



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

THAYANE BARREIRA GONÇALVES

**ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO SEGUNDO A NBR
15.575/2013 EM PROTÓTIPOS EM PALMAS-TO:
COMPARAÇÃO ENTRE A TELHA CERÂMICA E A TELHA DE
CONCRETO.**

Palmas/TO
2020

THAYANE BARREIRA GONÇALVES

**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**

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. Mariela Cristina Ayres de Oliveira

Palmas/TO
2020

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

- G635a Gonçalves, Thayane Barreira.
 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. / Thayane Barreira Gonçalves. – Palmas, TO, 2020.
 61 f.

 Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
 Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2020.
 Orientadora : Mariela Cristina Ayres de Oliveira

 1. Desempenho térmico. 2. Telha cerâmica. 3. Telha de concreto. 4. NBR
 15.575. 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).

THAYANE BARREIRA GONÇALVES

**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**

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.

Data de aprovação: 20 / 10 / 2020

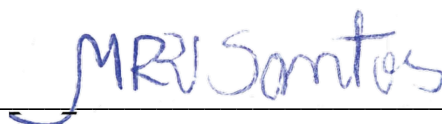
Banca Examinadora



Prof. Dr. Mariela Cristina Ayres de Oliveira, UFT



Prof. Dr. Indara Soto Izquierdo, UFT



Eng. Mônica Regina Vieira Santos, UFT

Palmas, 2020

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me permitido chegar até aqui.

Aos meu pais, Edvan Barreira Gomes e Glauce Gonçalves da Silva Gomes pelo apoio emocional durante a graduação.

Aos meus amigos, em especial Marcos Gonçalves de Oliveira, Sarah Larissa, Radêmora Briano, Skharlet Lima e Ana Paula Felício Santos.

Aos meus professores, em especial as professoras Prof.^a Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira e Prof.^a Marilene Andreia Mantovani, que contribuíram para meu enriquecimento intelectual.

A minha orientadora, Prof.^a Dr. Mariela Cristina Ayres de Oliveira, por compartilhar seu conhecimento e experiências, assim como o acompanhamento e auxílio durante toda essa jornada.

Todas as mulheres engenheiras civis que conheci durante a graduação e me incentivaram a seguir essa profissão, em especial a Eng. Mônica Regina Vieira Santos.

RESUMO

As habitações devem suprir as necessidades e as exigências do usuário, e a escolha de materiais utilizados impacta diretamente, entre outros fatores, o conforto térmico. Tendo em vista a importância desse tema na região de Palmas-TO, caracterizada pelo clima quente na maior parte do ano, esse trabalho avaliou o desempenho térmico de dois tipos de telhas: telha cerâmica e telha de concreto, por meio do procedimento normativo e medições *in loco* de protótipo, segundo os critérios definidos na NBR 15.575:2013 – Norma de Desempenho. O experimento foi realizado através de medições em células-testes construídas conforme as recomendações da normativa, na Universidade Federal do Tocantins. A coleta de dados foi feita através de sensores de temperatura e umidade instalados no interior das células-testes, durante o período de 3 dias, no decorrer de 24 horas por dia. A finalidade da pesquisa serviu para verificar, de forma experimental, a viabilidade do uso da telha cerâmica e da telha de concreto na região referenciada à necessidade de maior conforto térmico. Concluiu-se que as ambas telhas analisadas não atingiram o desempenho mínimo estipulado na norma.

Palavras-chaves: desempenho térmico; telha cerâmica; telha de concreto.

ABSTRACT

The dwellings must meet the needs and requirements of the user, and the choice of materials used directly impacts the thermal comfort, among other factors. In view of the importance of this theme in the region of Palmas-TO, characterized by the hot climate most of the year, this work evaluated the thermal performance of two types of tiles: ceramic tile and concrete tile, through the normative procedure and measurements on-site prototype, according to the criteria defined in NBR 15.575: 2013 - Performance Standard. The experiment was carried out through measurements in test cells built according to the recommendations of the standard, at the Federal University of Tocantins. The data collection was done through temperature and humidity sensors installed inside the test cells, during the period of 3 days, during 24 hours a day. The purpose of the research was to verify, on an experimental basis, the feasibility of using ceramic tiles and concrete tiles in the region referred to the need for greater thermal comfort. It was concluded that both analyzed tiles did not reach the minimum performance stipulated in the standard.

Key-words: thermal performance; ceramic tile; concrete tile.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Zoneamento bioclimático do Brasil segundo a NBR 15.220-3/2005	17
Figura 2 - Carta bioclimática de Palmas a partir das Normais do TRY	18
Figura 3 - Delimitação do município de Palmas - Tocantins	19
Figura 4 - Dados climáticos de médias mensais segundo normal climatológica provisória	20
Figura 5 - Unidades habitacionais – Recanto das Araras 1	22
Figura 6 - Layout disponibilizado pela Secretaria de Habitação	23
Figura 7 - Representação das trocas de calor em um telhado.....	24
Figura 8 - Processo de fabricação da telha cerâmica.....	28
Figura 9 - Modelos de Telhas de Concreto.....	29
Figura 10 - Detalhes esquemáticos da cobertura	35
Figura 11 - Detalhes esquemáticos da parede	35
Figura 12 - Local de implantação dos protótipos.	36
Figura 13 - Planta baixa, planta de cobertura e corte dos protótipos	37
Figura 14 - Protótipos finalizados	37
Figura 15 - Datalogger HMTGD-1800.....	38
Figura 16 - Instalação do datalogger	39
Figura 17 - Interface do Software software Heat Stress WBGT Meter 1.0.03.....	40
Figura 18 - Temperatura média horária do ar no dia 23/06/2020.....	43
Figura 19 - Temperatura média horária do ar no dia 24/06/2020.....	43
Figura 20 - Temperatura média horária do ar no dia 25/06/2020.....	44
Figura 21 - Parede da fachada em corte	50
Figura 22 - Detalhe da cobertura	53
Figura 23 - Umidade relativa do ar no dia 23/06/2020.....	57
Figura 24 - Umidade relativa do ar no dia 24/06/2020.....	58
Figura 25 - Umidade relativa do ar no dia 25/06/2020.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Transmitância térmica de paredes externas.....	31
Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas	32
Tabela 3 - Critérios de coberturas quanto a transmitância térmica	32
Tabela 4 - Critério de avaliação do desempenho térmico para condições de verão.....	34
Tabela 5 - Critério de avaliação do desempenho térmico para condições de inverno.....	34
Tabela 6 – Alcance e precisão do aparelho	39
Tabela 7 - Critério de avaliação de desempenho térmico para a condições de verão	40
Tabela 8- Temperatura máxima do ar e umidade relativa.....	44
Tabela 9 - Condutividade térmica dos materiais das paredes de fachada	50
Tabela 10 - Calor específico e densidade dos materiais das paredes de fachada	52
Tabela 11 - Condutividade térmica dos materiais	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFATECCO	Associação Nacional de Fabricantes de Telhas Certificadas de Concreto
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica
IBUTG	Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo
INMET	Instituto de Meteorologia
ISO	Organização Internacional de Normalização
NBR	Norma Técnica
SEPLAN	Secretaria de Planejamento e Orçamento do Tocantins
UFT	Universidade Federal do Tocantins

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área (m ²)
CT	Capacidade térmica (kJ/m ² K)
e	Espessura (m)
R _{ar}	Resistência térmica do ar (m ² .K/W)
R _{se}	Resistência térmica superficial externa (m ² .K/W)
R _{si}	Resistência térmica superficial interna (m ² .K/W)
RT	Resistência térmica total (m ² .K/W)
TBS	Temperatura de bulbo seco (°C)
TBU	Temperatura de bulbo úmido (°C)
T _{e,máx}	Valor máximo diário de temperatura do ar no exterior da edificação (°C)
T _{e,mín}	Valor mínimo diário de temperatura do ar no exterior da edificação (°C)
T _{i,máx}	Valor máximo diário de temperatura do ar no interior da edificação (°C)
T _{i,mín}	Valor mínimo diário de temperatura do ar no interior da edificação (°C)
U	Transmitância térmica (W/m ² .K)
α	Absortância a radiação solar
ε	Emissividade
λ	Condutividade térmica (W/m.K)
ρ	Refletância a radiação solar
τ	Transmissividade térmica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	Zoneamento bioclimático da região de Palmas - TO	17
3.2	Caracterização climática da região de Palmas	18
3.3	Habitações Populares	20
3.4	Conceitos Físicos de Transmissão de Calor	23
3.4.1	Convecção	24
3.4.2	Condução	24
3.4.3	Radiação	25
3.5	Coberturas	25
3.5.1	Telhas cerâmicas	26
3.5.2	Telha de concreto	28
3.6	A NBR 15.575/2013	30
3.6.1	Procedimento Simplificado	31
3.6.2	Medição <i>in loco</i>	33
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	35
4.1	Avaliação segundo o procedimento simplificado	35
4.2	Localização e projeto dos protótipos	36
4.3	Equipamentos	38
4.4	Procedimento para avaliação do desempenho segundo a NBR 15.575/2013	40
5	ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS	42
5.1	Resultados e avaliação do procedimento simplificado	42
5.2	Resultados das medições	42
5.3	Avaliação do desempenho segundo a NBR 15.575/2013	44
5.4	Comparação dos resultados obtidos	45
6	CONCLUSÃO	46
6.1	Limitações desta pesquisa	46
6.2	Sugestões de pesquisa	47

REFERÊNCIAS	48
APÊNDICE A – MÉMORIAL DE CÁLCULO PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO .	50
APÊNDICE B – RÇAMENTO ANALÍTICO.....	55
APÊNDICE C – PROJETO DA CÉLULA-TESTE.....	56
APÊNDICE D – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE UMIDADE	57
APÊNDICE E – RESULTADOS DO DIA 25/06/2020.....	60

1 INTRODUÇÃO

A moradia é desde os tempos mais longínquas o abrigo dos seres humanos que surge principalmente para proteger os indivíduos das intempéries e dos ataques externos, garantido proteção e conforto.

A habitação cumpre o papel de proteção não apenas contra os perigos externos, mas também contra a severidade do clima, uma vez que o excesso de calor, umidade, frio e ventos podem impactar diretamente na saúde e bem-estar das pessoas. Dessa forma as habitações devem possuir condições térmicas que sejam favoráveis e que consigam proporcionar aos residentes o conforto térmico em seu interior.

Para este estudo foram adotadas duas normas brasileiras que regulamentam e fornecem diretrizes para auxiliar a concepção de projetos de edificações residenciais: a NBR 15.575-1 (2013) que estabelece exigências de conforto e segurança para as edificações habitacionais, e a NBR 15.220-3 (2005) que dispõe a respeito do desempenho térmico para edificações e recomenda as estratégias para elaboração de projeto arquitetônico de acordo com o local em que será implantado, sendo dessa forma as estratégias específicas para cada zona bioclimática do Brasil.

Para avaliação de desempenho térmico de sistema de vedações verticais e cobertura a NBR 15.575-1 (2013) apresenta dois procedimentos. O procedimento 1 feito por meio de cálculos, e deve ser feito ainda na etapa de projeto, admitindo-se também nesse caso a utilização do software EnergyPlus. O procedimento 2 deve ser feito em edificações existentes ou protótipos, também chamados de células-teste, através de medições de temperatura de bulbo seco.

O município escolhido como referência neste estudo, Palmas, a capital do estado do Tocantins, apresenta na maior parte do ano clima quente e as altas temperaturas que não favorecem o conforto térmico, por diversos fatores. Silva (2018) argumenta que todo o estado sofre com a escassez de estudos relacionados a conforto térmico e clima. Essas características corroboram para deficiência no conforto térmico das edificações na região.

A cobertura em edificações térreas é o sistema mais significativo quando se trata de desempenho térmico, devido a exposição a radiação solar durante todo o dia. Em habitações de interesse social fica mais evidente a importância da cobertura, devido a simplicidade construtiva, especialmente no caso de coberturas sem forro, onde a proteção contra o excesso de calor fica a cargo apenas da telha (PERALTA, 2006). Os materiais utilizados nas edificações

possuem características térmicas diferentes e devem ser utilizadas como as estratégias climáticas mais adequadas em cada local (FROTA; SCHIFFER, 2001).

A origem da telha vem independentemente de duas partes do mundo, da China e no Oriente Médio e surgiram com os avanços do conhecimento da queima da argila. A telha cerâmica propagou-se pelo mundo e por volta de 1650 já existiam fábricas com produção em escala. Em contrapartida a fabricação da telha de concreto foi patenteada somente em 1844, inicialmente o processo era feito por máquinas de prensagem manual, e desde então com o crescimento da indústria novas tecnologias surgiram (BASTOS, 2003).

No Brasil uma das mais antigas opções de telha é a telha cerâmica devido a fácil disponibilidade no mercado e a tradição na construção civil (COSTA, 2017). A principal desvantagem associada a telha cerâmica advém da sua produção, pois durante o processo de produção pode ocorrer danos ao meio ambiente devido a poluição do ar decorrente da queima das telhas, além disso oferecem pouca resistência a impactos.

A telha de concreto ficou popular no mercado brasileiro somente nos últimos anos devido à alta impermeabilidade, a diversidade de cores e a maior resistência. Entretanto como uma desvantagem existe o fato destas transferir o calor para o interior da edificação. (DAMASCENO, *et al.*, 2015).

Diante do exposto, pretende-se estudar de forma experimental o desempenho térmico desses dois tipos de telhas usadas nas coberturas das habitações de interesse social em Palmas-TO: a telha de cerâmica e a telha de concreto. Ao final será realizada uma análise e discussão do desempenho das mesmas.

1.1 Justificativa

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) estabelece requisitos e critérios para o desempenho térmico mínimo da edificação como um todo, e foi elaborada baseada nas normativas: NBR 15.220-2/2005, NBR 15.220-3/2005 e NBR 15.220-4/2005, entretanto a norma não trata da prescrição de materiais a serem escolhidos em cada zona bioclimática. Por esse motivo os estudos do comportamento térmico de materiais são importantes para a tomada de decisão em futuros projetos de arquitetura.

A normativa está em vigor desde 19 de julho de 2013 e, portanto, todos os projetos residenciais aprovados após essa data precisam obrigatoriamente estar em conformidade com a normativa de desempenho. A Portaria Nº 660 (2018) que dispõem sobre as diretrizes para a elaboração de projetos do Programa Minha Casa Minha Vida, reforça que qualquer

empreendimento destinado a habitações de interesse social deverá atender a Norma 15.575 (2013).

Em edificações destinadas a população de baixa renda, que prezam pela rapidez construtiva e o baixo custo, a cobertura passa a ser um dos principais responsáveis pelo desempenho térmico da edificação, uma vez que é a parte mais exposta à radiação e adquire uma grande parcela de ganho e transferência de calor para o ambiente durante o dia.

