



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

JESUINO MESSIAS DE SOUZA NETO

**COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO SEGUNDO A NBR
15.575:2013 ENTRE DOIS SISTEMAS ESTRUTURAIS: PAREDES DE
CONCRETO E ALVENARIA ESTRUTURAL EM PALMAS/TO**

Palmas/TO
2022

JESUINO MESSIAS DE SOUZA NETO

**COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO SEGUNDO A NBR
15.575:2013 ENTRE DOIS SISTEMAS ESTRUTURAIS: PAREDES DE
CONCRETO E ALVENARIA ESTRUTURAL 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 e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientadora: Dra. Orieta Soto Izquierdo

Palmas/TO
2022

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

N469c Neto, Jesuino messias de souza.

Comparação do desempenho térmico segundo a nbr 15.575:2013 entre dois sistemas estruturais: paredes de concreto e alvenaria estrutural em palmas/to. / Jesuino messias de souza Neto. – Palmas, TO, 2022.

86 f.

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

Orientadora : Orieta soto Izquierdo

1. Desempenho térmico. 2. Norma de desempenho nbr 15575. 3. Parede de concreto. 4. Alvenaria estrutural. 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

JESUINO MESSIAS DE SOUZA NETO

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO SEGUNDO A NBR 15.575:2013 ENTRE DOIS SISTEMAS ESTRUTURAIS: PAREDES DE CONCRETO E ALVENARIA ESTRUTURAL EM PALMAS/TO

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

Data de aprovação: 05 /julho / 2022

Banca Examinadora



Prof. Dr. Orieta Soto Izquierdo
Matricula: 22112020
Eng. Civil / UFT

Prof.^a. Dr.^a. Orieta Soto Izquierdo, UFT



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

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



Prof. Ma. Carol Cardoso Moura Cordeiro, UFT

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me mostrado o caminho para chegar até aqui.

Aos meus pais Lázaro Marcelo Ribeiro de Souza e Mônica Lemes Guerra, por terem me incentivado, apoiado e principalmente por toda a cobrança durante os anos de graduação.

À minha namorada Millena Horner Nogueira, por ter me oferecido apoio emocional e por ter me apoiado em todos os momentos que precisei.

Aos meus amigos, Lorrán Michael de Paula Macedo, Gabriel da Silva Vieira, pela amizade conquistada ao longo do curso.

Aos meus professores, em especial as professoras Mariela Cristina Ayres de Oliveira e Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira e ao professor Salmo Moreira Sidel, que contribuíram para o meu enriquecimento intelectual e social dentro da Universidade.

À minha orientadora, Prof^a Dr^a Orieta Soto Izquierdo, pela paciência, pelo seu conhecimento e auxílio em atividades extracurriculares e durante toda essa jornada.

Aos engenheiros civis que conheci durante a graduação, em especial aos que me incentivaram a seguir essa profissão, Eng^a Rayanne Gomes Afonso e Eng^o Ângelo Luiz de Freitas Rodrigues.

RESUMO

As habitações devem suprir as necessidades e exigências do usuário, dessa forma, a escolha dos materiais utilizados influencia diretamente no conforto térmico. Tendo em vista a zona bioclimática de Palmas – TO e suas temperaturas elevadas em grande parte do ano, esse trabalho avaliou o desempenho térmico entre dois tipos de edificações: Alvenaria Estrutural e Parede de Concreto. As avaliações foram realizadas segundo os critérios definidos na NBR 15.575:2013 – Norma de Desempenho. O experimento foi realizado através de medições em apartamentos construídos em Palmas – TO com suas fachadas voltadas para o Oeste e Norte. A coleta de dados foi obtida através de sensores de temperatura e umidade instalados no interior dos quartos dos apartamentos durante o período de 3 dias, ao longo de 24 horas por dia. A realização da pesquisa contribuiu para verificar experimentalmente a viabilidade e atendimento dos sistemas construtivos à norma. Concluiu-se as edificações analisadas não atingiram o desempenho mínimo estipulado pela norma.

Palavras-chave: desempenho térmico; parede de concreto; alvenaria estrutural.

ABSTRACT

Housing must meet the needs and requirements of the user, thus, the choice of materials used directly influences thermal comfort. Considering the bioclimatic zone of Palmas - TO and its high temperatures for most of the year, this work evaluated the thermal performance between two types of buildings: Structural Masonry and Concrete Wall. The evaluations were carried out according to the criteria defined in NBR 15.575:2013 – Performance Standard. The experiment was carried out through measurements in apartments built in Palmas - TO built with their facades facing West and North. Data collection was obtained through temperature and humidity sensors installed inside the apartments' rooms during a period of 3 days, 24 hours a day. The purpose of the research was to experimentally verify the feasibility and compliance of the construction systems with the norm. It was concluded that the buildings analyzed did not reach the minimum performance stipulated by the standard.

Keywords: thermal performance; concrete wall; structural masonry.

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 Transmitância térmica de paredes externas | 36 |
| Tabela 2 Capacidade térmica de paredes externas | 36 |
| Tabela 3 Resistência Térmica de Câmara de Ar não ventiladas..... | 37 |
| Tabela 4 Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar..... | 39 |
| Tabela 5 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão | 40 |
| Tabela 6 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno | 41 |
| Tabela 7 Nível de desempenho..... | 41 |
| Tabela 8 Condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente..... | 48 |
| Tabela 9 Resistência Térmica de Câmara de Ar não ventiladas..... | 48 |
| Tabela 10 Transmitância térmica de paredes externas | 49 |
| Tabela 11 Capacidade térmica de paredes externas | 49 |
| Tabela 12 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão | 51 |
| Tabela 13 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno | 51 |
| Tabela 14 Nível de desempenho..... | 51 |
| Tabela 15 Alcance e precisão de medição..... | 52 |
| Tabela 16 Condutividade térmica dos materiais das paredes de fachada..... | 66 |
| Tabela 17 Levantamento in loco dia 19/03/2022 | 71 |
| Tabela 18 Levantamento in loco dia 20/03/2022 | 71 |
| Tabela 19 Levantamento in loco dia 21/03/2022 | 72 |
| Tabela 20 Levantamento in loco dia 22/03/2022 | 73 |
| Tabela 21 Levantamento in loco dia 23/03/2022 | 74 |
| Tabela 22 Levantamento in loco dia 24/03/2022 | 75 |
| Tabela 23 Temperatura do Ar Externa | 77 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 Seções dos sistemas de vedação vertical das edificações..... | 47 |
| Quadro 2 Valor de absorvância às radiações..... | 49 |
| Quadro 3 Área efetiva de ventilação | 50 |
| Quadro 4 Resultados da transmitância térmica e capacidade térmica..... | 55 |
| Quadro 5 Resultados das aberturas mínimas | 56 |
| Quadro 6 Temperaturas máximas horárias dos três dias consecutivos | 57 |
| Quadro 7 Resultados de temperaturas máximas medidas no terceiro dia | 59 |
| Quadro 8 Seções dos sistemas de vedação vertical das edificações..... | 66 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Matriz de partes e atributos: (a) abordagem prescritiva; (b) baseada no desempenho. | 21 |
| Figura 2 Fluxograma de desempenho térmico | 22 |
| Figura 3 Zoneamento bioclimático brasileiro..... | 23 |
| Figura 4 Carta bioclimática de Palmas - TO | 24 |
| Figura 5 Fôrmas montadas para concretagem em Palmas - TO | 27 |
| Figura 6 Desforma após 3 dias de concretagem em Palmas - TO..... | 29 |
| Figura 7 Ciclo de concretagem..... | 30 |
| Figura 8 Trattoria Casa Angelo em Bento Gonçalves - RS..... | 31 |
| Figura 9 Disposição das tensões no formato do arco | 31 |
| Figura 10 Locação de primeira fiada..... | 33 |
| Figura 11 Bloco cerâmico 19x19x19..... | 34 |
| Figura 12 Bloco de concreto 11,5x19x24..... | 34 |
| Figura 13 Representação dos elementos estruturais | 36 |
| Figura 14 Planta baixa - apartamento em Parede de Concreto..... | 44 |
| Figura 15 Planta baixa - Apartamento em Alvenaria Estrutural | 45 |
| Figura 16 Parede de concreto com espessura de 10,0 cm | 46 |
| Figura 17 Parede de Alvenaria Estrutural com 17,0cm..... | 47 |
| Figura 18 Datalogger HMTGD-1800..... | 52 |
| Figura 19 Termômetro instalado na edificação em Alvenaria Estrutural..... | 53 |
| Figura 20 Termômetro instalado na edificação em Parede de Concreto..... | 53 |
| Figura 21 Altura do globo preto a 1,10 m | 54 |
| Figura 22 Resultados de temperatura do ar no terceiro dia | 58 |
| Figura 23 Resultados de Temperatura do Globo Preto no terceiro dia | 58 |
| Figura 24 Temperatura do Ar 19/03/2022..... | 78 |
| Figura 25 Temperatura do Ar 20/03/2022..... | 78 |
| Figura 26 Temperatura do Ar 21/03/2022..... | 79 |
| Figura 27 Temperatura do Ar 22/03/2022..... | 79 |
| Figura 28 Temperatura do Ar 23/03/2022..... | 80 |
| Figura 29 Temperatura do Ar 24/03/2022..... | 80 |
| Figura 30 Temperatura de Globo Preto dia 19/03/2022 | 81 |
| Figura 31 Temperatura de Globo Preto dia 20/03/2022..... | 81 |

| | |
|---|----|
| Figura 32 Temperatura de Globo Preto dia 21/03/2022 | 82 |
| Figura 33 Temperatura de Globo Preto dia 22/03/2022 | 82 |
| Figura 34 Temperatura de Globo Preto dia 23/03/2022 | 83 |
| Figura 35 Temperatura de Globo Preto dia 24/03/2022 | 83 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| DEW | Temperatura do Ponto de Orvalho |
| 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 |
| NBR | Norma Brasileira |
| RH | Umidade Relativa |
| 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 |
| CT | capacidade térmica |
| e | espessura da parede |
| A | área da seção |
| AA | área efetiva de abertura de ventilação do ambiente |
| AP | área de piso do ambiente |
| $T_{i,m\acute{a}x}$ | valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação |
| $T_{e,m\acute{a}x}$ | valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação |
| $T_{i,m\acute{i}n}$ | valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação |
| $T_{e,m\acute{i}n}$ | valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação |
| % | porcentagem |

J joule
W watt
K kelvin
°C grau celsius

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1 | PROBLEMA DE PESQUISA | 18 |
| 1.2 | Objetivos | 18 |
| 1.2.1 | Objetivo geral | 18 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos | 18 |
| 1.3 | Justificativa | 19 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 20 |
| 2.1 | O conceito de desempenho segundo a construção civil | 20 |
| 2.2 | Zoneamento bioclimático e classificação climática de Palmas/TO | 22 |
| 2.3 | Conceitos físicos de transmissão de calor | 24 |
| 2.3.1 | Convecção | 25 |
| 2.3.2 | Condução | 25 |
| 2.3.3 | Radiação | 26 |
| 2.4 | Parede de Concreto | 27 |
| 2.4.1 | Definição | 28 |
| 2.4.2 | Uso da Parede de Concreto | 28 |
| 2.4.3 | Método construtivo | 29 |
| 2.5 | Alvenaria Estrutural | 30 |
| 2.5.1 | Definição | 32 |
| 2.5.2 | Uso da Alvenaria Estrutural | 32 |
| 2.5.3 | Método construtivo | 33 |
| 2.5.4 | Materiais | 34 |
| 2.6 | Procedimento Simplificado | 36 |
| 2.7 | Procedimento de medição in loco | 40 |
| 2.8 | Trabalhos relacionados ao tema | 41 |
| 3 | METODOLOGIA | 43 |
| 3.1 | Descrição das edificações | 43 |
| 3.1.1 | Edificação em parede de concreto | 43 |
| 3.1.2 | Edificação em alvenaria estrutural | 44 |
| 3.2 | Conforto térmico | 45 |
| 3.2.1 | Procedimento Simplificado | 46 |
| 3.2.2 | Procedimento de medição in loco | 50 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 55 |
| 4.1 | RESULTADOS DO PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO | 55 |
| 4.2 | RESULTADOS DE MEDIÇÃO IN LOCO | 56 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 61 |

| | | |
|-----|---|-----------|
| 5.1 | LIMITAÇÕES DESTA PESQUISA | 61 |
| 5.2 | SUGESTÕES DE PESQUISA | 62 |
| | REFERÊNCIAS | 63 |
| | APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO | 66 |
| | APÊNDICE B – MEDIÇÕES IN LOCO..... | 71 |
| | APÊNDICE C – TEMPERATURAS EXTERNAS | 77 |
| | APÊNDICE D – TEMPERATURAS DO AR..... | 78 |
| | APÊNDICE E – TEMPERATURAS DE GLOBO PRETO | 81 |
| | ANEXO I..... | 84 |
| | ANEXO II..... | 86 |

1 INTRODUÇÃO

A necessidade do ser humano de construir o seu abrigo é fundamental, desde os tempos mais remotos, sendo necessário a proteção e garantia de segurança e conforto para os usuários da moradia. Em cidades como Bento Gonçalves – Rio Grande do Sul na região Sul do Brasil, é comum encontrar residências, principalmente no trajeto turístico conhecido como “Caminhos de Pedra”, com suas paredes construídas por pedras.

Em 1875, os primeiros imigrantes italianos que ali se estabeleceram edificaram suas residências utilizando blocos de pedras como bloco de alvenaria, uma mistura constituída de palha de cereal (milho, arroz e trigo) e fezes de animais como argamassa. Grande parte das estruturas permanecem conservadas até os dias atuais.

Em virtude da alta transmitância térmica das paredes, e das baixas temperaturas na região da Serra Gaúcha, durante o inverno os moradores utilizavam como proteção térmica o armazenamento dos grãos oriundos da colheita no sótão das residências, formando uma espécie de manta térmica. Além disso, durante a noite animais como cavalos e ovelhas eram abrigados dentro das residências elevando a temperatura ambiente devido às suas temperaturas corporais.

Já em regiões com temperaturas mais elevadas, como em Palmas – Tocantins e demais cidades da região Norte, eram mais comuns as residências feitas de taipa, constituída de madeira entrelaçada com seus vazios preenchidos por barro, telhado de palha de Piaçava, palmeira abundante na região. Nestes casos, a intenção era de amenizar a influência do calor no ambiente interno, propiciando um clima agradável para o morador, bem como o menor custo agregado para a construção.

A habitação é responsável por proteger dos perigos e ameaças, bem como manter o clima agradável e confortável no seu interior, haja vista que o bem-estar das pessoas pode depender da sua exposição ao sol, chuva e ventos. Assim, se faz necessário que as habitações sejam, por si só, eficientes quanto ao conforto térmico no seu interior. Devido a isso, com o passar dos anos e evoluções tecnológicas no âmbito da construção civil, foram criados métodos construtivos de baixo custo e alta durabilidade, como as paredes de alvenaria, podendo ser estruturais ou não, e as paredes de concreto.

Em edificações de Alvenaria Estrutural, é necessário que os blocos da construção sejam capazes de resistir fisicamente aos esforços estruturais e impactos acidentais, além de serem capazes de garantir conforto térmico e isolar das intempéries naturais, segundo Tauil (2010).

Já as Paredes de Concreto são elementos maciços compostos por concreto e malha de aço, capazes de suportar carga em seu próprio plano. Seu método de execução é bastante acelerado, possuindo escala de tempo reduzida entre ciclos de montagem e desmontagem das formas (MENIN, 2017).

Devido às diversificações e diferenças regionais dos métodos executivos, torna-se necessário a padronização dos critérios e parâmetros técnicos a serem atendidos, para que todas as edificações possam atender ao usuário de forma agradável, confortável e saudável. Sendo assim, a norma NBR 15.575: 2013 estabelece os requisitos mínimos de habitabilidade quanto ao conforto térmico. Sua última atualização foi em 2021, trazendo atualizações nos seguintes aspectos: Requisitos Gerais; Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas; Requisitos para os sistemas de cobertura.

Para o objeto de estudo, o parâmetro de avaliação utilizado será a NBR 15.575:2013, vigente no ano da construção das edificações analisadas. Possibilitando uma avaliação com os critérios vigentes à data do projeto e construção.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Os modelos construtivos de alvenaria estrutural e parede de concreto, trabalhados na cidade de Palmas – TO, atendem adequadamente aos padrões estabelecidos pela norma de desempenho NBR 15.575:2013 quanto ao desempenho térmico?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico de duas unidades habitacionais ambas construídas em 2019, localizadas em Palmas/TO, sendo uma delas construída em alvenaria estrutural e a outra em paredes de concreto, segundo os critérios da norma de desempenho NBR 15.575:2013.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Verificar se as edificações do empreendimento cumprem com os requisitos mínimos exigidos pela norma NBR 15.575:2013 quanto ao desempenho térmico;

- Identificar as possíveis diferenças entre os dois modelos construtivos;

1.3 Justificativa

A elaboração da norma da NBR 15575/2013 foi desenvolvida diante da necessidade de estabelecer critérios mínimos de desempenho térmico a ser atendido pelas edificações. Para isso, a norma estabelece requisitos e critérios (qualitativos e quantitativos), além de métodos de avaliação como forma de mensurar e estabelecer claramente o seu desempenho.

Desse modo, os construtores e incorporadores devem, não somente atender à norma, como também entender a aplicabilidade dos parâmetros por meio de manuais técnicos e a realização de ensaios. Assim, se faz necessário a verificação das unidades e edificações construídas, para avaliar a adequação à realidade implementada pela norma ao mercado da construção civil.

Em virtude da grande variação climática na cidade de Palmas – TO, tais métodos construtivos foram adotados, visando comparar um modelo novo (Parede de Concreto) que está sendo implementado na região, ao método mais comumente utilizado na região (Alvenaria Estrutural).

Diante das especificidades de cada método, surge o questionamento quanto aos seus desempenhos. Devido à baixa espessura e baixo índice de vazios das paredes de concreto, implica em um raciocínio de que suas instalações não consigam atingir os requisitos e critérios mínimos de desempenho térmico. Em contrapartida, está a alvenaria estrutural, método mais utilizado ao longo da história, mas que, devido aos fatores de “projeto e execução”, podem apresentar variações de desempenho em suas utilizações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será abordado o contexto histórico da habitação popular no Brasil, a classificação de zona bioclimática de Palmas – TO, local de pesquisa e a correlação do clima com as habitações estudadas, observando ainda a influência do fluxo de calor através das paredes e fachadas. Expõe-se também as normas legais com o devido embasamento para as características construtivas dos modelos estudados em parede de concreto e alvenaria estrutural.

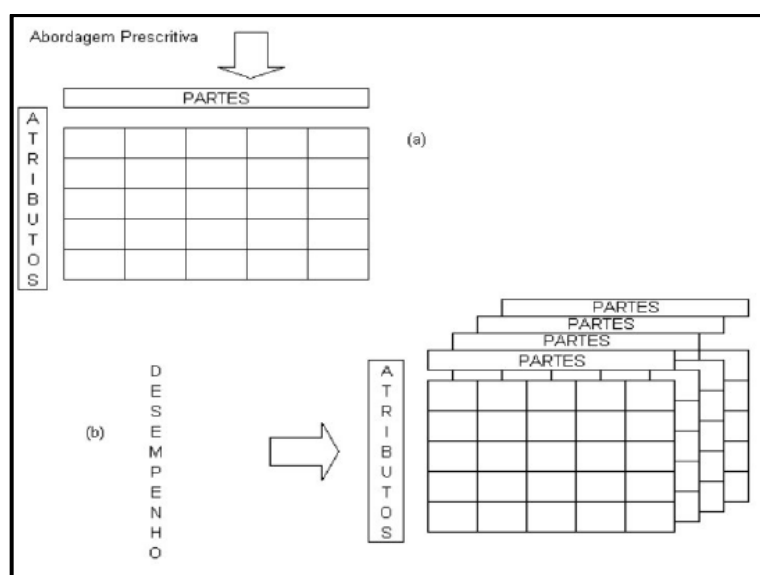
Todos os pontos acima foram e são alvos objetos de estudos para a delimitação e elaboração dos padrões e critérios técnicos mínimos necessários para a construção e regularização de uma edificação.

2.1 O conceito de desempenho segundo a construção civil

Desempenho é definido pela NBR 15575 (2013) como “o comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas”. Sendo o comportamento dependente do meio em que a edificação está exposta. Segundo Gibson (1982), a perspectiva de se construir com base no desempenho pode ser conceituada como a prática de se pensar em termos de fins e não de meios, ou seja, o requisito a ser atendido é o fator primordial na consideração dos métodos construtivos adotados, não havendo recomendação direta entre um e outro, desde que atendam aos requisitos.

Na abordagem prescritiva, primeiro define-se as soluções a serem adotadas para o conforto térmico, enquanto na abordagem voltada ao desempenho, primeiro define-se os atributos a serem atendidos e, posteriormente encontra-se as soluções. Desta forma, o desempenho final é apenas um resultado destas soluções. A diferença entre as perspectivas de construir com base no desempenho e a abordagem tradicional prescritiva, segundo (BORGES, 2008) é exposta na Figura 1.

Figura 1 Matriz de partes e atributos: (a) abordagem prescritiva; (b) baseada no desempenho.



