (2010); J. Prolab (2015).

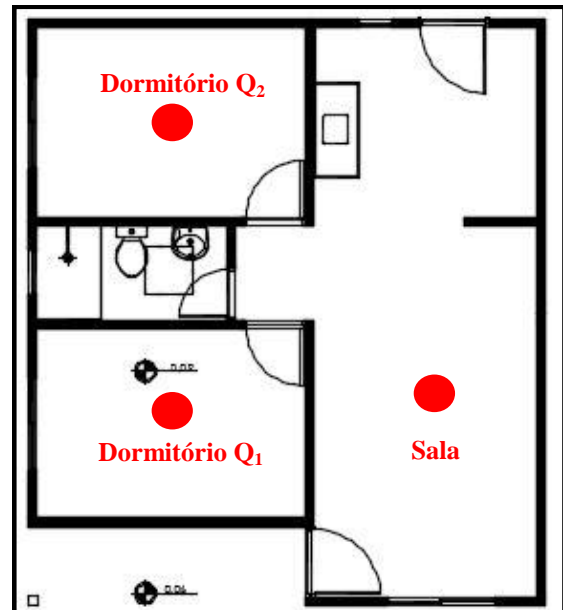
A residência escolhida para o monitoramento se enquadra nas condições expostas na NBR 15575-1:2013, ou seja, no verão apresenta o dormitório  $Q_2$  com janela voltada aproximadamente para o oeste e outra parede exposta para o norte, a mesma é do tipo T-2 e está localizada no lote vinte e dois, quadra trinta (Fotografia 3.2). À esquerda do lote selecionado, há uma residência de mesmo tipo e excetuando-a não existem outros elementos externos ou vegetação que modifiquem a incidência de sol e/ou obstruam o deslocamento de massas de ar para a unidade habitacional em estudo. Além do dormitório  $Q_2$ , a instrumentação também foi realizada na sala, que possui uma abertura voltada para a direção sul e três paredes expostas e no dormitório  $Q_1$  (abertura para o Oeste e parede exposta para o sul) a fim de gerar dados para todos os ambientes de longa permanência na unidade habitacional. A Figura 3.1 apresenta a posição dos sensores no interior da edificação.

**Fotografia 3.2 – Fachada da residência monitorada.**



**Fonte: Elaborado pelos autores.**

**Figura 3.1 – Posicionamento de sensores no interior da edificação.**



**Fonte: Elaborado pelos autores.**

Por se localizar na zona bioclimática oito, a análise do dia típico de projeto para o inverno não se faz necessária, logo houve apenas um período de medições. Realizou-se a coleta de dados manualmente com frequência horária, no centro dos recintos, a 1,20 m do piso com os sensores posicionados sobre cavaletes de madeira (Fotografia 3.3), respeitando os períodos de trabalho no CHV, nos dias 30/09/2015, 01/10/2015 e 02/10/2015, com início às oito horas e término às dezoito horas. Apenas os dados do dia 02/10/2015 foram utilizados na análise, conforme a recomendação da NBR 15575-1:2013.

**Fotografia 3.3 – Sensor posicionado sobre cavalete.**



**Fonte: Elaborado pelos autores.**

Durante o monitoramento as portas entre os cômodos e as janelas dos dormitórios e sala estavam abertas. Neste período a habitação estava totalmente pronta, inabitada e sem mobiliário, e o loteamento se encontrava pavimentado e sem arborização. Para aferição de dados para a área externa, o equipamento foi instalado em apoio próximo à unidade habitacional monitorada. Elaborou-se uma tabela para registro das temperaturas e umidade relativa do ar *in loco* com o intuito de organizar as anotações manuais, tal modelo é apresentado na Tabela 3.3.

**Tabela 3.3 - Tabela modelo para registro de dados.**

Ambiente	Sala		Dormitório Q <sub>1</sub>		Dormitório Q <sub>2</sub>		Área Externa	
	Temp.	RH	Temp.	RH	Temp.	RH	Temp.	RH
Horário								
08:00 h								
09:00 h								
10:00 h								
11:00 h								
12:00 h								
13:00 h								
14:00 h								
15:00 h								
16:00 h								
17:00 h								
18:00 h								

**Fonte: Elaborado pelos autores.**

Posteriormente, os dados coletados foram inseridos na planilha eletrônica *Microsoft Excel* para a elaboração de gráficos e demais análises necessárias, inclusive o tratamento estatístico das variáveis.

### 3.3.1 Análise dos dados coletados *in loco*

Para o procedimento de medição, elaboraram-se três interpretações distintas com base nos dados coletados: avaliação dos elementos climáticos na área externa da edificação, confronto entre os valores de temperatura interna e externa do ar e por fim, a análise conjunta de temperatura e umidade relativa do ar em cada ambiente monitorado.

A primeira avaliação consistiu em executar o tratamento estatístico das temperaturas do ar aferidas na área externa, objetivando a conclusão de que os dias avaliados possuíam características climáticas semelhantes. Dessa forma, calculou-se o desvio padrão de valores de temperaturas máximas, mínimas e médias, além de amplitude térmica. Constatou-se pelos baixos valores de desvio padrão, que o período atendia à condição estabelecida pela NBR 15575-1:2013, podendo o último dia de monitoramento ser considerado dia típico de projeto para a condição de verão.

Em seguida, traçou-se um paralelo entre os valores de temperaturas internas e externas do ar para cada dia de monitoramento, com a finalidade de perceber a heterogeneidade no comportamento térmico dos cômodos da habitação em estudo. Essa avaliação foi essencial no procedimento de medição, uma vez que a análise de desempenho pelo método em questão tem como critério exclusivo a relação entre a temperatura do ar no interior da residência e a externa (NBR 15575-1:2013).

Os valores de temperatura e umidade relativa do ar em cada ambiente da habitação para o último dia de medições foram analisados em conjunto, observando a relação entre os dois parâmetros ao longo do dia e também como a orientação solar de cada cômodo interfere em seu desempenho térmico. Apesar do estudo sobre a RH possuir caráter complementar, ele ganha importância, pois esta é uma variável ligada diretamente à sensação térmica corporal do usuário, posto que com elevada quantidade de vapor de água presente no ar, a evaporação do suor produzido pelo corpo se torna difícil e inibe a perda de calor, aumentando o desconforto térmico do mesmo.

Ao fim de todas as análises propostas, procedeu-se a avaliação final de desempenho térmico pelo método de medição, onde foram comparados os valores máximos de temperatura do ar no interior e exterior da residência no dia 02/10/2015. Vale ressaltar que o procedimento de medição é estabelecido na NBR 15575-1:2013 como meramente informativo, porém o mesmo apresenta resultados válidos, uma vez que representam os dados reais de temperatura na residência. A próxima etapa a ser descrita é o procedimento normativo de simulação computacional.

### 3.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO NORMATIVO

Essa etapa constituiu na análise do comportamento da edificação como um todo frente às variações térmicas do seu entorno através de simulação computacional utilizando o *software* EnergyPlus. Para conjuntos habitacionais, a NBR 15575-1:2013 estabelece que a habitação a ser selecionada deva ter o maior número de paredes expostas. Realizou-se, então, a modelagem da mesma unidade habitacional do tipo T2 considerada no procedimento de medição, de acordo com o projeto arquitetônico, geometria e posicionamento de aberturas, propriedades térmicas dos materiais e elementos construtivos e orientação solar do projeto específico do CHV. A sua escolha foi pautada ainda, na decisão de futura comparação entre os dados simulados e os medidos no local.

Para a geometria do modelo de simulação, considerou-se cada ambiente da edificação como uma zona térmica distinta. Na composição de materiais para a simulação, empregaram-se os dados das propriedades térmicas dos materiais e/ou componentes construtivos disponibilizados NBR 15220-2:2005 como referência. A situação adotada foi a mais próxima do real, ou seja, o entorno não conta com a presença de vegetação que modifique a incidência da radiação solar e/ou do vento, a unidade habitacional presente no lote à esquerda da habitação analisada foi desprezada. A obstrução por elementos construtivos não foi considerada, uma vez que o projeto do CHV não os prevê.

Para a habitação com vedações constituídas por paredes de blocos cerâmicos, utilizaram-se as mesmas orientações e materiais de cobertura e piso da residência com paredes de concreto, a fim de tornar os resultados aproximados e favorecer a comparação entre os sistemas. Os blocos cerâmicos considerados possuem dimensões de 9,0x19,0x19,0 (cm), com oito furos quadrados, assentados na sua menor dimensão e utilizando argamassa de

assentamento com espessura de 1 cm. A parede idealizada apresentava reboco em ambas as faces com argamassa comum e espessura de 2,5 cm, levando a vedação a ter espessura total de 14 cm. As propriedades térmicas da parede foram calculadas de acordo com as informações presentes na Tabela 3.4.

**Tabela 3.4 – Propriedades térmicas dos materiais construtivos para paredes de blocos cerâmicos.**

<b>Material</b>	<b><math>\rho</math> Kg/m<sup>3</sup></b>	<b><math>\lambda</math> W/(m.K)</b>	<b>C KJ/(kg.K)</b>
<b>Reboco</b>	2000	1,15	1,00
<b>Bloco cerâmico</b>	1600	0,90	0,92
<b>Argamassa de assentamento</b>	2000	1,15	1,00

Fonte: NBR 15220-2:2005.

Para a análise do desempenho térmico foi adotado o programa de simulação computacional EnergyPlus versão 8.3. Este programa é validado pela ANSI/ASHRAE Standard 140 (2011) e recomendado pela própria NBR 15575-1:2013.

#### 3.4.1 *Software* EnergyPlus

O EnergyPlus é um programa de simulação computacional, criado a partir de outros dois softwares do Departamento de Energia dos Estados Unidos, o BLAST e DOE-2, desenvolvido para simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas. O programa possui capacidade de simulação diferenciada, tais como intervalo de cálculo menor que uma hora, sistema modular, possibilidade de cálculo de infiltração de ar diferenciada para cada zona térmica, cálculo de índices de conforto térmico e integração com outros sistemas, como o fotovoltaico e o de ventilação natural.

O *software* apresenta algumas características importantes que o diferenciam de diversos programas de simulações termoenergéticas, como:

- solução simultânea e integrada em que a resposta do prédio e o sistema primário e secundário estão acoplados;
- intervalos de tempos definidos pelo usuário, com fração de hora, para interação entre as zonas térmicas e o ambiente, e intervalos de tempo variável

para interação entre a zona térmica e o sistema HVAC (automaticamente variável para assegurar uma solução estável);

- arquivos de entrada, saída que incluem condições ambientais horárias ou sub-horárias (até quine minutos) e relatórios padrões reajustáveis pelo usuário;
- técnica de solução baseada no balanço de energia para as cargas térmicas prediais, que permite o cálculo simultâneo dos efeitos radiante e convectivo na superfície interior e exterior, durante cada intervalo de tempo; entre outras.

Além disso, o EnegyPlus integra vários módulos que trabalham juntos para calcular a energia requerida para aquecer ou resfriar um edifício usando uma variedade de sistemas e fontes de energia. Ele faz isso simulando o edifício e os sistemas associados em diferentes condições ambientais e operacionais. A essência da simulação está no modelo do edifício que utiliza princípios fundamentais de balanço energético. A seguir, descrevem-se os principais parâmetros utilizados para executar a simulação no referido programa.

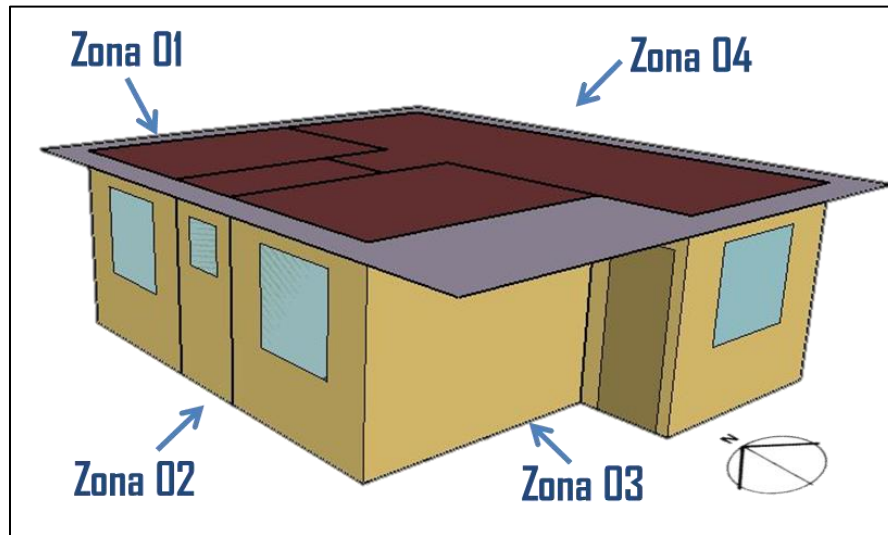
#### *3.4.1.1 Modelagem de zonas térmicas*

Com o auxílio do *plug-in* Legacy OpenStudio 1.0.13 para o Google SketchUp (programa de modelagem tridimensional), a geometria e os componentes da residência foram criados na linguagem do EnergyPlus. Através dele, também se modelaram quatro zonas térmicas (apresentadas na Figura 3.2):

- zona 01: corresponde ao dormitório Q<sub>2</sub>. Possui uma janela na fachada oeste e uma porta interna na parede sul;
- zona 02: banheiro. Essa zona não foi considerada na análise, uma vez que não corresponde a um ambiente de longa permanência;
- zona 03: corresponde ao dormitório Q<sub>1</sub>. Possui as mesmas dimensões e aberturas que a zona 01;
- zona 04: representa a sala da unidade habitacional. Possui duas portas externas, uma na fachada norte e outra a oeste, além de uma janela na parede sul.

Além das zonas, inseriu-se o beiral da cobertura que funciona como dispositivo de sombreamento externo da residência. Cada ambiente da unidade habitacional foi analisado isoladamente, de acordo com os resultados da simulação, que apresentaram valores de temperatura do ar interno no centro de cada zona.

**Figura 3.2 – Croqui em 3D da unidade habitacional e zonas térmicas simuladas.**



**Fonte: Elaborado pelos autores.**

#### 3.4.1.2 Dados climáticos e dia típico de projeto

Como no procedimento de medição, o modelo foi simulado apenas no período típico de verão. Em um primeiro momento, utilizaram-se como referência as tabelas A1 e A2 apresentadas no Anexo A, da NBR 15575-1:2013, que fornecem informações sobre a localização geográfica de algumas cidades brasileiras e os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão. Como inexistem dados normativos a cerca de Tucuruí, adotou-se os dados climáticos da cidade de Belém – PA, que é a mais próxima com características climáticas semelhantes, na mesma zona bioclimática brasileira. A data escolhida para a simulação foi o dia 02 de outubro, o que permitiu posterior paralelo entre os dados simulados e os coletados *in loco*.

A temperatura do solo, parâmetro que tem grande influência sobre os resultados da simulação, foi obtida a partir do procedimento indicado pelo programa EnergyPlus e descrito a seguir:

- simulou-se um modelo com as informações mínimas necessárias para o *software* gerar as temperaturas externas mensais, de acordo com o arquivo climático de Belém – PA;
- subtraiu-se 2°C das temperaturas obtidas na etapa anterior. Os resultados dessa operação foram assumidos como temperatura do solo.