A reduzida produção acadêmica sobre o conforto térmico no estado do Tocantins, e principalmente no município de Palmas (SILVA, 2018), evidencia a necessidade de pesquisa sobre o desempenho térmico de materiais utilizados na construção civil na região.

A pesquisa será realizada por meio de protótipos em escala reduzida e utilizará dois métodos de avaliação da NBR 15.575 (2013), o método simplificado e o de medição in loco. Esses métodos servirão para verificar experimentalmente a viabilidade na utilização das telhas apresentadas na região de Palmas-TO.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o desempenho térmico de dois tipos de telhas: a telha cerâmica e a telha de concreto, em células-teste localizadas na região de Palmas-TO, segundo os critérios da NBR 15.575-1/2013, NBR 15.575-5/2013 e NBR 12.220-2/2005.

2.2 Objetivos Específicos

1. Analisar o desempenho térmico das células testes, por meio de método teórico descrito na NBR 12.220-2/2005;
2. Analisar o desempenho térmico das células testes, por meio de medições *in loco* no campus experimental da UFT;
3. Fazer comparativo entre os dados obtidos por meio do método teórico e o de medição *in loco*.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

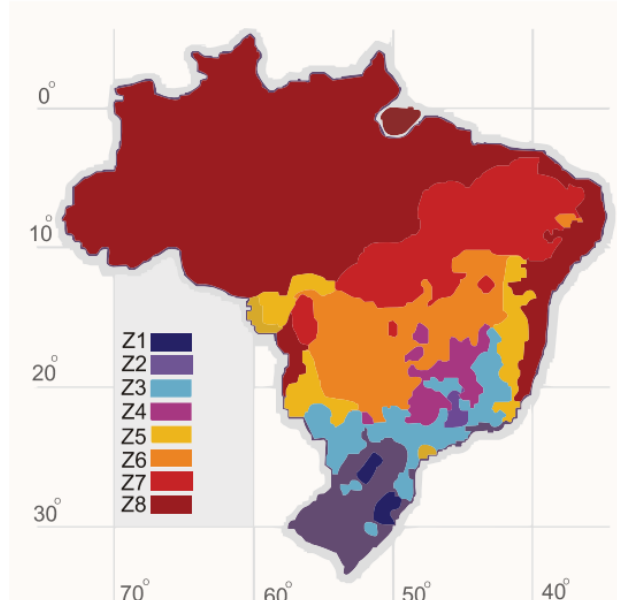
Neste capítulo apresenta-se a caracterização climática do município de Palmas – TO, lócus da pesquisa e a sua relação com as habitações, contemplando ainda os aspectos que estabelecem o fluxo de calor nas coberturas. Também se expõe as normas legais que embasam as características construtivas.

Todos esses pontos foram e são alvos de estudos nas quais culminaram em normas técnicas que delimitam os padrões mínimos necessários para a construção de edificações. Estas normas também serão abordadas ao decorrer do trabalho.

3.1 Zoneamento bioclimático da região de Palmas - TO

O Brasil é dividido em 27 unidades federativas e localiza-se em sua maior parte entre a linha do equador e o trópico de capricórnio. Devido a sua extensão e diversidade climática, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) dividiu o território brasileiro em oito zonas bioclimáticas para subsidiar as técnicas de construção das edificações quanto ao desempenho térmico. A Figura 1 mostra o zoneamento do Brasil definido nessa norma.

Figura 1 - Zoneamento bioclimático do Brasil segundo a NBR 15.220-3/2005



Fonte: SANTOS et al. (2015) adaptado da NBR 15220-3 (ABNT,2005)

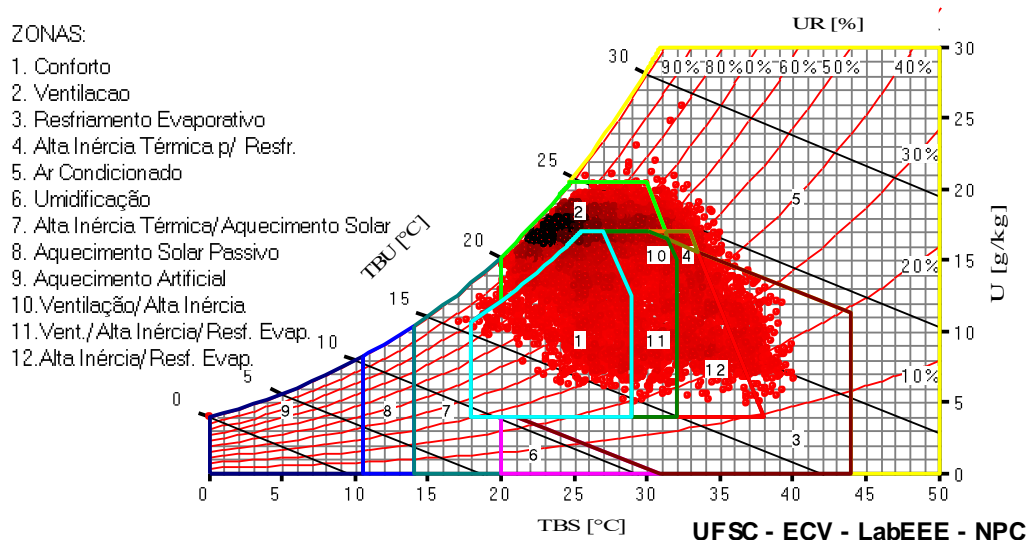
A NBR 15.220-3 (ABNT, 2005), define zonas climáticas como “a região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano”. Para cada zona, com base na temperatura de bulbo seco,

umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente para o dia mais frio e para o dia mais quente do ano respectivamente, é definido dias de verão e de inverno.

A cidade de Palmas é classificada dentro da zona bioclimática 7. Para essa zona bioclimática as recomendações construtivas que a norma apresenta são: o uso de coberturas e paredes leves, grandes aberturas para a ventilação sombreadas; e como estratégia de condicionamento térmico é recomendado o uso de ventilação cruzada.

Para efetivar o atual zoneamento climático na norma NBR 15.220-3 (ABNT, 2005), empregou-se então a Carta Bioclimática de Baruch Givoni, na qual são incluídos sucessivos dados da temperatura de bulbo seco e umidade relativa, formando uma mancha que indica o tipo de clima de cada local. Ferraz (2019) elaborou a carta bioclimática de Palmas, representada na Figura 2, e concluiu que a região proporcionou conforto térmico apenas durante 25,7% de todo o ano, principalmente durante o período chuvoso, e a utilização da estratégia de ventilação natural não é o suficiente contra o desconforto causado pelo calor, sendo necessário o auxílio de resfriamento evaporativo durante alguns meses.

Figura 2 - Carta bioclimática de Palmas a partir das Normais do TRY

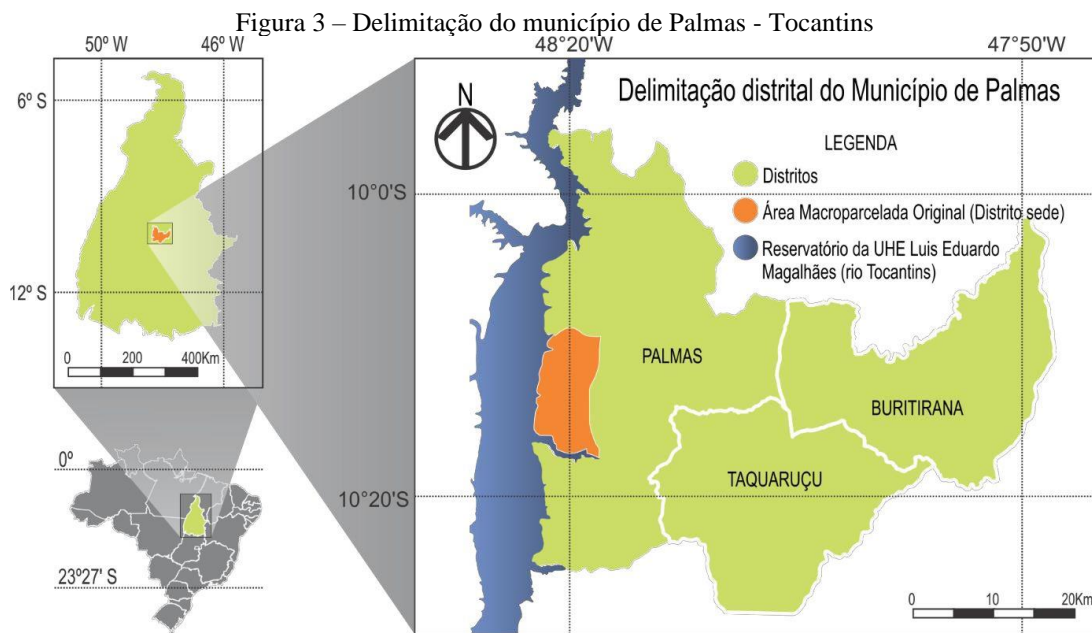


Fonte: Ferraz (2019)

Para edificações na região de Palmas um projeto que utiliza das estratégias passivas de resfriamento indicados na norma, possibilita a redução do tempo de utilização de sistemas artificiais para atingir o conforto térmico, consequentemente diminuindo o consumo de energia nas edificações

3.2 Caracterização climática da região de Palmas

Palmas é a capital do estado do Tocantins. Localizada na região central do país, com 2.218,943 km² de área; a altitude média da cidade é de aproximadamente de 230 m acima do nível do mar, o bioma é classificado como cerrado e possui as seguintes coordenadas geográficas: 10°12'46" latitude sul e 48°21'37" longitude oeste. A delimitação do município de Palmas é representada na Figura 3.



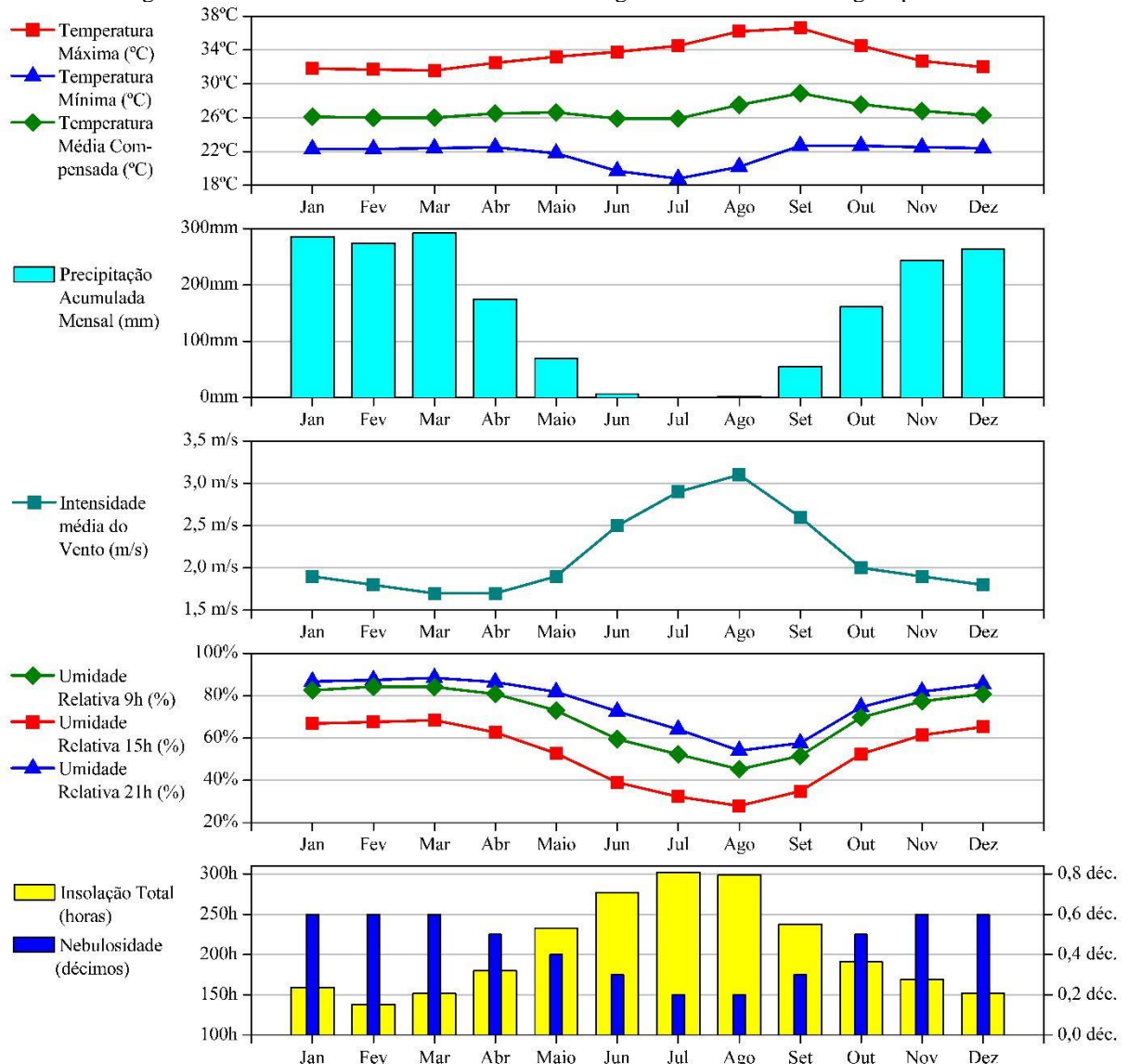
Fonte: Silva (2018)

Segundo os dados coletados no site da Secretaria do Planejamento e Orçamento do Tocantins (SEPLAN), a precipitação média anual de Palmas é de 1900mm, já a classificação do clima é C2WA'a'' – clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica, na qual possui as estações de seca e chuva bem definidas (TOCANTINS, 2017).

A caracterização climática geral de Palmas é possível de ser elaborada conforme sua normal climatológica provisória de 1981-2010¹ (DINIZ; RAMOS; REBELLLO, 2018, apud SILVA, 2018), que apresenta os dados de temperatura máxima, mínima e média compensada, da umidade relativa, da precipitação e da velocidade média dos ventos entre outros parâmetros, apresentados na Figura 4.

¹ Normais Provisórias são médias de curto período, baseadas em observações que se estendam sobre um período mínimo de 10 anos, a normal climatológica de Palmas foi elaborada de acordo com os dados publicadas pelo INMET em 2018.

Figura 4 - Dados climáticos de médias mensais segundo normal climatológica provisória



Fonte: Silva, 2018

Em Palmas a umidade relativa média alcança os maiores valores durante os meses de janeiro a março, principalmente durante a noite, e os menores valores durante o mês de agosto. A velocidade média dos ventos tem variação entre 1,7 m/s a 3,1 m/s. A estação chuvosa caracterizada entre os meses de outubro a abril, a qual tem precipitações médias mensais superiores a 150mm, e durante os meses de dezembro a março são superiores a 250mm. Já estação de seca é caracterizada entre os meses de maio a setembro, sendo os índices pluviométricos inferiores a 10mm durante os meses de junho a agosto. Nota-se que as diferenças de clima são acentuadas entre a primavera-verão e o outono-inverno na região.