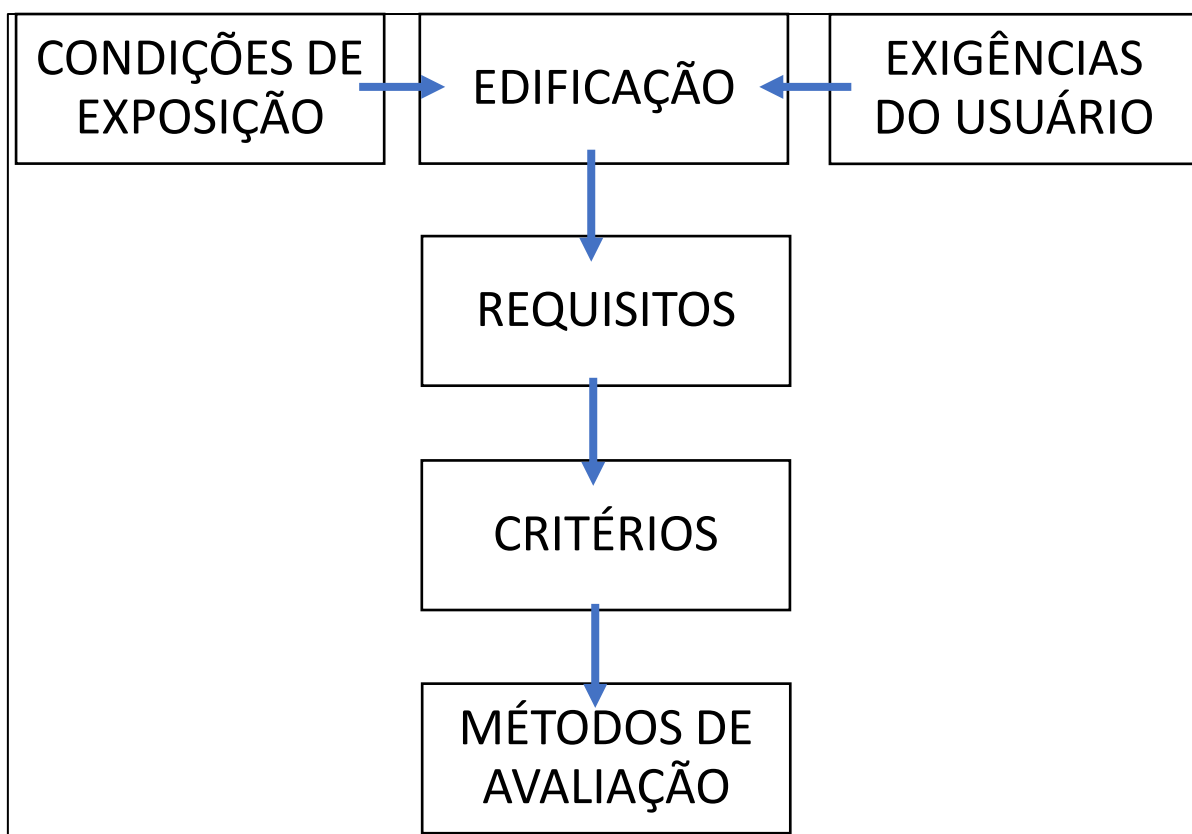
Fonte: BORGES (2008)

O início da implementação desta abordagem baseada no desempenho no âmbito da construção civil foi extremamente desafiador, visto que era necessário criar requisitos e critérios para expressar as necessidades dos usuários que pudessem ser medidos de forma clara e objetiva, adequando-se às condições de uso e à realidade socioeconômica da região. Devido à subjetividade e variações das necessidades dos usuários, este trabalho torna-se complexo. Portanto, outras áreas de conhecimento como a fisiologia, psicologia, sociologia, antropologia e ergonomia são fundamentais na determinação dos requisitos e critérios de atendimento. Ainda assim, a adoção da abordagem de desempenho de forma complementar à abordagem tradicional prescritiva é o método mais efetivo para se atender às necessidades do usuário. (BORGES, 2008).

Além das áreas apresentadas, os requisitos e critérios para o desempenho também estão sujeitos às características físicas e climáticas como as condições de exposição, uso e operação dela. Borges (2008) enfatiza que as condições de exposição atuantes sobre uma edificação decorrem tanto de fatores internos quanto externos, apontando que a localização da edificação é fator preponderante para a definição de níveis mínimos de desempenho para parte dos requisitos. Além disso, o autor relata sobre as condições de uso e operação, estes ligados ao usuário, são significativas para a manutenção e garantia de bom desempenho com o passar do tempo. Tais condições devem ser definidas em projeto segundo o perfil do usuário que fará o uso da edificação, cabendo a ele o cumprimento destas especificações.

Diante do exposto, conclui-se que o papel das especificações de desempenho consiste em sintetizar atributos subjetivos como as necessidades do usuário e o amoldamento às condições de exposição da edificação em requisitos qualitativos que expressem esses atributos. Para atender aos requisitos, é necessário o atendimento de critérios de desempenho de forma quantitativa. Tais critérios, por sua vez, devem ser verificados através de métodos de avaliação padronizados. Esse esquema é demonstrado a partir da Figura 2:

Figura 2 Fluxograma de desempenho térmico

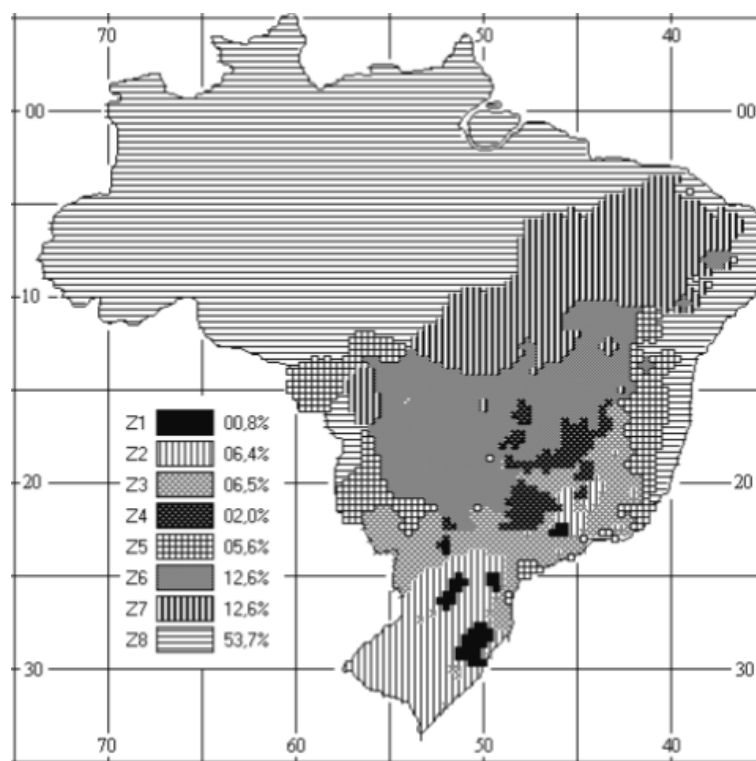


Fonte: Autor

2.2 Zoneamento bioclimático e classificação climática de Palmas/TO

Atualmente, o Brasil é dividido em 26 Estados e 1 Distrito Federal, totalizando 27 unidades federativas, sua localização geográfica está, majoritariamente, entre a linha do equador ao norte e trópico de capricórnio ao sul. Em virtude de sua grande extensão territorial e diversidade climática, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) realizou o zoneamento em oito zonas bioclimáticas conforme indicado na Figura 3, visando contribuir para o subsídio de técnicas construtivas das edificações quanto ao seu desempenho térmico.

Figura 3 Zoneamento bioclimático brasileiro



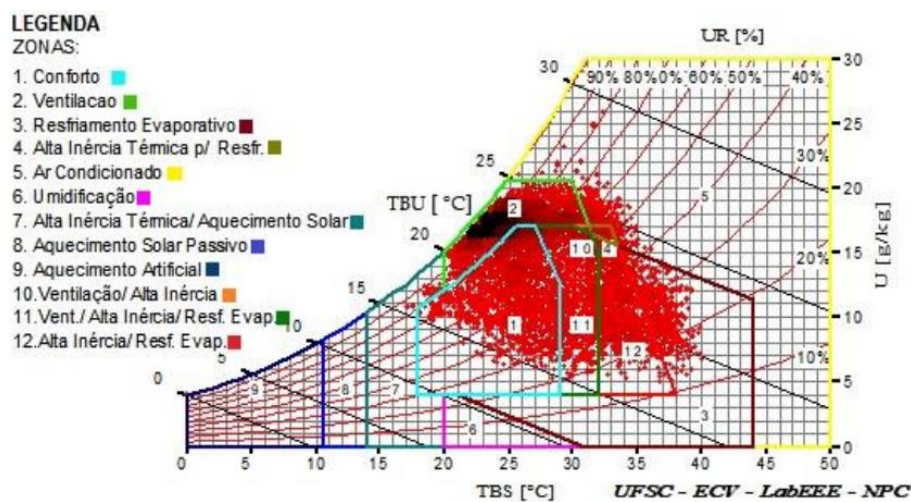
Fonte: NBR 15220-3:2005

Segundo a NBR 15220-3 (ABNT,2005) a definição de zonas climáticas trata-se da “região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano”. Conforme os seguintes parâmetros: temperatura de bulbo seco; umidade relativa do ar; velocidade do vento; radiação solar incidente para dias de maior e menor temperatura anual, são definidos os dias de verão e inverno.

A classificação do município de Palmas – TO encontra-se dentro da zona bioclimática 7 (Z7), a qual abrange cerca de 12,6% do território nacional. Conforme as recomendações da norma, para as edificações em Palmas é indicado o uso das seguintes características: aberturas para ventilação pequenas com sombreamento; vedação externa de parede pesada; cobertura pesada, de modo que o atendimento aos requisitos de conforto térmico seja cumprido efetivamente.

Com base nos dados climáticos, Ferraz (2019) elaborou a carta bioclimática de Palmas apresentada na Figura 4, confirmando o zoneamento climático da norma NBR 15.220-3 ABNT (2005), através do uso da Carta Bioclimática de Baruch Giovani, adaptada para o uso em países de clima quente, como o Brasil LAMBERTS (1997).

Figura 4 Carta bioclimática de Palmas - TO



Fonte: FERRAZ, 2019

Em análise realizada na carta, concluiu-se que a região apresenta desconforto climático em 74,3% das horas anuais. Dessa forma a principal estratégia passiva de resfriamento indicada é a de ventilação, sendo complementada pela estratégia de resfriamento evaporativo.

Seguindo as recomendações normativas através das estratégias passivas de resfriamento, as edificações na cidade de Palmas conseguem manter boa eficiência energética, devido à baixa necessidade do tempo de utilização de sistemas artificiais de resfriamento, como o de aparelhos de ar-condicionado.

2.3 Conceitos físicos de transmissão de calor

Para a compreensão básica de comportamento térmico das edificações, se faz necessário uma base conceitual de fenômenos de trocas térmicas. Diante desse conhecimento, é possível também um melhor entendimento quanto ao relacionamento do organismo humano e o meio ambiente térmico (FROTA, 2001).

Adotando os conceitos da 3ª Lei de Newton: Lei da Ação e Reação, de que todo corpo ao receber uma ação, provoca uma reação, podemos conceituar um princípio básico de transmissão térmica, onde um corpo aquecido por uma fonte externa de calor, tende a aquecer outro corpo em contato, como uma massa de ar no seu interior.

É possível então afirmar que para que haja transmissão de calor, é necessário que haja dois corpos em temperaturas diferentes interagindo entre si, onde o corpo mais “quente” perde calor, e o corpo mais “frio” recebe calor.

Neste capítulo, descreveremos apenas as trocas secas, sem o envolvimento de água, denominados Convecção, Condução e Radiação.

2.3.1 Convecção

Segundo Frota e Schiffer (2001), convecção é a troca de calor entre dois corpos, sendo um deles sólido e o outro um fluido (líquido ou gás). A intensidade do fluxo térmico por convecção está definida pela equação:

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

Onde:

q_c – intensidade do fluxo de calor por convecção (W/m^2);

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

t – temperatura do ar ($^\circ C$);

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

Nota – se que a intensidade do fluxo térmico por convecção, é diretamente ligado à temperatura do ar e à temperatura da superfície do sólido, nesse estudo, a parede.

O coeficiente das trocas térmicas está relacionado ao sentido do fluxo de ar, onde nas paredes horizontais, esse coeficiente muda se o fluxo é ascendente ou descendente, vez que a quantidade de calor transmitido nas duas situações depende das facilidades de deslocamento do ar que sofre convecção (PERALTA, 2006).

2.3.2 Condução

A condução ocorre quando há transferência de calor entre dois corpos diferentes em temperaturas distintas, que estejam em contato, onde o fluxo de transferência de calor parte da maior em temperatura em direção à menor temperatura. Segundo Peralta (2006), a condutividade térmica em edificações é definida como “um processo de transferência de calor através de materiais sólidos (parede ou telhado) do lado mais quente para o lado mais frio do elemento da edificação”.

A intensidade do fluxo térmico por condução é demonstrada pela equação:

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

Onde:

q_{cd} – intensidade do fluxo de calor por condução (W/m²);

λ – coeficiente das trocas térmicas por convecção (W/m°C);

e – espessura do material (m);

θ_e – temperatura da superfície externa (°C);

θ_i – temperatura da superfície interna (°C).

Nota – se que a intensidade do fluxo térmico está diretamente ligada à espessura do elemento, dessa forma, entende-se que quanto maior a espessura, menor o fluxo térmico por condução.

2.3.3 Radiação

Ao contrário da condução, a transmissão de calor por radiação acontece sem que haja contato entre os corpos. Essa troca de energia é oriunda da capacidade eletromagnética natural que há em todo corpo. Quando absorvida, essa energia eletromagnética é capaz de gerar efeitos térmicos, podendo ser propagada até mesmo no vácuo.

A intensidade do fluxo térmico por radiação é medida segundo a equação:

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

Onde:

q_r – intensidade do fluxo de calor por radiação (W/m²);

h_r – coeficiente das trocas térmicas por radiação (W/m°C);

θ_e – temperatura da superfície (°C);

θ_i – temperatura radiante relativa às demais superfícies (°C)

O coeficiente h_r é um parâmetro simplificado resumindo todos os fatores que influenciam nas trocas de radiação, inclusive a emissividade (propriedade que mede a intensidade de emissão de energia térmica) do material.

2.4 Parede de Concreto

A implantação do Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) permitiu ao setor de produção de empreendimentos multifamiliares o aprimoramento e desenvolvimento de novas técnicas construtivas, visando benefícios como: diminuição do custo; menor tempo de execução podendo alcançar a produtividade de um pavimento com 8 apartamentos em 24 horas.

As paredes de concreto podem ser construídas com fôrmas metálicas e poliméricas. Em 1995 na Colômbia, surge a Forsa, atualmente uma multinacional referência mundial em fôrmas metálicas estando presente na construção civil em mais de 30 países, incluindo o Brasil. A nível nacional, fundada em 1991, foi inaugurada a Atex. Empresa que vem criando soluções aplicáveis não somente para as paredes de concreto, como também em estruturas de concreto armado através de suas fôrmas poliméricas (PENNA, 2021).

Na Figura 5, apresenta-se um jogo de fôrmas montado pronto para executar a concretagem.

Figura 5 Fôrmas montadas para concretagem em Palmas - TO



Fonte: Smart Construtora e Engenharia, 2021

Ainda que seja um método construtivo existente no mercado há cerca de 52 anos, no Brasil as paredes de concreto passaram a ser utilizadas por volta dos anos 2000 (Nakamura, 2009). Grandes incorporadoras brasileiras como MRV, Tenda e Direcional, presentes no

mercado da construção civil há mais de 40 anos, adotam este método em seus empreendimentos. Em Palmas, a Smart Construtora e Engenharia, fundada em 2021, vem crescendo no mercado de incorporação imobiliária através da utilização de paredes de concreto em seus empreendimentos.

A norma de paredes de concreto moldadas *in loco* NBR 16.055:2012 entrou em vigor a partir do dia 10 de maio de 2012, um mês após ser publicada. Mesmo sendo utilizado há cerca de 30 anos, a normatização dos processos de dimensionamento e execução vieram somente após a norma.

2.4.1 Definição

Segundo a NBR 16.055 (ABNT, 2012), parede de concreto é um elemento estrutural autoportante, moldado no local, com comprimento maior que dez vezes a sua espessura e capaz de suportar carga no mesmo plano da parede.

2.4.2 Uso da Parede de Concreto

O cenário atual da construção civil tem passado por seguidas taxas de crescimento, passando pela busca de processos e sistemas mais eficientes. Com a escassez de mão de obra, a racionalização de recursos e industrialização dos canteiros tem sido o foco de gestores em todas as incorporadoras brasileiras do segmento.

No Brasil, empresas como a MRV, Tenda e Direcional, acumulam juntas mais de 630 mil unidades habitacionais entregues ao longo de suas histórias, estando presentes em mais de 20 estados brasileiros, tendo em comum o mesmo modelo construtivo.

Através do uso das paredes de concreto, é possível que o tempo de construção de toda estrutura de uma torre de 5 pavimentos ocorra em até 10 dias (MENIN, 2017). Com isso, cria-se uma grande economia no custo final do produto, trazendo a garantia de um produto acessível e com qualidade para o consumidor.

Devido à planicidade das fôrmas, o acabamento é facilitado, uma vez que as superfícies ficam lisas e uniformes, dispensando o uso de reboco, o que torna a espessura da parede fina e ainda garantindo baixa condutibilidade térmica, este, resultado de testagens laboratoriais para elaboração do traço de concreto autoadensável utilizado (MENIN, 2018). A Figura 6 representa as paredes de concreto prontas após 3 dias da concretagem.

Figura 6 Desforma após 3 dias de concretagem em Palmas - TO



Fonte: Smart Construtora e Engenharia, 2021

O principal produto desta industrialização, é um canteiro de obra com materiais racionalizados, mão de obra reduzida e tempo otimizado, garantindo assim uma alta produtividade, aliada à maior qualidade do produto.

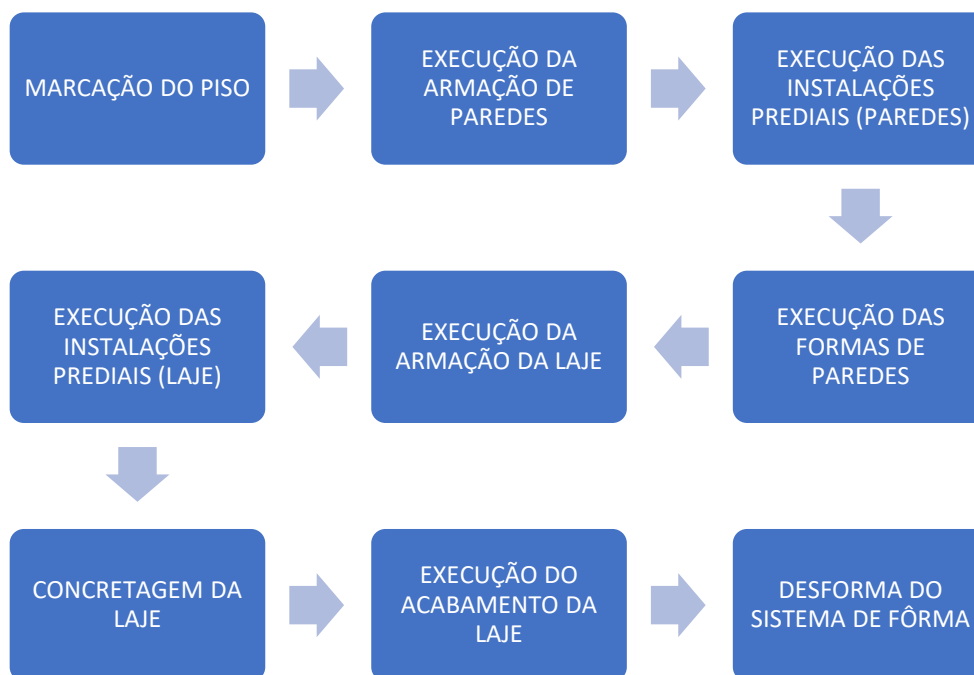
2.4.3 Método construtivo

Basicamente, o sistema emprega um jogo de fôrmas, telas de aço e concreto. Sendo indicado para a construção em grande escala, é utilizado majoritariamente em obras residenciais. Embora um conjunto de fôrmas tenha um custo elevado, sua utilização em diversas obras permite que o custo seja diluído, visto que podem ser utilizados em até duas mil vezes, aponta Graziano (2011).

A organização e o planejamento do empreendimento são fatores preponderantes na minimização dos riscos de não conformidades e que visam a garantia de custos e prazos. Durante esta etapa estas são as principais variáveis: plano de ataque da obra, planejamento executivo, agenda de contratações, fornecedores e plano de monitoramento. (ARÊAS, 2013).

Em obras de edificação residencial, é desejável que o ciclo de construção representado na Figura 7 aconteça em um único dia. Dessa forma, o sistema de fôrma precisa ser desformado e, em seguida, levado para o próximo local onde ocorrerá a concretagem, montado e concretado novamente, assim seguindo até o último pavimento/módulo.

Figura 7 Ciclo de concretagem



Fonte: Pimenta, 2007

Em resumo, o processo consiste na montagem das fôrmas metálicas ou plásticas e preenchimento de concreto. As instalações prediais elétricas e hidráulicas são posicionadas junto às armações e amarradas, garantindo o espaçamento necessário. Geralmente, são criados nos canteiros de obras, sistemas que permitem a elaboração de “kits” de instalações, de forma que os ramais, prumadas e chicotes elétricos já sejam posicionados prontos antes da concretagem.

Sendo um sistema construtivo racionalizado e com um planejamento objetivo e detalhado da obra, reduz-se a aplicação de atividades artesanais e improvisações o que contribui para a economia em mão de obra no canteiro (ARÊAS, 2013).

Ainda que a diminuição de mão de obra não seja o objetivo das construções com parede de concreto, essa economia é oriunda da otimização de etapas e criação de tecnologias aplicadas. Indiretamente, o resumo de custos com aluguel de maquinários e equipamentos, menor consumo de materiais e custos habitacionais para os trabalhadores, é todo oriundo do menor tempo empregado para a construção de uma edificação (ARÊAS, 2013).

2.5 Alvenaria Estrutural

As principais e mais remotas construções da história, geram ainda hoje impressionabilidade a quem vê, graças a seus aspectos estruturais e arquitetônicos, compostos por blocos de pedra ou material cerâmico. Construções como o Coliseu Romano na Itália e as Pirâmides no Egito possuem em comum o método construtivo utilizado, bem como as edificações em Bento Gonçalves – RS, representados a seguir pela Figura 8.