As coordenadas geográficas de Belém e os dados de dias típicos de verão podem ser observados na Tabela 3.5. Informações complementares foram introduzidas com o arquivo Clima Internacional para Cálculos de Energia – IWEC – correspondente. O IWEC é resultado de um projeto de pesquisa da ASHRAE e expõe os dados climáticos típicos adequados para uso em *softwares* de simulação energética de edificações para 227 cidades, fora dos Estados Unidos e Canadá (ASHRAE, 2001).

**Tabela 3.5 – Coordenadas geográficas e dados de dias típicos de verão para Belém – PA.**

Temperatura máxima diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	TBU (°C)	Latitude	Longitude	Altitude (m)
33,4	10,5	26,1	1.45 S	48.47 W	10

Fonte: NBR 15575-1:2013.

Para a simulação se considerou que as portas e janelas estavam abertas durante todo o dia e, portanto, a ventilação natural dos ambientes era constante em todas as zonas. Já a absorvância à radiação solar das superfícies expostas foi de 0,3 para as paredes externas e de 0,74 para a cobertura.

#### 3.4.1.3 Método utilizado para as análises dos resultados da simulação

Após a simulação da unidade habitacional considerando tanto o sistema de paredes de concreto quanto o de alvenaria com blocos cerâmicos, os resultados foram convertidos em gráficos, os quais confrontaram as temperaturas internas de cada zona e as externas. Para a avaliação de desempenho foram considerados apenas esses valores de temperatura.

Primeiramente foram analisadas as paredes de concreto e após a avaliação de desempenho da edificação como um todo, compararam-se aos resultados obtidos com a

avaliação pelo método de medição, expondo as similaridades e/ou diferenças entre os dois métodos. Posteriormente, avaliou-se o desempenho geral da unidade habitacional com paredes de alvenaria com blocos cerâmicos e, por fim, compararam-se as diferenças entre os dois sistemas construtivos em estudo.

Para traçar o paralelo entre as vedações em concreto e alvenaria, procedeu-se inicialmente a análise do comportamento simulado no programa EnergyPlus de duas paredes com orientações solares opostas (uma voltada para o oeste e outra para o leste), objetivando a obtenção de parâmetros como atraso e amortecimento térmico. Após isso, avaliaram-se as temperaturas obtidas para a edificação como um todo para cada sistema e elaboraram-se as conclusões necessárias.

## CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo trata da análise dos resultados de caracterização do CHV e do clima e relevo do município de Tucuruí – PA e ainda, das medições realizadas na unidade habitacional selecionada no período de verão. Além disso, apresenta os dados obtidos na simulação computacional e a avaliação dos materiais e componentes conforme as recomendações da NBR 15575:2013.

### 4.1 DETALHAMENTO DO ESTUDO DE CASO

As habitações unifamiliares do CHV – Cidade Universitária ficam a 4 km do centro do núcleo urbano do município, próximas ao aeroporto de Tucuruí e possuem como principal via de acesso a estrada do aeroporto, que pode ser acessada pela BR 422.

O empreendimento em questão pode ser financiado pela CEF como parte do PMCMV, compreende a execução de 883 unidades habitacionais em suas três fases, contendo casas com dois e três dormitórios e serviços de infraestrutura complementares às habitações, sendo executadas pela Techcasa Incorporação e Construção. A Figura 4.1 apresenta a vista aérea de parte da cidade de Tucuruí indicando a localização do CHV.

**Figura 4.1 – Vista aérea de Tucuruí e localização do CHV.**



**Fonte: Adaptado de Google Earth (2013).**

Na Figura 4.1 é possível identificar a ocupação do local é recente. A área foi completamente limpa para a construção do empreendimento, o terreno também passou por

etapas de terraplenagem, mantendo o solo com nivelamento plano. Atualmente a primeira fase do empreendimento encontra-se na etapa de acabamento e entrega aos moradores (Fotografia 4.1).

**Fotografia 4.1 – Visão geral do empreendimento.**



**Fonte: Techcasa (2015).**

As fases de implantação do loteamento são apresentadas na Figura 4.2, elas são definidas de acordo com a data de entrega ao cliente, sendo que a fase um (amarela) tem entrega prevista para o mês de dezembro de 2015. Observa-se ainda, que há três orientações solares possíveis: fachada principal da habitação voltada para o leste, norte ou sul. A unidade habitacional monitorada se insere no último caso e tem sua localização destacada na Figura.

**Figura 4.2 – Implantação por fases do CHV, em planta, sem escala.**



**Fonte: CASAPINAR (2013).**

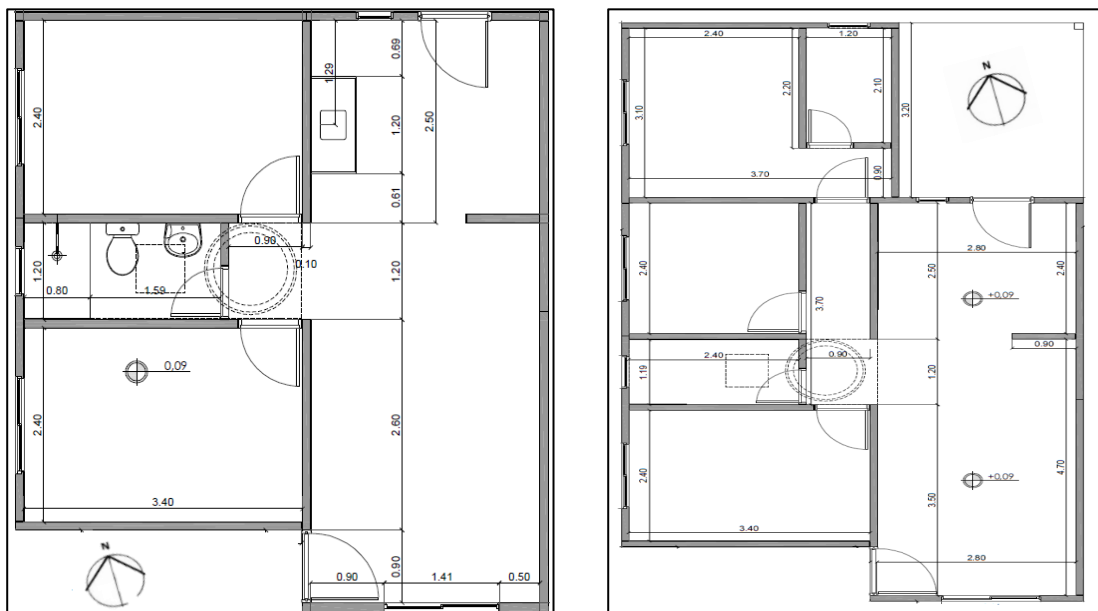
#### 4.1.1 Caracterização da unidade habitacional objeto de estudo

As habitações do CHV são térreas, individuais e possuem duas tipologias:

- T-2: residência com dois dormitórios: área total de 44,50 m<sup>2</sup>, área útil de 40,56 m<sup>2</sup> e pé-direito de 2,5 m, conforme Figura 4.3.
- T-3: residência com três dormitórios: área total de 62,40m<sup>2</sup>, área útil de 51,52 m<sup>2</sup> e pé-direito de 2,5 m, conforme Figura 4.3.

As habitações de uma mesma tipologia possuem planta baixa idêntica, apresentando variações quanto à implantação das mesmas nos lotes, totalizando três diferentes orientações solares. São organizadas internamente com sala, cozinha, dormitórios, circulação e banheiro. A tipologia T-3 possui ainda uma garagem. Quanto aos materiais utilizados nas habitações, destacam-se as paredes de concreto armado, a cobertura em telhas de argamassa com forro em PVC e as esquadrias externas em alumínio e vidro.

**Figura 4.3 – Planta baixa de habitação do tipo T-2 (à esquerda) e de habitação do tipo T-3 (à direita), escala não indicada.**



**Fonte: CASAPINAR (2013).**

#### 4.1.2 Propriedades térmicas de materiais e componentes

Os materiais e características construtivas empregados na unidade habitacional selecionada estão dispostos no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Características construtivas das habitações do CHV.

<i>Elemento construtivo</i>	<i>Material/ técnica construtiva</i>	<i>Observação</i>
<b>Fundação</b>	Radier	$F_{ck} = 25 \text{ Mpa}$ ; $e = 8 \text{ cm}$ .
<b>Paredes</b>	Concreto armado moldado <i>in loco</i> ; $F_{ck} = 25 \text{ MPa}$ (28 dias); Aditivo plastificante.	Paredes externas: 10 cm; Paredes internas: 10 cm.
<b>Esquadrias</b>	Janelas e portas externas em alumínio anodizado branco e vidro; Portas internas em madeira.	-
<b>Cobertura</b>	Telhas de argamassa pintadas de marrom.	Estrutura em alumínio; Ático não ventilado.
<b>Forro</b>	PVC branco	-
<b>Revestimento interno</b>	Massa corrida + látex PVA; Placas cerâmicas somente no box; Duas fiadas de placas cerâmicas de 25x35 cm sobre a pia.	Rodapé cerâmico com 5 cm.
<b>Pintura</b>	Massa corrida + látex PVA Textura rolada	As paredes externas têm coloração amarela.
<b>Pisos</b>	Placas cerâmicas de 35x35 cm.	Área externa: piso cimentado liso desempenado.

Fonte: Elaborado pelos autores.

As Tabelas 4.1 e 4.2 exibem os valores calculados das propriedades térmicas que foram utilizadas na análise de conformidade com as normas de desempenho e na simulação computacional da residência. O atraso térmico e o fator solar da cobertura foram determinados apenas para a condição de verão, em virtude de esta ser a condição predominante no Brasil, conforme o disposto na NBR 15220-2:2005. Os cálculos para cada uma das variáveis foram detalhados no apêndice B.

Tabela 4.1 – Valores de resistência térmica ( $R_T$ ), transmitância térmica ( $U$ ), capacidade térmica ( $C_T$ ), atraso térmico ( $\varphi$ ) e fator solar (FS) para paredes externas.

Sistema	$R_t$ ( $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ )	$R_T$ ( $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ )	$U$ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$C_T$ $\text{KJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\varphi$ (horas)	Fator Solar (%)
Parede de concreto	0,057	0,23	4,40	240	2,7	5,28

Fonte: Elaborado pelos autores.

**Tabela 4.2 – Valores de resistência térmica ( $R_T$ ), transmitância térmica ( $U$ ), capacidade térmica ( $C_T$ ), atraso térmico ( $\phi$ ) e fator solar (FS) do sistema de cobertura.**

Material	$R_t$ ( $m^2.K$ )/W	$R_T$ ( $m^2.K$ )/W	$U$ W/( $m^2.K$ )	$C_T$ KJ/( $m^2.K$ )	$\phi$ (horas)	Fator Solar (%)
Sistema de cobertura	0,2774	0,4874	2,05	52,48	1,22	6,07

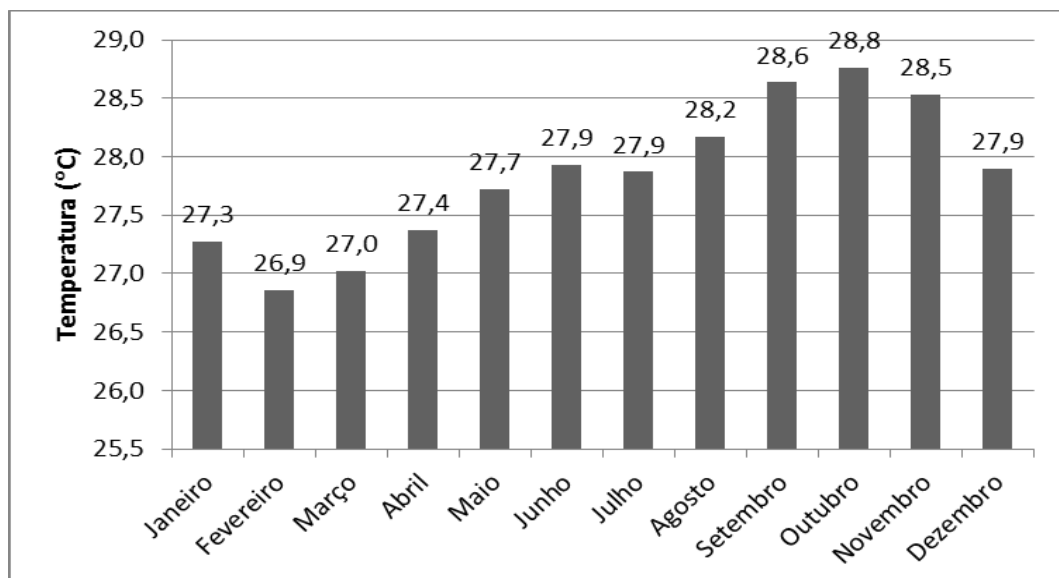
Fonte: Elaborado pelos autores.

Para seguir as diretrizes impostas na NBR 15575-1:2013, são necessárias informações específicas de clima e relevo do local de estudo. Tais parâmetros são detalhados a seguir.

#### 4.1.3 Dados climáticos de Tucuruí – PA

O município de Tucuruí situa-se nas coordenadas 03°45'58" de latitude sul e 49°40'21" de longitude oeste, a uma altitude de quarenta e dois metros em relação ao nível do mar. De acordo com Eletronorte (*apud* CINTRA *et al.*, 2013), o clima da cidade é equatorial quente e úmido, com temperatura média anual situada entre 25°C e 29°C, com valores mínimos absolutos entre 18°C e 22°C e máximos entre 32°C e 36°C. Por estar localizado próximo ao Equador, as temperaturas são altas durante o ano inteiro com médias mensais superiores a 24°C (FISCH; JANUÁRIO; SENNA, 1990). As médias mensais de temperatura estão expostas no Gráfico 4.1, nota-se a homogeneidade sazonal da temperatura, onde os meses com maiores médias são outubro e setembro.