3.3 Habitações Populares

O acesso a moradia é um dos direitos que todo cidadão brasileiro tem de acordo com a Constituição Federal, que declara: “São direitos sociais a educação, a saúde, a alimentação, o trabalho, a moradia, o transporte, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados, na forma desta Constituição” (BRASIL, 1988, Art. 6). Objetivando garantir o direito à moradia o Estado deve prover as habitações de interesse social.

A habitação de interesse social é destinada a população cujo o nível de renda dificulta o acesso a moradia através do tradicional mercado imobiliário. A habitação de interesse social está associada diretamente à necessidade de prover habitação urbana para os setores menos favorecidos da população. Geralmente essas habitações são providas por iniciativas do setor público, entretanto podem existir no setor privado (REIS e LAY, 2010).

Como maneira de viabilizar construções de unidades habitacionais para o cidadão da baixa renda no Brasil, surge em 2009 o programa Minha Casa Minha Vida, utilizando os recursos da União através do Fundo de Arrendamento Residencial. O programa atende famílias com renda entre R\$0,00 e R\$ 7.000,00, que são subdivididas em 4 faixas: Faixa 1; Faixa 1,5; Faixa 2 e Faixa 3, como mostra o Quadro 1, as quais contam com financiamento com uma taxa de juros inferior ao do mercado imobiliário padrão. No caso de famílias com renda menor que R\$ 1.800,00 (Faixa 1) é possível se inscrever no programa através das Prefeituras e o governo nesse caso poderá subsidiar até 90% do imóvel, oferecendo taxa de juros de 0%.

Quadro 1 - Faixas do Programa Minha Casa Minha Vida

Faixa do programa	Renda familiar
Faixa 1	de até R\$ 1.800,00:
Faixa 1,5	R\$ 1.800,00 até R\$ 2.600,00
Faixa 2	R\$ 2.600,00 até R\$ 4.000,00
Faixa 3	R\$ 4.000,00 até R\$ 7.000,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os empreendimentos realizados pelo programa podem ser unidades isoladas ou em condomínios, em ambos os casos devem ser dotados de infraestrutura urbana básica: Vias de acesso e de circulação pavimentada, drenagem pluvial, calçadas, guias e sarjetas, rede de energia elétrica e iluminação pública, rede para abastecimento de água potável, soluções para o esgotamento sanitário e coleta de lixo.

A Portaria Nº 660 (2018) estabelece as diretrizes para elaboração de projetos de empreendimentos do Programa Minha Casa Minha Vida. A área da unidade habitacional deve

respeitar as seguintes áreas úteis mínimas: a) Casas: 36,00 m², se área de serviço for externa, ou 38,00 m², se a área de serviços for interna. b) Apartamentos / Casas Sobrepostas: 39,00 m².

O programa mínimo da habitação constituído por: sala, 1 dormitório casal, 1 dormitório para duas pessoas, cozinha, área de serviço e banheiro. A portaria não exige área mínima para cada um desses cômodos, desde que possa acomodar o mobiliário mínimo previsto. Essas especificações mínimas não dispensam o conjunto de especificações de habitação de interesse social que é baseada na NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Em Palmas o programa minha casa minha vida, já ofereceu mais de 3 mil unidades de habitação, conforme apresentado na Figura 5, para a população da faixa 1, um dos mais recentes empreendimentos é o Recanto das Araras 1, localizado na região sul de Palmas e contam com 500 unidades habitacionais.

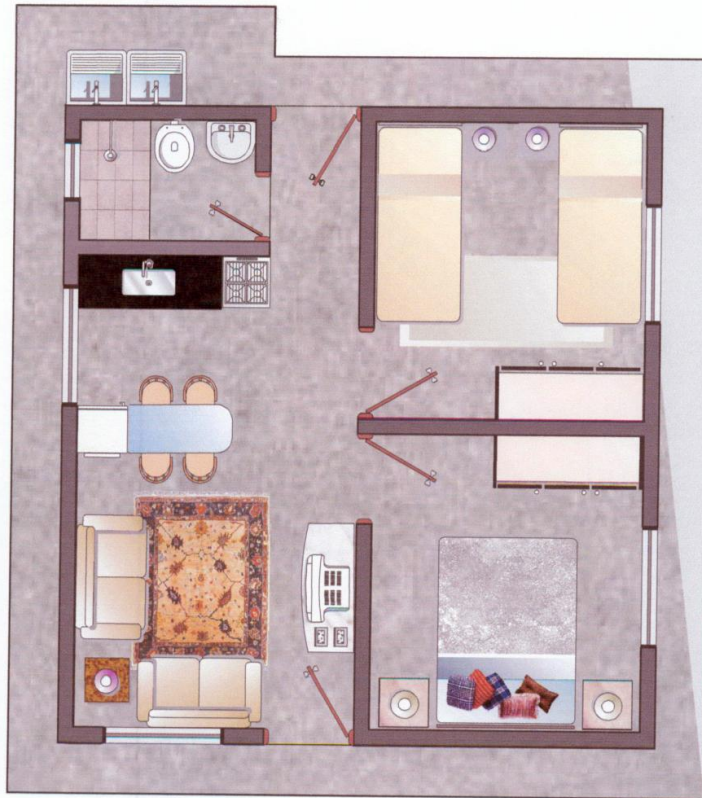
Figura 5 – Unidades habitacionais – Recanto das Araras 1



Fonte: Elaborada pelo autor em março de 2020.

O Recanto das Araras 1 é composta por unidades de habitações unifamiliares de 02 quartos que seguem o projeto arquitetônico disponibilizado pela Secretaria de Habitação do Estado do Tocantins - Figura 6. Nesse empreendimento as paredes foram feitas com concreto moldado in loco, e na cobertura foram utilizadas telhas de concreto.

Figura 6 - Layout disponibilizado pela Secretaria de Habitação



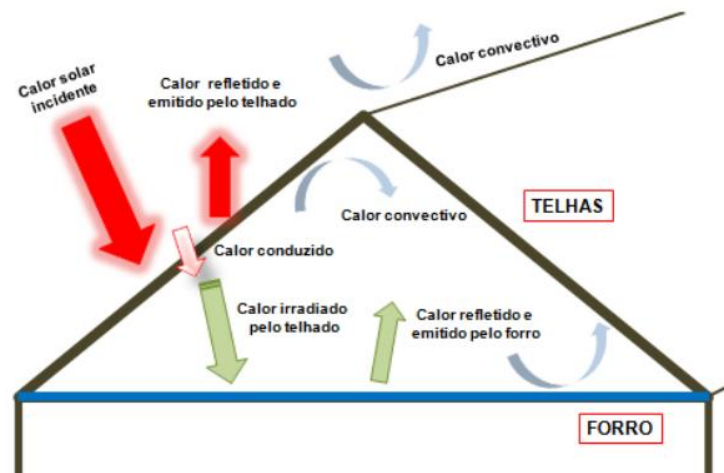
Fonte: TOCANTINS (2010)

3.4 Conceitos físicos de transmissão de calor

Os conceitos dos fenômenos de trocas térmicas auxiliam a compreensão do comportamento térmico em edificações, do clima e do corpo humano com o meio ambiente. As trocas térmicas podem acontecer de duas maneiras: com as trocas térmicas secas, que acontece quando os corpos estão em diferentes temperaturas, e as trocas úmidas, que estão relacionadas a mudança de estado físico, na maior parte das vezes da água.

Nas coberturas a transmissão de calor acontece com as trocas térmicas secas, e podem acontecer de três modos: através da condução, convecção e radiação. Essas trocas são mensuradas através do fluxo de calor. O calor trocado por unidade de tempo pode acontecer nos três processos. A Figura 7 representa as trocas térmicas de calor que acontecem em um telhado, que na prática podem acontecer simultaneamente.

Figura 7 - Representação das trocas de calor em um telhado



Fonte: Castro (2012)

3.4.1 Convecção

Frota e Schiffer (2001) definem a convecção como “troca de calor entre dois corpos, sendo um deles sólido e o outro um fluido (líquidos ou gás)”. Portanto a intensidade do fluxo térmico por convecção está diretamente relacionada a temperatura do ar e a temperatura da superfície do sólido, por exemplo a parede, e é mensurada de acordo com a equação:

$$q_c = h_c(t - \theta) \quad (1)$$

Onde:

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

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

t – temperatura do ar (°C)

θ – temperatura da superfície do sólido (°C)

O coeficiente das trocas térmicas está relacionado ao sentido do fluxo de ar, e no caso de superfícies horizontais esse coeficiente varia se o fluxo é ascendente ou descendente. Peralta (2006, p. 27) afirma que “a quantidade de calor transmitido nas duas situações depende das facilidades do deslocamento do ar que sofre convecção”.

3.4.2 Condução

A condução ocorre quando ocorre transferência de calor entre dois corpos em temperaturas diferentes e estão em contato, o fluxo de transferência de calor vai ocorrer da maior temperatura em direção de menor temperatura. Givoni (1998, apud Peralta, 2006) define a condutividade térmica em edificações 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 vai depender da espessura, da diferença de temperatura e da condutividade do material, essas variáveis estão presentes na equação 2 de fluxo térmico por condução:

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

Onde:

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

λ – coeficiente das trocas térmicas por convecção (W/m²°C)

e – espessura do material (m)

θ_e – temperatura da superfície externa (°C)

θ_i – temperatura da superfície interna (°C)

3.4.3 Radiação

A radiação ocorre quando há troca de calor entre dois corpos, que dispõem de certa distância, através da sua capacidade de emitir e de absorver energia térmica. Essa energia térmica está ligada a energia eletromagnética que todos os corpos emitem. A propriedade que mede a intensidade de emissão de energia térmica do tipo de material é a emissividade (ϵ). A equação 3 demonstra como calcular a intensidade do fluxo de calor por radiação.

$$q_r = h_r (\theta - \theta_r) \quad (3)$$

Onde:

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

h_r – coeficiente das trocas térmicas por radiação (W/m²°C)

θ_e – temperatura da superfície (°C)

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

Nesta equação o coeficiente h_r é um parâmetro simplificado que resume todos os fatores que interferem nas trocas de radiação, incluindo a emissividade do material.

3.5 Coberturas

Na edificação, a cobertura apresenta a função de proteger os usuários e a própria edificação dos efeitos nocivos do clima e, para atingir esse objetivo, as coberturas devem atender eficientemente a fatores como: desempenho estrutural, térmico e acústico, estanqueidade, proteção contra incêndio e outros.

As coberturas recebem uma determinada quantidade de calor durante o dia e, à noite, propaga o calor acumulado. Nesse sentido, o material escolhido para as coberturas deve apresentar características térmicas de acordo com as estratégias climáticas próprias para cada local.

Entende-se que o desempenho térmico dos materiais está relacionado à parcela de radiação solar ocorrente, bem como das propriedades das superfícies afetadas. Corroborando Givoni (1981) quando afirma que o “fluxo de calor para o interior do edifício diminui conforme a capacidade térmica de sua estrutura aumenta.”

A telha é o componente construtivo mais significativo no tocante ao ganho de calor, visto que influencia no conforto térmico e no consumo de energia. Principalmente quando falamos de habitações de interesse social, que costumam ser edificações térreas e algumas vezes sem forro. Sendo assim Peralta (2006, p. 33) destaca:

“Em edificações térreas, considerando-se o “envelope” composto pelas vedações e cobertura, esta última é responsável pelo acréscimo de considerável parcela da carga térmica em função de sua exposição permanente a radiação solar. Dentre os componentes da cobertura, a telha é o elemento construtivo mais importante em relação a este ganho de calor (especialmente no caso de coberturas sem forro), pois interfere no conforto térmico e até mesmo no consumo de energia. Em coberturas simples, a propriedade do material é de importância fundamental, pois como não existem outras camadas, a proteção contra o excesso de passagem de calor só pode ser realizada pela própria telha”

Entende-se que uma boa cobertura está relacionada a atender as especificidades fundamentais para um correto desempenho em relação ao isolamento térmico, resistência ao impacto e leveza. Ainda, faz-se importante considerar se as propriedades térmicas do material atendem às variáveis climáticas, ou seja, o desempenho térmico dos telhados está intrinsecamente ligado ao clima local em que será inserida a edificação.

3.5.1 Telhas Cerâmicas

De acordo com a NBR 15.310 (ABNT, 2009) que dispõe sobre as telhas cerâmicas, suas terminologias, requisitos e métodos de ensaio, as telhas cerâmicas são definidas como: “Componentes destinados à montagem de cobertura estanque à água, de aplicação descontínua”.

A telha cerâmica é uma das mais antigas opções para cobertura de edificações, sendo que a sua variedade e disponibilidade no mercado difunde o uso das telhas cerâmicas em residências, fazendo parte da identidade e cultura nacional (MELO e LANA; 2002 apud, COSTA 2017).

Existe uma diversidade de formas e tipos de telhas cerâmicas, portanto a NBR 15.310 (ABNT, 2009) classifica segundo a sua geometria e fixação em quatro tipos, sendo estes:

- Telhas planas de encaixe
- Telhas compostas de encaixe
- Telhas simples de sobreposição
- Telhas planas de sobreposição

O processo de fabricação das telhas cerâmicas inicia na retirada da argila, que é a matéria prima da cerâmica, da jazida por meio de equipamentos como escavadeiras e retroescavadeiras que posteriormente são levadas para estocagem. As características químicas da argila podem variar muito de jazida para jazida, portanto para manter o controle tecnológico é necessário fazer ensaios de granulometria e análise química (BASTOS, 2003).

A estocagem geralmente é feita a céu aberto, por um processo chamado de sazramento, esse processo facilita a moldagem por extrusão da telha. Segundo Sposto, Morais e Pereira (2007) o sazramento “evita o inchamento dos blocos logo após a moldagem e a ocorrência de deformações, trincas e rupturas na fase de secagem, bem como o desenvolvimento de gases durante a queima”. Após esse período a argila segue para a preparação da massa.