Figura 8 Trattoria Casa Angelo em Bento Gonçalves - RS

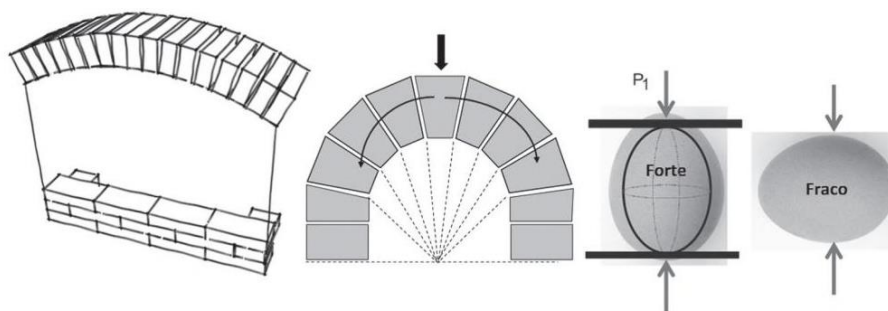


Fonte: Autor, 2019

No princípio, as edificações construídas em pedra, já havia a preocupação quanto à modulação dos blocos irregulares, realizando a disposição de unidades amarradas entre diferentes fiadas. Mesmo com a ausência de material ligante, os pesos das pedras garantiam a estabilidade frente às ações verticais e horizontais.

Eram comuns a utilização de arcos para a construção de vãos, uma vez que as tensões de tração poderiam levar à ruptura do material. Devido à disposição dos elementos, as pedras em arco eram capazes de resistir aos esforços, tal qual a casca de ovo (MOHAMAD, 2015) conforme a Figura 9.

Figura 9 Disposição das tensões no formato do arco



Fonte: Construções em Alvenaria Estrutural, 2015

No Brasil, a técnica construtiva ganhou força no final da década de 1960, pois o pouco conhecimento a respeito da sua execução, era considerado empírico, uma consequência da falta de regulamentação explicitando critérios de dimensionamento e de segurança dos elementos estruturais (MOHAMAD, 2015). Camacho (1986) observa que, no princípio da alvenaria estrutural, as construções antecederam as pesquisas na área e estavam concentradas em algumas regiões, como São Paulo (1970) e em Porto Alegre (1984-1985). Durante esses períodos, era comum que edificações de até quatro pavimentos obedecessem aos critérios adotados por experiência dos projetistas.

2.5.1 Definição

Segundo Tauil (2010), chamamos de alvenaria o conjunto de peças justapostas coladas em sua interface, por uma argamassa apropriada, formando um elemento vertical coeso. Esse conjunto, deve ser autoportante, capaz de resistir a impactos, promover segurança, garantir conforto térmico e isolar das intempéries naturais.

Além desses benefícios, essenciais à função, a alvenaria de blocos de concreto também pode proporcionar relevantes vantagens no processo de construção. Em alvenaria estrutural, não são utilizados pilares e vigas, pois essa função é distribuída uniformemente ao longo das paredes.

2.5.2 Uso da Alvenaria Estrutural

O ano de 1966 foi onde iniciou-se o emprego de blocos de concreto em alvenarias estruturais armadas no Brasil, com a construção do conjunto habitacional Park Lapa, em São Paulo. Em 1980, começaram a ser utilizados os blocos cerâmicos e de concreto nas obras em alvenarias estruturais não armadas ou armadas, com a introdução no mercado de unidades

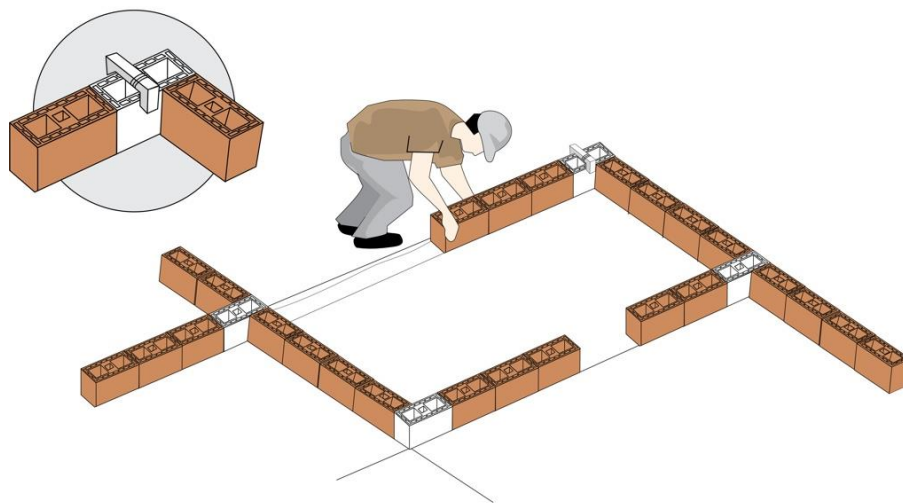
com dimensões modulares e furos verticais, possibilitando a passagem de instalações elétricas sem efetuar rasgos.

A alvenaria estrutural possui relevantes vantagens econômicas, em virtude da otimização de tarefas no canteiro de obras através de técnicas de execução simplificadas, aliadas a um controle das etapas construtivas, eliminando interferências e gerando redução de resíduos.

2.5.3 Método construtivo

Inicialmente, assim como o processo de parede de concreto, é efetuado a locação das fiadas a serem executadas acompanhando o projeto de fiadas ímpares. Junto a isso, serão marcados os blocos que irão receber armaduras e grauteamento (Blocos, 2019) conforme Figura 10. É recomendado que o grauteamento nunca ultrapasse a altura de 1,5 metros, para que não haja o aparecimento de bicheiras.

Figura 10 Locação de primeira fiada



Fonte: Selecta - soluções em bloco

O processo de levante de alvenaria é mais longo. Iniciando com a colocação da segunda fiada, conforme projeto de fiadas pares. Posteriormente, serão alternados os projetos de fiadas pares e ímpares. Em alvenarias com aberturas de portas e janelas, é de extrema importância observar o projeto de paginação, de modo a executar as vergas e contra vergas.

2.5.4 Materiais

Os principais materiais empregados na construção com alvenaria estrutural são: blocos, argamassa, graute e armadura.

2.5.4.1 Blocos

Dentro do planejamento de construção em alvenaria estrutural, é de relevante que seja definido o tipo de bloco a ser utilizado, pois ele influi diretamente em critérios técnicos de projeto, como dimensionamento de ambientes e espessura de paredes. Além de contribuir em aspectos econômicos e relativos ao desempenho.

Os principais aspectos importantes para a sua escolha são: disponibilidade de matéria prima na região da edificação, mão de obra qualificada e propriedades e características do material (RAUBERR, 2005).

No Brasil, os principais blocos utilizados são de concreto e de cerâmica, representados nas Figuras 11 e 12 Tais aspectos são contribuintes para o desempenho individual do bloco, vez que o material utilizado oferece diferentes resistências estruturais, fator primordial em sua escolha.

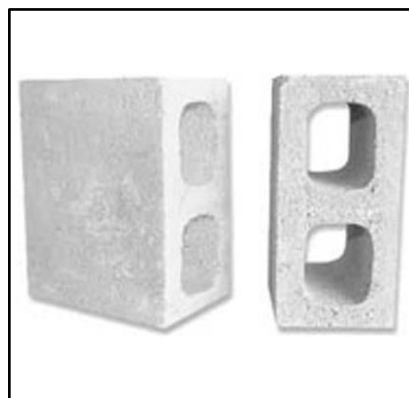
Quanto à classificação por sua forma, podem ser maciços ou vazados, segundo a NBR 6136:2016, podem ser classificados como vazados os blocos com proporção de vazios superior a 25% de sua área total.

Figura 11 Bloco cerâmico 19x19x19



Fonte: Selecta – soluções em bloco

Figura 12 Bloco de concreto 11,5x19x24



Fonte: Nova Precil

2.5.4.2 Argamassa

Camacho (2006) define argamassa como o componente ligante utilizado entre as faces dos blocos, evitando concentração de tensões em determinados pontos, sendo composta de: cimento; agregado miúdo; água e cal, podendo receber aditivos para melhorar determinadas propriedades.

O cimento confere resistência e durabilidade à argamassa, a cal é um aditivo responsável pela trabalhabilidade, retenção de água e plasticidade, e a areia proporciona o enchimento e resistência da mistura, além de diminuir o assentamento da massa, evitando retração (TAUIL E NESE, 2010).

Alguns aspectos importantes devem ser analisados na argamassa para garantir qualidade adequada, como: trabalhabilidade, espessura da junta e resistência à compressão. Segundo Roman, Mutti & Araújo (1999), a argamassa de boa trabalhabilidade deve ser espalhar sobre o bloco e aderir às superfícies verticais, ter uma consistência que facilite o alinhamento do bloco sem que haja escorrimto da argamassa (apud NETO, 2006)

2.5.4.3 Graute

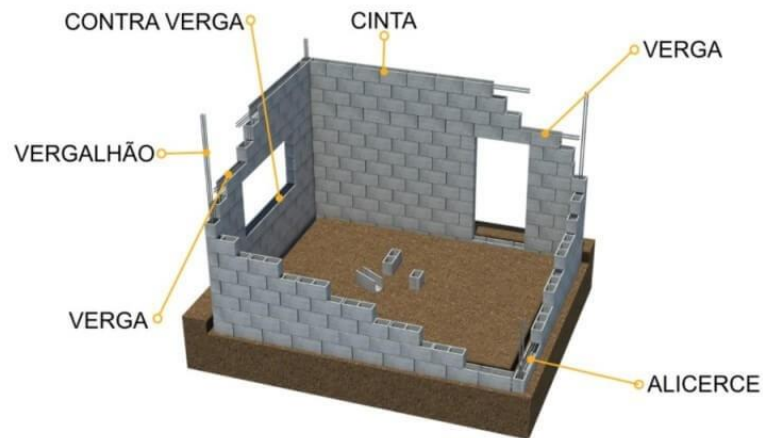
O graute é um composto de areia, pedrisco, cimento e cal, diferindo do concreto devido ao tamanho do agregado graúdo, sendo mais fino e apresenta maior relação água/cimento, garantindo maior trabalhabilidade. Segundo Tauil e Nesse (2010), graute é um concreto com agregados miúdos e destinado ao preenchimento dos vazios dos blocos, em locais especificados pelo projetista.

Manzione (2004) classifica sua função em aumentar a resistência da parede à compressão, em razão do aumento da seção transversal do bloco. Quando combinado com armaduras em seu interior, o graute também é responsável por combater esforços de tração (apud NETO, 2006).

2.5.4.4 Armadura

As armaduras empregadas na utilização de alvenaria estrutural são as mesmas adotadas em edificações de concreto armado Camacho (2006). Afirma Neto (2006), que as mesmas, quando adotadas junto ao graute, possuem função de combater os esforços de tração na alvenaria. Sua disposição dentro da alvenaria pode ser horizontal ou vertical. A Figura 13 apresenta a disposição dos elementos de armaduras empregados.

Figura 13 Representação dos elementos estruturais



Fonte: Aqui Projetos, 2020

2.6 Procedimento Simplificado

O procedimento simplificado deve ser aplicado ainda em fase de projeto, considerando-se a edificação como um todo. Conforme a Parte 4 da Norma de Desempenho, os sistemas de vedação vertical externos necessitam atender aos critérios de Transmitância Térmica (U), Capacidade Térmica (C_T) e abertura mínima de ventilação.

As tabelas a seguir apresentem os valores dos critérios exigidos pela norma:

Tabela 1 Transmitância térmica de paredes externas

| Transmitância Térmica (U) W/ (m ² . 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 a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede | | |

Fonte: Autor, adaptado da 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: Autor, adaptado da NBR 15575-4:2013

A Tabela 1 e Tabela 2 apresentam os requisitos de transmitância térmica e capacidade térmica para as paredes de vedação externa, respectivamente.

Segundo a NBR 15575-1:2013, a absorptância à radiação solar (α) da superfície de vedação externa é definida conforme a cor da pintura da fachada da edificação, ou do tipo de material usado. Caso a absorptância das cores não tenha sido especificada em projeto, os seguintes valores são adotados:

- 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 NBR 15220-2:2005. Para a obtenção dos valores de transmitância térmica, é necessário primeiro realizar o cálculo da Resistência Térmica (R) de cada seção. As seções são definidas por um conjunto de materiais de uma face à outra do sistema de vedação.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (1)$$

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

Tabela 3 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 | $1,0 \leq e \leq 2,0$ | 0,29 | 0,23 | 0,29 |

| | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|------|------|------|
| emissividade $\varepsilon > 0,2$ | $2,0 \leq e \leq 5,0$ | 0,37 | 0,25 | 0,43 |
| | $e > 5,0$ | 0,34 | 0,27 | 0,61 |

Fonte: Autor, adaptado da NBR 15220-2:2005

Com os valores da resistência térmica de cada seção calculados, calcula-se a Resistência Térmica Total (R_T), através da Equação (2).

$$R_t = \frac{AS_1 + AS_2 + \dots + A_n}{\frac{AS_1}{R_{S1}} + \frac{AS_2}{R_{S2}} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (2)$$

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 (3)

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

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 ($m^2.K/W$).

Com a resistência térmica total calculada, encontra-se a transmitância térmica através da Equação (4).

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$

Onde:

U - transmitância térmica ($W/m^2.K$);

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

Para a obtenção dos valores de capacidade térmica, é calculado inicialmente a capacidade térmica de cada seção, através da Equação (5):

$$C_T = \sum_{i=1}^n e \cdot c \cdot \rho \quad (5)$$

Onde:

C_t - capacidade térmica de cada material ($kJ/m^2.K$);

e - espessura da camada do material (m);

c - calor específico (kJ/kg.K);

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

E Equação (6):

$$C_T = \frac{AS_1 + AS_2 + \dots + A_n}{\frac{AS_1}{C_{tS_1}} + \frac{AS_2}{C_{tS_2}} + \dots + \frac{A_n}{C_{tn}}} \quad (6)$$

onde:

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

A - áreas de cada seção (m²);

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

Quanto ao critério de aberturas para ventilação, a NBR 15575-4:2013 estabelece que os ambientes de permanência prolongada possuam aberturas para a ventilação com áreas que atendam à legislação municipal. Caso contrário, os valores mínimos devem se enquadrar nos valores descritos na Tabela 4.

Tabela 4 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 NBR 15575-4:2013.

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

Para cada ambiente de longa permanência, é considerada a seguinte relação:

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

Onde:

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

A_P - área de piso do ambiente (m²).

Para realizar o levantamento da área efetiva de ventilação, considera-se somente as aberturas que permitam a livre circulação do ar, descontando 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 área aberta resultante do deslocamento da folha móvel da porta é computada (NBR 15575:2013).

2.7 Procedimento de medição in loco

A medição in loco verifica o desempenho térmico em condições climáticas reais, podendo ser realizado em edificações já existentes ou em protótipos, sendo possível constatar o comportamento da edificação em dias típicos de verão ou inverno.

A realização do ensaio é realizada através da instalação de sensores de temperatura no interior e exterior da edificação. A norma orienta que as medições sejam realizadas durante 3 (três) dias consecutivo com características climáticas semelhantes. Para análise dos dados, os valores considerados são apenas do terceiro dia de medição.

Os critérios de avaliação de desempenho térmico para as condições de verão e inverno são apresentados na Tabela 5 e Tabela 6, respectivamente.

Para o verão, a NBR 15575-1:2013 estabelece que o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

| Nível de desempenho | Critério | |
|---------------------|--|--|
| | Zonas 1 a 7 | Zona 8 |
| Mínimo | $T_{i,max} \leq T_{e,max}$ | $T_{i,max} \leq T_{e,max}$ |
| Intermediário | $T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}\text{C})$ | $T_{i, máx.} \leq (T_{e, máx.} - 1^{\circ}\text{C})$ |
| Superior | $T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 4^{\circ}\text{C})$ | $T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,mín} \leq (T_{e,mín} + 1^{\circ}\text{C})$ |

$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;

$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

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

Fonte: NBR 15575:2013

Para a zona bioclimática 7, os critérios de desempenho no inverno são dispensáveis, segundo Tabela 6.

Tabela 6 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

| Tabela 7 Nível de desempenho | Critério | |
|--|--|--|
| | Zonas bioclimáticas 1 a 5 | Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8 |
| Mínimo | $T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3\text{o C})$ | Nestas zonas, este critério não deve ser verificado. |
| Intermediário | $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 5^{\circ}\text{C})$ | |
| Superior | $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 7^{\circ}\text{C})$ | |
| <p>$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p>$T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.</p> <p>NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p> | | |

Fonte: NBR 15575:2013

2.8 Trabalhos relacionados ao tema

Segundo Neves (2015), a Alvenaria Estrutural possui boa resistência ao fogo, estanqueidade, isolamento térmico e acústico. Os blocos de concreto ou cerâmica devem atender aos requisitos da NBR 15.575:2013, sendo necessário cuidado e controle quanto à sua execução, diminuindo a possibilidade de erro humano. Para que não haja deterioração natural dos blocos, é necessário correta utilização de argamassa, de forma que não haja possíveis pontos de infiltrações, bem como correta utilização dos tipos de revestimentos. Ainda conforme seu estudo, entendeu-se que em zonas bioclimáticas com grande variação térmica deve haver atenção aos métodos adotados.

Gonçalves (2020), realizou sua análise em protótipos na cidade de Palmas – TO. O método adotado foi o método teórico recomendado pela NBR 12.220:2005, através de

medições realizadas in loco. Segundo o estudo, os protótipos atingiram resultados satisfatórios referentes à capacidade térmica e transmitância térmica da cobertura e vedação vertical. No entanto, segundo os critérios da NBR 15.575:2013, os resultados foram insatisfatórios. Na maior parte do tempo, a temperatura interior foi maior do que a externa. Desse modo, constatou-se que a medição pelo método simplificado não se torna eficiente, pois os resultados encontrados foram inconclusivos.

Corrêa (2018) realizou medições in loco, onde constatou que as edificações habitacionais atenderam parcialmente aos critérios de desempenho térmico, manutenibilidade e acessibilidade segundo a NBR 15.575:2013, necessitando de ajustes. Enquanto para o critério de funcionalidade, o desempenho foi satisfatório. Ainda segundo ele, os parâmetros para avaliação da norma são pouco criteriosos.

Oliveira e Alves (2019) analisaram uma Habitação de Interesse Social em Uberlândia – Minas Gerais. Segundo o estudo, os resultados encontrados para desempenho térmico não seriam satisfatórios em comparação entre temperaturas externas e internas, mas suficiente para o dia típico. Desse modo, apontam que para uma determinada edificação diferentes avaliadores podem avaliá-la positiva ou negativamente, pois os critérios de “dia típico” apresentam extremos de temperatura.

3 METODOLOGIA

A NBR 15575:2013 estabelece critérios e requisitos mínimos de desempenho em uma edificação e, para que eles sejam cumpridos, são exigidos a realização de procedimento metodológicos segundo a sua própria orientação. Desse modo, o presente trabalho consistiu na realização dos procedimentos indicados. Portanto, foi realizada uma pesquisa de campo aplicada a uma edificação em alvenaria estrutural e a uma edificação em parede de concreto, situadas na cidade de Palmas – TO, com a intenção de verificar o atendimento à norma de desempenho.

3.1 Descrição das edificações

Por exigência dos gestores responsáveis pelas empresas, serão divulgadas informações que possam identificar os empreendimentos. Assim, o nome, localização endereço e construtora não serão apresentados.

3.1.1 Edificação em parede de concreto

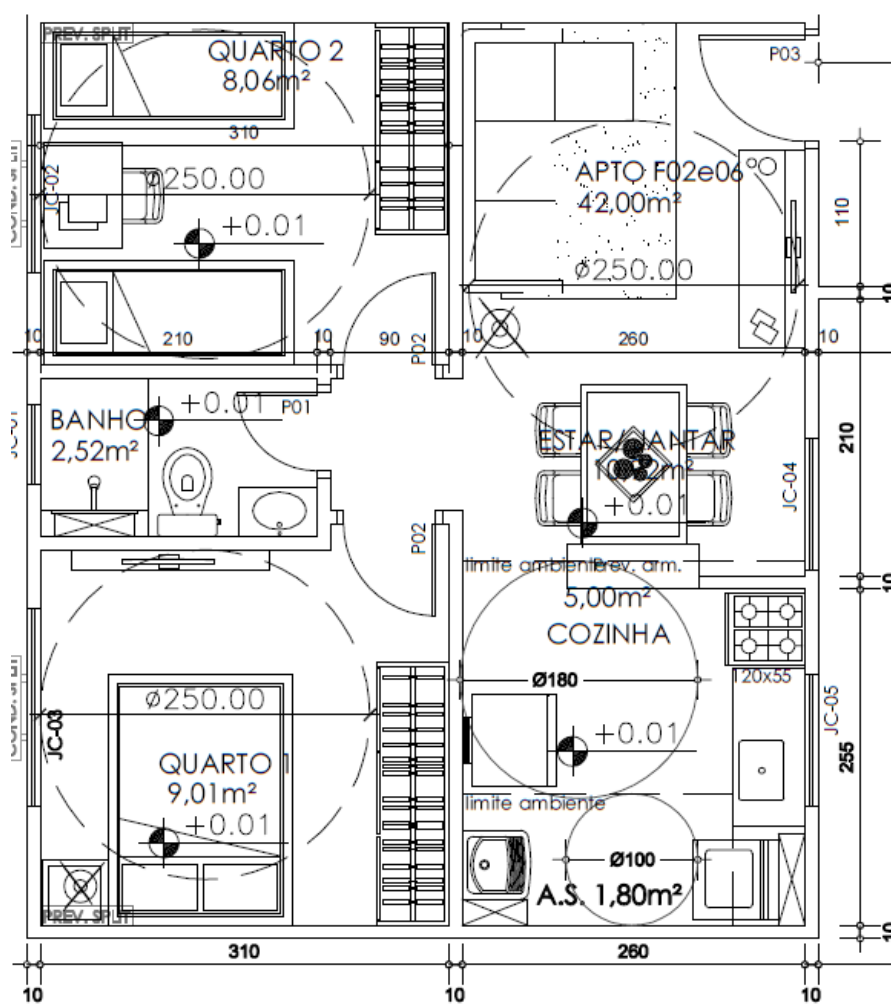
A edificação em parede de concreto está localizada em Palmas – TO. O edifício encontra-se concluído e habitado, contando com 4 pavimentos e 8 apartamentos cada.

A edificação conta com apartamentos com dois quartos, um banheiro social, sala, cozinha e área de serviço, conforme apresentado na planta baixa.