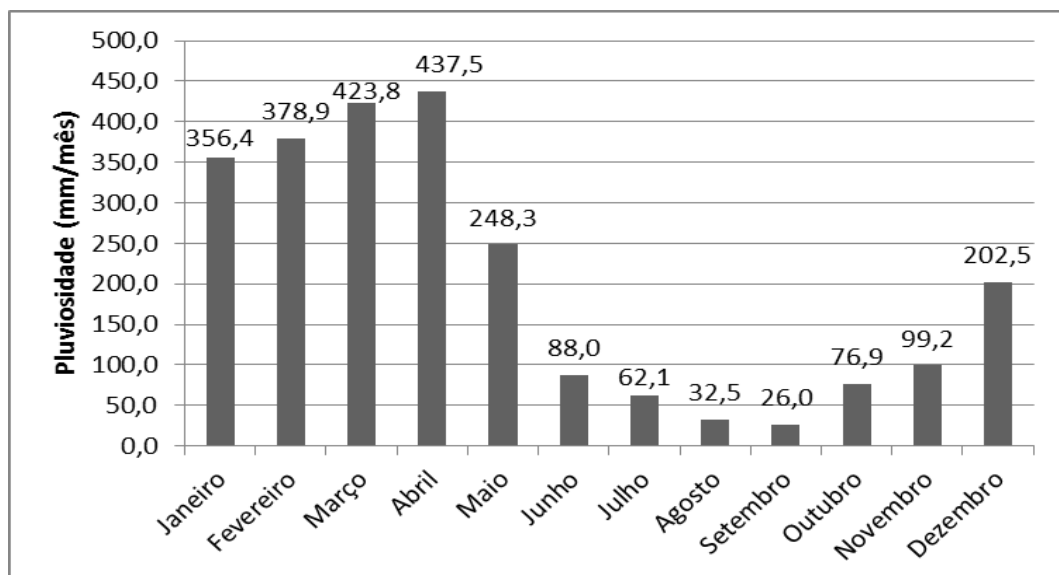
**Gráfico 4.1 – Temperaturas médias mensais em Tucuruí – PA.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

É perceptível a presença de duas estações bem definidas e características ao longo do ano: um período chuvoso de dezembro a maio, com chuvas intensas de origem convectiva e total mensal atingindo valores entre 300 a 600 mm/mês; e outro período seco de junho a novembro, com uma estiagem pronunciada de agosto a setembro, quando a precipitação é tipicamente da ordem de 30 mm/mês. Tais intervalos de tempo coincidem com os meses que apresentam menores e maiores médias de temperatura, o que prova que o clima na região é fortemente influenciado pelo seu regime pluviométrico. O Gráfico 4.2 relaciona a quantidade média de precipitação para cada mês do ano, baseado em um período de coleta de dez anos (2004-2014).

**Gráfico 4.2 – Precipitações médias mensais em Tucuruí – PA.**



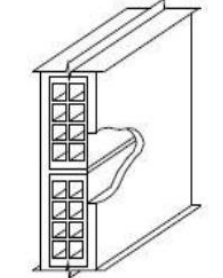
**Fonte: Elaborado pelos autores.**

Os ventos que predominam na região, são os do quadrante norte-leste, com velocidade média situada entre 14 e 17 km/h. A umidade relativa do ar é elevada, com médias variando entre 73% e 93% durante o ano (INMET, 2015).

#### 4.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO SIMPLIFICADO

Após o cálculo das propriedades dos materiais de construção que compõem o sistema de vedações verticais e cobertura, compararam-se os resultados obtidos com os valores normativos para cada critério apresentado pelas normas NBR 15575-4:2013 e 15575-5:2013, respectivamente. No caso do sistema de vedação com blocos cerâmicos, os valores calculados para as propriedades térmicas das paredes estão expostos na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3 – Valores de resistência térmica ( $R_T$ ), transmitância térmica ( $U$ ), capacidade térmica ( $C_T$ ), atraso térmico ( $\phi$ ) e fator solar ( $FS$ ) para paredes de alvenaria com blocos cerâmicos.**

Sistema	Desenho esquemático	$R_t$ ( $m^2.K$ )/W	$R_T$ ( $m^2.K$ )/W	$U$ W/( $m^2.K$ )	$C_T$ J/( $m^2.K$ )	$\phi$ (horas)	Fator Solar (%)
Parede de blocos cerâmicos		0,2307	0,401	2,49	167	3,44	2,99

Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4.2.1 Requisitos para vedações verticais

O primeiro critério a ser analisado para as vedações verticais é o da transmitância térmica ( $U$ ). A avaliação para o sistema de paredes de concreto e alvenaria com blocos cerâmicos está expressa na Tabela 4.4. Com base nos valores normativos, o sistema utilizado no CHV (paredes de concreto) apresenta desempenho insatisfatório, não contemplando o nível de desempenho mínimo. Já o sistema de paredes de alvenaria com blocos cerâmicos, adequa-se ao critério e atinge o nível mínimo (M) de desempenho térmico exigido.

**Tabela 4.4 – Desempenho das paredes externas de acordo com o critério da transmitância térmica ( $U$ ).**

Sistema construtivo	$\alpha$	Condição normativa	$U$ (W/( $m^2.K$ ))	Avaliação
Paredes de concreto	0,3	$U \leq 3,7$	4,40	Desempenho insatisfatório
Paredes de alvenaria com blocos cerâmicos	0,3	$U \leq 3,7$	2,49	Desempenho satisfatório

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para que as paredes de concreto se adequem à condição expressa em norma e atinjam o nível mínimo de desempenho, há duas possibilidades:

- aumentar a espessura dos painéis de concreto externos para 17,6 cm, solução que a primeira vista geraria mais custos, pois o volume de concreto necessário para a construção do conjunto habitacional seria elevado, logo deveria ser cuidadosamente analisada pela equipe financeira da construtora;

- utilizar concreto com menores valores de condutividade térmica ( $\lambda \leq 1,00$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ ), mantendo-se constante a espessura das paredes. Em geral, concretos com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa e concretos que têm em sua composição argila expandida se adequam a este requisito;
- adotar soluções construtivas inovadoras e de baixo custo, como por exemplo: paredes de argamassa armada e isopor.

Para a zona bioclimática oito, o critério de capacidade térmica de paredes externas não é exigido, sendo assim o requisito de adequação de paredes externas nessa zona é condicionado somente pelos valores de transmitância térmica encontrados. No requisito aberturas para ventilação, os resultados para os ambientes de longa permanência – sala/cozinha e dormitórios – estão dispostos na Tabela 4.5.

**Tabela 4.5 – Desempenho das paredes externas de acordo com o critério de aberturas para ventilação.**

<b>Cômodo</b>	<b>A<sub>A</sub></b> <b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>P</sub></b> <b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>A</b> <b>(%)</b>	<b>A normativa</b> <b>(%)</b>	<b>Avaliação</b>
Sala/Cozinha	4,20	20,16	20,8	≥ 12	<b>Desempenho satisfatório</b>
Dormitório Q <sub>1</sub>	0,72	8,16	8,82	≥ 12	<b>Desempenho insatisfatório</b>
Dormitório Q <sub>2</sub>	0,72	8,16	8,82	≥ 12	<b>Desempenho insatisfatório</b>

Fonte: Elaborado pelos autores.

Notou-se que para os dormitórios o nível mínimo de desempenho para o requisito não foi atingido, o que demonstra que as aberturas dispõem de área insuficiente para ventilação do ambiente. O ideal seria aumentar a área das janelas para 0,98 m<sup>2</sup>. Pode-se ainda, alterar o tipo de esquadria, uma janela de abrir com duas folhas e eixo vertical com as mesmas dimensões da existente na habitação, por exemplo, proporcionaria um desempenho satisfatório para os cômodos em questão.

#### 4.2.2 Requisitos para cobertura

O requisito de isolamento térmica da cobertura apresenta apenas o critério de transmitância térmica (U) do sistema, cujos valores são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Desempenho da cobertura de acordo com o critério de transmitância térmica (U).

Sistema Construtivo	$\alpha$	Condição normativa	U (W/(m <sup>2</sup> .K))	Avaliação
<b>Telhas de argamassa e forro em PVC</b>	0,74	$U \leq 1,5 \text{ FV}^*$	2,05	<b>Desempenho insatisfatório</b>

\*FV = 1, pois não há aberturas para ventilação.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O desempenho insatisfatório para o sistema de cobertura que emprega telhas de argamassa e forro em PVC é explicado pelo seu alto valor de emissividade superficial, a pintura das telhas de argamassa com cores que apresentam baixa absorvância à radiação solar, como branco, amarelo e verde claro é uma alternativa recomendada para adequar o telhado à condição normativa. Pode-se ainda, aplicar produto isolante térmico sob as telhas de argamassa, para que os valores de transmitância se reduzam e prever aberturas para ventilação do ático junto aos beirais, devendo-se aplicar tela de proteção contra pássaros e outros animais que possam adentrar esse espaço.

#### 4.3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO INFORMATIVO

Os dados registrados foram analisados e procedeu-se o tratamento estatístico das temperaturas do ar no exterior da habitação. A Tabela 4.7, apresenta os valores máximos, médios e mínimos de temperatura, assim como o desvio padrão dos dados, constatando que os dias tiveram características climáticas semelhantes, atendendo assim ao requisito da NBR 15575-1:2013 para o procedimento de medição.

Tabela 4.7 – Valores máximos, médios e mínimos de temperatura do ar exterior no período de medição.

Ambiente:	Área externa				
Data:	30/09/2015	01/10/2015	02/10/2015	Média	Desvio
	Temp. (°C)	Temp. (°C)	Temp. (°C)	(°C)	Padrão
<b>Temp. Máxima</b>	33,4	35	33,6	34,0	0,87
<b>Temp. Média</b>	31,1	30,8	30,7	30,9	0,21
<b>Temp. Mínima</b>	28,5	27,4	26,1	27,3	1,20
<b>Amplitude térmica</b>	4,9	7,6	7,5	6,7	1,53

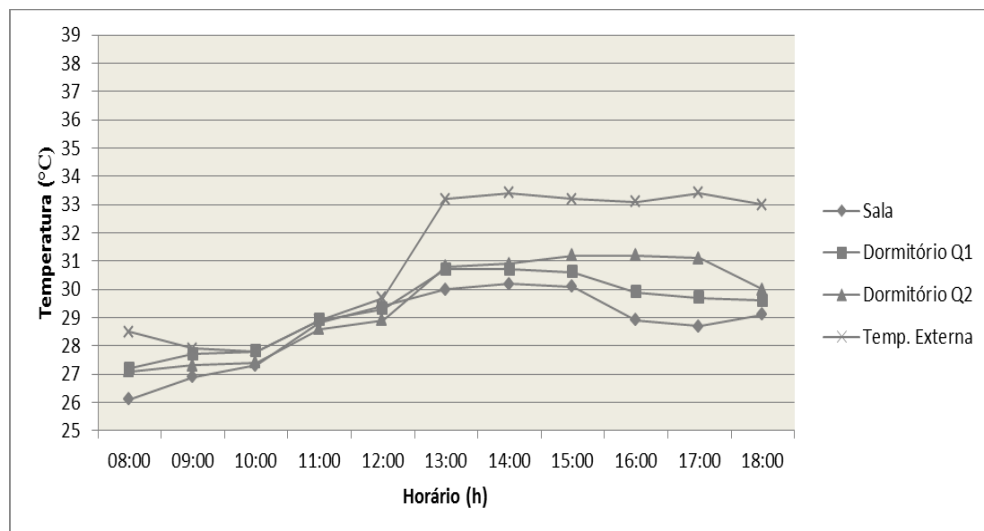
Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se na tabela 4.3 que a amplitude térmica média para o período analisado é de  $6,7^{\circ}\text{C}$ , valor habitualmente atingido na região durante tal período do dia. Já as temperaturas médias se mantiveram quase constantes, apresentando um baixo desvio padrão. A média das temperaturas máximas foi de  $34^{\circ}\text{C}$ , próximo ao valor do dia típico de verão para a cidade de Belém – PA, que é de  $33,4^{\circ}\text{C}$ , apresentado no anexo A da NBR 15575-1:2013. Já as temperaturas mínimas variaram entre  $26,1^{\circ}\text{C}$  e  $28,5^{\circ}\text{C}$ . Diante do exposto, o dia tomado para a avaliação de desempenho térmico da residência para o período de verão, de acordo com a mesma norma, deve ser o dia 02/10/2015.

#### 4.3.1 Avaliação das temperaturas internas *versus* temperaturas externas

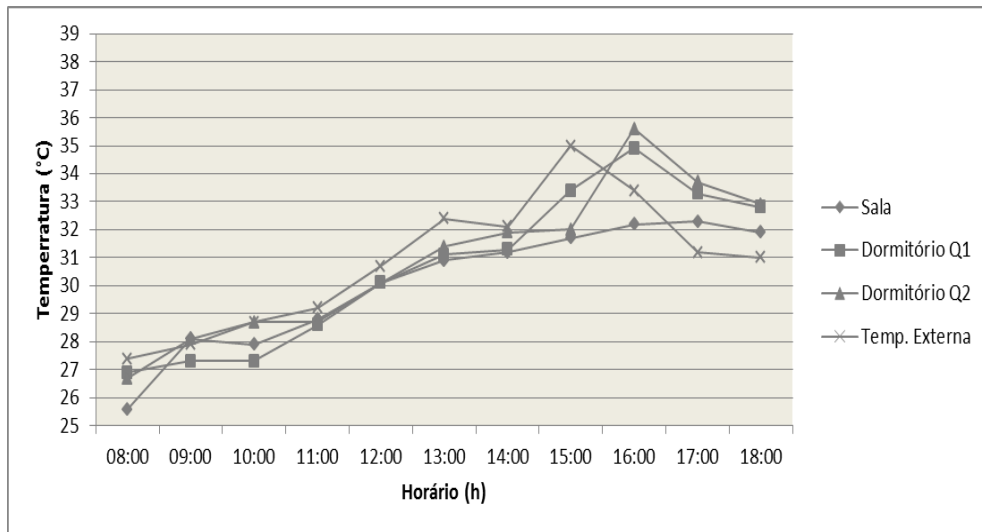
Nesta análise foram comparadas as temperaturas do ar no interior dos recintos da unidade habitacional face à temperatura externa. Para cada dia do período de medições plotou-se um gráfico, simplificando a compreensão dos resultados. Tais informações estão presentes nos Gráficos 4.3, 4.4 e 4.5.

**Gráfico 4.3 – Temperaturas do ar no interior dos ambientes da residência e exterior no dia 30/09/2015.**



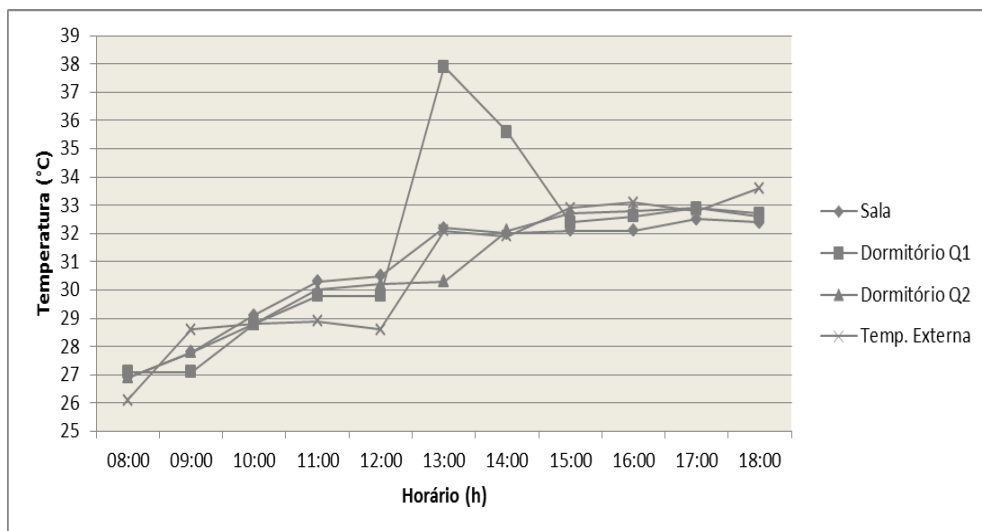
**Fonte: Elaborado pelos autores.**

Gráfico 4.4 – Temperaturas do ar no interior dos ambientes da residência e exterior no dia 01/10/2015.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 4.5 – Temperaturas do ar no interior dos ambientes da residência e exterior no dia 02/10/2015.