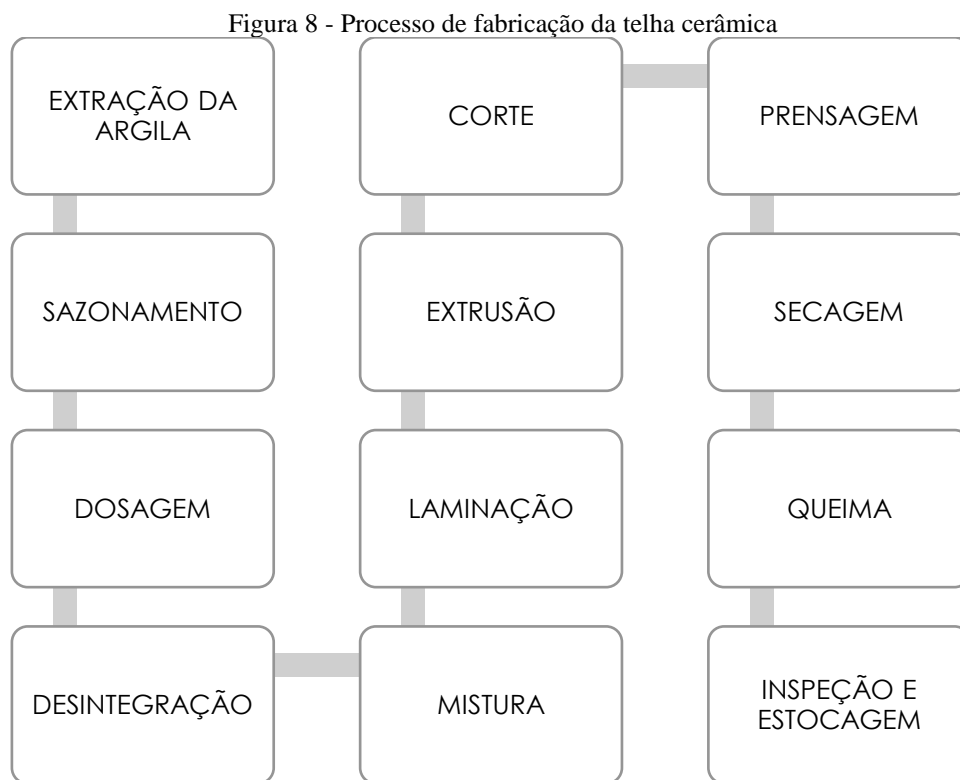
A argila passa pela dosagem e depois é conduzida para os desintegradores, onde os blocos de argila são fragmentados e, posteriormente o material já desagregado é transportado até o misturador para a homogeneização, passando em seguida pelo laminador que tem por objetivo diminuir a granulometria da massa, completar a homogeneização e cortar a massa em lâminas (BASTOS, 2003), acontecendo logo após a conformação das peças, onde a argila assume a forma de telha, pelo processo de extrusão, corte e prensagem.

De acordo com Bastos (2003) “A extrusão consiste em forçar a massa passar, sob pressão, através de um bocal apropriado”. Ao sair da extrusora a massa é cortada por equipamentos automatizados, que a seguir são prensados em moldes com o formato de acordo com o tipo de telha desejado. Depois de moldadas, as telhas seguem para o processo de secagem, onde o objetivo é eliminar a água ainda presente após a etapa de conformação, imprescindível para a obtenção de uma massa plástica. Frequentemente nesta etapa ocorrem

defeitos de secagem nas peças e que são perceptíveis somente após queima. (VIEIRA, FEITOSA e MONTEIRO, 2003). Essa secagem pode ser natural ou artificial.

A secagem das telhas pode ser natural ou artificial. Na secagem natural as peças são dispostas em prateleiras, em galpões cobertos, e secas pelo ar ambiente. Na secagem artificial as peças são colocadas em estufas, durante um a dois dias (SANTOS, 2012).

A última etapa de fabricação das telhas é a queima, que é realizada em fornos de maneira intermitente ou contínua. Tomazzeti (2003) citado por Costa (2017) ressalta que “a queima é a fase mais importante do processo cerâmico, pois é nela que o material adquire as propriedades adequadas a seu uso, como dureza, resistência mecânica, resistência às intempéries e aos agentes químicos”. Após esse processo é comum as telhas passarem por um controle de qualidade, onde são retiradas as telhas com defeitos ou mal queimadas, antes de seguirem para a estocagem. A Figura 8 mostra as etapas do processo de fabricação de uma telha cerâmica.



Fonte: Elaborado pelo autor

3.5.2 Telha de concreto

As telhas de concreto foram inventadas em meados do século 19, e são relativamente mais recentes quando comparadas com as telhas cerâmicas, que surgiram aproximadamente 10.000 A.C. No Brasil as telhas de concreto começaram a serem comercializadas em 1976, e

hoje em dia são extremamente populares devido a diversidade de fábricas espalhadas no país. (FERNANDES, 2017)

A NBR 13858-2 (ABNT, 2009) que tem como objetivo fixar os requisitos das telhas de concreto, define a mesma como: “Componente para cobertura com forma retangular e perfil geralmente ondulado, composto de cimento, agregado e água, aditivos ou adição, fornecido na cor natural ou colorido pela adição de pigmento à massa ou pela aplicação de uma camada superficial.”

A norma não faz classificação dos tipos de telhas de concreto, apenas exige alguns detalhes construtivos, fazendo assim surgir uma variedade de modelos presentes no mercado. Mesmo não existindo uma padronização nos nomes, é comum encontrar os modelos de telha apresentados na Figura 9 em diversos fabricantes brasileiros.

Figura 9 - Modelos de Telhas de Concreto



Fonte: ANFATECCO (2008) adaptado pelo autor

A areia utilizada no processo de fabricação da telha de concreto pode ser obtida dos leitos dos rios, passando por um processo de peneiramento para garantir granulometria passando na fábrica a por um processo de britagem, moagem, clinquerização, resfriamento e moagem, resultando no cimento comercializado. (ANICER, 2011)

No processo de fabricação, essas duas matérias primas, areia e cimento, seguem para o misturador onde são combinados com água e a algumas vezes com pigmentos ou outros aditivos. Essa mistura é encaminhada até a extrusor para a prensagem, extrusão e corte, onde será moldada a forma final da telha. (MULLER e SCHNEIDER, 2018). Em seguida são encaminhadas para a câmara de cura, onde permanecem por cerca de 24h, sendo retiradas posteriormente das formas e recebendo uma camada de verniz hidrofugante, para garantir a

impermeabilidade das telhas. Após esse processo as telhas estão prontas para a comercialização. (ANFATECCO, 2008)

3.6 A NBR 15.575/2013

A NBR 15.575: Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013) foi desenvolvida para estabelecer critérios estabelecidos para uma edificação habitacional e seus sistemas, tendo como foco os requisitos do usuário e melhor qualidade das habitações, e vigora desde julho de 2013. Essa norma é estruturada em seis partes, conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Descrição partes da NBR 15575/2013

Parte 1	Requisitos gerais
Parte 2	Requisitos para os sistemas estruturais
Parte 3	Requisitos para os sistemas de pisos
Parte 4	Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas
Parte 5	Requisitos para sistema de coberturas
Parte 6	Requisitos para os sistemas hidrossanitários

Fonte: Elaborado pelo autor – adaptado da NBR 15.575 (ABNT, 2013)

Estas partes apresentam os elementos da construção, conforme os critérios definidos para a segurança (desempenho mecânico, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental).

O desempenho térmico, de acordo Matozinhos (2014, apud NASCIMENTO, 2018) está condicionado a várias características, sejam relacionadas ao entorno da edificação (topografia, temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento e etc.), seja das próprias características da edificação (materiais constituintes, número de pavimentos, dimensões dos cômodos, pé direito, orientação das fachadas, dimensões e tipo de janelas etc.).

Assim, é de interesse neste trabalho a parte 5 da NBR 15.575 (ABNT, 2013) que aborda os sistemas de coberturas que contribuem e interferem diretamente no desempenho térmico de edificações mais simples. Nestes sistemas as coberturas estão diretamente expostas a radiação solar, por isso apresentam grande influência na carga térmica transmitida aos ambientes, influenciando de forma direta no conforto térmico dos usuários e, ainda, no consumo de energia, visto que quanto mais quente, maior necessidade de equipamentos de ventilação forçada e/ou condicionamento artificial do ar.

Para se fazer uma avaliação térmica a normativa estabelece alguns procedimentos são eles:

Procedimento 1 A – Simplificado (normativo): verifica o atendimento aos requisitos e critérios para o envelopamento da obra, com base na transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) das paredes de fachada e das coberturas;

Procedimento 1 B – Simulação por software Energy Plus⁷ (normativo)²: quando os valores obtidos para a transmitância térmica e/ou capacidade térmica se mostrarem insatisfatórios aos critérios e métodos estabelecidos nas partes 4 e 5 da norma NBR 15575/2013, o desempenho térmico global da edificação deve ser avaliado por simulação

Procedimento 2 – Medição in loco (informativo): prevê a verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na NBR 15575/2013 por meio da realização de medições em edificações existentes ou protótipos construídos com essa finalidade.

Os detalhes do procedimento simplificado e do procedimento 2 serão descritos nos itens a seguir.

3.6.1 Procedimento Simplificado

O procedimento simplificado deve ser feito ainda em fase de projeto, e considera-se a edificação como um todo, tanto os sistemas de vedações verticais (SVV) como o sistema de cobertura.

Nos sistemas de vedações verticais é considerado tanto o valor da transmitância térmica (U), quanto o valor da capacidade térmica (CT) das paredes externas. As Tabelas 1 e 2 apresentam os valores dos critérios de desempenho mínimo estabelecidos pela a norma, separados por zona bioclimática.

Tabela 1 - Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância térmica (U) [W/m ² K]		
Zona 1 e 2	Zona 3 a 8	
U ≤ 2,30	α ≤ 0,6	α > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

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

Fonte: adaptado NBR 15575-1 (2013)

² Software de simulação desenvolvido pelo Departamento de Energia do Governo Federal dos Estados Unidos da América, disponível gratuitamente em <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade Térmica (CT) [kJ/m² K]	
Zona 1 a 7	Zona 8
≥ 130	Sem exigência

Fonte: adaptado NBR 15575-1 (2013)

Para os sistemas de cobertura a norma utiliza como critério, no procedimento normativo, o valor da transmitância térmica (U). Na Tabela 3 a seguir apresenta-se os valores máximos admitidos para a transmitância térmica das coberturas observando-se o fluxo térmico descendente de acordo com as zonas bioclimáticas.

Tabela 3 - Critérios de coberturas quanto a transmitância térmica

Transmitância térmica (U) [W/m² K]				
Zona 1 e 2	Zona 3 a 6		Zona 7 e 8	
U ≤ 2,30	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FT	U ≤ 1,5 FT

α é absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura. NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-3

Fonte: adaptado NBR 15575-1 (2013)

O procedimento de cálculo necessário para obtenção dos valores de transmitância térmica e capacidade térmica são normatizados pela NBR 15.220 (ABNT, 2005).

Para obtenção dos valores de transmitância térmica calcula-se primeiro os valores de resistência térmica dos componentes (laje ou parede), através da equação:

$$R_t = \frac{A_A + A_B + \dots + A_n}{\frac{A_A}{R_A} + \frac{A_B}{R_B} + \dots + \frac{A_n}{R_n}}$$

Onde:

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

R_a, R_b, \dots, R_n = são as resistências térmicas da superfície para cada seção (a, b, ..., n).

É possível determinar as resistências térmicas de superfície para cada seção pela expressão:

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn}$$

Onde:

$$R_{ti} = e/\lambda$$

R_{ar} = são as resistências térmicas das câmaras de ar, obtidas da Tabela B1 da NBR 15.220:2005.

Após obter o valor de resistência térmica do componente, calcula-se a resistência térmica total, que leva em conta os valores de resistências térmicas superficiais internas e externas:

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

Onde:

R_{se} = resistências térmicas superficiais externas, obtido na Tabela A1 da NBR 15.220: 2005.

R_{si} = resistências térmicas superficiais internas, obtidas na Tabela A1 da NBR 15.220: 2005.

Finalmente com o valor de resistência térmica total, calcula-se, o valor de transmitância térmica através da expressão:

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

Para obtenção dos valores da capacidade térmica, tem-se a equação a seguir:

$$CT = \frac{A_A + A_B + \dots + A_n}{\frac{A_A}{CT_A} + \frac{A_B}{CT_B} + \dots + \frac{A_n}{CT_n}}$$

Onde:

A_a, A_b, \dots, A_n = são as áreas de cada seção e,

CT_a, CT_b, \dots, CT_n = são as capacidades térmicas do componente para cada seção (a, b, ..., n),

É possível determinar as capacidades térmicas do componente para cada seção pela expressão:

$$CT = \sum_{i=0}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

Em que e_i é a espessura da camada i , c_i é o calor específico do material da camada i e ρ_i é a densidade de massa aparente do material da camada i .

3.6.2 Medição *in loco*

A medição *in loco* verifica o desempenho térmico em condições climáticas reais e pode ser realizada de duas maneiras: em edificações já existentes ou em protótipos, sendo possível constatar como a edificação se comporta em dias típicos de verão ou inverno.

Para realizar o ensaio é necessário a instalação de sensores de temperatura que são colocados no interior e no exterior da edificação. Para melhor precisão dos resultados os fabricantes desses sensores recomendam fazer a instalação precedido pelo menos um dia com características semelhantes, entretanto a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) define que as medições devem ser feitas durante pelo menos 3 dias consecutivos e com características climáticas semelhantes, e para efeito de análise considerar apenas o 3º dia.

Os critérios de avaliação de desempenho térmico para a condições de verão e de inverno são apresentados na Tabela 4 e 5.

Tabela 4 - Critério de avaliação do desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Zonas 1 a 7	Zona 8
Mínimo	$Ti_{máx} \leq Te_{máx}$	$Ti_{máx} \leq Te_{máx}$
Intermediário	$Ti_{máx} \leq (Te_{máx} - 2^{\circ}\text{C})$	$Ti, \text{máx.} \leq (Te, \text{máx.} - 1^{\circ}\text{C})$
Superior	$Ti_{máx} \leq (Te_{máx} - 4^{\circ}\text{C})$	$Ti_{máx} \leq (Te_{máx} - 2^{\circ}\text{C})$ e $Ti_{mín} \leq (Te_{mín} + 1^{\circ}\text{C})$

$Ti_{máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius

$Te_{máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius

$Ti_{mín}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius

$Te_{mín}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius

Fonte: adaptado NBR 15575-1 (2013)

Tabela 5 - Critério de avaliação do desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Zonas 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
Mínimo	$Ti_{máx} \leq Te_{máx}$	Nestas zonas, esse critério não precisa ser avaliado.
Intermediário	$Ti_{mín} \leq (Te_{mín} + 5^{\circ}\text{C})$	
Superior	$Ti_{mín} \leq (Te_{mín} + 7^{\circ}\text{C})$	

$Ti_{máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius

$Te_{máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius

$Ti_{mín}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius

$Te_{mín}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius

Fonte: adaptado NBR 15575/2013

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com a finalidade de verificar o atendimento dos critérios e requisitos mínimos de conforto e desempenho térmico, determinados pela Norma de Desempenho - NBR 15575/2013, desenvolveu-se um protótipo na cidade de Palmas-TO para aplicar o método simplificado, assim como o método de medições.