Para a execução dos ensaios, foi utilizado um apartamento ainda sem morador, de forma que nenhum móvel pudesse vir a prejudicar os resultados obtidos.

A disposição dos ambientes e suas respectivas dimensões são descritas na Figura 14.

Figura 14 Planta baixa - apartamento em Parede de Concreto



Fonte: Acervo técnico, construtora 2017

A edificação conta com área dos quartos onde serão realizadas as medições, de 9,01 m². A espessura da parede de vedação externa é de 10,0 cm, sendo constituída apenas de concreto com o revestimento de pintura.

3.1.2 Edificação em alvenaria estrutural

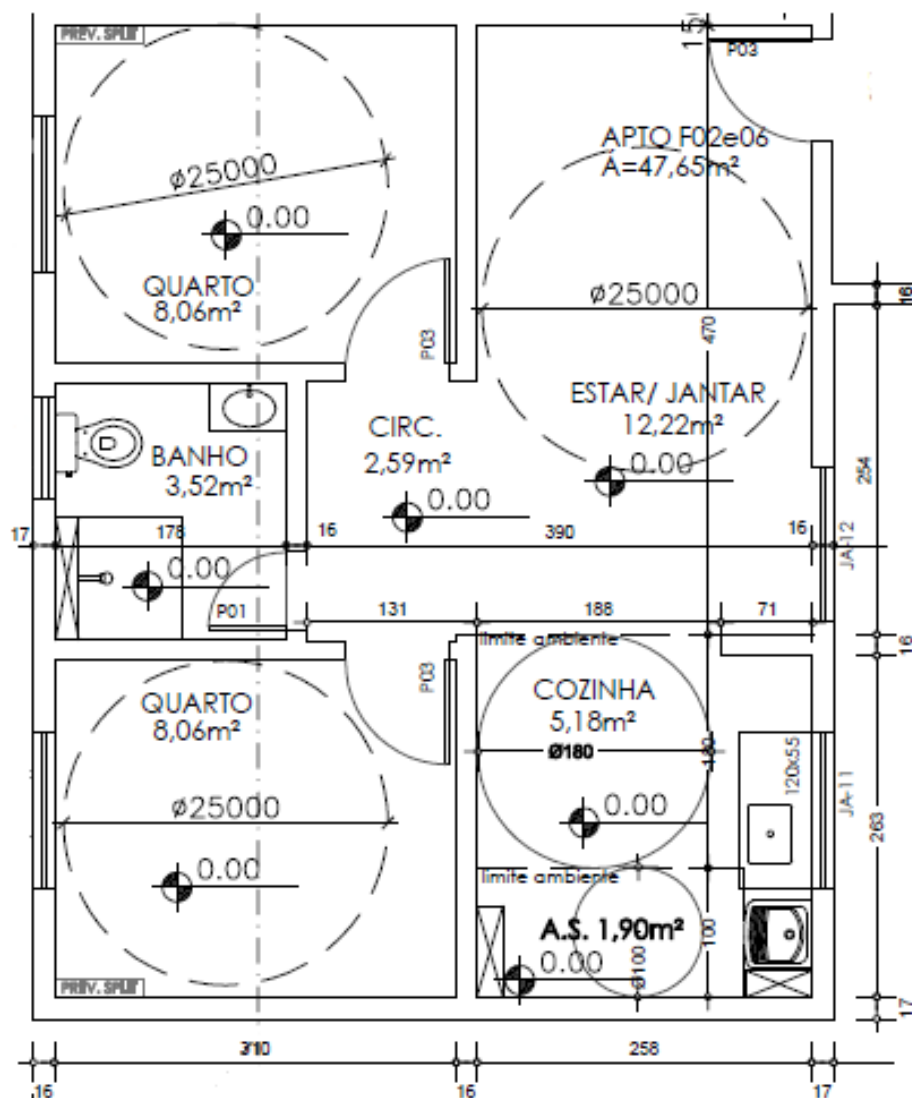
A edificação em alvenaria estrutural está localizada em Palmas – TO. O edifício encontra-se concluído e habitado, contando com 5 pavimentos e 4 apartamentos cada.

A edificação conta com apartamentos com dois quartos, um banheiro social, sala, cozinha e área de serviço, conforme apresentado na planta baixa.

Para a execução dos ensaios, foi utilizado um apartamento ainda sem morador, de forma que nenhum móvel pudesse vir a prejudicar os resultados obtidos.

A disposição dos ambientes e suas respectivas dimensões são descritas na Figura 15.

Figura 15 Planta baixa - Apartamento em Alvenaria Estrutural



Fonte: Acervo técnico, construtora 2017

A edificação conta com área dos quartos onde serão realizadas as medições, de 8,06 m². A espessura da parede de vedação externa é de 17,0 cm, sendo constituída de blocos cerâmicos, reboco interno e externo em argamassa de cimento.

3.2 Conforto térmico

Conforme estabelecido pela norma, as edificações apresentam características em conformidade com as exigências de conforto térmico segundo a zona bioclimática em que a edificação está inserida. Baseado na Tabela do anexo A da NBR 15220-3:2005, que coloca

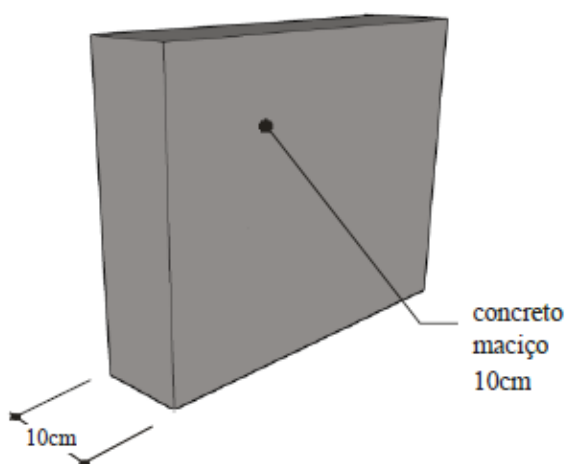
Porto Nacional, localizado a um raio de 52 quilômetros da capital, como zona bioclimática 7, e a análise da carta bioclimática apresentada na Figura 4, conclui-se que Palmas se encontra na mesma zona bioclimática.

3.2.1 Procedimento Simplificado

A avaliação do desempenho térmico através do método simplificado seguiu o procedimento de cálculo estabelecido na NBR 15.220:2005. Para o procedimento foram realizados os cálculos da Transmitância Térmica (U) e da Capacidade Térmica (C_T) dos sistemas de vedação vertical das edificações, bem como o levantamento das aberturas de ventilação dos quartos, ambientes onde foram realizadas as medições in loco. O memorial de cálculo detalhado se encontra no Apêndice A.

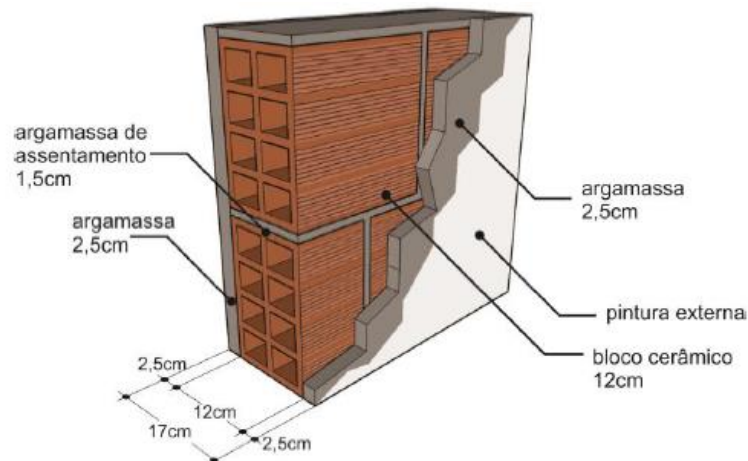
A Figura 16 representa a Parede de Concreto após a desforma, enquanto a Figura 17 representa o esquema de Alvenaria Estrutural.

Figura 16 Parede de concreto com espessura de 10,0 cm



Fonte: INMETRO, 2013

Figura 17 Parede de Alvenaria Estrutural com 17,0cm



Fonte: INMETRO, 2013

Primeiramente foi realizado o levantamento dos materiais utilizados nos fechamentos verticais de cada residência e suas respectivas espessuras, conforme a Figura 16 e a Figura 17. As seções são definidas conforme o Quadro 1.

Quadro 1 Seções dos sistemas de vedação vertical das edificações

| Residência | Seção | Camadas |
|----------------------|-------|---|
| Parede de Concreto | S1 | Concreto Estrutural |
| Alvenaria Estrutural | S1 | Reboco + Argamassa de 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 1), da resistência térmica da parede (Equação 2) e da resistência térmica total (Equação 3), de modo que fosse possível calcular a transmitância térmica, segundo a Equação 4.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (1)$$

$$R_t = \frac{AS_1 + AS_2 + \dots + A_n}{\frac{AS_1}{RS_1} + \frac{AS_2}{RS_2} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (2)$$

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

$$U = \frac{1}{RT} \quad (4)$$

Os valores de referência para a condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente de cada material, foram utilizados conforme indicado pela NBR 15.220-2:2005, como apresentado na Tabela 8.




Tabela 8 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 |
| Parede de Concreto | 1,750 | 1,000 | 2600 |
| 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 NBR 15220 (2005).

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

Tabela 9 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: Autor, adaptado da NBR 15220-2:2005

Para realizar o cálculo de Capacidade Térmica (C_T) dos fechamentos verticais das edificações, foi calculado também a capacidade térmica de cada material (Equação 5). Dessa forma, através da Equação 6, foi possível obter a capacidade térmica total.

$$C_T = \sum_{i=1}^n e \cdot c \cdot \rho \quad (5)$$

$$C_T = \frac{AS_1 + AS_2 + \dots + A_n}{\frac{AS_1}{C_{tS1}} + \frac{AS_2}{C_{tS2}} + \dots + \frac{A_n}{C_{tn}}} \quad (6)$$

Após o cálculo da transmitância térmica e da capacidade térmica das vedações externas das edificações, os valores foram analisados de acordo com a NBR 15575-4:2013, segundo a Tabela 10 e a Tabela 11.

Tabela 10 Transmitância térmica de paredes externas

| Transmitância Térmica (U) W/ (m ² . 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 a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede | | |

Fonte: Autor, adaptado da NBR 15575-4:2013

Tabela 11 Capacidade térmica de paredes externas

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

Fonte: Autor, adaptado da NBR 15575-4:2013

Para realizar a análise de transmitância térmica, também foram adotados os valores de absorvância segundo o Quadro 2.

Quadro 2 Valor de absorvância às radiações

| Edificação | Pintura da Superfície | Absorvância |
|----------------------|-----------------------|-------------|
| Alvenaria Estrutural | Palha | 28,5 |

| | | |
|--------------------|-------|------|
| Parede de Concreto | Palha | 28,5 |
|--------------------|-------|------|

Fonte: Autor, adaptado da NBR 15575-1:2013

A transmitância térmica do sistema de cobertura não foi calculada, haja vista que os objetos de estudo do trabalho encontram-se nos terceiros pavimentos das edificações, não sofrendo influência relevante do sistema de cobertura.

Para realizar a análise da área mínima de ventilação do quarto da edificação em Alvenaria Estrutural e Parede de Concreto, foram obtidas as medidas das portas e janelas, bem como a área do ambiente. O Quadro 3 apresenta a área efetiva das ventilações nos ambientes:

Quadro 3 Área efetiva de ventilação

| Ambiente | Área (m ²) | Abertura | L (m) | H (m) | Área (m ²) | Área efetiva (m ²) |
|-----------|------------------------|----------|-------|-------|------------------------|--------------------------------|
| Quarto AE | 8,06 | Porta | 0,80 | 2,10 | 1,68 | 2,4 |
| | | Janela | 1,197 | 1,167 | 1,40 | |
| Quarto PC | 9,01 | Porta | 0,80 | 2,10 | 1,68 | 2,6 |
| | | Janela | 1,497 | 1,167 | 1,75 | |

Fonte: Autor, 2022

3.2.2 Procedimento de medição in loco

Para realizar a verificação do desempenho térmico, o segundo procedimento consistiu na realização de medições térmicas nas edificações, conforme procedimento apresentado na primeira parte da NBR 15575:2013. Essa metodologia foi adotada por oferecer objetividade na prática, através de valores de temperaturas, verificando o atendimento aos requisitos da norma de desempenho.

Segundo a Tabela 5, para que seja considerada adequada, a edificação deve proporcionar, no verão, o valor máximo diário da temperatura do ar em recintos de permanência prolongada (salas e dormitórios), sem a presença de fontes internas de calor, sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

Tabela 12 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

| Nível de desempenho | Critério | |
|---------------------|--|---|
| | Zonas 1 a 7 | Zona 8 |
| Mínimo | $T_{i,max} \leq T_{e,max}$ | $T_{i,max} \leq T_{e,max}$ |
| Intermediário | $T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$ | $T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1^{\circ}\text{C})$ |
| Superior | $T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^{\circ}\text{C})$ | $T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1^{\circ}\text{C})$ |

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

Fonte: NBR 15575:2013

Para zona bioclimática 7, as medições no inverno são dispensáveis, segundo critérios apresentados na Tabela 6.

Tabela 13 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

| Tabela 14 Nível de desempenho | Critério | |
|-------------------------------|--|--|
| | Zonas bioclimáticas 1 a 5 | Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8 |
| Mínimo | $T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$ | Nestas zonas, este critério não deve ser verificado. |
| Intermediário | $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 5^{\circ}\text{C})$ | |
| Superior | $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 7^{\circ}\text{C})$ | |

Ti,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
Te,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.
NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: NBR 15575:2013

Adotou-se como referência o exposto na norma de desempenho para a realização das medições em campo. Sendo necessário medir a temperatura no centro dos recintos, a 1,10 m do piso, aferindo a temperatura de bulbo seco. A unidade escolhida possui janela do

dormitório voltada para o oeste, e outra parede voltada para o norte, conforme determinado pela norma. O dia de medição foi um dia típico de verão, posterior a um dia com características semelhantes considerando a temperatura externa medida no local.

Para o procedimento, foram utilizados dois aparelhos Highmed Datalogger HMTGD-1800, vide *Figura 18*, capaz de atender aos critérios da ISO 7.726:2001, sendo determinado pela norma de desempenho. Foram efetuadas medições durante três dias, e foram analisados os dados do terceiro dia.

Figura 18 Datalogger HMTGD-1800



Fonte: Highmed

Os aparelhos contam com certificado de calibração conforme Anexo I e Anexo II. O Alcance e precisão de medição dos aparelhos são conforme a Tabela 15:

Tabela 15 Alcance e precisão de medição

| 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 negro | 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: Autor, adaptado de GONÇALVES, 2020

Os dados medidos foram armazenados na memória do aparelho e obtidos através do software Heat Stress WBGT Meter 1.0.03, fornecido em conjunto ao equipamento.

Para a análise do desempenho térmico nas edificações, os dados coletados foram comparados com os valores máximos de temperatura externa horária, levantadas e disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados foram analisados conforme a Tabela 5.

As instalações dos aparelhos no interior das edificações em Alvenaria Estrutural e Parede de Concreto foram realizadas respectivamente conforme Figura 19 e Figura 20.

Figura 19 Termômetro instalado na edificação em Alvenaria Estrutural



Fonte: Autor, 2022

Figura 20 Termômetro instalado na edificação em Parede de Concreto



Fonte: Autor, 2022

Nas duas edificações, os termômetros foram instalados com o centro do globo preto a uma altura de 1,10 m, conforme apresentado na Figura 21 a seguir.

Figura 21 Altura do globo preto a 1,10 m



Fonte: Autor, 2022

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS DO PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO

O Quadro 4, apresenta os valores calculados de transmitância térmica e capacidade térmica das edificações em Alvenaria Estrutural e Parede de Concreto, situadas em Palmas – TO, assim como os valores mínimos indicados pela NBR 15575-4:2013, conforme a zona bioclimática 7.

Os cálculos realizados estão presentes no Apêndice A deste documento.

Quadro 4 Resultados da transmitância térmica e capacidade térmica

| Residência | Critério Avaliado | Valores | | Nível de Desempenho |
|----------------------|--|------------------|-----------|---------------------|
| | | Requisito Mínimo | Calculado | |
| Alvenaria Estrutural | Transmitância Térmica W/(m ² .k) | $U \leq 3,27$ | 3,989 | Não Atende |
| | Capacidade Térmica kJ/(m ² .K) | $CT \geq 130,00$ | 138,286 | Mínimo |
| Parede de Concreto | Transmitância Térmica W/(m ² .K) | $U \leq 3,27$ | 1,930 | Mínimo |
| | Capacidade Térmica kJ/(m ² .K) | $CT \geq 130,00$ | 2.601,12 | Mínimo |

Fonte: Autor, 2022

No sistema de edificação em Alvenaria Estrutural, foi calculado uma transmitância de 3,989 W/(m².k). Considerando o valor máximo estabelecido pela norma em 3,27 W/(m².k), o valor calculado não atende o requisito mínimo. Enquanto isso, a capacidade térmica alcançou um valor de 138,286 kJ/(m².K). Considerando o valor mínimo em 130,00 kJ/(m².K), a edificação atende.

Paralelamente, a edificação em Parede de Concreto obteve resultado calculado para transmitância térmica em 1,930 W/(m².k). Sendo assim, o sistema atingiu o critério estabelecido pela norma de $U \leq 3,27$ W/(m².K). Para a capacidade térmica, o valor calculado atingiu 2.601,12 kJ/(m².K), valor acima dos 130,00 kJ/(m².K) requisitados pela norma, obtendo para os dois parâmetros um resultado satisfatório.

O Quadro 5, apresenta os valores dos cálculos da abertura mínima de ventilação dos ambientes onde foram executadas as medições *in loco*, bem como os valores mínimos estipulados pela NBR 15575-4:2013 e pelo Código de Obras do Município de Palmas – TO.

Quadro 5 Resultados das aberturas mínimas

| Residência | Área do piso do ambiente | Requisitos Mínimos | | Aberturas existentes | Nível de Desempenho |
|-------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|
| | | Lei Municipal N° 45/90 | NBR 15575-4:2013 | | |
| | | 1/6 da área de piso | 7% da área de piso | | |
| Alvenaria Estrutural (quarto) | 8,06 m ² | 1,34 | 0,56 | 2,4 | Mínimo |
| Parede de Concreto (quarto) | 9,01 m ² | 1,50 | 0,63 | 2,6 | Mínimo |

Fonte: Autor, 2022

O quarto da edificação em Alvenaria Estrutural possui uma área de piso de 8,06 m². Dada essa área, o Código de Obras do município (Lei Municipal N° 45/90), requisita 1,34 m² de aberturas para ventilação, enquanto a NBR 15575-4:2013 requisita 0,56 m². A edificação possui 2,4 m² de aberturas, valor acima do mínimo.

Ainda, o quarto da edificação em Parede de Concreto possui uma área de piso de 9,01 m². Dada essa área, o Código de Obras do município (Lei Municipal N° 45/90), requisita 1,50 m² de aberturas para ventilação, enquanto a NBR 15575-4:2013 requisita 0,63 m². A edificação possui 2,6 m² de aberturas, valor acima do mínimo.

4.2 RESULTADOS DE MEDIÇÃO IN LOCO

As medições *in loco* iniciaram às 18h no dia 19 de março de 2022, encerrando às 18h do dia 24 de março de 2022. Durante todo o período as portas e janelas permaneceram fechadas visando garantir a inexistência de qualquer interferência externa. O procedimento consiste em analisar a temperatura máxima horário do ar, de um determinado ambiente interno, analisando se o valor medido está acima ou abaixo da temperatura máxima horária do ar no ambiente

externo. O Quadro 6, apresenta os resultados da medição *in loco* dos três dias consecutivos considerados para o estudo, conforme estipulado pela NBR 15575-1:2013.

As Temperaturas externas foram extraídas da base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia INMET.

As demais temperaturas medidas estão disponíveis nos Apêndices B e C e os gráficos nos Apêndices D e E.

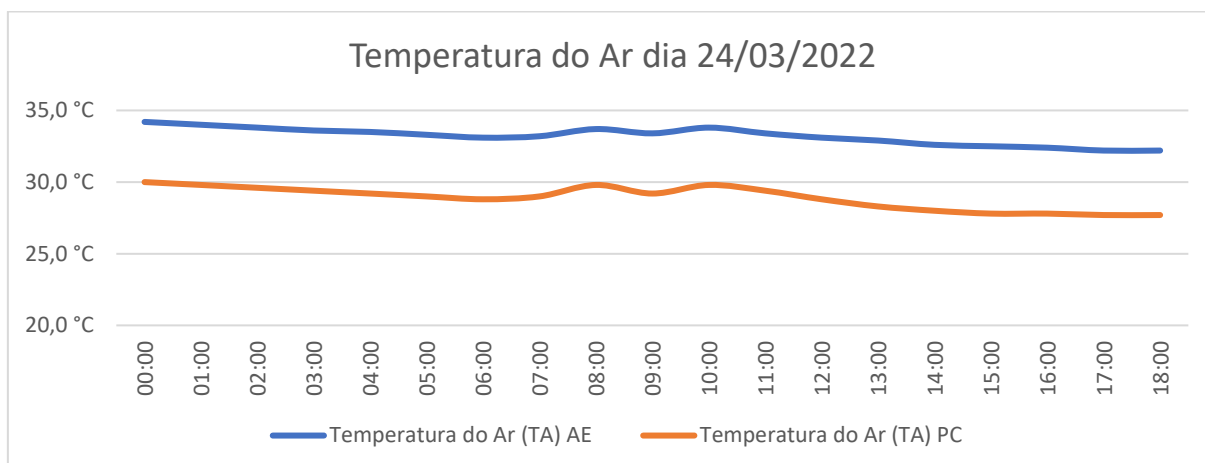
Quadro 6 Temperaturas máximas horárias dos três dias consecutivos

| Ambiente | 22/03/2022 | | 23/03/2022 | | 24/03/2022 | |
|-----------------------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | Horário | Temperatura | Horário | Temperatura | Horário | Temperatura |
| Alvenaria Estrutural | 17:00 | 37,9 °C | 16:00 | 35,9 °C | 00:00 | 34,2 °C |
| Parede de Concreto | 16:00 | 34,8 °C | 15:00 | 32,4 °C | 00:00 | 30,0 °C |
| Externo | 17:00 | 35,1 °C | 16:00 | 31,1 °C | 00:00/12:00 | 26,3 °C |

Fonte: Autor, 2022

Conforme apresentado no Quadro 6, as temperaturas máximas ocorreram simultaneamente às 00h na edificação em Alvenaria Estrutural e na Parede de Concreto. Além disso, a temperatura máxima externa alcançou seu pico duas vezes, às 00h e às 12h.