Fonte: Elaborado pelos autores.

No dia considerado para a avaliação de desempenho (02/10/2015), a temperatura externa mínima registrada foi de 26,1°C às 08:00h e máxima de 33,6°C às 18:00h, o que resulta em uma amplitude térmica de 7,5°C. As temperaturas mais baixas foram registradas durante a manhã, ocorrendo um aumento gradativo até o término da tarde. No interior da edificação, durante a maior parte do período de medição, as temperaturas apresentavam valores superiores aos aferidos na área externa, chegando a ultrapassá-la em 5,8°C às 13:00h no dormitório Q<sub>1</sub>. Percebe-se no Gráfico 4.5 que esse pico de temperatura interna foi um comportamento inesperado e, portanto, deve ser considerado como resultado de algum equívoco durante o registro da temperatura.

A partir dos dados apresentados, verificou-se que as oscilações das temperaturas no exterior são percebidas com algum atraso no ar interno. O período com temperaturas externas mais elevadas foi entre às 14:00h e 18:00h. Notou-se que durante os dias monitorados, houve uma grande variação das temperaturas do ar no interior da edificação e que em geral, a diferença entre as temperaturas dos ambientes internos não foi significativa, comportando-se da seguinte maneira: valores mais baixos nas primeiras horas da manhã e com picos entre às 13:00h e 17:00h, influenciados principalmente pela radiação solar mais intensa nesse horário.

#### 4.3.2 Avaliação da temperatura e umidade do ar por ambiente

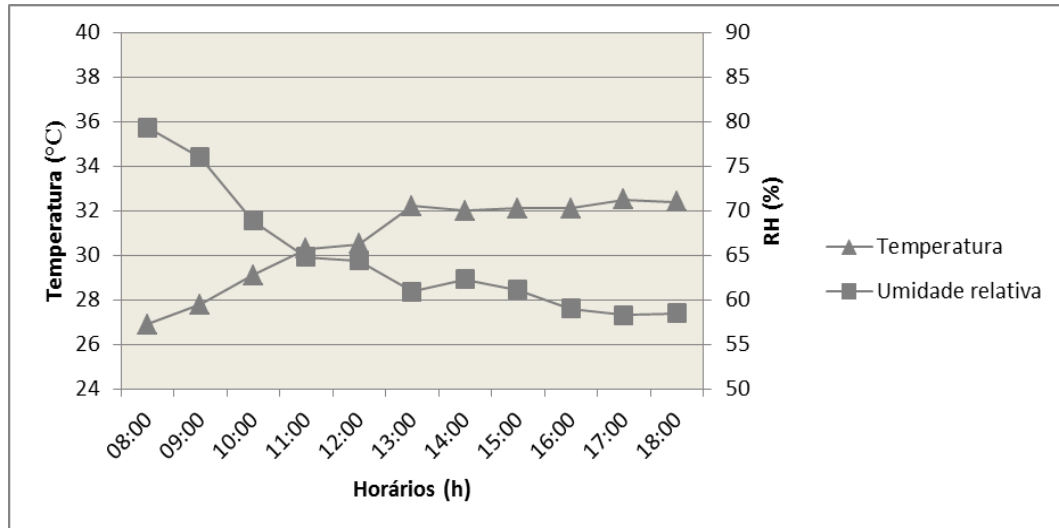
Os ambientes de longa permanência monitorados (sala e dormitórios) possuem diferentes dimensões e orientações solares, o que modifica o comportamento térmico de cada um. A umidade relativa do ar no interior e exterior da unidade habitacional foi um parâmetro complementar às análises de temperatura, sendo meramente informativo e não interferindo na avaliação final do desempenho térmico. Sabe-se que a RH é uma variável que influencia diretamente na percepção do usuário, sendo indispensável para o conforto térmico do mesmo. Logo, buscou-se a relação dos dados observados com as temperaturas que foram coletadas.

Durante as medições se percebeu que a umidade relativa do ar na área externa, ao contrário da temperatura, apresentava valores elevados no início do dia e que decresciam com o passar das horas. A RH máxima foi de 82% às 08:00h e a mínima de 50% às 18:00h. Esse comportamento também foi registrado nos ambientes internos da habitação conforme o observado nos Gráficos 4.6 a 4.9, que relacionam a temperatura e umidade relativa do ar para cada ambiente no dia 02/10/2015.

A máxima temperatura registrada na sala foi inferior à dos demais cômodos. Este foi um comportamento esperado, pois apesar deste ambiente apresentar o maior número de paredes expostas para o exterior, tem uma área útil de 20,52 m<sup>2</sup>, o que favorece a circulação e renovação do ar. Além disso, sua localização não é considerada crítica do ponto de vista térmico, não tendo nenhuma parede exposta na direção oeste, o que significa que nos períodos de pico da temperatura externa, não há exposição direta à radiação solar. Quando ocorreu a elevação da temperatura externa, a temperatura no ambiente em poucos momentos ultrapassou-a e quando ocorreu, a máxima diferença entre as mesmas foi de 1,4°C. A sala também proporcionou a menor amplitude térmica (5,6°C) no período monitorado. A média da

umidade relativa do ar na sala foi de 64,9%, menor valor coletado na residência, vale destacar que a mesma manteve-se sempre abaixo do valor dos demais cômodos. O Gráfico 4.6 demonstra que a curva de RH é aproximadamente inversa à curva de temperatura.

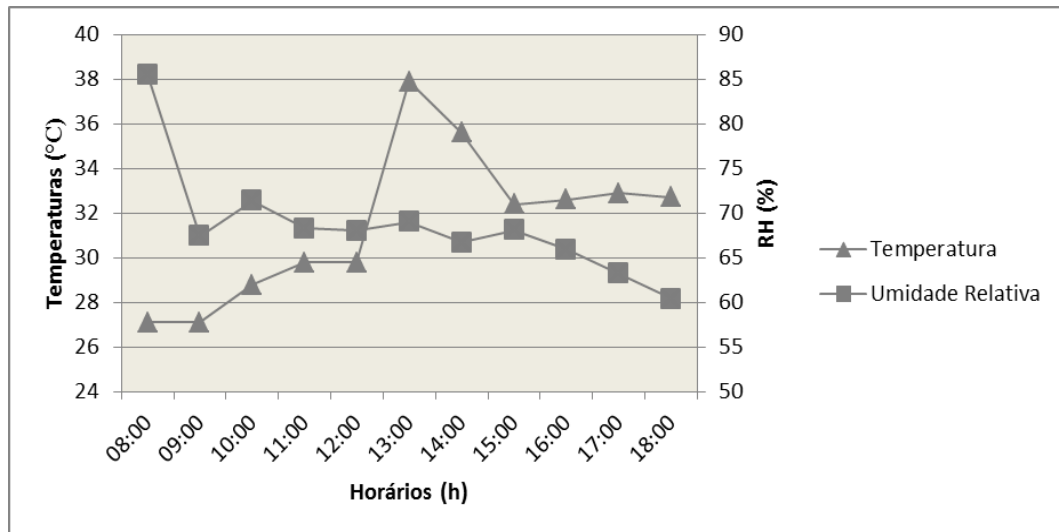
**Gráfico 4.6 – Temperatura e umidade relativa do ar na sala no dia 02/10/2015.**



**Fonte: Elaborado pelos autores.**

O dormitório Q<sub>1</sub> tem duas paredes expostas, dentre as quais uma é voltada para o oeste (possui uma janela) e outra para o sul (sem nenhuma abertura), nesse dormitório se verificaram as maiores temperaturas internas. A amplitude térmica média foi de 10,8°C e as temperaturas internas normalmente encontravam-se acima das percebidas no exterior para o mesmo horário. Em relação à umidade, o dormitório Q<sub>1</sub> apresentou os maiores valores médios de RH para a residência, comprovando a relação de umidade relativa e temperatura, onde quanto mais quente estiver o ar, menor será sua densidade e maior será a quantidade de água em suspensão. As partículas líquidas que se aquecem pela radiação solar que recebem, retêm uma quantidade elevada de calor, logo isso explica os elevados valores de temperatura do ar medidos no cômodo. Notou-se ainda que com o aumento da temperatura, a umidade relativa do ar no cômodo reduziu consideravelmente.

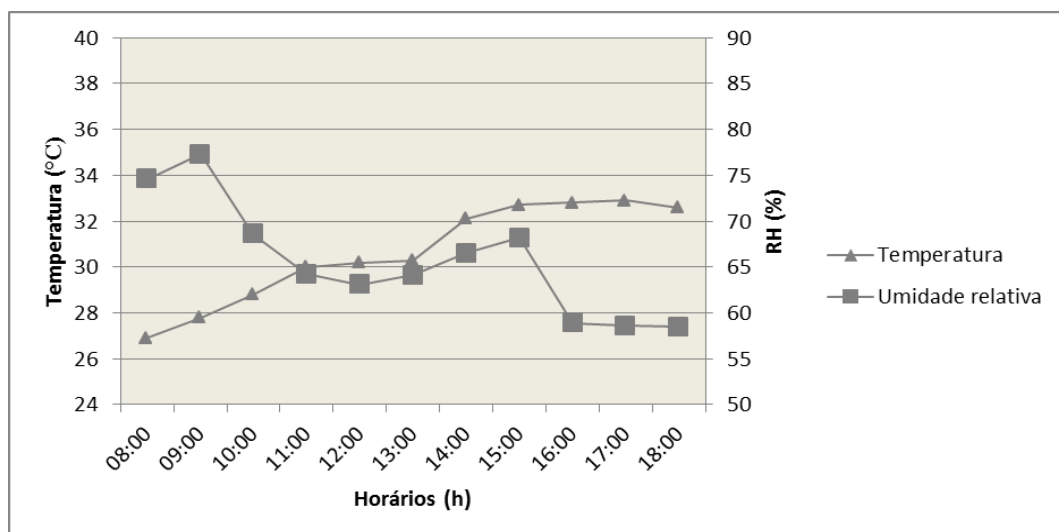
**Gráfico 4.7 – Temperatura e umidade relativa do ar no dormitório Q<sub>1</sub> no dia 02/10/2015.**



**Fonte: Elaborado pelos autores.**

Já o dormitório Q<sub>2</sub>, citado pela NBR 15575-1:2013 como o ambiente com a orientação mais crítica do ponto de vista térmico, manteve-se com médias de temperaturas entre os valores dos outros dois cômodos monitorados, apresentando máxima de 32,9°C às 17:00h. Sua amplitude térmica média foi de 6,0°C e a máxima diferença entre T<sub>i</sub> e T<sub>e</sub> foi de 1,6°C. No período da tarde as temperaturas internas normalmente eram superiores às externas, o que caracteriza um desempenho térmico insatisfatório. Quanto à umidade relativa do ar, o dormitório Q<sub>2</sub> apresentou média de 65,7%, a segunda maior entre os ambientes monitorados. Como nos demais recintos, com o aumento da temperatura do ar, ocorreu a redução da RH interior.

**Gráfico 4.8 – Temperatura e umidade relativa do ar no dormitório Q<sub>2</sub> no dia 02/10/2015.**



**Fonte: Elaborado pelos autores.**

#### 4.3.3 Análise do desempenho térmico pelo método informativo

O procedimento informativo de medição de temperaturas *in loco* é descrito de maneira bastante sucinta na NBR 15575-1:2013. Após a realização de todos os procedimentos necessários para tal, a avaliação de desempenho é dada pelo Quadro 4.2, utilizando os dados do último dia de análise (02/10/2015).

A unidade habitacional apresentou desempenho insatisfatório para o período típico de verão na zona bioclimática oito, pois o valor máximo de temperatura interna registrado foi superior ao máximo registrado na área externa, ou seja, não atendeu às condições expressas na NBR 15575-1:2013.

**Quadro 4.2 – Análise do desempenho térmico pelo método de medição.**

$T_{e, \text{máx.}} (^\circ\text{C})$	$T_{i, \text{máx.}} (^\circ\text{C})$	Condição normativa	Avaliação
33,6	37,9	$T_{i, \text{máx.}} \leq T_{e, \text{máx.}}$	<b>Desempenho insatisfatório</b>

Fonte: Elaborado pelos autores.

A avaliação insatisfatória da unidade habitacional pelo método de medição condiz com o que frequentemente se observa na região em estudo, uma vez que os preceitos da arquitetura bioclimática não são aplicados no projeto de edificações locais.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO PELO MÉTODO NORMATIVO

A simulação da unidade habitacional no programa EnergyPlus apontou as temperaturas em cada zona térmica modelada, assim como para o ambiente externo. Os resultados obtidos foram organizados em gráficos, relacionando esses parâmetros para os dois sistemas construtivos em estudo, o que possibilitou confrontar os resultados obtidos em cada simulação. As temperaturas do solo inseridas no programa são apresentadas na Tabela 4.8.

**Tabela 4.8 – Valores da temperatura do solo ( $^\circ\text{C}$ ) para a cidade de Belém – PA.**

Jan.	Fev.	Mar.	Abril	Maió	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
24,2	23,6	23,8	24,1	24,6	24,9	24,6	24,8	24,7	25,2	25	24,9

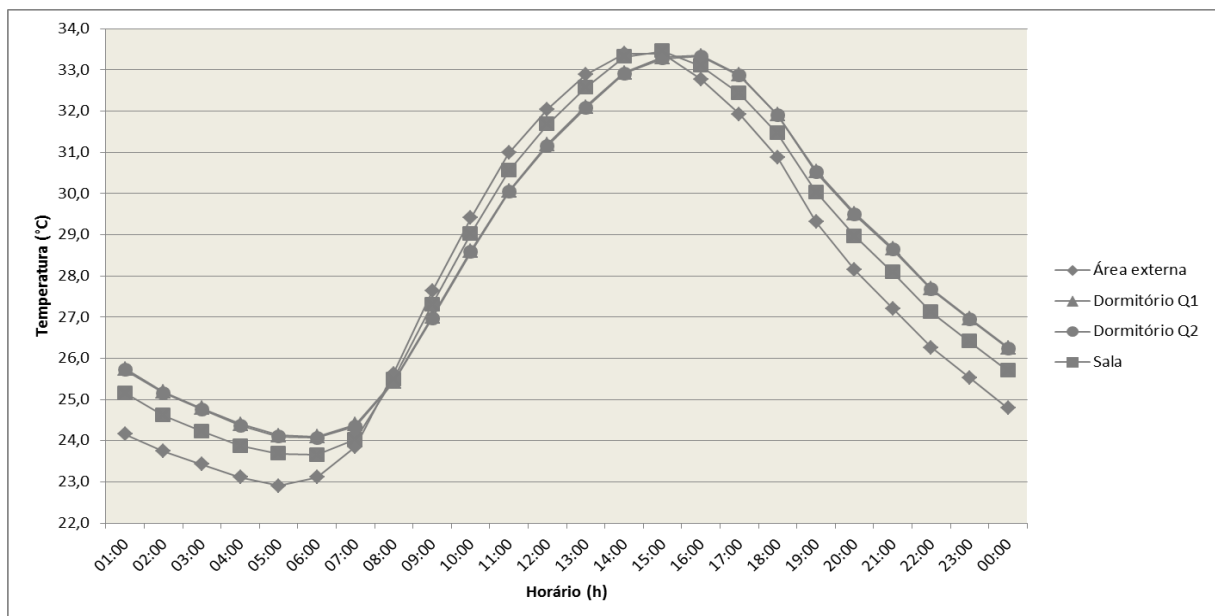
Fonte: Elaborado pelos autorres.