4.1 Avaliação segundo o Procedimento Simplificado

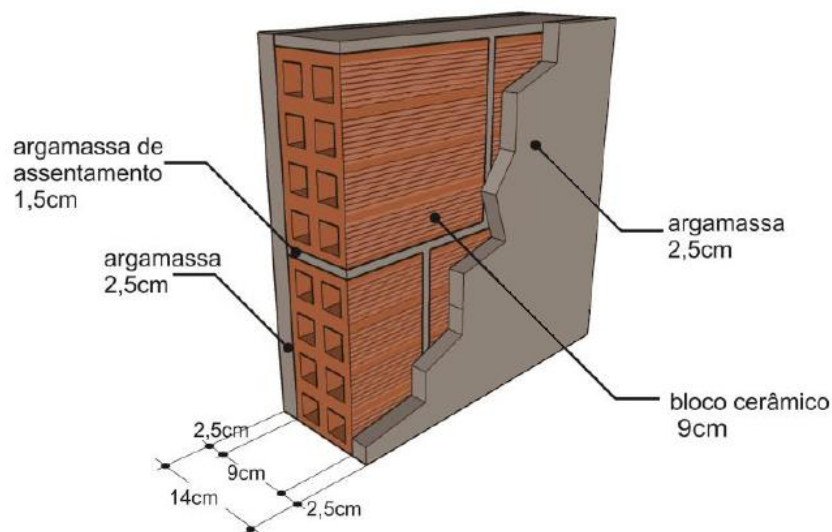
A avaliação do desempenho térmico pelo método simplificado seguiu o procedimento estabelecido na NBR 15.220/2005. Para este procedimento foi realizado o cálculo da transmitância térmica (U) e da capacidade térmica (CT) dos elementos de vedação vertical e cobertura da célula-teste. As figuras 10 e 11 apresentam detalhes esquemáticos da cobertura e parede das células teste. O detalhamento dos cálculos realizados encontra-se no apêndice A.

Figura 10 - Detalhes esquemáticos da cobertura



Fonte: Adaptado de NBR 15.575 (ABNT, 2013)

Figura 11 - Detalhes esquemáticos da parede



Fonte: Adaptado de NBR 15.575 (ABNT, 2013)

4.2 Localização e projeto dos protótipos

A pesquisa foi desenvolvida no local autorizado e destinado a projetos de pesquisa da Universidade Federal do Tocantins, na cidade de Palmas-TO, seguindo as recomendações da norma a respeito da incidência de sol. Portanto, o local não tem a presença de edificação ou vegetação que modifique a incidência de sol ou vento, conforme indicado na

Figura 12.

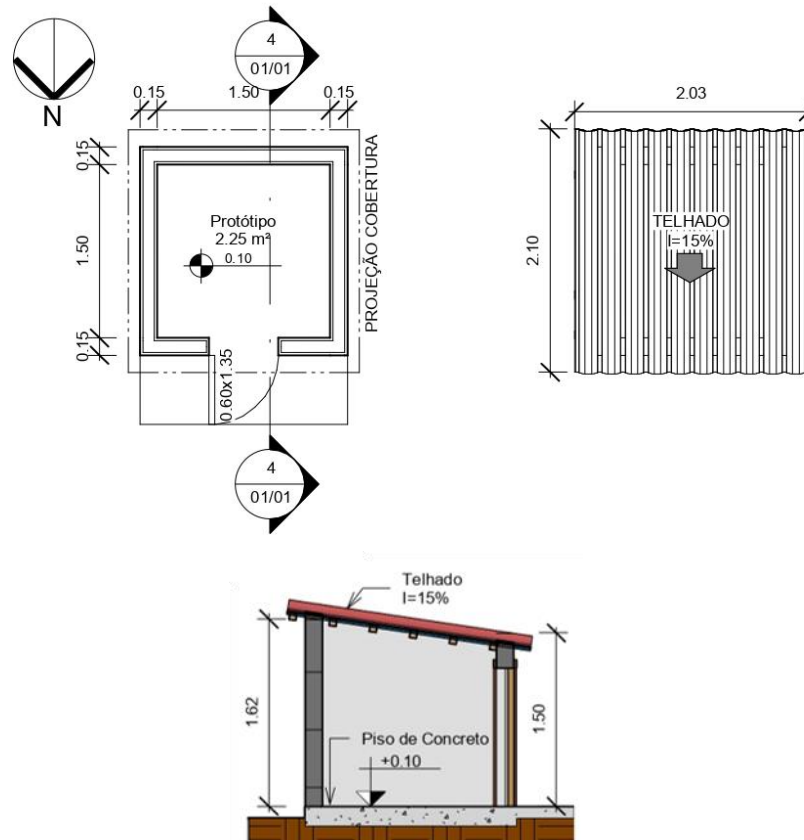
Figura 12 - Local de implantação dos protótipos.



Fonte: Elaborado pelo autor

O projeto dos protótipos contém as dimensões internas em planta baixa de 1,50mx1,50 m, ou seja, 2,25m² de área e 1,5 m de altura, totalizando aproximadamente 3,4m³ de volume interno. A Figura 13 mostra a planta baixa, planta de cobertura e corte dos protótipos. O orçamento para a execução dos protótipos está disponível no apêndice B e o projeto completo está disponível no apêndice C.

Figura 13 - Planta baixa, planta de cobertura e corte dos protótipos



Fonte: Elaborado pelo autor

As paredes foram construídas com tijolo cerâmico de oito furos e com dimensões 9x19x19cm, assentados com argamassa comum em $\frac{1}{2}$ vez, revestidos em argamassas nos lados interno e externo, e com contrapiso de concreto com 5 cm de espessura. As portas são feitas de madeira *pinus* com 60cm de comprimento e 135cm de altura, para facilitar a instalação do dispositivo de medição de temperatura.

Na cobertura a inclinação do telhado foi orientada para o norte, para que tivesse insolação durante todo o dia. Para ambos os protótipos foi construída uma estrutura metálica para apoiar as telhas. A única diferença entre os dois protótipos foi a telha utilizada: no primeiro protótipo foi utilizado a telha de concreto do tipo tradição, no segundo protótipo foi utilizado telha de cerâmica do tipo plan.

A construção dos protótipos foi realizada conforme o projeto do apêndice C , sendo que os dois protótipos possuem a mesma orientação solar, possuindo uma distância de 5 metros entre si, sem a incidência de sombra de um protótipo sobre o outro em nenhum momento do dia. A figura 14 mostra os protótipos finalizados.

Figura 14 - Protótipos finalizados



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 Equipamentos

Para o levantamento de dados desta pesquisa foram utilizados dois termômetros de globo digital da Highmed, que atende as normativas internacionais de desempenho térmico: ISO-7243, ISO-7726. A figura 15 mostra o modelo escolhido.

Figura 15 – Datalogger HMTGD-1800



Fonte: Elaborado pelo autor

Esse datalogger registra os seguintes dados: índice de stress térmico (IBUTG) tanto interno quanto externo, temperatura ambiente, temperatura do globo, umidade relativa, ponto de orvalho e índice de bulbo úmido.

O aparelho conta com certificado de calibragem, o alcance e a precisão dos parâmetros de medição de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 6 – Alcance e precisão do aparelho

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: Elaborado pelo autor

Para o procedimento de medição in loco o datalogger foi instalado a 1,10 m de altura, com o auxílio de um tripé, no centro do protótipo – Figura 16.

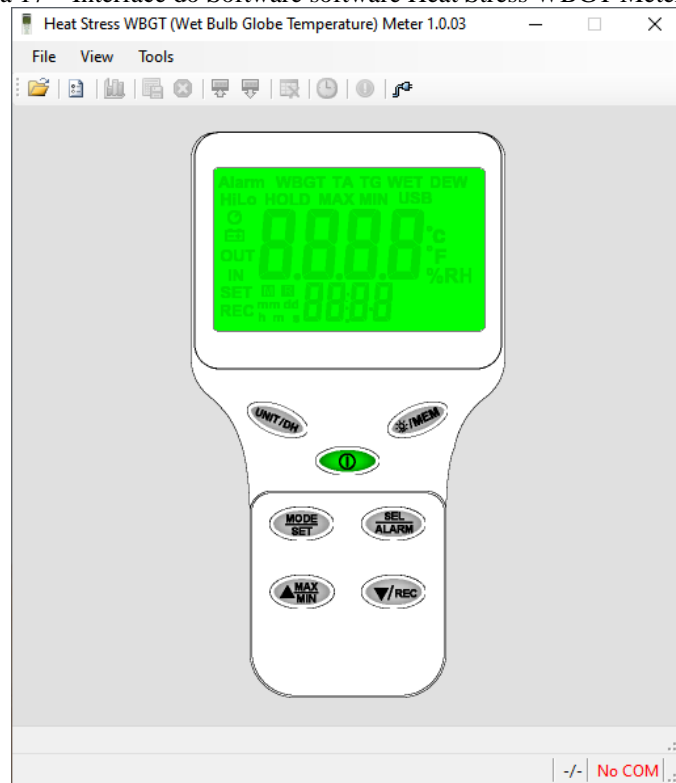
Figura 16 – Instalação do datalogger



Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados armazenados no termômetro podem ser coletados através do software Heat Stress WBGT Meter 1.0.03, já fornecidos junto com o equipamento. A Figura 17 mostra a interface do software.

Figura 17 – Interface do Software software Heat Stress WBGT Meter 1.0.03



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 Procedimento para avaliação do desempenho segundo a NBR 15.575/2013

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) estabelece que o procedimento de avaliação de desempenho térmico deve ser feito através da medição de temperatura durante o período de 3 dias consecutivos, e analisados os dados do 3º dia, os dias anteriores serão usados como parâmetros para verificar se são dias semelhantes. Com os valores das medições obtidos do ambiente interno e externo, é possível se comparar a temperatura interna e a temperatura externa, e analisar se atende ao requisito mínimo, intermediário ou superior, na classificação de nível de desempenho térmico.

Palmas faz parte da zona bioclimática 7, por esse motivo somente é necessário avaliar o desempenho durante o verão. Para atender o nível de desempenho mínimo o valor máximo diário da temperatura do ar interior da edificação, deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior. A Tabela 7 apresenta os critérios de avaliação de desempenho térmico para as condições de verão segundo a norma NBR 15.575/2013.

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

Nível de desempenho	Zonas 1 a 7	Zona 8
Mínimo	$Ti_{máx} \leq Te_{máx}$	$Ti_{máx} \leq Te_{máx}$
Intermediário	$Ti_{máx} \leq (Te_{máx} - 2^{\circ}\text{C})$	Ti, máx. \leq (Te, máx. - 1°C)
Superior	$Ti_{máx} \leq (Te_{máx} - 4^{\circ}\text{C})$	$Ti_{máx} \leq (Te_{máx} - 2^{\circ}\text{C})$ e $Ti_{mín} \leq (Te_{mín} + 1^{\circ}\text{C})$

$Ti_{máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius

$Te_{máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius

$Ti_{mín}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius

$Te_{mín}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius

Fonte: adaptado NBR 15575/2013

5 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

5.1 Resultados e avaliação do procedimento simplificado

De acordo com o procedimento simplificado disposto na NBR 15.220/2005, detalhado no item 3.6.1, e adotando os materiais utilizados na construção da células-teste pôde-se calcular os valores de transmitância térmica e capacidade térmica das paredes e da transmitância térmica das coberturas.

Para o sistema de vedação vertical (paredes) o valor de transmitância térmica (U) encontrado foi de 2,34 W/m².K, considerando que a NBR 15.575/2013 estabelece que na zona bioclimática 7 o limite máximo para transmitância térmica é de 2,5 W/m².K. Calculou-se também a capacidade térmica (CT) e o obteve-se o valor de 167,78 kJ/m², a normativa estabelece que o valor mínimo da capacidade térmica deve ser de 130 kJ/m².K. Portanto o sistema de vedação vertical dos protótipos atende os critérios de desempenho térmico estabelecidos na norma através do procedimento simplificado.

Para o sistema de cobertura o valor de transmitância térmica calculado para o telhado com telha cerâmica foi de 2,01 W/m².K, e para o telhado com telha de concreto foi de 2,14 W/m².K, sendo o valor máximo estabelecido na NBR 15.575/2013 para a zona bioclimática 7 é de 2,3 W/m².K. Em ambos os casos o desempenho térmico do sistema de cobertura atende os critérios estabelecidos na norma através do procedimento simplificado.

No Quadro 3 encontra-se um resumo dos resultados obtidos pelo procedimento simplificado.

Quadro 3 – Resultados da avaliação pelo procedimento simplificado

Sistema Construtivo	Critério Avaliado	Valores		Desempenho
		Calculado	Exigido	
Paredes	Transmitância térmica [W/m ² .K]	2,3	≤ 2,5	Mínimo
Paredes	Capacidade térmica [kJ/m ² .K]	167	≥ 130	Mínimo
Cobertura com telha cerâmica	Transmitância térmica [W/m ² .K]	2,01	≤ 2,3	Mínimo
Cobertura com telha de concreto	Transmitância térmica [W/m ² .K]	2,14	≤ 2,3	Mínimo

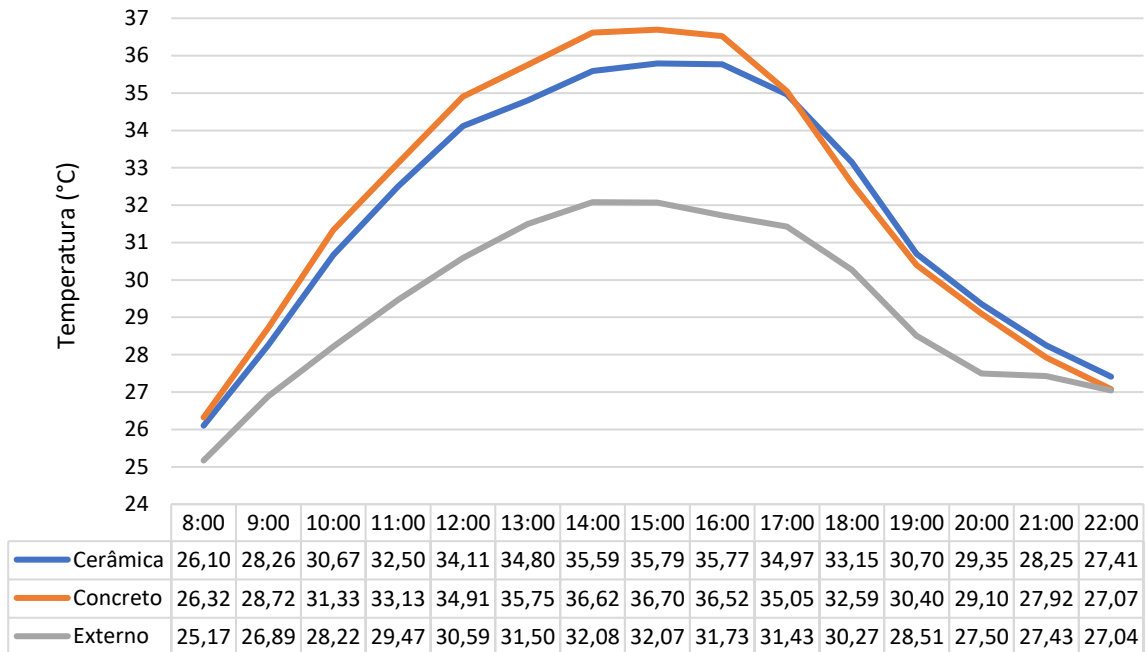
Fonte: adaptado NBR 15575/2013

5.2 Resultados das medições

As medições ocorreram a partir das 8h do dia 23 de junho de 2020 até as 23h do dia 25 de junho de 2020 sendo que durante esse período a porta permaneceu fechada para evitar a interferência da temperatura externa. Os dados das temperaturas externas foram

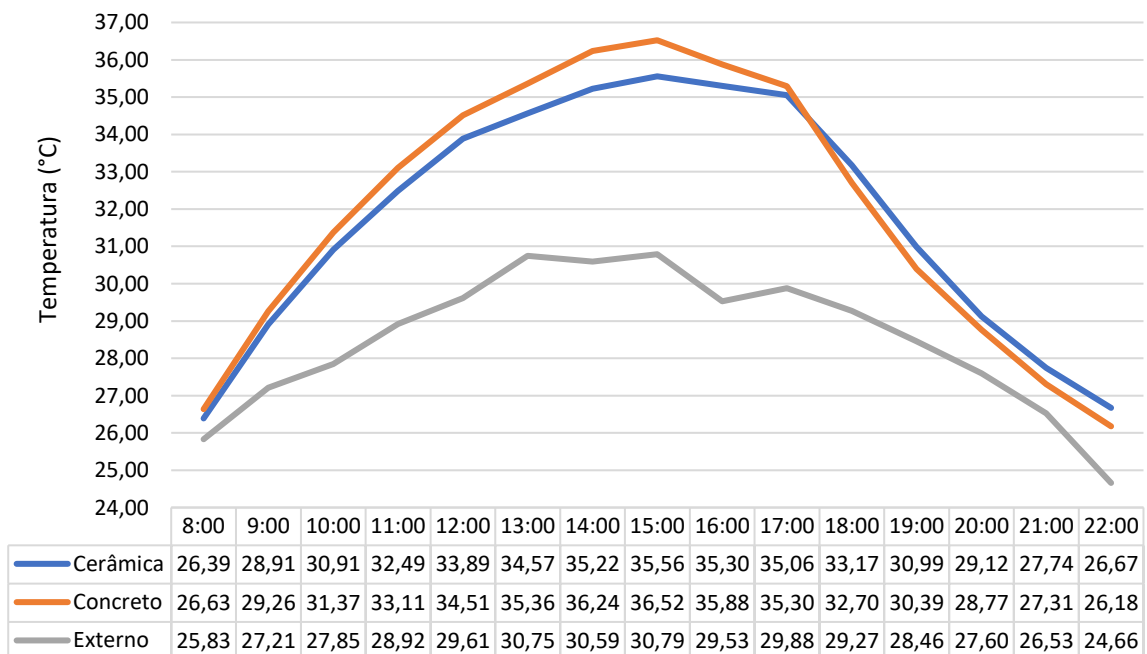
disponibilizados pelo Laboratório de Meteorologia e Climatologia da Universidade. Os resultados dessas medições estão nas Figuras 18, 19 e 20:

Figura 18 - Temperatura média horaria do ar no dia 23/06/2020



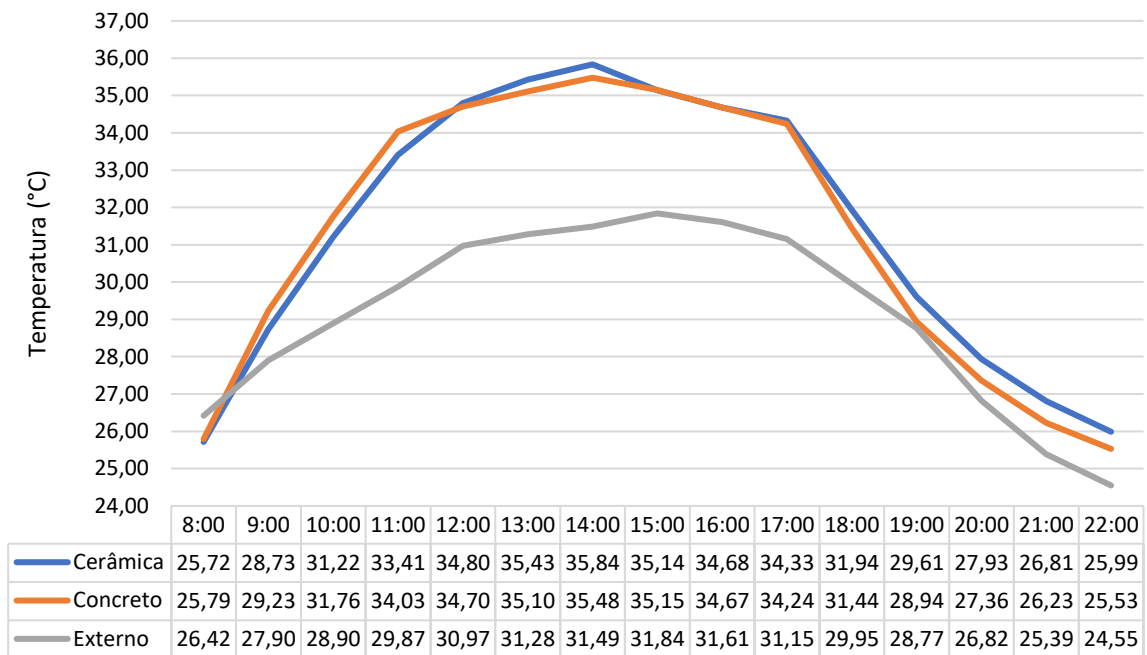
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 19 – Temperatura média horaria do ar no dia 24/06/2020



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20 - Temperatura média horaria do ar no dia 25/06/2020



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além das temperaturas também foi possível medir a umidade relativa durante esses 3 dias e os resultados dessa medição estão disponíveis no apêndice D. Para simplificar os resultados de temperatura máxima e umidade relativa encontrados, foi elaborada a Tabela 8:

Tabela 8- Temperatura máxima do ar e umidade relativa

	23/06		24/06		25/06	
	Temp.	UR	Temp.	UR	Temp.	UR
Máxima Cerâmica	35,8°C	68,3%	35,8°C	82,0%	36,2°C	82,5%
Máxima Concreto	36,9°C	69,4%	36,9°C	84,8%	25,7°C	85,5%
Máxima Externa	30,8°C	58,2%	30,8°C	75,3%	31,4°C	80,2%

Fonte: Elaborado pelo autor

5.3 Avaliação do desempenho segundo a NBR 15.575/2013

Para medições in loco a NBR 15.575/2013 sugere que se trabalhe com uma sequência de três dias consecutivos com características climáticas semelhantes, e que se analise o desempenho térmico do terceiro dia, sendo assim optou-se por analisar os dados do dia 25/06/2020. Todos os dados obtidos no dia 25/06/2020 está disponível no apêndice E.

Nota-se que a temperatura interna de ambos os protótipos permaneceu, quase que na maior parte do tempo, superior à externa, apresentando assim um desempenho térmico insatisfatório de acordo com os critérios estabelecidos na NBR 15.575/2013.

5.4 Comparação dos resultados obtidos

O resumo dos resultados obtidos nessa pesquisa está presente na Quadro 5, assim como a comparação dos resultados obtidos pelo procedimento simplificado e de medição in loco das células-testes indicados na NBR 15.575/2013.

Quadro 4 - Resumo e comparação dos resultados

	Procedimento Simplificado	Medição in loco
Exigências da NBR 15.575/2013	Cobertura: $U \leq 2,3 \text{ W/m}^2.\text{K}$ Paredes: $U \leq 2,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$ e $Ct \geq 130 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$	Verão: $T_i, \text{máx.} \leq T_e, \text{máx}$
Resultados obtidos	Cobertura (cerâmica): $U = 2,01 \text{ W/m}^2.\text{K}$ Cobertura (concreto): $U = 2,14 \text{ W/m}^2.\text{K}$ Paredes: $U = 2,3 \text{ W/m}^2.\text{K}$ e $Ct = 167 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$	<p>37,00 36,00 35,00 34,00 33,00 32,00 31,00 30,00 29,00 28,00 27,00 26,00 25,00 24,00 23,00 22,00 21,00 20,00</p> <p>0:00 2:00 4:00 6:00 8:00 10:00 12:00 14:00 16:00 18:00 20:00 22:00</p> <p>— TA Ceramica — TA Concreto — TA externo</p>
Análise de desempenho térmico	Cobertura: Mínimo Paredes: Mínimo	Verão: Não atendeu

Fonte: Elaborado pelo autor

6 CONCLUSÃO

A norma de desempenho foi criada para suprir a demanda dos usuários por conforto e segurança das edificações habitacionais. Devido a isso, pesquisas que visam formas de garantir esses requisitos vêm crescendo e se tornando cada vez mais necessários, e por esse motivo esta pesquisa abordou conceitos de desempenho térmico e os requisitos para alcançá-los conforme a NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Esse estudo teve como objetivo principal avaliar o desempenho térmico em duas células-teste localizada no município de Palmas através do método simplificado e medição *in loco* propostos na NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Ao avaliar a edificação através do procedimento simplificado verificou-se que foram atendidas as exigências propostas na NBR 15.575/2013 mostrando assim que as células-testes obtiveram um desempenho térmico adequado. Entretanto durante a medição *in loco* nos protótipos, os resultados demonstram a ineficácia em ambos os sistemas de cobertura adotados.

Com os resultados obtidos nesta pesquisa constatou-se que o uso apenas do procedimento simplificado para projetos na região de Palmas-TO é insuficiente para medir o real desempenho térmico das edificações.

Ainda que ambos os sistemas de coberturas utilizadas nos protótipos tenham sido considerados inadequados através do método de medição *in loco*, esses são os sistemas mais adotados em Palmas-TO, principalmente em habitações destinadas a população de baixa renda.

Considerando que a NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece esses critérios para qualquer tipo de edificação e está em vigor desde 2013, esse estudo enfatiza a importância de novas abordagens construtivas principalmente àquelas relacionadas as habitações de interesse social na região, e evidencia a necessidade de revisão de ambas normativas apresentadas.

Ressalta-se que o município Palmas é caracterizado, entre outros fatores, pela grande amplitude térmica, portanto, sendo difícil solucionar os problemas relacionados a conforto térmico usando somente alterações na escolha de materiais, se fazendo necessário a combinação de diferentes medidas ativas e passivas para que a edificação atinja um desempenho térmico apropriado em todos os dias do ano.

6.1 Limitações desta pesquisa

a) Estudo realizado através de células-testes, portanto pode haver variação quando comparado uma edificação finalizada;

b) Emprego de valores das propriedades térmicas dos materiais descritos na NBR 15.220 (ABNT, 2005) para efeitos de cálculo;

c) Avaliação do desempenho térmico através do método de medição *in loco* apenas para o período de verão devido ao fato da norma não exigir avaliação durante o período de inverno.

6.2 Sugestões de pesquisa

Em razão da importância do conforto térmico para o ser humano, é relevante que se desenvolvam novos estudos na região com a finalidade de aprofundar e aumentar o conhecimento na área. Deste modo, são sugestões para futuras pesquisas:

- a) Análise de desempenho térmico com outros tipos de sistemas de cobertura.
- b) Análise de desempenho térmico, através da medição *in loco* durante outros períodos do ano, visto que não foi possível no presente trabalho.
- c) Comparação do desempenho térmico por medição *in loco* na região de Palmas, e o método de simulação computacional.
- d) Avaliação do conforto térmico outros parâmetros ambientais tais como: temperatura radiante média, velocidade do ar, temperatura do ar e umidade relativa do ar

REFERÊNCIAS

- ANFATECCO. Telhas, 2008. Disponível em: <<http://anfatecco.com.br/telhas.php>>. Acesso em: 25 out 2019.
- ANICER. **Análise Comparativa do Ciclo de Vida das Telhas Cerâmicas versus Telhas de Concreto**. Montreal, p. 76. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo**. Rio de Janeiro. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13858-2: Telhas de concreto**. Rio de Janeiro. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15310: Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho – parte 1: requisitos gerais**. Rio de Janeiro. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho – parte 5: Sistema de cobertura**. Rio de Janeiro. 2013.
- BASTOS, F. A. **Avaliação do processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos visando a certificação do produto**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 165. 2003.
- BRASIL. CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988, Brasília, DF, 1988.
- BRASIL. Diário Oficial da União. **PORTARIA Nº 660, DE 14 DE NOVEMBRO DE 2018**, Brasília, 14 nov 2018.
- CASTRO, A. C. D. **Avaliação da eficiência térmica de materiais utilizados como sistemas de cobertura em instalações avícolas**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2012.
- COSTA, M. R. **Estudo comparativo entre a telha cerâmica paulista e a telha de concreto clássica**. Centro Universitário de Formiga. Formiga, p. 70. 2017.
- DAMASCENO, F. A. et al. Propriedades Físicas, Mecânicas e Térmicas de Telhas de Concreto Fabricadas com Adição de Diferentes Materiais Isolantes. **REVENG**, Viçosa, v. 23, n. 5, p. 406-417, out 2015.
- FERNANDES, D. G. **Desenvolvimento de telha de concreto eco-eficiente utilizando resíduo de mármore do tear de fio diamantado**. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, p. 84. 2017.

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

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. 2ª. ed. Londo: Applied Science Publishers, 1981. 483 p.

GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS. **Perfil socioeconômico dos municípios**. Secretaria do Planejamento e Orçamento – SEPLAN. Palmas, p. 37. 2017.

MULLER, H. M. B.; SCHNEIDER, K. W. S. ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE TELHAS DE CONCRETO LEVE COM ADIÇÃO DE EPS COMO AGREGADO MIÚDO EM SINOP- MT. **CONSTRUINDO**, Belo Horizonte, v. 10, p. 76-103, Jul - Dez. 2018.

NASCIMENTO, L. A. D. **Avaliação do desempenho térmico de uma edificação em bloco estrutural cerâmico, na cidade de Paraíso do Tocantins**. Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas, p. 66. 2018.

PERALTA, G. **Desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normalização especídica**. Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 131. 2006.

REIS, A. T. D. L.; LAY, M. C. D. O projeto da habitação de interesse social e a sustentabilidade social. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 99-119, set 2010. ISSN ISSN 1678-8621.

SANTOS, J. C. P. D. et al. Comportamento térmico de fechamentos. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 04, p. 1030-1047, Dec. 2015. ISSN ISSN 1517-7076.

SANTOS, R. C. D. **Formulação de massas cerâmicas**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, p. 87. 2012.

SILVA, L. F. G. D. **Percepção climática e conforto térmico: contribuição ao estudo interdisciplinar dos aspectos objetivos e subjetivos do clima em Palmas, TO**. Universidade Federal do Tocantins. Palmas, p. 550. 2018.

SPOSTO, R. M.; MORAIS, D. M. D.; PEREIRA, C. H. F. A Qualidade do Processo de Produção de Blocos Cerâmicos Fornecidos para o Distrito Federal. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 42-46, jun 2007.

TOCANTINS. **Beneficiários e Comissão de Acompanhamento de Obra - CAO**. Secretaria da Habitação do Estado do Tocantins. Palmas, p. 28. 2010.

TOCANTINS. Secretaria do Planejamento e Orçamento–SEPLAN. **Perfil Socioeconômico dos municípios**, Palmas, 2017. 37.

VIEIRA, C. M. F.; FEITOSA, H. S.; MONTEIRO, S. N. Avaliação da Secagem de Cerâmica Vermelha. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 42-46, fev 2003.

APÊNDICE A – MÉMORIAL DE CÁLCULO PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO

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

As paredes são compostas por duas camadas que envolvem o bloco cerâmico com câmaras de ar não ventiladas, a condutividade térmica desses materiais está na tabela:

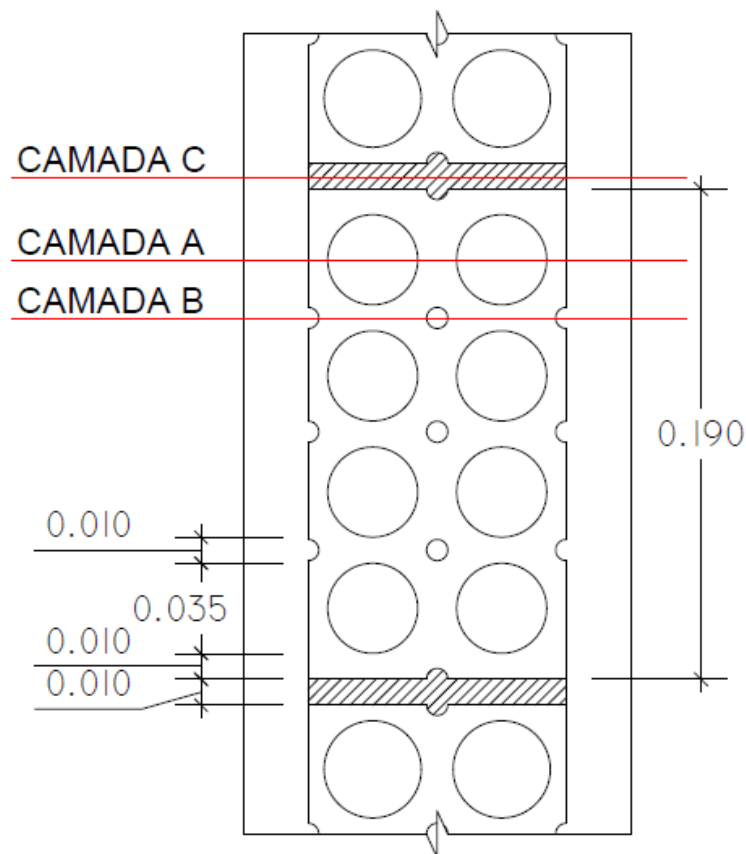
Tabela 9 - Condutividade térmica dos materiais das paredes de fachada

Materiais	λ (W/m.K)
Cerâmica	1,05
Argamassa de reboco e assentamento	1,15

Fonte: Elaborado pelo autor

Para efeito de cálculo a parede é dividida em 3 camadas distintas devido ao fato de ela ser um elemento composto por camadas não homogêneas, conforme a Figura 21:

Figura 21 – Parede da fachada em corte



Fonte: Elaborado pelo autor

Camada A: 2,5 cm de reboco + 0,75 cm de cerâmica + ar+ 1,50 cm de cerâmica + ar+0,75 cm de cerâmica + 2,5 cm de reboco

Camada B: 2,5 cm de reboco + 9 cm de cerâmica + 2,5 cm de reboco

Camada C: 2,5 cm de reboco + 9 cm de argamassa de assentamento + 2,5 cm de reboco

Cálculo da resistência térmica das camadas:

Camada A:

$$R_A = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + R_{ar} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + R_{ar} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}}$$

$$R_A = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,0075}{1,05} + 0,16 + \frac{0,015}{1,05} + 0,16 + \frac{0,0075}{1,05} + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_A = 0,3920 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Camada B:

$$R_B = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}}$$

$$R_B = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,09}{1,05} + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_B = 0,1292 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Camada C:

$$R_C = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{arg. assentamento}}{\lambda_{arg. assentamento}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}}$$

$$R_C = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_C = 0,1217 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Cálculo da resistência térmica do componente (parede), considerando que o bloco cerâmico tem largura igual a 19 cm:

$$R_t = \frac{A_A + A_B + A_C}{\frac{A_A}{R_A} + \frac{A_B}{R_B} + \frac{A_C}{R_C}}$$

Sendo:

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

$$A_B = 0,0075 \times 0,19 = 0,001425 \text{ m}^2$$

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

$$R_t = \frac{4,00665 + 5,001425 + 0,0019}{\frac{4,00665}{0,3920} + \frac{5,001425}{0,1292} + \frac{0,0019}{0,1217}} = 0,2570 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Cálculo da resistência térmica total:

$$R_T = R_{SE} + R_t + R_{SI}$$

$$R_T = 0,04 + 0,2570 + 0,13 = 0,4270 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Cálculo da transmitância térmica

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

$$U = \frac{1}{0,4973} = 2,341 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Cálculo da capacidade térmica das camadas é expressa pela formula:

$$CT_A = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

Para o cálculo é necessário o calor específico e densidade dos materiais das paredes, que estão descrito na tabela a seguir:

Tabela 10 - Calor específico e densidade dos materiais das paredes de fachada

Materiais	c (kJ/kg.K)	ρ (kg/m³)
Cerâmica	0,92	1900
Argamassa de reboco e assentamento	1,00	1950

Fonte: Elaborado pelo autor

Camada A:

$$CT_A = \sum (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} + \sum (e \cdot c \cdot \rho)_{cerâmica}$$

$$CT_A = (0,05 \cdot 1,00 \cdot 1950) + (0,03 \cdot 0,92 \cdot 1900) = 149,94 \frac{kJ}{m_2 \cdot K}$$

Camada B:

$$CT_A = \sum (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} + \sum (e \cdot c \cdot \rho)_{cerâmica}$$

$$CT_A = (0,05 \cdot 1,00 \cdot 1950) + (0,09 \cdot 0,92 \cdot 1900) = 254,82 \frac{kJ}{m_2 \cdot K}$$

Camada C:

$$CT_A = \sum (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} + \sum (e \cdot c \cdot \rho)_{arg. assentamento}$$

$$CT_A = (0,05 \cdot 1,00 \cdot 1950) + (0,09 \cdot 1,00 \cdot 1950) = 273 \frac{kJ}{m_2 \cdot K}$$

Calculo da capacidade térmica do componente (parede):

$$C_T = \frac{A_A + A_B + A_C}{\frac{A_A}{CT_A} + \frac{A_B}{CT_B} + \frac{A_C}{CT_C}}$$

$$C_T = \frac{4,000665 + 5,001425 + 0,0019}{\frac{4,000665}{149,94} + \frac{5,001425}{254,82} + \frac{0,0019}{273}}$$

$$C_T = 167,78 \frac{kJ}{m_2 \cdot K}$$

Cálculo da transmitância das coberturas durante o verão.

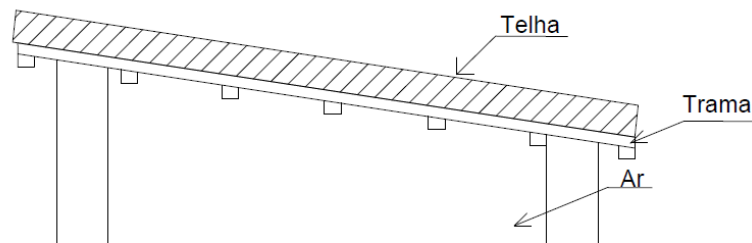
Cobertura na célula-teste 1 é composta por telha cerâmica com câmara de ar não ventilada, na célula-teste 2 é composta por telha de concreto com câmara de ar não ventilada. a condutividade térmica desses materiais está na tabela:

Tabela 11 - Condutividade térmica dos materiais	
Materiais	λ (W/m.K)
Telha de Cerâmica	1,05
Telha de Concreto	1,75

Fonte: Elaborado pelo autor

O desenho esquemático das coberturas está ilustrado na Figura 22 a seguir:

Figura 22 – Detalhe da cobertura



Fonte: Elaborado pelo autor

Cálculo da resistência térmica do componente cobertura:

Cobertura de Telha Cerâmica Cobertura de Telha de Concreto

$$R_C = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + R_{ar}$$

$$R_C = \frac{0,08}{1,05} + 0,21$$

$$R_C = 0,2862 m^2 \cdot K/W$$

$$R_C = \frac{e_{concreto}}{\lambda_{concreto}} + R_{ar}$$

$$R_C = \frac{0,08}{1,75} + 0,21$$

$$R_C = 0,2557 m^2 \cdot K/W$$

Cálculo da resistência térmica total:

Cobertura de Telha Cerâmica Cobertura de Telha de Concreto

$$R_T = R_{SE} + R_t + R_{SI}$$

$$R_T = 0,04 + 0,2862 + 0,17$$

$$R_T = 0,4962 m^2 \cdot K/W$$

$$R_T = R_{SE} + R_t + R_{SI}$$

$$R_T = 0,04 + 0,2557 + 0,17$$

$$R_T = 0,4657 m^2 \cdot K/W$$

Cálculo da transmitância térmica:

Cobertura de Telha Cerâmica Cobertura de Telha de Concreto

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

$$U = \frac{1}{0,4962}$$

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

$$U = \frac{1}{0,4657}$$

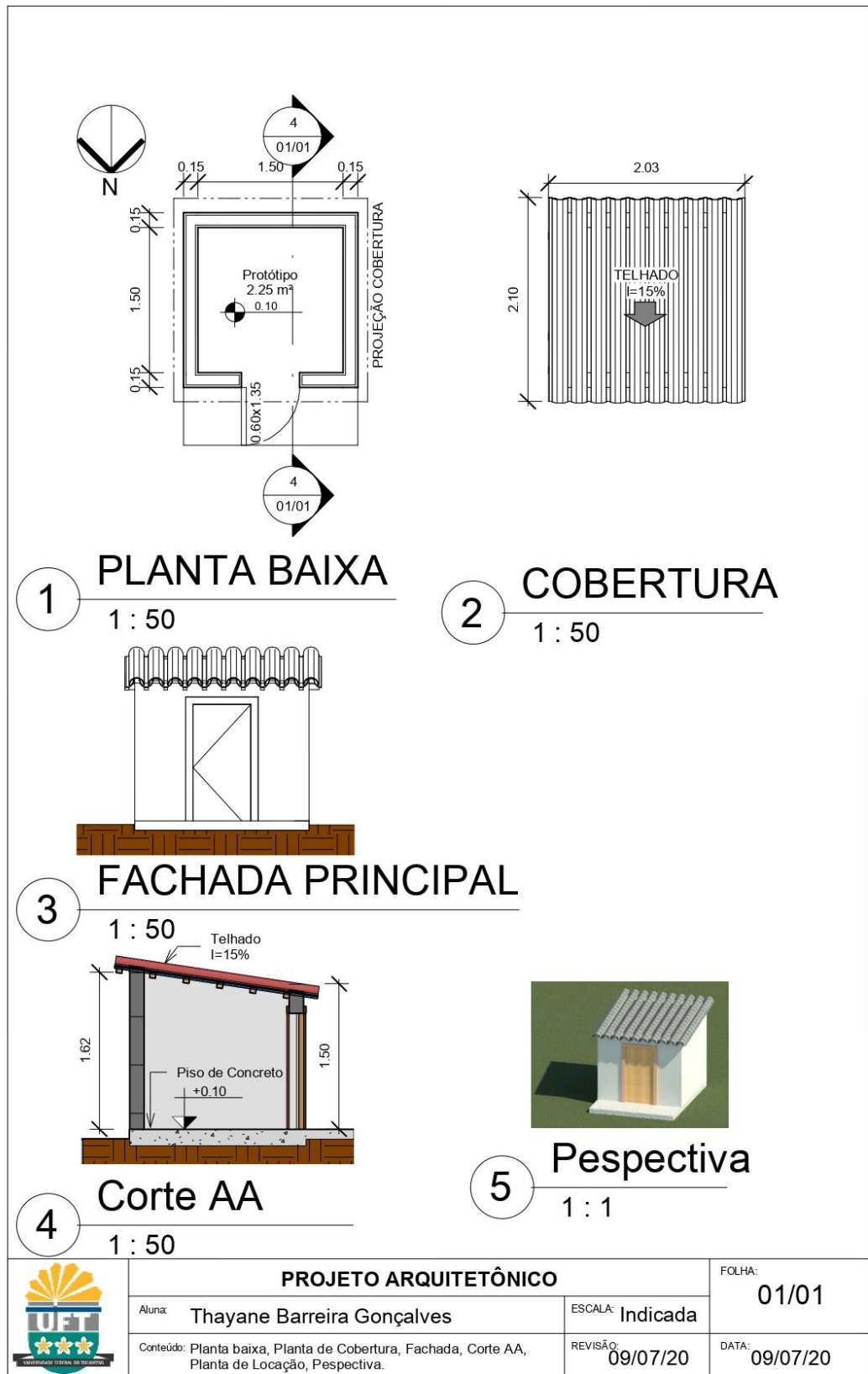
$$U = 2,0153 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$U = 2,1473 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

APÊNDICE B – ORÇAMENTO ANALÍTICO

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS Curso de Engenharia Civil <i>Obra: Trabalho de Conclusão de Curso - Protótipo em alvenaria</i>					Database:	dez/19
1.	PROTÓTIPO EM ALVENARIA	Unid.	Quant.	Custo Unitário	Sub-Total	SINAPI
1.1	EXECUÇÃO DE PISO DE CONCRETO COM CONCRETO MOLDADO IN LOCO, FEITO EM OBRA, ACABAMENTO CONVENCIONAL, NÃO ARMADO	M3	0,18	559,46	99,58	94990
1.2	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS NA VERTICAL (ESPESSURA 9CM)	M2	18,12	37,10	672,25	87471
1.3	PORTA EM COMPENSADO DE MADEIRA	M2	1,20	74,58	89,50	98458
1.4	DOBRIÇA EM LATÃO, PAR	CJ	2,00	10,00	20,00	Mercado Local
1.5	CHAPISCO EXTERNO APLICADO COM COLHER DE PEDREIRO. ARGAMASSA TRAÇO 1:3	M2	19,44	3,01	58,51	87879
1.6	MASSA ÚNICA PARA RECEBIMENTO DE PINTURA, APLICADA MANUALMENTE EM FACES EM PAREDES, ESPESSURA DE 20MM	M2	19,44	26,35	512,24	87529
1.7	TRAMA DE MADEIRA PARA TELHADOS DE ATÉ 2 ÁGUAS PARA TELHAS DE ENCAIXE DE CERÂMICA OU DE CONCRETO	M2	4,50	40,53	182,39	92539
1.8	TELHAMENTO COM TELHA CERÂMICA DE ENCAIXE, TIPO PORTUGUESA, COM ATÉ 2 ÁGUAS	M2	2,25	22,95	51,64	94195
1.9	TELHAMENTO COM TELHA DE CONCRETO DE ENCAIXE, COM ATÉ 2 ÁGUAS	M2	2,25	26,31	59,20	94189
TOTAL					1.779,72	

APÊNDICE C – PROJETO DA CÉLULA-TESTE



PROJETO ARQUITETÔNICO

Aluna: **Thayane Barreira Gonçalves**

Conteúdo: Planta baixa, Planta de Cobertura, Fachada, Corte AA, Planta de Locação, Perspectiva.

ESCALA: **Indicada**

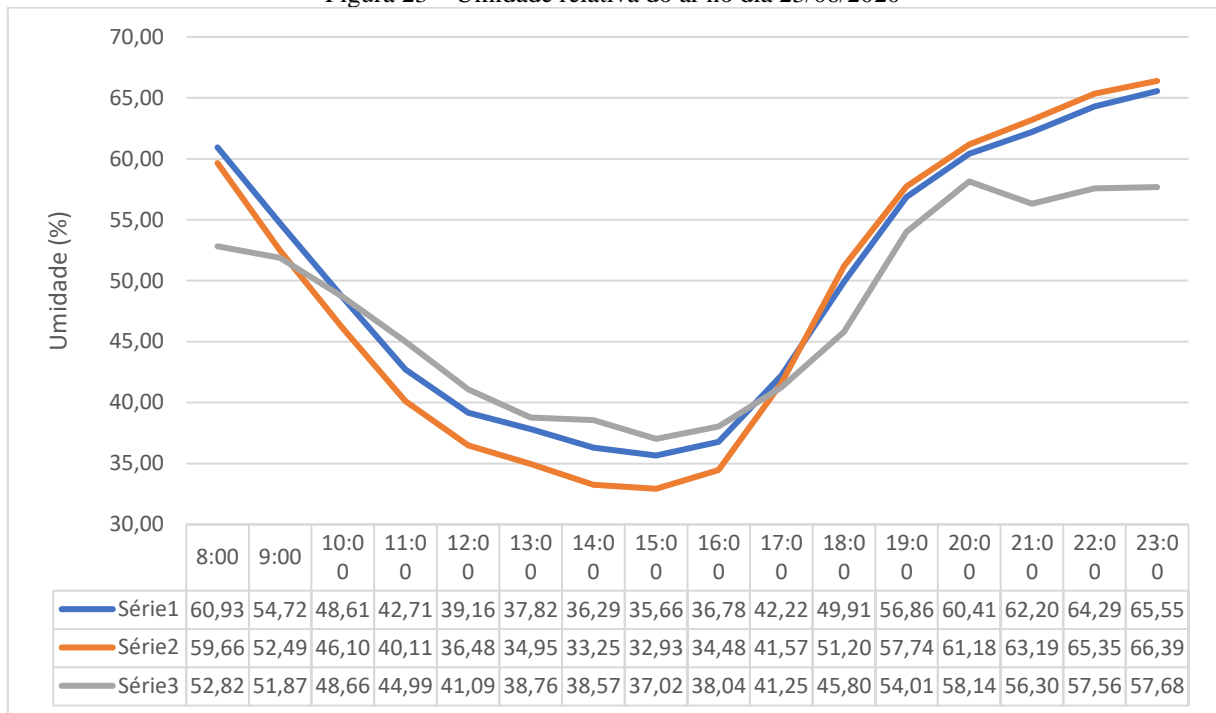
REVISÃO: **09/07/20**

FOLHA: **01/01**

DATA: **09/07/20**

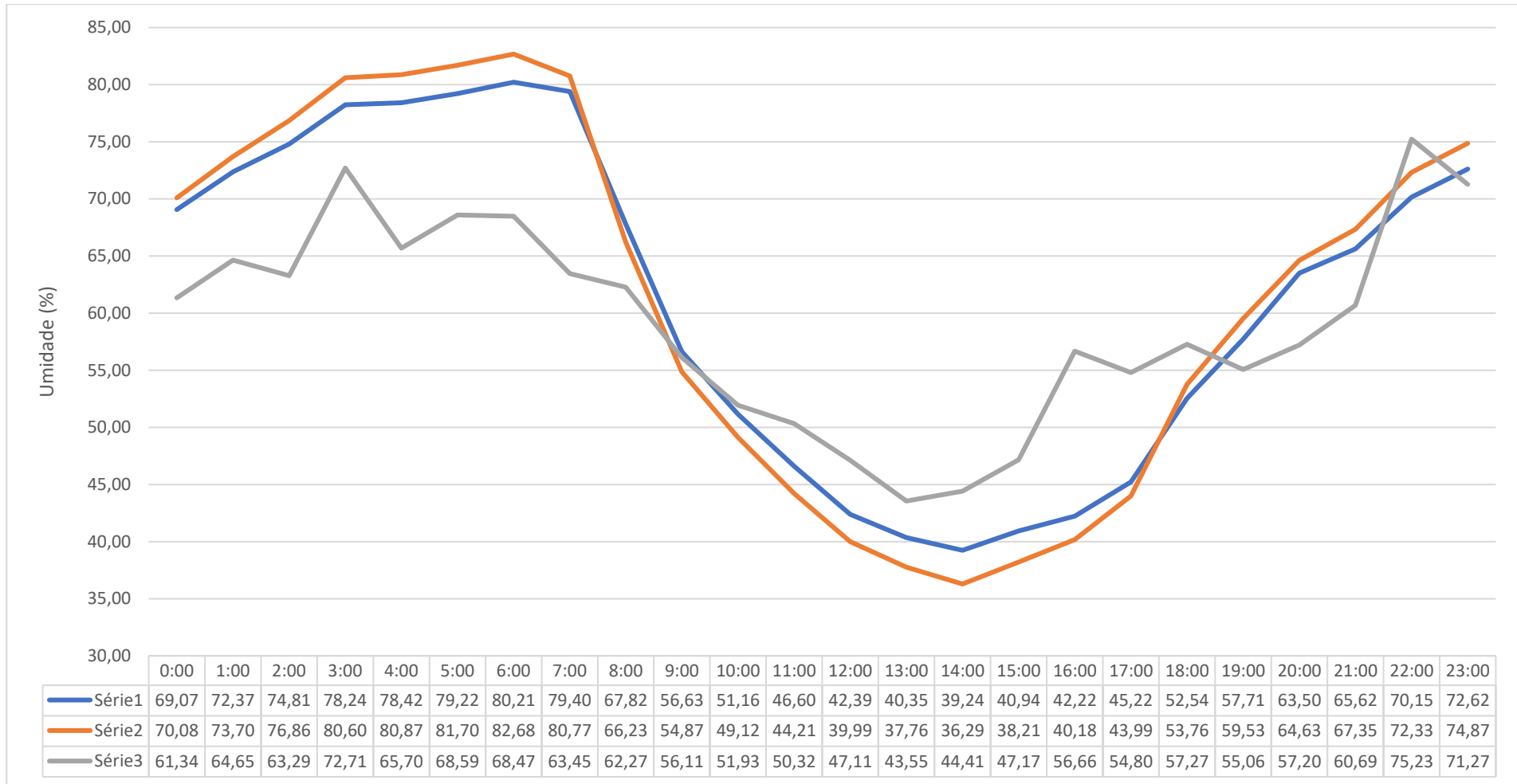
APÊNDICE D – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE UMIDADE

Figura 23 – Umidade relativa do ar no dia 23/06/2020



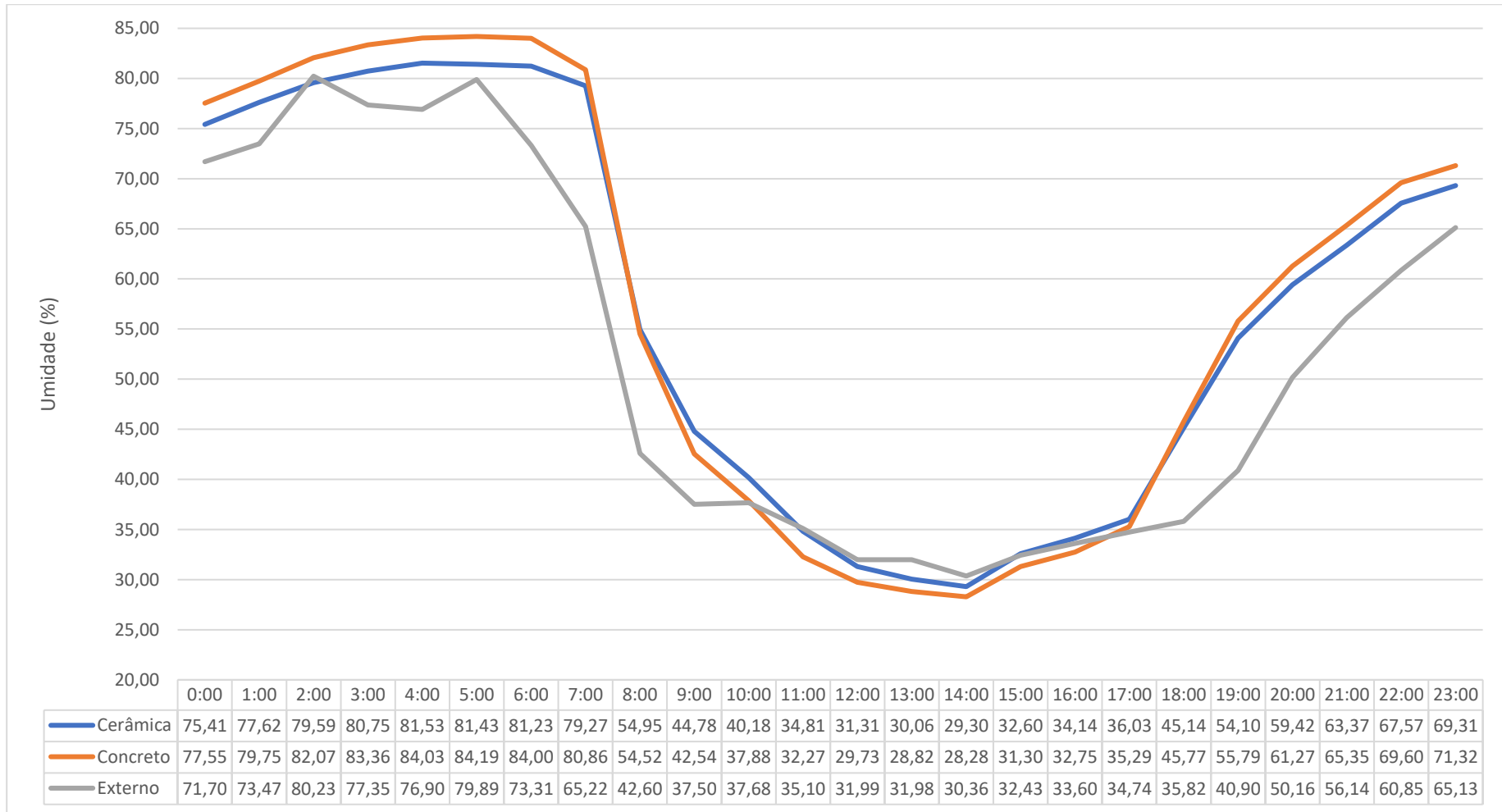
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24– Umidade relativa do ar no dia 24/06/2020



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25– Umidade relativa do ar no dia 25/06/2020



Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE E – RESULTADOS DO DIA 25/06/2020

HORA	IBUTG IN (°C)	IBUTG OUT (°C)	TA (°C)	TG (°C)	WET (°C)	DEW (°C)	UMIDADE (%)
0:00	23,10	23,11	25,32	25,31	22,14	20,65	75,41
1:00	23,02	23,02	25,02	25,00	22,17	20,84	77,62
2:00	22,78	22,79	24,60	24,56	22,02	20,82	79,59
3:00	22,54	22,54	24,22	24,19	21,82	20,71	80,75
4:00	22,38	22,38	23,99	23,92	21,69	20,64	81,53
5:00	21,90	21,90	23,50	23,43	21,23	20,13	81,43
6:00	21,40	21,40	22,99	22,94	20,72	19,60	81,23
7:00	21,42	21,42	23,19	23,24	20,65	19,38	79,27
8:00	21,51	21,50	25,72	25,88	19,64	15,92	54,95
9:00	23,07	23,06	28,73	28,90	20,58	15,53	44,78
10:00	24,65	24,63	31,22	31,39	21,76	16,07	40,18
11:00	25,81	25,79	33,41	33,62	22,47	15,75	34,81
12:00	26,49	26,46	34,80	34,99	22,84	15,33	31,31
13:00	26,82	26,80	35,43	35,62	23,05	15,23	30,06
14:00	27,05	27,03	35,84	36,07	23,19	15,18	29,30
15:00	26,92	26,90	35,14	35,36	23,30	16,24	32,60
16:00	26,74	26,72	34,68	34,88	23,26	16,58	34,14
17:00	26,69	26,67	34,33	34,49	23,35	17,10	36,03
18:00	25,84	25,82	31,94	32,11	23,16	18,54	45,14
19:00	24,86	24,84	29,61	29,76	22,76	19,32	54,10
20:00	23,94	23,94	27,93	28,03	22,19	19,29	59,42
21:00	23,30	23,30	26,81	26,82	21,80	19,26	63,37
22:00	22,98	22,98	25,99	26,02	21,68	19,52	67,57
23:00	22,93	22,92	25,77	25,77	21,71	19,72	69,31