



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LORRAN MICHAEL DE PAULA MACEDO

**ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO SEGUNDO A ABNT
NBR 15575/2013: COMPARAÇÃO ENTRE STEEL FRAME E
ALVENARIA CONVENCIONAL EM PALMAS-TO**

Palmas/TO
2022

LORRAN MICHAEL DE PAULA MACEDO

**ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO SEGUNDO A ABNT
NBR 15575/2013: COMPARAÇÃO ENTRE STEEL FRAME E
ALVENARIA CONVENCIONAL EM PALMAS-TO**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientadora: Dra. Mariela Cristina Ayres de Oliveira

Palmas/TO
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

M141a Macedo, Lorrán Michael de Paula.

Análise de desempenho térmico segundo a ABNT NBR 15575/2013:
Comparação entre Steel Frame e Alvenaria Convencional em Palmas-TO . /
Lorrán Michael de Paula Macedo. – Palmas, TO, 2022.

103 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2022.

Orientadora : Mariela Cristina Ayres de Oliveira

1. Desempenho Térmico. 2. Steel Frame . 3. Alvenaria Convencional . 4.
Conforto Térmico. I. Título

CDD 624

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

LORRAN MICHAEL DE PAULA MACEDO

ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO SEGUNDO A ABNT NBR 15575/2013: COMPARAÇÃO ENTRE STEEL FRAME E ALVENARIA CONVENCIONAL EM PALMAS-TO

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

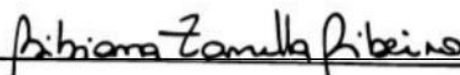
Data de aprovação: 09 / 06 / 2022

Banca Examinadora



Mariela C. A. de Oliveira
UFT - Palmas
Mat. 13436414

Prof^ª. Dr^ª. Mariela Cristina Ayres de Oliveira, UFT



Prof^ª. Ma. Bibiana Zanella Ribeiro, UFT



Gustavo de Paula Bonilha, Arquiteto e Urbanista

Palmas/TO
2022

RESUMO

A cidade de Palmas, capital do estado do Tocantins, é considerada uma das capitais estaduais mais quentes do Brasil na atualidade. Possui uma estação relativamente seca no decorrer do ano, superando 40,0 °C de temperatura máxima diária nos meses de estiagem. Devido as características climáticas da região, as edificações possuem uma grande dificuldade em desempenhar e garantir o conforto térmico. O presente estudo apresenta uma análise do desempenho térmico em uma residência de Steel Frame e uma de Alvenaria Convencional em Palmas-TO, verificando qual sistema construtivo proporciona melhor desempenho, conforme os requisitos mínimos estabelecidos na ABNT NBR 15575:2013. A análise foi realizada através do procedimento simplificado, calculando a transmitância térmica e a capacidade térmica dos sistemas de vedação, e através do procedimento de medição *in-loco*, medindo a temperatura do ar nas edificações durante três dias consecutivos. Verificou-se que, apesar do Steel Frame apresentar materiais com alto isolamento térmico, o sistema construtivo não atendeu o requisito de capacidade térmica, mantendo a temperatura do ar no interior da edificação cerca de 8 °C acima da temperatura do ar externo. Já a análise da residência de Alvenaria Convencional, atendeu a todos os requisitos mínimos exigidos pela norma de desempenho, fazendo-o o sistema construtivo de alvenaria possuir o melhor desempenho térmico.

Palavras-chaves: Desempenho Térmico. Steel Frame. Alvenaria Convencional.

ABSTRACT

The city of Palmas, capital of the state of Tocantins, is considered one of the warmest Brazilian state capitals currently. It has a relatively dry season throughout the year, exceeding 40.0 °C of maximum daily temperature in the dry months. Due to the climatic characteristics of the region, buildings have great difficulty in performing and guaranteeing thermal comfort. This study presents an analysis of the thermal performance in a Steel Frame and a Conventional Masonry residence in Palmas-TO, verifying which construction system provides better performance, according to the minimum requirements established in ABNT NBR 15575:2013. The analysis was performed through the simplified procedure, calculating the thermal transmittance and the thermal capacity of the sealing systems, and through the on-site measurement procedure, measuring the air temperature in the buildings during three consecutive days. It was found that, despite the Steel Frame having materials with high thermal insulation, the construction system did not meet the thermal capacity requirement, keeping the air temperature inside the building about 8 °C above the temperature of the outside air. The analysis of the Conventional Masonry residence, on the other hand, met all the minimum requirements required by the performance standard, making it the masonry construction system to have the best thermal performance.

Keywords: Thermal Performance. Steel Frame. Conventional Masonry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Edificação de Steel Frame em construção	18
Figura 2 - Quantidade de toneladas de aço galvanizado produzido no Brasil em 2020.....	20
Figura 3 - Evolução do volume de produção de Steel Frame (mil toneladas).....	20
Figura 4 - Uso do steel frame por tipo de obra.....	21
Figura 5 - Fundação em radier.....	22
Figura 6 - Parafuso parabolt	23
Figura 7 - Ancoragem do painel a fundação com parafuso parabolt.....	23
Figura 8 - Composição de um painel estrutural constituído por perfis de aço	24
Figura 9 - Parafusos autobrocante	24
Figura 10 - Fechamento da face externa de uma parede em Steel Frame	27
Figura 11 - Fechamento da face interna de uma parede em Steel Frame	27
Figura 12 - Instalação elétrica e hidrossanitário numa parede de Steel Frame	28
Figura 13 – Materiais comumente utilizados em coberturas de Steel Frame.....	29
Figura 14 - a) Construção em Alvenaria Convencional e b) em Alvenaria Estrutural.....	30
Figura 15 - Características gerais dos domicílios	32
Figura 16 - Blocos cerâmicos de vedação	33
Figura 17 - Representação de algumas famílias de blocos cerâmicos.....	35
Figura 18 - Assentamento do bloco cerâmico	37
Figura 19 - Etapas da argamassa de revestimento	37
Figura 20 - Concretagem de viga baldrame	39
Figura 21 - Marcação das primeiras fiadas de blocos	40
Figura 22 – Levantamento das paredes de alvenaria convencional.....	41
Figura 23 - Encunhamento da parede de vedação	41
Figura 24 - Locação dos eletrodutos no interior dos blocos cerâmicos.....	42
Figura 25 - Revestimento das paredes de vedação	42
Figura 26 - Atuação das trocas secas.....	45
Figura 27 - Trocas de calor por condução	46
Figura 28 - Fluxograma dos procedimentos de análise do conforto térmico	49
Figura 29 - Localização da cidade de Palmas-TO.....	56
Figura 30 - Temperatura média mensal para ano climático de referência (°C).....	57
Figura 31 - Radiação média mensal (Wh/m ²).....	58
Figura 32 - Precipitação média mensal (mm).....	59

Figura 33 - Média mensal da umidade relativa do ar (%)	59
Figura 34 - Velocidade média mensal dos ventos (m/s).....	60
Figura 35 - Rosa dos ventos para a cidade de Palmas-TO	60
Figura 36 - Zoneamento bioclimático brasileiro	61
Figura 37 - a) Lote da residência de Steel Frame e b) Fachada da residência de Steel Frame.	62
Figura 38 - Fachada da edificação de Alvenaria Convencional	63
Figura 39 - a) Esquema do fechamento vertical da edificação de Steel Frame e b) Espessura dos materiais e seções.	64
Figura 40 - a) Esquema do fechamento vertical da edificação de Alvenaria Convencional e b) Espessura dos materiais e seções.....	64
Figura 41 - Termômetro de Globo Digital com Datalogger HMTGD-1800.....	68
Figura 42 - a) Instalação do Termômetro na residência de Steel Frame e b) Instalação do Termômetro na residência de Alvenaria Convencional	70
Figura 43 - Resultados das temperaturas do ar no terceiro dia.....	73
Figura 44 - Resultados das temperaturas de globo preto no terceiro dia.....	74
Figura 45 - a) Corte da parede steel frame e b) Corte da parede de alvenaria convencional ...	85
Figura 46 - Gráfico dos resultados das temperaturas do ar e umidade relativa dia 06/04/22...	99
Figura 47 - Gráfico dos resultados das temperaturas do ar e umidade relativa dia 07/04/22.	100
Figura 48 - Gráfico dos resultados das temperaturas do ar e umidade relativa dia 08/04/22.	101
Figura 49 - Gráfico dos resultados das temperaturas de globo preto dia 06/04/22	102
Figura 50 - Gráfico dos resultados das temperaturas de globo preto dia 07/04/22	102
Figura 51 - Gráfico dos resultados das temperaturas de globo preto dia 08/04/22	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Perfis especiais e utilização.....	25
Quadro 2 - Dimensão de fabricação de blocos cerâmicos em centímetros	34
Quadro 3 - Comparativo entre Alvenaria e Steel Frame	43
Quadro 4 - Composição da ABNT NBR 15220:2005	48
Quadro 5 - Composição da ABNT NBR 15575:2013	49
Quadro 6 - Seções dos sistemas de vedação vertical das residências.....	65
Quadro 7 – Valores de absorvância à radiação das edificações	67
Quadro 8 - Área efetiva de ventilação na sala de estar.....	68
Quadro 9 - Parâmetros de medição do termômetro de globo	69
Quadro 10 - Resultados da transmitância térmica e capacidade térmica	71
Quadro 11 - Resultados das aberturas mínimas.....	72
Quadro 12 - Resultados da medição <i>in-loco</i> dos três dias consecutivos	73
Quadro 13 - Resultado da medição <i>in-loco</i> do terceiro dia	75
Quadro 14 - Levantamento <i>in-loco</i> dia 06/04/2022.....	95
Quadro 15 - Levantamento <i>in-loco</i> dia 07/04/2022.....	96
Quadro 16 - Levantamento <i>in-loco</i> dia 08/04/2022.....	97
Quadro 17 - Temperatura do ar e umidade relativa nos dias de medição <i>in-loco</i>	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Transmitância térmica de paredes externas.....	50
Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas	50
Tabela 3 - Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica	50
Tabela 4 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas	51
Tabela 5 - Resistência térmica superficial interna e externa	52
Tabela 6 - Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar	54
Tabela 7 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	55
Tabela 8 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.....	56
Tabela 9 - Condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente	66
Tabela 10 - Resistência térmica de câmara de ar não ventiladas.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCEM	Associação Brasileira da Construção Metálica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTAC	Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
DEW	Temperatura do Ponto de Orvalho
EPS	Poliestireno Expandido
FV	Fator de Ventilação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBUTG	Índice de Stress Térmico
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO	International Organization for Standardization
LSF	Light Steel Frame
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NASFA	North American Steel Framing Alliance
NBR	Norma Brasileira
OSB	Oriented Strand Board
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílio
PROJETEEE	Projeto de Eficiência Energética em Edificações
RGB	Sistema de Cores (Red, Green e Blue)
RH	Umidade Relativa
SEPLAN	Secretaria do Planejamento e Orçamento
SVVIE	Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas
TA	Temperatura do Ar
TBS	Temperatura de Bulbo Seco
TG	Temperatura de Globo Preto
UFT	Universidade Federal do Tocantins
WBGT	Temperatura de Globo de Bulbo Úmido
WET	Temperatura do Bulbo Úmido

LISTA DE SÍMBOLOS

α	absortância à radiação solar
λ	condutividade térmica do material
c	calor específico
ρ	densidade de massa aparente
ε	emissividade térmica
θ	temperatura da superfície da parede
θ_r	temperatura radiante relativa
θ_e	temperatura da superfície externa da envolvente
θ_i	temperatura da superfície interna da envolvente
q_r	intensidade do fluxo térmico por radiação
q_c	intensidade do fluxo térmico por convecção
h_c	coeficiente de trocas térmicas por convecção
h_r	coeficiente de trocas térmicas por radiação
R	resistência térmica do material
R_t	resistência térmica da parede
R_T	resistência térmica total
R_{se}	resistência superficial externa
R_{si}	resistência superficial interna
U	transmitância térmica
C_t	capacidade térmica do material
C_T	capacidade térmica
e	espessura da parede
A	área da seção
A_A	área efetiva de abertura de ventilação do ambiente
A_P	área de piso do ambiente
$T_{i,máx}$	valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação
$T_{e,máx}$	valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação
$T_{i,mín}$	valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação
$T_{e,mín}$	valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação
%	porcentagem
J	joule
W	watt
K	kelvin
°C	grau celsius

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2. Hipótese(s)	15
1.3. Delimitação de Escopo.....	16
1.4. Justificativa	16
1.5. OBJETIVOS	17
1.5.1. Objetivo Geral	17
1.5.2. Objetivos Específicos	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1. STEEL FRAME	18
2.1.1. Breve Histórico	19
2.1.2. Fundação do Steel Frame	21
2.1.3. Painéis Estruturais	23
2.1.4. Fechamento e instalações	26
2.1.5. Cobertura.....	29
2.2. ALVENARIA	30
2.2.1. Breve Histórico	31
2.2.2. Blocos Cerâmicos.....	33
2.2.3. Argamassa e Concreto.....	35
2.2.4. Etapas Construtivas da Alvenaria de Vedação.....	39
2.3. COMPARATIVO ENTRE STEEL FRAME E ALVENARIA CONVENCIONAL.....	43
2.4. CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES.....	44
2.4.1. Radiação	45
2.4.2. Condução	46
2.4.3. Convecção	47
2.5. DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES - ABNT NBR 15220:2005	47
2.6. DESEMPENHO EM EDIFICAÇÕES – ABNT NBR 15575:2013	48
2.6.1. Procedimento Simplificado NBR 15575-4:2013 e NBR 15575-5:2013.....	50
2.6.2. Procedimento de Medição <i>in-loco</i> NBR 15575-1:2013.....	54
2.7. CARACTERIZAÇÃO DE PALMAS-TO.....	56
2.7.1. Características Climáticas	57
2.7.2. Zoneamento Bioclimático da Região	61

3. METODOLOGIA.....	62
3.1. DELIMITAÇÃO DAS RESIDÊNCIAS	62
3.1.1. Residência de Steel Frame	62
3.1.2. Residência de Alvenaria Convencional	63
3.2. PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO	63
3.1. PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO <i>IN-LOCO</i>	68
4. RESULTADOS E ANÁLISE.....	71
4.1. RESULTADOS DO PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO	71
4.2. RESULTADOS DO PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO <i>IN-LOCO</i>	72
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
5.1 LIMITAÇÕES DESTA PESQUISA	78
5.2 SUGESTÕES DE PESQUISA	78
REFERÊNCIAS	79
APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO .	85
APÊNDICE B – MEDIÇÕES <i>IN-LOCO</i>	95
APÊNDICE C – TEMPERATURAS EXTERNAS	98
APÊNDICE D – TEMPERATURAS DO AR E UMIDADE REALTIVA.....	99
APÊNDICE E – TEMPERATURAS DE GLOBO PRETO	102

1. INTRODUÇÃO

As edificações desde o primórdio foram destinadas a proteger os moradores das intempéries e ataques externos, proporcionando abrigo e conforto. No Brasil, o sistema convencional de construção de casas e edifícios é a alvenaria com tijolos cerâmicos. Este sistema foi trazido pelos portugueses para construções próprias, e em meados do século 19, a produção do setor de construção passa a atender também o mercado (TELLES, 1984).

A alvenaria utiliza materiais simples como cimento, areia, blocos cerâmicos e aço, sua estrutura é composta por pilares de vigas em concreto armado, que é a junção do aço ao concreto, e sua vedação interna e externa é composta com paredes de blocos cerâmicos (CASSAR, 2018). Segundo Sabbatini (1989), “alvenaria é definida como um elemento construído em obra, constituído pela união de blocos cerâmicos e argamassa, formando um conjunto resistente, firme e coeso”.

Apesar da alvenaria ser o sistema construtivo mais convencional no Brasil, novas tecnologias construtivas como o Light Steel Frame (LSF) ou somente Steel Frame, vêm sendo implementadas no país com o intuito de ganhar em produtividade e principalmente em eficiência. Apesar de ser um sistema construtivo pouco difundido no país, o Steel Frame teve sua ascensão em 1993 nos Estados Unidos. Segundo a Revista *Téchne* (2008), “Steel Frame é um sistema construtivo constituído de perfis leves de aço galvanizado, que formam paredes estruturais e não-estruturais depois de receber painéis de fechamento”, esses painéis podem ser placas cimentícias, placas OSB ou Drywall. O sistema também é conhecido como construção a seco pelo fato de desconsiderar o uso de concreto e cimento.

No entanto, independente da escolha do sistema construtivo, a arquitetura da edificação necessita ser projetada possibilitando ao usuário condições de conforto durante dia e noite, independente das características climáticas do ambiente. Segundo Barbosa e Lima (2010), adequar a arquitetura ao clima de um determinado local significa construir espaços que possibilitem ao homem condições de conforto.

O município escolhido como referência neste estudo é a Capital do Estado do Tocantins, Palmas. A Cidade é considerada uma das capitais estaduais mais quentes do Brasil na atualidade, segundo a classificação de Köppen-Geiger. Segundo Barbosa e Lima (2010), o Laboratório de Meteorologia e Climatologia da Universidade Federal do Tocantins (UFT), classifica o clima do município como tropical chuvoso, possuindo uma estação relativamente seca no decorrer do ano, contendo temperaturas médias anuais de 26,9 °C, máxima de 39,6 °C e mínima de 21,4 °C.

A fim de que o desempenho térmico desses sistemas construtivos seja estudado, será analisada uma residência de Steel Frame e uma de Alvenaria Convencional, conforme os requisitos mínimos estabelecidos na norma de desempenho, ABNT NBR 15575:2013. A norma, que se divide em seis partes, estabelece requisitos e critérios de desempenho para edificações de até cinco pavimentos. As análises, serão realizadas através de dois procedimentos. O primeiro, parte 4 da norma de desempenho, é o procedimento simplificado. Ele visa analisar a transmitância térmica, a capacidade térmica e a área mínima de aberturas de ventilação. O segundo, parte 1 da norma, é o procedimento de medição *in-loco*, que visa comparar a temperatura do ar externo com a temperatura do interior da edificação.

Diante do exposto, este trabalho busca analisar o desempenho térmico em edificações de Steel Frame e Alvenaria Convencional, em Palmas-TO, conforme as exigências da Norma Regulamentadora ABNT NBR 15575-1:2013, que estabelece os requisitos e critérios mínimos de desempenho em uma edificação.

1.1. Problema de pesquisa

As edificações situadas na cidade de Palmas-TO, construídas pelos métodos construtivos Steel Frame e Alvenaria Convencional, estão corretamente relacionadas aos padrões da norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013 quanto ao conforto térmico?

1.2. Hipótese(s)

O sistema convencional de construção de edificações no Brasil é a Alvenaria Convencional. Entretanto, o Steel Frame vem sendo implementado com o intuito de ganhar em produtividade, e, especialmente, em eficiência térmica devido os materiais utilizados no seu sistema de vedação. Sendo assim, as análises de desempenho térmico conforme a ABNT NBR 15575:2013, nos dois sistemas construtivos, necessitam ser atendidas, e, o Steel Frame, proporcionar melhor desempenho térmico quando comparado a Alvenaria Convencional.

1.3. Delimitação de Escopo

O presente trabalho visa analisar o desempenho térmico em edificações de Steel Frame e edificações de Alvenaria Convencional, na cidade de Palmas-TO, conforme os procedimentos básicos de análises descritos na ABNT NBR 15575:2013 e ABNT NBR 15220:2005. O trabalho verificará se os sistemas construtivos atendem os requisitos térmicos mínimos estabelecidos em norma, e qual sistema demonstrará melhor desempenho térmico. Não serão feitas especificações dos tipos de materiais para construção de edifícios na cidade, tampouco, contraindicar algum sistema construtivo.

1.4. Justificativa

As edificações na cidade de Palmas-TO possuem uma grande dificuldade em desempenhar e garantir conforto térmico devido as características climáticas da região. Dados levantados pelo do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), apontam que Palmas-TO supera 40,0 °C de temperatura máxima diária nos meses de estiagem, os meses mais quentes do ano. Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro, feita por Maurício Roriz, para a Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC), também indica que a cidade pertence a uma das três zonas mais quentes do Brasil.

Assim sendo, os sistemas de vedação vertical das edificações necessitam ser projetados possibilitando ao usuário condições de conforto durante todo o dia, independente das características climáticas do ambiente. Uma edificação precisa atender o estilo de vida do usuário, conforme as exigências técnicas de conforto estabelecidas pela norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013.

O estado do Tocantins também sofre com a escassez de estudos relacionados ao conforto térmico em edificações, segundo Gonçalves (2020). A realização deste estudo também terá a finalidade de aprofundar e aumentar o acervo científico sobre o conforto térmico na região de Palmas-TO e no estado.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo Geral

Analisar o desempenho térmico em edificações de Steel Frame e edificações de Alvenaria Convencional em Palmas-TO, verificando qual sistema construtivo proporciona melhor desempenho, conforme os requisitos mínimos estabelecidos na ABNT NBR 15575:2013.

1.5.2. Objetivos Específicos

1. Analisar a transmitância térmica e a capacidade térmica em sistemas de vedação vertical de Steel Frame e Alvenaria Convencional;
2. Analisar o atendimento dos requisitos mínimos para o desempenho térmico em sistemas de vedação vertical em Steel Frame e Alvenaria Convencional em Palmas-TO, conforme o procedimento simplificado da ABNT NBR 15575-4:2013;
3. Comparar a temperatura do ar interno entre edificações de Steel Frame e edificações de Alvenaria Convencional, conforme o procedimento de medição *in-loco* da ABNT NBR 15575-1:2013.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo apresenta-se o Steel Frame e suas etapas construtivas, assim como algumas características gerais da Alvenaria Convencional. Logo em seguida, são fundamentados o conforto térmico e os conceitos físicos de transferência de calor. Também serão expostas as normas legais que embasam os requisitos mínimos de conforto térmico.

2.1. STEEL FRAME

O Steel Frame, também conhecido como Light Steel Frame (LSF), é um sistema de concepção racional, que tem como principal característica uma estrutura constituída por perfis de aço galvanizado (CRASTO, 2005). O termo “*Steel Frame*”, traduzida para o português significa Estrutura de Aço. “*Steel*” remete ao aço e “*Frame*” é usado para definir o esqueleto estrutural composto pelo aço. A inclusão do “*Light*”, que também traduzida significa Leve, serve para expressar que toda a estrutura, por utilizar os perfis de aço galvanizado, possui um peso reduzido (PEDROSO et al., 2014).

O sistema construtivo Steel Frame também é conhecido como construção a seco pelo fato de desconsiderar o uso de concreto e cimento e por manter o canteiro de obras mais limpo e organizado. Outra característica que diferencia esse sistema construtivo dos demais é o menor tempo de execução e a precisão na quantidade de materiais a ser aplicado (PEDROSO et al., 2014). A Figura 1, exemplifica uma construção de Steel Frame e o canteiro de obras.

Figura 1- Edificação de Steel Frame em construção



Fonte: GDSUL (2022).

Para compreender, o Steel Frame pode ser associado ao “*Drywall*”, que traduzido para o português significa Paredes de Gesso, que é amplamente utilizado no Brasil. O *Drywall* é constituído por uma estrutura de perfis galvanizados onde são fixadas placas, servindo como vedação interna ou divisão de ambientes (CRASTO, 2005). Entretanto, o *Drywall* não possui função estrutural. Já o Steel Frame, trata-se de um sistema construtivo composto por vários subsistemas que, além de compor a parte estrutural, envolvem a fundação, o isolamento, o fechamento interno e externo e as instalações complementares como elétrica e hidrossanitário (CONSUL STEEL, 2002).

2.1.1. Breve Histórico

Apesar de ser um sistema construtivo pouco conhecido no Brasil, o Steel Frame tem sua origem no século XIX nos Estados Unidos da América. Historicamente se inicia com as habitações construídas em madeiras pelos colonizadores. Com o crescimento da população americana, foi necessário desenvolver técnicas construtivas que fossem mais rápidas e produtivas. Como a madeira era o material disponível na região, o método desenvolvido consistia em utilizar peças serradas de pequena seção transversal para montar a estrutura. Essas construções eram chamadas de “Wood Frame”, que traduzido para o português, significa Estruturas de Madeiras (CONSUL STEEL, 2002).

Em 1993, com a ascensão da indústria de aço nos Estados Unidos, foi lançado na Feira Mundial de Chicago, o protótipo de uma residência que utilizava perfis de aço em sua estrutura. Como a residência substituiu toda a estrutura de madeira pelo aço, a tecnologia construtiva passou a se chamar Steel Frame (CRASTO, 2005 apud FRECHETTE, 1999).

Ainda na década de 90, com a flutuação no preço da madeira nos Estados Unidos e com a resistência do aço em resistir aos terremotos e furacões, o mercado da construção civil foi estimulado ao uso dos perfis de aço nas edificações de Steel Frame (CRASTO, 2005). Segundo Crasto (2005), uma pesquisa feita pela North American Steel Framing Alliance (NASFA), revelou que no ano de 2002 o Steel Frame constituiu quase 2 % do mercado residencial construído nos Estados Unidos, tendo regiões como Havaí, que o percentual pode chegar até 40 % de residenciais construídas.

No Brasil, o Steel Frame teve início no ano 1998, primeiramente com o propósito de trazer novas tecnológicas construtivas, atribuindo benefícios para o construtor e o consumidor (PEDROSO et al., 2014). Ao longo dos últimos 20 anos foi ganhando espaço na construção civil no mercado brasileiro.

Entretanto, por ainda se tratar de uma tecnologia construtiva nova, há falta de estudos sobre dados estatísticos relacionados ao uso e ao mercado brasileiro. Com isso, a Associação Brasileira da Construção Metálica (ABCCEM) e o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), começaram no ano 2014 a realizarem estudos quantitativos, em âmbito nacional, com 28 fabricantes de perfis de aço galvanizados para Light Steel Frame e Drywall. Em 2021, o estudo contou com 37 empresas fabricantes e foram estimadas 79,1 mil toneladas de perfis de galvanizados produzidos. Desses, 22,9 mil toneladas foram produzidas destinados ao mercado de Steel Frame, conforme a Figura 2:

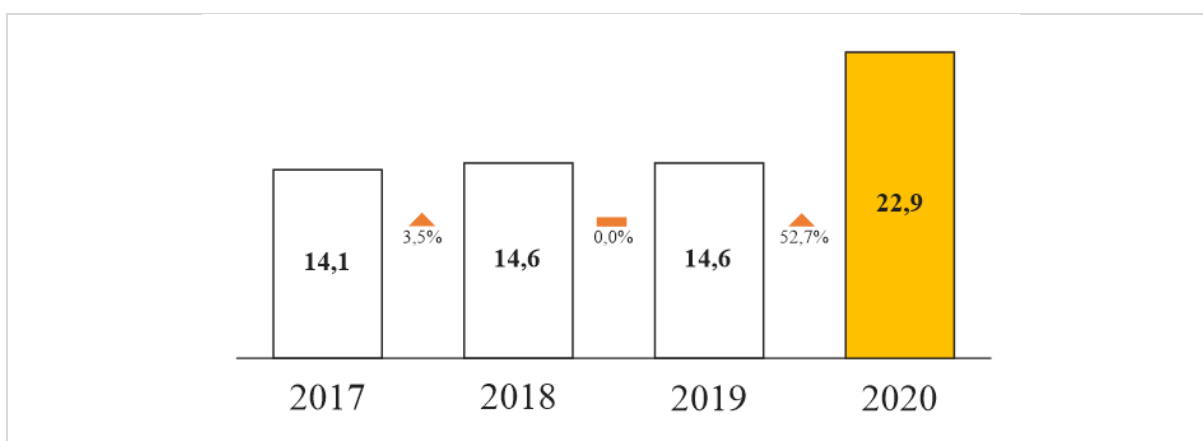
Figura 2 - Quantidade de toneladas de aço galvanizado produzido no Brasil em 2020



Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado da ABCCEM (2022).

Apesar da quantidade de aço galvanizado produzida para o setor de Steel Frame ser inferior ao setor de Drywall no mesmo ano, houve um aumento significativo quando comparado ao total produzido nos anos anteriores, conforme a Figura 3:

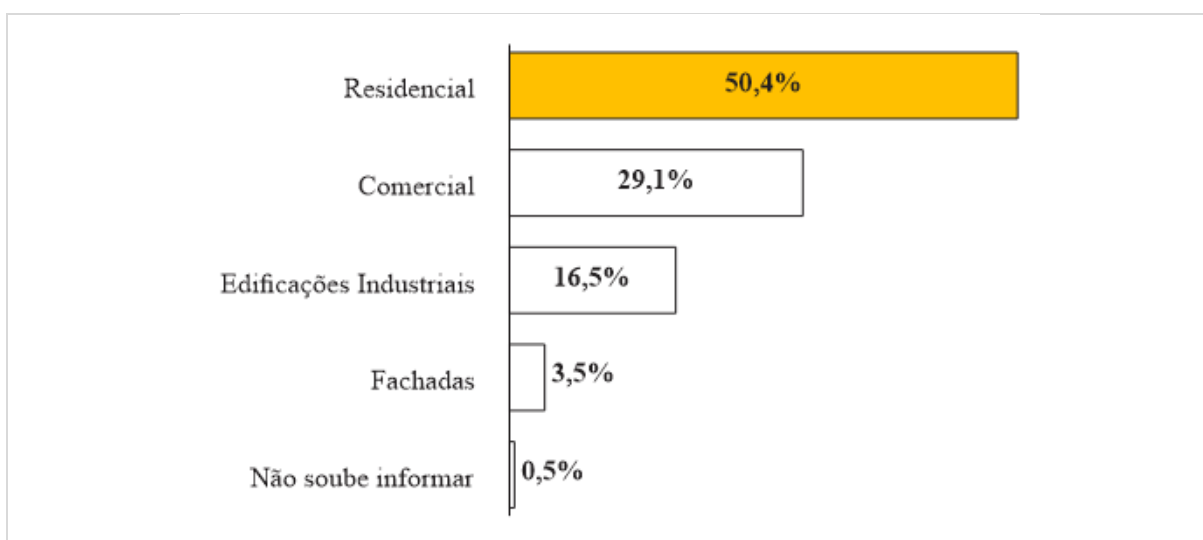
Figura 3 - Evolução do volume de produção de Steel Frame (mil toneladas)



Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado da ABCCEM (2022).