Figura 22 Resultados de temperatura do ar no terceiro dia



Fonte: Autor, 2022

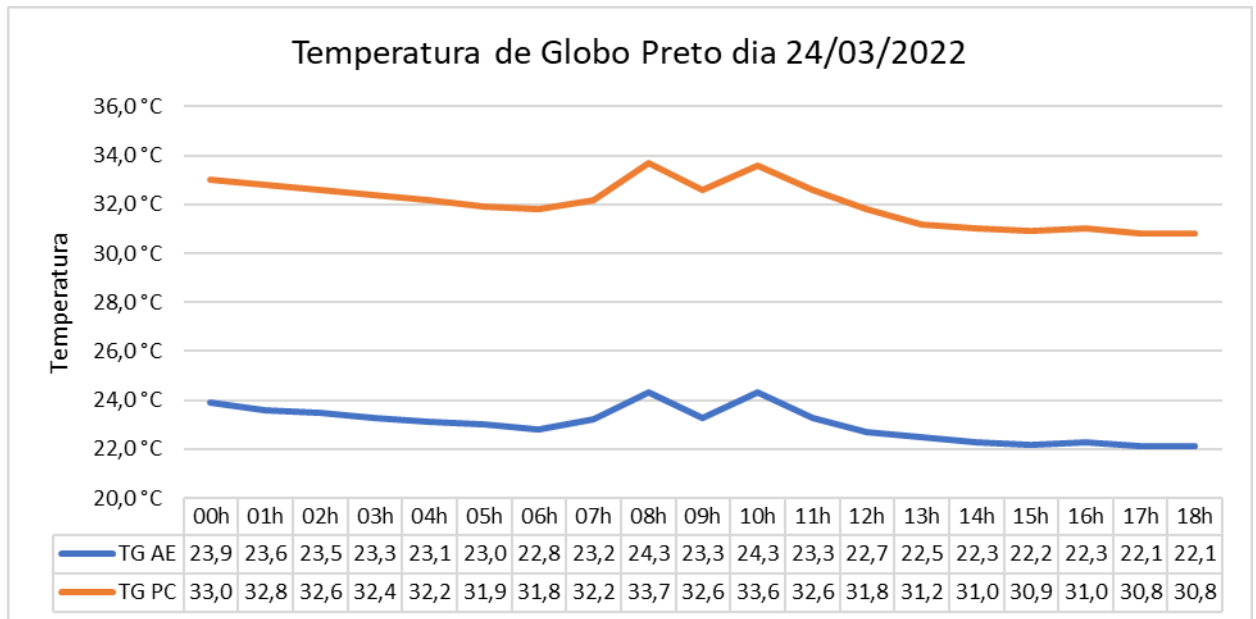
Durante os dias de medição, não foi possível obter o histórico de temperaturas horárias pela base do INMET, pois a Estação Automática Meteorológica (A006) de Palmas – TO não estava operante, tendo os registros realizados apenas pela Estação Convencional (83033) de Palmas – TO, onde foi possível extrair as temperaturas máximas, mínimas e médias dos dias 22 de março de 2022, 23 de março de 2022 e 24 de março de 2022.

Diante dos resultados apresentados no gráfico da Figura 22, é possível observar que ocorreu um aumento de temperatura a partir das 07h em que ambas as edificações apresentaram o mesmo comportamento. No entanto, as temperaturas da edificação em Alvenaria Estrutural foram superiores durante todo o dia.

Nota-se que durante o período entre 07h da manhã e 11h da manhã ocorre o registro das maiores temperaturas em ambas as edificações. Devido ao fato de as fachadas dos apartamentos serem orientadas para o leste e suas laterais para o norte, a incidência solar é direta durante toda a parte da manhã, fazendo com que as temperaturas sejam mais elevadas nesse horário em contraponto ao período vespertino.

Durante o mesmo intervalo de tempo, também é possível analisar a temperatura de globo preto, Figura 23. Essa temperatura tem como base a radiação solar emitida diretamente no ambiente através das aberturas de ventilação como as janelas de vidro.

Figura 23 Resultados de Temperatura do Globo Preto no terceiro dia



Fonte: Autor, 2022

No gráfico apresentado na Figura 23, observa-se que durante o mesmo intervalo de tempo, a Temperatura de Globo foi maior na edificação em Parede de Concreto, contrapondo o observado na Figura 22. Devido à diferença entre as áreas dos quartos estudados, obteve-se tamanha disparidade entre os objetos estudados, haja vista que a área de abertura do vão de ventilação da edificação em parede de concreto é ligeiramente maior do que a da edificação em alvenaria estrutural.

Como determinado pela NBR 15575-1:2013, o procedimento de medição in loco consiste em analisar a temperatura máxima do ar medida no terceiro dia, no Quadro 7 estão indicadas as temperaturas máximas medidas.

Quadro 7 Resultados de temperaturas máximas medidas no terceiro dia

| Ambiente | Temp. Máx. medida | Temp. externa | Atendimento |
|----------------------|-------------------|---------------|-------------|
| Alvenaria Estrutural | 34,2 °C | 26,3 °C | Não Atende |
| Parede de Concreto | 30,0 °C | | Não Atende |

Fonte: Autor, 2022

Segundo a NBR 15575-1:2013, o requisito mínimo estabelecido é de que a temperatura máxima do ar do interior das edificações seja menor ou igual à temperatura máxima do ar externa. Desse modo, após analisar o apresentado no Quadro 7 identifica-se que nenhuma das edificações atende aos requisitos mínimos, possuindo desempenho térmico insatisfatório.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como objetivo principal analisar o desempenho térmico em uma edificação de Alvenaria Estrutural e uma edificação de Parede de Concreto na cidade de Palmas – TO, verificando qual sistema construtivo apresenta desempenho, segundo os requisitos mínimos estabelecidos pela norma NBR 15575-1:2013.

Ao analisar a transmitância térmica, percebe-se que a Alvenaria Estrutural apresenta características acima do recomendado pela norma, enquanto sua capacidade térmica é atendida. Dessa forma, cabe analisar a ineficiência e emprego incorreto dos materiais utilizados, sendo recomendadas as alternativas a seguir:

- I. Aumentar a espessura da parede externa, visando aumentar a resistência térmica e, conseqüentemente, diminuir a transmitância;
- II. Empregar materiais com maior resistência térmica, de forma a reduzir a troca de calor do meio externo para o meio interno;

Para a edificação em Parede de Concreto, a transmitância térmica e capacidade térmica atenderam ao limite necessário. Nesse caso, a capacidade térmica do material apresentou-se extremamente acima do necessário, caracterizando o material como um bom condutor térmico. Tal característica ocorre devido à sua alta densidade e menor número de vazios (bolsas de ar).

Durante a análise de desempenho térmico por medição in loco, constatou-se que nenhuma das edificações atende aos critérios mínimos de desempenho, haja vista que as temperaturas encontradas foram superiores aos parâmetros externos.

Indo além do objetivo do estudo, baseado nos resultados obtidos, cabe afirmar que dadas as capacidades térmicas, os métodos não poderiam ser empregados na região de Palmas – TO sem um estudo prévio no local, devido às altas temperaturas.

5.1 LIMITAÇÕES DESTA PESQUISA

Devido à alta amplitude térmica de Palmas – TO, é cabível uma medição com maior amplitude de tempo, visando obter uma maior base de dados para fins comparativos diários. Além disso, devido à falha da Estação Meteorológica (A006) de Palmas - TO, os dados comparativos não foram suficientes, podendo haver falhas na análise de dados.

Por ser um método precursor, as construções em Parede de Concreto na região Norte do Brasil são escassas, principalmente no Tocantins.

Por exigência da norma, a aplicação do estudo foi realizada somente no verão.

Devido à diferença de dimensões dos objetos de estudo, os resultados obtidos podem apresentar variações com baixa precisão.

5.2 SUGESTÕES DE PESQUISA

Em detrimento da especificidade dos modelos construtivos, e da importância do conforto térmico para o ser humano, torna-se relevante o desenvolvimento de novos estudos com fim de aumentar o acervo científico regional.

Desse modo, são sugestões para pesquisas futuras:

- Análise do desempenho térmico, através de medição in loco durante outros períodos do ano;
- Análise do desempenho térmico em sistemas construtivos semelhantes, com diferentes espessuras de paredes;
- Análise do desempenho térmico em protótipos com acabamento e dimensões semelhantes entre si;
- Análise do desempenho acústico em edificações de parede de concreto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16055: Parede de concreto moldada in loco para a construção de edificações – Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro, 2012

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

_____. **NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho – parte 1: requisitos gerais.** Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho – parte 3: sistemas de pisos.** Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho – parte 4: sistemas de vedações verticais internas e externas.** Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho – parte 5: sistemas de cobertura.** Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 16868: Alvenaria Estrutural – Parte 1: Projeto.** Rio de Janeiro. 2020.

_____. **NBR 16868: Alvenaria Estrutural – Parte 2: Execução e controle de obras.** Rio de Janeiro. 2020.

_____. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural.** Rio de Janeiro. 2013.

AZEVEDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura.** São Paulo: Edgard Blücher, 1997.125p.

LIRA, Allan Moraes de. **Simulação do processo de transmissão de calor em uma placa, com condutividade térmica dependente da temperatura, aquecida por uma fonte externa de radiação.** 2016. 64 f. Dissertação (Mestrado em Fenômenos de transporte; Mecânica dos sólidos) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Frota, Anésia Barros. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo** / Anésia Barros Frota, Sueli Ramos Schiffer. — 5. ed. — São Paulo: Studio Nobel, 2001.

A APOSTA DA MRV NO SIMPLES, FUNCIONAL E NO BAIXO CUSTO. **Revista Estrutura**, [S. l.], p. 6-8, 15 out. 2018.

ARÊAS, Daniel Moraes, **Descrição do Processo Construtivo de Parede de Concreto para Obra de Baixo Padrão/** Daniel Moraes Arêas. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

NAKAMURA, Juliana. **Parede de concreto: vantagens e características.** SIENGE, [S. l.], p. 1, 24 nov. 2019. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/parede-de-concreto/#:~:text=No%20sistema%20parede%20de%20concreto,edif%3%ADcios%20com%20at%3%A9%20trinta%20pavimentos>. Acesso em: 21 jan. 2022.

CORSINI, Rodnei. **"Paredes normatizadas." Norma inédita para paredes de concreto moldadas in loco entra em vigor e promete impulsionar uso da tecnologia em edificações** In: Revista Técnica 183 (2011).

MOHAMAD, Gihad. **Construções em Alvenaria Estrutural: Materiais, projeto e desempenho**. 1. ed. [S. l.]: Blucher, 2015.

TAUIL, Carlos Alberto **Alvenaria estrutura** / Carlos Alberto Tauil, Flávio José Martins Nese - São Paulo, Pini, 2010.

RAUBER, F. C. **Contribuições ao projeto arquitetônico de edifícios em alvenaria estrutural**. 2005. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS, 2005.

CAMACHO, J. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Ilha Solteira – SP, 2006.

ARÊAS, DANIEL. PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS NO LOCAL. In: ARÊAS, DANIEL. **ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE CONFORTO DOS USUÁRIOS EM CONJUNTOS HABITACIONAIS DE ALVENARIA ESTRUTURAL E DE PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS NO LOCAL**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2019.

ABCP. Parede de Concreto - Coletânea de ativos 2007/2008

NEVES, F. F. **Edificações em Alvenaria Estrutural: Adequações à NBR 15.575**. 2015. 44 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS, 2015.

PEREIRA, A. X. **Conforto acústico em residências multifamiliares**. 2016. 59 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

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. 2020. 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020.

OLIVEIRA, Roberta Bastos de; ALVES, Camila dos Reis. **DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA HIS COM PAREDES DE CONCRETO EM UBERLÂNDIA MG: UMA COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS OBTIDOS E REQUISITOS EXISTENTES**. 2º **Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos**, [s. l.], 2019.

INSTITUTO Nacional de Meteorologia. *In: Gráficos diários*. [S. l.], 24 mar. 2022. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/Graficos/A009>. Acesso em: 31 mar. 2022.

INMET, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Monitoramento: Gráficos Horários de Estações Automáticas**. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/CondicoesRegistradas>. Acesso em: 31 mar. 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

APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO

Cálculo da transmitância térmica e da capacidade térmica das paredes de fachada.

As paredes de Alvenaria Estrutural são compostas por duas camadas que envolvem o bloco cerâmico com câmaras de ar não ventiladas, enquanto a Parede de Concreto é composta por apenas uma camada. A condutividade térmica desses materiais está presente na Tabela 8.

Tabela 16 Condutividade térmica dos materiais das paredes de fachada

| Materiais | λ (W/m.K) |
|---------------------------------------|-------------------|
| Cerâmica | 0,900 |
| Argamassa de Reboco e de Assentamento | 1,150 |
| Parede de Concreto | 1,750 |

Fonte: Autor, 2022

Para efeito de cálculo, as paredes foram divididas em seções, conforme Quadro 1.

Quadro 8 Seções dos sistemas de vedação vertical das edificações

| Residência | Seção | Camadas |
|----------------------|-------|--|
| Parede de Concreto | S1 | Concreto Estrutural |
| Alvenaria Estrutural | S1 | Reboco + Argamassa de Assentamento + Reboco |
| | S2 | Reboco + Tijolo + Ar + Tijolo + Ar + Tijolo + Reboco |
| | S3 | Reboco + Tijolo + Reboco |

Fonte: Autor, 2022

Para a S1 da Parede de Concreto:

$$R_a = \frac{e_{PC}}{\lambda_{PC}}$$

$$R_{S1} = \frac{0,12}{1,75} = 0,0686 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Para a S1 da Alvenaria Estrutural:

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

$$R_{S1} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,025}{1,15} = 0,0650 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Para a S2 da Alvenaria Estrutural:

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

$$R_{S2} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,0075}{0,90} + 0,16 + \frac{0,0075}{0,90} + 0,16 + \frac{0,0075}{0,90} + \frac{0,025}{1,15} = 0,3885 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Para a S3 da Alvenaria Estrutural:

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

$$R_{S3} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,09}{0,90} + \frac{0,025}{1,15} = 0,1435 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Posteriormente, para o cálculo de resistência térmica dos componentes, foram utilizadas as equações a seguir, onde a altura do pé direito é de 2,90 m.

$$A_s = e \cdot L \quad (1)$$

$$R_t = \frac{AS1+AS2+...+An}{\frac{AS1}{RS1} + \frac{AS2}{RS2} + \dots + \frac{An}{Rn}} \quad (2)$$

Para a Parede de Concreto:

$$A_{s1} = 0,12 * 2,9 = 0,348 \text{ m}^2$$

$$R_t = \frac{0,0686}{\frac{0,0686}{0,348}} = 0,348 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica total:

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

$$R_T = 0,04 + 0,348 + 0,13 = 0,518 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Assim, obtém-se a transmitância térmica do sistema de vedação vertical externo de Parede de Concreto:

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

$$U = \frac{1}{0,518} = 1,930 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Para a Alvenaria Estrutural:

$$A_{s1} = 0,035 * 0,14 = 0,00492 \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 0,0075 * 0,14 = 0,00105 \text{ m}^2$$

$$A_{s3} = 0,01 * 0,14 = 0,0014 \text{ m}^2$$

$$R_t = \frac{4 * 0,00492 + 5 * 0,00105 + 0,0014}{\frac{4 * 0,00492}{0,065} + \frac{5 * 0,00105}{0,3885} + \frac{0,0014}{0,1435}} = 0,0807 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Resistência térmica total:

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

$$R_T = 0,04 + 0,0807 + 0,13 = 0,2507 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Assim, obtém-se a transmitância térmica do sistema de vedação vertical externo de Alvenaria Estrutural:

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

$$U = \frac{1}{0,2507} = 3,989 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

CÁLCULO DA CAPACIDADE TÉRMICA

Para o desenvolvimento do cálculo da capacidade térmica, foi necessário calcular inicialmente a capacidade térmica das camadas de materiais de cada seção. Os valores de calor específico e densidade de massa aparente dos materiais estão na Tabela 8.

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

Para a Parede de Concreto:

S1:

$$C_{t_{s1}} = (0,12 * 1,00 * 2600) = 2601,12 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$$

Com a capacidade térmica da seção calculada, junto a área das seções, obtém-se a capacidade térmica do sistema de vedação de Parede de Concreto:

$$C_T = \frac{0,348}{\frac{0,348}{2601,12}} = 2.601,12 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$$

Para a Alvenaria Estrutural

S1:

$$C_{t_{s1}} = 3 * (0,025 * 1,00 * 2000) = 150,00 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$$

S2:

$$\begin{aligned} C_{t_{s2}} &= [2 * (0,025 * 1,00 * 2000)] + [3 * (0,0075 * 0,92 * 1600)] + (2 * 0) \\ &= 133,12 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K}) \end{aligned}$$

S3:

$$C_{t_{s3}} = [2 * (0,025 * 1,00 * 2000)] + (0,0075 * 0,92 * 1600) = \mathbf{111,04 \text{ kJ}/(m^3 \cdot K)}$$

Com a capacidade térmica da seção calculada, junto a área das seções, obtém-se a capacidade térmica do sistema de vedação de Alvenaria Estrutural:

$$C_T = \frac{0,00492 + 0,00105 + 0,0014}{\frac{0,00492}{150} + \frac{0,00105}{133,12} + \frac{0,0014}{111,04}} = \mathbf{138,286 \text{ kJ}/(m^3 \cdot K)}$$

APÊNDICE B – MEDIÇÕES IN LOCO

Tabela 17 Levantamento in loco dia 19/03/2022

| DATA | HORA | Temperatura de Globo de Bulbo Úmido (WBGT) | | Temperatura do Ar (TA) | | Temperatura de Globo Preto (TG) | | Temperatura de Bulbo Úmido (WET) | | Temperatura do Ponto de Orvalho (DEW) | | Umidade Relativa (%RH) | |
|--------|-------|--|---------|------------------------|------|---------------------------------|---------|----------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|------------------------|------|
| | | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC |
| 19/mar | 18:00 | 29,3 °C | 29,7 °C | 35,9 | 32,3 | 25,8 °C | 35,4 °C | 30,8 °C | 27,3 °C | 29,3 °C | 25,5 °C | 68,80% | 67,6 |
| 19/mar | 19:00 | 29,3 °C | 29,6 °C | 35,9 | 32,1 | 25,6 °C | 35,0 °C | 30,9 °C | 27,3 °C | 29,4 °C | 25,6 °C | 69,50% | 68,6 |
| 19/mar | 20:00 | 29,2 °C | 29,4 °C | 35,7 | 31,8 | 25,3 °C | 34,7 °C | 30,9 °C | 27,2 °C | 29,5 °C | 25,5 °C | 70,50% | 69,5 |
| 19/mar | 21:00 | 29,1 °C | 29,2 °C | 35,4 | 31,5 | 25,1 °C | 34,5 °C | 30,8 °C | 27,0 °C | 29,5 °C | 25,3 °C | 71,50% | 69,9 |
| 19/mar | 22:00 | 28,9 °C | 28,9 °C | 35,1 | 31,1 | 24,8 °C | 34,2 °C | 30,6 °C | 26,7 °C | 29,3 °C | 25,0 °C | 71,90% | 70,2 |
| 19/mar | 23:00 | 28,5 °C | 28,7 °C | 34,9 | 30,9 | 24,6 °C | 33,9 °C | 30,2 °C | 26,5 °C | 28,8 °C | 24,9 °C | 70,80% | 70,4 |