#### 4.4.1 Resultados da simulação para paredes de concreto

Na simulação com vedações constituídas por paredes de concreto, os ambientes internos da unidade habitacional apresentaram comportamentos térmicos semelhantes entre si, com variações iguais ou inferiores a 1°C. Nos períodos em que a temperatura externa atinge baixos valores (noite e madrugada), no interior da residência se observam valores superiores – até 2°C –, sendo que os dormitórios Q<sub>1</sub> e Q<sub>2</sub> sempre mantêm temperatura maior que a da sala nos referidos períodos. Entre às 08:00h e 14:00h ocorre um aumento da temperatura interna, porém esta consegue se manter até 0,4°C inferior à registrada na área externa.

O pico de temperatura externa foi entre às 14:00h e 15:00h, já na área interna foi entre às 15:00 e 16:00h, o que indica um atraso térmico baixo, quando as oscilações de temperatura externa são rapidamente percebidas no interior da edificação. A  $T_{i, \text{máx.}}$  registrada para o dia simulado foi de 33,5°C, a mínima de 23,7°C – ambas na sala – e a amplitude térmica média nos cômodos foi de 9,4°C. O Gráfico 4.9 apresenta a variação térmica na área externa e nos ambientes de longa permanência da residência durante o dia simulado.

**Gráfico 4.9 – Temperaturas internas e externas para residência com paredes de concreto.**



**Fonte: Elaborado pelos autores.**

A avaliação de desempenho pelo método normativo de simulação computacional tem como base o comportamento térmico no interior da edificação face às variações da temperatura externa, sendo a condição normativa apresentada no Quadro 4.3. Partindo para um ponto de vista de análise minuciosa dos resultados, observa-se que os valores da

temperatura interna e externa são numericamente próximos, então se adota a avaliação de desempenho satisfatória para este caso.

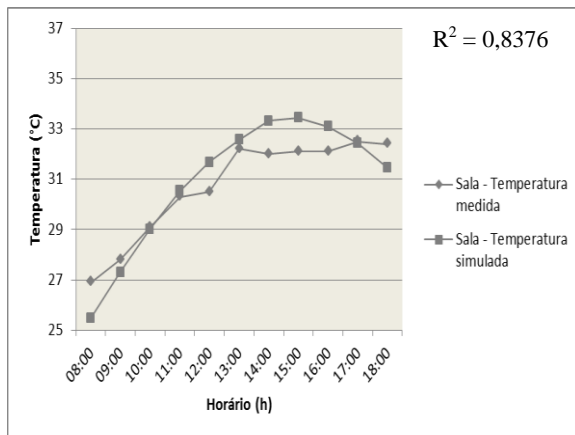
**Quadro 4.3 – Análise do desempenho térmico de paredes de concreto pelo método normativo.**

$T_{e, \text{máx.}} (^\circ\text{C})$	$T_{i, \text{máx.}} (^\circ\text{C})$	Condição adotada	Condição normativa	Avaliação
33,4	33,5	$T_{i, \text{máx.}} = T_{e, \text{máx.}}$	$T_{i, \text{máx.}} \leq T_{e, \text{máx.}}$	<b>Desempenho satisfatório</b>

Fonte: Elaborado pelos autores.

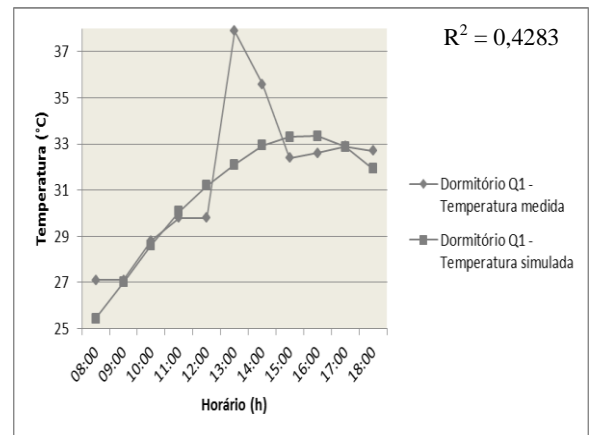
Observa-se que a avaliação de desempenho obtida pelo método de simulação computacional foi distinta da auferida na avaliação por medição *in loco*. Os valores de  $T_{i, \text{máx.}}$  diferem substancialmente, tal diferença ocorre principalmente pelos erros inerentes à operação dos sensores utilizados nas medições e à precisão dos mesmos, já que as temperaturas apresentam valores muito próximos e por vezes iguais, conforme os Gráficos 4.10 a 4.12.

**Gráfico 4.10 – Sala: temperaturas simuladas e medidas no local.**



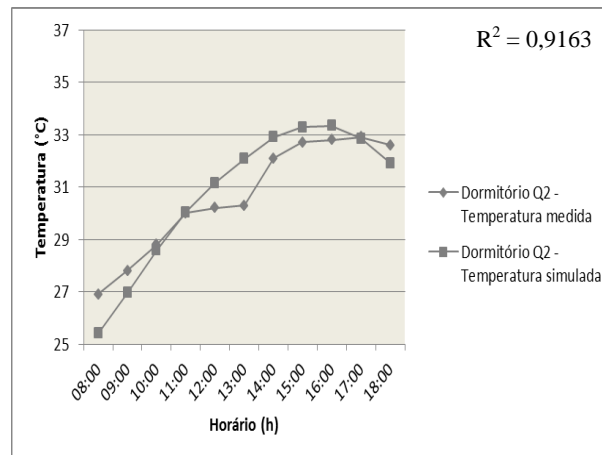
Fonte: Elaborado pelos autores.

**Gráfico 4.11 – Dormitório Q1: temperaturas simuladas e medidas no local.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

**Gráfico 4.12 – Dormitório Q<sub>2</sub>: temperaturas simuladas e medidas no local.**



**Fonte: Elaborado pelos autores.**

Analisando os Gráficos 4.10 a 4.12, pode-se observar que as temperaturas medidas na sala e no dormitório Q<sub>2</sub> estão bastante próximas das que foram obtidas através da simulação computacional, com diferenças inferiores a 2°C e possuem valores de R<sup>2</sup> – medida do grau de proximidade entre os valores estimados e observados da variável – próximos a 1, o que caracteriza dados confiáveis. Já no dormitório Q<sub>1</sub> há uma alta defasagem entre estes dados e um baixo valor de R<sup>2</sup>, o que indica que confirma que algum equívoco deve ter ocorrido na aferição *in loco*.

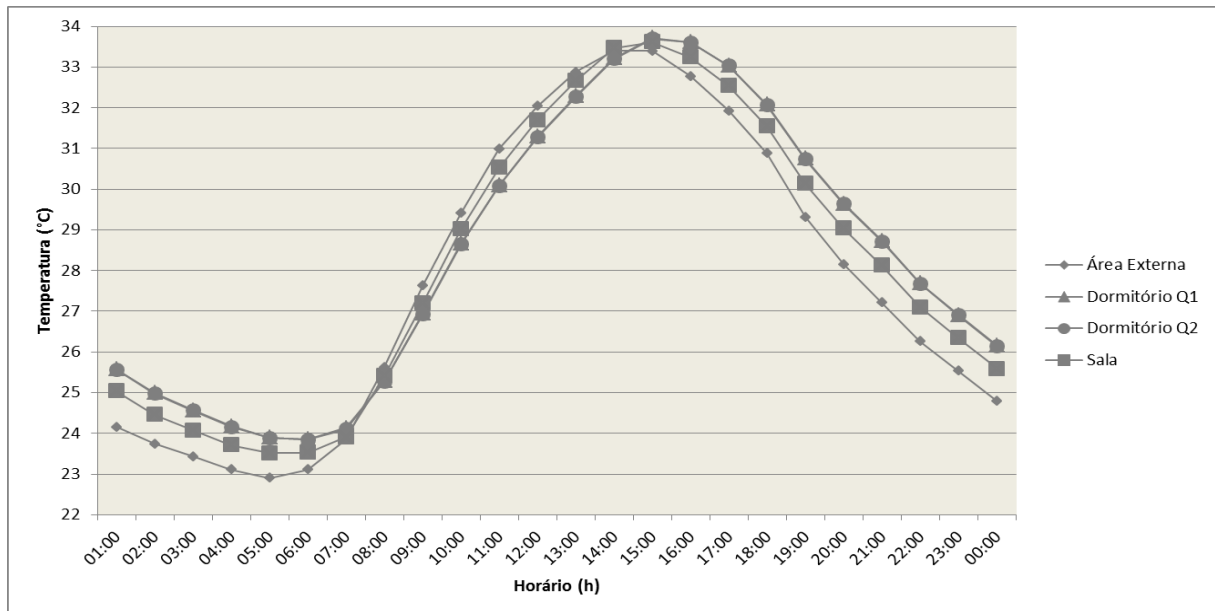
Mesmo com alta discrepância em relação a alguns dados, afirma-se que o método informativo de medição *in loco* apresenta resultados válidos e relevantes, conforme pesquisadores desta área. Entretanto, devem-se utilizar sensores precisos e se possível monitoramento automático, o que diminui a probabilidade de erros nos dados registrados. Além disso, pode-se adotar um período de monitoramento superior a três dias, a fim de obter uma série de dados mais precisa e com informações coerentes e conclusivas.

#### 4.4.2 Resultados da simulação para paredes de alvenaria com blocos cerâmicos

Os resultados da simulação computacional para paredes de alvenaria com blocos cerâmicos indicam que o ambiente térmico nos compartimentos internos da residência pouco variam entre si, sendo estas variações inferiores a 1°C. Nos períodos em que a temperatura externa diminui (noite e madrugada), os dormitórios Q<sub>1</sub> e Q<sub>2</sub> se resfriam de maneira lenta e atingem temperaturas superiores à da sala. O comportamento térmico da sala acompanha as variações observadas da área externa, sendo que entre às 08:00h e 14:00h, ela se caracteriza

como o cômodo mais quente da unidade habitacional. O Gráfico 4.13 apresenta os valores de temperatura interna e externa no período simulado.

**Gráfico 4.13 – Temperaturas internas e externas para residência com paredes de alvenaria com blocos cerâmicos.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota-se que os dormitórios registram os maiores valores de temperatura da unidade habitacional –  $T_{i, \text{máx.}} = 33,7^{\circ}\text{C}$  –, principalmente após o horário de pico de temperatura externa que foi entre às 14:00h e 15:00h. O atraso térmico nesse caso foi de apenas uma hora. A temperatura mínima registrada para o dia simulado foi de  $23,5^{\circ}\text{C}$  na sala às 06:00h e a amplitude térmica média dos ambientes foi de  $9,9^{\circ}\text{C}$ . Com base nesses dados procedeu-se a análise do sistema de vedação com paredes de alvenaria com blocos cerâmicos, obtendo assim os resultados expostos no Quadro 4.4. De maneira análoga à observada para as paredes de concreto, adotou-se a avaliação de desempenho satisfatória para este caso, uma vez que os valores da temperatura interna e externa obtidos são numericamente bastante próximos.

**Quadro 4.4 – Análise do desempenho térmico de paredes de alvenaria com blocos cerâmicos pelo método normativo.**

$T_{e, \text{máx.}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{i, \text{máx.}} (^{\circ}\text{C})$	Condição adotada	Condição normativa	Avaliação
33,4	33,7	$T_{i, \text{máx.}} = T_{e, \text{máx.}}$	$T_{i, \text{máx.}} \leq T_{e, \text{máx.}}$	Desempenho satisfatório

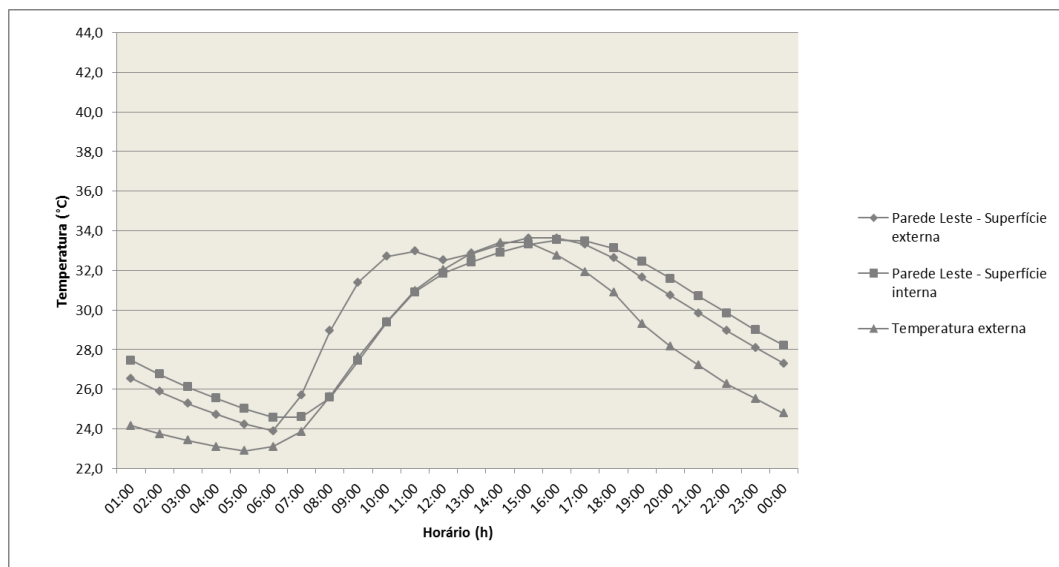
Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4.4.3 Paredes de concreto *versus* paredes de alvenaria com blocos cerâmicos

Os valores de temperatura superficial interna e externa de uma parede orientada para o leste (sala) e outra para o oeste (dormitório Q<sub>2</sub>) foram obtidos com o auxílio do *software* EnergyPlus, com o intuito de avaliar o comportamento térmico de cada sistema de vedação específico. Nos Gráficos 4.14 a 4.17, pode-se observar o período de resfriamento e aquecimento das paredes e também o atraso e amortecimento térmico de cada uma.

Para a parede de concreto localizada na sala, nota-se pelo Gráfico 4.14, que o período de aquecimento inicia às sete horas devido à radiação solar que passa a incidir diretamente sobre a mesma. Tal aquecimento permanece até às 16:00h, ou seja, continua mesmo que a radiação solar já não incida diretamente sobre esta superfície. A máxima temperatura superficial externa foi 33,6°C e na superfície interna foi de 33,5°C. O atraso térmico para este caso foi bastante reduzido, sendo em torno de duas horas, o que explica o fato das variações térmicas da sala acompanharem rapidamente as observadas na área externa. Quanto ao amortecimento máximo proporcionado pelo sistema de vedação foi de 4°C às 09:00h e geralmente os maiores valores observados foram no período da manhã entre às 08:00h e 11:00h. Já no período de resfriamento da parede, a diferença entre a temperatura interna e externa se manteve quase constante – em torno de 0,8°C.