Outro dado estatístico realizado pela pesquisa, mostra que dentre a produção de aço galvanizado destinado ao Steel Frame, mais da metade é destinado ao uso de obras residenciais, conforme a Figura 4:

Figura 4 - Uso do steel frame por tipo de obra



Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado da ABCEM (2022).

A Associação Brasileira da Construção Metálica (ABCCEM) e o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), ainda ressaltam que para o fortalecimento do setor, é importante que sejam realizados programas visando a qualificação da mão de obra e que também haja divulgação do sistema, por parte dos profissionais técnicos.

2.1.2. Fundação do Steel Frame

O Steel Frame não se resume apenas em seu sistema estrutural feito em aço. O sistema construtivo como um todo, envolve as etapas de fundação e todo o fechamento da estrutura. A Revista Técnica, publicou no ano de 2008, seis artigos nos quais abordavam o método detalhado de como construir uma edificação em Steel frame. Os autores dividiram o sistema construtivo em cinco etapas, sendo a primeira etapa a fundação, depois a estrutura, fechamento vertical, as instalações complementares como elétrica e hidráulica, e por último, a cobertura.

Os tipos de fundações mais utilizadas nas construções em Steel Frame são o radier, as sapatas corridas e as vigas baldrame (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008). A topografia do terreno, o tipo de solo e o nível do lençol freático obtidos no boletim de sondagem, vão

determinar a fundação a ser escolhida (CRASTO, 2005). Entretanto, segundo a Revista Técnica (2008), a fundação em radier é geralmente mais utilizada quando a edificação possui apenas um pavimento e todos os painéis referentes ao pavimento são assentados na mesma cota, conforme a Figura 5.

Figura 5 - Fundação em radier



Fonte: AECWEB (2022).

Independentemente do tipo de fundação a ser executada, requer uma boa impermeabilização para evitar a umidade e é primordial que esteja perfeitamente nivelado, permitindo a correta transmissão das ações de esforços dos perfis metálicos. Por se tratar de um sistema que possui pouca maleabilidade para ajustes devido ao enquadramento das peças, não é interessante a interferência decorrente de desníveis da fundação (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008).

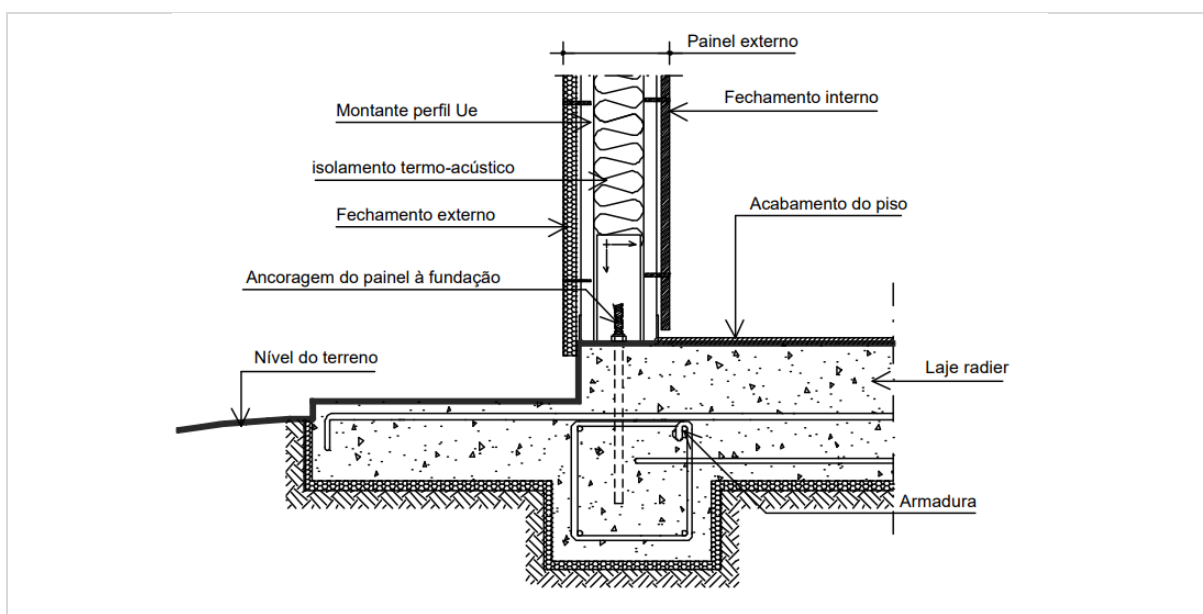
Após a execução da fundação, é realizado a ancoragem da superestrutura para evitar o movimento da edificação devido a pressão do vento. A ancoragem pode ser feita com barra roscada do tipo “J”, química com barra roscada, fita metálica e parabolts. A escolha do tipo de fixação dependerá do tipo de fundação executada e das solicitações das cargas na estrutura. Dentre os tipos, a ancoragem com parafusos parabolts está se tornando o tipo mais comumente utilizado, devido à alta resistência a arranque (CRASTO, 2005). A Figura 6 e a Figura 7, apresentam respectivamente, o parafuso parabolts e a ancoragem do painel junto a fundação.

Figura 6 - Parafuso parabolt



Fonte: ANCORA (2022).

Figura 7 - Ancoragem do painel a fundação com parafuso parabolt



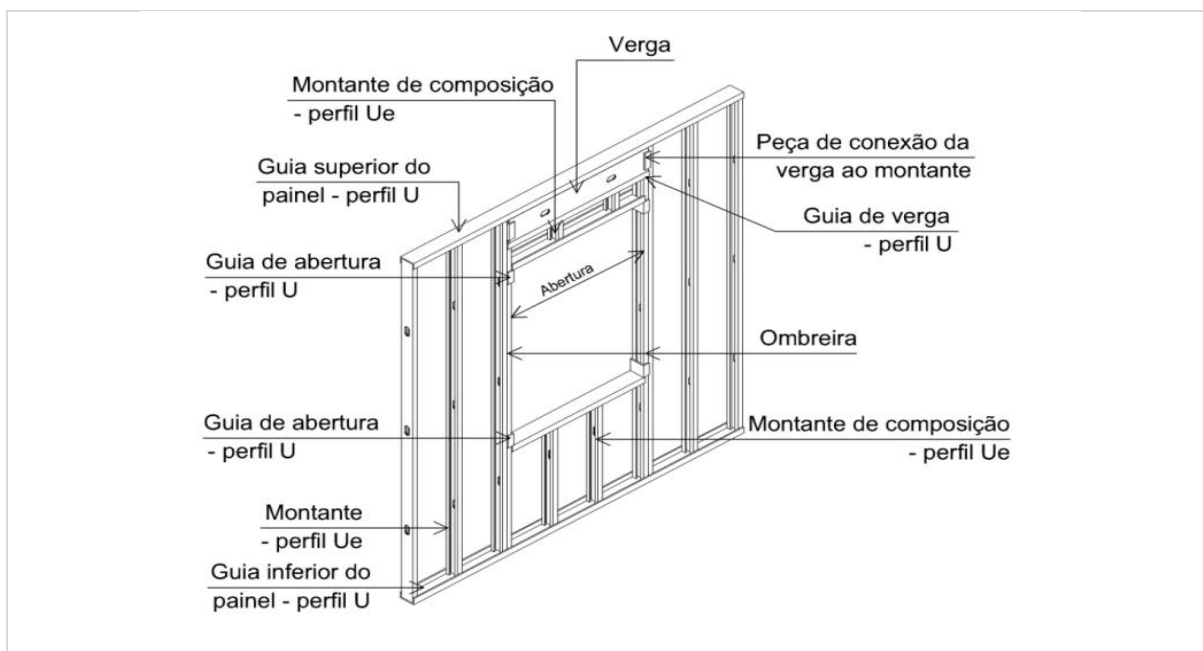
Fonte: Elaborado por CRASTO (2005) - adaptado da CONSUL STEEL (2002).

2.1.3. Painéis Estruturais

O sistema Steel Frame visa racionalizar a concepção da estrutura utilizando os perfis galvanizados. A galvanização ou zincagem, tem a função de proteger o aço contra a corrosão atmosférica, além de ser o processo mais efetivo e econômico (CRASTO, 2005).

Os perfis, previamente fabricados ou obtidos através da perfilagem de bobinas de aço galvanizado, são montados no canteiro de obras formando painéis estruturais para serem fixados posteriormente na fundação. Os painéis podem ser fixados na vertical e na horizontal, servindo como paredes e lajes. Verticalmente, os painéis atuam na função estrutural da edificação, recebendo as cargas e dando estabilidade a toda estrutura (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008). A Figura 8, representa a composição de um painel montado.

Figura 8 - Composição de um painel estrutural constituído por perfis de aço

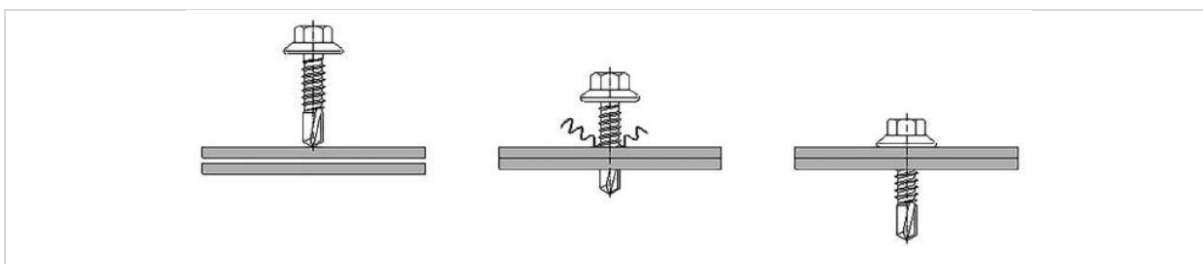


Fonte: CRASTO (2005).

Nos painéis onde há aberturas de portas e janelas é necessário a utilização de elementos para redistribuir as solicitações interrompidas nos vãos. Nestes casos são instalados as vergas e ombreiras, compostas de dois perfis conectados ou usando perfis cantoneiras. Como qualquer outro projeto estrutural, verifica-se também a flambagem dos perfis de aço por flexão e torção (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008).

Na montagem dos painéis estruturais, a ligação entre as chapas de aço é parafusada, devido os perfis serem galvanização. A solda gera muito calor em sua execução, danificando a camada protetora dos perfis (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008). Os parafusos utilizados na montagem dos painéis estruturais necessitam ser do tipo autobrocantes, ter a ponta igual uma broca, para que as chapas de aço sejam perfuradas (CRASTO, 2005). A Figura 9, exemplifica um parafuso autobrocante fixando dois perfis de aço.

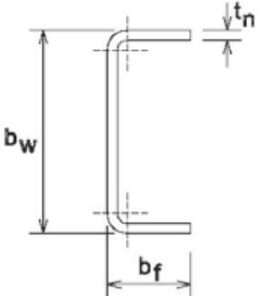
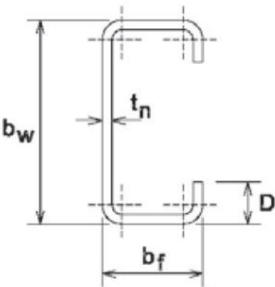
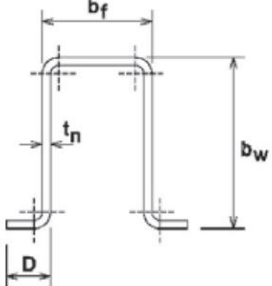
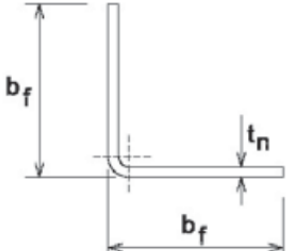
Figura 9 - Parafusos autobrocante



Fonte: CBCA (2016).

Os perfis de aço galvanizado mais comumente utilizado na montagem dos painéis de Steel Frame são os com formatos em “C” ou “U” e “U” enrijecido (Ue), além das cantoneiras. Os painéis são montados pelos perfis de montante e perfis de guia, sendo que os montantes são compostos pelo formato “Ue”, e são organizadas verticalmente. As guias são compostas pelos formatos “U” e são dispostas horizontalmente nas extremidades dos montantes. Os espaçamentos entre os perfis verticais variam usualmente entre 40 cm e 60 cm, dependendo dos esforços solicitados pela edificação (CASSAR, 2018). O Quadro 1, exemplifica as seções transversais dos perfis mais utilizados.

Quadro 1 - Perfis especiais e utilização

Seção Transversal	Denominação ABNT NBR 6355:2012	Utilização
	<p>U simples U $b_w \times b_f \times t_n$</p>	<p>Guia Ripa Bloqueador Guia de entrepiso Terça</p>
	<p>U enrijecido Ue $b_w \times b_f \times D \times t_n$</p>	<p>Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga Terça Guia enrijecida</p>
	<p>Cartola Cr $b_w \times b_f \times D \times t_n$</p>	<p>Ripa</p>
	<p>Cantoneiras de abas desiguais L $b_{f1} \times b_{f2} \times t_n$</p>	<p>Cantoneira</p>

Fonte: Elaborado pelo Autor – adaptado da ABNT NBR 15253:2014.

A largura da alma (b_w) pode variar entre 90 e 300 mm. Porém, no Brasil as medidas comercializadas são 90, 140 e 200 mm, tendo a largura da mesa (b_f) variando entre 35 e 40 mm e as espessuras (t_n), podendo variar de 0,8 a 3,0 mm, dependendo do fabricante e do tipo de perfil (CRASTO, 2005).

As espessuras a serem utilizadas e o tipo de seção transversal das chapas de aço são determinadas pela ABNT NBR 15253:2014, Perfis de aço formado a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações – Requisitos gerais. Já a padronização das chapas, é determinada pela ABNT NBR 6355:2012, Perfis estruturais de aço formado a frio – Padronização. Para a realização do projeto estrutural da edificação em Steel Frame, os critérios de dimensionamento seguem os requisitos determinados pela ABNT NBR 14762:2010, Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.

2.1.4. Fechamento e instalações

Após a montagem da estrutura de aço e sua fixação na fundação, é realizado o fechamento vertical do painel, tanto na face externa quanto na face interna (CRASTO, 2005). No Steel Frame, os materiais utilizados no fechamento da edificação necessitam ser compatíveis com o sistema construtivo, serem leves para resultar num baixo peso próprio e serem de fácil aplicação (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008).

Primeiramente, é realizado o fechamento vertical nas faces externas dos painéis que delimitam as áreas molhadas. Entre as faces externas e internas, são adicionados os materiais com propriedades isolantes térmica e acústica. Posteriormente, o fechamento do painel é finalizado na face interna, que é a face voltada para o interior da edificação (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008).

Os materiais mais utilizados nos fechamentos externos das estruturas em Steel Frame são as placas cimentícias e as placas OSB (Oriented Strand Board) (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008). O OSB é um tipo de painel de madeira fabricado com tiras de madeiras reflorestadas que, após retirada toda a umidade, são coladas com uma resina especial. A ABNT NBR 14810-2:2018 apresenta os métodos para determinar propriedades técnicas nos painéis OSB. As placas cimentícias são determinadas pela norma ABNT NBR 15498:2021, Chapas cimentícias reforçadas com fios, fibras, filamentos ou telas - Requisitos e métodos de ensaio. Outra norma utilizada para especificar as placas cimentícias é a ISO 8336:2017, Chapas planas de fibrocimento — Especificação do produto e métodos de teste.

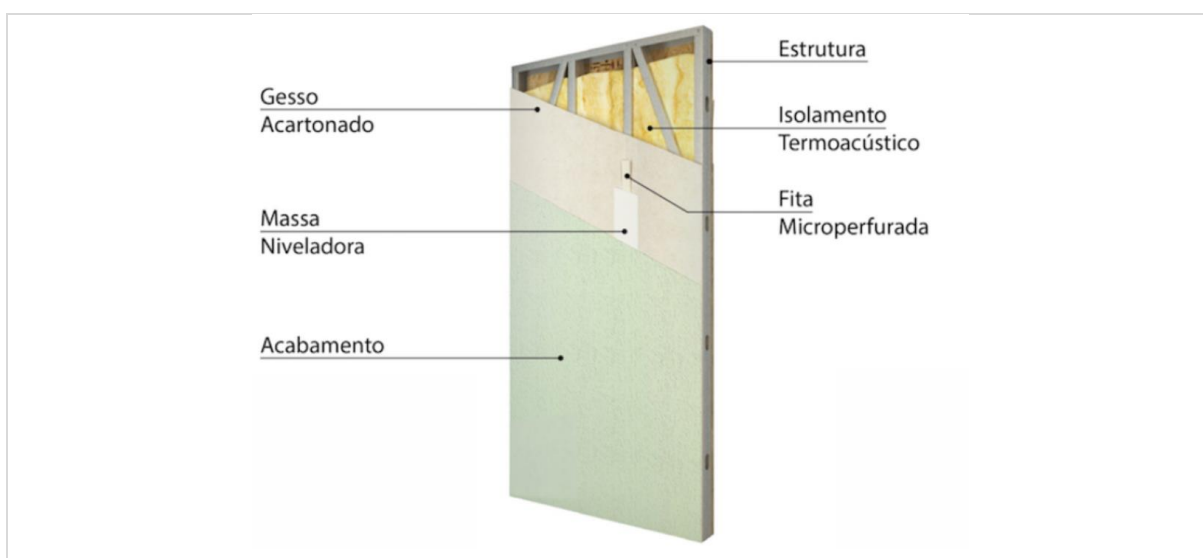
Figura 10 - Fechamento da face externa de uma parede em Steel Frame



Fonte: ENOVA PROJETOS (2022).

O preenchimento entre as faces externas e internas dos painéis de aço é feito com materiais responsáveis por proporcionar o isolamento termoacústico do ambiente. Os produtos mais utilizados para desempenhar esse papel são a lã de rocha, lã de vidro ou painéis de EPS, que são basicamente placas de isopor (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008). Segundo a Revista Técnica (2008), na face interna, para finalizar o fechamento total de um painel em Steel Frame, podem-se utilizar as mesmas placas usadas nos fechamentos externos e, ainda, as placas de gesso acartonado.

Figura 11 - Fechamento da face interna de uma parede em Steel Frame



Fonte: CONSTRUTORA FASTCON (2022).

Referente ao material a ser utilizado, é importante levar em consideração a segurança estrutural, a segurança contra incêndios, a estanqueidade, o conforto termoacústico e todos os demais requisitos da ABNT NBR 15575:2013, Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008).

As instalações complementares como elétricas e hidrossanitário não muda em razão do sistema construtivo, as especificações são as mesmas empregadas em edificações de alvenaria. O mesmo também se aplica para as demais instalações como gás, aquecedor solar etc. Individualmente, as instalações que utilizam cobre, como água quente ou fria, necessitam utilizar espaçadores de plástico a fim de impedir a corrosão galvânica no contato com os perfis de aço estrutural (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008).

As paredes nas quais passam os eletrodutos e as tubulações hidráulicas, recebem os dutos após o fechamento externo ser realizado. Concluído o arranjo das instalações, é inserido os materiais isolantes para depois executar o fechamento da face interna da parede. As perfurações para os pontos de projeto são feitas com o uso de serra-copo (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008). Apesar do mercado da construção civil já possuir materiais elétricos e hidráulicos destinados ao Drywall e Steel Frame, pode-se usar as mesmas peças destinadas as edificações de alvenaria.

Figura 12 - Instalação elétrica e hidrossanitário numa parede de Steel Frame



Fonte: CONSTRUTORA ANGULLAR (2022).

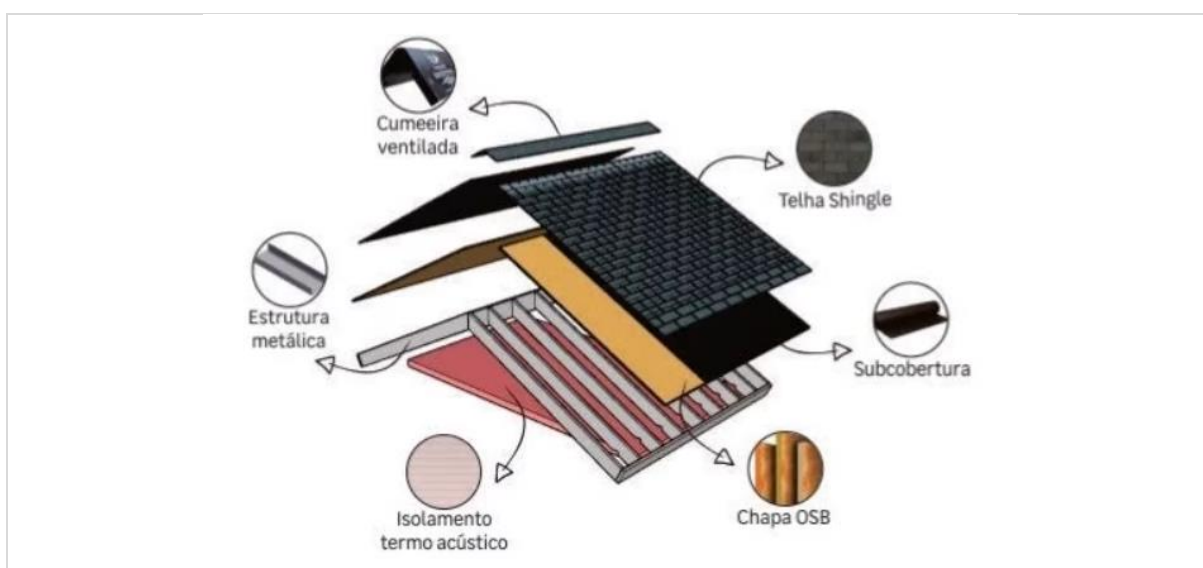
O Steel Frame permite uma racionalização construtiva em relação às construções convencionais. Numa edificação de alvenaria, as tubulações e eletrodutos são alocadas nas lajes, vigas e pilares, antes da concretagem, fazendo com que as fiquem suscetíveis a danos. Pelo método construtivo Steel Frame, por serem instaladas concomitantemente ao fechamento vertical, as instalações mantêm os padrões de fábrica (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008).

2.1.5. Cobertura

Assim como as instalações complementares, as coberturas também possuem as mesmas características e princípios das estruturas em edificações convencionais. Os telhados podem ser planos ou ondulados, aparentes ou oculto pelas platibandas. A concepção da estrutura da cobertura é a mesma feita com madeira, trocando somente as vigotas e caibros pelos perfis de aço galvanizado (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2009).

Referente aos tipos de telhas, podem ser usadas as telhas metálicas, cerâmicas, fibrocimento, shingle, entre outras. Geralmente, é utilizado coberturas em plano horizontal. Neste caso, usam-se as placas de fibra de madeira OSB (Oriented Strand Board) com revestimento cimentícios. Necessitam possuir impermeabilização adequada e inclinação o suficiente para a água escoar (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2009). A Figura 13, apresenta um modelo de cobertura com os materiais comumente utilizados em edificações de Steel Frame.

Figura 13 – Materiais comumente utilizados em coberturas de Steel Frame



Fonte: LEROY MERLIN (2022).

2.2. ALVENARIA

Segundo Sabbatini (1989), “alvenaria é definida como um elemento construído em obra, constituído pela união de tijolos, blocos e argamassa, formando um conjunto resistente, firme e coeso”. O sistema de construção, é composto por uma estrutura reticulada em concreto armado e vedação externa em alvenaria de blocos cerâmicos. (CASSAR, 2018). Entretanto, a alvenaria também pode desempenhar o papel estrutural, eliminando o uso de estruturas de concreto armado como vigas e pilares.

A Alvenaria Convencional ou Alvenaria de Vedação, é destinada a compartimentar espaços em uma edificação, e preencher os vãos de estruturas de concreto armado, aço ou outras estruturas. É definida pelo Código de Práticas nº 01 (2009), como “uma parede constituída pelo assentamento de tijolos maciços ou blocos vazados com argamassa, com a função de suportar apenas seu peso próprio e cargas de ocupação como armários, prateleiras, redes de dormir etc”.

Já a Alvenaria Estrutural, é um processo construtivo em que os elementos que exercem a função estrutural, como os pilares e vigas, são dispensados. “As paredes em si, possuem a função de compor a estrutura da edificação e conseqüentemente distribuir as cargas de modo uniforme ao longo das fundações” (BATISTA, 2020). A Figura 14, exemplifica os dois tipos de alvenaria.

Figura 14 - a) Construção em Alvenaria Convencional e b) em Alvenaria Estrutural



Fonte: RENOVEPLAN; BLOCOS ORIENTE (2022).

A Alvenaria, em sua maioria, tem seu processo executivo feito no canteiro de obras. Isso caracteriza a construção como sendo artesanal e requer um grande emprego de contingente de mão de obra (CASSAR, 2018).

2.2.1. Breve Histórico

A alvenaria é o sistema construtivo mais antigo da humanidade, com origens milenares, que a princípio se baseava no simples empilhamento de materiais a um fim desejado (NASCIMENTO, 2007). Desde seu início até o século 19, as construções que predominavam eram construídas de pedras ou tijolos cerâmicos. A Muralha da China, construída cerca de 500 anos antes de cristo, e o Coliseu de Roma, são exemplos de construções feitas através deste sistema construtivo (BLIND 2018).

A partir do século 19, a alvenaria estrutural começa a ser empregada mais fortemente na Europa devido ao aumento da industrialização do tijolo ou bloco cerâmico. Os blocos cerâmicos, segundo Kato (2002), é o produto manufaturado mais antigo que existe. Sua permanência na sociedade a tão longo prazo, se deu devido a facilidade de obter a matéria prima e a sua demanda. Já no século 20, a alvenaria foi marcada devido a revolução que as construções tiveram, através da junção do aço ao concreto (KATO, 2002).

No Brasil, a alvenaria começa a ser historicamente implantada com a chegada dos portugueses. O sistema construtivo, realizado pelos lusitanos, também se baseava na utilização de tijolos, blocos e na adição de materiais naturais disponíveis no local. A princípio, as primeiras construções realizadas no Brasil foram igrejas, fortalezas e edifícios. As construções não envolviam conhecimentos teóricos, mas eram acompanhadas por mestres europeus e até mesmo militares (VARGAS, 1994).

De acordo com Lai (2016), a alvenaria também é utilizada pelo homem desde as primeiras construções e está presente no Brasil desde a época colonial:

A alvenaria é utilizada pelo homem desde as primeiras construções, o sistema de alvenaria de blocos cerâmicos chegou ao Brasil na época colonial, sendo uma das principais tecnologias utilizadas na construção civil, devido a abundância da matéria-prima argila, esta, é o tipo predominante de vedação.

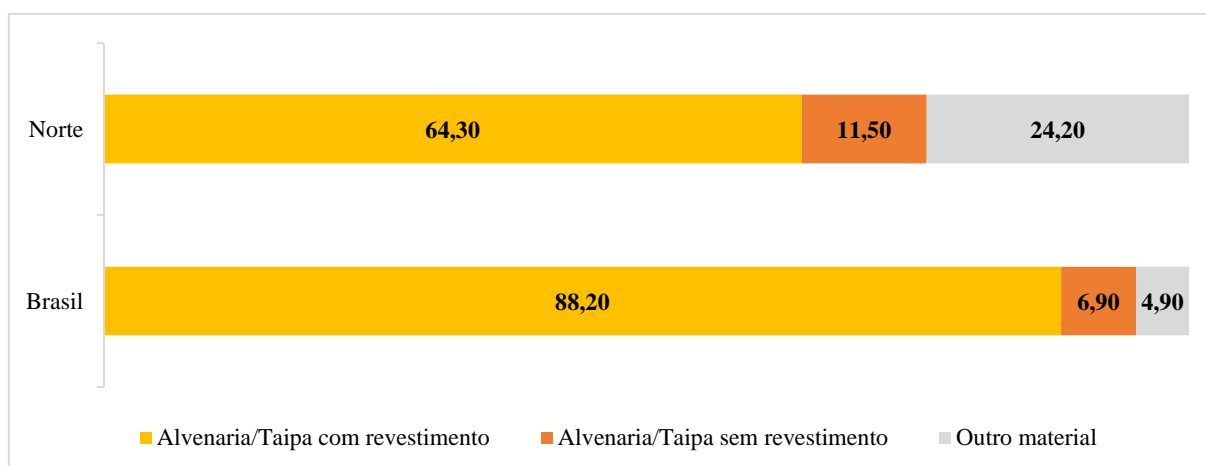
Nessa mesma época, também com a chegada dos portugueses, começaram a ser criadas escolas militares voltadas a engenharia. No Brasil, foram os primeiros indícios do envolvimento dos estudos científicos ao sistema construtivo de alvenaria. Com isso, em meados do século 19,

a produção do setor de construção passa a atender também o mercado, que até então eram apenas para o uso próprio (TELLES, 1984).