Fonte: Autor, 2022

Tabela 18 Levantamento in loco dia 20/03/2022

| DATA | HORA | Temperatura de Globo de Bulbo Úmido (WBGT) | | Temperatura do Ar (TA) | | Temperatura de Globo Preto (TG) | | Temperatura de Bulbo Úmido (WET) | | Temperatura do Ponto de Orvalho (DEW) | | Umidade Relativa (%RH) | |
|--------|-------|--|---------|------------------------|------|---------------------------------|---------|----------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|------------------------|------|
| | | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC |
| 20/mar | 00:00 | 28,2 °C | 28,5 °C | 34,6 | 30,7 | 24,3 °C | 33,7 °C | 29,9 °C | 26,3 °C | 28,5 °C | 24,7 °C | 70,80% | 70,4 |
| 20/mar | 01:00 | 28,2 °C | 28,4 °C | 34,4 | 30,5 | 24,1 °C | 33,6 °C | 29,9 °C | 26,2 °C | 28,5 °C | 24,5 °C | 71,50% | 70,6 |
| 20/mar | 02:00 | 28,0 °C | 28,2 °C | 34,2 | 30,3 | 23,9 °C | 33,3 °C | 29,8 °C | 26,0 °C | 28,5 °C | 24,4 °C | 72,40% | 70,9 |
| 20/mar | 03:00 | 27,9 °C | 28,1 °C | 34 | 30,1 | 23,7 °C | 33,1 °C | 29,7 °C | 25,9 °C | 28,3 °C | 24,3 °C | 72,20% | 71,1 |
| 20/mar | 04:00 | 27,7 °C | 27,9 °C | 33,8 | 29,9 | 23,4 °C | 32,9 °C | 29,5 °C | 25,8 °C | 28,1 °C | 24,2 °C | 72,30% | 71,4 |
| 20/mar | 05:00 | 27,6 °C | 27,7 °C | 33,6 | 29,6 | 23,3 °C | 32,7 °C | 29,4 °C | 25,6 °C | 28,1 °C | 24,0 °C | 73,00% | 72,1 |
| 20/mar | 06:00 | 27,5 °C | 27,7 °C | 33,4 | 29,5 | 23,1 °C | 32,7 °C | 29,4 °C | 25,5 °C | 28,1 °C | 23,9 °C | 73,70% | 72,1 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|---------|---------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|------|
| 20/mar | 07:00 | 27,4 °C | 27,6 °C | 33,3 | 29,5 | 23,1 °C | 32,6 °C | 29,3 °C | 25,5 °C | 28,0 °C | 24,0 °C | 73,90% | 72,2 |
| 20/mar | 08:00 | 27,4 °C | 28,4 °C | 33,2 | 30,4 | 23,0 °C | 34,4 °C | 29,3 °C | 25,8 °C | 28,0 °C | 24,0 °C | 74,20% | 68,7 |
| 20/mar | 09:00 | 28,2 °C | 29,2 °C | 34,2 | 31,6 | 25,1 °C | 36,1 °C | 29,6 °C | 26,3 °C | 28,1 °C | 24,3 °C | 70,50% | 65,2 |
| 20/mar | 10:00 | 28,4 °C | 28,6 °C | 34,7 | 30,8 | 25,4 °C | 34,5 °C | 29,7 °C | 26,1 °C | 28,1 °C | 24,3 °C | 68,80% | 68,3 |
| 20/mar | 11:00 | 28,3 °C | 29,6 °C | 34,4 | 32,1 | 25,0 °C | 36,4 °C | 29,7 °C | 26,7 °C | 28,2 °C | 24,6 °C | 70,40% | 64,7 |
| 20/mar | 12:00 | 28,7 °C | 29,7 °C | 34,8 | 32,4 | 25,9 °C | 36,5 °C | 29,9 °C | 26,8 °C | 28,4 °C | 24,7 °C | 69,50% | 64 |
| 20/mar | 13:00 | 28,9 °C | 29,7 °C | 35,1 | 32,5 | 26,0 °C | 36,1 °C | 30,2 °C | 27,0 °C | 28,7 °C | 25,0 °C | 69,40% | 64,7 |
| 20/mar | 14:00 | 28,7 °C | 29,3 °C | 35,1 | 31,8 | 25,0 °C | 35,1 °C | 30,3 °C | 26,8 °C | 28,8 °C | 25,0 °C | 70,10% | 67,2 |
| 20/mar | 15:00 | 28,8 °C | 29,2 °C | 35,1 | 31,7 | 25,2 °C | 35,0 °C | 30,3 °C | 26,7 °C | 28,9 °C | 24,9 °C | 70,50% | 67,5 |
| 20/mar | 16:00 | 28,9 °C | 29,0 °C | 35,1 | 31,3 | 25,3 °C | 34,6 °C | 30,4 °C | 26,6 °C | 29,0 °C | 24,8 °C | 70,70% | 68,3 |
| 20/mar | 17:00 | 28,6 °C | 28,6 °C | 34,7 | 30,8 | 24,8 °C | 33,9 °C | 30,2 °C | 26,4 °C | 28,8 °C | 24,7 °C | 71,50% | 70 |
| 20/mar | 18:00 | | 28,3 °C | | 30,4 | | 33,5 °C | | 26,1 °C | | 24,5 °C | | 71 |
| 20/mar | 19:00 | | 28,2 °C | | 30,2 | | 33,2 °C | | 26,0 °C | | 24,4 °C | | 71,4 |
| 20/mar | 20:00 | | 28,0 °C | | 29,9 | | 33,0 °C | | 25,8 °C | | 24,2 °C | | 71,6 |
| 20/mar | 21:00 | | 27,8 °C | | 29,7 | | 32,7 °C | | 25,7 °C | | 24,2 °C | | 72,3 |
| 20/mar | 22:00 | | 27,7 °C | | 29,4 | | 32,5 °C | | 25,6 °C | | 24,1 °C | | 73 |
| 20/mar | 23:00 | | 27,6 °C | | 29,3 | | 32,2 °C | | 25,6 °C | | 24,1 °C | | 73,6 |

Fonte: Autor, 2022

Tabela 19 Levantamento in loco dia 21/03/2022

| DATA | HORA | Temperatura de Globo de Bulbo Úmido (WBGT) | | Temperatura do Ar (TA) | | Temperatura de Globo Preto (TG) | | Temperatura de Bulbo Úmido (WET) | | Temperatura do Ponto de Orvalho (DEW) | | Umidade Relativa (%RH) | |
|--------|-------|--|---------|------------------------|------|---------------------------------|---------|----------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|------------------------|------|
| | | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC |
| 21/mar | 00:00 | | 27,4 °C | | 29,1 | | 32,1 °C | | 25,4 °C | | 23,9 °C | | 73,8 |
| 21/mar | 01:00 | | 27,2 °C | | 28,9 | | 31,9 °C | | 25,2 °C | | 23,8 °C | | 74,1 |
| 21/mar | 02:00 | | 27,1 °C | | 28,7 | | 31,7 °C | | 25,1 °C | | 23,6 °C | | 74,2 |
| 21/mar | 03:00 | | 27,0 °C | | 28,6 | | 31,5 °C | | 25,0 °C | | 23,6 °C | | 74,4 |
| 21/mar | 04:00 | | 26,8 °C | | 28,4 | | 31,4 °C | | 24,8 °C | | 23,4 °C | | 74,5 |
| 21/mar | 05:00 | | 26,6 °C | | 28,2 | | 31,2 °C | | 24,7 °C | | 23,3 °C | | 74,7 |
| 21/mar | 06:00 | | 27,9 °C | | 29,9 | | 34,1 °C | | 25,3 °C | | 23,4 °C | | 68,1 |
| 21/mar | 07:00 | | 27,7 °C | | 29,7 | | 33,4 °C | | 25,3 °C | | 23,5 °C | | 69,5 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|---------|---------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|------|
| 21/mar | 08:00 | | 28,7 °C | | 31 | | 35,5 °C | | 25,8 °C | | 23,7 °C | | 65,4 |
| 21/mar | 09:00 | | 29,0 °C | | 31,2 | | 35,8 °C | | 26,1 °C | | 24,1 °C | | 65,9 |
| 21/mar | 10:00 | | 29,3 °C | | 31,7 | | 36,1 °C | | 26,4 °C | | 24,4 °C | | 65,4 |
| 21/mar | 11:00 | | 29,3 °C | | 31,7 | | 35,6 °C | | 26,6 °C | | 24,6 °C | | 66,2 |
| 21/mar | 12:00 | | 29,7 °C | | 32,2 | | 36,1 °C | | 26,9 °C | | 24,9 °C | | 65,5 |
| 21/mar | 13:00 | 28,7 °C | 29,6 °C | 34,9 | 32,1 | 25,4 °C | 35,9 °C | 30,1 °C | 26,9 °C | 28,6 °C | 25,0 °C | 70,10% | 66,2 |
| 21/mar | 14:00 | 29,2 °C | 29,6 °C | 35,2 | 32,1 | 25,6 °C | 35,6 °C | 30,7 °C | 27,1 °C | 29,3 °C | 25,2 °C | 71,50% | 67,2 |
| 21/mar | 15:00 | 29,4 °C | 29,8 °C | 35,6 | 32,3 | 26,0 °C | 36,0 °C | 30,9 °C | 27,2 °C | 29,5 °C | 25,3 °C | 70,80% | 66,7 |
| 21/mar | 16:00 | 30,0 °C | 30,5 °C | 36,3 | 33,3 | 26,8 °C | 36,9 °C | 31,3 °C | 27,8 °C | 29,9 °C | 25,8 °C | 69,70% | 64,9 |
| 21/mar | 17:00 | 30,2 °C | 30,6 °C | 36,5 | 33,3 | 26,8 °C | 36,8 °C | 31,6 °C | 27,9 °C | 30,2 °C | 26,0 °C | 70,30% | 65,5 |
| 21/mar | 18:00 | 29,6 °C | 29,7 °C | 36 | 32,2 | 25,7 °C | 35,2 °C | 31,3 °C | 27,4 °C | 30,0 °C | 25,7 °C | 71,20% | 68,6 |
| 21/mar | 19:00 | 29,5 °C | 29,4 °C | 35,7 | 31,6 | 25,4 °C | 34,6 °C | 31,3 °C | 27,1 °C | 30,0 °C | 25,4 °C | 72,70% | 69,6 |
| 21/mar | 20:00 | 29,3 °C | 29,0 °C | 35,4 | 31,3 | 25,1 °C | 34,2 °C | 31,1 °C | 26,8 °C | 29,9 °C | 25,1 °C | 73,30% | 69,8 |
| 21/mar | 21:00 | 29,1 °C | 28,8 °C | 35,1 | 31 | 24,8 °C | 33,9 °C | 31,0 °C | 26,6 °C | 29,8 °C | 24,9 °C | 74,00% | 69,9 |
| 21/mar | 22:00 | 28,9 °C | 28,5 °C | 34,8 | 30,7 | 24,5 °C | 33,6 °C | 30,8 °C | 26,3 °C | 29,6 °C | 24,6 °C | 74,40% | 70,1 |
| 21/mar | 23:00 | 28,7 °C | 28,3 °C | 34,6 | 30,4 | 24,3 °C | 33,4 °C | 30,6 °C | 26,1 °C | 29,4 °C | 24,5 °C | 74,60% | 70,6 |

Fonte: Autor, 2022

Tabela 20 Levantamento in loco dia 22/03/2022

| DATA | HORA | Temperatura de Globo de Bulbo Úmido (WBGT) | | Temperatura do Ar (TA) | | Temperatura de Globo Preto (TG) | | Temperatura de Bulbo Úmido (WET) | | Temperatura do Ponto de Orvalho (DEW) | | Umidade Relativa (%RH) | |
|--------|-------|--|---------|------------------------|------|---------------------------------|---------|----------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|------------------------|------|
| | | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC |
| 22/mar | 00:00 | 28,6 °C | 28,1 °C | 34,4 | 30,2 | 24,0 °C | 33,1 °C | 30,5 °C | 25,9 °C | 29,3 °C | 24,3 °C | 74,90% | 70,7 |
| 22/mar | 01:00 | 28,4 °C | 27,9 °C | 34,1 | 30 | 23,8 °C | 32,9 °C | 30,3 °C | 25,8 °C | 29,1 °C | 24,2 °C | 75,20% | 71 |
| 22/mar | 02:00 | 28,1 °C | 27,7 °C | 33,9 | 29,7 | 23,5 °C | 32,7 °C | 30,1 °C | 25,5 °C | 29,0 °C | 23,9 °C | 75,50% | 71,2 |
| 22/mar | 03:00 | 27,9 °C | 27,5 °C | 33,7 | 29,5 | 23,3 °C | 32,5 °C | 29,9 °C | 25,4 °C | 28,8 °C | 23,8 °C | 75,70% | 71,3 |
| 22/mar | 04:00 | 27,8 °C | 27,3 °C | 33,5 | 29,3 | 23,1 °C | 32,3 °C | 29,8 °C | 25,2 °C | 28,7 °C | 23,6 °C | 75,90% | 71,5 |
| 22/mar | 05:00 | 27,6 °C | 27,0 °C | 33,3 | 29 | 22,9 °C | 32,0 °C | 29,6 °C | 24,9 °C | 28,5 °C | 23,3 °C | 76,10% | 71,6 |
| 22/mar | 06:00 | 27,3 °C | 26,9 °C | 33 | 28,8 | 22,7 °C | 31,8 °C | 29,3 °C | 24,8 °C | 28,2 °C | 23,2 °C | 76,20% | 71,8 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|---------|---------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|------|
| 22/mar | 07:00 | 27,9 °C | 27,9 °C | 33,7 | 30 | 24,1 °C | 34,1 °C | 29,5 °C | 25,2 °C | 28,2 °C | 23,2 °C | 73,00% | 66,9 |
| 22/mar | 08:00 | 28,1 °C | 29,5 °C | 34 | 32,4 | 24,9 °C | 37,1 °C | 29,5 °C | 26,2 °C | 28,1 °C | 23,8 °C | 71,60% | 60,5 |
| 22/mar | 09:00 | 28,8 °C | 29,2 °C | 35,1 | 31,7 | 26,0 °C | 36,2 °C | 30,0 °C | 26,2 °C | 28,4 °C | 24,1 °C | 68,50% | 64,1 |
| 22/mar | 10:00 | 29,2 °C | 29,9 °C | 35,5 | 32,5 | 26,4 °C | 37,0 °C | 30,4 °C | 26,8 °C | 28,8 °C | 24,6 °C | 68,30% | 63,3 |
| 22/mar | 11:00 | 29,6 °C | 30,5 °C | 35,7 | 33,2 | 27,1 °C | 37,9 °C | 30,6 °C | 27,0 °C | 29,0 °C | 25,0 °C | 68,70% | 62,6 |
| 22/mar | 12:00 | 29,8 °C | 30,5 °C | 35,9 | 33,3 | 26,9 °C | 37,6 °C | 31,0 °C | 27,5 °C | 29,5 °C | 25,4 °C | 69,60% | 63,5 |
| 22/mar | 13:00 | 29,9 °C | 30,7 °C | 36,2 | 33,6 | 26,9 °C | 37,5 °C | 31,2 °C | 27,8 °C | 29,8 °C | 25,7 °C | 69,60% | 63,6 |
| 22/mar | 14:00 | 30,1 °C | 30,9 °C | 36,5 | 33,9 | 27,0 °C | 37,6 °C | 31,4 °C | 28,1 °C | 29,9 °C | 26,0 °C | 68,90% | 63,4 |
| 22/mar | 15:00 | 30,5 °C | 31,2 °C | 37,1 | 34,4 | 27,6 °C | 38,0 °C | 31,7 °C | 28,0 °C | 30,1 °C | 26,0 °C | 67,60% | 62,2 |
| 22/mar | 16:00 | 30,8 °C | 31,5 °C | 37,5 | 34,8 | 28,0 °C | 38,4 °C | 32,0 °C | 28,0 °C | 30,4 °C | 26,0 °C | 67,10% | 61,8 |
| 22/mar | 17:00 | 30,8 °C | 31,3 °C | 37,9 | 34,7 | 28,0 °C | 38,0 °C | 32,0 °C | 28,0 °C | 30,0 °C | 26,0 °C | 65,50% | 61,6 |
| 22/mar | 18:00 | 30,6 °C | 30,7 °C | 37,8 | 34 | 27,0 °C | 36,9 °C | 32,0 °C | 28,0 °C | 30,0 °C | 25,9 °C | 65,70% | 62,9 |
| 22/mar | 19:00 | 30,7 °C | 30,4 °C | 37,6 | 33,4 | 27,2 °C | 36,3 °C | 32,2 °C | 27,8 °C | 30,7 °C | 25,8 °C | 67,90% | 64,6 |
| 22/mar | 20:00 | 30,5 °C | 30,0 °C | 37,2 | 32,9 | 26,8 °C | 35,9 °C | 32,1 °C | 27,5 °C | 30,7 °C | 25,5 °C | 69,60% | 65,4 |
| 22/mar | 21:00 | 30,3 °C | 29,7 °C | 36,8 | 32,5 | 26,4 °C | 35,5 °C | 32,0 °C | 27,2 °C | 30,6 °C | 25,3 °C | 70,80% | 65,9 |
| 22/mar | 22:00 | 30,1 °C | 29,4 °C | 36,4 | 32,1 | 26,1 °C | 35,0 °C | 31,8 °C | 27,0 °C | 30,5 °C | 25,1 °C | 71,70% | 66,6 |
| 22/mar | 23:00 | 29,8 °C | 29,2 °C | 36,1 | 31,8 | 25,7 °C | 34,7 °C | 31,6 °C | 26,8 °C | 30,3 °C | 24,9 °C | 72,40% | 67 |

Fonte: Autor, 2022

Tabela 21 Levantamento in loco dia 23/03/2022

| DATA | HORA | Temperatura de Globo de Bulbo Úmido (WBGT) | | Temperatura do Ar (TA) | | Temperatura de Globo Preto (TG) | | Temperatura de Bulbo Úmido (WET) | | Temperatura do Ponto de Orvalho (DEW) | | Umidade Relativa (%RH) | |
|--------|-------|--|---------|------------------------|------|---------------------------------|---------|----------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|------------------------|------|
| | | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC |
| 23/mar | 00:00 | 29,6 °C | 28,9 °C | 35,8 | 31,5 | 25,5 °C | 34,4 °C | 31,4 °C | 26,6 °C | 30,2 °C | 24,8 °C | 73,10% | 67,5 |
| 23/mar | 01:00 | 29,4 °C | 28,7 °C | 35,5 | 31,2 | 25,2 °C | 34,2 °C | 31,2 °C | 26,4 °C | 30,0 °C | 24,6 °C | 73,20% | 67,9 |
| 23/mar | 02:00 | 29,1 °C | 28,5 °C | 35,2 | 30,9 | 24,8 °C | 33,8 °C | 31,0 °C | 26,2 °C | 29,8 °C | 24,4 °C | 73,70% | 68,3 |
| 23/mar | 03:00 | 28,9 °C | 28,2 °C | 34,9 | 30,6 | 24,6 °C | 33,5 °C | 30,8 °C | 26,0 °C | 29,6 °C | 24,2 °C | 74,10% | 68,6 |
| 23/mar | 04:00 | 28,7 °C | 28,0 °C | 34,6 | 30,2 | 24,3 °C | 33,2 °C | 30,6 °C | 25,7 °C | 29,4 °C | 23,9 °C | 74,40% | 69 |
| 23/mar | 05:00 | 28,4 °C | 27,6 °C | 34,3 | 29,9 | 24,0 °C | 32,9 °C | 30,3 °C | 25,4 °C | 29,1 °C | 23,6 °C | 74,60% | 69,2 |
| 23/mar | 06:00 | 28,3 °C | 27,5 °C | 34,1 | 29,7 | 23,8 °C | 32,7 °C | 30,2 °C | 25,3 °C | 29,0 °C | 23,5 °C | 74,80% | 69,6 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|---------|---------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|------|
| 23/mar | 07:00 | 28,1 °C | 27,4 °C | 33,9 | 29,5 | 23,7 °C | 32,6 °C | 30,0 °C | 25,2 °C | 28,8 °C | 23,4 °C | 74,70% | 69,7 |
| 23/mar | 08:00 | 28,3 °C | 27,6 °C | 34,1 | 29,7 | 24,3 °C | 33,4 °C | 30,0 °C | 25,1 °C | 28,7 °C | 23,3 °C | 73,40% | 68,5 |
| 23/mar | 09:00 | 28,2 °C | 27,6 °C | 34,1 | 29,9 | 24,1 °C | 33,1 °C | 29,9 °C | 25,3 °C | 28,6 °C | 23,4 °C | 73,00% | 68,1 |
| 23/mar | 10:00 | 28,4 °C | 28,1 °C | 34,5 | 30,5 | 24,8 °C | 34,0 °C | 30,0 °C | 25,6 °C | 28,6 °C | 23,7 °C | 71,60% | 66,9 |
| 23/mar | 11:00 | 28,8 °C | 28,5 °C | 34,8 | 30,9 | 25,5 °C | 34,9 °C | 30,2 °C | 25,8 °C | 28,8 °C | 23,8 °C | 71,10% | 65,9 |
| 23/mar | 12:00 | 28,9 °C | 28,7 °C | 35,1 | 31 | 25,7 °C | 35,1 °C | 30,3 °C | 25,9 °C | 28,9 °C | 23,9 °C | 70,60% | 66 |
| 23/mar | 13:00 | 29,1 °C | 28,8 °C | 35,3 | 31,3 | 25,7 °C | 35,1 °C | 30,5 °C | 26,1 °C | 29,1 °C | 24,1 °C | 70,30% | 65,5 |
| 23/mar | 14:00 | 29,4 °C | 29,4 °C | 35,5 | 32 | 26,3 °C | 36,0 °C | 30,8 °C | 26,6 °C | 29,4 °C | 24,5 °C | 70,70% | 64,6 |
| 23/mar | 15:00 | 29,7 °C | 29,7 °C | 35,8 | 32,4 | 26,2 °C | 36,1 °C | 31,2 °C | 26,9 °C | 29,8 °C | 24,9 °C | 71,20% | 64,6 |
| 23/mar | 16:00 | 29,7 °C | 29,5 °C | 35,9 | 32,2 | 25,9 °C | 35,4 °C | 31,3 °C | 27,0 °C | 30,0 °C | 25,1 °C | 71,80% | 66,2 |
| 23/mar | 17:00 | 29,8 °C | 29,6 °C | 35,9 | 32,1 | 25,8 °C | 35,3 °C | 31,5 °C | 27,1 °C | 30,2 °C | 25,2 °C | 72,50% | 66,9 |
| 23/mar | 18:00 | 29,6 °C | 29,2 °C | 35,6 | 31,7 | 25,4 °C | 34,7 °C | 31,4 °C | 26,9 °C | 30,2 °C | 25,1 °C | 73,70% | 68,1 |
| 23/mar | 19:00 | 29,4 °C | 29,0 °C | 35,3 | 31,3 | 25,0 °C | 34,3 °C | 31,3 °C | 26,7 °C | 30,1 °C | 25,0 °C | 74,80% | 69,2 |
| 23/mar | 20:00 | 29,3 °C | 28,8 °C | 35,1 | 31,1 | 24,8 °C | 34,0 °C | 31,2 °C | 26,6 °C | 30,1 °C | 24,9 °C | 75,30% | 69,5 |
| 23/mar | 21:00 | 29,1 °C | 28,6 °C | 34,9 | 30,8 | 24,6 °C | 33,8 °C | 31,0 °C | 26,3 °C | 29,9 °C | 24,6 °C | 75,60% | 69,7 |
| 23/mar | 22:00 | 29,0 °C | 28,4 °C | 34,7 | 30,5 | 24,3 °C | 33,5 °C | 31,0 °C | 26,2 °C | 29,9 °C | 24,5 °C | 76,10% | 70,2 |
| 23/mar | 23:00 | 28,7 °C | 28,2 °C | 34,4 | 30,3 | 24,1 °C | 33,2 °C | 30,7 °C | 26,0 °C | 29,6 °C | 24,3 °C | 76,30% | 70,4 |