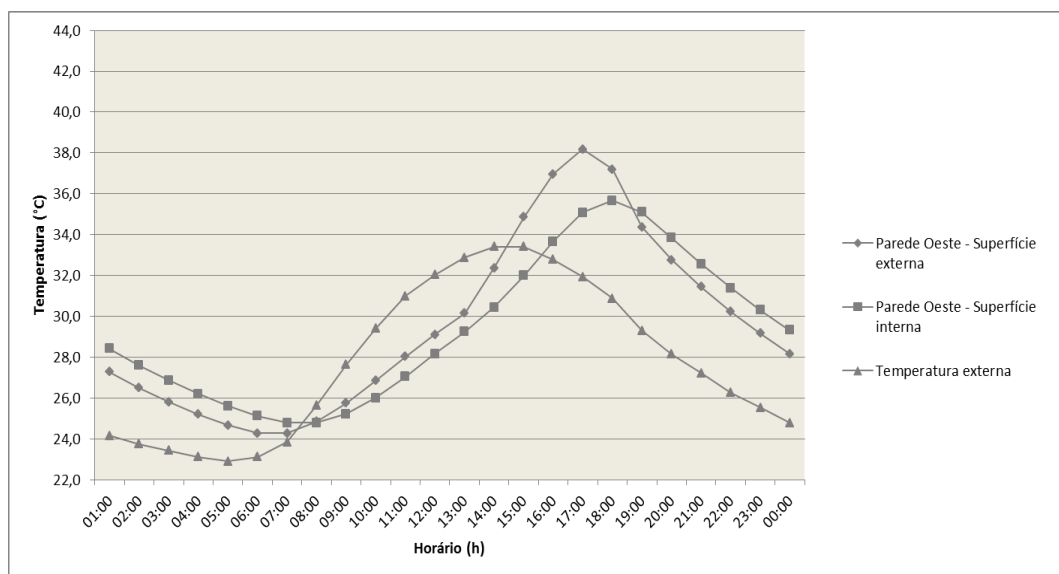
**Gráfico 4.14 – Temperatura superficial interna e externa de parede de concreto orientada para o leste.**



**Fonte: Elaborado pelos autores.**

A parede de concreto voltada para o oeste tem orientação crítica do ponto de vista térmico, pois recebe diretamente a radiação solar no período em que esta é mais intensa. Apresentou período de aquecimento entre às 09:00h e 18:00h, com temperatura máxima da superfície externa igual a 38,2°C e interna de 35,7°C. O atraso térmico observado foi de aproximadamente três horas, evidenciado pelo deslocamento para a direita do pico de temperatura superficial interna no Gráfico 4.15. Já o amortecimento térmico máximo registrado foi de 3,3°C às 16:00h. No período de resfriamento da parede, a diferença entre a temperatura interna e externa se manteve quase constante – em torno de 1,0°C.

**Gráfico 4.15 – Temperatura superficial interna e externa de parede de concreto orientada para o oeste.**



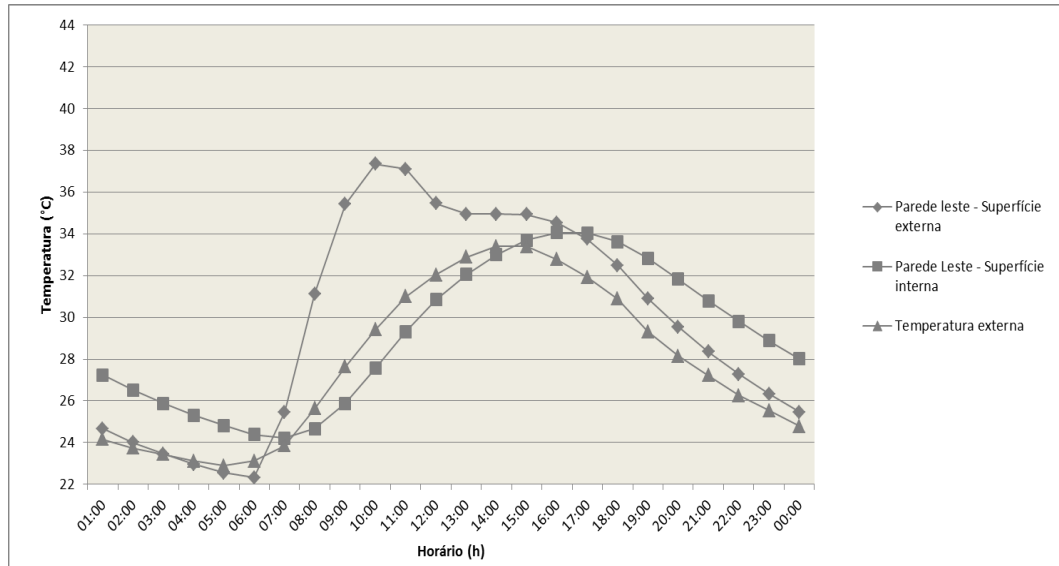
**Fonte: Elaborado pelos autores.**

As principais diferenças entre as paredes de concreto analisadas estão no pico de temperatura e temperaturas máximas atingidas pelas suas superfícies externa e interna. Essas variáveis são influenciadas diretamente pela orientação solar do elemento construtivo e também pela intensidade dessa radiação. Sendo assim, as paredes a oeste apresentarão picos de temperatura deslocados para a direita (correspondendo ao período da tarde) e alcançarão temperaturas mais elevadas do que aquelas voltadas para o leste.

Na análise da parede de alvenaria com blocos cerâmicos voltada para o leste, o período de aquecimento constatado foi entre às 07:00h e 16:00h, idêntico ao observado para as paredes de concreto. Nota-se pelo Gráfico 4.16, que as temperaturas alcançadas são bastante elevadas, sendo a máxima na superfície externa de 37,4°C e na superfície interna de 34,1°C. O atraso térmico para este caso foi de duas horas. Quanto ao amortecimento máximo

proporcionado pelo sistema de vedação, o valor foi de 9,8°C às 10:00h e com valores elevados durante toda manhã. Já no período de resfriamento da parede, a diferença entre a temperatura interna e externa se manteve quase constante – em torno de 2,1°C.

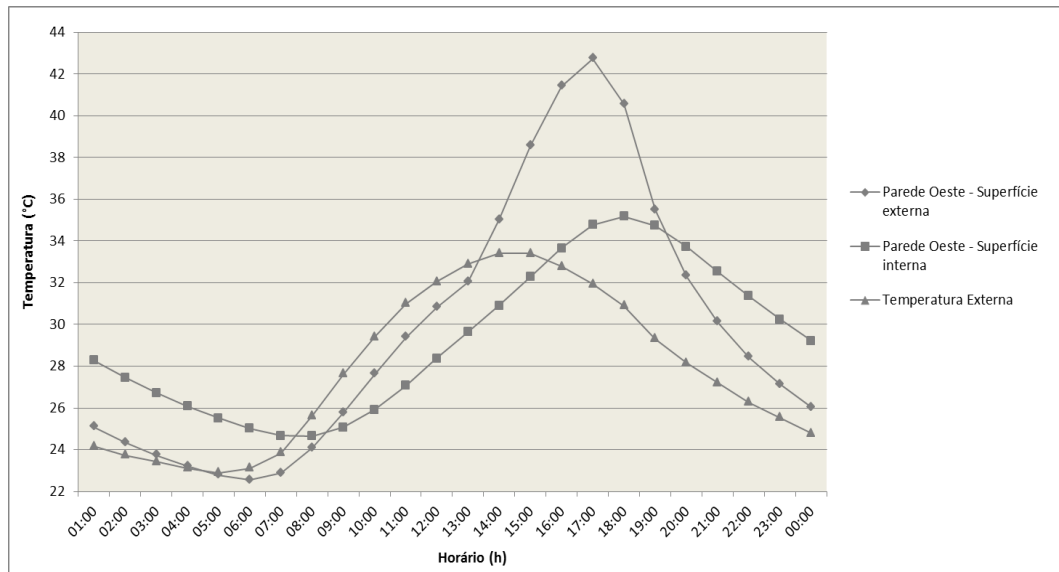
**Gráfico 4.16 – Temperatura da superfície interna e externa de parede de alvenaria orientada para o leste.**



**Fonte: Elaborado pelos autores.**

Para a parede de alvenaria orientada para o oeste, a análise apontou o período de aquecimento entre às 09:00h e 19:00h, nesse intervalo de tempo, a temperatura máxima da superfície externa igual a 42,7°C às 17:00h e interna de 35,2°C às 18:00h. O atraso térmico observado foi de aproximadamente quatro horas, evidenciado pelo deslocamento para a direita do pico de temperatura superficial interna no Gráfico 4.17. Já o amortecimento térmico máximo registrado foi de 8,0°C às 17:00h. No período de resfriamento da parede (20:00h a 08:00h), a diferença entre a temperatura interna e externa foi em média 2,5°C.

Gráfico 4.17 – Temperatura superficial interna e externa de parede de alvenaria orientada para o oeste.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao confrontar os sistemas de vedação em estudo, percebe-se que a parede constituída de painel maciço de concreto armado possui transmitância térmica superior às paredes de alvenaria, proporcionando então um amortecimento térmico bem reduzido. Ao passo que, a baixa capacidade térmica da parede de alvenaria com blocos cerâmicos faz com que suas temperaturas superficiais sejam mais elevadas e mesmo após o término do período de aquecimento continuem altas, indicando uma alta inércia térmica.

Após observar detalhadamente o desempenho térmico das vedações da unidade habitacional simulada, confrontaram-se os valores da temperatura média em cada zona térmica modelada. Tais resultados podem ser visualizados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Temperaturas nas zonas térmicas para os sistemas construtivos em análise.

Sistema construtivo	$T_{i, \text{máx.}} (^\circ\text{C})$	$T_{i, \text{máx.}} (^\circ\text{C})$	$T_{i, \text{máx.}} (^\circ\text{C})$	$T_{e, \text{máx.}} (^\circ\text{C})$
	Dormitório Q <sub>1</sub>	Dormitório Q <sub>2</sub>	Sala	
Paredes de concreto	33,4	33,3	33,5	33,4
Paredes de alvenaria	33,7	33,7	33,6	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota-se que a temperatura do ar para os dois sistemas construtivos foi bastante próxima, o que significa que os sistemas de vedação não interferiram de maneira significativa

no desempenho global da residência. Em relação aos critérios normativos, os dois sistemas apresentaram desempenho térmico satisfatório, atingindo o nível mínimo (M) exigido pela NBR 15575-1:2013 no limite do critério normativo ( $T_{i,máx.} = T_{e,máx.}$ ). Vale destacar que para as paredes de concreto somente um ambiente da unidade habitacional apresentou temperatura interna maior que a externa, situação oposta ao que ocorreu com as paredes de alvenaria com blocos cerâmicos, onde as temperaturas em todos os ambientes excederam a da área externa.

## CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

As informações obtidas através da análise dos projetos de implantação e arquitetônico do CHV, além de visitas técnicas na obra, foram essenciais para embasar as demais etapas do estudo, principalmente a avaliação pelo método normativo de simulação computacional. O levantamento da orientação solar, do posicionamento e dimensões das aberturas externas, do pé-direito e dos materiais de construção empregados nas unidades habitacionais auxiliou na discussão sobre o desempenho térmico da edificação como um todo.

### 5.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO CONFORME NBR 15575:2013

Com base nas análises propostas pelo método informativo verificou-se que a unidade habitacional do CHV apresentou comportamento **térmico insatisfatório**, comprovado pela máxima temperatura interna aferida *in loco* obtida no período de verão ter sido superior à temperatura externa. Na análise simplificada, constatou-se que os materiais de construção que compõem os sistemas de vedação e cobertura da habitação do CHV apresentaram **propriedades térmicas inferiores** àquelas exigidas pela norma de desempenho.

Por outro lado, no método normativo (simulação computacional), concluiu-se que os dois sistemas construtivos estudados apresentaram comportamento similar, caracterizados por um **desempenho térmico satisfatório**, devido aos ambientes com maior área útil terem obtido temperaturas internas praticamente iguais às variações térmicas externas, atingindo assim, o nível mínimo exigido pela NBR 15575-1:2013. Observou-se ainda que de acordo com os resultados da simulação computacional, o sistema de vedação de paredes de concreto, diferente do que se pensava, não exerce efetiva influência no desempenho térmico global da habitação, uma vez que existem outros fatores a considerar, tais como: falhas no posicionamento e nas dimensões das áreas efetivas para ventilação, pé-direito reduzido e alta transmitância térmica da cobertura.

Ao final das análises dos três métodos indicados pela norma de desempenho, percebe-se que além dos resultados obtidos pelo método normativo de simulação computacional, devem-se considerar relevantes as conclusões obtidas por meio do método

informativo (medições *in loco*), uma vez que este último fornece dados próximos do desempenho térmico real observado na edificação objeto de estudo.

Contudo, vale ressaltar que os resultados do método normativo atenderam o limite mínimo da norma. Logo, para otimizar este desempenho deveria-se verificar com mais rigor as questões de projeto, uma vez que em Tucuruí as condições climáticas não são favoráveis à boa performance térmica das edificações, com tendência a proporcionar desconforto por calor aos seus usuários. Algumas alternativas para melhorar o desempenho térmico seria a utilização de por exemplo, elementos externos de sombreamento (que não interfiram na infiltração de ar na habitação), planejamento do posicionamento e dimensões de aberturas, empregando preceitos da arquitetura bioclimática na fase de projeto, entre outros.

Todos esses recursos poderiam ajudar a reduzir essa problemática observada no estudo de caso e proporcionar um maior desempenho das edificações do CHV, garantindo assim o conforto térmico dos usuários e reduzindo a demanda por equipamentos elétricos de refrigeração e/ou ventilação.

## CAPÍTULO 6 - SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS

A partir do presente trabalho, sugere-se a elaboração de novas pesquisas, a fim de gerar resultados complementares aos obtidos na avaliação de desempenho térmico e que abordem metodologias mais eficientes para a execução de medições *in loco*.

Desta forma, os seguintes pontos podem ser abordados em trabalhos futuros:

- Estudar o desempenho térmico de edificações com diferentes *layouts*, construídas em parede de concreto para o clima do município de Tucuruí – PA;
- Monitorar uma unidade habitacional com equipamento automático que realize medições constantes dentro de um período de tempo selecionado;
- Realizar medições *in loco* em protótipo construído ou residência com paredes de alvenaria com blocos cerâmicos;
- Analisar a influência de parâmetros de ventilação e orientação solar nas unidades habitacionais do CHV;
- Aplicar metodologia de avaliação pós-ocupação no CHV, por meio de entrevistas com os usuários sobre o conforto térmico proporcionado pelas residências.

## CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, Ana Cristina da Silva. **Programa Minha Casa Minha Vida: antigos e novos dilemas da habitação de interesse social e o caso de Marília-SP**. 2013. Tese (Doutorado em Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18142/tde-07052014-152618/>>. Acesso em: 12 jul. 2015.