Segundo Kato (2002), no ano de 1875, o código de posturas paulistano começa a proibir as construções de edificações com o uso de palha, acendendo o desenvolvimento do bloco de argila destinado a construção civil. Posteriormente, com o alto desenvolvimento de construções, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabeleceu critérios de fabricação dos blocos cerâmicos, definindo medidas comerciais.

De acordo com Cassar (2018), o desenvolvimento da construção civil no Brasil e a disponibilidade de novos materiais, principalmente o aço, fez com que o mercado crescesse de maneira espetacular. Devido a isso, a construção civil no país está em constante mudança até os dias de hoje. A Figura 15, apresenta uma pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sobre as características gerais das edificações no Brasil.

Figura 15 - Características gerais dos domicílios



Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado do IBGE/PNAD (2019).

Dados levantados pelo PNAD, Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílio, coordenada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mostram que no ano de 2019 eram 71 milhões de domicílios no país. Desses, 95,1 % são de alvenaria/taipa com ou sem revestimento. Na região Norte, de todas as edificações, 64,3 % são de alvenaria/taipa com revestimento e 11,5 % são de alvenaria/taipa sem revestimento, totalizando 65,8 % das edificações sendo de alvenaria/taipa.

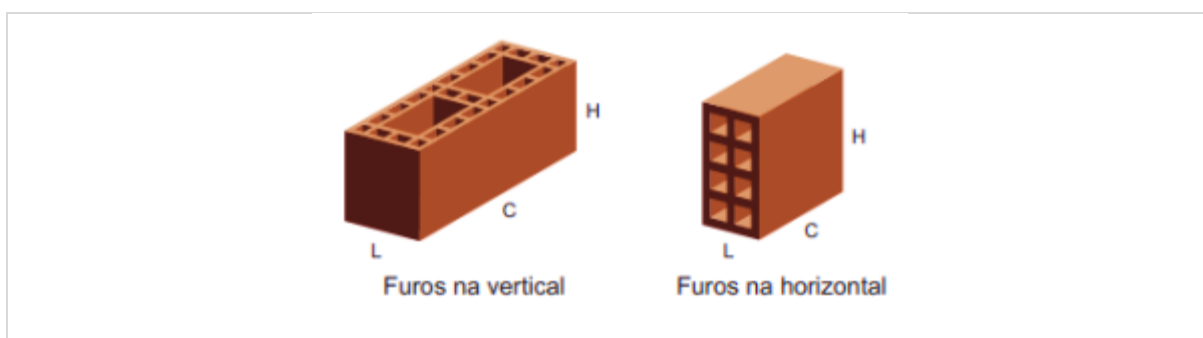
2.2.2. Blocos Cerâmicos

Segundo a ABNT NBR 15270-1:2017, “um bloco caracteriza-se como um componente da alvenaria que possui furos prismáticos e/ou cilíndricos perpendiculares às faces que os contêm”. O Código de Práticas nº 01 (2009), também define o bloco como “um componente vazado com furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm, que integra a alvenaria de vedação intercaladas nos vãos de estruturas de concreto armado”.

Segundo Parsekian (2017), os blocos representam mais de 80 % do volume da alvenaria. Por se tratar de um elemento de vedação, eles também possuem um papel importante quanto a resistência à compressão, estabilidade, isolamento termoacústico, intempéries do ambiente e até mesmo na estética.

A ABNT NBR 15270-1:2017, também ressalta que os blocos cerâmicos destinados a vedação interna e externa, são responsáveis por resistir apenas seu peso próprio, não suportando outros carregamentos verticais na edificação. A Figura 16, representa os blocos cerâmicos de vedação contendo os furos prismáticos na vertical e horizontal.

Figura 16 - Blocos cerâmicos de vedação



Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado do Código de Práticas nº 01 (2009).

Também conforme a Figura 16, as dimensões dos blocos cerâmicos são compostas pelas dimensões de largura “L”, comprimento “C” e altura “H”. Além disso, a ABNT NBR 15270-1:2017 estipula que essas dimensões devem ser padronizadas com módulo dimensional de 10 cm menos 1 cm. Seguindo essa padronização, no mercado existem diversas medidas de blocos cerâmicos. No Quadro 2, o Código de Práticas nº 01 (2009), apresenta as dimensões comerciais existentes no mercado da construção civil no Brasil.

Quadro 2 - Dimensão de fabricação de blocos cerâmicos em centímetros

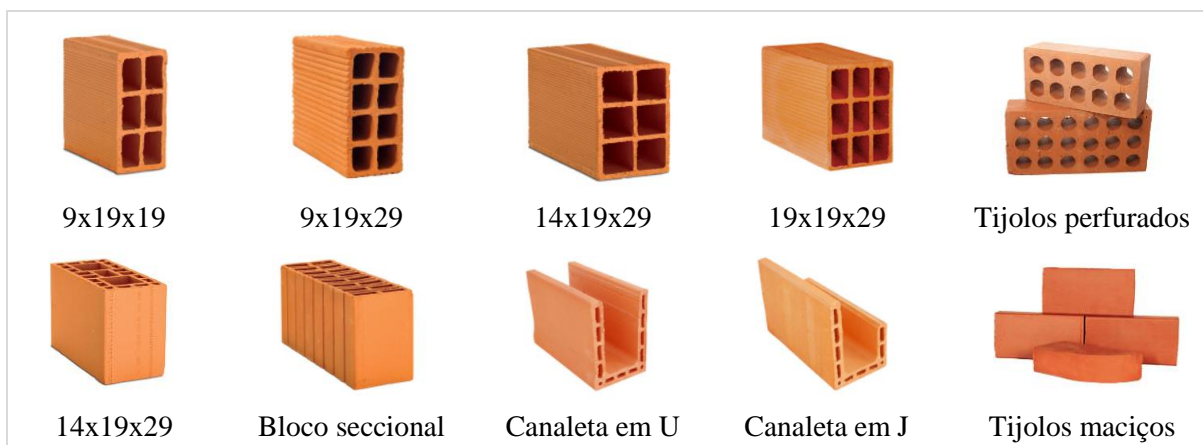
L x H x C	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento		
			Bloco	Meio Bloco	
(1) M x (1) M x (2) M	9	9	19	9	
(1) M x (1) M x (5/2) M			24	11,5	
(1) M x (3/2) M x (2) M		14	19	9	
(1) M x (3/2) M x (5/2) M			24	11,5	
(1) M x (3/2) M x (3) M			29	14	
(1) M x (2) M x (2) M		19	19	19	9
(1) M x (2) M x (5/2) M				24	11,5
(1) M x (2) M x (3) M				29	14
(1) M x (2) M x (4) M				39	19
(5/4) M x (5/4) M x (5/2) M	11,5	11,5	24	11,5	
(5/4) M x (3/2) M x (5/2) M		14	24	11,5	
(5/4) M x (2) M x (2) M		19	19	19	9
(5/4) M x (2) M x (5/2) M				24	11,5
(5/4) M x (2) M x (3) M				29	14
(5/4) M x (2) M x (4) M	14	19	39	19	
(3/2) M x (2) M x (2) M			19	9	
(3/2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5	
(3/2) M x (2) M x (3) M			29	14	
(3/2) M x (2) M x (4) M			39	19	
(2) M x (2) M x (2) M	19	19	19	9	
(2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5	
(2) M x (2) M x (3) M			29	14	
(2) M x (2) M x (4) M			39	19	
(5/2) M x (5/2) M x (5/2) M	24	24	24	11,5	
(5/2) M x (5/2) M x (3) M			29	14	
(5/2) M x (5/2) M x (4) M			39	19	

Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado do Código de Práticas nº 01 (2009).

Na alvenaria, além dos blocos e meio blocos, há outras peças complementares de uso específico como os tijolos maciços, as canaletas em U e as canaletas em J. Os tijolos maciços são usados em vedação, mas também tem sido empregado como revestimento. Já as canaletas,

permitem a construção de cintas de amarração, vergas e contravergas, preenchendo seu espaço interno com concreto e aço (LAI, 2016). Algumas famílias dos blocos cerâmicos são representadas na Figura 17.

Figura 17 - Representação de algumas famílias de blocos cerâmicos



Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado da Associação Nacional da Indústria Cerâmica - ANICER (2022).

A ABNT NBR 15270-1:2017, estabelece os requisitos básicos dos blocos cerâmicos destinados a alvenaria, com ou sem revestimentos, e além de definir termos, fixa os requisitos dimensionais, físicos e mecânicos exigíveis no recebimento. Já a ABNT NBR 15270-2:2017, descreve os métodos de ensaios para a avaliação de conformidade dos blocos, também incluindo a determinação de suas características geométricas, físicas e mecânicas.

2.2.3. Argamassa e Concreto

Na alvenaria a argamassa pode ser dividida em argamassa de assentamento, para assentamento dos blocos, e argamassa de revestimento, para dar acabamento nas faces laterais dos blocos e preparar a superfície para receber outros tipos de revestimento cerâmicos ou pinturas. Segundo Roman et al. (2014), nas argamassas, busca-se a capacidade de ela transferir de maneira uniforme as tensões entre os blocos, como também regularizar as diferenças nas dimensões dos blocos.

A ABNT NBR 13281:2005, define argamassa como sendo “uma mistura homogênea composta por água, agregados miúdos, aglomerantes como o cimento e possivelmente aditivos”. A norma também estabelece os requisitos gerais para a argamassa de assentamento e revestimento. Blind (2018), ainda define a argamassa como “um material constituído basicamente de aglomerante e agregados miúdos, misturados com certa quantidade de aditivos

apropriados, formando uma mistura plástica com a trabalhabilidade requerida para sua aplicação”.

Ao se misturar cimento com água, é obtido uma pasta. A mistura dessa pasta com areia, obtém-se a argamassa. Já o concreto, é a mistura da argamassa com pedra ou brita. Adicionando o aço ao concreto, tem-se o concreto armado BASTOS (2006).

A ABNT NBR 13281:2005, também define os ensaios recomendados para a argamassa, como análises de resistência à compressão, densidade de massa aparente nos estados frescos e endurecido, resistência à tração na flexão, coeficiente de capilaridade, retenção de água e resistência de aderência à tração. Parsekian (2017), ainda ressalta que as argamassas possuem dois estados, sendo o plástico voltado a trabalhabilidade e capacidade de retenção de água, e o enfiado voltado a aderência e resistência de compressão e retração.

Argamassa de Assentamento

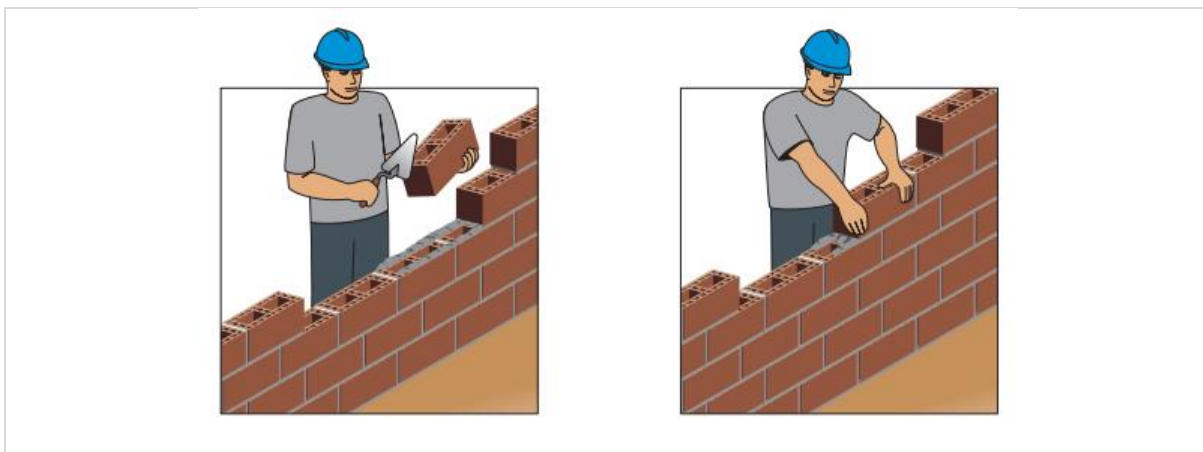
Segundo o Código de Práticas nº 01 (2009), para o assentamento dos blocos cerâmicos, recomenda-se argamassas mistas, composta por cimento e cal hidratada. A cal misturada na argamassa, devido seu poder de retenção de água, proporciona a mistura um menor módulo de deformação as paredes. Isso faz com que as paredes, inicialmente, tenham maior potencial de acomodar as movimentações devido as deformações da estrutura. A ABNT NBR 7175:2003, estabelece os requisitos básicos da cal hidratada para argamassas.

Para a mistura da argamassa, recomenda-se areias lavadas e com granulometria média, módulo de finura entre 2 e 3. Não é recomendado areais com altas porcentagens de material silto-argiloso, conhecido no Brasil como saibro, areia de estrada, areia de barranco etc (CÓDIGO DE PRATICAS Nº 01, 2009). A ABNT NBR 7211:2009, estabelece as especificações do tipo de areia a ser utilizada.

De acordo com o Código de Práticas nº 01 (2009), o traço da argamassa necessita ser estabelecido em função das exigências de aderência e impermeabilidade da junta. As argamassas de assentamento que são industrializadas ou fornecidas a granel, também são adequadas a todas as orientações estabelecidas nas normas.

Para a aplicação, a argamassa de assentamento é colocada sobre a face horizontal superior do bloco, em quantidade suficiente para que seja expelida nas laterais quando o bloco da fiada posterior for assentado. A espessura da camada entre os blocos assentados necessitar ser de 1,0 a 1,5cm (CÓDIGO DE PRATICAS Nº 01, 2009). A Figura 18, apresenta como a argamassa de assentamento é utilizada na fixação dos blocos cerâmicos.

Figura 18 - Assentamento do bloco cerâmico

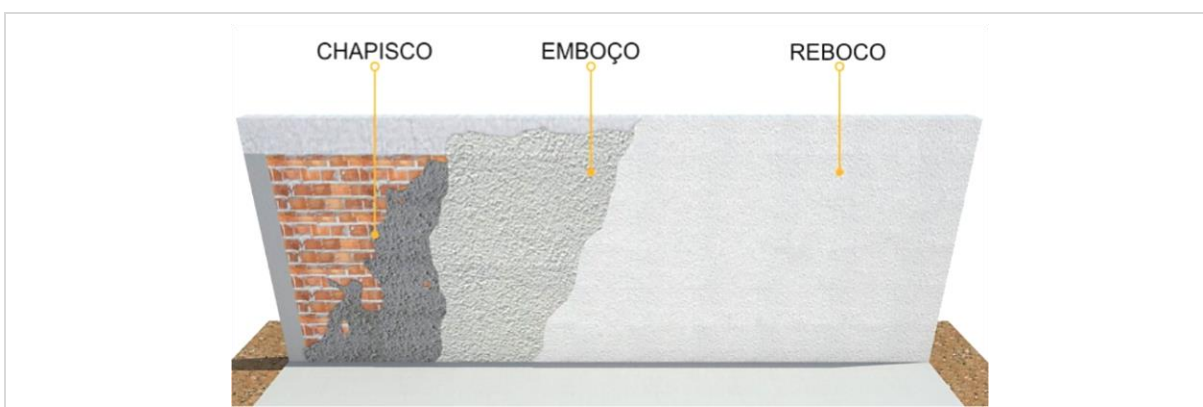


Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado do Código de Práticas nº 01 (2009).

Argamassa de Revestimento

A argamassa destinada ao revestimento, difere da argamassa de assentamento apenas em relação o traço e a etapa construtiva. Todos os demais requisitos também são estipulados pela ABNT NBR 13281:2005, tendo apenas o procedimento de execução definido pela ABNT NBR 7200:1998. Para o revestimento, as etapas são compostas pelo chapisco, emboço e reboco, conforme a Figura 19.

Figura 19 - Etapas da argamassa de revestimento



Fonte: TRENAMAR (2022).

O chapisco tem a função de proporcionar aderência na face dos blocos cerâmicos ou blocos de concreto, criando uma camada áspera e com baixa porosidade, para que posteriormente a parede de vedação receba a camada de emboço e reboco. Sua espessura de aplicação varia de 3 a 5 mm (AZEVEDO, 1987).

Já a camada de emboço, mais espessa que o chapisco, pode variar entre 10 e 15 mm. Sua função é corrigir as imperfeições da parede de vedação, regularizando a superfície e deixando-a prumada. O emboço também contribui para a impermeabilização da parede de bloco cerâmico (ZULIAN et al, 2002).

Por último, a camada de reboco tem o objetivo de dar acabamento ao revestimento da parede de vedação, para que posteriormente possa ser aplicado pintura ou outros tipos de revestimentos (NOGUEIRA, 2020). Segundo Azevedo (1987), usualmente o reboco e o emboço são aplicados como uma única camada, chamando de emboço paulista. A aplicação das duas camadas simultaneamente também tem o objetivo final de receber pintura ou outro tipo de revestimento.

Os traços volumétricos a serem obedecidos são os seguintes:

- a) chapisco - cimento e areia grossa (ϕ de 3,0 mm a 5,0 mm, com predominância de 5,0 mm) 1:3;
- b) emboço - cimento, cal em pasta e areia média (ϕ máximo 3,0 mm) 1:2:9, ou cimento e areia fina peneirada 1:8, ou cimento, areia média e saibro macio 1:3:5.

Os emboços só serão iniciados após completa pega das argamassas das alvenarias e chapiscos e depois de embutidas todas as tubulações.

A espessura do emboço não deverá ultrapassar 20,0 mm, de modo que, com a aplicação de 5,0 mm de reboco, o revestimento de argamassa não exceda 25,0 mm.

(DNER-ES 351, 1997).

Concreto

No sistema construtivo da alvenaria convencional, utilizam-se diversos componentes e diferentes processos. Conforme Bastos (2006), tem-se o concreto, um composto homogêneo formado por cimento, água, agregado miúdo, agregado graúdo e ar. Através das reações químicas que ocorrem no concreto e da evaporação da água ao longo do tempo, a pasta passa por um processo de endurecimento até se tornar um corpo rígido. Bastos (2006), ainda enfatiza que em termos de resistência, o concreto pode ser comparado com uma rocha. Após sua cura, o corpo rígido passa a possuir uma alta resistência a compressão.

Entretanto, o concreto simples, possui baixa resistência a tração. A junção do aço ao concreto simples, faz com que a estrutura rígida também passa a resistir aos esforços de tração,

compondo assim, o concreto armado. A união do concreto as barras metálicas promovem estabilidade a uma estrutura (BASTOS, 2006).

Barros e Melhado (1998), complementa que “as finalidades mais significativas das armaduras são o seu uso a fim de amortecer as tensões de cisalhamento e tração, assim como desenvolver a eficiência resistente dos elementos comprimidos”.

A Figura 20, exemplifica a concretagem de uma viga baldrame, utilizando barras de aço. Vale ressaltar que a ABNT NBR 6118:2014, fixa os requisitos básicos exigíveis para projeto de estruturas de concreto simples e concreto armado.

Figura 20 - Concretagem de viga baldrame



Fonte: PIECO-SUS 3D (2022).

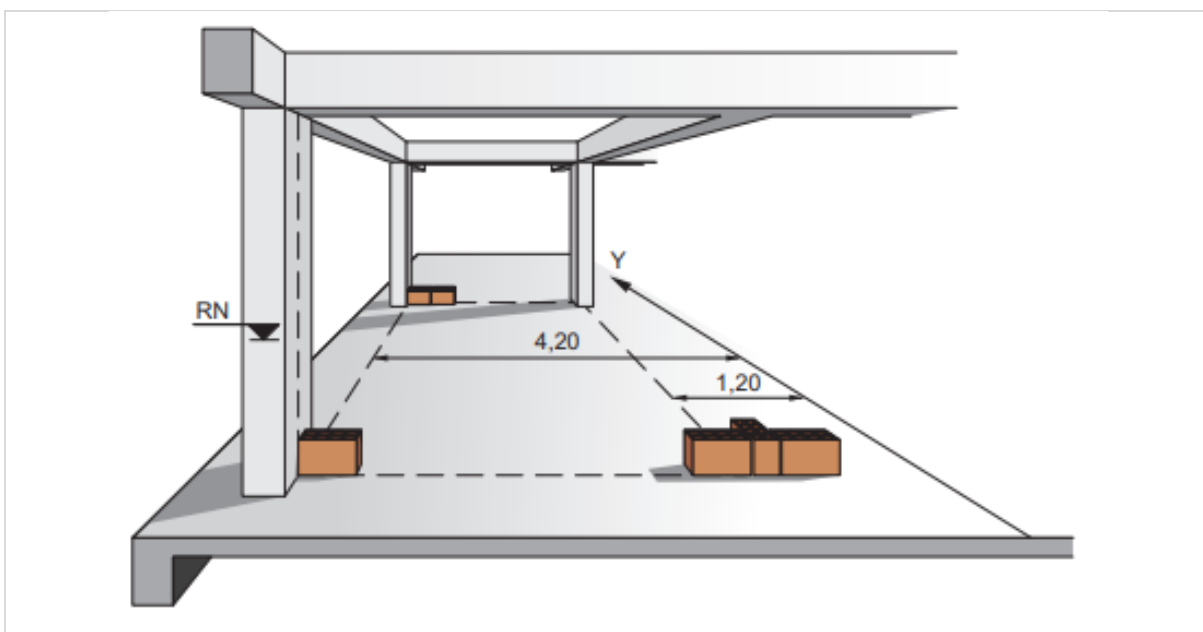
2.2.4. Etapas Construtivas da Alvenaria de Vedação

Para realizar a alvenaria de vedação, primeiro é preciso estar com toda a estrutura de fundação concluída. Segundo Crasto (2005), o tipo de fundação para uma construção depende dos parâmetros do solo e da topografia. No sistema de alvenaria, as fundações que se adequam são as sapatas, blocos, radiers e vigas de fundação.

Como a mão de obra do sistema convencional de construção é grande, vários profissionais realizam a execução da alvenaria de uma maneira. Contudo, a ABNT NBR 8545:1984 estabelece os procedimentos referentes a execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos.

De modo geral, o processo de execução de alvenaria de blocos cerâmicos se consiste em assentar uma primeira fiada de blocos nos vértices dos cômodos e encontros de paredes. Essa primeira fiada servirá como gabarito para o assentamento das camadas de blocos seguintes. A primeira fiada necessita ser executada após rigorosa locação das alvenarias, pois influenciará na qualidade de todas as demais fiadas, como também nas etapas subsequentes como o reboco e instalações de esquadrias (CÓDIGO DE PRÁTICAS N° 01, 2009).

Figura 21 - Marcação das primeiras fiadas de blocos



Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado do Código de Práticas nº 01 (2009).

A Figura 21, apresenta a locação das paredes e o assentamento dos primeiros blocos de referência, na primeira fiada. Conforme é executado cada fiada, é necessário ir verificando o prumo e nivelamento da parede. Após a conclusão do assentamento dos blocos cerâmicos, é realizado o revestimento da parede com argamassa (CÓDIGO DE PRÁTICAS N° 01, 2009).

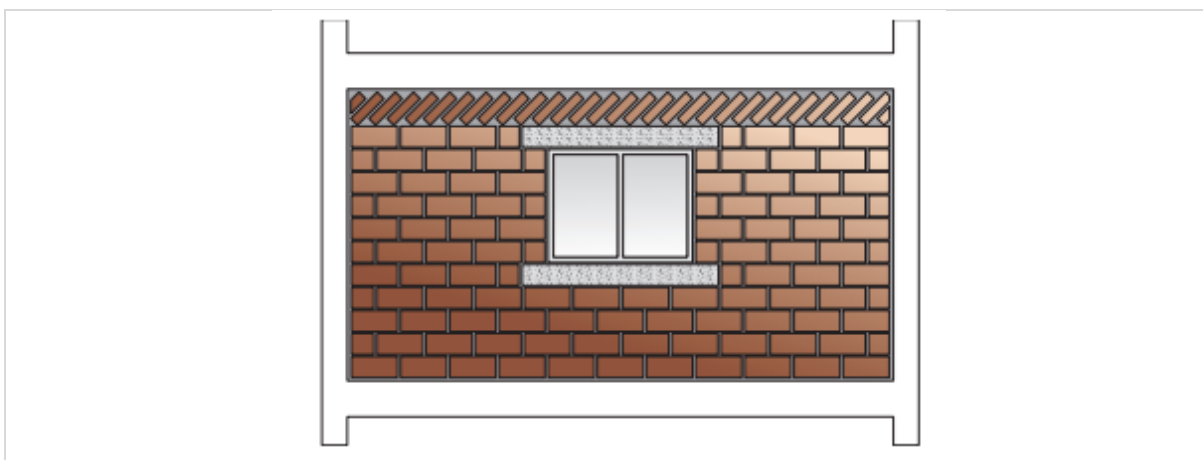
Figura 22 – Levantamento das paredes de alvenaria convencional



Fonte: PREFEITURA DE IJUÍ (2022).

Ao levantar as paredes até a altura do pé direito do pavimento, o encontro dos blocos cerâmicos com lajes ou vigas superiores, recomenda-se o assentamento inclinado de tijolos maciços, empregando-se argamassa relativamente fraca. Essa última fiada, agirá, amortecendo os esforços transmitidos das vigas e lajes para a parede de vedação. Essa fixação dos blocos cerâmicos com os elementos estruturais superiores, conforme a Figura 23, chama-se encunhamento (CÓDIGO DE PRÁTICAS N° 01, 2009).

Figura 23 - Encunhamento da parede de vedação

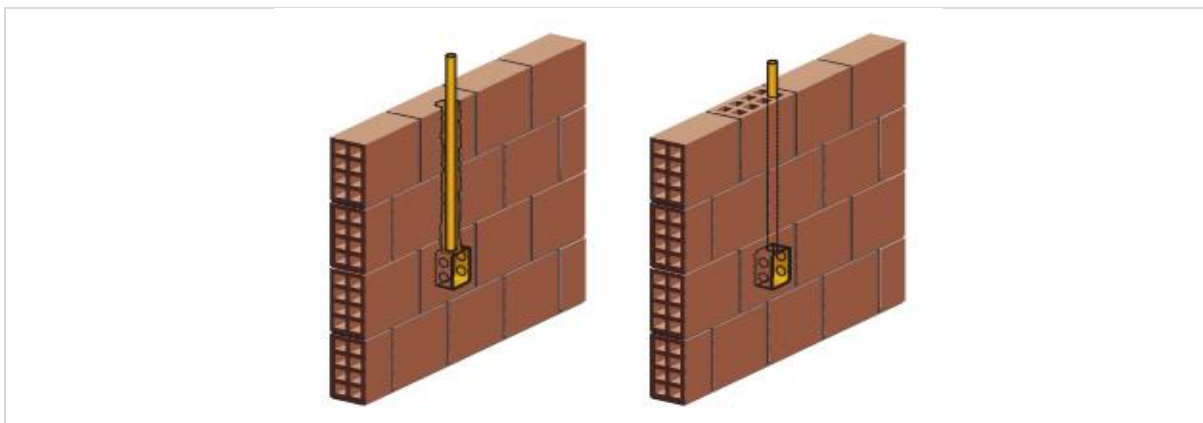


Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado do Código de Práticas n° 01 (2009).

Referente as instalações complementares como hidráulica, elétrica e sanitária, as tubulações são embutidas através de aberturas nos blocos cerâmicos. Devido a isso, essa etapa

necessita anteceder a etapa de revestimento das paredes com argamassa. O Código de Práticas nº 01 (2009), recomendando-se sempre que possível, o caminhamento das tubulações horizontais através das lajes. A Figura 24, representa o esquema de locação de tubos e eletrodutos no interior dos blocos cerâmicos.

Figura 24 - Locação dos eletrodutos no interior dos blocos cerâmicos



Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado do Código de Práticas nº 01 (2009).

Para finalizar a etapa construtiva da parede de alvenaria, é realizado o revestimento com argamassas. Esse revestimento é dividido em três camadas: chapisco, emboço e reboco, conforme descritos no item 2.2.3. A Figura 25, representa uma residência com a etapa de reboco já concluída na parte superior das paredes de vedação.

Figura 25 - Revestimento das paredes de vedação



Fonte: CASA EM CONSTRUÇÃO (2022).

2.3. COMPARATIVO ENTRE STEEL FRAME E ALVENARIA CONVENCIONAL

Petersen (2012), realizou um estudo sobre o comparativo de execução entre o sistema Steel Frame e o sistema convencional em bloco de concreto e blocos cerâmicos. Foram comparadas todas as etapas construtivas, o tempo de obra, planejamento, materiais, reformas e manutenções nas edificações. O Quadro 3, apresenta algumas diferenças entre os dois sistemas construtivos analisados no estudo.