Fonte: Autor, 2022

Tabela 22 Levantamento in loco dia 24/03/2022

| DATA | HORA | Temperatura de Globo de Bulbo Úmido (WBGT) | | Temperatura do Ar (TA) | | Temperatura de Globo Preto (TG) | | Temperatura de Bulbo Úmido (WET) | | Temperatura do Ponto de Orvalho (DEW) | | Umidade Relativa (%RH) | |
|--------|-------|--|---------|------------------------|------|---------------------------------|---------|----------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|------------------------|------|
| | | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC | AE | PC |
| 24/mar | 00:00 | 28,6 °C | 28,0 °C | 34,2 | 30 | 23,9 °C | 33,0 °C | 30,6 °C | 25,8 °C | 29,5 °C | 24,1 °C | 76,50% | 70,7 |
| 24/mar | 01:00 | 28,4 °C | 27,8 °C | 34 | 29,8 | 23,6 °C | 32,8 °C | 30,4 °C | 25,6 °C | 29,3 °C | 24,0 °C | 76,70% | 71 |
| 24/mar | 02:00 | 28,3 °C | 27,6 °C | 33,8 | 29,6 | 23,5 °C | 32,6 °C | 30,3 °C | 25,4 °C | 29,2 °C | 23,8 °C | 76,80% | 71,2 |
| 24/mar | 03:00 | 28,1 °C | 27,4 °C | 33,6 | 29,4 | 23,3 °C | 32,4 °C | 30,1 °C | 25,3 °C | 29,0 °C | 23,7 °C | 76,80% | 71,3 |
| 24/mar | 04:00 | 27,9 °C | 27,2 °C | 33,5 | 29,2 | 23,1 °C | 32,2 °C | 30,0 °C | 25,1 °C | 28,9 °C | 23,5 °C | 77,00% | 71,6 |
| 24/mar | 05:00 | 27,8 °C | 27,1 °C | 33,3 | 29 | 23,0 °C | 31,9 °C | 29,8 °C | 25,0 °C | 28,7 °C | 23,4 °C | 77,10% | 71,8 |
| 24/mar | 06:00 | 27,6 °C | 26,9 °C | 33,1 | 28,8 | 22,8 °C | 31,8 °C | 29,7 °C | 24,8 °C | 28,6 °C | 23,2 °C | 77,20% | 72 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|---------|---------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|------|
| 24/mar | 07:00 | 27,7 °C | 27,1 °C | 33,2 | 29 | 23,2 °C | 32,2 °C | 29,6 °C | 24,9 °C | 28,5 °C | 23,3 °C | 76,30% | 71,2 |
| 24/mar | 08:00 | 28,1 °C | 27,8 °C | 33,7 | 29,8 | 24,3 °C | 33,7 °C | 29,7 °C | 25,2 °C | 28,4 °C | 23,3 °C | 73,90% | 68,3 |
| 24/mar | 09:00 | 27,8 °C | 27,3 °C | 33,4 | 29,2 | 23,3 °C | 32,6 °C | 29,7 °C | 25,0 °C | 28,5 °C | 23,3 °C | 75,50% | 70,7 |
| 24/mar | 10:00 | 28,2 °C | 27,7 °C | 33,8 | 29,8 | 24,3 °C | 33,6 °C | 29,8 °C | 25,2 °C | 28,5 °C | 23,4 °C | 73,80% | 68,7 |
| 24/mar | 11:00 | 27,8 °C | 27,4 °C | 33,4 | 29,4 | 23,3 °C | 32,6 °C | 29,7 °C | 25,2 °C | 28,5 °C | 23,5 °C | 75,70% | 70,6 |
| 24/mar | 12:00 | 27,5 °C | 27,0 °C | 33,1 | 28,8 | 22,7 °C | 31,8 °C | 29,6 °C | 24,9 °C | 28,5 °C | 23,3 °C | 77,00% | 72,2 |
| 24/mar | 13:00 | 27,4 °C | 26,5 °C | 32,9 | 28,3 | 22,5 °C | 31,2 °C | 29,5 °C | 24,5 °C | 28,4 °C | 22,9 °C | 77,20% | 72,7 |
| 24/mar | 14:00 | 27,1 °C | 26,3 °C | 32,6 | 28 | 22,3 °C | 31,0 °C | 29,2 °C | 24,3 °C | 28,1 °C | 22,7 °C | 77,40% | 72,8 |
| 24/mar | 15:00 | 27,0 °C | 26,1 °C | 32,5 | 27,8 | 22,2 °C | 30,9 °C | 29,0 °C | 24,0 °C | 27,9 °C | 22,4 °C | 77,00% | 72,7 |
| 24/mar | 16:00 | 26,9 °C | 26,1 °C | 32,4 | 27,8 | 22,3 °C | 31,0 °C | 28,9 °C | 24,0 °C | 27,8 °C | 22,4 °C | 76,70% | 72,4 |
| 24/mar | 17:00 | 26,8 °C | 26,0 °C | 32,2 | 27,7 | 22,1 °C | 30,8 °C | 28,8 °C | 23,9 °C | 27,7 °C | 22,3 °C | 77,00% | 72,6 |
| 24/mar | 18:00 | 26,8 °C | 26,0 °C | 32,2 | 27,7 | 22,1 °C | 30,8 °C | 28,9 °C | 24,0 °C | 27,8 °C | 22,4 °C | 77,00% | 72,8 |

Fonte: Autor, 2022

APÊNDICE C – TEMPERATURAS EXTERNAS

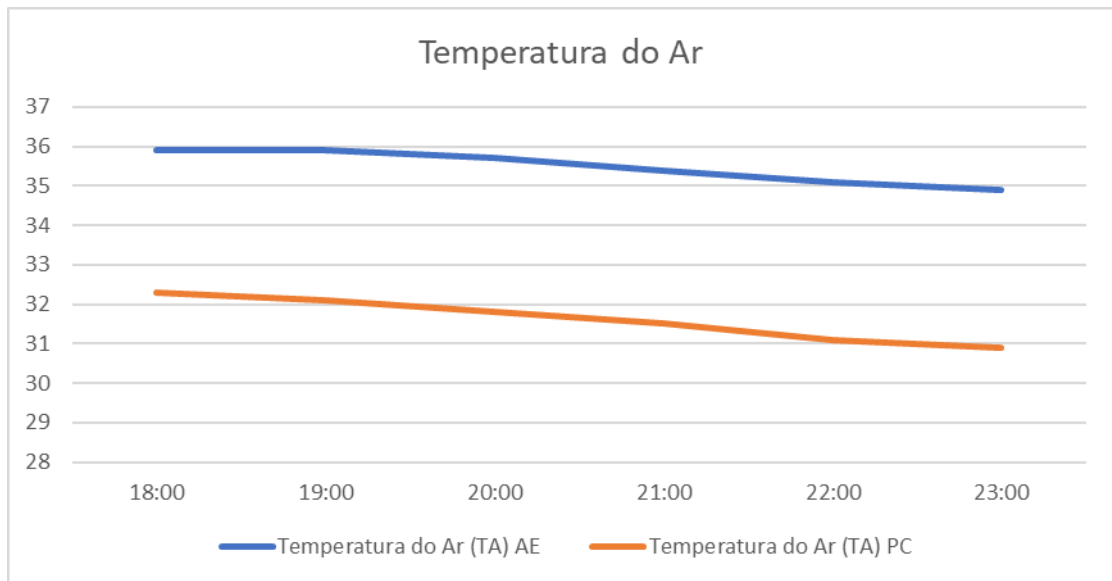
Tabela 23 Temperatura do Ar Externa

| Data | Hora UTC | Temperatura °C | Umidade % | Dados Diários | | |
|------------|-------------|-------------------|--------------|--------------------|--------------------|---------------|
| | | | | Temp. Máx. (°C) | Temp. Mín. (°C) | Chuva (mm) |
| 19/03/2022 | 00:00 | 26,1 | 92 | 34,7 | 23,4 | 20,6 |
| 19/03/2022 | 12:00 | 27,3 | 80 | | | |
| 19/03/2022 | 18:00 | 28,7 | 63 | | | |
| 20/03/2022 | 00:00 | 26,8 | 85 | 31,9 | 23,9 | 7,6 |
| 20/03/2022 | 12:00 | 25,1 | 93 | | | |
| 20/03/2022 | 18:00 | 26,5 | 87 | | | |
| 21/03/2022 | 00:00 | 24,5 | 92 | 31,7 | 22,2 | 6,6 |
| 21/03/2022 | 12:00 | 26,5 | 84 | | | |
| 21/03/2022 | 18:00 | 30,7 | 61 | | | |
| 22/03/2022 | 00:00 | 25,9 | 83 | 35,1 | 22,8 | 2,4 |
| 22/03/2022 | 12:00 | 27,4 | 78 | | | |
| 22/03/2022 | 18:00 | 34,3 | 47 | | | |
| 23/03/2022 | 00:00 | 27,1 | 81 | 31,1 | 23,9 | 0 |
| 23/03/2022 | 12:00 | 25,6 | 87 | | | |
| 23/03/2022 | 18:00 | 29,6 | 75 | | | |
| 24/03/2022 | 00:00 | 26,3 | 91 | 26,3 | 23,8 | 3 |
| 24/03/2022 | 12:00 | 26,3 | 88 | | | |
| 24/03/2022 | 18:00 | 23,1 | 93 | | | |

Fonte: INMET, 2022

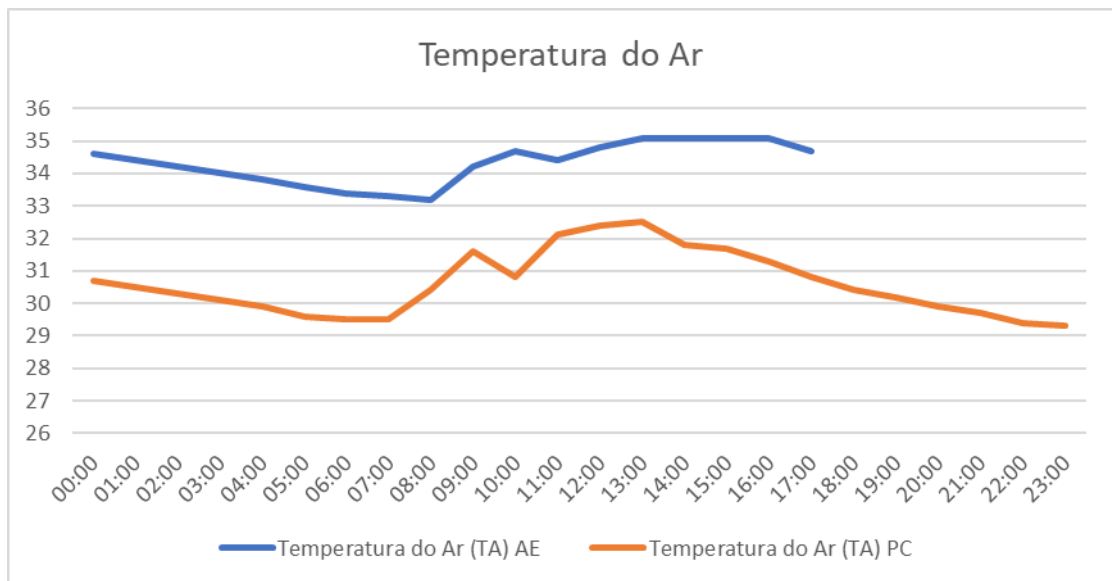
APÊNDICE D – TEMPERATURAS DO AR

Figura 24 Temperatura do Ar 19/03/2022



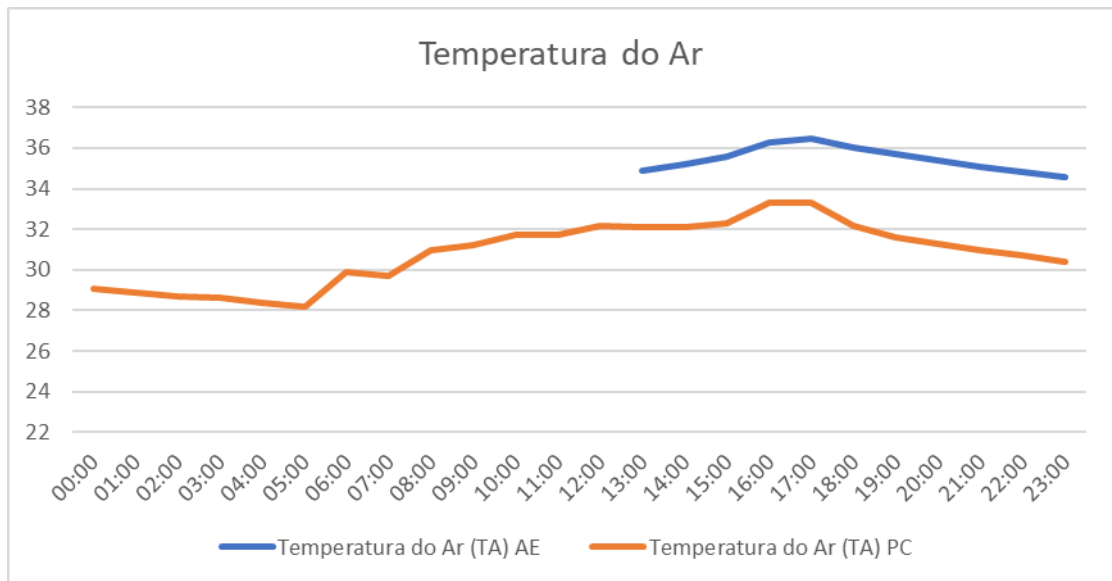
Fonte: Autor, 2022

Figura 25 Temperatura do Ar 20/03/2022



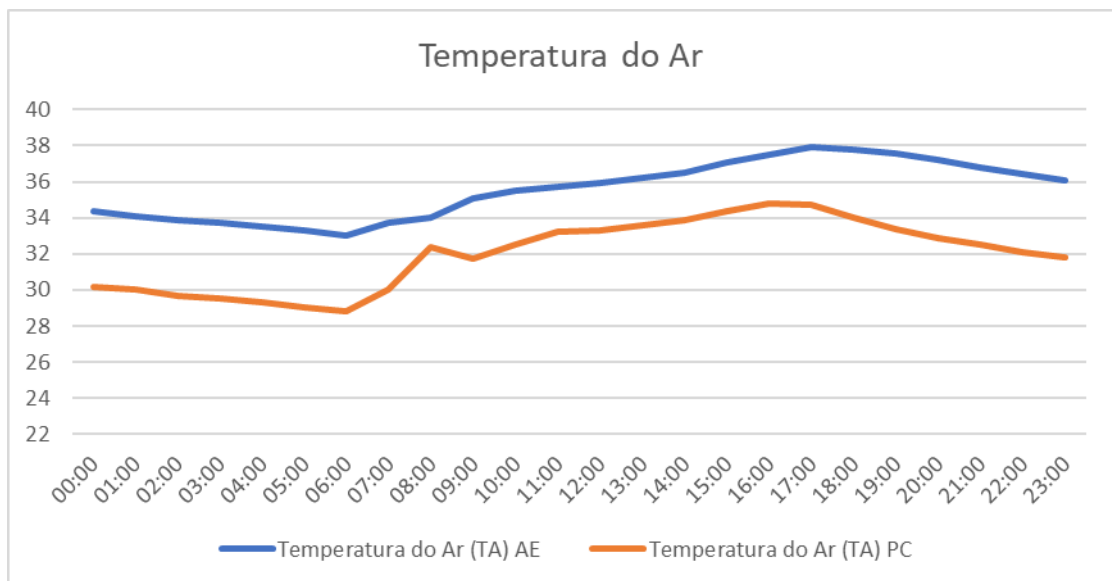
Fonte: Autor, 2022

Figura 26 Temperatura do Ar 21/03/2022



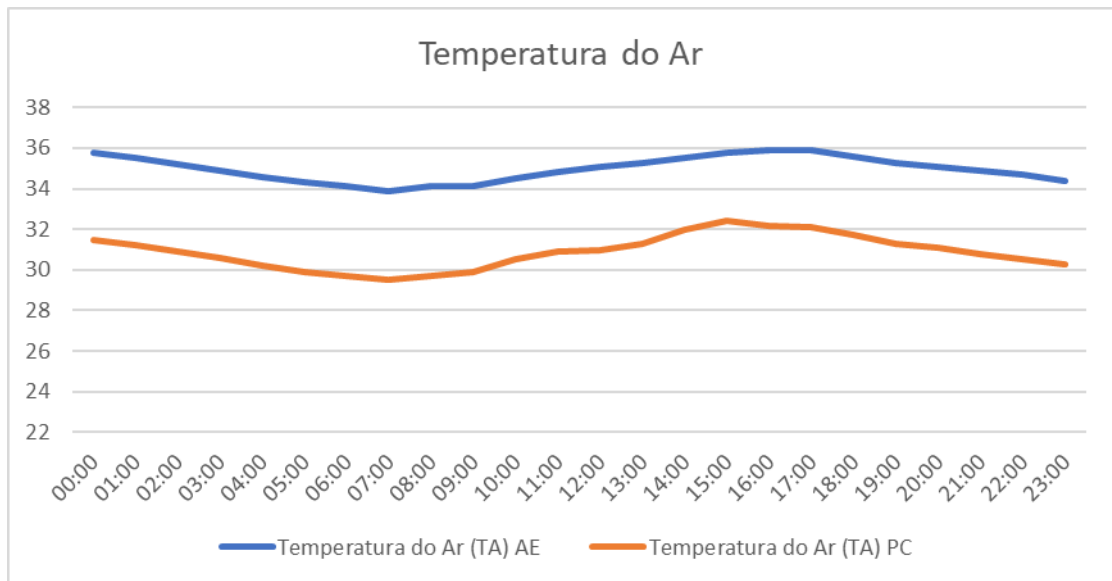
Fonte: Autor, 2022

Figura 27 Temperatura do Ar 22/03/2022



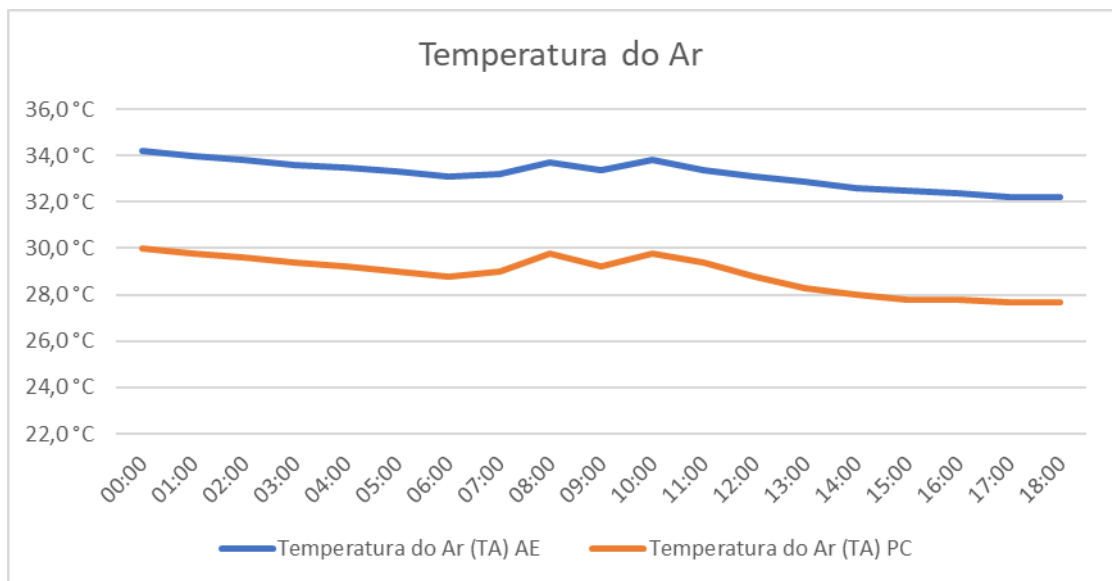
Fonte: Autor, 2022

Figura 28 Temperatura do Ar 23/03/2022



Fonte: Autor, 2022

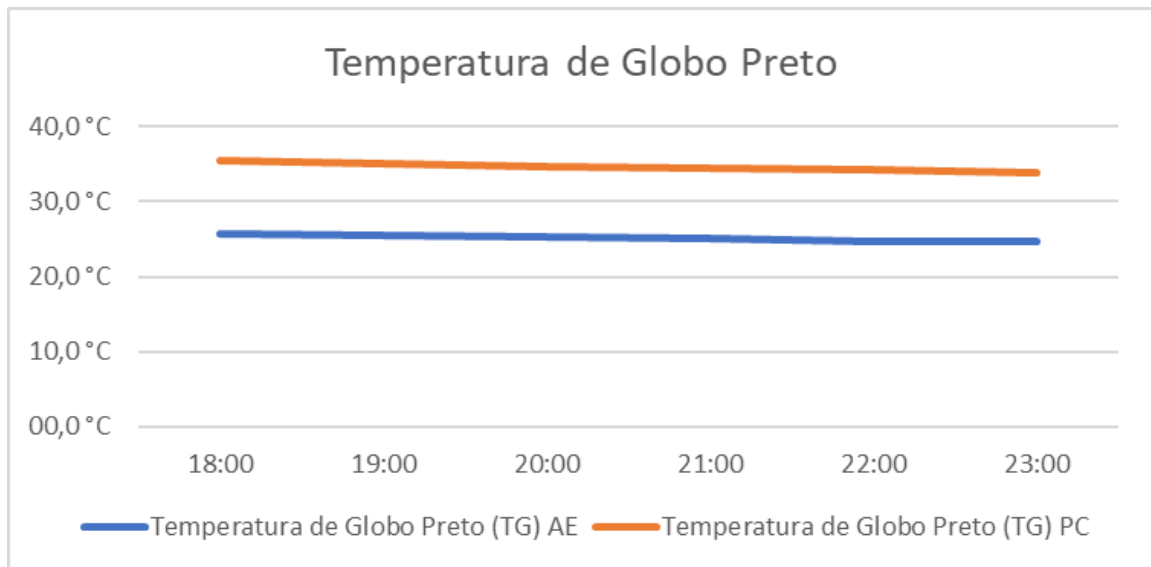
Figura 29 Temperatura do Ar 24/03/2022



Fonte: Autor, 2022

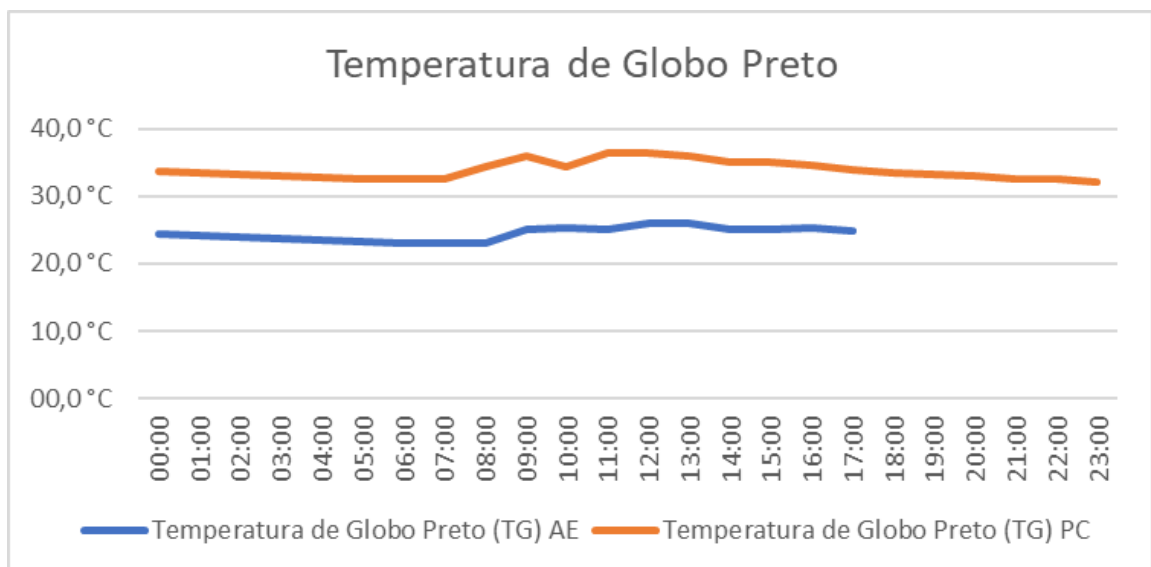
APÊNDICE E – TEMPERATURAS DE GLOBO PRETO