AKUTSU, M.; LOPES, J. I. E.; PESSOTO, T.C.; SOUZA, H.A. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Revista Escola de Minas: Ouro Preto**, n. 2, vol. 58, 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672005000200007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672005000200007)>. Acesso em: 08 jul. 2015.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. ASHRAE Standard: 90.1-2004, Atlanta, 2004.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **International Weather for Energy Calculations (IWEC Weather Files)**. User's Manual and CD-ROM, Atlanta, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM. Projeto Paredes de Concreto – um grande desafio. **Revista Concreto e Construções**, ano XXXVI, nº 51, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual Técnico para Implementação: Habitação 1.0**. Bairro Saudável. 1ª Ed. São Paulo: ABCP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Coletânea de ativos 2007/2008**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/colaborativo-portal/download.php?selected=Parede%20de%20Concreto>>. Acesso em: 15 jul. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Coletânea de ativos 2011/2013**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/colaborativo-portal/download.php?selected=Parede%20de%20Concreto>>. Acesso em: 15 jul. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 2010.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações: parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho: parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho: parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho: parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055**: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

BAGNATI, Mariana Moura. Zoneamento bioclimático e arquitetura brasileira: Qualidade do ambiente construído. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BONDUKI, Nabil. Política habitacional e inclusão social no Brasil: revisão histórica e novas perspectivas no governo Lula. **Revista Eletrônica de Arquitetura**, 2008. Disponível em: <[http://www.usjt.br/arq.urb/numero\\_01/artigo\\_05\\_180908.pdf](http://www.usjt.br/arq.urb/numero_01/artigo_05_180908.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2015.

BRASIL. Lei nº 11.124, de 16 de junho de 2005. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social – SNHIS, cria o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social – FNHIS e institui o Conselho Gestor do FNHIS. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 jun. 2005. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=1&data=17/06/2005>>. Acesso em: 17 jul. 2015.

BRASIL. Ministério do Planejamento. **Minha Casa Minha Vida**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/minha-casa-minha-vida>>. Acesso em: 18 jul. 2015.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Política Nacional de Habitação**. Cadernos do Ministério das Cidades. Brasília, DF, 2004.

CARVALHO, L. F. **Sistema construtivo em paredes de concreto para edifícios**: dimensionamento da estrutura e aspectos construtivos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

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

CASAPINAR. **Vivacidade Tucuruí**: planta de arquitetura: casa 2D – Plantas. 05 jun. 2013. Projeto final. 2ª revisão. Prancha 1/10.

CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuições ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando a sua aplicação em elementos estruturais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

COHABS. **Balanco de planos, recursos e técnicas**. A Construção São Paulo, n. 1556, p.09-16, 1977.

CORSINI, R. Paredes normatizadas. **Revista Técnica**, edição 183, ano 20, p. 40-46, São Paulo, 2012.

U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Software EnergyPlus**. Version 8.3.0. [S.l.]: DOE, 2014.

DUMKE, Eliane M. S. **Avaliação do Desempenho Térmico em Sistemas Construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba como Subsídio para a Escolha de Tecnologias Apropriadas em Habitação de Interesse Social**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2002.

EUROPEAN CONCRETE PLATAFORM. **Sustainable benefits of concrete structures**. Brussels: Jean-Pierre Jacobs, 2009.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.

FARIA, R. industrialização econômica. **Revista Técnica**, edição 136, ano 16, São Paulo, 2008.

FARIA, R. Paredes Maciças. **Revista Técnica**, edição 143, ano 17, p. 34-38, São Paulo, 2009.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GETHAL. **Histórico**. São Paulo, 2015. Disponível em: <[http://gethal.com.br/2013/?page\\_id=21](http://gethal.com.br/2013/?page_id=21)>. Acesso em: 06 jul. 2015.

GIVONI, B. Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v.18, n.1, p. 11-23, 1992.

GOULART, S. V. G. **Dados Climáticos Para Avaliação de Desempenho Térmico em Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993, 124 p.

HALLIDAY, D; RESNICK, R. **Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica**. 8 ed. Vol. 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Estimativas do Déficit Habitacional brasileiro (PNAD 2007-2012)**. Nota técnica nº 5. Brasília, 2013. 17 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional: Tucuruí – PA**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>>. Acesso em: 25 set. 2015.

J. PROLAB. **Manual de instruções termo higrômetro digital**. São José dos Pinhais, 2015.

LABORATÓRIO DE EDIFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Programa Analysis BIO**. Versão 2.2. Florianópolis: LabEEE, 2009.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. São Paulo: Eletrobras/Procel, 2014.

LORDSLEEM JUNIOR, A. C. *et al.* O processo de produção de paredes maciças. In: SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: VEDAÇÕES VERTICAIS – TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Escola Politécnica da universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil – PCC, 1998.

LOTURCO, B. Industrialização máxima. **Revista Técnica**, edição 116, ano 15, p. , São Paulo, 2007.

MEHTA, K.; MONTEIRO, J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. Como construir Paredes de concreto. **Revista Técnica**, edição 147, ano 17, p. 74-80, São Paulo, 2009.

MORENO, A. C. R. **Minha Casa Minha Vida**: Análise de desempenho térmico pela NBR 15.220-3, NBR 15.575, Selo Casa Azul e RTQ-R. Dissertação (Mestrado em tecnologia do Ambiente Construído) – Programa de Pós-Graduação em Ambiente construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

NAKAMURA, Juliana. Escolha de fôrmas para paredes de concreto deve considerar critérios técnicos e econômicos. **Revista Técnica**, edição 202, ano 22, São Paulo, 2014.

NOGUEIRA, C. E. C. *et al.* Avaliação do conforto térmico nas residências convencional e inovadora do “Projeto CASA”, Unioeste, Campus de Cascavel. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 34, n. 1, p. 3-7, jan-mar., 2012.

NUNES, Valmiro Quéfren Gameleira. **Análise estrutural de edifícios de paredes de concreto armado**. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-18072011-133137/>>. Acesso em: 13 jul. 2015.

OLIVEIRA, M. C. A. **Os primeiros estudos sobre conforto térmico no Brasil**: a contribuição de Paulo Sá. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

POLITERM. **Manual de instruções termômetro de globo POL-2000**. São Paulo, 2010.

PREFEITURA DE ILHÉUS. **Obras dos residenciais do Minha Casa, Minha Vida aceleram ritmo**. Ilhéus, 2015. Disponível em: <[http://www.ilheus.ba.gov.br/Materia\\_especifica/16963/Obras-dos-reside,-Minha-Vida-aceleram-ritmo-](http://www.ilheus.ba.gov.br/Materia_especifica/16963/Obras-dos-reside,-Minha-Vida-aceleram-ritmo-)>. Acesso em: 20 jul. 2015.

ROMAGNOLI, A. J. O programa minha casa, minha vida: continuidades, inovações e retrocessos. **Temas de Administração Pública**, UNESP, Araraquara, v. 04, p. 1-29, 2012.

RORIZ, M. **Programa ZBBR**. Versão 1.1. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

RUAS, A. C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1999.

RUBIN, G. R.; BOLFE, S. A. O desenvolvimento da habitação social no Brasil. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 201–213, mai-ago. 2014.

SACHT, Helenice Maria. **Painéis de vedação de concreto moldados in loco**: avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concretos. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-17102008-114925/>>. Acesso em: 14 jul. 2015.

SANTOS, Altair. **Casa moldada “in loco” desencadeia franquia**. Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/casa-moldada-in-loco-desencadeia-franquia/>>. Acesso em: 18 jul. 2015.

SILVA, F. B. Formas de alumínio para paredes estruturais de concreto armado moldadas no local. **Revista Técnica**, edição 153, ano 17, São Paulo, 2009.

SILVA, F. B. Sistema de fôrmas plásticas para paredes de concreto. **Revista Técnica**, edição 165, ano 18, São Paulo, 2010.

SORGATO, Marcio José. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

TEHCASA INCORPORAÇÃO E CONSTRUÇÃO. **Obras em execução**: Vivacidade Tucuruí. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.techcasa.com.br/vivacidade-tucuru.html>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

TESTONI, Elias. **Análise estrutural de edifícios de paredes de concreto por meio de pórtico tridimensional sobre apoios elásticos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-20012014-093311/>>.  
Acesso em: 28 jul. 2015.

VIANA, Silvia Teles. **Análise de viabilidade técnica para a recuperação de água em torres de resfriamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

VIEIRA, Luara Batalha. **Projeto de paredes de concreto armado**: apresentação das recomendações normativas e avaliação da influência das aberturas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

**APÊNDICE A – VALORES DE TEMPERATURA REGISTRADOS *IN LOCO***

<b>Data:</b>		<b>30/09/2015</b>							
<b>Ambiente</b>	<b>Sala</b>		<b>Dormitório Q<sub>1</sub></b>		<b>Dormitório Q<sub>2</sub></b>		<b>Área Externa</b>		
<b>Horário</b>	<b>Temp.</b>	<b>RH</b>	<b>Temp.</b>	<b>RH</b>	<b>Temp.</b>	<b>RH</b>	<b>Temp.</b>	<b>RH</b>	
<b>(h)</b>	<b>(°C)</b>	<b>(%)</b>	<b>(°C)</b>	<b>(%)</b>	<b>(°C)</b>	<b>(%)</b>	<b>(°C)</b>	<b>(%)</b>	
08:00	26,1	80	27,2	78	27,1	77,1	28,5	86	
09:00	26,9	79,6	27,7	78	27,3	75	27,9	86	
10:00	27,3	79,3	27,8	78	27,4	74,3	27,8	85	
11:00	28,8	75,7	28,9	75,1	28,6	71,8	28,9	70	
12:00	29,4	74,3	29,3	74,4	28,9	72,1	29,7	76	
13:00	30	71,1	30,7	70,5	30,8	66,9	33,2	57	
14:00	30,2	68,1	30,7	70,2	30,9	66,1	33,4	68,9	
15:00	30,1	67,9	30,6	70,3	31,2	66,2	33,2	68,9	
16:00	28,9	67,9	29,9	70	31,2	66,1	33,1	68,7	
17:00	28,7	68,1	29,7	70,3	31,1	66,3	33,4	68,9	
18:00	29,1	69	29,6	70	30	67	33	69	

<b>Data:</b>		<b>01/10/2015</b>							
<b>Ambiente</b>	<b>Sala</b>		<b>Dormitório Q<sub>1</sub></b>		<b>Dormitório Q<sub>2</sub></b>		<b>Área Externa</b>		
<b>Horário</b>	<b>Temp.</b>	<b>RH</b>	<b>Temp.</b>	<b>RH</b>	<b>Temp.</b>	<b>RH</b>	<b>Temp.</b>	<b>RH</b>	
<b>(h)</b>	<b>(°C)</b>	<b>(%)</b>	<b>(°C)</b>	<b>(%)</b>	<b>(°C)</b>	<b>(%)</b>	<b>(°C)</b>	<b>(%)</b>	
08:00	25,6	83,7	26,9	81,8	26,7	77,5	27,4	77	
09:00	28,1	79,1	27,3	79	28,1	70,9	27,9	75	
10:00	27,9	76,4	27,3	78,1	28,7	73	28,7	73	
11:00	28,8	76,2	28,6	78	28,7	73,6	29,2	70	
12:00	30,1	71,7	30,1	73,5	30,1	69	30,7	65	
13:00	30,9	69,5	31,1	71	31,4	66,4	32,4	58	
14:00	31,2	67	31,3	69,1	31,9	65,5	32,1	65	
15:00	31,7	66,4	33,4	65,7	32	61,8	35	57	
16:00	32,2	64,4	34,9	61,8	35,6	54,8	33,4	57	
17:00	32,3	62,6	33,3	63,7	33,7	60,8	31,2	60	
18:00	31,9	63,1	32,8	62	32,9	60,6	31	61	

<b>Data:</b>		<b>02/10/2015</b>							
<b>Ambiente</b>	<b>Sala</b>		<b>Dormitório Q<sub>1</sub></b>		<b>Dormitório Q<sub>2</sub></b>		<b>Área Externa</b>		
<b>Horário</b>	<b>Temp.</b>	<b>RH</b>	<b>Temp.</b>	<b>RH</b>	<b>Temp.</b>	<b>RH</b>	<b>Temp.</b>	<b>RH</b>	
<b>(h)</b>	<b>(°C)</b>	<b>(%)</b>	<b>(°C)</b>	<b>(%)</b>	<b>(°C)</b>	<b>(%)</b>	<b>(°C)</b>	<b>(%)</b>	
08:00	26,9	79,3	27,1	85,5	26,9	74,6	26,1	82	
09:00	27,8	76	27,1	67,4	27,8	77,3	28,6	70	
10:00	29,1	68,9	28,8	71,4	28,8	68,6	28,8	70	
11:00	30,3	64,8	29,8	68,3	30	64,2	28,9	70	
12:00	30,5	64,4	29,8	68	30,2	63,1	28,6	70,1	
13:00	32,2	60,9	37,9	69	30,3	64,1	32,1	70,1	
14:00	32	62,3	35,6	66,7	32,1	66,5	31,9	60,9	
15:00	32,1	61,1	32,4	68,1	32,7	68,2	32,9	53	
16:00	32,1	59	32,6	65,9	32,8	58,9	33,1	53,3	
17:00	32,5	58,3	32,9	63,2	32,9	58,6	32,8	51,1	
18:00	32,4	58,5	32,7	60,4	32,6	58,5	33,6	50	

**APÊNDICE B – CÁLCULO DA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, DA  
CAPACIDADE TÉRMICA, DO ATRASO TÉRMICO E DO FATOR  
SOLAR DE ELEMENTOS E COMPONENTES DO CHV**

a) Cálculos para paredes de concreto com espessura de 10 cm.

Dados:

$$\rho_{\text{concreto}} = 2400 \text{ Kg/m}^3;$$

$$\lambda_{\text{concreto}} = 1,75 \text{ W/(m.k)};$$

$$c_{\text{concreto}} = 1 \text{ KJ/(Kg.K)};$$

fluxo de calor na direção horizontal, perpendicular ao plano da parede.

- Resistência térmica de superfície a superfície:

$$R_t = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,10}{1,75} = 0,05714 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}.$$

- Resistência térmica de ambiente a ambiente:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

$$R_T = 0,04 + 0,05714 + 0,13 = 0,2271 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}.$$

- Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

$$U = \frac{1}{0,2271} = 4,40 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}.$$

- Capacidade térmica:

$$C_T = (e \times c \times \rho)_{\text{concreto}}$$

$$C_T = 0,1 \times 1,00 \times 2400 = 240 \text{ KJ/(m}^2 \cdot \text{K)}.$$

- Atraso térmico:

$$\varphi = 1,382 \times e \times \sqrt{\frac{\rho \times c}{3,6 \times \lambda}}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,1 \times \sqrt{\frac{2400 \times 1,0}{3,6 \times 1,75}} = 2,7 \text{ horas.}$$

- Fator solar:

Utilizando cor amarela para as paredes externas ( $\alpha = 0,3$ )

$$FS_o = 4 \times U \times \alpha$$

$$FS_o = 4 \times 4,4 \times 0,3 = 5,28\%.$$

b) Cálculos para cobertura com telhas de argamassa e forro em PVC com ático não ventilado.

Dados:

dimensões do telhado = 8,4 x 7,5 (m);

e câmara de ar = 140 cm;

e telha de argamassa = 2,0 cm;

$\rho_{\text{argamassa}} = 2000 \text{ Kg/m}^3$ ;

$\lambda_{\text{argamassa}} = 1,15 \text{ W/(m.k)}$ ;

$c_{\text{argamassa}} = 1 \text{ KJ/(Kg.K)}$ ;

e forroPVC = 1,0 cm;

$\rho_{\text{PVC}} = 1300 \text{ Kg/m}^3$ ;

$\lambda_{\text{PVC}} = 0,20 \text{ W/(m.k)}$ ;

$c_{\text{PVC}} = 0,96 \text{ KJ/(Kg.K)}$ ;

fluxo de calor na direção vertical, descendente.

**Figura B.1 – Modelo de cobertura equivalente para cálculo.**



**Fonte: Elaborado pelos autores.**

- Resistência térmica de superfície a superfície:

Os valores foram calculados somente para a condição de verão, já que esta é predominante na região. Haja vista que a superfície possui alta emissividade ( $\varepsilon > 0,8$ ), para o fluxo de calor descendente, considera-se a resistência térmica do ar ( $R_{ar} = 0,21 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ ).

$$R_t = \frac{e_{arg.}}{\lambda_{arg.}} + R_{ar} + \frac{e_{PVC}}{\lambda_{PVC}} = \frac{0,10}{1,75} = \frac{0,02}{1,15} + 0,21 + \frac{0,01}{0,20} = 0,2774 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}.$$

- Resistência térmica ambiente a ambiente:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

$$R_T = 0,17 + 0,2774 + 0,04 = 0,4874 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}.$$

- Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,4874} = 2,05 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}.$$

- Capacidade térmica:

$$C_T = \sum_{i=1}^3 e \times c \times \rho = (e \times c \times \rho)_{arg.} + (e \times c \times \rho)_{ar} + (e \times c \times \rho)_{PVC}$$

Como o ar apresenta uma densidade de massa aparente muito baixa ( $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ), a sua capacidade térmica, em componentes com câmaras de ar, pode ser desprezada (NBR 15220-2:2005. Logo:

$$C_T = (0,02 \times 1,0 \times 2000) + 0 + (0,01 \times 0,96 \times 1300) = 52,48 \text{ KJ/(m}^2 \cdot \text{K)}.$$

- Atraso térmico:

$$\phi = 1,382 \times R_t \times \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext.}} = 52,48 - (0,02 \times 1,0 \times 2000) = 12,48$$

$$B_1 = 0,226 \times \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \times \frac{12,48}{0,2774} = 10,17$$

$$B_2 = 0,205 \times \left( \frac{(\lambda \times \rho \times c)_{ext.}}{R_t} \right) \times (R_{t \text{ ext.}} - \frac{R_t - R_{t \text{ ext.}}}{10}) = 0,205 \times \left( \frac{2300}{0,2774} \right) \times (0,0174 - \frac{0,2774 - 0,0174}{10})$$

$$B_2 = -14,63$$

$B_2$  é desconsiderado, pois resultou em valor negativo.

$$\varphi = 1,382 \times 0,2774 \times \sqrt{10,17 + 0} = 1,22 \text{ horas.}$$

- Fator solar:

Considerando a cor vermelha ( $\alpha = 0,74$ ) para as telhas, tem-se:

$$FS_o = 4 \times U \times \alpha$$

$$FS_o = 4 \times 2,05 \times 0,74 = 6,07\%.$$

c) Cálculos para paredes de alvenaria com blocos cerâmicos.

Dados:

dimensões do bloco cerâmico = 9,0 x 19,0 x 19,0 (cm), com oito furos quadrados;

$$e_{\text{furos}} = 3,0 \text{ cm};$$

$$e_{\text{reboco}} = 2,5 \text{ cm};$$

$$e_{\text{argamassa de assentamento}} = 1,0 \text{ cm};$$

$$\rho_{\text{argamassa}} = \rho_{\text{reboco}} = 2000 \text{ Kg/m}^3;$$

$$\lambda_{\text{argamassa}} = \lambda_{\text{reboco}} = 1,15 \text{ W/(m.k)};$$

$$c_{\text{argamassa}} = c_{\text{reboco}} = 1 \text{ KJ/(Kg.K)};$$

$$\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ Kg/m}^3;$$

$$\lambda_{\text{cerâmica}} = 0,90 \text{ W/(m.k)};$$

$$c_{\text{cerâmica}} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.K)};$$

fluxo de calor na direção horizontal, perpendicular ao plano da parede.

- Resistência térmica do bloco cerâmico:

Seção 1 – Faixa contínua do bloco

$$A_1 = 0,01 \times 0,19 = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{\epsilon_{\text{bloco}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} = \frac{0,09}{0,9} = 0,1 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W.}$$

Seção 2 – Faixa com câmara de ar

$$A_2 = 0,035 \times 0,19 = 0,00665 \text{ m}^2$$

Como se trata de uma superfície de alta emissividade ( $\epsilon$  entre 0,85 e 0,95), fluxo horizontal e espessura de 3,0 cm, a resistência do ar nos furos do bloco é igual a 0,16 (m<sup>2</sup>.K)/W.

$$R_2 = \frac{\epsilon_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{\epsilon_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{\epsilon_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}}$$

$$R_2 = \frac{0,01}{0,9} + 0,16 + \frac{0,01}{0,9} + 0,16 + \frac{0,01}{0,9} = 0,353 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W.}$$

$$R_{\text{bloco}} = \frac{5 \times A_1 + 4 \times A_2}{5 \times \frac{A_1}{R_1} + 4 \times \frac{A_2}{R_2}} = \frac{5 \times 0,0019 + 4 \times 0,00665}{5 \times \frac{0,0019}{0,1} + 4 \times \frac{0,00665}{0,353}}$$

$$R_{\text{bloco}} = 0,2119 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W.}$$

- Resistência térmica da parede

Seção A – Reboco + argamassa + reboco

$$A_a = (0,01 \times 0,19) + (0,20 \times 0,01) = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{\epsilon_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{\epsilon_{\text{arg.}}}{\lambda_{\text{arg.}}} + \frac{\epsilon_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}}$$

$$R_a = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,025}{1,15} = 0,1217 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W.}$$

Seção B – Reboco + bloco cerâmico + reboco

$$A_b = 0,19 \times 0,19 = 0,0361 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{\epsilon_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + R_{\text{bloco}} + \frac{\epsilon_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}}$$

$$R_b = \frac{0,025}{1,15} + 0,2119 + \frac{0,025}{1,15} = 0,2554 \text{ (m}^2\text{.K)/W.}$$

$$R_t = \frac{\frac{A_a + A_b}{R_a + R_b}}{\frac{0,0039 + 0,0361}{0,1217 + 0,25546}} = 0,2307 \text{ (m}^2\text{.K)/W.}$$

- Resistência térmica ambiente a ambiente:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

$$R_T = 0,04 + 0,2307 + 0,13 = 0,401 \text{ (m}^2\text{.K)/W.}$$

- Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,401} = 2,49 \text{ W/(m}^2\text{.K).}$$

- Capacidade térmica:

Seção A – Reboco + argamassa + reboco

$$A_a = (0,01 \times 0,19) + (0,20 \times 0,01) = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^3 e \times c \times \rho = (e \times c \times \rho)_{\text{reboco}} + (e \times c \times \rho)_{\text{arg.}} + (e \times c \times \rho)_{\text{reboco}}$$

$$C_{Ta} = (0,025 \times 1,0 \times 2000) + (0,09 \times 1,0 \times 2000) + (0,025 \times 1,0 \times 2000)$$

$$C_{Ta} = 280 \text{ KJ/(m}^2\text{.K).}$$

Seção B – Reboco + bloco + reboco

$$A_b = 0,01 \times 0,19 = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = \sum_{i=1}^3 e \times c \times \rho = (e \times c \times \rho)_{\text{reboco}} + (e \times c \times \rho)_{\text{bloco}} + (e \times c \times \rho)_{\text{reboco}}$$

$$C_{Tb} = (0,025 \times 1,0 \times 2000) + (0,09 \times 0,92 \times 1600) + (0,025 \times 1,0 \times 2000)$$

$$C_{Tb} = 232,48 \text{ KJ/(m}^2\text{.K).}$$

Seção C – Reboco + bloco + câmara de ar + bloco + câmara de ar + bloco + reboco

$$A_c = 0,035 \times 0,19 = 0,00665 \text{ m}^2$$

$$C_{Tc} = \sum_{i=1}^7 e \times c \times \rho = (e \times c \times \rho)_{\text{reboco}} + (e \times c \times \rho)_{\text{bloco}} + (e \times c \times \rho)_{\text{ar}} + (e \times c \times \rho)_{\text{bloco}} \\ + (e \times c \times \rho)_{\text{ar}} + (e \times c \times \rho)_{\text{bloco}} + (e \times c \times \rho)_{\text{reboco}}$$

$$C_{Tc} = (0,025 \times 1,0 \times 2000) + (0,01 \times 0,92 \times 1600) + 0 + (0,01 \times 0,92 \times 1600) + 0 + \\ +(0,01 \times 0,92 \times 1600) + (0,025 \times 1,0 \times 2000)$$

$$C_{Tc} = 144,16 \text{ KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

$$C_T = \frac{A_a + 5 \times A_b + 4 \times A_c}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + 5 \times \frac{A_b}{C_{Tb}} + 4 \times \frac{A_c}{C_{Tc}}} = \frac{0,0039 + 5 \times 0,0019 + 4 \times 0,00665}{\frac{0,0039}{280} + 5 \times \frac{0,0019}{232,48} + 4 \times \frac{0,00665}{144,16}} = 167 \text{ KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

- Atraso térmico:

$$\varphi = 1,382 \times R_t \times \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$B_0 = C_T - C_{T \text{ ext.}} = 167 - (0,025 \times 1,0 \times 2000) = 117$$

$$B_1 = 0,226 \times \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \times \frac{117}{0,2307} = 114,62$$

$$B_2 = 0,205 \times \left( \frac{(\lambda \times \rho \times c)_{\text{ext.}}}{R_t} \right) \times \left( R_{t \text{ ext.}} - \frac{R_t - R_{t \text{ ext.}}}{10} \right) = 0,205 \times \left( \frac{2300}{0,2307} \right) \times \left( 0,0217 - \frac{0,2307 - 0,0217}{10} \right)$$

$$B_2 = 1,723$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,2307 \times \sqrt{114,62 + 1,723} = 3,44 \text{ horas.}$$

- Fator solar:

Considerando a cor amarela ( $\alpha = 0,3$ ) para a pintura das paredes externas, tem-se:

$$FS_o = 4 \times U \times \alpha$$

$$FS_o = 4 \times 2,49 \times 0,3 = 2,99\%.$$

**APÊNDICE C – VALORES DE TEMPERATURA DO AR OBTIDOS NO  
PROGRAMA ENERGYPLUS**

## a) Resultados da simulação para paredes de concreto

<b>Horário (h)</b>	<b>TBS Área externa (°C)</b>	<b>TBS Dormitório Q<sub>1</sub> (°C)</b>	<b>TBS Banheiro (°C)</b>	<b>TBS Dormitório Q<sub>2</sub> (°C)</b>	<b>TBS Sala (°C)</b>
<b>01:00</b>	24,2	25,8	26,2	25,7	25,2
<b>02:00</b>	23,7	25,2	25,5	25,2	24,6
<b>03:00</b>	23,4	24,8	25,0	24,8	24,2
<b>04:00</b>	23,1	24,4	24,7	24,4	23,9
<b>05:00</b>	22,9	24,1	24,4	24,1	23,7
<b>06:00</b>	23,1	24,1	24,3	24,1	23,7
<b>07:00</b>	23,9	24,4	24,5	24,4	24,0
<b>08:00</b>	25,6	25,4	25,5	25,4	25,5
<b>09:00</b>	27,6	27,0	27,0	27,0	27,3
<b>10:00</b>	29,4	28,6	28,5	28,6	29,0
<b>11:00</b>	31,0	30,1	29,8	30,0	30,6
<b>12:00</b>	32,0	31,2	30,9	31,2	31,7
<b>13:00</b>	32,9	32,1	31,8	32,1	32,6
<b>14:00</b>	33,4	32,9	32,7	32,9	33,3
<b>15:00</b>	33,4	33,3	32,9	33,3	33,5
<b>16:00</b>	32,8	33,4	32,9	33,3	33,1
<b>17:00</b>	31,9	32,9	32,7	32,9	32,4
<b>18:00</b>	30,9	31,9	31,9	31,9	31,5
<b>19:00</b>	29,3	30,5	30,7	30,5	30,0
<b>20:00</b>	28,2	29,5	29,7	29,5	29,0
<b>21:00</b>	27,2	28,7	29,0	28,6	28,1
<b>22:00</b>	26,3	27,7	27,9	27,7	27,1
<b>23:00</b>	25,5	27,0	27,2	27,0	26,4
<b>00:00</b>	24,8	26,3	26,5	26,2	25,7

## b) Resultados da simulação para paredes de alvenaria com blocos cerâmicos

<b>Horário (h)</b>	<b>TBS Área externa (°C)</b>	<b>TBS Dormitório Q<sub>1</sub> (°C)</b>	<b>TBS Banheiro (°C)</b>	<b>TBS Dormitório Q<sub>2</sub> (°C)</b>	<b>TBS Sala (°C)</b>
<b>01:00</b>	24,2	25,6	26,0	25,6	25,0
<b>02:00</b>	23,7	25,0	25,3	25,0	24,5
<b>03:00</b>	23,4	24,6	24,8	24,6	24,1
<b>04:00</b>	23,1	24,2	24,4	24,2	23,7
<b>05:00</b>	22,9	23,9	24,2	23,9	23,5
<b>06:00</b>	23,1	23,9	24,0	23,8	23,5
<b>07:00</b>	23,9	24,1	24,3	24,1	23,9
<b>08:00</b>	25,6	25,3	25,2	25,3	25,4
<b>09:00</b>	27,6	26,9	26,8	26,9	27,2
<b>10:00</b>	29,4	28,7	28,6	28,6	29,0
<b>11:00</b>	31,0	30,1	29,8	30,1	30,5
<b>12:00</b>	32,0	31,3	30,9	31,3	31,7
<b>13:00</b>	32,9	32,3	31,9	32,3	32,7
<b>14:00</b>	33,4	33,2	32,9	33,2	33,5
<b>15:00</b>	33,4	33,7	33,1	33,7	33,6
<b>16:00</b>	32,8	33,6	33,1	33,6	33,2
<b>17:00</b>	31,9	33,0	32,9	33,0	32,5
<b>18:00</b>	30,9	32,1	31,9	32,1	31,5
<b>19:00</b>	29,3	30,8	30,8	30,7	30,1
<b>20:00</b>	28,2	29,7	29,9	29,6	29,0
<b>21:00</b>	27,2	28,7	29,0	28,7	28,1
<b>22:00</b>	26,3	27,7	27,9	27,7	27,1
<b>23:00</b>	25,5	26,9	27,1	26,9	26,3
<b>00:00</b>	24,8	26,2	26,4	26,1	25,6