Quadro 3 - Comparativo entre Alvenaria e Steel Frame

Sistema Alvenaria Convencional	Sistema Steel Frame
Fundação: distribuição com cargas pontuais.	Fundação: distribuição de cargas lineares
Utiliza produtos que degradam o meio ambiente: areia, tijolo, brita, etc.	É um sistema ecologicamente correto. O aço é um dos produtos mais reciclados em todo o mundo.
Estrutura em concreto armado. Sua qualidade é determinada por fatores inconstantes como mão-de-obra, temperatura, umidade do ar, matéria prima, etc.	Estrutura em aço galvanizado. Produto com certificação internacional. Obedece aos mais rigorosos conceitos de qualidade.
Colocação de canos e eletrodutos com quebra de paredes, desperdício de materiais e retrabalho.	Colocação de canos e eletrodutos sem desperdício e sem retrabalho.
Canteiro de obra sujo ou com grande dificuldade para manutenção de limpeza.	Canteiro de obra limpo e organizado.
Prazo de execução de obra longo é impreciso.	Prazo de execução até 1/3 menor e com maior precisão.
Grande utilização de água no processo construtivo.	Utilização mínima de água no processo construtivo. O processo é conhecido como “construção a seco”.
Manutenção para reparos de defeitos ocultos (vazamentos, infiltrações, problemas elétricos, entupimentos, etc.) difícil, exigindo quebra de paredes.	Manutenção simples de defeitos ocultos, com a retirada do revestimento interno, localização imediata do problema, conserto, e recolocação do revestimento.
Não é resistente a terremotos e ventos fortes podendo ser usado apenas em áreas isentas destes riscos naturais.	Apresenta elevada resistência contra terremotos e ventos fortes.

Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado de PETERSEN (2012).

2.4. CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES

Quando se pensa no conforto térmico em uma edificação, logo é abordado o fechamento da estrutura. A parte externa das paredes recebe durante todo o dia a incidência dos raios solares e transmite o calor adquirido para o interior do ambiente (PEREIRA et al., 2018).

De acordo com Lamberts et al. (2016), “o comportamento térmico é definido pelas respostas da edificação a ação climática pelo lado externo e de fontes de calor internas devido ao uso”. Segundo Frota e Schiffer (2001), as variáveis climáticas que caracterizam uma região ou um ambiente e que impactam o conforto térmico são a temperatura do ar, também conhecida como Temperatura de Bulbo Seco (TBS), a velocidade do ar, umidade relativa do ar e radiação solar.

O conforto térmico se refere, segundo Lamberts et al. (2016), “ao estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável”. Para Ayoade (1996), “o clima afeta a saúde humana mais do que qualquer outro elemento do meio ambiente, podendo estimular as atividades humanas de forma positiva ou negativa”.

A ASHRAE STANDARD (2010), define o conforto térmico como “that condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment” (aquela condição de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico), entretanto, em relação a condição humana, o conforto está relacionado não só com fatores físicos, mas fisiológicos e psicológicos.

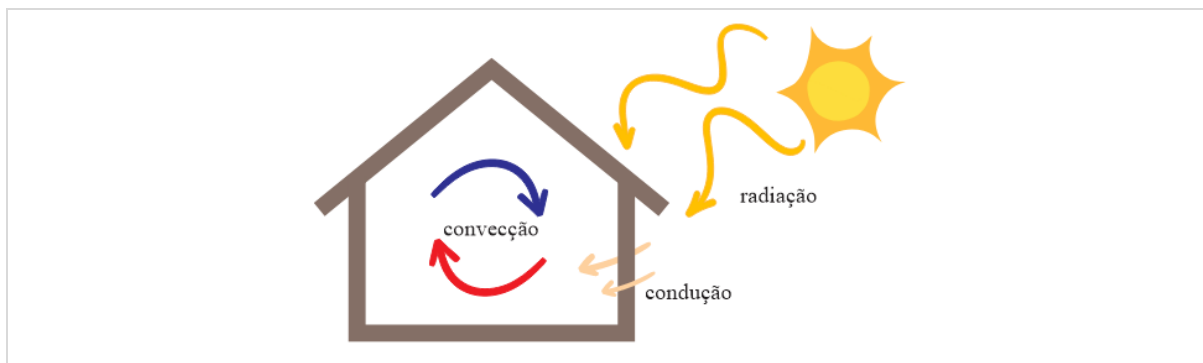
Os fatores físicos estão relacionados com as trocas de calor do corpo humano com o meio ambiente. Os fatores fisiológicos referem-se a alterações no organismo humano, após a exposição por um determinado período de tempo a uma condição térmica específica. Por último, os fatores psicológicos são aqueles que se reagem às diferenças na percepção e na resposta a estímulos sensoriais do corpo (LAMBERTS et al. 2016).

Portanto, o equilíbrio térmico é uma condição necessária, porém não suficiente, para que um indivíduo esteja em conforto térmico devido à variação biológica entre as pessoas. É improvável que todas as pessoas dentro de um determinado ambiente se sintam confortáveis termicamente, deste modo, busca-se sempre criar condições de conforto para um grupo (LAMBERTS et al. 2016).

Para compreender o comportamento térmico em uma edificação, assim como a troca de calor do corpo humano com o ambiente, é necessária uma base conceitual dos fenômenos físicos responsáveis pelas trocas de calor. As trocas de calor que envolvem variações de temperatura são denominadas trocas secas. Os mecanismos de trocas secas são convecção,

radiação e condução (FROTA; SCHIFFER, 2001). A Figura 26, demonstra o funcionamento das trocas térmicas de calor, que na prática podem acontecer simultaneamente.

Figura 26 - Atuação das trocas secas



Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado de FROTA e SCHIFFER (2001).

2.4.1. Radiação

A radiação é uma forma de troca de calor entre dois corpos separados por distância qualquer. Os corpos trocam calor devido a capacidade de emitir e de absorver energia térmica. “Esse mecanismo de troca é consequência da natureza eletromagnética da energia, que, ao ser absorvida, provoca efeitos térmicos, o que permite sua transmissão sem necessidade de meio para propagação, ocorrendo mesmo no vácuo” (FROTA; SCHIFFER, 2001). O fluxo de calor envolvido nesse mecanismo de troca é dado na Equação 1:

$$q_r = h_r(\theta - \theta_r) \quad (1)$$

onde:

q_r - intensidade do fluxo térmico por radiação (W/m^2);

h_r - coeficiente de trocas térmicas por radiação ($\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$);

θ - temperatura da superfície da parede considerada (°C);

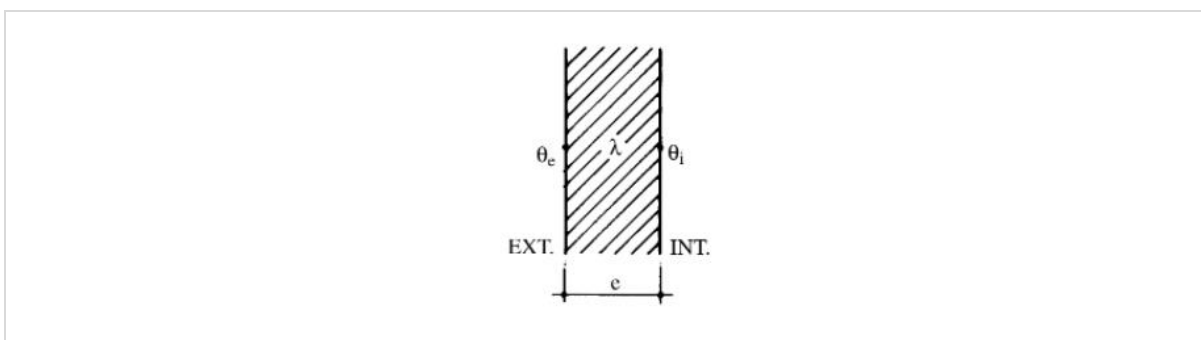
θ_r - temperatura radiante relativa às demais superfícies (°C).

O coeficiente h_r é um parâmetro simplificado, que resume todos os fatores que interferem nas trocas de radiação, sendo definido principalmente pela Emissividade Térmica (ϵ) da superfície, que expressa a capacidade de uma superfície de emitir calor.

2.4.2. Condução

A condução é a troca de calor entre dois corpos, com temperaturas diferentes, que se tocam ou, um mesmo corpo com diferentes temperaturas em suas partes (FROTA; SCHIFFER, 2001). A Figura 27, representa a troca de calor através da condução, onde $\theta_e \neq \theta_i$.

Figura 27 - Trocas de calor por condução



Fonte: FROTA e SCHIFFER (2001).

A intensidade do fluxo térmico envolvido no mecanismo de troca da condução é dada pela Equação 2:

$$q_{cd} = \frac{\lambda}{e} (\theta_e - \theta_i) \quad (2)$$

onde:

λ - coeficiente e condutibilidade térmica do material (W/m °C);

e - espessura da parede (m);

θ_e - temperatura da superfície externa da envolvente (°C);

θ_i - temperatura da superfície interna da envolvente (°C).

Segundo Frota e Schiffer (2001, apud GOMES, 1962), o coeficiente de condutibilidade térmica do material λ é definido como “o fluxo de calor que passa, na unidade de tempo, através da unidade de área de uma parede com espessura unitária e dimensões suficientemente grandes para que fique eliminada a influência de contorno”.

2.4.3. Convecção

Diferente da condução, a convecção é a troca de calor entre dois corpos, sendo um deles sólido e o outro um fluido, líquido ou gás (FROTA; SCHIFFER, 2001). A intensidade do fluxo térmico envolvido no mecanismo de troca por convecção é dada pela Equação 3:

$$q_c = h_c(t - \theta) \quad (3)$$

onde:

q_c - intensidade do fluxo térmico por convecção (W/m^2);

h_c - coeficiente de trocas térmicas por convecção ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$);

t - temperatura do ar ($^\circ C$);

θ - temperatura da superfície do sólido (parede) ($^\circ C$).

Segundo Frota e Schiffer (2001), as trocas de calor realizadas por convecção “são ativadas pela velocidade do ar, quando se trata de superfícies verticais. Nesse caso, mesmo que o movimento do ar advinha de causas naturais, como o vento, o mecanismo de troca entre a superfície e o ar passa a ser considerado convecção forçada”.

2.5. DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES - ABNT NBR 15220:2005

Segundo Freitas e Lorenzo (2016), A ABNT NBR 15220:2005 foi criada devido “a urgência na concepção de uma normatização que pudesse adequar e horizontalizar os índices de desempenho térmico para diferentes tipos de edificações”. Entretanto, em razão da limitação da norma atender somente edificações unifamiliares de interesse social, foi publicada a ABNT NBR 15575:2013 estabelecendo requisitos mínimos de desempenho, vida útil e de garantia para os sistemas que compõem as edificações.

Primeiramente, a ABNT NBR 15220:2005 estabelece o zoneamento climático onde é proposto diretrizes construtivas com foco em atender o conforto térmico, independente das características ambientais. Posteriormente, a elaboração do projeto de uma edificação necessita seguir os requisitos mínimos descritos na ABNT NBR 15575:2013.

Resumindo, em relação a análise do desempenho térmico de uma edificação, a ABNT NBR 15575:2013 estipula os valores mínimos referente a Transmitância Térmica (U) e Capacidade Térmica (C_T) e a ABNT NBR 15220:2005 apresenta a metodologia de cálculo dessas variáveis. A ABNT NBR 15220:2005, está dividida em cinco partes que tratam do desempenho térmico de edificações, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 - Composição da ABNT NBR 15220:2005

1	Definições, símbolos e unidades;
2	Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
3	Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
4	Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
5	Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado da ABNT NBR 15220:2005.

2.6. DESEMPENHO EM EDIFICAÇÕES – ABNT NBR 15575:2013

Visando atender os desempenhos solicitados, é necessário seguir parâmetros que possam nortear os critérios de qualidade. Deste modo, a ABNT NBR 15575:2013 estabelece os requisitos e critérios de desempenho, para edificações de até cinco pavimentos, que se aplicam às edificações habitacionais e sistemas específicos individuais.

Vale ressaltar, em março de 2021 a norma passou por uma emenda com o objetivo de complementar os procedimentos de análises, porém, pelo fato de as edificações objeto de estudo do trabalho serem construídas sob os requisitos da versão publicada em 2013, serão seguidos os procedimentos de análises conforme a publicação do ano de 2013. A norma é estruturada em seis partes, Quadro 5e os requisitos de desempenho térmico são abordados na Parte 4 - Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE) e na Parte 5 - Requisitos para os sistemas de coberturas.

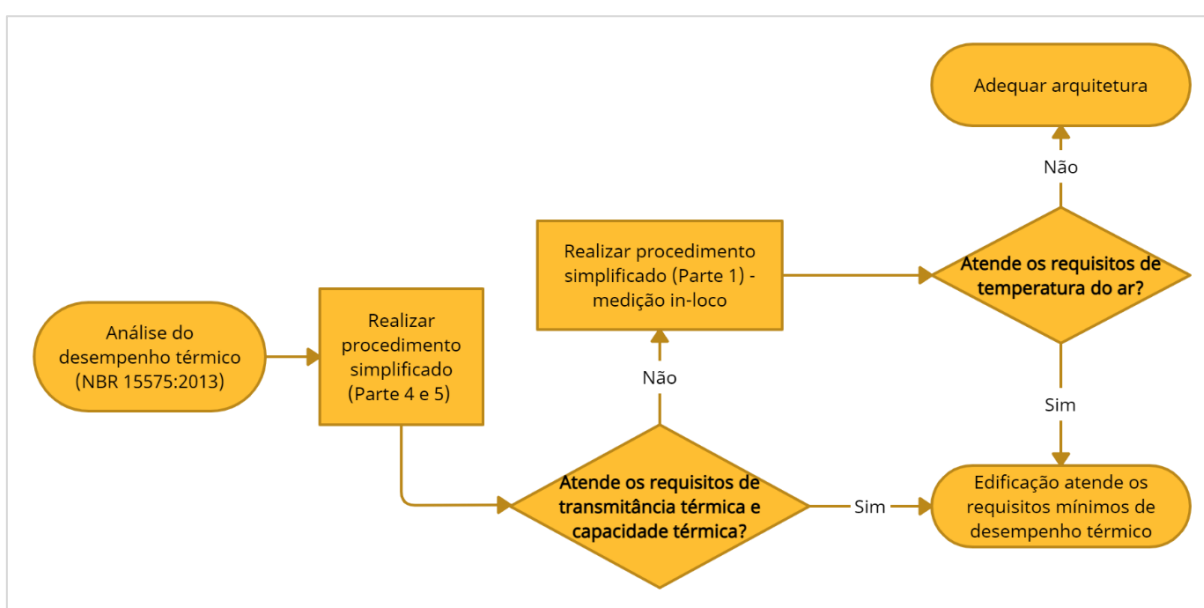
Quadro 5 - Composição da ABNT NBR 15575:2013

1	Requisitos gerais;
2	Requisitos para os sistemas estruturais;
3	Requisitos para os sistemas de pisos;
4	Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE;
5	Requisitos para os sistemas de coberturas;
6	Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado da ABNT NBR 15575:2013.

Primeiramente, a norma estipula o procedimento simplificado de análise, caso o procedimento simplificado não atenda aos critérios estabelecidos, é necessário aplicar o procedimento de análise de acordo com a Parte 1, que baseia em realizar medições *in-loco*. A Figura 28 - Fluxograma dos procedimentos de análise do conforto térmico, apresenta um fluxograma referente aos processos de análises de conforto térmico da edificação, conforme a ABNT NBR 15575:2013.

Figura 28 - Fluxograma dos procedimentos de análise do conforto térmico



Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15575:2013.

2.6.1. Procedimento Simplificado NBR 15575-4:2013 e NBR 15575-5:2013

O procedimento simplificado consiste em verificar o atendimento aos requisitos e critérios de desempenho térmico para fachadas e coberturas. Conforme a Parte 4 da Norma de Desempenho, os sistemas de vedação vertical externos necessitam atender os critérios de Transmitância Térmica (U), Capacidade Térmica (C_T) e abertura mínima de ventilação. Já os sistemas de coberturas, necessitam atender apenas o critério de transmitância térmica. As tabelas a seguir apresentam os valores exigidos pela norma:

Tabela 1 - Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica (U) ($W/m^2 \cdot k$)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 8	
$U \leq 2,50$	$\alpha \leq 0,60$	$\alpha > 0,60$
	$U \leq 3,70$	$U \leq 2,50$

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

Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15575-4:2013.

Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas

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

Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15575-4:2013.

Tabela 3 - Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica

Transmitância Térmica (U) $W/(m^2 \cdot k)$			
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8
$U \leq 2,30$	$\alpha \leq 0,60$	$\alpha > 0,60$	$\alpha \leq 0,40$
	$U \leq 2,30$	$U \leq 1,50$	$U \leq 2,30$ FV
			$U \leq 1,50$ FV

α é absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura.

NOTA – o Fator de Ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2:2005

Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15575-5:2013.

A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam os requisitos de transmitância térmica e capacidade térmica para as paredes de vedação externa, já a Tabela 3, apresenta o requisito de transmitância térmica para as coberturas.

Segundo a ABNT NBR 15575-1:2013, a absorptância à radiação solar (α) da superfície externa de vedação é definida conforme a cor da pintura da fachada da edificação ou do tipo de material usado, no caso das coberturas. Referente as cores, caso a absorptância não seja definida em projeto, adota-se os seguintes valores:

- cor clara: $\alpha = 0,3$;
- cor média: $\alpha = 0,5$;
- cor escura: $\alpha = 0,7$.

Já os procedimentos de cálculos das variáveis U e C_T são definidos pela ABNT NBR 15220-2:2005. Para a obtenção dos valores de transmitância térmica, calcula-se primeiro a Resistência Térmica (R) de cada seção. Denomina-se seção, o conjunto de materiais de uma face a outra do sistema de vedação.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (4)$$

onde:

R - resistência térmica de cada material de uma seção ($m^2.K/W$);

e – espessura da camada do material (m);

λ - coeficiente de condutividade térmica do material (W/m.K).

Referente a resistência térmica de possível câmara de ar, dentre as camadas das seções, os valores são tabelados conforme a ABNT NBR 15220-2:2005:

Tabela 4 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas

Resistência Térmica de Câmara de Ar não Ventiladas ($m^2.K$)/W				
Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura “e” da câmara de ar (cm)	Direção do Fluxo de Calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇔	⇑	⇓
Superfície de alta emissividade $\epsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 \leq e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\epsilon > 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 \leq e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15220-2:2005.

Com os valores da resistência térmica de cada seção calculada, calcula-se a Resistência Térmica Total (R_T) através da Equação (5):

$$R_t = \frac{A_{S1} + A_{S2} + \dots + A_n}{\frac{A_{S1}}{R_{S1}} + \frac{A_{S2}}{R_{S2}} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (5)$$

onde:

R_t - resistência térmica da parede ($m^2.K/W$);

A - áreas de cada seção (m^2);

R - resistência térmica de cada seção ($m^2.K/W$);

e da Equação (6):

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (6)$$

onde:

R_T - resistência térmica total ($m^2.K/W$);

R_{se} - resistência superficial externa ($m^2.K/W$);

R_t - resistência térmica da parede ($m^2.K/W$);

R_{si} - resistência superficial interna ($m^2.K/W$).

Os valores das resistências superficiais internas e externas dependem da direção do fluxo de calor e também são determinados pela ABNT NBR 15220-2:2005, conforme Tabela 5:

Tabela 5 - Resistência térmica superficial interna e externa

Resistência Térmica Superficial ($m^2.K/W$)					
R_{si}			R_{se}		
Direção do Fluxo de Calor			Direção do Fluxo de Calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	⇑	⇓	⇒	⇑	⇓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15220-2:2005.

Com a resistência térmica total calculada, encontra-se a transmitância térmica através da Equação (7):

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (7)$$

onde:

U – transmitância térmica (W/m².K);

R_T - resistência térmica total (m².K/W).

Para a obtenção dos valores de capacidade térmica, também se calcula primeiro a capacidade térmica de cada seção, afim de obter a capacidade térmica total, conforme a Equação (8):

$$C_t = \sum_{i=1}^n e \cdot c \cdot \rho \quad (8)$$

onde:

C_t - capacidade térmica de cada material (kJ/m².K);

e - espessura da camada do material (m);

c - calor específico (kJ/kg.K);

ρ - densidade de massa aparente (kg/m³);

e Equação (9):

$$C_T = \frac{A_{S1} + A_{S2} + \dots + A_n}{\frac{A_{S1}}{C_{tS1}} + \frac{A_{S2}}{C_{tS2}} + \dots + \frac{A_n}{C_{tn}}} \quad (9)$$

onde:

C_T - capacidade térmica total (kJ/m².K);

A - áreas de cada seção (m²);

C_t - capacidade térmica do material (kJ/m².K);

Quanto ao critério de aberturas para ventilação, a ABNT NBR 15575-4:2013 estabelece que os ambientes de permanência prolongada devem ter aberturas para a ventilação com áreas que atendam a legislação específica do município, caso contrário, os valores mínimos devem se enquadrar nos valores descritos na Tabela 6:

Tabela 6 - Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar

Nível de desempenho	Aberturas para Ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7 Aberturas Médias	Zona 8 Aberturas Grandes
M	$A \geq 7\%$ da área de piso	$A \geq 12\%$ da área de piso – região norte do Brasil
		$A \geq 8\%$ da área de piso – região nordeste e sudeste do Brasil

NOTA – Nas zonas de 1 a 6, as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.

Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15575-4:2013.

Referente a legislação específica do município de Palmas-TO, o Código Obras Lei nº 45/90, estabelece abertura mínima de 1/6 (um sexto) da área do piso dos ambientes de permanência prolongada.

Considera-se para cada ambiente de longa permanência a seguinte relação:

$$A = 100 \cdot \frac{A_A}{A_P} (\%) \quad (10)$$

onde:

A_A - área efetiva de abertura de ventilação do ambiente (m²);

A_P - área de piso do ambiente (m²).

Para o levantamento da área efetiva de ventilação, somente são consideradas as aberturas que permitam a livre circulação do ar, devendo ser descontadas as áreas de perfis, vidros e de qualquer outro obstáculo; nesta área não são computadas as áreas de portas internas. No caso de cômodos dotados de portas-balcão ou semelhantes, na fachada da edificação, toda a área aberta resultante do deslocamento da folha móvel da porta é computada (ABNT NBR 15575:2013).

2.6.2. Procedimento de Medição *in-loco* NBR 15575-1:2013

Os procedimentos de medição *in-loco* visam verificar o atendimento dos requisitos e critérios estabelecidos na ABNT NBR 15575-1:2013, por meio da realização de medições em

edificações ou protótipos construídos. A norma orienta que as medições sejam feitas durante três dias consecutivos com as características climáticas semelhantes. Para análise dos dados, considera-se os valores referentes apenas ao terceiro dia de medição.

Para analisar o desempenho térmico em edificações já existentes, a ABNT NBR 15575-1:2013 recomenda realizar as medições conforme as seguintes situações:

- Verão: janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para o norte;
- Inverno: janela do dormitório ou sala de estar voltada para o sul e outra parede exposta voltada para o leste;
- No caso de edifício multipiso, selecionar unidades do último andar;
- Caso as orientações das janelas dos recintos não correspondam exatamente às especificações anteriores, priorizar as unidades que tenham o maior número de paredes expostas e cujas orientações das janelas sejam mais próximas da orientação especificada

Para o verão, a ABNT NBR 15575-1:2013, estipula que o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

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

$T_{i,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em °C.

$T_{e, máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em °C.

NOTA - Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3:2005.

Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15575-1:2013.

Já para o inverno, os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3 °C, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critérios	
	Zonas 1 a 5	Zona 6 a 8
M	$T_{i,mín.} \geq (T_{e, mín.} + 3 \text{ } ^\circ\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado.
I	$T_{i, mín.} \geq (T_{e, mín.} + 5 \text{ } ^\circ\text{C})$	
S	$T_{i, mín.} \geq (T_{e, mín.} + 7 \text{ } ^\circ\text{C})$	

$T_{i,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em $^\circ\text{C}$.

$T_{e,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em $^\circ\text{C}$.

NOTA - Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3:2005.

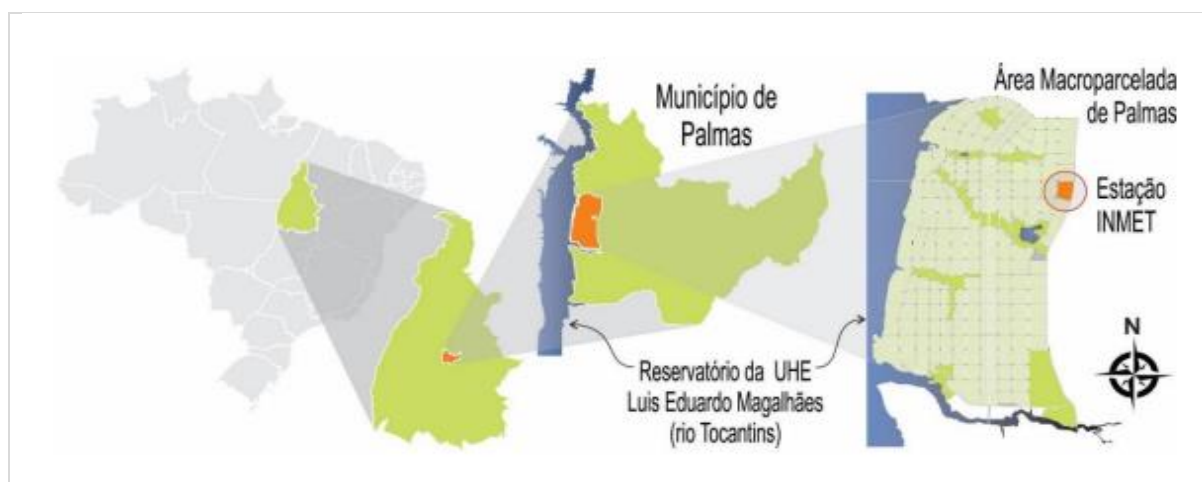
Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15575-1:2013.

2.7. CARACTERIZAÇÃO DE PALMAS-TO

A cidade de Palmas foi planejada para ser a capital do Estado do Tocantins. Foi criada em 20 de maio de 1989, logo após a criação do Estado pela constituição em 1988. Está localizada no centro do Estado às margens do Rio Tocantins, a $10^\circ 10'$ de latitude sul e $48^\circ 20'$ de longitude oeste, elevada a 260 m do nível do mar (SEPLAN, 2015).

Segundo o IBGE (2022), o município possui área de 2.227,329 km^2 e possui uma população estimada de 313.349 pessoas com densidade demográfica de 102,90 hab/ km^2 . A região caracteriza-se pelo bioma do Cerrado de clima úmido, com vegetação em formações savânicas e presença de áreas de formações florestais e de pastagens (SEPLAN, 2015).

Figura 29 - Localização da cidade de Palmas-TO



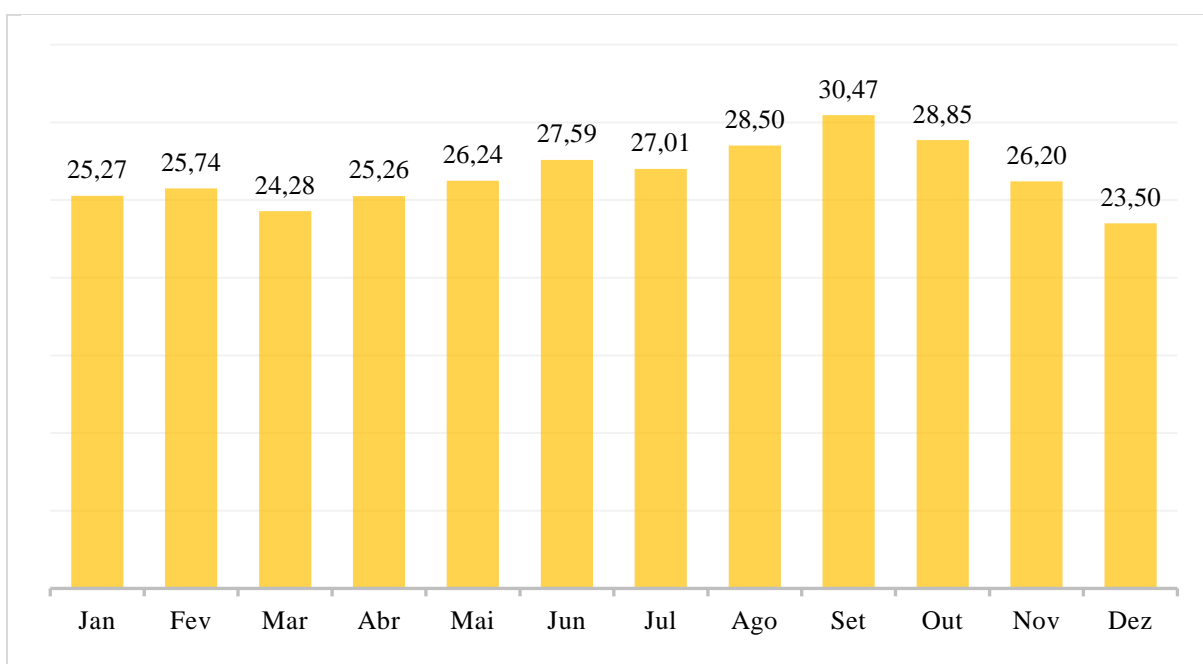
Fonte: SILVA e SOUZA (2018).

2.7.1. Características Climáticas

Palmas é considerada uma das capitais estaduais mais quentes do Brasil na atualidade, segundo a classificação de Köppen-Geiger. O Laboratório de Meteorologia e Climatologia da Universidade Federal do Tocantins (UFT), classifica o clima da cidade como tropical chuvoso. Segundo Silva e Oliveira (2017), Palmas possui uma estação relativamente seca no decorrer do ano, contendo temperaturas médias anuais de 26,9 °C, máxima de 39,6 °C e mínima de 21,4 °C”.

Ferraz e Oliveira (2020), realizou um estudo através das séries históricas de temperaturas médias mensais entre o ano de 2008 e 2017, definindo o Ano Climático de Referência (TRY) como sendo o ano de 2015, conforme a Figura 30.

Figura 30 - Temperatura média mensal para ano climático de referência (°C)

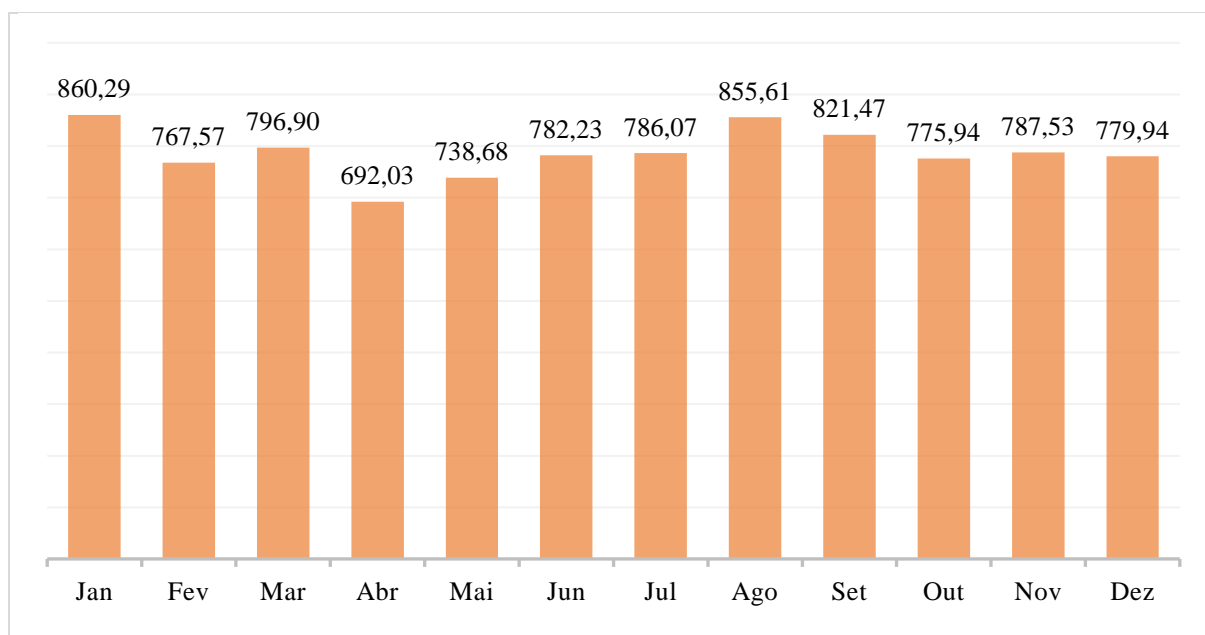


Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado de FERRAZ e OLIVEIRA (2020).

As demais médias mensais como radiação solar, precipitação, umidade relativa e velocidade dos ventos, foram utilizadas do ano de 2016 por serem os dados consistidos mais próximos ao o ano climático de referência. Os dados foram definidos através das séries históricas do INMET (2016), pelo Projeto de Eficiência Energética em Edificações (Projeteee), do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Referente as médias mensais de radiação solar, conforme a Figura 31, o mês de janeiro apresenta a maior média de incidência, sendo 860,29 Wh/m², e o mês de abril apresenta a menor média, sendo 692,03 Wh/m². Entretanto, a variação da média no decorrer do ano não apresenta grandes diferenças.

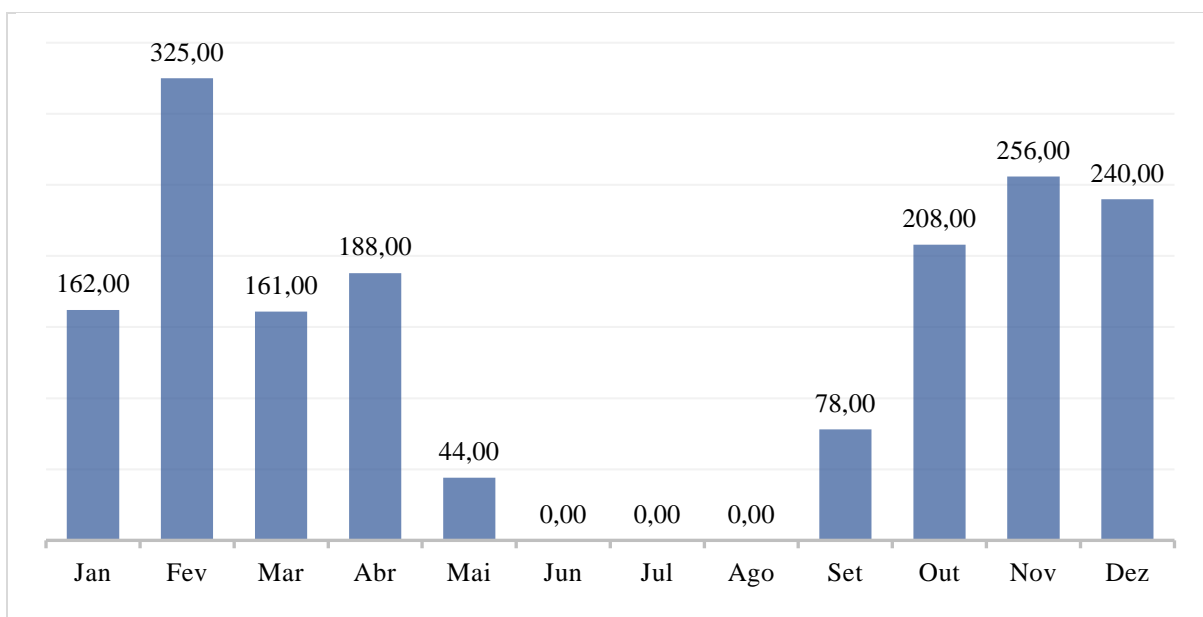
Figura 31 - Radiação média mensal (Wh/m²)



Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado de PROJETEIII (2016).

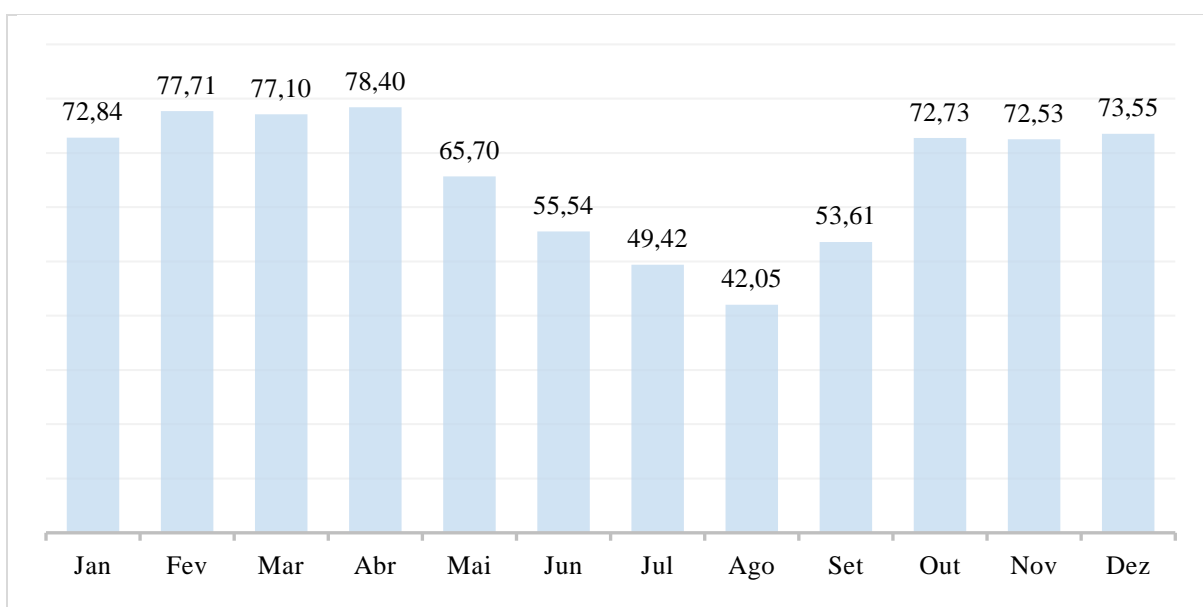
O ano hidrológico na Capital é bem definido, sendo os meses de outubro a abril os mais chuvosos, com média de precipitação acima dos 160 mm. Já os demais meses, apresentam média abaixo dos 80 mm, chegando a estiar nos meses de junho a agosto. Com isso, a umidade relativa do ar mantém a média acima dos 70 % nos meses chuvosos, e nos meses de estiagem, esse valor chega a diminuir quase 30 %. A Figura 32 e Figura 33, apresentam os valores de precipitação e umidade relativa referentes a cada mês do ano.

Figura 32 - Precipitação média mensal (mm)



Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado de PROJETEEE (2016).

Figura 33 - Média mensal da umidade relativa do ar (%)

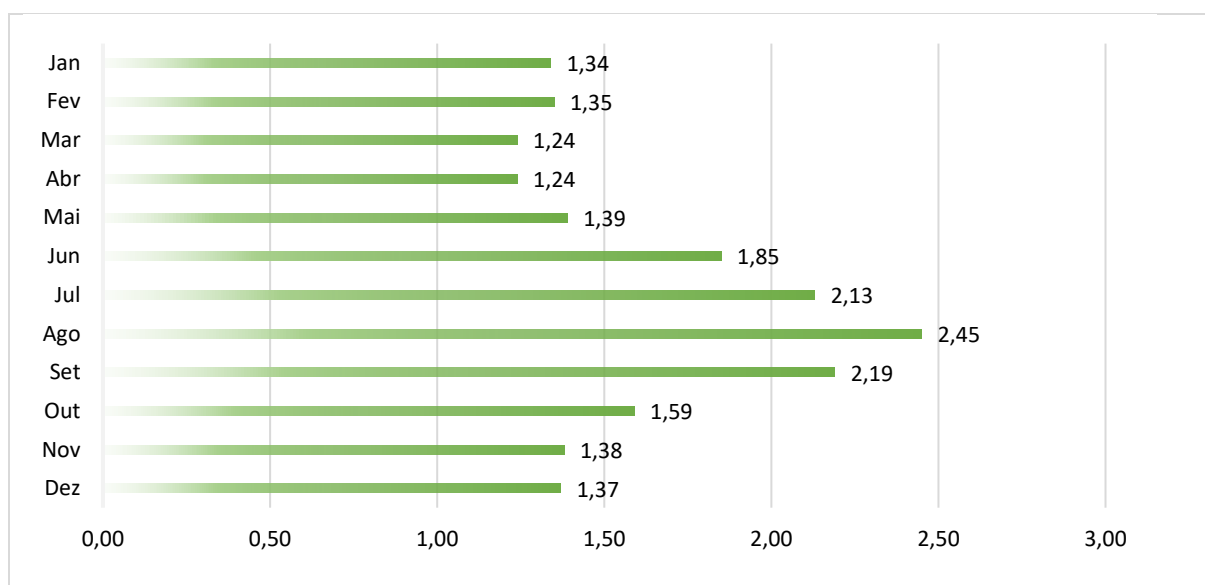


Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado de PROJETEEE (2016).

Silva e Souza (2016), caracterizaram a direção predominante e a velocidade dos ventos na cidade de Palmas-TO, com dados levantados pelo INMET entre os anos de 2005 a 2015. A Figura 34, apresenta a velocidade média mensal dos ventos, sendo que as maiores médias estão entre os meses de maio a novembro, podendo chegar a quase 2,50 m/s. Nos demais meses, mantem-se uma média na faixa de 1,30 m/s, não havendo grandes variações.

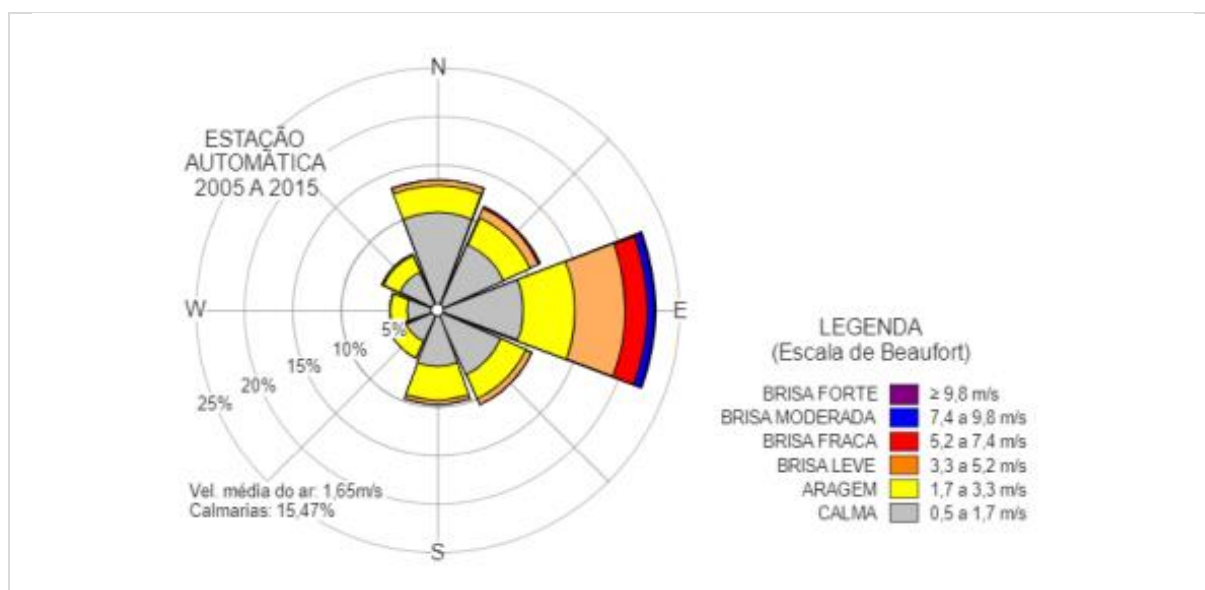
Em relação as direções dos ventos, observa-se na Figura 35, que o vento proveniente do Leste predominou 22,5 % dos dados, seguido da direção Norte com 13,37 %. A direção Nordeste e Sudeste ficara com 11,58 % e 10,75 %, respectivamente.

Figura 34 - Velocidade média mensal dos ventos (m/s)



Fonte: Elaborado pelo Autor - adaptado de SILVA e SOUZA (2016).

Figura 35 - Rosa dos ventos para a cidade de Palmas-TO

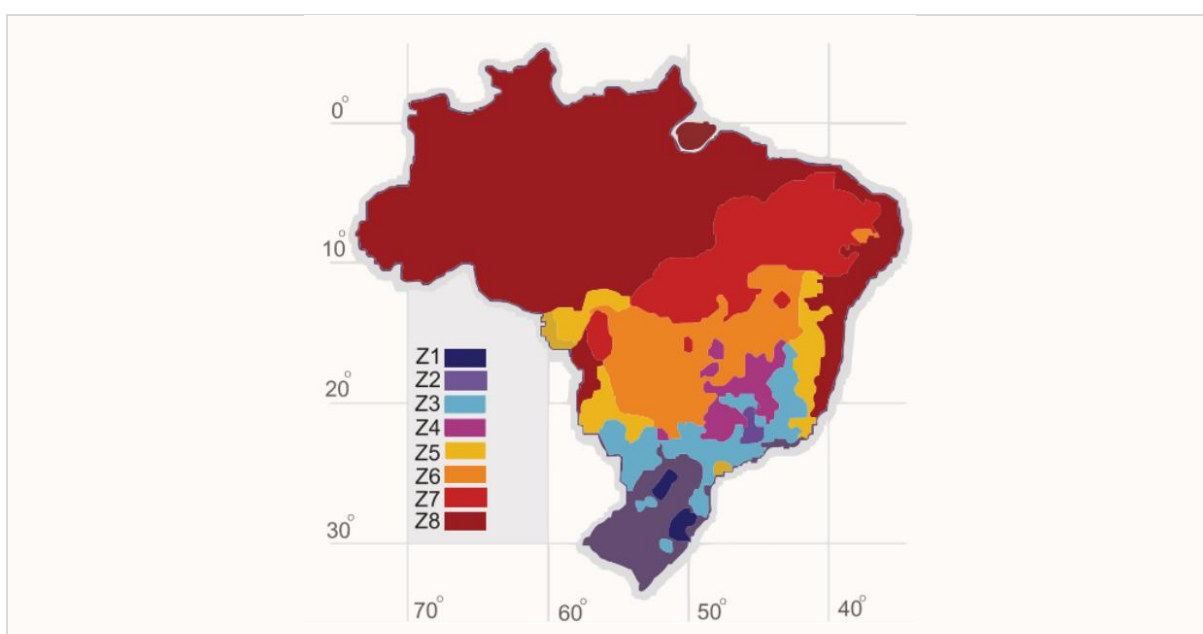


Fonte: SILVA e SOUZA (2016).

2.7.2. Zoneamento Bioclimático da Região

O Brasil é o quinto maior país do mundo em extensão territorial, ocupando uma área de 8.547.403 km² segundo o IBGE (2022). Por ter uma grande extensão territorial, há diferentes tipos de biomas e microclimas. Devido a isso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) dividiu o território brasileiro em oito zonas bioclimáticas, descritas na ABNT NBR 15220:2005, para estipular diretrizes construtivas quanto ao desempenho térmico das edificações. A Figura 36, mostra a divisão do zoneamento no território brasileiro.

Figura 36 - Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: GONÇALVES (2020).

A ABNT NBR 15220-3:2005, define zonas climáticas como “a região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano”. Um estudo elaborado por Ferraz e Oliveira (2020), estabeleceu a zona bioclimática 7, devido a caracterização climática da região. Como diretrizes construtivas, a ABNT NBR 15220-3:2005 recomenda aberturas pequenas para ventilação, e que sejam sombreadas.

3. METODOLOGIA

A fim de analisar o desempenho térmico nas edificações de Steel Frame e Alvenaria Convencional, conforme a Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2013, o presente capítulo apresenta os procedimentos metodológicos realizados na pesquisa. Primeiramente foi delimitado as edificações e suas características, em seguida foi realizado os cálculos do procedimento simplificado de análises e posteriormente, foram feitas as medições *in-loco* nas residências.

3.1. DELIMITAÇÃO DAS RESIDÊNCIAS

3.1.1. Residência de Steel Frame

A edificação de Steel Frame fica localizada no Plano Diretor Sul, na Quadra 507 Sul (Arso 53). No lote há duas residências geminadas que recebem radiação solar direta entre 8 h e 11 h da manhã, os estudos foram feitos na casa 1. Com a fachada para leste, os ambientes que recebem radiação solar são a sala de estar no pavimento térreo e a suíte no pavimento superior, conforme a Figura 37. A edificação utiliza telhas isotérmicas, mais conhecidas como telha sanduíche, por serem de aço e possuir uma camada de isopor, e no fechamento vertical e horizontal, utiliza placas cimentícias, painel OSB, lã de vidro e gesso acartonado.

Figura 37 - a) Lote da residência de Steel Frame e b) Fachada da residência de Steel Frame



Fonte: Autor (2022).

3.1.2. Residência de Alvenaria Convencional

A edificação de Alvenaria Convencional fica localizada no Plano Diretor Sul, na Quadra 110 Sul (Arse 14). No lote há quatro residências que recebem radiação solar direta entre 8 h e 11 h da manhã, os estudos foram feitos na casa 1. Com a fachada para leste, os ambientes que recebem radiação solar são a sala de estar no pavimento térreo e a suíte no pavimento superior, conforme a Figura 38. A edificação utiliza telhas cerâmicas na cobertura, laje treliçada no fechamento horizontal, e no fechamento vertical, as paredes de 13 cm são compostas por tijolos cerâmicos de 8 furos e reboco.

Figura 38 - Fachada da edificação de Alvenaria Convencional



Fonte: Autor (2022).

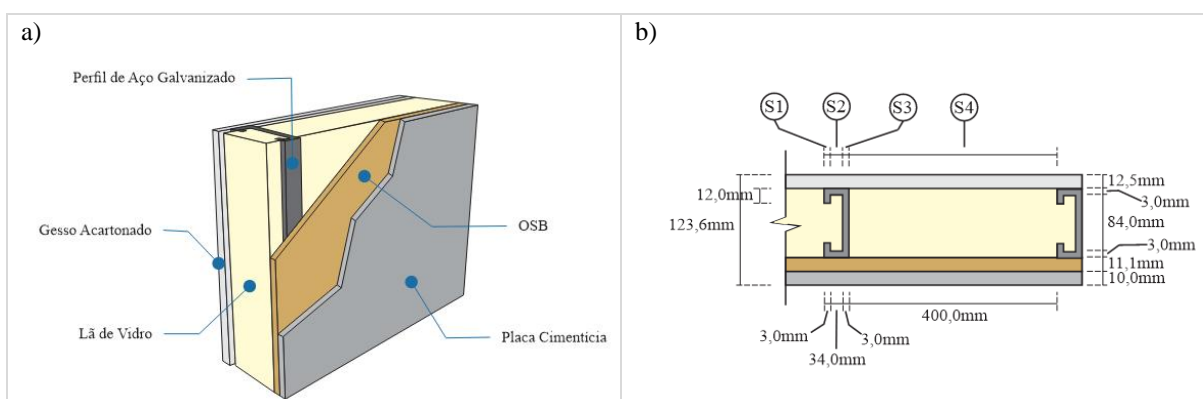
Como na cidade de Palmas-TO as residências de Steel Frame não são tão comuns quanto as de Alvenaria Convencional, as edificações selecionadas para a pesquisa tiveram a fachada virada para o leste, mas com uma das paredes viradas para o norte.

3.2.PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO

A análise do desempenho térmico das edificações de Steel Frame e Alvenaria Convencional pelo método simplificado, seguiu a metodologia de cálculo conforme a ABNT NBR 15220-2:2005.

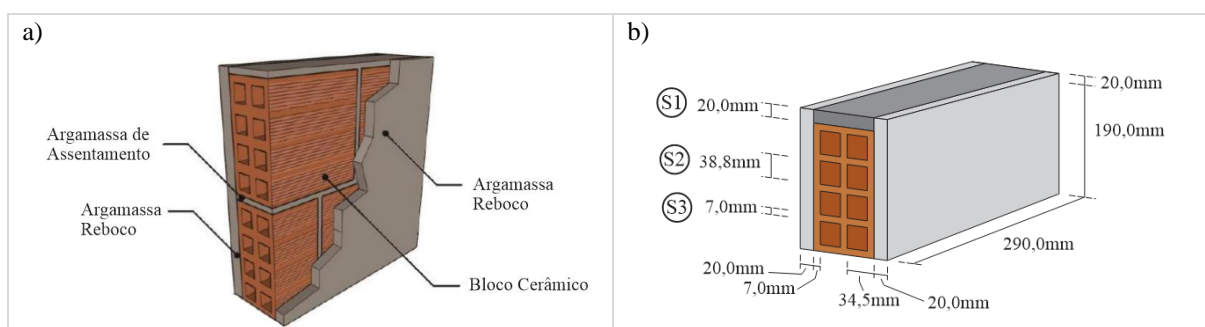
Neste procedimento foram realizados os cálculos da Transmitância Térmica (U) e da Capacidade Térmica (C_T) dos sistemas de vedação vertical das residências, assim como o levantamento das aberturas de ventilação da sala de estar, ambiente que foi realizado o levantamento *in-loco*. O memorial de cálculo detalhado encontra-se no Apêndice A.

Figura 39 - a) Esquema do fechamento vertical da edificação de Steel Frame e b) Espessura dos materiais e seções.



Fonte: Elaborado pelo autor – Adaptado do Anexo da Portaria nº 50 do INMETRO (2013).

Figura 40 - a) Esquema do fechamento vertical da edificação de Alvenaria Convencional e b) Espessura dos materiais e seções.



Fonte: Elaborado pelo autor – Adaptado do Anexo da Portaria nº 50 do INMETRO (2013).

Primeiramente, foi levantado os materiais utilizados nos fechamentos verticais de cada residência e suas respectivas espessuras, conforme a Figura 39 e Figura 40, para definir as seções de cálculos. As seções são partes do fechamento vertical, com camadas de diferentes tipos de materiais, da face interna até a face externa, conforme o Quadro 6.

Quadro 6 - Seções dos sistemas de vedação vertical das residências

Residência	Seção	Camadas
Steel Frame	S1	Placa Cimentícia + OSB + Aço + Lã de Vidro + Aço + Gesso Acartonado
	S2	Placa Cimentícia + OSB + Aço + Lã de Vidro + Aço + Gesso Acartonado
	S3	Placa Cimentícia + OSB + Aço + Gesso Acartonado
	S4	Placa Cimentícia + OSB + Lã de Vidro + Gesso Acartonado
Alvenaria Convencional	S1	Reboco + Argamassa Assentamento + Reboco
	S2	Reboco + Tijolo + Ar + Tijolo + Ar + Tijolo + Reboco
	S3	Reboco + Tijolo + Reboco

Fonte: Autor (2022).

Posteriormente, foram realizados os cálculos da resistência térmica de cada material (Equação 4), da resistência térmica da parede (Equação 5) e da resistência térmica total (Equação 6), a fim de que pudesse calcular a transmitância térmica, conforme a Equação 7:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (4)$$

$$R_t = \frac{A_{S1} + A_{S2} + \dots + A_n}{\frac{A_{S1}}{R_{S1}} + \frac{A_{S2}}{R_{S2}} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (5)$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (6)$$

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (7)$$

Os valores referentes a condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente de cada material, foram utilizados de acordo com a ABNT NBR 15220-2:2005, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 - Condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente

Material	Condutividade Térmica W/(m.k)	Calor Específico kJ/(kg.K)	Densidade de Massa Aparente kg/m ³
	λ	c	ρ
Placa Cimentícia	0,650	0,840	1800
Painel OSB	0,120	2,300	700
Aço Galvanizado	55,000	0,460	7800
Lã de Vidro	0,045	0,700	55
Gesso Acartonado	0,350	0,840	1000
Argamassa Reboco	1,150	1,000	2000
Argamassa Assentamento	1,150	1,000	2000
Bloco Cerâmico	0,900	0,920	1600

Fonte: Elaborado pelo autor – Adaptado da ABNT NBR 15220 (2005).

Referente aos cálculos das resistências das câmaras de ar, os valores utilizados são tabelados conforme a ABNT NBR 15220-2:2005:

Tabela 10 - Resistência térmica de câmara de ar não ventiladas

Resistência Térmica de Câmara de Ar não Ventiladas (m ² .K)/W				
Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura “e” da câmara de ar (cm)	Direção do Fluxo de Calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇔	⇑	⇓
Superfície de alta emissividade $\epsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 \leq e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\epsilon > 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 \leq e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15220-2:2005.

Para calcular a Capacidade Térmica (C_T) do fechamento vertical das edificações, também foi calculado a capacidade térmica de cada material (Equação 8), a fim de obter a capacidade térmica total, conforma a Equação 9:

$$C_t = \sum_{i=1}^n e \cdot c \cdot \rho \quad (8)$$

$$C_T = \frac{A_{S1} + A_{S2} + \dots + A_n}{\frac{A_{S1}}{C_{tS1}} + \frac{A_{S2}}{C_{tS2}} + \dots + \frac{A_n}{C_{tn}}} \quad (9)$$

Após calcular a transmitância térmica e a capacidade térmica das paredes de vedação externa das edificações, os valores foram analisados de acordo com a ABNT NBR 15575-4:2013, conforme a Tabela 1 - Transmitância térmica de paredes externas e a Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas.

Tabela 1 - Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica (U) W/(m ² . k)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 8	
U ≤ 2,50	α ≤ 0,60	α > 0,60
	U ≤ 3,70	U ≤ 2,50

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

Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15575-4:2013.

Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade Térmica (C_T) kJ/(m ² . K)	
Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7	Zona 8
≥ 130	Sem requisito

Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15575-4:2013.

Os valores de absorvância à radiação utilizados a fim de analisar a transmitância térmica, foram adotados conforme o Quadro 7.

Quadro 7 – Valores de absorvância à radiação das edificações

Edificação	Pintura da Superfície		Absorvância à Radiação
Steel Frame	Caramelo	RGB (227, 195, 136)	α = 0,30
Alvenaria	Marrom Médio	RGB (182, 174, 153)	α = 0,50

Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15575-1:2013.

Como foi de interesse neste trabalho apenas a Parte 4 da NBR 15575:2013, pelo fato de as medições *in-loco* terem sido realizadas no pavimento térreo e a troca de calor pela cobertura não influenciar consideravelmente na temperatura do ar na sala de estar, não foi calculado a transmitância térmica do sistema de cobertura.

Para a análise da área mínima de ventilação da sala de estar da residência de Steel Frame e de Alvenaria Convencional, foram levantadas as medidas das portas e janelas, assim como a área do ambiente. O Quadro 8, apresenta a área efetiva de ventilação das salas de estar.

Quadro 8 - Área efetiva de ventilação na sala de estar

Ambiente	L (m)	C (m)	Área (m ²)	Abertura	L (m)	H (m)	Área total (m ²)	Área efetiva (m ²)
Steel Frame (Sala de estar)	3,60	4,20	15,12	Porta	0,90	2,10	1,89	2,89
				Janela	2,00	1,50	3,00	
Alvenaria (Sala de estar)	2,75	5,00	13,75	Porta	0,90	2,10	1,89	3,17
				Janela	1,70	1,50	2,55	

Fonte: Autor (2022).

3.1. PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO *IN-LOCO*

Para as medições de temperatura nas residências de Steel Frame e Alvenaria Convencional, foram utilizados dois Termômetro de Globo Digital com Datalogger da Highmed, modelo HMTGD-1800, que atendem as normativas internacionais de desempenho térmico ISO 7243:2017 e ISO 7726:1998.

Figura 41 - Termômetro de Globo Digital com Datalogger HMTGD-1800



Fonte: HIGHMED (2022).

O Termômetro de Globo com datalogger, conhecido também como medidor de stress, é capaz de registrar o índice de stress térmico (IBUTG) tanto interno quanto externo, temperatura ambiente, temperatura do globo, umidade relativa do ar, ponto de orvalho e índice de bulbo úmido. O aparelho possui certificado de calibragem e apresenta os parâmetros de medição de cada variável, conforme o Quadro 9.

Quadro 9 - Parâmetros de medição do termômetro de globo

Parâmetro de medição	Alcance	Precisão
Índice Interno IBUTG	0 °C a 59 °C	0,1 °C
Índice Externo IBUTG	0 °C a 56 °C	0,1 °C
Escala Temperatura Ambiente	0 °C a 50 °C	0,1 °C
Escala Temperatura Globo	0 °C a 80 °C	0,1 °C
Escala Umidade Relativa do Ar	1 % a 99 %	0,1 % UR
Escala Ponto de Orvalho	35,3 °C a 48,9 °C	0,1 °C
Escala Temperatura Bulbo Úmido	-21,6 °C a 50,0 °C	0,1 °C

Fonte: Elaborado pelo autor – Adaptado de GONÇALVES (2020).

As medições começaram a ser realizadas nas duas últimas semanas do verão, em março de 2022. Entretanto, é uma época bastante chuvosa na cidade de Palmas-TO, não havendo três dias consecutivos com as mesmas características climáticas. Sendo assim, as medições *in-loco* foram realizadas na segunda semana após o verão, onde foi possível obter mais de três dias consecutivos com as mesmas características climáticas, com maior predominância do sol.

Seguindo os requisitos da ABNT NBR 15575-1:2013, foi priorizado a residência e o ambiente com o maior número de paredes expostas e cujas orientações das janelas eram mais próximas da orientação especificada. Seguindo também a ISO 7726:1998 e em relação as características climáticas da cidade de Palmas-TO, o termômetro de globo foi posicionado no centro da sala de estar, no pavimento térreo (recinto que recebe radiação solar direta). O termômetro foi fixado ao tripé e ajustado a 1,10 m de altura do nível do piso.

As medições foram realizadas entre 06 a 08 de abril de 2022, das 6 h da manhã às 22 h da noite, em intervalos de 1 h. Foram feitas medições 3 dias consecutivos com as mesmas características climáticas e foram analisados os dados do terceiro dia.

Figura 42 - a) Instalação do Termômetro na residência de Steel Frame e b) Instalação do Termômetro na residência de Alvenaria Convencional



Fonte: Autor (2022).

Os dados armazenados nos termômetros foram coletados através do software Heat Stress WBGT Meter 1.0.03, fornecido junto com o equipamento. Após a coleta, os valores obtidos nas medições foram organizados no software Excel e gerado gráficos.

Para a análise do desempenho térmico nas edificações, os dados coletados pelos termômetros foram comparados com os valores da temperatura externa horária, levantadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os resultados foram analisados conforme as condições de verão (Tabela 7), estipulada pela ABNT NBR 15575-1:2013, pelo fato da cidade de Palmas-TO estar situada na zona bioclimática 7.

Tabela 7 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

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

$T_{i,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em °C.

$T_{e, máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em °C.

NOTA - Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3:2005.

Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15575-1:2013.

4. RESULTADOS E ANÁLISE

Neste capítulo são verificados e analisados os resultados obtidos por meio dos procedimentos de análise de desempenho térmico, conforme a ABNT NBR 15575:2013, descritos na metodologia. O procedimento simplificado, ABNT NBR 15575-4:2013, verifica o atendimento aos requisitos mínimos de transmitância térmica e capacidade térmica, referente aos sistemas de vedação vertical interno e externo e o procedimento de medição *in-loco*, ABNT NBR 15575-1:2013, verifica o requisito mínimo de temperatura do ar nos interiores das residências.

4.1. RESULTADOS DO PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO

O Quadro 10, apresenta os valores dos cálculos de transmitância térmica e capacidade térmica da residência de Steel Frame e da residência de Alvenaria Convencional, situadas em Palmas-TO, assim como os valores mínimos estipulados pela ABNT NBR 15575-4:2013, conforme a zona bioclimática 7.

Quadro 10 - Resultados da transmitância térmica e capacidade térmica

Residência	Critério Avaliado	Valores		Nível de Desempenho
		Requisito Mínimo	Calculado	
Steel Frame	Transmitância Térmica W/(m ² .k)	$U \leq 3,27$	0,472	Mínimo
	Capacidade Térmica kJ/(m ² .K)	$CT \geq 130,00$	48,726	Não atende
Alvenaria Convencional	Transmitância Térmica W/(m ² .k)	$U \leq 3,27$	2,497	Mínimo
	Capacidade Térmica kJ/(m ² .K)	$CT \geq 130,00$	132,427	Mínimo

Fonte: Autor (2022).

No sistema de vedação vertical em Steel Frame, foi calculado uma transmitância térmica de 0,47 W/(m².k). Considerando que a norma estabelece uma transmitância menor ou igual a 3,27 W/(m².k), o valor calculado atende o requisito mínimo. Já a capacidade térmica, a norma estabelece que o valor seja maior ou igual a 130,00 kJ/(m².K), porém a edificação apresentou somente 48,73 kJ/(m².K).

Já o sistema de vedação vertical em Alvenaria convencional, foi calculado uma transmitância térmica de 2,49 W/(m².k). Considerando que a norma estabelece uma

transmitância menor ou igual a 3,27 W/(m².k), o valor calculado atende o requisito mínimo. Referente a capacidade térmica, a edificação apresentou 132,43 kJ/(m².K), valor superior ao mínimo exigido de 130,00 kJ/(m².K).

O Quadro 11, apresenta os valores dos cálculos da abertura mínima de ventilação do ambiente onde foi executado a medição *in-loco*, assim como os valores mínimos estipulados pela ABNT NBR 15575-4:2013 e o Código de Obras do Município de Palmas-TO.

Quadro 11 - Resultados das aberturas mínimas

Residência	Área do piso do ambiente	Requisitos Mínimos		Aberturas existentes	Nível de Desempenho
		Lei Municipal nº45/90	NBR 15575-4:2013		
		1/6 da área de piso	7 % da área de piso		
Steel Frame (Sala de estar)	15,12 m ²	2,52 m ²	1,06 m ²	2,89 m ²	Mínimo
Alvenaria Convencional (Sala de estar)	13,75 m ²	2,29 m ²	0,96 m ²	3,16 m ²	Mínimo

Fonte: Autor (2022).

A sala de estar na residência de Steel Frame possui uma área de piso de 15,12 m². Referente a essa área, o Código de Obras do município (Lei Municipal nº 45/90), estabelece 2,52 m² de aberturas para ventilação e a ABNT NBR 15575-4:2013 estabelece 1,06 m². A edificação possui 2,89 m² de aberturas, valor acima do mínimo.

Já a sala de estar na residência de Alvenaria Convencional, possui uma área de piso de 13,75 m². Referente a essa área, o Código de Obras do município estabelece 2,29 m² de aberturas para ventilação e a ABNT NBR 15575-4:2013 estabelece 0,96 m². A edificação possui 3,16 m² de aberturas, valor acima do mínimo.

4.2. RESULTADOS DO PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO *IN-LOCO*

O procedimento de medição *in-loco*, visa analisar a temperatura máxima horária do ar, de um determinado ambiente interno, verificando se o valor medido é menor ou maior do que a temperatura máxima horária do ar externo. O Quadro 12, apresenta os resultados da medição *in-loco* dos três dias consecutivos, na residência de Steel Frame e na residência de Alvenaria Convencional, situadas em Palmas-TO, conforme estipulado na ABNT NBR 15575-1:2013.

Todas as demais temperaturas medidas *in-loco* estão disponíveis no Apêndice B e C e os gráficos nos Apêndices D e E.

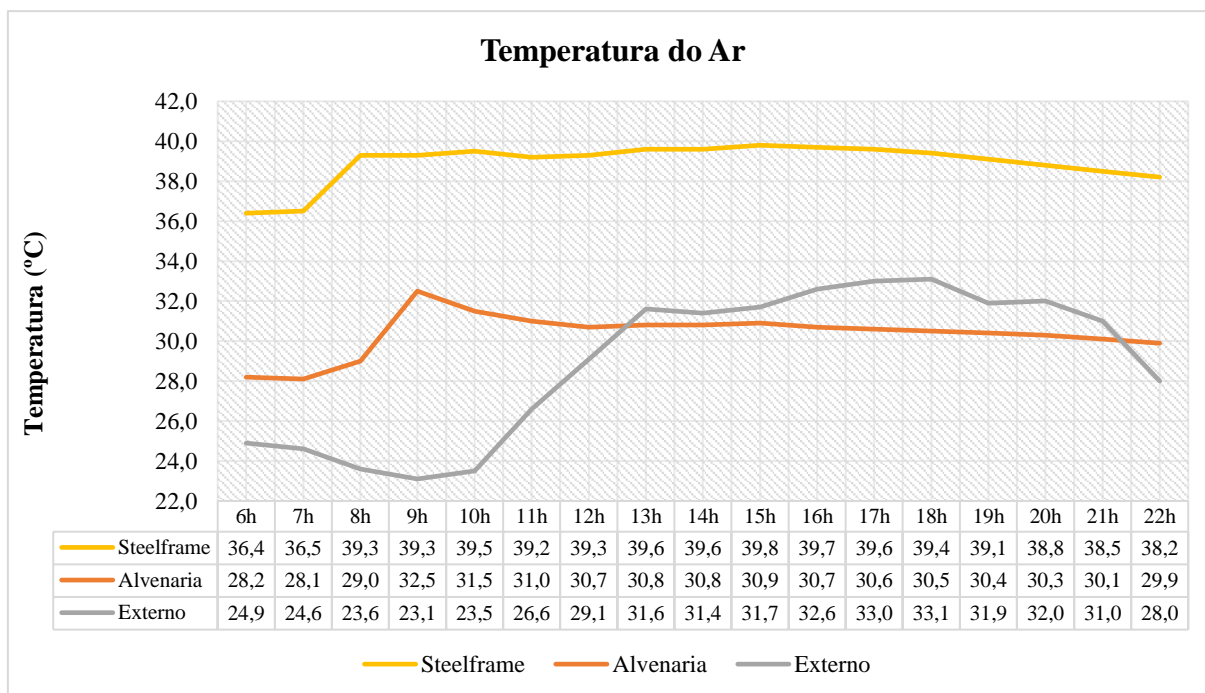
Quadro 12 - Resultados da medição *in-loco* dos três dias consecutivos

Ambiente	06/04/2022		07/04/2022		08/04/2022	
	Horário	Temp.	Horário	Temp.	Horário	Temp.
Steel Frame	15 h	38,7 °C	17 h	39,1 °C	15 h	39,8 °C
Alvenaria Convencional	9 h	30,8 °C	9 h	31,4 °C	9 h	32,5 °C
Externo	17 h	31,4 °C	18 h	33,1 °C	18 h	33,1 °C

Fonte: Autor (2022).

Conforme o Quadro 12, a temperatura máxima do ar externo ocorreu no final do dia, entre as 17 h e 18 h. A temperatura do ar na edificação de Steel Frame, também teve sua máxima na parte da tarde, entre as 15 h e 17 h. Já a temperatura máxima do ar na edificação de Alvenaria Convencional, diferentemente das outras temperaturas, ocorreu pela parte da manhã as 9h.

Figura 43 - Resultados das temperaturas do ar no terceiro dia



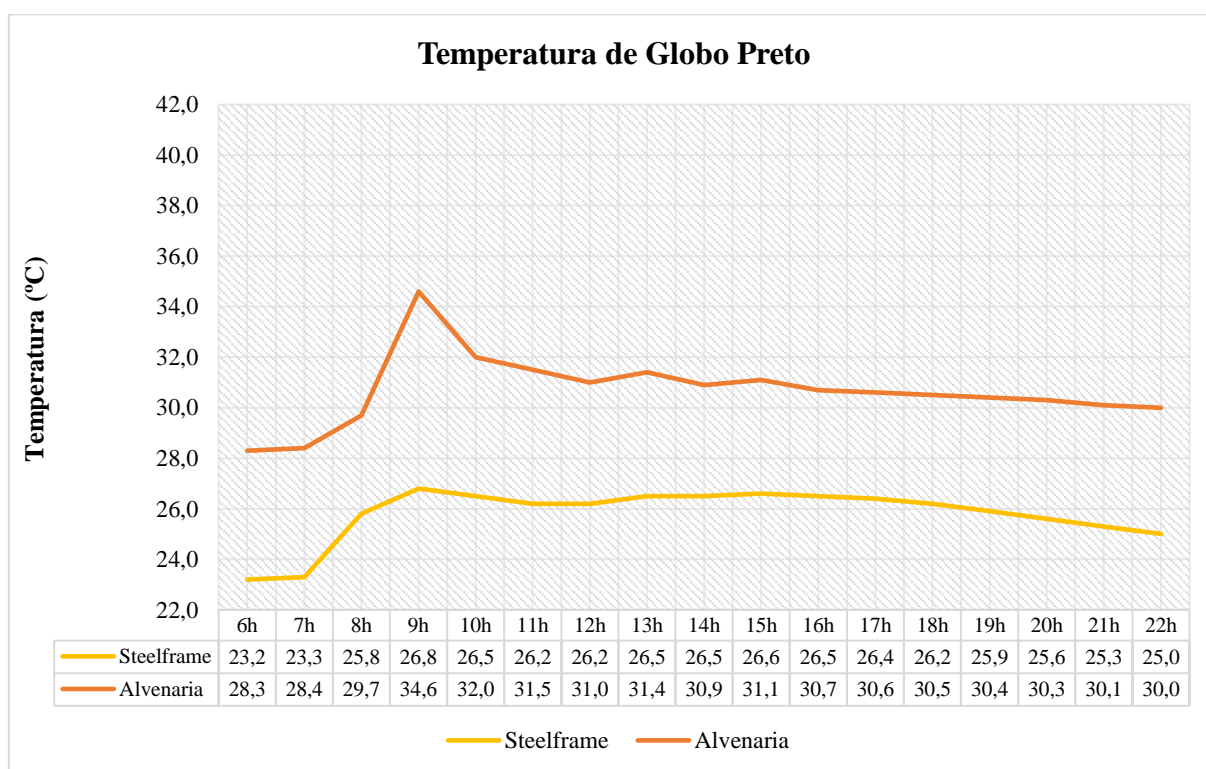
Fonte: Autor (2022).

A Figura 43, apresenta um gráfico com a comparação das temperaturas do ar, medidas em intervalos de uma hora, no terceiro dia. Nota-se que as temperaturas medidas nas edificações possuem a mesma tendência, entretanto as temperaturas na edificação de Steel Frame são superiores às temperaturas da edificação de Alvenaria Convencional, ao longo do dia. Referente a temperatura do ar externo, percebe-se que durante o dia ela aumenta gradativamente devido ao movimento do sol, mas ao sol se pôr, ela também diminui gradativamente.

Na Figura 43, também é possível observar que as temperaturas do ar nas edificações possuem um aumento significativo a partir das 7h da manhã, acompanhando o intervalo de tempo em que o sol incide diretamente nas fachadas. Como as fachadas das residências analisadas em Palmas-TO são orientadas para o leste, a incidência solar direta ocorre de 8h as 11h da manhã.

Neste intervalo de tempo, também é possível analisar a temperatura de globo preto. Essa temperatura é referente a radiação solar que é emitida diretamente no ambiente através das aberturas de ventilação, e no caso das residências analisadas, também pelos vidros. A Figura 44, apresenta as medições das temperaturas de globo preto nas edificações analisadas.

Figura 44 - Resultados das temperaturas de globo preto no terceiro dia



Fonte: Autor (2022).

Apenas neste caso, no intervalo de incidência solar direta, nota-se que a temperatura de globo preto na edificação de Steel Frame foi menor que a temperatura na edificação de Alvenaria Convencional. Isso ocorreu devido a área de abertura na edificação de Alvenaria ser maior que a área de abertura na edificação de Steel Frame, conforme os resultados apresentados no Quadro 8, no item anterior.

Como o procedimento de medição *in-loco* visa analisar as temperaturas máxima do ar medidas no terceiro dia, o Quadro 13 apresenta separadamente as máximas temperaturas a fim de analisar os valores com os requisitados pela norma.

Quadro 13 - Resultado da medição *in-loco* do terceiro dia

Ambiente	Temp. Medida	Temp. Externa	Nível de Desempenho
Steel Frame	39,8 °C	33,1 °C	Não atende
Alvenaria Convencional	32,5 °C		Mínimo

Fonte: Autor (2022).

A ABNT NBR 15575-1:2013, determina como requisito mínimo, que a temperatura máxima do ar do interior das edificações seja menor ou igual a temperatura máxima do ar externo. De acordo com Quadro 13, a edificação de Alvenaria Convencional analisada em Palmas-TO, possui o nível de desempenho térmico mínimo. Entretanto, a temperatura máxima do ar medida na edificação de Steel Frame foi bastante superior a temperatura do ar externo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como objetivo principal analisar o desempenho térmico em edificações de Steel Frame e edificações de Alvenaria Convencional em Palmas-TO, verificando qual sistema construtivo proporciona melhor desempenho, conforme os requisitos mínimos estabelecidos na ABNT NBR 15575:2013.

Ao analisar a transmitância térmica e a capacidade térmica dos sistemas de vedação vertical em Steel Frame e Alvenaria Convencional, verificou-se que a edificação de Alvenaria analisada atendeu os requisitos mínimos estipulados na ABNT NBR 15575:2013, porém o sistema construtivo Steel Frame em Palmas-TO, não atendeu os requisitos conforme a norma.

Na análise do desempenho segundo o procedimento simplificado, verifica-se a transmitância térmica, a capacidade térmica e as aberturas de ventilação. Nota-se que a edificação em Steel Frame analisada atende a área mínima de aberturas para ventilação, mas o sistema de vedação vertical atende apenas a transmitância térmica. Como a capacidade térmica não atendeu o valor mínimo, a edificação em Steel Frame em Palmas-TO, não atende o requisito de desempenho térmico segundo o procedimento simplificado.

Já a edificação em Alvenaria Convencional, atende a área mínima de aberturas para ventilação, como também o sistema de vedação vertical atende os valores de transmitância térmica e capacidade térmica. Sendo assim, a edificação em Alvenaria Convencional analisada em Palmas-TO, atende os critérios de desempenho térmico estabelecidos na norma, através do procedimento simplificado.

Referente a análise do desempenho segundo o procedimento de medição *in-loco*, verificou-se que a edificação de Alvenaria analisada também atendeu os requisitos mínimos estipulados na ABNT NBR 15575:2013, porém a temperatura do ar na edificação de Steel Frame foi muito superior a temperatura do ar externo, fazendo com que o sistema de vedação não atendesse os requisitos mínimos conforme a norma.

Não é objetivo do estudo identificar as causas que impediram o sistema de vedação vertical em Steel Frame não atender os requisitos da norma de desempenho, entretanto como a hipótese inicial era de que a residência em Steel Frame proporcionaria melhor desempenho térmico, acredita-se que os materiais utilizados na vedação vertical podem ser a causa.

A transmitância térmica está relacionada com a condução térmica, que basicamente é a quantidade de calor que passa da face quente para a face fria. Sendo assim, se um sistema de vedação vertical possui uma baixa transmitância térmica, significa que passa pouca quantidade

de calor de uma face para a outra. Logo, sistemas que possuem baixa transmitância, possuem um alto isolamento térmico.

Porém, como a cidade de Palmas-TO tem uma amplitude de temperatura muito alta entre o dia e a noite, sendo a noite mais fria, materiais com um alto isolamento térmico pode reter o calor ganhado durante o dia no interior da edificação, não o liberando no decorrer na noite.

A capacidade térmica também está relacionada ao ganho de calor do material. A diferença é que um material ganha muito calor tendo uma capacidade térmica baixa. Por tanto, o fato de o Steel Frame possuir uma baixa transmitância térmica e uma baixa capacidade térmica, pode fazer com que ele não libere o calor interno para o externo no decorrer da noite, fazendo com que a temperatura do ar durante o dia seja muito maior que a temperatura do ar externo.

Dessa forma, embasado nos resultados obtidos através das análises feitas conforme a ABNT NBR 15575:2013, é possível afirmar que o sistema de vedação vertical em Steel Frame com as mesmas configurações descritas no Capítulo 3, atende a todos os requisitos mínimos estipulados pela norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013, ficando em débito o parâmetro de capacidade térmica.

Sendo assim, concluiu-se que referente aos sistemas construtivos analisados, a edificação de Alvenaria Convencional proporcionou um melhor desempenho térmico quando comparado a edificação de Steel Frame. O sistema construtivo Steel Frame não é termicamente viável para o município de Palmas-TO ou demais cidades inseridas na zona bioclimática 7, entretanto também não é contraindicado.

Ressalta-se que o município Palmas-TO possui uma grande amplitude térmica entre o dia e a noite, portanto, solucionar os problemas relacionados ao conforto térmico somente através dos materiais utilizados nos sistemas de vedação pode não ser o suficiente, fazendo necessário a combinação de diferentes medidas construtivas e a utilização da carta solar.

Espera-se que os resultados analisados nesta pesquisa sirvam de auxílio para futuros trabalhos, pois este estudo também teve a finalidade de aprofundar e aumentar o acervo científico sobre o conforto térmico na região de Palmas-TO, buscando diminuir a escassez de estudos relacionados ao desempenho térmico no município. Como o Steel Frame ainda é um sistema construtivo que está ganhando mercado, analisar seu desempenho térmico em uma cidade pertencente a zona bioclimática 7, também contribuirá cientificamente.

5.1 LIMITAÇÕES DESTA PESQUISA

Como a cidade de Palmas-TO possui altas temperaturas no decorrer do ano, seria pertinente ao estudo realizar as medições em residências que possuíssem fachadas orientadas para o oeste. Porém, não foi encontrada uma edificação de Steel Frame na cidade, em que a fachada fosse orientada a oeste e que pudesse realizar as medições.

Também referente ao Steel Frame, não foram encontrados estudos pertinentes ao desenvolvimento do sistema construtivos no município ou no estado do Tocantins.

Por fim, não foram realizadas as análises do desempenho térmico através do procedimento de medição *in-loco* no período do inverno, devido ao fato da norma exigir avaliação apenas para o período de verão, conforme a zona bioclimática em que a cidade de Palmas-TO está inserida.

5.2 SUGESTÕES DE PESQUISA

Em virtude da importância do conforto térmico para o ser humano e das características climáticas da cidade de Palmas-TO, é relevante que se desenvolvam novos estudos com a finalidade de aprofundar e aumentar o acervo científico sobre o conforto térmico para a região.

Como o objetivo do estudo foi analisar o desempenho térmico nas edificações de Steel Frame e Alvenaria Convencional em Palmas-TO, mas não identificar quais os motivos do não atendimento aos requisitos mínimos descritos na ABNT NBR 15575:2013, são sugestões para futuras pesquisas:

- Avaliar o desempenho térmico em edificações de Steel Frame e Alvenaria Convencional conforme a ABNT NBR 15575:2021, em residências que possuem fachadas orientadas para o oeste;
- Analisar o atraso térmico e a inércia térmica em sistemas de vedação vertical com materiais de alto isolamento térmico como o Steel Frame;
- Especificar materiais construtivos que promovem um bom conforto térmico adequado a amplitude térmica da região;
- Analisar a eficiência energética referente a climatização de ambientes em edificações de Steel Frame e Alvenaria Convencional.

REFERÊNCIAS

ABCEM, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. **Cenários dos fabricantes**. Disponível em: <<https://www.abcem.org.br/site/estatisticas-cenarios-dos-fabricantes>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 6355**: Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 7211 Errata 1:2019**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 8545**: Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos - Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 14810-2**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15253**: Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações - Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria: Métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 15498:** Chapas cimentícias reforçadas com fios, fibras, filamentos ou telas - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais - Desempenho: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575-4:** Edificações habitacionais - Desempenho: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575-5:** Edificações habitacionais - Desempenho: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **ISO 7243:** Ergonomie des environnements thermiques — Estimation de la contrainte thermique basée sur l'indice WBGT (temperature humide et de globe noir). Rio de Janeiro, 2017.

_____. **ISO 7726:** Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **ISO 8336:** Fibre-cement flat sheets - Product specification and test methods. Rio de Janeiro, 2017.

AECWEB. **Radier de concreto é solução de fundação rasa para vários tipos de solo.** Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/radier-de-concreto-e-solucao-de-fundacao-rasa-para-varios-tipos-de-solo/17269>>. Acesso em: 21 mai. 2022.

ANCORA. **Portifólio PBA.** Disponível em: <<https://ancora.com.br/site/portfolios/pba/>>. Acesso em: 21 mai. 2022.

ANICER, ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. **Blocos.** Disponível em: <<https://www.anicer.com.br/produtos/blocos/>>. Acesso em: 24 mai. 2022.

ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 55:** Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2010.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos.** 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

AZEVEDO, H. A. **O edifício e seu acabamento.** 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1987.

BARBOSA, D. C.; LIMA, M. B. **Arquitetura bioclimática: Recomendações apropriadas para Palmas-TO.** Palmas, TO: IFTO, 2010.

BARROS, M. M. S. B.; MELHADO, S. B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios.** São Paulo: EPUSP/SENAI, 1998. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00004.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2022.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado.** Bauru: UNESP, 2006. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2022.

BATISTA, A. C. **Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para construção de habitações de interesse social no município de Palmas/TO: Light Steel Framing x Alvenaria estrutural**. Palmas, TO: UFT, 2020.

BLIND, A. H. **Avaliação da situação da alvenaria estrutural no Brasil**. Curitiba: UTFPR, 2018.

BLOCOS ORIENTE. **Principais diferenças entre construir com bloco de concreto ou tijolo**. Disponível em: <<https://www.blocosorient.com.br/blog/artigo/55/principais-diferencas-entre-construir-com-bloco-de-concreto-ou-tijolo>>. Acesso em: 22 mai. 2022.

CASA EM CONSTRUÇÃO. **O avanço do reboco**. Disponível em: <<http://casaemconstruo.blogspot.com/2010/05/o-avanco-do-reboco.html>>. Acesso em: 26 mai. 2022.

CASSAR, B. C. **Análise comparativa de sistemas construtivos para empreendimentos habitacionais: Alvenaria convencional x Light Steel Frame**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2018.

CRASTO, R. C. M. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Frame**. Ouro Preto, MG: UFOP, 2005.

CBCA, CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Cenário dos fabricantes de perfis galvanizados para light Steel Frame e Drywall 2021**. Disponível em: <<https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/biblioteca/?&bsc=ativar&bscPgn=1&bscQtdReg=10&txtBscKeyword=steel+frame&chkCat%5B%5D=21>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

CBCA, CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Steel Frame: Arquitetura**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2016.

CÓDIGO DE PRÁTICAS Nº 01. **Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2009.

CONSTRUTORA ANGULLAR. **Steel Frame**. Disponível em: <<https://www.angullar.com.br/steel>>. Acesso em: 5 jan. 2022.

CONSTRUTORA FASTCON. **O que é Steel Frame**. Disponível em: <<http://fastcon.com.br/o-que-e-steel-frame/>>. Acesso em: 5 jan. 2022.

CONSUL STEEL. **Manual de procedimento: construcción con Steel Frame**. Consul Steel, 2002. Disponível em: <<http://consulsteel.com/wp-content/uploads/Manual-de-Procedimiento-Consul-Steel.pdf>>. Acesso em: 21 mai. 2022.

DNER, DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Edificações - Revestimento de paredes**. Rio de Janeiro: DNER, 1997. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dner_es_351_97.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2022.

ENOVA PROJETOS. **Construção Steel Frame**. Disponível em: <<https://enovaprojetos.com.br/construcao-steel-frame/>>. Acesso em: 24 mai. 2022.

FERRAZ, A. M. M.; OLIVEIRA, M. C. A. Definição do ano climático de referência (TRY) para a cidade de Palmas-TO. **Revista Desafios**. Palmas, v. 7, n. 2, nov. 2020.

FREITAS, Y.; LORENZO, R. Análise de desempenho térmico de edificações: Um estudo de caso na cidade de Palmas-TO. **Revista Desafios**. Palmas, v. 3, n. 2, nov. 2016.

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

GDSUL. **O que é Steel Frame**. Disponível em: <<https://gdsul.com/o-que-e-steel-frame/>>. Acesso em: 21 mai. 2022.

GONÇALVES, T. B. **Análise de desempenho térmico segundo a NBR 15.575/2013 em protótipos em Palmas-TO: Comparação entre a telha cerâmica e a telha de concreto**. Palmas, TO: UFT, 2020.

GONTIJO, T. M.; LIMA, M. B. Estudo de conforto térmico: do levantamento à seleção das estratégias construtivas relacionadas ao clima de Palmas - TO. **Revista Sítio Novo**. Palmas, v. 1, out. 2017.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama de Palmas**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/palmas/panorama>>. Acesso em: 5 jan. 2022.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amstras de Domicílio (PNAD)**. IBGE/PNAD, 2019. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/wp-content/uploads/2019/08/PNAD.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2022.

INMET, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)**. INMET, 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

INMET, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Monitoramento: Gráficos Horários de Estações Automáticas**. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/CondicoesRegistradas>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

KATO, R. B. **Comparação entre o sistema construtivo convencional e o sistema construtivo em alvenaria estrutural segundo a teoria da construção enxuta**. Florianópolis: UFSC, 2002.

LAI, L. **Verificação do custo-benefício do sistema Drywall segundo a ABNT NBR 15575:2013**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2016.

LAMBERTS, R et al. **LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações: desempenho térmico de edificações**. PROJETEIII/MMA, 2016. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2022.

LEROY MERLIN. **Construção em Steel Frame**. Disponível em: <<https://www.leroymerlin.com.br/dicas/construcao-em-steel-frame>>. Acesso em: 22 mai. 2022.

NASCIMENTO, A. M. **A segurança do trabalho nas edificações em alvenaria estrutural: Um estudo comparativo**. Santa Maria: UFSM-RS, 2007.

NOGUEIRA, L. M. **Análise de viabilidade econômica para vedações internas: Comparativo entre Drywall e alvenaria de blocos cerâmicos estudo de caso “Residencial Classic”**. Palmas, TO: UFT, 2020.

PARSEKIAN, G. A. **Alvenaria Estrutural**. São Carlos: UFSCar, 2017. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/386549793/Parsekian-121088-Alvenaria-Estrutural-2017>>. Acesso em: 25 mai. 2022.

PEDROSO, P. S et al. Steel Frame na construção civil. In: ENCONTRO CIENTÍFICO-CULTURAL INTERINSTITUCIONAL, 12. ed. 2014, Cascavel. **Anais do 12º Encontro Científico Cultural Interinstitucional**. Cascavel, PR: FAG, 2014.

PEREIRA, A. C et al. Light Steel Framing: Desempenho Térmico. **RECIEC - Revista Científica de Engenharia Civil**. Anápolis, v. 1, n. 1, jul. 2018.

PETERSEN, L. R. **Sistema Light Steel Framing”: Comparativo de execução e custos com os sistemas convencionais em blocos de concreto, tijolos seis furos e tijolos maciços**. Ijuí, RS: UNIJUÍ, 2012.

PIECO-SUS 3D. **Concretando a viga baldrame - Sobrado**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=O3P5dQMAMkQ&ab_channel=PiEco-Sus3D>. Acesso em: 26 mai. 2022.

PREFEITURA DE IJUÍ. **Prefeito Valdir Heck visita obra de ampliação da escola casa da criança**. Disponível em: <<https://www.ijui.rs.gov.br/noticia/print-noticia/207/prefeito-valdir-heck-visita-obra-de-ampliacao-da-escola-casa-da-crianca/>>. Acesso em: 23 mai. 2022.

PROJETEEE, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Projetando edificações energeticamente eficientes: Dados climáticos de Palmas-TO**. Disponível: <http://www.mme.gov.br/projeteee/dados-climaticos/?cidade=TO+-Palmas&id_cidade=bra_to_palmas.866070_inmet>. Acesso em: 12 jan. 2022.

RENOVEPLAN. **Construir casa**. Disponível em: <<https://www.renoveplan.com.br/construir-casa.php>>. Acesso em: 23 mai. 2022.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em Alvenaria Estrutural**. 1. ed. Florianópolis: UFSC, 1999.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. São Carlos, SP: ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações, 2012.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. São Paulo: USP, 1989.

SANTOS, R. S. **Arquitetura e clima local: Relações entre orientação solar, tipos de tempo e conforto térmico em edifícios habitacionais na cidade de Palmas-TO**. Palmas, TO: UFT, 2020.

SEPLAN, SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO. **Perfil socioeconômico do município de Palmas**. SEPLAN, 2015. Disponível: <<https://central3.to.gov.br/arquivo/250006/>>. Acesso em: 5 jan. 2022.

SILVA, A. S.; OLIVEIRA, M. C. A. **Conforto térmico sustentável para edificações em Palmas: Estratégias recomendadas e análise de edificações**. Palmas, TO: UFT, 2017.

SILVA, L. F. G.; SOUZA, L. B. **Ritmo climático e conforto térmico na cidade de Palmas-TO em anos-padrão selecionados**. Palmas, TO: IFTO, 2018.

SILVA, L. F. G.; SOUZA, L. B. **Caracterização da direção predominante e velocidade do vento em Palmas-TO**. Goiânia, GO: UFG, 2016.

SILVA, L. F. G.; SOUZA, L. B. Caracterização da direção predominante e velocidade do vento em Palmas-TO. In: SBCG / SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 7. ed. 2016, Cascavel. **Variabilidade e sustentabilidade climática: Implicações ecossistêmicas e sociais**. Goiânia, GO: UFG, 2016.

SILVA, M. R. N et al. **Avaliação do conforto térmico urbano em Palmas-TO, o caso da Avenida JK**. Palmas, TO: IFTO, 2014.

TELLES, P. C. S. **História da engenharia no Brasil – Século XVI ao XIX**. 1. ed. Rio de Janeiro: LCT, 1984

TERNI, A. W.; SANTIAGO, A. K.; PIANHERI, J. Como construir Steel Frame: Fundações. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 135, jun. 2008.

_____. Como construir Steel Frame: Estrutura. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 137, ago. 2008.

_____. Como construir Steel Frame: Fechamento. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 139, out. 2008.

_____. Como construir Steel Frame: Instalações. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 141, dez. 2008.

_____. Como construir Steel Frame: Cobertura. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 144, mar. 2009.

TRENAMAR. **Como rebocar parede**. Disponível em: <<https://trenamar.com.br/como-rebocar-parede-aprenda-de-uma-forma-rapida-e-facil/>>. Acesso em: 26 mai. 2022.

VARGAS, M. **Para uma filosofia da tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Alfa-Ômega, 1994.

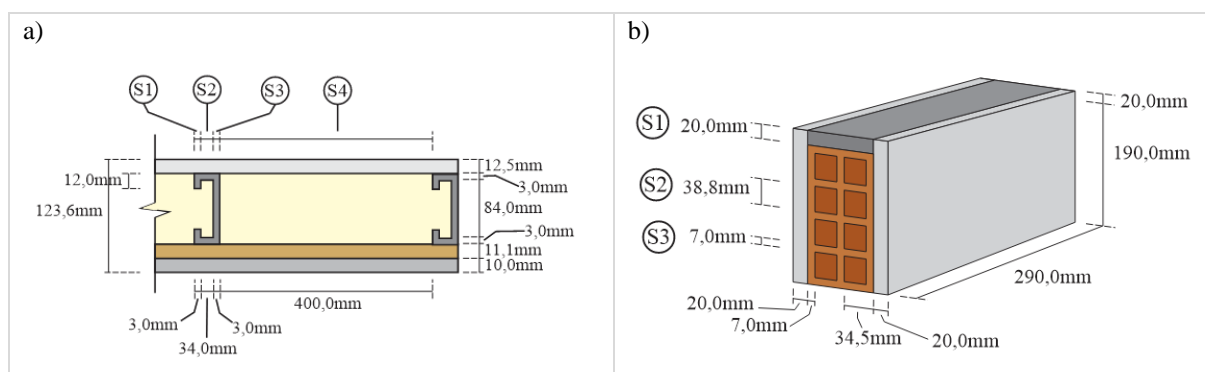
YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 10. ed. São Paulo: PINI/SINDUSCON, 2009.

ZULIAN, C. S.; DONÁ, E. C.; VARGAS, C. L. **Notas de aula da disciplina de construção civil - Alvenaria**. Ponta Grossa: UEPG, 2002. Disponível em: <https://www.academia.edu/30226254/Universidade_Estadual_de_Ponta_Grossa_Curso_de_Engenharia_Civil_Notas_de_Aulas_da_Disciplina_Constru%C3%A7%C3%A3o_Civil_Assunto_Alvenaria_%C3%BAltima_revis%C3%A3o_em_abril_de_2002>. Acesso em: 25 mai. 2022.

APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO

Os sistemas de vedações verticais externos são compostos por várias camadas de materiais, formando diferentes seções, devido ao fato de o sistema de vedação ser um elemento composto por camadas não homogêneas, conforme a figura a seguir.

Figura 45 - a) Corte da parede steel frame e b) Corte da parede de alvenaria convencional



Fonte: Autor (2022).

As seções de cada sistema de vedação vertical, foram discriminadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Seções dos sistemas de vedação vertical das residências:

Residência	Seção	Camadas
Steel Frame	S1	Placa Cimentícia + OSB + Aço + Lã de Vidro + Aço + Gesso Acartonado
	S2	Placa Cimentícia + OSB + Aço + Lã de Vidro + Aço + Gesso Acartonado
	S3	Placa Cimentícia + OSB + Aço + Gesso Acartonado
	S4	Placa Cimentícia + OSB + Lã de Vidro + Gesso Acartonado
Alvenaria Convencional	S1	Reboco + Argamassa Assentamento + Reboco
	S2	Reboco + Tijolo + Ar + Tijolo + Ar + Tijolo + Reboco
	S3	Reboco + Tijolo + Reboco

Fonte: Autor (2022).

Os valores referentes a condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente de cada material, foram utilizados de acordo com a ABNT NBR 15220-2:2005, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 - Condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente

Material	Condutividade Térmica W/(m.k)	Calor Específico kJ/(kg.K)	Densidade de Massa Aparente kg/m ³
	λ	c	ρ
Placa Cimentícia	0,650	0,840	1800
Painel OSB	0,120	2,300	700
Aço Galvanizado	55,000	0,460	7800
Lã de Vidro	0,045	0,700	55
Gesso Acartonado	0,350	0,840	1000
Argamassa Reboco	1,150	1,000	2000
Argamassa Assentamento	1,150	1,000	2000
Bloco Cerâmico	0,900	0,920	1600

Fonte: Elaborado pelo autor – Adaptado da ABNT NBR 15220 (2005).

CÁLCULO DA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA STEEL FRAME

Para calcular a transmitância térmica, primeiramente foi necessário calcular a resistência térmica das camadas de materiais de cada seção:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Seção 1:

$$R_{S1} = \frac{e_{placa\ cimentícia}}{\lambda_{placa\ cimentícia}} + \frac{e_{osb}}{\lambda_{osb}} + \frac{e_{aço}}{\lambda_{aço}} + \frac{e_{lã\ de\ vidro}}{\lambda_{lã\ de\ vidro}} + \frac{e_{aço}}{\lambda_{aço}} + \frac{e_{gesso\ acartonado}}{\lambda_{gesso\ acartonado}}$$

$$R_{S1} = \frac{0,010}{0,650} + \frac{0,0111}{0,120} + \frac{0,012}{55,000} + \frac{0,066}{0,045} + \frac{0,012}{55,000} + \frac{0,0125}{0,350}$$

$$R_{S1} = 1,611 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção 2:

$$R_{S2} = \frac{e_{placa\ cimentícia}}{\lambda_{placa\ cimentícia}} + \frac{e_{osb}}{\lambda_{osb}} + \frac{e_{aço}}{\lambda_{aço}} + \frac{e_{lã\ de\ vidro}}{\lambda_{lã\ de\ vidro}} + \frac{e_{aço}}{\lambda_{aço}} + \frac{e_{gesso\ acartonado}}{\lambda_{gesso\ acartonado}}$$

$$R_{S2} = \frac{0,010}{0,650} + \frac{0,0111}{0,120} + \frac{0,003}{55,000} + \frac{0,084}{0,045} + \frac{0,003}{55,000} + \frac{0,0125}{0,350}$$

$$R_{S2} = 2,010 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção 3:

$$R_{S3} = \frac{e_{placa\ cimentícia}}{\lambda_{placa\ cimentícia}} + \frac{e_{osb}}{\lambda_{osb}} + \frac{e_{aço}}{\lambda_{aço}} + \frac{e_{gesso\ acartonado}}{\lambda_{gesso\ acartonado}}$$

$$R_{S3} = \frac{0,010}{0,650} + \frac{0,0111}{0,120} + \frac{0,090}{55,000} + \frac{0,0125}{0,350}$$

$$R_{S3} = 0,145 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção 4:

$$R_{S4} = \frac{e_{placa\ cimentícia}}{\lambda_{placa\ cimentícia}} + \frac{e_{osb}}{\lambda_{osb}} + \frac{e_{lã\ de\ vidro}}{\lambda_{lã\ de\ vidro}} + \frac{e_{gesso\ acartonado}}{\lambda_{gesso\ acartonado}}$$

$$R_{S4} = \frac{0,010}{0,650} + \frac{0,0111}{0,120} + \frac{0,090}{0,045} + \frac{0,0125}{0,350}$$

$$R_{S4} = 2,144 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Posteriormente, para calcular a resistência térmica da parede, foi necessário calcular a área de todas as seções do sistema de vedação externo que recebe o fluxo de calor perpendicular horizontalmente. Os componentes do sistema de vedação Steel Frame são contínuos do piso ao teto, medindo 2,90m de altura, altura do pé direito.

$$A = e \cdot L$$

$$A_{S1} = 0,003 \times 2,900 = 0,0087 \text{ m}^2$$

$$A_{S2} = 0,037 \times 2,900 = 0,1073 \text{ m}^2$$

$$A_{S3} = 0,003 \times 2,900 = 0,0087 \text{ m}^2$$

$$A_{S4} = 0,400 \times 2,900 = 1,1600 \text{ m}^2$$

Cálculo da resistência térmica da parede:

$$R_t = \frac{A_{S1} + A_{S2} + A_{S3} + A_{S4}}{\frac{A_{S1}}{R_{S1}} + \frac{A_{S2}}{R_{S2}} + \frac{A_{S3}}{R_{S3}} + \frac{A_{S4}}{R_{S4}}}$$

$$R_t = \frac{0,0087 + 0,1073 + 0,0087 + 1,1600}{\frac{0,0087}{1,611} + \frac{0,1073}{2,010} + \frac{0,0087}{0,145} + \frac{1,1600}{2,144}}$$

$$R_t = 1,947 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Com a resistência térmica da parede calculada, somada à as resistências térmicas superficiais externas e internas, obtêm-se a resistência térmica total, onde R_{se} e R_{si} são definidas conforme o fluxo de calor (Tabela 5).

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

$$R_T = 0,04 + 1,947 + 0,13$$

$$R_T = 2,117 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Tabela 5 - Resistência térmica superficial interna e externa

Resistência Térmica Superficial (m ² .K)/W					
Rsi			Rse		
Direção do Fluxo de Calor			Direção do Fluxo de Calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	⇑	⇓	⇒	⇑	⇓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15220-2:2005.

Assim, obtêm-se a transmitância térmica do sistema de vedação vertical externo de Steel Frame:

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

$$U = \frac{1}{2,117}$$

$$U = 0,472 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{k)}$$

CÁLCULO DA CAPACIDADE TÉRMICA STEEL FRAME

Para calcular a capacidade térmica, primeiramente foi necessário calcular a capacidade térmica das camadas de materiais de cada seção. Os valores de calor específico e densidade de massa aparente dos materiais estão discriminados na Tabela 9.

$$C_t = \sum_{i=1}^n e \cdot c \cdot \rho$$

Seção 1:

$$\begin{aligned} C_{t_{S1}} = & (0,0100 \times 0,8400 \times 1800)_{placa\ cimentícia} + \\ & (0,0111 \times 2,3000 \times 700)_{osb} + (0,0120 \times 0,4600 \times 7800)_{aço} + \\ & (0,0660 \times 0,7000 \times 55)_{lã\ de\ vidro} + (0,0120 \times 0,4600 \times 7800)_{aço} + \\ & (0,0125 \times 0,8400 \times 1000)_{gesso\ acartonado} \end{aligned}$$

$$C_{t_{S1}} = 132,144\ kJ/(m^3 \cdot K)$$

Seção 2:

$$\begin{aligned} C_{t_{S2}} = & (0,0100 \times 0,8400 \times 1800)_{placa\ cimentícia} + \\ & (0,0111 \times 2,3000 \times 700)_{osb} + (0,0030 \times 0,4600 \times 7800)_{aço} + \\ & (0,0840 \times 0,7000 \times 55)_{lã\ de\ vidro} + (0,0030 \times 0,4600 \times 7800)_{aço} + \\ & (0,0125 \times 0,8400 \times 1000)_{gesso\ acartonado} \end{aligned}$$

$$C_{t_{S2}} = 68,253\ kJ/(m^3 \cdot K)$$

Seção 3:

$$\begin{aligned} C_{t_{S3}} = & (0,0100 \times 0,8400 \times 1800)_{placa\ cimentícia} + \\ & (0,0111 \times 2,3000 \times 700)_{osb} + (0,0900 \times 0,4600 \times 7800)_{aço} + \\ & (0,0125 \times 0,8400 \times 1000)_{gesso\ acartonado} \end{aligned}$$

$$C_{t_{S3}} = 366,411\ kJ/(m^3 \cdot K)$$

Seção 4:

$$C_{t_{S4}} = (0,0100 \times 0,8400 \times 1800)_{placa\ cimentícia} + \\ (0,0111 \times 2,3000 \times 700)_{osb} + (0,0900 \times 0,7000 \times 55)_{lã\ de\ vidro} + \\ (0,0125 \times 0,8400 \times 1000)_{gesso\ acartonado}$$

$$C_{t_{S4}} = 49,956\ kJ/(m^3 \cdot K)$$

Com a capacidade térmica de cada seção calculada e a área das seções também, obtêm-se a capacidade térmica do sistema de vedação Steel Frame:

$$C_T = \frac{A_{S1} + A_{S2} + A_{S3} + A_{S4}}{\frac{A_{S1}}{C_{t_{S1}}} + \frac{A_{S2}}{C_{t_{S2}}} + \frac{A_{S3}}{C_{t_{S3}}} + \frac{A_{S4}}{C_{t_{S4}}}}$$

$$C_T = \frac{0,0087 + 0,1073 + 0,0087 + 1,1600}{\frac{0,0087}{132,144} + \frac{0,1073}{68,253} + \frac{0,0087}{366,411} + \frac{1,1600}{46,956}}$$

$$C_T = 48,726\ kJ/(m^3 \cdot K)$$

CÁLCULO DA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA ALVENARIA CONVENCIONAL

Para calcular a transmitância térmica, primeiramente foi necessário calcular a resistência térmica das camadas de materiais de cada seção:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Seção 1:

$$R_{S1} = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{argamassa\ assentamento}}{\lambda_{argamassa\ assentamento}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}}$$

$$R_{S1} = \frac{0,020}{1,150} + \frac{0,090}{1,150} + \frac{0,020}{1,150}$$

$$R_{S1} = 0,113\ (m^2 \cdot K)/W$$

Seção 2:

$$R_{S2} = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{tijolo}}{\lambda_{tijolo}} + R_{ar} + \frac{e_{tijolo}}{\lambda_{tijolo}} + R_{ar} + \frac{e_{tijolo}}{\lambda_{tijolo}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}}$$

$$R_{S2} = \frac{0,020}{1,150} + \frac{0,007}{0,900} + 0,160 + \frac{0,007}{0,900} + 0,160 + \frac{0,007}{0,900} + \frac{0,020}{1,150}$$

$$R_{S2} = 0,378 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Referente aos cálculos das resistências das câmaras de ar na Seção 2, os valores são tabelados conforme a ABNT NBR 15220-2:2005:

Tabela 4 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas

Resistência Térmica de Câmara de Ar não Ventiladas (m ² .K)/W				
Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura “e” da câmara de ar (cm)	Direção do Fluxo de Calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇔	⇑	⇓
Superfície de alta emissividade ε > 0,8	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,14	0,13	0,15
	2,0 ≤ e ≤ 5,0	0,16	0,14	0,18
	e > 5,0	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade ε > 0,2	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,29	0,23	0,29
	2,0 ≤ e ≤ 5,0	0,37	0,25	0,43
	e > 5,0	0,34	0,27	0,61

Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da ABNT NBR 15220-2:2005.

Seção 3:

$$R_{S3} = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{tijolo}}{\lambda_{tijolo}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}}$$

$$R_{S3} = \frac{0,020}{1,150} + \frac{0,090}{0,900} + \frac{0,020}{1,150}$$

$$R_{S3} = 0,135 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Posteriormente, para calcular a resistência térmica da parede, foi necessário calcular a área de todas as seções do sistema de vedação externo que recebe o fluxo de calor perpendicular. O sistema de vedação de Alvenaria Convencional é formado por diversos componentes de blocos cerâmicos 9x19x29cm, com reboco na face externa e interna, conforme a Figura 45-b.

$$A = e \cdot L$$

$$A_{S1} = (0,020 \times 0,290) + (0,020 \times 0,210) = 0,0100 \text{ m}^2$$

$$A_{S2} = 0,0388 \times 0,290 = 0,0113 \text{ m}^2$$

$$A_{S3} = 0,007 \times 0,290 = 0,0020 \text{ m}^2$$

Cálculo da resistência térmica da parede:

$$R_t = \frac{A_{S1} + A_{S2} + A_{S3}}{\frac{A_{S1}}{R_{S1}} + \frac{A_{S2}}{R_{S2}} + \frac{A_{S3}}{R_{S3}}}$$

$$R_t = \frac{0,0100 + 0,0113 + 0,0020}{\frac{0,0100}{0,113} + \frac{0,0113}{0,378} + \frac{0,0020}{0,135}}$$

$$R_t = 0,230 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Com a resistência térmica da parede calculada, somada à as resistências térmicas superficiais externas e internas, obtêm-se a resistência térmica total, onde R_{se} e R_{si} são definidas conforme o fluxo de calor (Tabela 5).

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

$$R_T = 0,04 + 0,230 + 0,13$$

$$R_T = 0,400 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Assim, obtêm-se a transmitância térmica do sistema de vedação vertical externo de Steel Frame:

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

$$U = \frac{1}{0,400}$$

$$U = 2,497 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$$

CÁLCULO DA CAPACIDADE TÉRMICA ALVENARIA CONVENCIONAL

Para calcular a capacidade térmica, primeiramente foi necessário calcular a capacidade térmica das camadas de materiais de cada seção. Os valores de calor específico e densidade de massa aparente dos materiais estão discriminados na Tabela 9.

$$C_t = \sum_{i=1}^n e \cdot c \cdot \rho$$

Seção 1:

$$C_{tS1} = (0,0200 \times 1,0000 \times 2000)_{reboco} + (0,0900 \times 1,0000 \times 2000)_{argamassa \text{ de assentamento}} + (0,0200 \times 1,0000 \times 2000)_{reboco}$$

$$C_{tS1} = 260,000 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$$

Seção 2:

$$\begin{aligned} C_{tS1} &= (0,0200 \times 1,0000 \times 2000)_{reboco} + (0,0070 \times 0,920 \times 1600)_{tijolo} \\ &+ (0 \times 0 \times 0)_{câmara \text{ de ar}} + (0,0070 \times 0,920 \times 1600)_{tijolo} \\ &+ (0 \times 0 \times 0)_{câmara \text{ de ar}} + (0,0070 \times 0,920 \times 1600)_{tijolo} \\ &+ (0 \times 0 \times 0)_{câmara \text{ de ar}} + (0,0200 \times 1,0000 \times 2000)_{reboco} \end{aligned}$$

$$C_{tS2} = 110,910 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$$

Seção 3:

$$C_{tS1} = (0,0200 \times 1,0000 \times 2000)_{reboco} + (0,0900 \times 0,920 \times 1600)_{tijolo} + (0,0200 \times 1,0000 \times 2000)_{reboco}$$

$$C_{tS3} = 212,480 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$$

Com a capacidade térmica de cada seção calculada e a área das seções também, obtêm-se a capacidade térmica do sistema de vedação Alvenaria Convencional:

$$C_T = \frac{A_{S1} + A_{S2} + A_{S3}}{\frac{A_{S1}}{C_{tS1}} + \frac{A_{S2}}{C_{tS2}} + \frac{A_{S3}}{C_{tS3}}}$$

$$C_T = \frac{0,0100 + 0,0113 + 0,0020}{\frac{0,0100}{260,000} + \frac{0,0113}{110,910} + \frac{0,0020}{212,480}}$$

$$C_T = 132,427 \text{ kJ}/(m^3 \cdot K)$$

APÊNDICE B – MEDIÇÕES *IN-LOCO*

Quadro 14 - Levantamento in-loco dia 06/04/2022

06/04/2022	Temperatura de Globo de Bulbo Úmido (WBGT)		Temperatura do Ar (TA)		Temperatura de Globo Preto (TG)		Temperatura do Bulbo Úmido (WET)		Temperatura do Ponto de Orvalho (DEW)		Umidade Relativa (%RH)	
	Steelframe	Alvenaria	Steelframe	Alvenaria	Steelframe	Alvenaria	Steelframe	Alvenaria	Steelframe	Alvenaria	Steelframe	Alvenaria
6h	29,4 °C	25,8 °C	36,4 °C	27,9 °C	23,2 °C	28,0 °C	32,0 °C	24,9 °C	30,8 °C	23,7 °C	73,1 %	77,6 %
7h	29,3 °C	25,8 °C	36,4 °C	27,9 °C	23,3 °C	28,2 °C	31,9 °C	24,8 °C	30,7 °C	23,6 °C	72,7 %	77,8 %
8h	30,0 °C	26,9 °C	37,9 °C	29,5 °C	24,7 °C	30,3 °C	32,3 °C	25,5 °C	30,7 °C	23,9 °C	67,1 %	71,8 %
9h	30,2 °C	27,7 °C	37,9 °C	30,8 °C	24,9 °C	31,3 °C	32,4 °C	26,2 °C	30,9 °C	24,5 °C	67,9 %	69,0 %
10h	30,4 °C	27,8 °C	38,1 °C	30,8 °C	25,1 °C	31,2 °C	32,7 °C	26,3 °C	31,3 °C	24,6 °C	68,4 %	69,7 %
11h	30,7 °C	27,6 °C	38,3 °C	30,6 °C	25,2 °C	30,9 °C	33,0 °C	26,2 °C	31,6 °C	24,5 °C	68,8 %	70,2 %
12h	30,6 °C	27,4 °C	38,2 °C	30,4 °C	25,1 °C	30,8 °C	33,0 °C	26,0 °C	31,6 °C	24,3 °C	69,5 %	70,1 %
13h	30,8 °C	27,6 °C	38,5 °C	30,7 °C	25,4 °C	31,0 °C	33,1 °C	26,2 °C	31,7 °C	24,5 °C	68,7 %	69,4 %
14h	30,9 °C	27,6 °C	38,7 °C	30,8 °C	25,6 °C	31,2 °C	33,2 °C	26,0 °C	31,7 °C	24,2 °C	68,0 %	67,9 %
15h	31,0 °C	27,5 °C	38,7 °C	30,6 °C	25,5 °C	30,6 °C	33,4 °C	26,2 °C	32,0 °C	24,6 °C	69,1 %	70,4 %
16h	30,7 °C	27,2 °C	38,3 °C	29,9 °C	25,2 °C	30,2 °C	33,0 °C	25,9 °C	31,6 °C	24,4 °C	68,8 %	72,5 %
17h	30,2 °C	26,7 °C	38,1 °C	29,9 °C	25,0 °C	30,0 °C	32,5 °C	25,3 °C	31,0 °C	23,5 °C	67,5 %	68,7 %
18h	30,0 °C	26,8 °C	37,8 °C	29,7 °C	24,6 °C	29,7 °C	32,3 °C	25,5 °C	30,8 °C	23,8 °C	67,9 %	70,6 %
19h	29,9 °C	26,5 °C	37,6 °C	29,4 °C	24,4 °C	29,4 °C	32,2 °C	25,3 °C	30,7 °C	23,6 °C	68,1 %	71,2 %
20h	29,8 °C	26,3 °C	37,4 °C	29,1 °C	24,3 °C	29,3 °C	32,2 °C	25,0 °C	30,7 °C	23,3 °C	69,0 %	71,0 %
21h	29,8 °C	26,3 °C	37,3 °C	29,1 °C	24,1 °C	29,2 °C	32,2 °C	25,0 °C	30,8 °C	23,4 °C	69,5 %	71,4 %
22h	29,7 °C	26,2 °C	37,1 °C	28,9 °C	23,9 °C	29,0 °C	32,2 °C	25,0 °C	30,8 °C	23,5 °C	70,4 %	72,5 %

Fonte: Autor (2022).

Quadro 15 - Levantamento in-loco dia 07/04/2022

07/04/2022	Temperatura de Globo de Bulbo Úmido (WBGT)		Temperatura do Ar (TA)		Temperatura de Globo Preto (TG)		Temperatura do Bulbo Úmido (WET)		Temperatura do Ponto de Orvalho (DEW)		Umidade Relativa (%RH)	
	Steelframe	Alvenaria	Steelframe	Alvenaria	Steelframe	Alvenaria	Steelframe	Alvenaria	Steelframe	Alvenaria	Steelframe	Alvenaria
6h	29,0 °C	25,8 °C	35,9 °C	27,7 °C	22,7 °C	27,8 °C	31,7 °C	24,9 °C	30,5 °C	23,8 °C	73,80 %	79,2 %
7h	29,0 °C	25,9 °C	35,9 °C	27,7 °C	22,7 °C	28,0 °C	31,7 °C	25,0 °C	30,5 °C	24,0 °C	73,70 %	80,5 %
8h	29,2 °C	26,4 °C	36,4 °C	28,3 °C	23,1 °C	28,8 °C	31,8 °C	25,3 °C	30,5 °C	24,1 °C	71,90 %	78,1 %
9h	30,0 °C	28,5 °C	37,4 °C	31,4 °C	25,0 °C	33,2 °C	32,2 °C	26,5 °C	30,7 °C	24,7 °C	68,80 %	67,6 %
10h	30,5 °C	27,5 °C	38,2 °C	30,5 °C	25,2 °C	31,1 °C	32,8 °C	25,9 °C	31,3 °C	24,1 °C	68,20 %	68,8 %
11h	30,7 °C	27,5 °C	38,3 °C	30,4 °C	25,2 °C	30,9 °C	33,1 °C	26,1 °C	31,7 °C	24,4 °C	69,40 %	70,5 %
12h	30,7 °C	27,6 °C	38,2 °C	30,2 °C	25,0 °C	30,5 °C	33,2 °C	26,3 °C	31,9 °C	24,8 °C	70,70 %	73,1 %
13h	31,0 °C	27,6 °C	38,6 °C	30,3 °C	25,5 °C	30,7 °C	33,4 °C	26,2 °C	32,1 °C	24,6 °C	69,80 %	71,5 %
14h	31,1 °C	27,4 °C	38,6 °C	30,3 °C	25,5 °C	30,5 °C	33,5 °C	26,1 °C	32,2 °C	24,5 °C	70,30 %	71,2 %
15h	31,2 °C	27,4 °C	38,8 °C	30,3 °C	25,6 °C	30,4 °C	33,6 °C	26,1 °C	32,3 °C	24,5 °C	69,90 %	71,3 %
16h	31,3 °C	27,3 °C	38,9 °C	30,2 °C	25,8 °C	30,3 °C	33,6 °C	26,0 °C	32,3 °C	24,4 °C	69,50 %	71,4 %
17h	31,4 °C	27,3 °C	39,1 °C	30,3 °C	25,9 °C	30,4 °C	33,8 °C	26,0 °C	32,4 °C	24,4 °C	69,00 %	70,9 %
18h	31,3 °C	27,3 °C	39,0 °C	30,2 °C	25,8 °C	30,2 °C	33,6 °C	26,1 °C	32,2 °C	24,5 °C	68,80 %	71,8 %
19h	31,0 °C	27,4 °C	38,8 °C	30,0 °C	25,5 °C	30,1 °C	33,4 °C	26,2 °C	32,0 °C	24,8 °C	68,70 %	73,7 %
20h	30,9 °C	27,5 °C	38,5 °C	29,9 °C	25,3 °C	29,9 °C	33,3 °C	26,5 °C	31,9 °C	25,2 °C	69,30 %	75,8 %
21h	30,8 °C	27,5 °C	38,3 °C	29,8 °C	25,1 °C	29,8 °C	33,2 °C	26,5 °C	31,8 °C	25,3 °C	69,90 %	76,7 %
22h	30,7 °C	27,0 °C	38,1 °C	29,5 °C	24,9 °C	29,6 °C	33,2 °C	25,9 °C	31,9 °C	24,6 °C	71,00 %	75,1 %

Fonte: Autor (2022).

Quadro 16 - Levantamento in-loco dia 08/04/2022

08/04/2022	Temperatura de Globo de Bulbo Úmido (WBGT)		Temperatura do Ar (TA)		Temperatura de Globo Preto (TG)		Temperatura do Bulbo Úmido (WET)		Temperatura do Ponto de Orvalho (DEW)		Umidade Relativa (%RH)	
	Steelframe	Alvenaria	Steelframe	Alvenaria	Steelframe	Alvenaria	Steelframe	Alvenaria	Steelframe	Alvenaria	Steelframe	Alvenaria
6h	29,2 °C	25,9 °C	36,4 °C	28,2 °C	23,2 °C	28,3 °C	31,7 °C	24,9 °C	30,4 °C	23,6 °C	71,4 %	76,0 %
7h	29,2 °C	25,8 °C	36,5 °C	28,1 °C	23,3 °C	28,4 °C	31,7 °C	24,7 °C	30,4 °C	23,3 °C	71,0 %	75,1 %
8h	30,6 °C	26,7 °C	39,3 °C	29,0 °C	25,8 °C	29,7 °C	32,6 °C	25,4 °C	30,7 °C	24,0 °C	62,1 %	74,4 %
9h	31,0 °C	29,0 °C	39,3 °C	32,5 °C	26,8 °C	34,6 °C	32,8 °C	26,6 °C	31,0 °C	24,4 °C	63,3 %	62,4 %
10h	31,3 °C	28,1 °C	39,5 °C	31,5 °C	26,5 °C	32,0 °C	33,4 °C	26,4 °C	31,8 °C	24,5 °C	65,4 %	66,5 %
11h	31,4 °C	28,1 °C	39,2 °C	31,0 °C	26,2 °C	31,5 °C	33,6 °C	26,6 °C	32,2 °C	24,9 °C	68,1 %	69,9 %
12h	31,4 °C	27,8 °C	39,3 °C	30,7 °C	26,2 °C	31,0 °C	33,7 °C	26,5 °C	32,3 °C	25,0 °C	68,2 %	71,8 %
13h	31,7 °C	28,0 °C	39,6 °C	30,8 °C	26,5 °C	31,4 °C	33,9 °C	26,5 °C	32,5 °C	24,9 °C	67,6 %	71,0 %
14h	31,7 °C	27,8 °C	39,6 °C	30,8 °C	26,5 °C	30,9 °C	33,9 °C	26,5 °C	32,5 °C	24,9 °C	67,8 %	70,8 %
15h	31,6 °C	27,7 °C	39,8 °C	30,9 °C	26,6 °C	31,1 °C	33,8 °C	26,3 °C	32,3 °C	24,5 °C	66,3 %	69,0 %
16h	31,7 °C	27,6 °C	39,7 °C	30,7 °C	26,5 °C	30,7 °C	33,9 °C	26,2 °C	32,4 °C	24,5 °C	67,1 %	69,6 %
17h	31,4 °C	27,4 °C	39,6 °C	30,6 °C	26,4 °C	30,6 °C	33,6 °C	26,1 °C	32,1 °C	24,3 °C	66,3 %	69,0 %
18h	31,2 °C	27,4 °C	39,4 °C	30,5 °C	26,2 °C	30,5 °C	33,4 °C	26,0 °C	31,8 °C	24,2 °C	65,9 %	69,1 %
19h	31,0 °C	27,2 °C	39,1 °C	30,4 °C	25,9 °C	30,4 °C	33,2 °C	25,9 °C	31,6 °C	24,2 °C	65,9 %	69,6 %
20h	30,9 °C	27,1 °C	38,8 °C	30,3 °C	25,6 °C	30,3 °C	33,2 °C	25,7 °C	31,7 °C	23,9 °C	67,5 %	68,7 %
21h	30,6 °C	26,7 °C	38,5 °C	30,1 °C	25,3 °C	30,1 °C	32,8 °C	25,3 °C	31,3 °C	23,3 °C	67,2 %	67,2 %
22h	30,5 °C	26,7 °C	38,2 °C	29,9 °C	25,0 °C	30,0 °C	32,8 °C	25,3 °C	31,3 °C	23,4 °C	68,0 %	68,0 %

Fonte: Autor (2022).

APÊNDICE C – TEMPERATURAS EXTERNAS

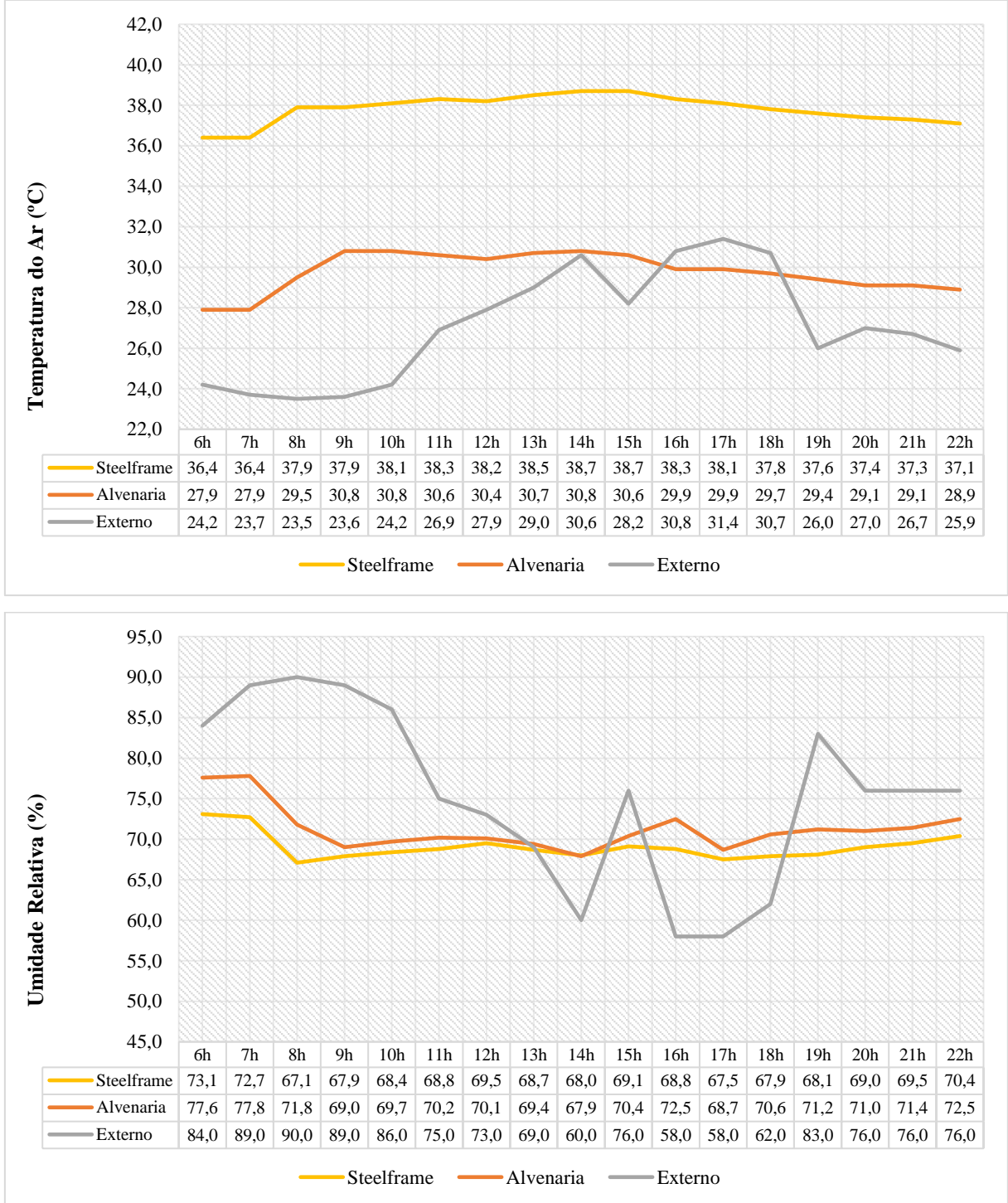
Quadro 17 - Temperatura do ar e umidade relativa nos dias de medição in-loco

horário	06/04/2022		07/04/2022		08/04/2022	
	Temperatura Ar (°C)	Umidade Relativa do Ar	Temperatura Ar (°C)	Umidade Relativa do Ar	Temperatura Ar (°C)	Umidade Relativa do Ar
06:00	24,20	84 %	23,30	91 %	24,90	80 %
07:00	23,70	89 %	23,00	89 %	24,60	82 %
08:00	23,50	90 %	22,80	90 %	23,60	87 %
09:00	23,60	89 %	22,70	91 %	23,10	90 %
10:00	24,20	86 %	23,50	91 %	23,50	89 %
11:00	26,90	75 %	24,70	87 %	26,60	77 %
12:00	27,90	73 %	27,90	76 %	29,10	70 %
13:00	29,00	69 %	29,50	64 %	31,60	57 %
14:00	30,60	60 %	32,10	56 %	31,40	61 %
15:00	28,20	76 %	31,50	61 %	31,70	59 %
16:00	30,80	58 %	31,70	56 %	32,60	57 %
17:00	31,40	58 %	31,90	55 %	33,00	53 %
18:00	30,70	62 %	33,10	51 %	33,10	50 %
19:00	26,00	83 %	32,60	50 %	31,90	51 %
20:00	27,00	76 %	32,00	54 %	32,00	49 %
21:00	26,70	76 %	30,70	64 %	31,00	54 %
22:00	25,90	76 %	28,70	73 %	28,00	71 %

Fonte: INMET (2022).

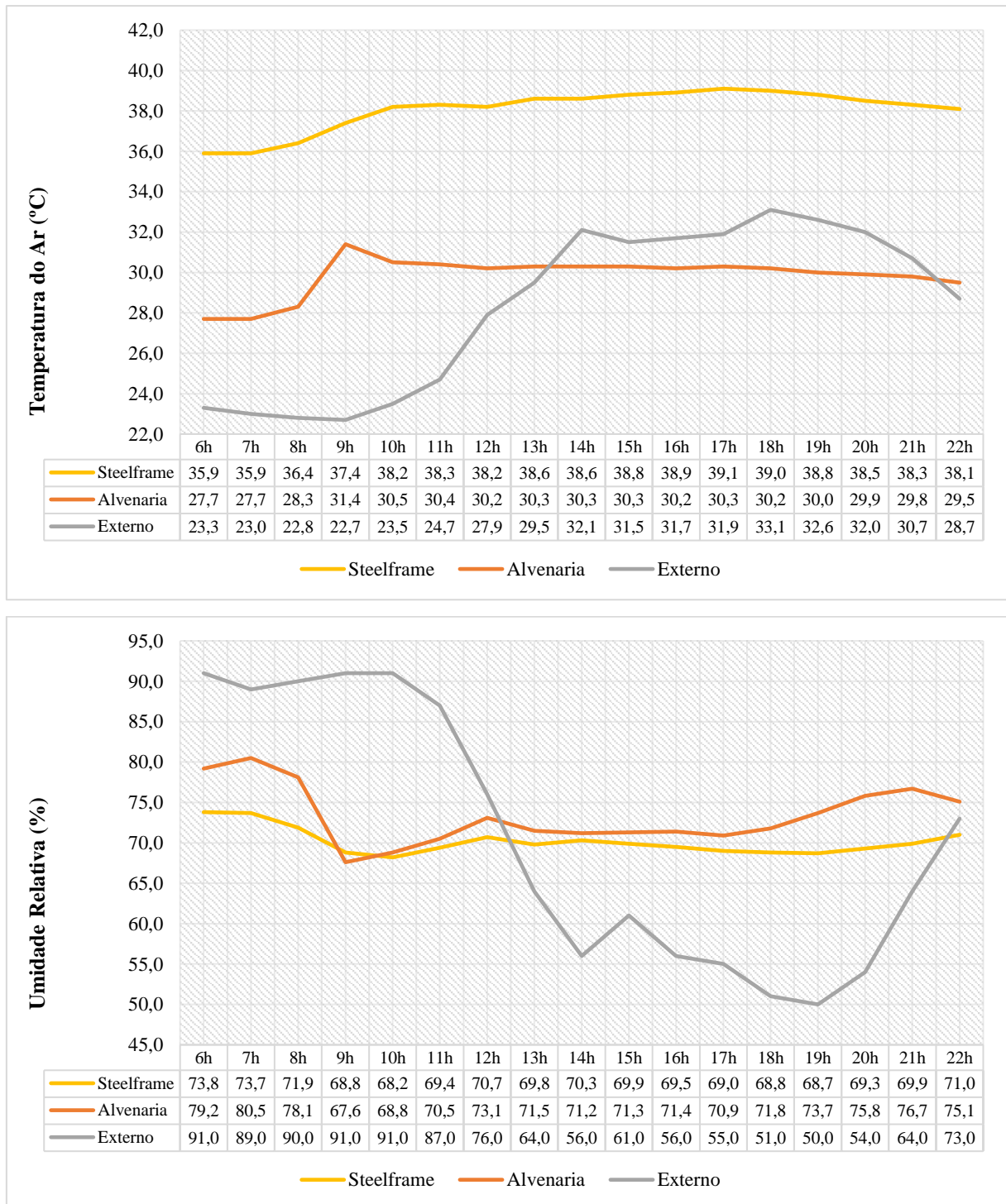
APÊNDICE D – TEMPERATURAS DO AR E UMIDADE REALTIVA

Figura 46 - Gráfico dos resultados das temperaturas do ar e umidade relativa dia 06/04/22



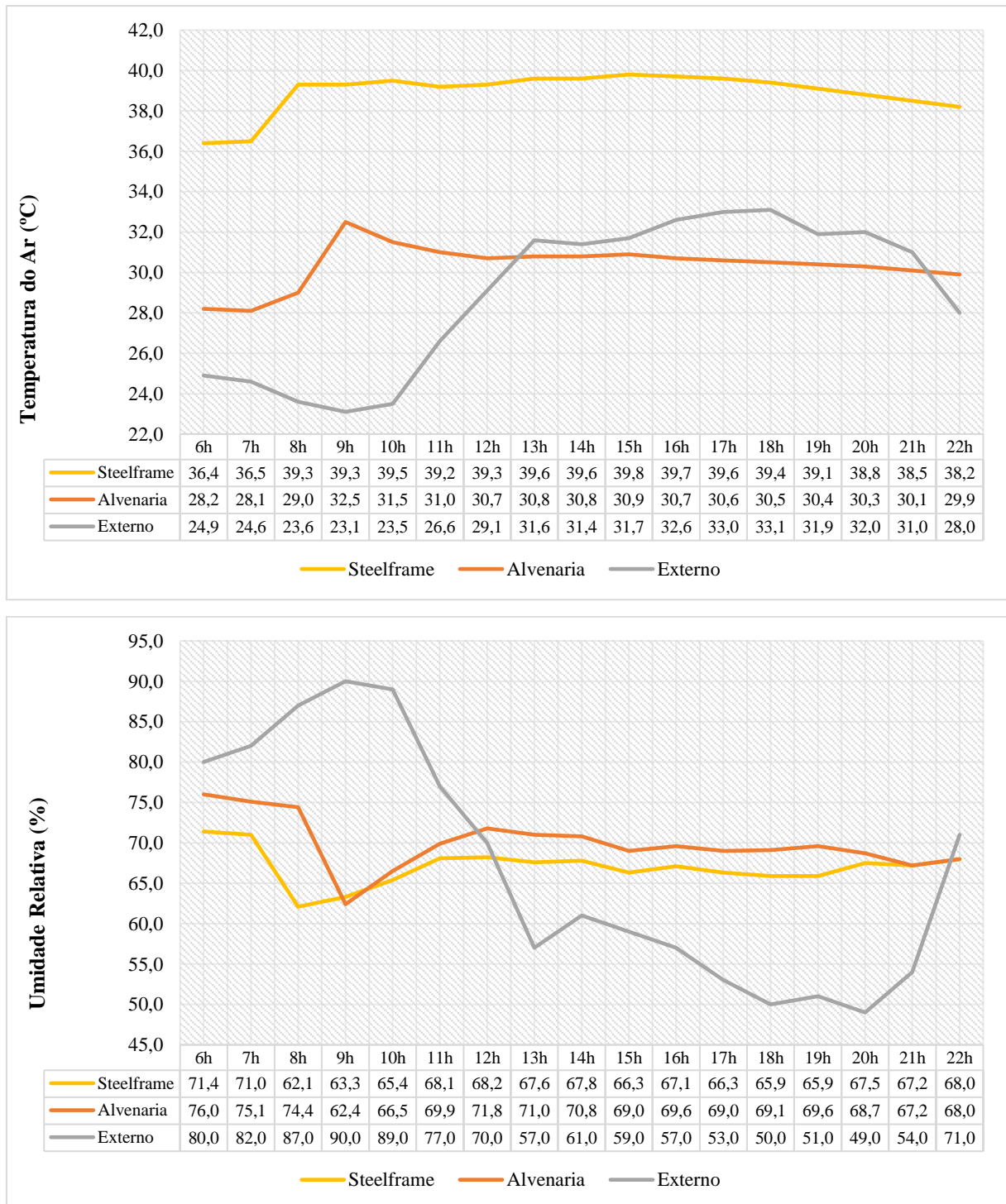
Fonte: Autor (2022).

Figura 47 - Gráfico dos resultados das temperaturas do ar e umidade relativa dia 07/04/22



Fonte: Autor (2022).

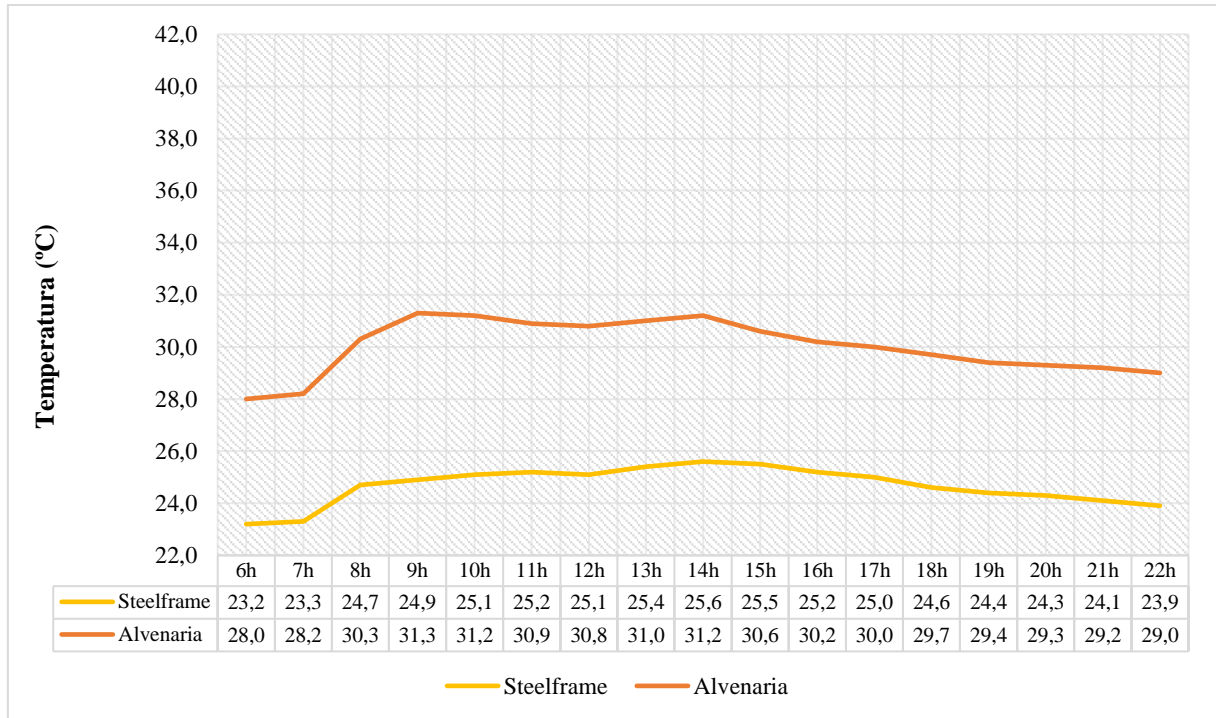
Figura 48 - Gráfico dos resultados das temperaturas do ar e umidade relativa dia 08/04/22



Fonte: Autor (2022).

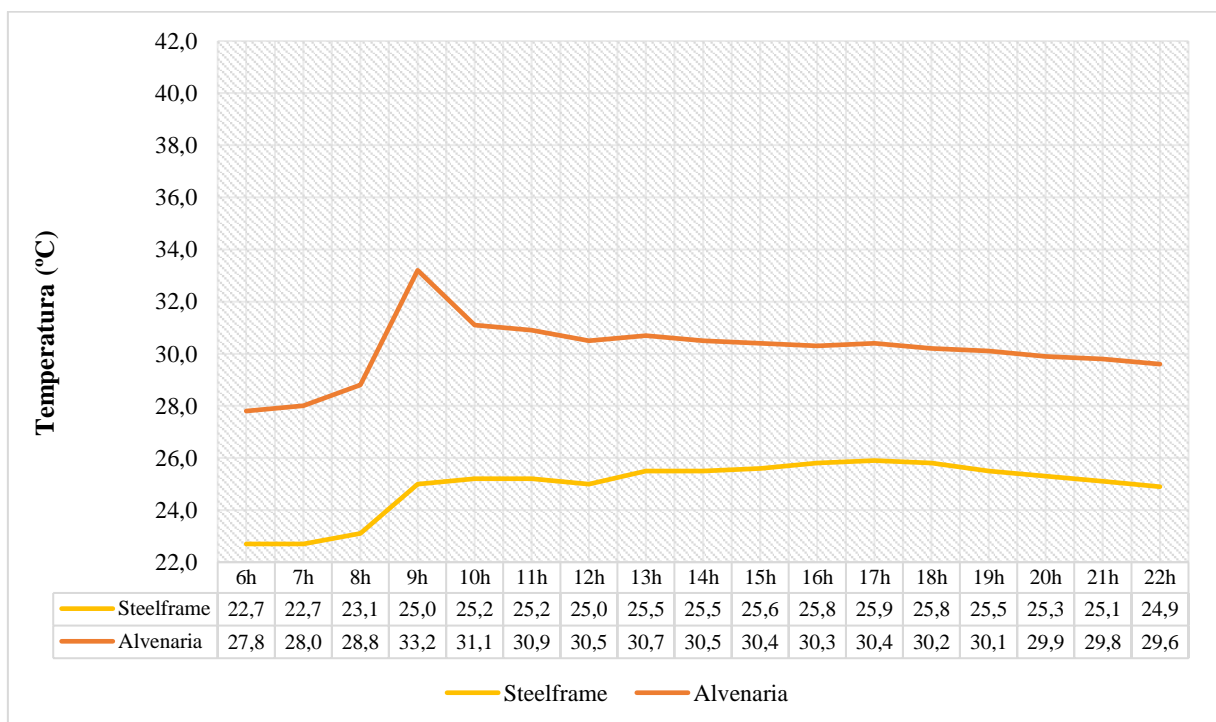
APÊNDICE E – TEMPERATURAS DE GLOBO PRETO

Figura 49 - Gráfico dos resultados das temperaturas de globo preto dia 06/04/22



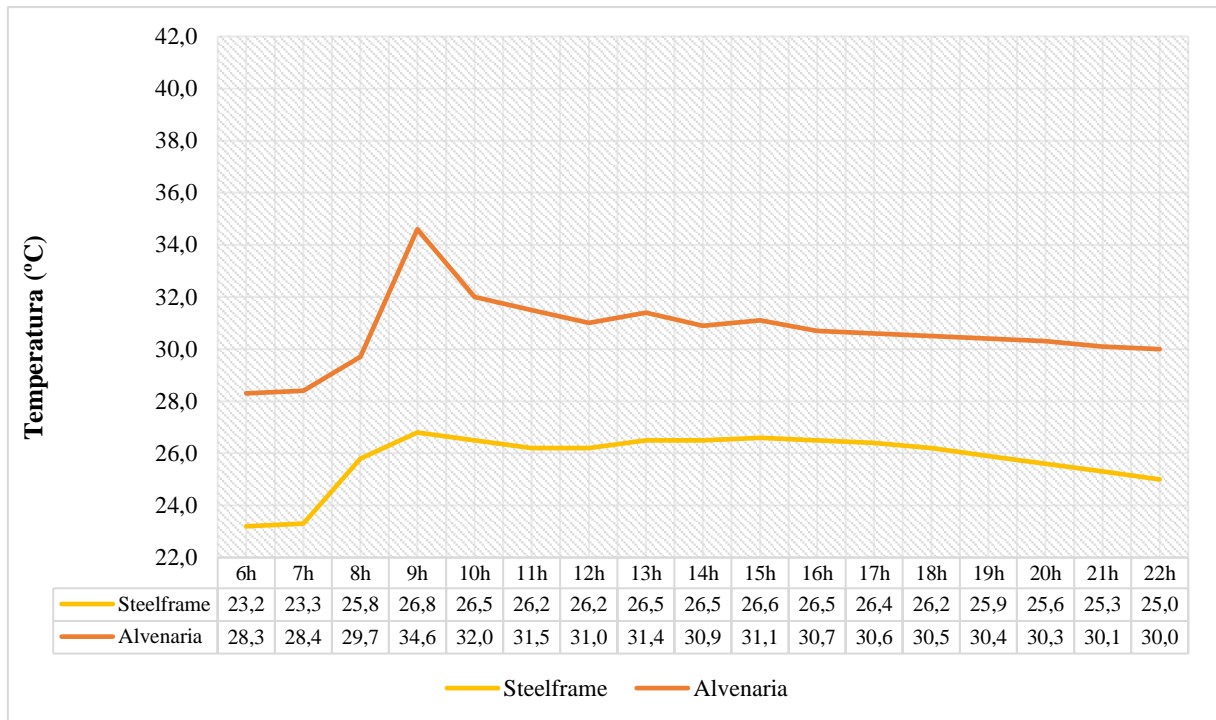
Fonte: Autor (2022).

Figura 50 - Gráfico dos resultados das temperaturas de globo preto dia 07/04/22



Fonte: Autor (2022).

Figura 51 - Gráfico dos resultados das temperaturas de globo preto dia 08/04/22



Fonte: Autor (2022).