Figura 30 Temperatura de Globo Preto dia 19/03/2022



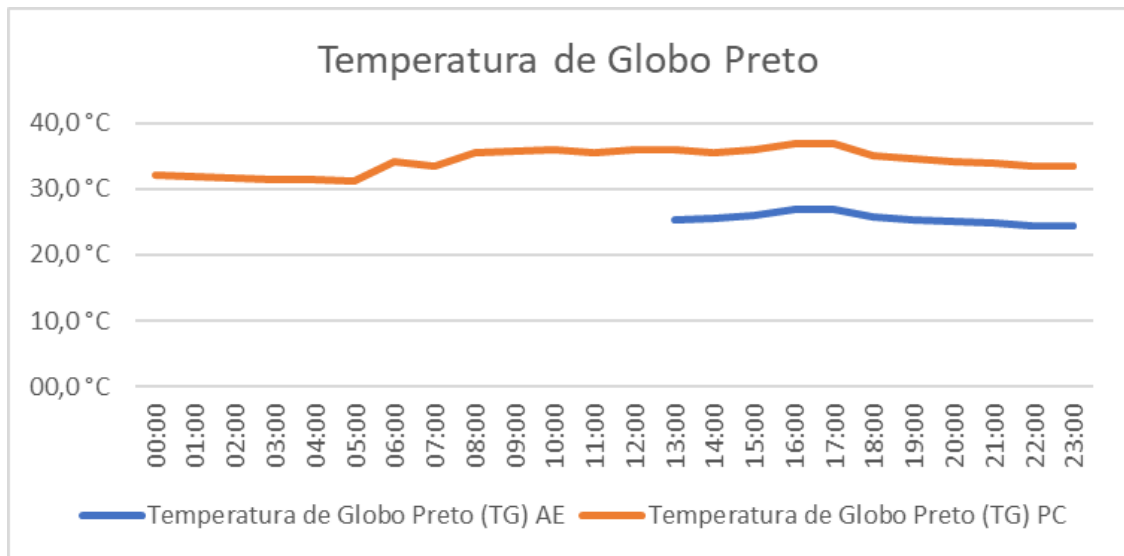
Fonte: Autor, 2022

Figura 31 Temperatura de Globo Preto dia 20/03/2022



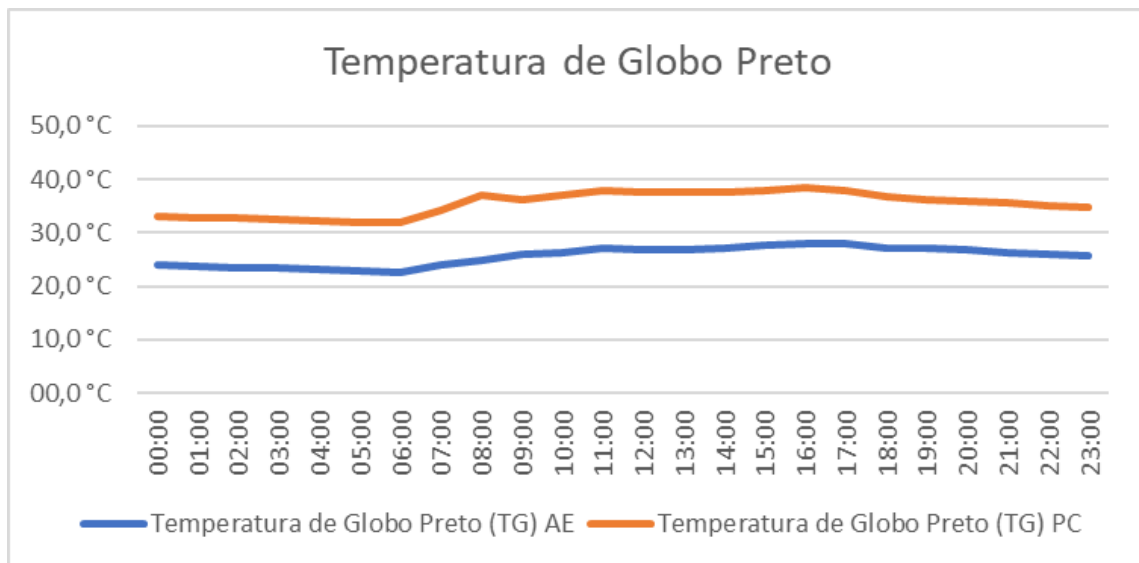
Fonte: Autor, 2022

Figura 32 Temperatura de Globo Preto dia 21/03/2022



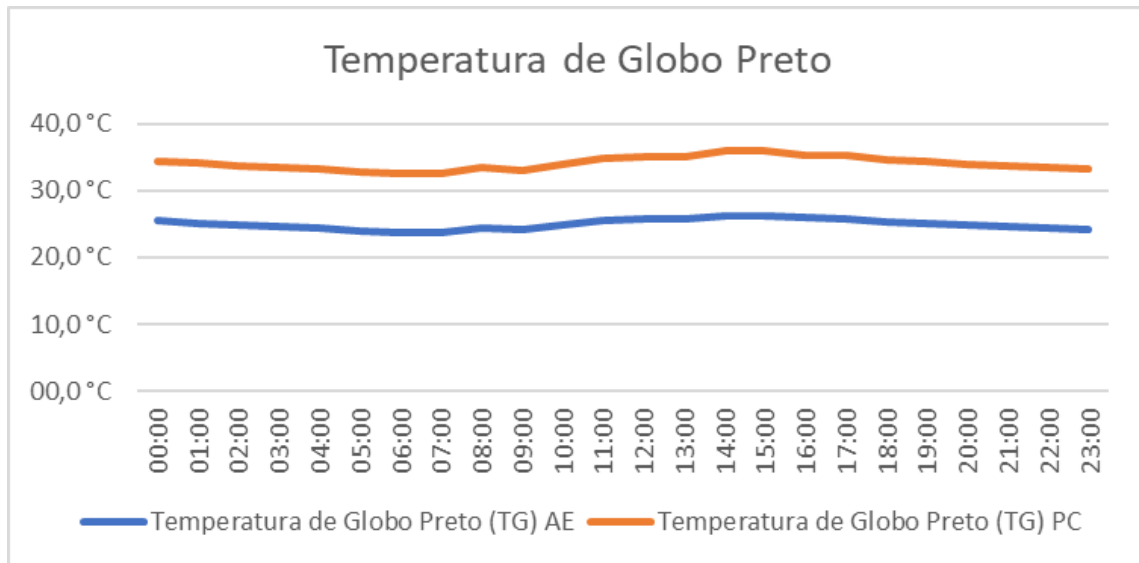
Fonte: Autor, 2022

Figura 33 Temperatura de Globo Preto dia 22/03/2022



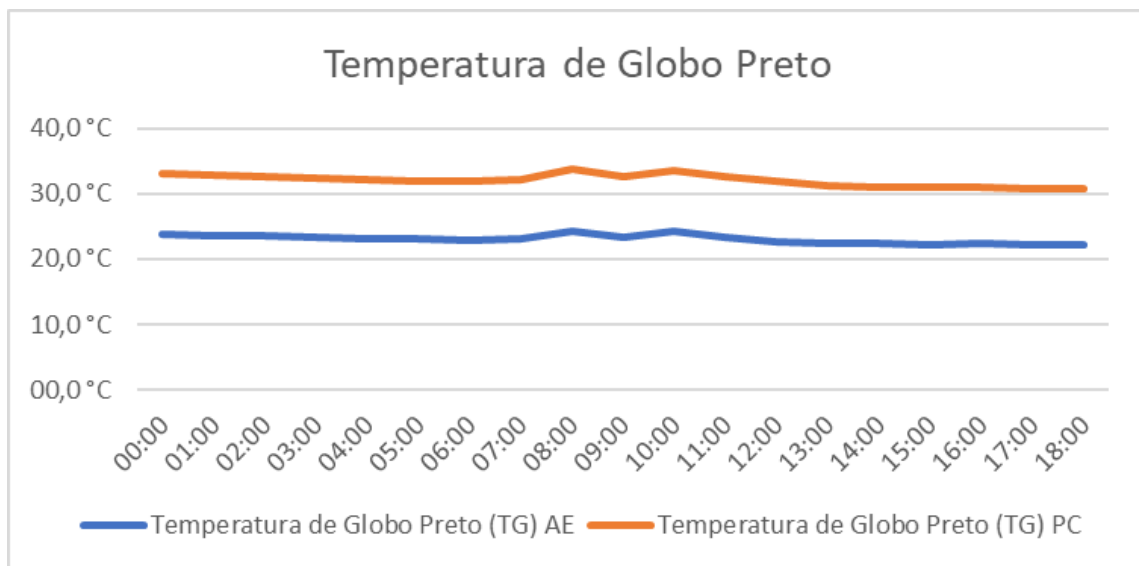
Fonte: Autor, 2022

Figura 34 Temperatura de Globo Preto dia 23/03/2022



Fonte: Autor, 2022

Figura 35 Temperatura de Globo Preto dia 24/03/2022



Fonte: Autor, 2022

ANEXO I



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Termômetro de globo
IP: DPSMAR214

OC17090_001-10-08-21

DADOS DO CLIENTE

Empresa: Mateia Cristina Ayres de Oliveira
CNPJ: 246.726.158-12
Endereço:
Cidade / Estado:

DADOS DO INSTRUMENTO

| | | | |
|--------------------|---------------------|---------------------------|-----------|
| Grandezas: | Temperature | Faixa Sensor globo: | 0 a 50 °C |
| Instrumento: | Termômetro de globo | Resolução: | 0,1 °C |
| Local/Equipamento: | Não especificado | Faixa Sensor bulbo seco: | 0 a 50 °C |
| Marca: | Hightred | Resolução: | 0,1 °C |
| Modelo: | TGD-1800 | Faixa Sensor bulbo úmido: | 0 a 80 °C |
| Nº. Série: | 1901000006 | Resolução: | 0,1 °C |
| Identificação: | 1901000006 | | |

DADOS DA CALIBRAÇÃO

| | | | |
|------------------------|---------------------|-----------------------------|------------|
| Data de Calibração: | 07/03/2022 | Data da próxima calibração: | 07/03/2023 |
| Local de Calibração: | Laboratório Gymetro | Ordem de Serviço: | 579 |
| Temperatura Ambiental: | 22,6 °C | Umidade Relativa: | 53,7 UR% |

RASTREABILIDADE DOS PADRÕES

Temperature - Forno de Calibração GYN-INST-PAD-BAN-02 - Certificado RBC Nº LT 286 213 válido até março de 2024
Temperature - Forno de Calibração GYN-INST-PAD-BAN-03 - Certificado RBC Nº LT 286 948R válido até março de 2023
Monitor Ambiental - Termohigrômetro GYN-INST-PAD-REG-01 - Certificado RBC Nº A-0784/21 válido até março de 2022

CALIBRAÇÃO

| Sensor globo | | Valores expressos em °C | | | | |
|--------------|-------|-------------------------|--------|---------------|-----------------------|---------|
| V.R. | V.I. | Desvio | Erro % | Desvio Padrão | Incerteza Expandida U | Fator k |
| 15,00 | 14,80 | -0,20 | -1,33 | 0,00 | 0,2293 | 2,00 |
| 20,00 | 19,53 | -0,47 | -2,35 | 0,06 | 0,2269 | 2,00 |
| 30,00 | 29,13 | -0,87 | -2,89 | 0,06 | 0,2269 | 2,00 |

Erro máximo expandido: 1,232

| Sensor bulbo seco | | Valores expressos em °C | | | | |
|-------------------|-------|-------------------------|--------|---------------|-----------------------|---------|
| V.R. | V.I. | Desvio | Erro % | Desvio Padrão | Incerteza Expandida U | Fator k |
| 15,00 | 15,00 | 0,00 | 0,07 | 0,00 | 0,2293 | 2,00 |
| 20,00 | 20,30 | 0,30 | 1,50 | 0,00 | 0,2293 | 2,00 |
| 30,00 | 29,23 | -0,77 | -2,56 | 0,06 | 0,2269 | 2,00 |

Erro máximo expandido: 1,228

| Sensor bulbo úmido | | Valores expressos em °C | | | | |
|--------------------|-------|-------------------------|--------|---------------|-----------------------|---------|
| V.R. | V.I. | Desvio | Erro % | Desvio Padrão | Incerteza Expandida U | Fator k |
| 15,00 | 15,60 | 0,60 | 4,00 | 0,00 | 0,2293 | 2,00 |
| 20,00 | 19,87 | -0,13 | -0,67 | 0,06 | 0,2269 | 2,00 |
| 30,00 | 30,20 | 0,20 | 0,67 | 0,00 | 0,2293 | 2,00 |

Erro máximo expandido: 0,303

| Sensor umidade | | Valores expressos em UR% | | | | |
|----------------|-------|--------------------------|--------|---------------|-----------------------|---------|
| V.R. | V.I. | Desvio | Erro % | Desvio Padrão | Incerteza Expandida U | Fator k |
| 52,00 | 51,50 | -0,40 | -0,77 | 0,00 | 0,2293 | 2,00 |
| 60,00 | 60,60 | 0,60 | 1,00 | 0,00 | 0,2293 | 2,00 |
| 84,00 | 84,50 | 0,50 | 0,60 | 0,00 | 0,2293 | 2,00 |

Erro máximo expandido: 0,800

OBSERVAÇÕES E ESCLARECIMENTOS

- 1- A calibração foi realizada conforme procedimento CAL TERO através do método comparativo entre padrão e instrumento por meio de três medições.
- 2- V.R.: Valor de referência lido no instrumento padrão.
- 3- V.I.: Valor indicado no instrumento.
- 4- Desvio: média do V.I. (Valor Indicado) subtraído de média do V.R. (Valor referência).
- 5- Erro%: Valor do desvio sob forma percentual.
- 6- A incerteza expandida U trata-se de incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k.
- 7- Este certificado é válido exclusivamente para o instrumento calibrado descrito.
- 8- A data de próxima calibração, quando indicada, foi informada pelo cliente, conforme NBR ISO17025.
- 9- É proibida a reprodução parcial deste certificado sem a prévia autorização.

Referências

Procedimento utilizado-Método de comparação direta. ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Portaria n.º 232, de 08 de maio de 2012.

Atendendo aos requisitos das normas vigentes NBR ISO 9000, NBR ISO14000, NBR ISO17025, NBR ISO22000, dentre outras, a calibração dos padrões de referência é rastreável a padrões nacionalmente ou internacionalmente reconhecidos.

Técnico executor: Diego Borém
Emissão do certificado: Loyene Galvão

Signatário autorizado
Danilo Sampaio

Aprovação final pelo cliente: Erro máximo admissível:

Resultado: | Aprovado | Reprovado Data: / / Responsável:

ANEXO II



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

 Termômetro de globo
 IP DPMAR218

OCT/2023_09V-10.09.21

DADOS DO CLIENTE

 Empresa: Maria Cristina Ayres de Oliveira
 CNPJ: 246.725.158-12
 Endereço:
 Cidade / Estado:

DADOS DO INSTRUMENTO

| | | | | | | |
|--------------------|---------------------|---------------------------|-----|----|----|----|
| Grandezas: | Temperature | Faixa Sensor globo: | 0 | à | 50 | °C |
| Instrumento: | Termômetro de globo | Resolução: | 0,1 | °C | | |
| Local/Equipamento: | Não especificado | Faixa Sensor bulbo seco: | 0 | à | 56 | °C |
| Marcas: | Hgmed | Resolução: | 0,1 | °C | | |
| Modelo: | TGD-1800 | Faixa Sensor bulbo úmido: | 0 | à | 80 | °C |
| N.º Série: | 1901000003 | Resolução: | 0,1 | °C | | |
| Identificação: | 1901000003 | | | | | |

DADOS DA CALIBRAÇÃO

| | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|------------|
| Data de Calibração: | 07/03/2023 | Data de próxima calibração: | 07/03/2023 |
| Local de Calibração: | Laboratório Gyrrmetro | Ordem de Serviço: | 579 |
| Temperatura Ambiente: | 22,6 °C | Umidade Relativa: | 53,7 UR% |

RASTREABILIDADE DOS PADRÕES

Temperature - Forno de Calibração GYN-INST-PAD-BAN-02 - Certificado RBC Nº LT 288 213 válido até março de 2024
 Temperature - Forno de Calibração GYN-INST-PAD-BAN-03 - Certificado RBC Nº LT 288 948R válido até março de 2023
 Monitor Ambiental - Termohigrometro GYN-INST-PAD-REG-01 - Certificado RBC Nº A-078421 válido até março de 2022

CALIBRAÇÃO

| Sensor globo | | Valores expressos em °C | | | | | |
|--------------|-------|-------------------------|--------|---------------|-----------------------|---------|--|
| V.R. | V.I. | Desvio | Erro % | Desvio Padrão | Incerteza Expandida U | Fator k | |
| 15,00 | 12,80 | -2,40 | -16,00 | 0,00 | 0,2363 | 2,00 | |
| 20,00 | 18,70 | -3,30 | -16,50 | 0,00 | 0,2363 | 2,00 | |
| 30,00 | 27,30 | -2,70 | -9,00 | 0,00 | 0,2363 | 2,00 | |

Erro máximo expandido: 3,500

| Sensor bulbo seco | | Valores expressos em °C | | | | | |
|-------------------|-------|-------------------------|--------|---------------|-----------------------|---------|--|
| V.R. | V.I. | Desvio | Erro % | Desvio Padrão | Incerteza Expandida U | Fator k | |
| 15,00 | 16,90 | 3,90 | 26,00 | 0,00 | 0,2363 | 2,00 | |
| 20,00 | 22,80 | 3,80 | 19,00 | 0,00 | 0,2363 | 2,00 | |
| 30,00 | 33,80 | 3,80 | 11,67 | 0,00 | 0,2363 | 2,00 | |

Erro máximo expandido: 4,100

| Sensor bulbo úmido | | Valores expressos em °C | | | | | |
|--------------------|-------|-------------------------|--------|---------------|-----------------------|---------|--|
| V.R. | V.I. | Desvio | Erro % | Desvio Padrão | Incerteza Expandida U | Fator k | |
| 15,00 | 17,40 | 2,40 | 16,00 | 0,20 | 0,4047 | 2,00 | |
| 20,00 | 22,80 | 2,80 | 14,00 | 0,00 | 0,2363 | 2,00 | |
| 30,00 | 27,30 | -2,70 | -9,00 | 0,00 | 0,2363 | 2,00 | |

Erro máximo expandido: 2,800

| Sensor de umidade | | Valores expressos em UR% | | | | | |
|-------------------|-------|--------------------------|--------|---------------|-----------------------|---------|--|
| V.R. | V.I. | Desvio | Erro % | Desvio Padrão | Incerteza Expandida U | Fator k | |
| 82,00 | 84,30 | 2,30 | 4,33 | 0,00 | 0,2363 | 2,00 | |
| 66,00 | 66,10 | 0,10 | 0,15 | 0,00 | 0,2363 | 2,00 | |
| 84,00 | 85,30 | 1,30 | 1,55 | 0,00 | 0,2363 | 2,00 | |

Erro máximo expandido: 2,300

OBSERVAÇÕES E ESCLARECIMENTOS

- 1- A calibração foi realizada conforme procedimento CAL TERC através do método comparativo entre padrão e instrumento por meio de três medições.
- 2- V.R.: Valor de referência lido no instrumento padrão.
- 3- V.I.: Valor indicado no instrumento.
- 4- Desvio: média do V.I. (Valor Indicado) subtraído da média do V.R. (Valor Referência).
- 5- Erro%: Valor do desvio sob forma percentual.
- 6- A Incerteza expandida U trata-se da Incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k.
- 7- Este certificado é válido exclusivamente para o instrumento calibrado descrito.
- 8- A data da próxima calibração, quando indicada, foi informada pelo cliente, conforme NBR ISO17025.
- 9- É proibida a reprodução parcial deste certificado sem a prévia autorização.

Referências

Procedimento utilizado-Método de comparação direta. ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Portaria n.º 232, de 08 de maio de 2012.

Atendendo aos requisitos das normas vigentes NBR ISO 9000, NBR ISO14000, NBR ISO17025, NBR ISO22000, dentre outras, a calibração dos padrões de referência é rastreável a padrões nacionalmente ou internacionalmente reconhecidos.

 Técnico executor: Diego Bonfim
 Emissão do certificado: Loyane Galvão

 Signatário autorizado
 Davido Santos

Aprovação final pelo cliente: Erro máximo admissível:

Resultado: () Aprovado () Reprovado Data: / / Responsável: