



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Karolly de Miranda Marinho

ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DO FORRO DE EPS NO CONFORTO TÉRMICO EM
EDIFICAÇÕES DE BAIXA RENDA: estudo realizado em protótipo construído no município
de Palmas – TO.

Palmas – TO

2019

Karolly de Miranda Marinho

ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DO FORRO DE EPS NO CONFORTO TÉRMICO EM
EDIFICAÇÕES DE BAIXA RENDA: estudo realizado em protótipo construído no
município de Palmas – TO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Kenia Parente Mendonça.

Palmas – TO

2019

Karolly de Miranda Marinho
ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DO FORRO DE EPS NO CONFORTO TÉRMICO EM
EDIFICAÇÕES DE BAIXA RENDA: estudo realizado em protótipo construído no
município de Palmas – TO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof.a Esp. Kenia Parente Lopes Mendonça.

Aprovado em: 31 / 05 / 2019

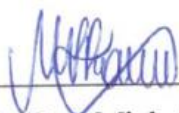
BANCA EXAMINADORA



Prof.ª Esp Kenia Parente Lopes Mendonça

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof.ª Dra. Michele Ribeiro Ramos

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. M.Sc. Hider Cordeiro de Moraes

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019

Dedico esse trabalho aos meus pais, Francisco e Luiza, ao meu irmão Francisco, sua esposa Taiana e meu sobrinho Yuri e a minha esposa Tuanny e minha filha Ana Luiza que são a razão de toda a transformação na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a essa grande força que nos guia, nos protege, nos ilumina, nos transforma a todo instante nos proporcionando oportunidades de sermos melhores hoje do que fomos ontem.

A esta universidade, ao seu corpo docente, direção e administração que primam pela qualidade de cada um dos seus cursos superiores transformando alunos em profissionais de excelência.

A todos os professores do curso de Engenharia Civil por sua determinação, paciência e empenho. A palavra mestre nunca fará justiça aos professores encontrados nesta instituição que terão meus eternos agradecimentos.

A minha amiga e chefe professora Diêmy Sousa Freitas por todo apoio dado nos momentos de cansaço durante a realização deste trabalho.

A professora Cássia Regina de Lima por toda a ajuda prestada.

A minha orientadora Kenia Parente Lopes Mendonça por todo o suporte me dado durante a elaboração do projeto, desde a escolha do tema até a elaboração metodológica do trabalho.

Aos amigos e colegas que fiz no curso e que foram parte da minha formação e que farão parte da minha vida profissional.

Agradeço aos meus pais, Francisco e Luiza, por todo carinho, apoio e compreensão nos momentos em que mais precisei. Sem eles eu não estaria aqui.

Agradeço a meu irmão Francisco, sua mulher Taiana e meu sobrinho Yuri que sempre demonstraram que a união é a parte mais importante da nossa família, que quando cada um faz a sua parte nos tornamos mais fortes.

Agradeço a minha mulher Tuanny e minha filha Ana Luiza que desde o início foram a justificativa para tanto esforço e a razão para todas as mudanças que ocorreram na minha vida, sempre me transformando num filho melhor, num marido melhor e num pai melhor. Sem vocês eu seria apenas uma casca vazia e é por vocês que me levanto todos os dias, obrigado por todo o seu carinho em todos os momentos da minha vida.

Agradeço especialmente ao meu pai, Francisco Assis Marinho da Silva, que faleceu entre as etapas da elaboração do projeto e não pode me acompanhar pessoalmente até o final desta jornada, mas eu sei que ele sempre está por perto. Obrigado pai, eu te amo.

Conto com o apoio de todos para essa reta final da minha graduação.

“Não encontre defeitos, encontre soluções. Qualquer um sabe queixar-se.”

(Henry Ford)

RESUMO

MARINHO, Karolly de Miranda. **Análise da Contribuição do Forro de Eps no Conforto Térmico em Edificações de Baixa Renda: estudo realizado em protótipo construído no município de Palmas – TO.** 2019. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2019.

Este trabalho teve o objetivo de analisar a contribuição gerada pela instalação de forro de teto em EPS em construções de baixa renda, visando apresentar uma alternativa viável para famílias carentes. A metodologia apresentada fundamenta-se em monitoramento feito em protótipo, construído de acordo com todos os critérios orientados pela norma 15575, conhecida como norma de desempenho. Foram feitas medições de temperatura em dias típicos de verão e depois analisados por meio de tabelas e gráficos, fazendo estudo comparativo com a bibliografia disponível de estudos de conforto térmico. Inicialmente foi analisado o protótipo sem o elemento construtivo forro de teto e após a sua implantação, houve a apresentação dos resultados e análises dos mesmos. Os resultados obtidos mostraram que a instalação de forro de teto de EPS trouxe redução da temperatura interna, conseqüentemente melhorando o conforto térmico no protótipo. Também foi observado a melhor maneira de se instalar o forro de teto de EPS, neste caso, envelopando o material com papel alumínio o que propiciou um melhor isolamento do ambiente, o tornando menos afetado pelas variações climáticas. Desta forma, torna-se claro o potencial de uso do forro de teto de EPS em edificações de baixa renda por ser fácil de instalar, não necessitando de reforço estrutural, por se tratar de material de baixo custo além de evitar a entrada no ambiente por poeira nos dias secos. Para finalização do trabalho, visando a melhoria da temperatura ambiente e do conforto térmico, foram propostas melhorias para as edificações de baixa renda.

Palavras chave: Forro de EPS. *Conforto Térmico.* Construções de baixa renda.

ABSTRACT

MARINHO, Karolly de Miranda. **Analysis of Contribution of the Eps Liner in Thermal Comfort in Low - Income Buildings: study carried out in prototype built in the city Palmas – TO.** 2019. 69 p. Final paper - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2019.

This work objectified analyzing the contribution generated by installation of ceiling lining in EPS in low income buildings, aiming to present a viable alternative for needy families. The methodology presented's based on monitoring done in prototype, built according to all standard oriented by the regulation 15575, known as performance standard. Temperature measurements were made on typical summer days and then analyzed through tables and graphs, comparing the available bibliographies of thermal comfort studies. Initially the prototype was analyzed without the ceiling lining constructive element and after its implantation, there was the presentation of the results and analyzes of the same. The results showed that the installation of EPS ceiling linings brought internal temperature reduction, consequently improving thermal comfort in the prototype. It was also observed the best way to install the EPS ceiling lining, in this case, enveloping the material with aluminum foil which provided a better insulation of the environment, making it less affected by the climatic variations. In this way, it becomes evident the potential of EPS ceiling lining in low-income buildings because of its ease of installation, not being necessary structural reinforcement, because it's a low-cost material, besides avoiding the entrance into the environment by dust on dry days. To finalize the work, aiming at improving the ambient temperature and thermal comfort, improvements were proposed for low-income buildings.

Keywords: EPS Lining. *Thermal comfort.* Low-income buildings.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Mapa pluviométrico do Estado do Tocantins..... | 17 |
| Figura 2 – Mapa das delimitações municipais do Estado do Tocantins..... | 17 |
| Figura 3 – Zoneamento bioclimático brasileiro..... | 19 |
| Figura 4 – Esquema das trocas de calor..... | 25 |
| Figura 5 – Representação das trocas de calor em um telhado e em um forro..... | 26 |
| Figura 6 – Fotografia com sensor infravermelho mostrando radiação..... | 27 |
| Figura 7 – Forro de teto de isopor (EPS)..... | 28 |
| Figura 8 – Argamassa de revestimento e suas camadas..... | 31 |
| Figura 9 – Imagem do CEULP/ULBRA..... | 35 |
| Figura 10 – Protótipo em corte..... | 36 |
| Figura 11 – Corte lateral do protótipo..... | 38 |
| Figura 12 – Planta de situação..... | 39 |
| Figura 13 – Contra piso do protótipo..... | 39 |
| Figura 14 – Construção do protótipo..... | 39 |
| Figura 15 – Ensaio de arrancamento..... | 42 |
| Figura 16 – Ensaio de resistência a compressão..... | 43 |
| Figura 17 - Termômetro Termo Higrômetro Digital Mod.Ht-700..... | 44 |
| Figura 18 – Termômetro com mira laser FLUKE 59 MAX..... | 44 |
| Figura 19a – Montagem de termovisor no tripé..... | 45 |
| Figura 19b – Termômetro infravermelho emissividade de superfície nominal | 45 |
| Figura 20 – Termômetro com mira laser FLUKE 59 MAX..... | 45 |
| Figura 21 – Fluxograma da Pesquisa..... | 46 |
| Figura 22: Gráfico Temperatura (Ext., Telha sup., EPS inf. e Interna) do protótipo com EPS sem envelopamento..... | 51 |
| Figura 23: Gráfico Temperatura externa e interna do protótipo com EPS sem envelopamento..... | 51 |
| Figura 24: Gráfico Temperatura (Externa, Telha sup., EPS inf. e Interna) do protótipo com EPS envelopado na face superior..... | 52 |
| Figura 25: Gráfico Temperatura externa e interna do protótipo com EPS envelopado na face superior..... | 52 |
| Figura 26: Gráfico Temperatura (Externa, Telha sup., EPS inf. e Interna) do protótipo com EPS envelopado na face superior e inferior..... | 53 |

| | |
|---|----|
| Figura 27: Gráfico Temperatura externa e interna do protótipo com EPS envelopado na face superior e inferior | 53 |
| Figura 28: Gráfico temperatura interna máxima e mínima (externa e protótipos) | 54 |
| Figura 29: Gráfico variação de temperatura (externa e protótipos) | 55 |
| Figura 30: Tabela desvio padrão do protótipo II..... | 56 |
| Figura 31: Comparação das temperaturas com e sem forro de teto EPS..... | 56 |
| Figura 32: Gráfico em curva da variação da temperatura máxima e mínima em dia típico de verão..... | 57 |
| Figura 33: Gráfico dispersão entre as temperaturas com e sem forro de teto EPS durante todos os dias da pesquisa..... | 57 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Relação entre temperatura anual média e parcela da pop. brasileira exposta..... | 15 |
| Tabela 2 – Dados Climatológicos para Palmas..... | 16 |
| Tabela 3 – Condutividade térmica de materiais utilizados na construção civil..... | 21 |
| Tabela 4 – Propriedades físicas para cada classe do EPS..... | 29 |
| Tabela 5 – Valor médio da instalação do forro de teto por m ² | 38 |
| Tabela 6 – Caracterização física do cimento Portland CP II F – 32..... | 40 |
| Tabela 7 – Protocolo da pesquisa..... | 47 |
| Tabela 8 – Temperaturas do protótipo com EPS sem envelopamento..... | 48 |
| Tabela 9 – Temperaturas do protótipo com EPS envelopado na face superior..... | 49 |
| Tabela 10 – Temperaturas do protótipo com EPS envelopado na face superior e inferior..... | 49 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPS – Poliestireno Expandido

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

ANA – Agência Nacional de Águas

SEPLAN – Secretaria de Planejamento

NBR – Norma Brasileira

CEULP – Centro Universitário Luterano de Palmas

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|--------------------|---------------------------------|
| % | porcentagem |
| °C | graus Celsius |
| kg | quilograma |
| Kg/m ³ | quilograma por metro cúbico |
| Kg/dm ³ | quilograma por decímetro cúbico |
| MPa | mega pascal |
| GPa | giga pascal |
| σ | tensão |
| ν | coeficiente de Poisson |
| γ | densidade de massa |
| μ s | microsegundos |
| mm | milímetros |
| cm | centímetros |
| m | metros |
| m ² | metros quadrados |
| m ³ | metros cúbicos |
| min | minutos |
| t | toneladas |
| CaO | óxido de cálcio |
| CO ₂ | dióxido de carbono |
| CSH | silicato de cálcio hidratado |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | PROBLEMA DE PESQUISA..... | 12 |
| 1.2 | HIPÓTESES..... | 12 |
| 1.3 | OBJETIVOS..... | 12 |
| 1.3.1 | <i>Objetivo Geral</i>..... | 12 |
| 1.3.2 | <i>Objetivos Específicos</i>..... | 12 |
| 1.4 | JUSTIFICATIVA..... | 12 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 2.1 | CONFORTO TÉRMICO | 14 |
| 2.1.1 | <i>Trocas de Calor</i> | 15 |
| 2.1.2 | <i>Clima no Tocantins</i> | 16 |
| 2.1.3 | <i>Clima em Palmas</i> | 17 |
| 2.1.4 | <i>Transferência de Calor</i> | 19 |
| 2.1.5 | <i>Transferência de Calor em Coberturas</i> | 25 |
| 2.2 | MATERIAIS | 27 |
| 2.2.1 | <i>Forro de Teto de EPS (ISOPOR)</i> | 27 |
| 2.2.2 | <i>Tijolo Cerâmico</i> | 29 |
| 2.2.3 | <i>Argamassa</i> | 30 |
| 3 | METODOLOGIA | 35 |
| 3.1 | CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA..... | 35 |
| 3.2 | LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA | 35 |
| 3.3 | DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS..... | 36 |
| 3.3.1 | <i>Tipos de Variáveis</i> | 36 |
| 3.4 | PROTÓTIPOS..... | 37 |
| 3.5 | CUSTO INSTALAÇÃO FORRO DE TETO | 38 |
| 3.6 | MÉTODO CONSTRUTIVO..... | 38 |
| 3.7 | ENSAIOS..... | 41 |
| 3.8 | COLETA DE DADOS | 43 |
| 4 | APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 48 |
| 5 | CONCLUSÃO | 59 |
| 6 | SUGESTÃO DE NOVOS TRABALHOS | 60 |
| | REFERÊNCIAS | 61 |

1 INTRODUÇÃO

Desde o momento em que o homem deixou a vida nômade, nasceu a necessidade de se proteger das intempéries, iniciando assim a construção de moradias fixas. Paredes, piso e cobertura foram elementos básicos nessas construções. Ao passar dos tempos, a construção avançou e vários elementos foram incorporados ao padrão simples que imitavam as tendas da vida nômade. De todos os elementos construtivos, o forro de teto foi um dos últimos a serem introduzidos.

No Brasil foram os portugueses que trouxeram o forro de teto, ainda no período colonial. De acordo com Nakamura (2006) “o forro sempre teve papel importante na demarcação de espaços, porém novas funcionalidades foram atribuídas a ele nos últimos anos”. Inicialmente, o forro foi bastante utilizado como elemento arquitetônico responsável por limitação do espaço ajudando na circulação de ar cruzada. Bastante utilizado para ocultar outros elementos da construção, como as tubulações, passou a ser utilizado também como suporte na passagem da fiação, além promover isolamento acústico e térmico.

Mesmo assim, este elemento construtivo é geralmente de pouco uso em construções de baixa renda. Isso se deve ao fato de que na maioria das vezes as construções de baixa renda começam sem condições financeiras para serem finalizadas e na necessidade de redução de custos opta-se por não executar o forro. Rodrigues; Ruschel (2002) divulgam que “a cada 4 habitações de baixa renda pesquisadas apenas 1 conta com forro de algum tipo de material”. Algumas informações, que nem sempre são difundidas entre famílias de baixa renda, relatam que o forro diminui a temperatura de forma perceptível e de acordo com Richinni (2016) “utilizando embalagens Longa Vida, como função de forro de teto, a temperatura foi reduzida em até 8 °C”.

A fim de verificar a eficiência no conforto térmico ao utilizarmos o forro de teto nas construções, iremos abordar no presente trabalho uma pesquisa quantitativa onde serão feitas medições em que se comprove a redução da temperatura interna de um cômodo com uso de forro. Para as medições serão feitos protótipos de um ambiente residencial onde será medido a temperatura com e sem forro de teto de EPS (isopor). Os resultados serão confrontados com a diferença de custos entre obras com e sem este elemento. Assim, objetiva-se esclarecer a necessidade da instalação deste elemento nas construções de baixa renda.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Vivendo em Palmas – TO, uma cidade com registros de altas temperaturas, chega-se ao seguinte questionamento: Quais as mudanças em implantar o sistema de forro para o melhoramento do conforto térmico em uma construção de baixa renda?

1.2 HIPÓTESES

Acredita-se que com a instalação de forro de teto de Poliestireno Expandido – EPS em um cômodo, será constatada uma redução significativa da temperatura interna quando comparada a um cômodo com iguais dimensões e iguais condições de insolação, mas sem o forro.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar os benefícios da instalação do elemento forro de teto de EPS em edificações de baixa renda através do monitoramento e comparação da variação das temperaturas interna e externa, utilizando protótipo para essa simulação.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Comparar a variação de temperatura em protótipo com e sem o elemento forro;
- ✓ Identificar os benefícios e melhorias com a instalação do forro;
- ✓ Abordar as melhores formas de instalação do forro de teto de EPS.

1.4 JUSTIFICATIVA

Não ter um boa noite de sono, não conseguir reunir toda a família num mesmo ambiente ou mesmo não ver ao seu programa favorito devido à alta sensação térmica encontrada no ambiente de convívio familiar é um fator determinante de diminuição da qualidade de vida. A interação familiar e o descanso se tornam fundamentais para aumento do rendimento no serviço e na vida cotidiana, desta forma, uma temperatura agradável proporciona que esse descanso ocorra de forma confortável.

Considerando os estudos de Lee e Henschel (1966), asseguram que os níveis de desconforto térmico não são apenas o desconforto em si, mas também causam, em casos mais intensos, sofrimento, tensão física, perda de concentração, desequilíbrios fisiológicos e hospitalizações. As elevadas temperaturas trazem consequências negativas para o ser humano nas suas funções biológicas e suas atividades diárias, como destacam Frota e Schiffer (2013).

Neste contexto, pode-se destacar que ondas de calor se propagam por todo o mundo afetando principalmente as pessoas mais vulneráveis física e economicamente. Tentando amenizar o forte calor, são utilizados vários equipamentos de resfriamento da temperatura o que gera um gasto mensalmente de altos valores com energia e, conseqüentemente, se transforma em uma característica crônica da sociedade atual: gastos futuros elevados por não se planejar habitações sustentáveis.

Este trabalho chama atenção para o tema de conforto térmico, quantificando o ganho em termos de diminuição de calor propagado para dentro da edificação e, também, apresentando o valor do custo correspondente à instalação dessa melhoria em edificações de baixo custo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A aplicação do forro de teto nas edificações é bastante utilizada em construções com planejamento prévio sendo o projeto feito por profissionais habilitados, como por exemplo engenheiro ou arquiteto. A sua implantação aumenta o custo da obra, mas traz melhorias para o ambiente pois auxilia o fluxo de ar diminuindo a temperatura, isolando o ambiente das intempéries que vêm do telhado, delimitando o cômodo e proporcionando uma melhor iluminação além de diminuir o consumo energético.

As casas populares são estruturadas de forma mais simples, compostas na maioria das vezes por piso, paredes e telhado a vista, sem preocupação com a colocação de forro de teto. Ao abordar o tema da aplicação do forro de teto nota-se o pouco conhecimento sobre o tema por parte das famílias carentes. Tendo em vista que a aplicação do forro de teto traz um aumento do orçamento da edificação a ser construída, escolhe-se para o forro de teto o material isopor pois além do custo reduzido também é de fácil aplicação.

Num trabalho científico o referencial teórico se faz necessário para garantir a consolidação da pesquisa, mas num trabalho científico de interesse popular esta exigência se torna muito maior. Torna-se necessário um argumento bem respaldado pela literatura disponível. Tendo em vista todas estas necessidades, esta pesquisa foi elaborada buscando em cada autor que será citado a melhor maneira de explicar todos os processos envolvidos para que seja atingido o conceito de conforto térmico com o uso de forro de isopor em moradias de baixa renda.

Inicia-se com a explicação sobre conforto térmico, seu benefício e suas variáveis, como por exemplo, o fator clima. Será apresentado o material utilizado para aplicação do forro e posteriormente estuda-se sobre a orçamentação. Conclui-se com os materiais utilizados nas construções civis.

2.1 CONFORTO TÉRMICO

O homem se preocupa com a questão do conforto térmico há algum tempo. Bernan (1845) prevê que para maior longevidade e melhoria da saúde o homem criaria e controlaria melhor os ambientes ao seu redor.

Conforto térmico é uma definição criada para quantificar e qualificar um ideal de satisfação padronizado por meio de alguns experimentos de vários pesquisadores durante os anos. Segundo Olygay (1973), quando uma pessoa gasta a menor quantidade de energia para se adaptar ao ambiente em que está inserida ela está satisfatoriamente na sua zona de

conforto. Esta zona de conforto ou popularmente conhecida como bem-estar é definida como sendo a satisfação com o ambiente definida pela mente. (LAMBERTS E XAVIER, 2002)

Frota e Schiffer (2003, p.26), dispõem sobre o tema a existência de 3 maneiras de classificar o conforto térmico sendo:

Índices biofísicos: que se baseiam nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos; Índices fisiológicos: que se baseiam nas relações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar; temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar; Índices subjetivos: que se baseiam nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

2.1.1 Trocas de Calor

O homem possui necessidade de regular a sua temperatura corporal, sendo classificado como um animal homeotérmico. A temperatura do corpo é constante e mantida em 37 °C sofrendo pequenas variações e oscilando entre 36,1 °C e 37,2 °C. Desta forma, o corpo não precisa alterar seu funcionamento normal. Porém existem limites para temperatura do corpo humano, sendo o limite inferior próximo a 32 °C e o limite superior em 43 °C. (WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006)

De acordo com Frota e Schiffer (2001) quando o ambiente não prejudica as trocas de calor com o corpo, o organismo funciona sem fadiga e estresse, trazendo para o homem uma melhor qualidade de vida e saúde, combatendo desta forma o chamado “stress térmico”.

As trocas de calor do corpo com o meio são uma forma natural do corpo humano regular a sua temperatura. Em dias de calor, devido à alta temperatura, o hipotálamo que é responsável por regular a temperatura do corpo aumenta o ritmo cardíaco provocando a transpiração e realizando trocas com o meio. Em dias frios o ritmo cardíaco é reduzido gerando menor quantidade de calor. Para realização desta troca existe um gasto de energia, podendo este gasto ser reduzido ou aumentado de acordo com o ambiente. (GAMBRELL, 2002)

Para sensação de conforto térmico existem alguns fatos subjetivos, Oliveira e Ribas (1995, p.31) citam:

- O processo de aclimação dos indivíduos. As pessoas, em seus climas de permanência, tendem a produzir hábitos e alterações metabólicas (quantidade de sangue, capacidade de suor etc.) que equilibra as condições térmicas adversas. Assim um siberiano, acostumado aos rigores do inverno, sentiria extremo

desconforto no verão do Rio de Janeiro. A não ser que se aclimatasse, após algum tempo, ao clima carioca.

Fica evidente que o conforto térmico influencia diretamente no bem-estar e numa melhor qualidade de vida de uma pessoa. Abrantes (2004) comenta que o comportamento de uma pessoa pode ser alterado por algumas variáveis como poeira, ventilação, calor e característica das edificações. Variáveis como ventilação, umidade e temperatura são novamente comentadas como prioritárias para confecção do índice de conforto térmico e quanto mais analisadas melhor (CBIC, 2013).

2.1.2 Clima no Tocantins

Em razão de sua grande área territorial, o Brasil possui grandes variações climáticas. Simplificando a análise desta temperatura podemos utilizar uma temperatura anual média. Para elaboração desta temperatura anual média o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE juntamente com o Instituto Nacional de Meteorologia colheram informações entre as décadas de 30 a 90. A conclusão deste estudo se deu pela formulação de uma tabela (Tabela 1) que mostra a exposição da temperatura por uma porcentagem da população.

Tabela 1: Relação entre temperatura anual média e parcela da população brasileira exposta

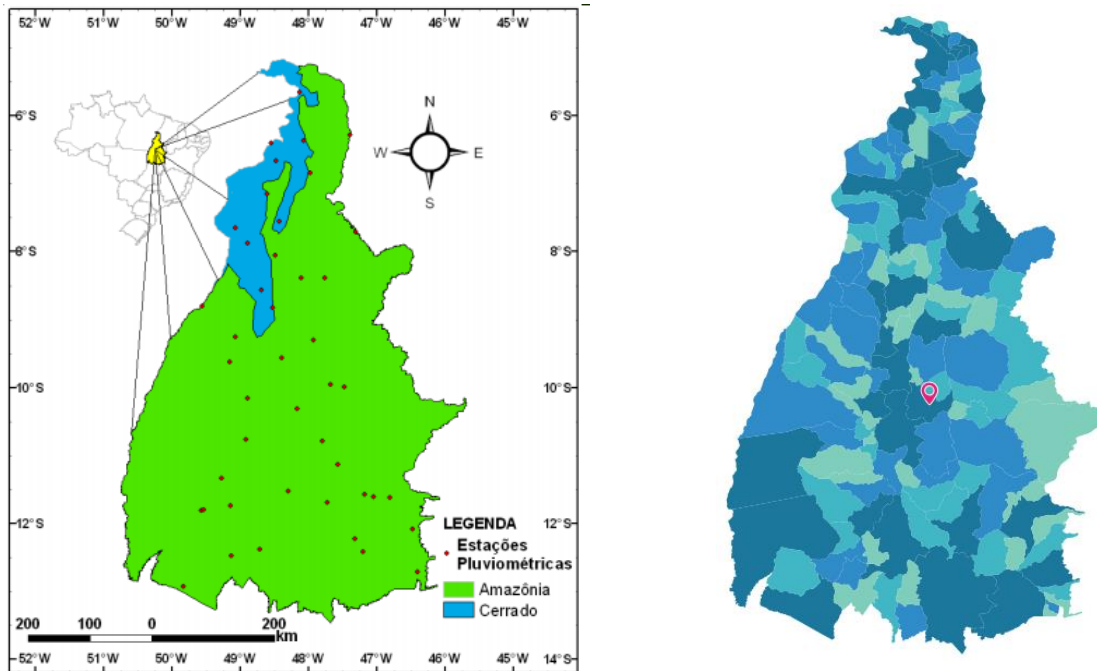
| Temperatura Anual Média (°C) | Parcela aproximada da população (%) | Parcela aproximada da população (n° de pessoas) |
|------------------------------|-------------------------------------|---|
| 24,1 a 27 | 38 | 59.690.238 |
| 21,1 a 24 | 34,5 | 54.192.543 |
| 18,1 a 21 | 20 | 31.415.915 |
| 15,1 a 18 | 7,5 | 11.780.968 |

Fonte: adaptado de IBGE (1990)

O estado do Tocantins é a mais nova das 27 unidades federativas brasileiras e está localizado no norte do Brasil. Criado em 1988, possui uma área de 277.720,412 km², contando com 139 municípios e uma população de 1.383.455 pessoas de acordo com o Censo Demográfico 2010 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2018).

A capital do estado do Tocantins é a cidade planejada de Palmas. É uma das 5 maiores cidades do estado, juntamente, com as cidades de Araguaína, Gurupi, Porto Nacional e Paraíso do Tocantins.

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2018) o estado do Tocantins possui 20 estações meteorológicas, como mostra as figuras 1 e 2.

Figura 1 e 2: Mapa Pluviométrico e Delimitação do Estado do Tocantins

Fonte: adaptado de ANA – Agência Nacional de Águas (2010) e IBGE (2018)

Existem dois climas predominantes: tropical seco e tropical úmido. Definido em uma estação seca durante maio a setembro e uma estação chuvosa de outubro a abril. As temperaturas médias nos meses de agosto a outubro são 38 °C, mas a média anual fica em 26 °C.

2.1.3 Clima em Palmas

A cidade de Palmas, capital do estado do Tocantins, foi projetada para uma população de 2 milhões de pessoas, com uma área de 12 km x 32 km. A sua construção se deu no centro demográfico do estado. Conta com quadras padrões de dimensões 700 x 700 m, abrigando em sua totalidade 12 mil habitantes. (TEIXEIRA, 2009)

De acordo com o último Censo, de 2010, a cidade de Palmas – TO tem uma população de 228.332 pessoas com população estimada em 2018 de 291.855 pessoas (IBGE, 2018). Estando a 230 metros acima do nível do mar a cidade é classificada como clima úmido e pequena deficiência hídrica além de possuir uma evapotranspiração média anual de 1600mm (SEPLAN, 2010). A cidade possui altos índices de temperatura sendo uma das mais quentes do país, conforme mostrado na tabela 2 que foi retirada do site do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

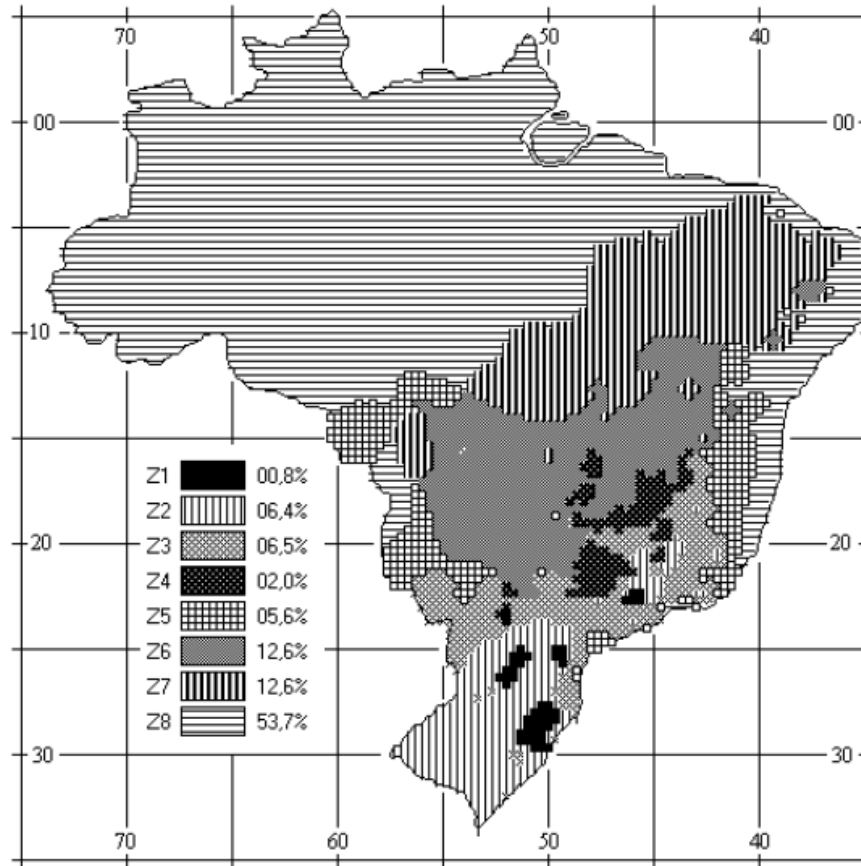
Analisando a tabela 2, nota-se que durante o ano existe um gradiente de temperatura de até 16 °C, ou seja, uma diferença entre as temperaturas mínimas e máxima que gira em torno de 16 °C. Nos meses de maio a setembro existe um período de tempo seco, com pouca precipitação, classificada anteriormente como estação tropical seca. Os índices de umidade mais baixa e de temperatura mais altas, acima de 40 °C, ocorrem neste período como mostrado na tabela 2. Nos outros meses do ano ocorre uma alta quantidade de precipitação sendo os meses mais úmidos e com temperaturas mais amenas. É classificada como estação tropical úmida.

| Tabela 2 - Dados climatológicos para Palmas | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
| Temp. máxima recorde (°C) | 38 | 39,7 | 39,6 | 38 | 39,7 | 39,9 | 38,7 | 41,5 | 42 | 43 | 40,2 | 40,1 | 43 |
| Temp. máxima média (°C) | 31,8 | 31,7 | 31,6 | 32,5 | 33,2 | 33,8 | 34,5 | 36,2 | 36,6 | 34,5 | 32,7 | 32 | 33,4 |
| Temp méd compensada (°C) | 26,1 | 26 | 26 | 26,5 | 26,6 | 25,9 | 25,9 | 27,5 | 28,9 | 27,6 | 26,8 | 26,3 | 26,7 |
| Temp. mínima média (°C) | 22,3 | 22,3 | 22,4 | 22,5 | 21,8 | 19,7 | 18,8 | 20,2 | 22,7 | 22,7 | 22,5 | 22,4 | 21,7 |
| Temp. mínima recorde (°C) | 19,3 | 19 | 19,3 | 18,5 | 16,1 | 13,7 | 11,5 | 11,5 | 14,8 | 18,4 | 18,7 | 19,7 | 11,5 |
| Precipitação (mm) | 285,4 | 274,3 | 292,8 | 175,4 | 69,7 | 6,9 | 1,2 | 1,9 | 55,7 | 161,1 | 243,6 | 263,6 | 1 831,6 |
| Dias com precipitação (≥ 1 mm) | 18 | 16 | 19 | 13 | 6 | 0 | 0 | 1 | 4 | 11 | 15 | 16 | 119 |
| Umidade relativa (%) | 80,7 | 81,7 | 82,3 | 79,1 | 72,3 | 60,7 | 53 | 45,3 | 50,6 | 68,2 | 75,7 | 79,1 | 69,1 |
| Horas de sol | 158,9 | 138 | 151,9 | 179,9 | 233 | 277,2 | 302 | 298,5 | 237,7 | 190,8 | 168,9 | 152,2 | 2 489 |

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018)

De acordo com a Norma Brasileira – NBR 15220 (2005), o Brasil é dividido em 8 zonas (figura 3). Cada condição climática será fator diferencial entre uma zona e outra. CAIXA (2010) faz uma recomendação onde cada zona, ou seja, em cada condição climática se faça o uso dos conjuntos de técnicas construtivas da região aliando assim o conforto térmico as condições climáticas da região.

Ainda segundo a NBR 15220 (2005) para todas os municípios que não estiverem classificados diretamente pela norma serão classificados pelos índices dos municípios mais próximos nomeados, ficando desta forma, Palmas classificada na zona climática de Porto Nacional. Tal classificação coloca Palmas com temperatura máxima de 35,6 °C e mínima de 18 °C. De acordo com a NBR 15575 (2013) o desempenho de uma edificação poderá ser aferido por um dos três métodos conhecidos: avaliação térmico utilizando o método simplificado, avaliação em campo ou avaliação por meio do software Energy Plus.

Figura 3 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: NBR15220 (2005)

Evidencia-se a importância do clima no conforto térmico de uma edificação o que traz uma grande preocupação na forma como esta variável será medida, mensurada, em campo. Para esta pesquisa será feita avaliação em campo utilizando um modelo reduzido de ambiente residencial. Este ambiente será classificado por três níveis qualitativos em relação ao conjunto total sendo eles nível mínimo, intermediário e superior.

2.1.4 Transferência de Calor

Existem 3 principais formas de transferência de calor: radiação, condução e convecção.

Radiação

A radiação térmica, ou irradiação, é a forma de transferência de calor mais importante para o planeta terra pois é a forma que recebemos o calor vindo do sol. Ocorre por meio de ondas eletromagnéticas que podem se propagar no vácuo, ou seja, não necessitando de contato entre os corpos para acontecer a transferência de calor. Quanto maior a temperatura do corpo aquecido, maior a temperatura por radiação, sendo este o caso da cobertura ao ser exposta ao

calor do sol durante todo o dia. Ao ser incidida sobre um corpo, a irradiação tem uma parte refletida enquanto a outra é absorvida onde os corpos claros refletem a maior parte e os corpos escuros absorvem em maior quantidade esse calor.

Castro (2006, p. 223) define que:

Radiação solar é a energia emitida pelo Sol, que se propaga através de ondas eletromagnéticas num espaço vazio ou em meio material. O espectro solar abrange 3 faixas de comprimento de onda que são denominadas de acordo com sua natureza em: radiação ultravioleta, visível e infravermelha.

A radiação térmica emitida com temperatura acima de 0 K não necessita de um meio para propagação pois também é transmitida por ondas eletromagnéticas. A equação abaixo descreve o fenômeno matematicamente:

$$Q_{\text{rad}} = A_1 \epsilon_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

onde:

Q_{rad} – taxa de fluxo de calor radiante (W).

A_1 – área da superfície que participa do processo de transferência de calor (m^2)

σ - constante da radiação, de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)

ϵ_1 - fator de emissividade da superfície (adimensional)

T_1 – temperatura da superfície 1 (K)

T_2 – temperatura da superfície 2 (K)

A emissividade fornece uma medida da capacidade de emissão de energia de uma superfície em relação a de um corpo negro (radiador ideal). Com valores que se encontram na faixa $0 \leq \epsilon \leq 1$, a emissividade depende fortemente do material da superfície e do seu acabamento. Bezerra (2003)

Condução

O calor também pode ser transferido de um meio para o outro por meio da condução. Para entender melhor esse processo de transferência de calor, imagine a seguinte situação: segurando uma barra de ferro em uma das suas extremidades e colocando a outra ponta sobre uma chama, ela começará a aquecer. Primeiramente, a parte que está sobre o fogo terá sua temperatura elevada, pois a chama está transferindo energia para a barra. As moléculas que a constituem começarão a ficar agitadas e chocar-se-ão com as outras que não estão em contato com o fogo. Essa agitação será transmitida de molécula para molécula até que todo o objeto fique aquecido.

Convecção

Por fim, há a convecção, que é a forma de transferência de calor comum para os gases e líquidos. O exemplo a seguir descreve como acontece a convecção: Ao colocar água para ferver, a parte que está próxima ao fogo será a primeira a aquecer. Quando ela aquece, sofre expansão e fica menos densa que a água da superfície, sendo assim, ela desloca-se para ficar por cima, enquanto a parte mais fria e densa move-se para baixo. Esse ciclo repete-se várias vezes e forma uma corrente de convecção, que é ocasionada pela diferença entre as densidades, fazendo com que o calor seja transferido para todo o líquido.

Transferência de calor entre o meio e o ambiente construído.

Uma edificação absorve energia térmica do meio externo através dos mecanismos de radiação e convecção. A temperatura de sua face externa eleva-se em relação à temperatura inicial e, como a temperatura da face interna é menor, ocorrerá um fluxo de calor por condução na direção desta última.

A intensidade desse fluxo dependerá, entre outros fatores, da espessura da parede (L), da capacidade calorífica do material (c_p), de sua densidade (ρ) e de sua condutividade térmica (k). Em consequência da elevação da temperatura, haverá um fluxo de calor da face interna da parede para o ambiente interno, através dos mecanismos de radiação e de convecção. (BEZERRA, 2003)

Para determinar a influência que o tipo de material tem sobre a intensidade de fluxo através da parede, utiliza-se a propriedade térmica denominada de condutividade térmica (k). Materiais bons condutores de calor têm valores de k elevados – para o alumínio, por exemplo, $k_{Al} = 237 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ a 300 K (INCROPERA e DEWITT, 1998). Quanto maior o valor de k , maior será o fluxo de calor através da parede e, portanto, a temperatura da face interna.

Materiais que possuem baixa densidade (cortiça, eps, lã de vidro e concreto celular) têm baixa condutividade principalmente devido à porosidade que apresentam. Neles, o ar confinado no interior dos poros dificulta a transferência de calor (LAMBERTS *et al.*, 1997). A tabela 3 informa os valores de condutividade térmica dos principais materiais utilizados na construção civil.

Tabela 3 – Condutividade térmica dos principais materiais utilizados na construção civil.

| Grupo | Material | Massa específica (kg/m ³) | Condutividade térmica (W/mK) | |
|-------|----------|---------------------------------------|------------------------------|---------|
| | | | Seco | Molhado |
| Metal | Alumínio | 2800 | 204 | 204 |

| Grupo | Material | Massa específica (kg/m ³) | Condutividade térmica (W/mK) | |
|---------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------|-----------|
| | | | Seco | Molhado |
| | Cobre | 9000 | 372 | 372 |
| | Ligas | 12250 | 35 | 35 |
| | Aço, ferro | 7800 | 52 | 52 |
| | Zinco | 7200 | 110 | 110 |
| Pedra natural | Basalto, granito | 3000 | 3.5 | 3.5 |
| | Calcário, mármore | 2700 | 2.5 | 2.5 |
| | Arenito | 2600 | 1.6 | 1.6 |
| Alvenaria | Tijolo | 1600-1900 | 0.6-0.7 | 0.9-1.2 |
| | tijolo de Areia-cal | 1900 | 0.9 | 1.4 |
| | | 1000-1400 | 0.5-0.7 | - |
| Concreto | Concreto de cascalho | 2300-2500 | 2.0 | 2.0 |
| | Concreto leve | 1600-1900 | 0.7-0.9 | 1.2-1.4 |
| | | 1000-1300 | 0.35-0.5 | 0.5-0.8 |
| | | 300-700 | 0.12-0.23 | - |
| | Concreto de pó de polimento | 1000-1400 | 0.35-0.5 | 0.5-0.95 |
| | | 700-1000 | 0.23-0.35 | - |
| | Concreto de isolamento | 300-700 | 0.12-0.23 | - |
| | Concreto celular | 1000-1300 | 0.35-0.5 | 0.7-1.2 |
| | | 400-700 | 0.17-0.23 | - |
| | Concreto de escória | 1600-1900 | 0.45-0.70 | 0.7-1.0 |
| Inorgânico | | 1000-1300 | 0.23-0.30 | 0.35-0.5 |
| | Cimento de asbesto | 1600-1900 | 0.35-0.7 | 0.9-1.2 |
| | Placa gipsita | 800-1400 | 0.23-0.45 | - |
| | Cartão gipsita | 900 | 0.20 | - |
| | Vidro | 2500 | 0.8 | 0.8 |
| | Lã de Vidro | 150 | 0.04 | - |
| | Lã de rocha | 35-200 | 0.04 | - |
| | Telhas | 2000 | 1.2 | 1.2 |
| Emplastros | Cimento | 1900 | 0.9 | 1.5 |
| | Cal | 1600 | 0.7 | 0.8 |
| | Gipsita | 1300 | 0.5 | 0.8 |
| Orgânico | Cortiça (expandida) | 100-200 | 0.04-0.0045 | - |
| | Linóleo | 1200 | 0.17 | - |
| | Borracha | 1200-1500 | 0.17-0.3 | - |
| | Placa de fibra | 200-400 | 0.08-0.12 | 0.09-0.17 |
| Madeira | Folhosa | 800 | 0.17 | 0.23 |
| | Madeira leve | 550 | 0.14 | 0.17 |
| | compensada | 700 | 0.17 | 0.23 |
| | Cartão duro | 1000 | 0.3 | - |
| | Soft-board | 300 | 0.08 | - |
| | Cartão | 500-1000 | 0.1-0.3 | - |
| | Cartão de madeira | 350-700 | 0.1-0.2 | - |
| Sintéticos | Poliéster (GPV) | 1200 | 0.17 | - |

| Grupo | Material | Massa específica (kg/m ³) | Condutividade térmica (W/mK) | |
|--------------------------|--|---------------------------------------|------------------------------|---------|
| | | | Seco | Molhado |
| | Polietileno, Polipropileno | 930 | 0.17 | - |
| | Cloreto de Polyvinyl | 1400 | 0.17 | - |
| Espuma sintética | Espuma de poliestireno, exp. (Picosegundo) | out/40 | 0.035 | - |
| | Ditto, expulso | 30-40 | 0.03 | - |
| | Espuma de poliuretano (PUR) | 30-150 | 0.025-0.035 | - |
| | Espuma dura ácida do fenol | 25-200 | 0.035 | - |
| | PVC-espuma | 20-50 | 0.035 | - |
| Isolação de cavidade | Isolação da cavidade da parede | 20-100 | 0.05 | - |
| Materiais betuminosos | Asfalto | 2100 | 0.7 | - |
| | Betume | 1050 | 0.2 | - |
| Água | Água | 1000 | 0.58 | - |
| | Gelo | 900 | 2.2 | - |
| | Neve, fresca | 80-200 | 0.1-0.2 | - |
| | Neve, velha | 200-800 | 0.5-1.8 | - |
| Ar | Ar | 1.2 | 0.023 | - |
| Solo | Solo florestal | 1450 | 0.8 | - |
| | Argila arenosa | 1780 | 0.9 | - |
| | Solo arenoso úmido | 1700 | 2.0 | - |
| | Solo (seco) | 1600 | 0.3 | - |
| Revestimento de assoalho | Telhas de assoalho | 2000 | 1.5 | - |
| | Parquet | 800 | 0.17-0.27 | - |
| | Tapete de feltro de nylon | 0.05 | | - |
| | Tapete (com borracha de espuma) | 0.09 | - | - |
| | Cortiça | 200 | 0.06-0.07 | - |
| | Lãs | 400 | 0.07 | - |

Fonte: PROTOLAB - Laboratório de Propriedades Termo físicas e Prototipação

As variáveis citadas acima podem ser combinadas em duas propriedades térmicas de especial interesse da análise do desempenho térmico dos fechamentos, a saber: difusividade térmica (α) e resistência térmica (R_t).

Difusividade Térmica

Bezerra (2003) diz que a difusividade térmica é a relação entre a condutividade térmica e a capacidade calorífica volumétrica, definida como sendo o produto entre o calor específico pela densidade do material. A difusividade térmica é uma propriedade que está relacionada à propagação do calor em um meio, no decorrer das variações de temperatura em

função do tempo. Portanto, quanto maior a difusividade térmica mais rápida será a difusão de calor no meio. A difusividade térmica é expressa na forma matemática como:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$$

onde:

α – difusividade térmica (m²/s);

k – condutividade térmica (W/m·K);

ρ – densidade do material (kg/m³);

c_p – calor específico do material (J/kg·K).

Resistência Térmica

Fisicamente, a resistência térmica traduz-se como sendo a maior ou menor facilidade com que se dá o fluxo de calor em determinada direção. Pela equação abaixo, observa-se que a resistência térmica, neste caso para uma parede plana, depende da geometria do material e de sua condutividade térmica.

$$R_t = \frac{L}{kA}$$

onde:

R_t – resistência térmica (K/W); L – espessura da parede (m);

k – condutividade térmica (W/m·K);

A – área perpendicular ao fluxo de calor (m²).

Analisando-se as equações de difusividade e resistência térmica constata-se a possibilidade de redução da taxa de transferência de calor através de fechamentos opacos se esses forem construídos com materiais de baixa condutividade térmica, pois resultarão na redução da difusividade térmica e elevação da resistência térmica. (BEZERRA, 2003)

Inércia Térmica

Um sólido retém parte da energia que flui entre suas faces. A quantidade que ficará retida depende da capacidade térmica do material que constitui o sólido. Essa característica dos corpos é denominada de inércia térmica. Materiais com elevada inércia térmica permitem diminuir a amplitude de variação da temperatura no interior das edificações. Dessa forma, os

picos de temperatura interna dos ambientes podem ser modificados para reduzir as sensações de desconforto devido ao “calor” ou ao “frio”. (BEZERRA, 2003)

Carga Térmica

Para determinar a quantidade total de calor que deve ser extraída ou fornecida a um ambiente construído para proporcionar conforto térmico aos usuários, deve-se determinar a carga térmica do ambiente, ou seja, a soma de todos os acréscimos e perdas de energia através do envelope da edificação.

De acordo com Lamberts et al (1997), os principais fatores que contribuem para a carga térmica de um ambiente construído são: fatores climáticos (insolação, umidade, temperatura do ar externo), fator humano (número de ocupantes, tipo de atividade) e fator arquitetônico (tipo de iluminação, equipamentos existentes, número de renovações do ar, e tipos de fechamentos).

No caso dos fechamentos opacos, o ganho de calor é determinado simplesmente pelo produto da taxa de calor que o atravessa pela sua área; matematicamente descrito como:

$$Q = q \cdot A$$

onde:

q – fluxo de calor (W/m²).

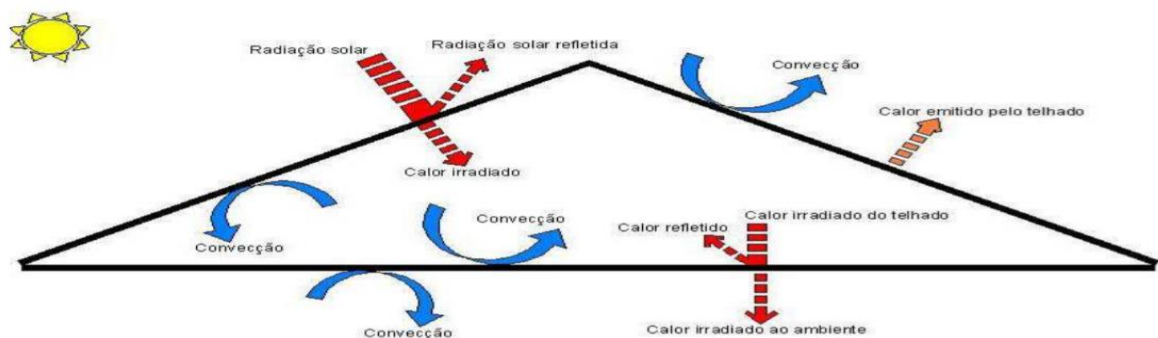
Q – Taxa de fluxo de calor (W).

A – área da superfície que participa do processo de transferência de calor (m²).

2.1.5 Transferência de Calor em Coberturas

Nas residências horizontais a maior parte exposta à radiação solar é o telhado, o qual absorve grande parte desta energia e a transfere para o interior das edificações, aumentando os ganhos térmicos e consequentemente, elevando a temperatura interna. A figura 4 apresenta um desenho esquemático das trocas de calor.

Figura 4 – Esquema das trocas de calor

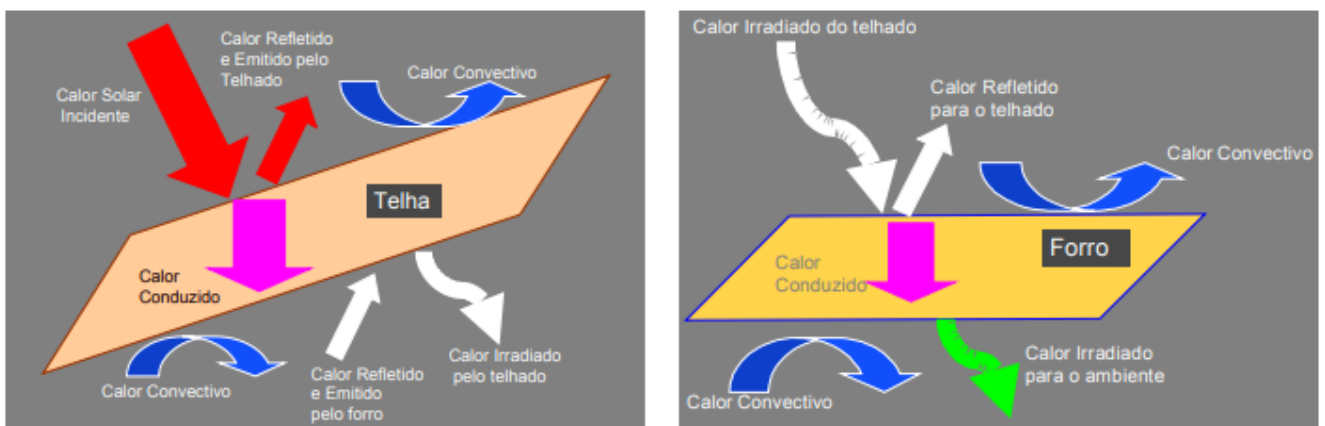


Fonte: Michels, Universidade Federal de Santa Catarina 2007.

O desempenho térmico das coberturas depende das características dos elementos que compõem o telhado, como por exemplo, o material das telhas, a cor da superfície externa, a emissividade, e a ventilação existente na camada de ar correspondente ao ático. Michels (2007)

A energia luminosa viaja no vácuo na forma de ondas eletromagnéticas. Esta energia se transforma em calor ao se transferir de um corpo ao outro por meio de diferença de temperatura, ocorrendo de três formas: radiação, condução e convecção. Desta forma, a radiação térmica ou irradiação é a forma que mais afeta as coberturas, depois o calor chega por condução térmica aos forros das residências como mostrado na figura 5.

Figura 5 – Representação das trocas de calor entre um telhado e em um forro



Fonte: Encac (2003).

Ghelfi Filho (1991) afirma o maior responsável pelo microclima no interior de uma edificação é a radiação solar incidente em coberturas e paredes (Figura 6).

Nota-se que apenas a cobertura, ou seja, o telhado não é suficiente para diminuir a incidência de radiação solar no interior de um ambiente. Assim, utiliza-se o forro de teto com o objetivo de criar mais uma barreira dividindo o espaço em duas partes, a primeira que fica situado entre o telhado e o forro e a segunda sendo o ambiente de convivência, uniformizando condições de conforto térmico obstruindo o fluxo térmico proveniente da insolação da cobertura sem importar o tipo da telha (ETERNIT, 1981). Para primeira divisão denomina-se ático ou desvão, espaço compreendido entre o telhado e o forro ou laje de forro (NBR 15575-1, 2013).

Figura 6 – Fotografia com sensor infravermelho mostrando radiação



Fonte: Transferência de calor por radiação – Universidade de São Paulo – USP (2010).

Outra função do forro de teto será a delimitação do espaço e, conseqüentemente, uma melhoria no fluxo de ar cruzado pois o ar que entra pelas portas e janelas não sobe ao teto criando uma bolsa de ar quente no ambiente. Este isolamento feito por forro de teto também é benéfico para saúde pois impede que poeira, fungos e outros causadores de problemas respiratórios estejam em contato direto com os moradores da residência.

2.2 MATERIAIS

Para construção das edificações temos uma opção bem variada de materiais. Para as casas de alvenaria, seja numa construção de alto nível ou numa casa popular, os materiais de uso básico serão na maioria dos casos os mesmos. As técnicas construtivas também são bem parecidas, sendo que, desde a demarcação da edificação até o levantamento da parede de alvenaria temos poucas ou nenhuma mudança.

Os materiais serão baseados nos mais utilizados nas construções de baixa renda na cidade de Palmas. São eles: tijolo cerâmico, argamassa constituída de cimento Portland, agregado graúdo e miúdo, telha de fibrocimento além do forro de teto de isopor.

2.2.1 Forro de Teto de EPS (ISOPOR)

O material, com o nome técnico de poliestireno expandido, ou EPS, é 98% composto de ar, e apenas 2% de matéria-prima à base de petróleo. Apenas no Brasil, a produção de EPS chega a 100.000 toneladas por ano, de acordo com a empresa Knauf. A Knauf, dona da marca

Isopor®, é a maior produtora de poliestireno expandido do país, desenvolvendo soluções em diversos formatos, tamanhos, padrões e densidades. Knauf Isopor® (2019)

O isopor foi o material escolhido para o forro e teto porque além de ideal para instalação em residências também é fácil de encontrar, tem ótimo preço, além da facilidade na instalação, manutenção e com ótimo acabamento. Possui benefício a saúde pois é resistência a bactérias, fungos e insetos, conseguindo um bom isolamento térmico e acústico. É um material sustentável pois é feito de material reciclável, sendo muito seguros pois são auto extingüíveis. O Forro de teto de EPS está disponível em vários modelos de acabamento e dimensões (Figura 7).

Figura 7: Forro de Teto de EPS (Isopor)



Fonte: Construindodecor (2018)

O EPS (isopor) é composto de pequenos grânulos de poliestireno expandido pelo uso de gases 100% inofensivos ao meio ambiente, mas que aumentam o tamanho dos grânulos em até 50 vezes o tamanho original. Após esse processo vem o processo de modelagem dando a forma e densidade final. Este composto é derivado do petróleo, com baixo peso específico e alta resistência, baixa absorção de água e umidade. É inodoro além de se resistente a bactérias, fungos e insetos.

O forro de EPS (isopor) é instalado com armações de aço, ou alumínio, perfilados e fixados entre si em bases laterais sendo removíveis o que auxilia em casos de necessidade da

passagem ao ático. O forro é composto por placas que podem ser reutilizadas a qualquer momento depois de uma mudança de layout.

Material sustentável que gera economia de energia com funções de isolante térmico e acústico, é resistente as ações das bactérias, fungos e insetos sendo também um produto de utilidade estética ao esconder as instalações elétricas e proporcionando uma melhora na iluminação.

Para Higgins (1982, *apud* ABRAPEX, 2006) "o EPS é essencialmente de cor branca, inodoro, reciclável, não poluente e certamente é um material de excelentes qualidades nas temperaturas entre -70 °C a 80 °C." A divisão do isopor se caracteriza também por duas classes distintas, a classe P sem retardador a chama e a classe F com retardador a chama, e estas se dividem cada uma em três grupos de massas específicas como mostra na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4: Propriedades físicas para cada classe do EPS

| Propriedades | Método de ensaio | Unidade | Classe P | | | Classe F | | |
|--|------------------|-------------------------|-------------------------|---------|---------|---------------------|---------|---------|
| | | | I | II | III | I | II | III |
| Tipo de material | | | | | | | | |
| Massa específica aparente | NBR 11949 | Kg/m ³ | 13 - 16 | 16 - 20 | 20 - 25 | 13 - 16 | 16 - 20 | 20 - 25 |
| Resistencia à compressão com 10% de deformação | NBR 8082 | kpa | ≥60 | ≥70 | ≥100 | ≥60 | ≥70 | ≥100 |
| Resistencia à flexão | ASTM C-203 | Kpa | ≥150 | ≥190 | ≥240 | ≥150 | ≥190 | ≥240 |
| Absorção de água | NBR 7973 | g/cm ³ x 100 | ≤1 | ≤1 | ≤1 | ≤1 | ≤1 | ≤1 |
| Permeabilidade ao vapor d'água | NBR 8081 | ng/pa.s.m | ≤7 | ≤5 | ≤5 | ≤7 | ≤5 | ≤5 |
| Coefficiente de condutividade térmica a 23°C | NBR 12904 | X/(m.k) | 0,042 | 0,039 | 0,037 | 0,042 | 0,039 | 0,037 |
| Flamabilidade | NBR 1948 | | Material não retardante | | | Material retardante | | |

Fonte: ABRAPEX, 2006.

2.2.2 Tijolo Cerâmico

O tijolo do tipo cerâmico é o mais utilizado nas construções comuns no Brasil por ser mais barato. De tamanhos variados é produzido pela queima da argila vermelha ou comum, sendo cozido ou recozido, tendo funções de vedação para estruturas articuladas ou estrutural suportando cargas.

No começo era produzido artesanalmente pelos escravos, secando no sol e baixa produtividade. Hoje é fabricado industrialmente com fornos próprios para secagem com alta

produtividade para suprir a demanda. Seu formato mudou, sendo furado e ocupando maior espaço com menor peso, aliviando fundações e reduzindo custos nos processos construtivos, pensamento idealizado por Ripper (1995).

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2009, p. 2), informa:

Alvenarias de vedação são aquelas destinadas a compartimentar espaços, preenchendo os vãos de estruturas de concreto armado, aço ou outras estruturas [...] devem suportar tão somente o peso próprio e cargas de utilização, como armários, rede de dormir e outros. Devem apresentar adequada resistência às cargas laterais estáticas e dinâmicas, advindas, por exemplo, da atuação do vento, impactos acidentais e outras. [...] as alvenarias devem ser enfocadas de forma mais ampla, considerando-se aspectos do desempenho termo acústico, resistência à ação do fogo, produtividade e outros. Sob o ponto de vista da isolamento térmica ou da inércia térmica das fachadas, por exemplo, as paredes influenciam a necessidade ou não de condicionamento artificial dos ambientes internos, com repercussão no consumo de energia ao longo de toda a vida útil do edifício.

Ao buscar a realidade das construções de baixa renda serão utilizados tijolos como alvenaria estrutural pois o peso do conjunto telhado e forro será muito baixo possibilitando assim uma economia na obra. Para este tipo de situação a recomendação é que se use tijolos com resistência mínima de 3 MPa, sendo oferecidos no mercado também o de 6 MPa e o de 18 MPa.

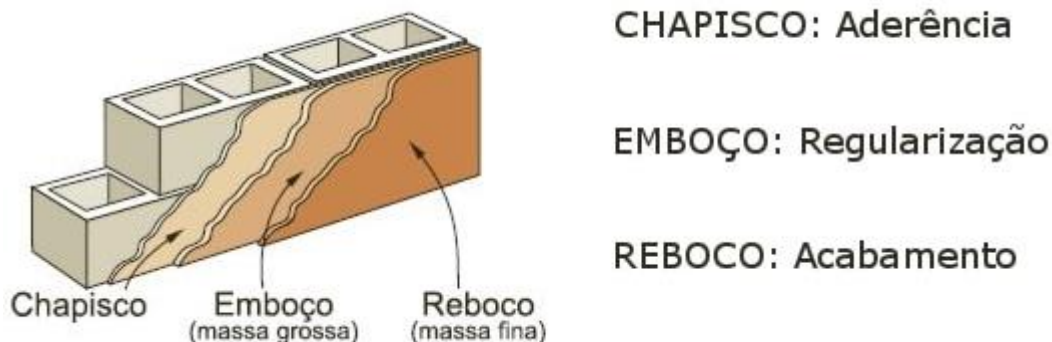
2.2.3 Argamassa

Segundo a NBR 13529 (1995) define-se a argamassa como mistura de agregados miúdos mais aglomerante e água formando composto homogêneo, podendo conter ou não aditivos e adições, sendo suas principais propriedades endurecimento e aderência. Também se define quanto sua forma de aplicação, sendo a base de cimento ou cal:

- a) Adições: material adicionado as argamassas com finalidade de mudar suas propriedades, proporcionalmente quantificado, sendo feito de materiais naturais inorgânicos ou divididos industrialmente;
- b) Argamassa de cal: quando a argamassa utiliza cal como único aglomerante;
- c) Argamassa de cimento: utiliza-se cimento como único aglomerante;
- d) Argamassa mista: neste caso utiliza-se mais de um aglomerante, exemplo cimento e cal, ou substituída por aditivo, e gesso.
- e) Revestimento: Cobrimento da superfície lisa ou áspera, com camadas de argamassa sobrepostas ou não, espessura uniforme preparada para acabamento final.

As argamassas podem ser utilizadas em camadas de chapisco, responsável por formar uma camada fina de aderência entre o substrato e a próxima camada, o emboço que será uma camada mais grossa para regularização da superfície formada e por último o reboco que atuará como uma fina camada de acabamento, todas possuindo funções bem definidas, representadas na figura 8.

Figura 8: Argamassa de revestimento e suas camadas



Fonte: Site Escola Engenharia (2018)

De acordo com Sabbatini (1986) observa-se que a argamassa é um material homogêneo, complexo, constituído de materiais inertes as reações químicas, na sua maioria, e de baixa granulometria, com propriedades aglomerantes, composta de materiais ativos sendo a água e minerais, contendo ou não produtos especiais denominados aditivos. Dentre suas funções destaca-se:

- ✓ proteger as paredes de alvenaria, sendo estas estrutural ou de vedação, contra agentes agressivos;
- ✓ auxiliar as funções de isolamento, estanqueidade e segurança ao fogo das vedações;
- ✓ melhorias estéticas nos acabamentos das edificações agregando valorização ao imóvel.

Para que essas funções sejam atendidas exige-se que a argamassa tenha algumas características físicas ao final do seu preparo. Segundo Cincotto (1995) a consistência é a propriedade do composto de resistir a deformações quando em estado fresco, classificada em:

- a) secas: quando preenche os vazios entre os grãos;
- b) plásticas: quando atua lubrificando a superfície dos agregados e fluídas;
- c) fluidas: quando os grãos se tornam imersos na pasta.

A consistência irá interferir em outras características da argamassa como trabalhabilidade e aderência. Sabbatini (1984) relaciona a trabalhabilidade da argamassa a consistência da pasta onde é caracterizada pela facilidade no manuseio, não grudando na ferramenta durante a aplicação, não segregando no transporte, não endurecendo quando aplicada em superfícies absorvivas continuando plástica, ou seja, conservando-se deformada em estado fresco até a finalização da operação.

Além destas características, a argamassa precisa aderir ao substrato desde o seu estado fresco até o endurecimento da pasta gerando assim a camada de revestimento. Taha e Shrive (2001) descrevem que tal aderência se desenvolve em dois mecanismos:

- a) Aderência química: advêm de forças covalentes, forças de Van der Waals, proporcionada pelos produtos da hidratação do cimento.
- b) Aderência mecânica: efeito de sucção ou absorção capilar que sofrido pela superfície dos poros das alvenarias devido ao intertravamento mecânico da hidratação do cimento.

A dosagem da argamassa é fator fundamental para que todas as características acima sejam atendidas. Segundo Carneiro (1999) no Brasil as argamassas são produzidas com base em traços, de massa ou volume, especificados em normas nacionais, como ABNT ou IPT, ou ainda em normas internacionais. Lara (1995) lembra que a escolha da proporção do traço e escolha dos materiais são fundamentais para o desempenho da pasta de argamassa.

Cada um dos compostos necessários para o preparo das argamassas é essencial, tendo suas propriedades e funções no preparo da pasta homogênea, promovendo a homogeneidade do composto e suas propriedades de acordo com o composto utilizado.

Cimento

Em 1756 o engenheiro John Smeaton iniciou a procura por um aglomerante com endurecimento a base de água que facilitasse seu trabalho de reconstrução de um farol.

Mas foi o pedreiro Joseph Aspdin que chegou a um pó moendo calcário com argila no meio úmido, de acordo com sua patente em 1824, denominando a descoberta de cimento portland em referência região de Portland, Inglaterra (TAYLOR, 1967). Segundo Bauer (2000) o Cimento Portland é um influenciador na resistência final sendo um aglomerante industrializado com função de fazer a coesão dos componentes para fabricação da argamassa. Sua fabricação é uma mistura da substância clínquer, constituído por calcário, minério de ferro com adição de argila. As fábricas de cimento são construídas mais próximas dos locais de extração dos componentes de cimento para facilitar o transporte e minimizar perdas pois são minerais pesados, de difícil logística e grande demanda. No estado do Tocantins utilizamos com maior preferência o cimento CPII, encontrado em sacos de 50 kg, caracterizado por Bauer (2000, v.1, p.35), como:

Frequentemente conhecido como ‘modificado’, é um cimento com desenvolvimento moderado de calor de hidratação. Foi muito utilizado nas pavimentações antes do desenvolvimento da técnica de incorporação de ar, e recomendado para construções volumosas de porte moderado.

Contextualizando o uso do CII no estado do Tocantins, se faz necessário devido as altas temperaturas do estado evitando assim fissuras e trincas nos estágios iniciais do aumento da resistência que poderia ser provado se o cimento tivesse uma alta temperatura interna gerado pelo calor de hidratação.

Cal

Segundo Guimarães (2002) a Cal é um dos componentes mais antigos conhecidos pelo homem, desde a Idade da Pedra. No Tibet., no ano de 3000 a.C. foram encontradas nas pirâmides de Shersi, Quéops e Quéferem traços de cal para estabilização dos solos e vedação dos blocos das paredes.

Utiliza-se dois tipos de Cal, virgem e hidratada. A Cal virgem é produzida em fornos industriais onde por meio de altas temperaturas o os calcários sofrem processo químico denominada calcinação. Segundo a NBR 7175 (ABNT, 2003) a cal hidratada é produzido hidratando a cal virgem, sendo produzido um pó seco que pode ser constituído principalmente por óxido de magnésio e hidróxido de cálcio e magnésio. Carasek (2001) classifica as Cales conforme sua composição:

- ✓ Cálcica: teor de CaO $\geq 90\%$;
- ✓ Magnesianas: $65\% < \text{CaO} < 90\%$;
- ✓ Dolomítica: teor de CaO $\leq 65\%$ em relação aos óxidos totais.

Utilizada como um dos componentes da argamassa, proporcionando uma maior plasticidade, característica que permite uma melhor trabalhabilidade da pasta de argamassa.

Agregados Miúdos

Os agregados miúdos são utilizados na construção civil como componentes para fabricação da argamassa. Sua função é preencher os vazios, dando mais coesão e proporcionando uma melhor trabalhabilidade da pasta formada. São facilmente encontrados e podem ser de materiais e tamanhos diferentes.

Segundo a NBR – 7211 (2005) caracteriza-se agregado miúdo os grãos passantes na peneira de malha com abertura de 4,75 mm e retidos na peneira de malha aberta de 150 μm , em ensaio padronizado pelas recomendações da norma ABNT NBR NM 248 e peneiras de acordo com norma ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Sobre sua relação no desempenho da argamassa Angelim (2003) informa que a trabalhabilidade e o consumo de água e aglomerantes é influenciado diretamente pela composição granulométrica do agregado escolhido influenciando também na fissuração,

permeabilidade, rugosidade e resistência de aderência do revestimento finalizado. Selmo (1989) classificou a areia de acordo com seu módulo de finura sendo:

- ✓ $MF < 2,0$ caracteriza areia fina;
- ✓ $2,0 < MF < 3,0$ constitui areia média;
- ✓ $MF > 3,0$ caracteriza areia grossa.

A areia não participa de reações de endurecimento, mas contribui para trabalhabilidade e retenção de água com argamassa no estado fresco além de influencia a permeabilidade, capacidade de deformação e resistência mecânica no estado endurecido. O agregado miúdo ainda tem como função a redução do custo da pasta de argamassa pois sendo um material econômico será o material com maior volume no traço.

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Este projeto de pesquisa é uma continuidade da pesquisa de Dourado (2018). Na pesquisa inicial tratou-se do desempenho térmico proporcionado pela aplicação de camada de revestimento em protótipos. Realizou-se ensaios no laboratório e medições in loco onde evidenciou-se uma pesquisa de caráter experimental, ou seja, o procedimento metodológico utilizado foi a técnica experimental por meio de testes para se chegar aos dados sobre o produto pesquisado.

Para continuidade do projeto, que é do tipo experimental e quantitativa, os protótipos receberam forro de teto de EPS (Isopor) realizando-se nova medição em condições de clima semelhante a aqueles das aferições anteriores, ou seja, com valores de temperatura ambiente e umidade similares aos valores nos dias das medições anteriores. Para a confecção da tabela, em Excel, os valores da pesquisa foram comparados utilizando os valores gerados pela menor temperatura interna nos protótipos antes e depois da instalação do forro de teto de EPS.

3.2 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho foi realizado no Centro Universitário Luterano de Palmas situado na Avenida Teotônio Segurado, Quadra 1501 sul, Palmas – TO, CEP: 77.019-900, conforme mostra figura 9 com a utilização do google maps.

Figura 9 – Imagem do CEULP/ULBRA



Fonte: <https://www.google.com.br/maps/@-10.2757789,-48.3349819,732a,35y,90h/data=!3m1!1e3>

3.3 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

3.3.1 Tipos de Variáveis

O conforto térmico pode ser associado a muitas variáveis sendo as principais divididas em variáveis ambientais e variáveis humanas.

Entre as principais variáveis ambientais temos:

- I. Temperatura do ar;
- II. Temperatura radiante média;
- III. Umidade;
- IV. Velocidade do ar;

Entre as principais variáveis humanas temos:

- I. Metabolismo;
- II. Resistência proporcionada pela vestimenta;
- III. Raça;
- IV. Sexo;
- V. Idade;
- VI. Hábitos alimentares;
- VII. Peso
- VIII. Altura

As variáveis humanas podem mudar ao se observar diferentes pessoas, desta forma, foram desconsideradas para que esta pesquisa fosse realizada. É necessário lembrar que o homem não sente a temperatura ambiente, mas sim a sensação da troca de calor com o meio. Dentre as variáveis ambientais, a temperatura do ar é a principal variável do conforto térmico. Assim, focamos na medição da variação da temperatura do ar, ou seja, do seu gradiente de temperatura como parâmetro para composição das tabelas para análise da melhora do ambiente proporcionado pela instalação do forro de teto de EPS.

De acordo com Moraes (2011) existem, basicamente, três tipos de análise e avaliações das variáveis de conforto térmico, que são: a avaliação efetuada através de medições in loco que, essencialmente, consiste em medidas através de instrumentação; as avaliações efetuadas através de modelos físicos, que empregam simulações computacionais e a avaliação a partir da percepção dos usuários, onde cada ser humano é avaliado por questionários.

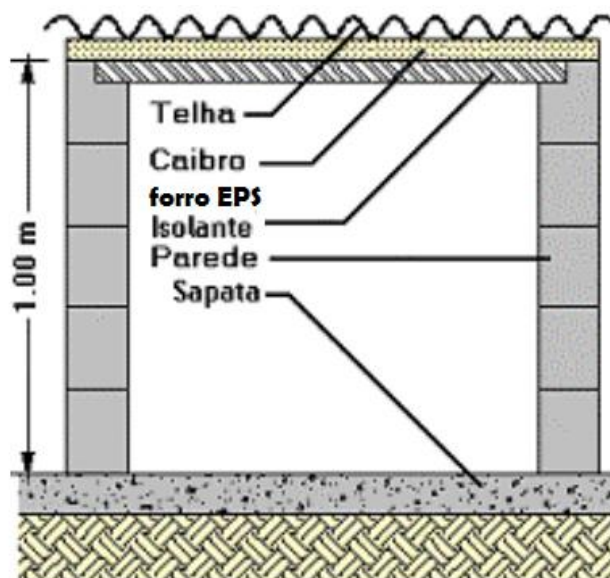
Para o levantamento dos dados, como dito anteriormente, foi feita medição in loco nos protótipos e assim discutidos os resultados da pesquisa com o apoio de gráficos.

3.4 PROTÓTIPOS

Segundo a NBR 15575 (2013), para dimensionamento do protótipo tanto o pé direito quanto a área mínima não têm uma dimensão pré-definida, apenas sendo feita a observação de que para aferição “in loco” a escala deve ser feita em escala real (1:1).

Os protótipos foram projetados de forma a atender aos critérios da norma de desempenho, usando o sistema construtivo tradicional sendo verificados prumos, esquadros e nível das paredes e piso (figura 10). Por se tratar de um trabalho acadêmico e contar apenas com os recursos do próprio autor, o protótipo teve que sofrer algumas adequações, em relação as dimensões, mas mantendo todas as características de uma edificação pois para um protótipo de dimensões reais o projeto se tornaria inviável pelo alto custo.

Figura 10 – Protótipo em corte



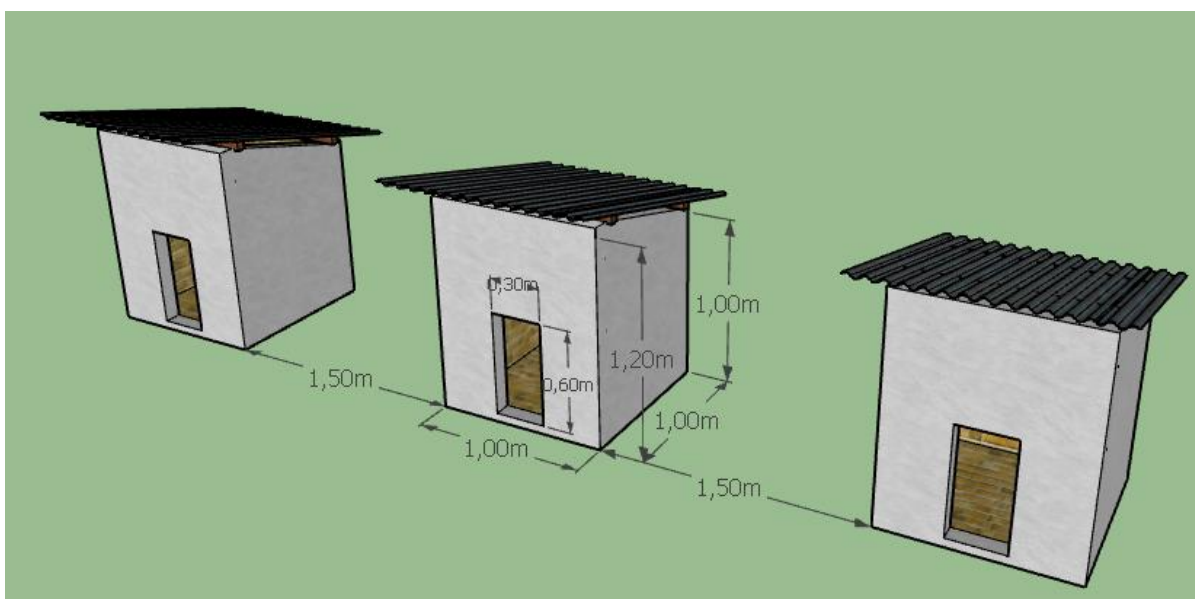
Fonte: Adaptada de Kruger, Suetake e Adriazola (2006).

Para representar uma pequena edificação foram montados três protótipos, com área de 1m^2 , de forma que não receberam interferência por sombreamento ou obstrução do vento. Todos os protótipos foram montados com os mesmos materiais exceto o forro de teto, que é o objeto de estudos da pesquisa, onde foram diferenciados pela aplicação de envelopamento por papel alumínio.

Os tijolos utilizados para a montagem foram tijolos cerâmicos convencionais de 8 furos assentados com uma argamassa de cimento e areia 1:5 sobre um lastro de concreto de 8mm de espessura. A cobertura proposta teve uma estrutura de caimento única de madeira com telha fibrocimento de espessura 4mm com 10 cm de beiral conforme Figura 11. Foram revestidas todas as fachadas com camada de 2.5cm de argamassa.

Para aferição pontual da telha face superior e forro de teto EPS face inferior, foi utilizado termômetro digital com mira a laser de modelo FLUKE 59 MAX, que faz leitura de -30° a 350° C. Observa-se que o telhado é a parte da edificação que mais recebe a insolação durante todo o dia. Também se conta com termômetro para fazer a medição da temperatura exterior ambiente. Os horários para medições foram 9:00 h, 12:00 h, 15:00 h, 18:00 h e 21:00 h, após a coleta os dados foram transferidos para planilha no Excel e processados para formação de tabelas e gráficos.

Figura 11 – Projeto do protótipo



Fonte: Dourado, 2018.

3.5 CUSTO INSTALAÇÃO FORRO DE TETO

Para levantamento do custo da instalação foram feitos orçamentos na região e após elaborada tabela com os custos médios para os principais materiais utilizados na instalação do forro de teto nas edificações, mostrada abaixo na tabela 5.

Tabela 5 – Valor médio da instalação do forro de teto por m^2

| INSTALAÇÃO FORRO DE TETO | |
|--------------------------|-----------------|
| MATERIAL | VALOR (M^2) |
| MADEIRA | R\$ 45,00 |
| PVC | R\$ 25,00 |
| EPS | R\$ 18,00 |

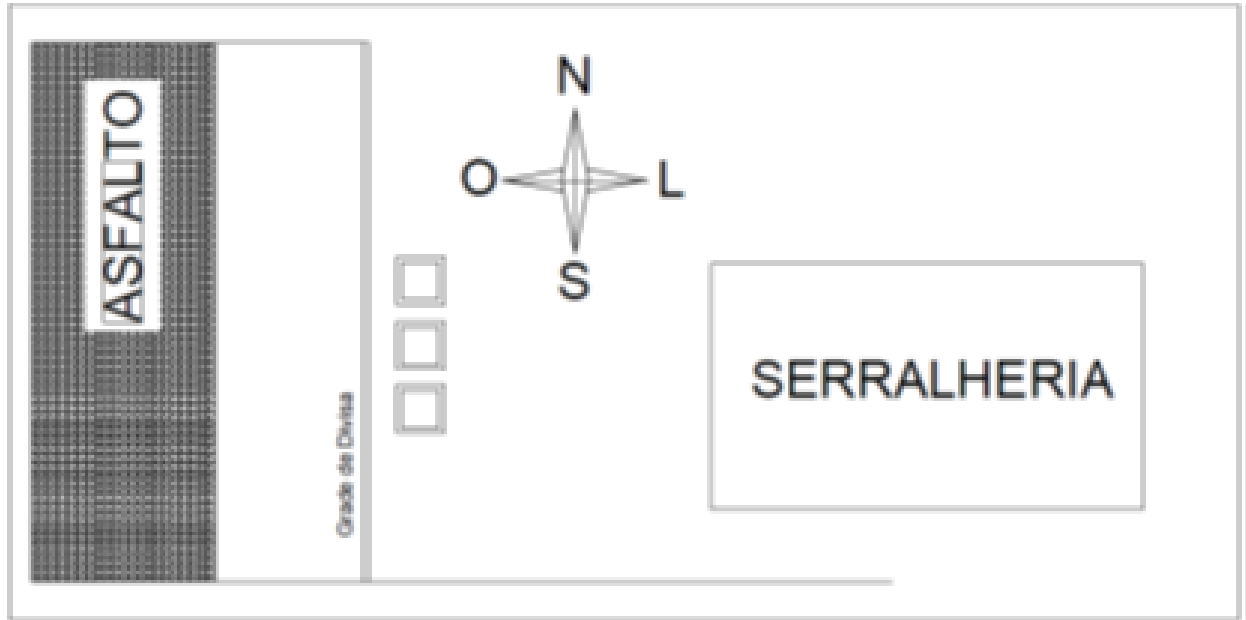
Fonte: Próprio autor.

3.6 MÉTODO CONSTRUTIVO

Para determinar o local específico da construção dos protótipos, levou-se em consideração a localização da serralheria, observando-se a distância para que não houvesse

sombra sobre os protótipos, além de tentar achar o espaço mais nivelado possível. Com o auxílio da bússola, identificou-se a orientação para abertura da janela sendo esta, voltada para o oeste conforme figura 12.

Figura 12 – Planta de situação



Fonte: Próprio autor.

Procedeu-se a limpeza dos terrenos e a preparação do solo para receber a fundação. A fase de construção foi realizada por mão de obra especializada; os tijolos utilizados para a montagem foram tijolos cerâmicos convencionais de 8 furos assentados com uma argamassa de cimento e areia 1:5 sobre um lastro de concreto de 8mm de espessura conforme figuras 13 e 14.

Figura 13 - Contrapiso do protótipo



Fonte: Próprio autor.

Figura 14 - Construção do protótipo



Fonte: Próprio autor.

Foram revestidas as fachadas com camada única de 2.5cm de argamassa e para o telhado do protótipo utilizou-se telha de fibrocimento, com inclinação de 20%, ou seja, com a parede mais alta com 1,20 m e a mais baixa com 1,00 m. A telha comprada comercialmente é de 2,44 x 1,10 m com espessura de 5 mm, para adequar ao protótipo, foi necessário o corte da telha com máquina de serra circular.

Argamassa

O traço utilizado para o protótipo com argamassa comum foi de 1:5 (cimento e areia média) conforme YAZIGI (2011). Para medir as proporções no traço, utilizou-se uma padiola com medidas 0,5m x 0,5m x 0,3m e conseqüentemente a litragem no traço, usou-se a betoneira para a mistura e preparação da argamassa e carro de mão para o transporte. Esse processo foi realizado no laboratório de construção civil do Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP. Produziu-se argamassa com espessuras de 2,50 cm para o ambiente externo, e aplicou-se com a colher de pedreiro, posteriormente procedendo-se sarrafeamento com auxílio da régua e para o acabamento utilizou-se a desempenadeira. Após a aplicação foi realizado o processo de aspersão durante dois dias consecutivos.

Forro de Teto EPS

Por ser um material leve a placa de EPS, utilizada como forro de teto, foi fixado utilizando suportes de aço perfilados, sendo removíveis para necessidade de futuras melhorias. Facilmente armazenadas no canteiro de obras, as placas não necessitam de mão de obra especializada para instalação.

Utilizou-se uma furadeira para fixação suportes com parafuso e bucha. Nota-se que para vãos maiores, pode-se utilizar linha de anzol ancorando as placas no telhado para um vínculo maior dos aços perfilados nas terças ou caibros do telhado.

O EPS utilizado foi do segmento recortado pois é voltado para construção civil, do tipo F e Classe III, com a característica de retardar o fogo. Em cada protótipo houve uma diferenciação no EPS instalado. No protótipo 1, o EPS foi instalado sem envelopamento. No protótipo 2 o EPS foi envelopado na face superior com papel alumínio e no protótipo 3 o envelopamento foi feito na face superior e na inferior. Estas aplicações diferenciadas visam estudar o fenômeno da condutibilidade térmica do material EPS, valor calculado e disponibilizado em tabela pela Protolab; e como aumentar sua eficiência com envelopamento por material isolante, que é o caso do Alumínio. O objetivo da melhor forma de instalação do EPS foi determinado por meio deste processo no experimento.

3.7 ENSAIOS

De acordo com Dourado (2018), a NBR 13281 (2005) orienta como deve ser o ensaio para argamassas de revestimento e assentamento, compreendendo desde argamassas industrializadas a feitas na obra. Esses requisitos ou ensaios são: resistência à compressão NBR 13279 (2005), resistência à tração na flexão NBR 13279 (2005), densidade de massa aparente no estado endurecido NBR 13280 (2005), densidade de massa no estado fresco NBR 13278 (2005), retenção de água NBR 13277 (2005), resistência potencial de aderência à tração NBR 15258 (2005). A NBR 13281 (2005, p.6), quanto a aceitação ou rejeição, nos auxilia:

O lote é automaticamente aceito sempre que os resultados dos ensaios atenderem às exigências desta norma. Quando os resultados não atenderem às condições específicas constantes nesta norma, o impasse deve ser resolvido por meio da utilização do testemunho reservado para a repetição dos ensaios, que devem ser efetuados em laboratório escolhido por consenso entre as partes.

Dos requisitos que a norma traz, abaixo estão listados os quadros dos ensaios conforme tabela 6 que serão realizados, são eles:

Tabela 6 - Caracterização física do cimento Portland CP II F - 32

| PROPRIEDADES | MÉTODOS DE ENSAIO |
|---|-------------------|
| Massa unitária (g/cm ³) | NBR NM 23: 2001 |
| Massa específica (g/cm ³) | NBR NM 23: 2001 |
| Resíduo na peneira # 200, 75mm (%) | NBR 11579: 1991 |
| Resistência à compressão 28 dias (MPa) | NBR 7215: 1996 |

Fonte: Dourado, 2018.

Ensaio de consistência

Dourado (2018) cita a NBR 13276:2005 e descreve que o ensaio de determinação do índice de consistência através da mesa de “flow” consistiu em realizar medidas do diâmetro do corpo de prova tronco-cônico normalizado, após o seu abatimento com 30 golpes da mesa. Esse índice de consistência será tomado como a média das três medidas do diâmetro, em milímetros. Se o valor estiver compreendido no intervalo de 255 ± 10 mm ele corresponderá ao índice de consistência padrão.

Ensaio de Aderência a Tração

Foram analisados 8 corpos de prova, distribuídos aleatoriamente numa parede modelo, conforme NBR 13528:2010 “Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – determinação da resistência de aderência à tração” (ABNT, 2010), para cada protótipo.

Como dito anteriormente, para realizar o ensaio, foi levantada uma parede modelo com faixas separadas revestidas com as argamassas A0, A10 e A20 para extrair as amostras como mostra figura 15.

Figura 15 – Ensaio de arrancamento



Fonte: Próprio autor.

Ensaio de Resistência à Compressão

Conforme os itens 5.2, 5.4 e 5.5 da NBR 13279:2005 “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à tração na flexão e à compressão”, foram preparados moldes de argamassa para os ensaios de compressão no estado endurecido foi realizado.

De acordo com Dourado (2018), após 24 horas do preparo do molde foi feita a desforma do molde, onde para facilitar a desforma, foi aplicado óleo mineral nas faces internas dos moldes para não ocorrer a aderência com os mesmos. Introduziu-se a argamassa em duas etapas, realizando o adensamento e o espalhamento entre elas para o perfeito preenchimento dos vazios, nivelando-se em seguida a superfície de cada corpo de prova com uma régua metálica.

Realizou-se dezoito corpos de prova por argamassa, dois de cada traço de argamassa para o rompimento aos 7 dias, dois de cada traço para rompimento aos 14 dias e os outros dois de cada traço com rompimento aos 28 dias, mostrado na figura 16.

Figura 16 – Ensaio de resistência a compressão



Fonte: Próprio autor.

3.8 COLETA DE DADOS

Para a coleta dos dados no experimento utilizou-se os índices fisiológicos, que são realizados pela medição do índice meteorológicos. A coleta foi feita no mês de maio pois, de acordo com a tabela 2, tem as características mais próximas de insolação, umidade, temp. máx. e mín. em relação ao mês utilizado por Dourado (2018) para sua pesquisa. Esta análise leva em consideração a diferença na variação de temperatura tanto nos ambientes externos como internos.

Para uma análise mais detalhada, seria necessário apoio de softwares não distribuídos gratuitamente e equipamentos com maior precisão, que são inviáveis financeiramente, além

da necessidade de mão de obra capacitada e também de um protótipo com dimensões reais de uma edificação padrão.

A NBR 15575 (2013) aconselha que para apuração dos dados, as medições devem ocorrer em um dia típico de projeto, de verão ou de inverno. No caso desse projeto foi em dia típico do verão compreendido entre as datas de 01 a 10 de maio de 2019. A norma apresenta parâmetros de temperaturas locais de cada zona, para cada dia típico que são valores identificados pela temperatura do ar exterior medidos no local. Tendo conhecimento destes dados foi possível prosseguir com o próximo passo, a escolha do dia, que deveria ser precedido por pelo menos um dia com características semelhantes conforme o indicado pelo pesquisador Dourado (2018).

Para realizar a coleta das temperaturas internas e externas foram utilizados termômetros Termo Higrômetro Digital Mod.Ht-700 (Figura 17), equipamento cedido pelo curso de arquitetura do CEULP-ULBRA. Para coleta de temperatura da telha parte superior e do forro de teto EPS parte inferior foi utilizado o Termômetro digital com mira a laser mod. FLUKE 59 MAX (Figura 18), equipamento cedido pelo Engenheiro Civil Robson Souza. Estes termômetros, que foram posicionados dentro e fora dos protótipos, indicam as informações de temperatura interna e externa, sendo que a área das medições externas de temperatura centradas no telhado recebe maior incidência solar. Ainda deve ser verificado que o termômetro HT-700 tem uma variação de até 0.2°C, enquanto o termômetro FLUKE 59 MAX foi calibrado.

Figura 17 - Termômetro Termo Higrômetro Digital Mod.Ht-700



Fonte: Site Cialcomércio, 2019.

Figura 18 – Termômetro com mira laser FLUKE 59 MAX



Fonte: Site Cialcomércio, 2019.

De acordo com o manual do Termômetro FLUKE, é recomendado a utilização de tripé suporte durante a medição, evitando vibrações no momento do disparo, aumentando a precisão do laser que faz a medição, como é mostrado nas figuras 19 e 20 abaixo. Outra característica deste equipamento é a escolha, feita manualmente, da emissividade do material que será analisado. A FLUKE desenvolveu e distribuiu uma tabela com as possíveis emissividades. Para o experimento foi utilizado a taxa padrão de 0,95 para emissividade.

Figura 19a – Montagem de termovisor no tripé



Fonte: Manual termômetro laser FLUKE

Figura 19b – Termômetro infravermelho

Emissividade de superfície nominal

| Material | Valor | Material | Valor |
|----------------------|-------|---------------|-------|
| Padrão**** | 0,95 | Vidro (chapa) | 0,85 |
| Alumínio* | 0,30 | Ferro* | 0,70 |
| Amianto | 0,95 | Chumbo* | 0,50 |
| Asfalto | 0,95 | Óleo | 0,94 |
| Latao* | 0,50 | Tinta | 0,93 |
| Cerâmica | 0,95 | Plástico** | 0,95 |
| Concreto | 0,95 | Borracha | 0,95 |
| Cobre* | 0,60 | Areia | 0,90 |
| Alimento - congelado | 0,90 | Aço* | 0,80 |
| Alimento - quente | 0,93 | Água | 0,93 |
| | | Madeira*** | 0,94 |

* Oxidado
 ** Opaco, mais de 20 mils
 *** Natural
 **** Ajuste de fábrica
 Os itens destacados também podem ser encontrados na tabela de emissividade predefinida no próprio Termômetro.

Fonte: Manual termômetro laser FLUKE

Figura 20 – Termômetro com mira laser FLUKE 59 MAX e tripé

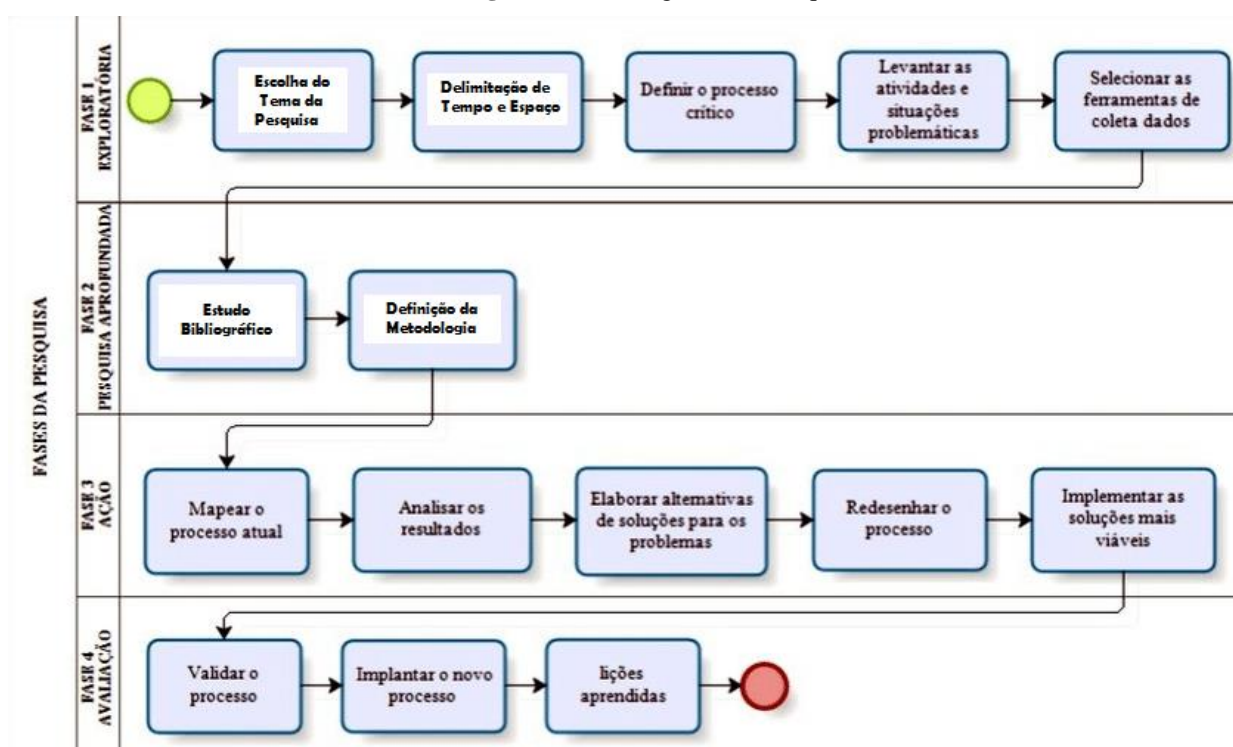


Fonte: Próprio autor.

Através das medições das temperaturas internas dos protótipos confirmou-se qual sistema de isolamento térmico foi mais favorável ao melhor desempenho térmico. A partir destas análises definiu-se o sistema de isolamento térmico mais efetivo entre os protótipos para edificações residenciais de usuários de baixa renda.

Valores de temperatura determinados nas medições em campo foram compilados em planilhas do Excel, onde foram apresentados, analisados e discutidos. Abaixo segue fluxograma da pesquisa, figura 21.

Figura 21 – Fluxograma da Pesquisa



Fonte: Adaptado de Manassés (2018), Fluxograma das fases da pesquisa

- **Fase 1 – Estudo Exploratório** – Nesta fase o tema foi escolhido e delimitado em tempo e espaço. Foi iniciado um primeiro levantamento da problemática, com escolha das ferramentas para coleta dos dados e definidos os processos críticos.
- **Fase 2 – Pesquisa Aprofundada** – Nesta etapa, foi feito um estudo na bibliografia, montou-se a estratégia de como seriam utilizados os conhecimentos adquiridos na pesquisa bibliográfica e criada a metodologia para apresentação dos resultados;
- **Fase 3 – Coleta de Dados e Estudo em Campo** – Nesta etapa, iniciou-se a ação, com montagem dos protótipos utilizando o elemento forro de teto de EPS, coleta dos dados e montagem das tabelas, em Excel, para posterior discussão dos resultados;

- **Fase 4 –Análise, Discussões e Conclusões** – Nesta etapa os resultados foram analisados, discutidos levando em consideração o referencial teórico juntamente com a visão de alguns autores e finalizando a conclusão do estudo;

Abaixo, na tabela 7, segue o protocolo da pesquisa:

Tabela 7 – Protocolo da pesquisa

| Visão Geral do Projeto |
|--|
| <p>Objetivo: Analisar os benefícios obtidos com a instalação do elemento forro de teto de EPS em edificações de baixa renda através do monitoramento e comparação da variação das temperaturas interna e externa, utilizando protótipo para essa simulação.</p> <p>Assuntos do estudo: Conforto térmico, Uso do EPS na construção civil, Casas populares.</p> <p>Leituras relevantes: “Materiais de Construção”, “Manual de Conforto Térmico”, “Apostila de Conforto Térmico e Stress Térmico” e “Como Instalar e Manter Forros de Madeira, Gesso, Bambu, PVC e EPS”.</p> |
| Procedimentos de Campo |
| <p>Apresentação das credenciais: Atuação do pesquisador no local onde os protótipos foram construídos fazendo as medições durante o período de coleta.</p> <p>Acesso ao Local: Total acesso ao local e documentos necessários.</p> <p>Fonte de Dados: Primárias (dados colhidos diretamente no campo) e secundárias (bibliográfica).</p> <p>Advertências de Procedimento: Não se aplica.</p> |
| Questões investigadas no estudo: |
| <ol style="list-style-type: none"> Principais práticas construtivas; Método adequado para envelopamento do EPS para forro de teto; Observação das mudanças térmicas no interior do protótipo; Melhoria no isolamento térmico do protótipo pesquisado. |
| Esboço para o relatório final: |
| <ul style="list-style-type: none"> • Relação entre as práticas propostas e as executadas; • Meios e materiais para implementação da melhoria do conforto térmico; • Relação entre os indicadores de desempenho térmico antes e depois da implementação do forro de teto EPS; • Identificar os desafios e propor alternativas para melhora dos materiais utilizados na construção civil aliando qualidade e custo. |

Fonte: elaboração do autor.

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados dos ensaios realizados em laboratório (compressão, tração e aderência) foram apresentados por Dourado (2018) sendo satisfatórios em relação aos critérios mínimos estabelecidos pela NBR 15575, conhecida como norma de desempenho, e demais normas regulamentadoras. Por não ser foco deste trabalho, estes resultados não serão discutidos.

Os resultados desta pesquisa estão relacionados com os ajustes médios das temperaturas internas e externas coletadas nos horários 9:00 h, 12:00 h, 15:00, 18:00 h e 21:00 h, após a coleta os dados foram transferidos para planilha no Excel e processados para formação de gráficos e tabelas. As coletas dos dados de temperatura nos protótipos foram realizadas entre os dias 01/05/2019 e 10/05/2019 como expostos nas tabelas 8, 9 e 10 a seguir.

Tabela 8 - Temperaturas do protótipo com EPS sem envelopamento

| Dia | Temp. Mínimas e Máximas | Externa (°C) | Telha (°C) | | Interna (°C) | Umidade |
|--------|-------------------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------|
| | | | Face Superior | Face Inferior | | |
| 01/mai | Mín. | 26,2 | 23,8 | 28,8 | 28,8 | 42% |
| | Máx. | 43,5 | 38,5 | 35,9 | 36,5 | 88% |
| 02/mai | Mín. | 28,9 | 27,5 | 28,7 | 28,6 | 29% |
| | Máx. | 44,4 | 39,6 | 38,8 | 38,9 | 79% |
| 03/mai | Mín. | 26,0 | 23,5 | 29,4 | 27,4 | 63% |
| | Máx. | 41,0 | 37,0 | 35,8 | 35,8 | 75% |
| 04/mai | Mín. | 27,3 | 26,1 | 31,2 | 28,1 | 34% |
| | Máx. | 43,9 | 39,7 | 38,3 | 39,0 | 77% |
| 05/mai | Mín. | 27,3 | 26,4 | 30,6 | 28,4 | 43% |
| | Máx. | 41,5 | 37,8 | 35,1 | 37,9 | 68% |
| 06/mai | Mín. | 25,4 | 23,1 | 28,6 | 28,7 | 16% |
| | Máx. | 47,8 | 41,2 | 38,4 | 39,4 | 90% |
| 07/mai | Mín. | 24,8 | 23,0 | 28,1 | 28,6 | 26% |
| | Máx. | 46,6 | 41,5 | 39,1 | 40,6 | 92% |
| 08/mai | Mín. | 25,1 | 23,4 | 29,2 | 29,5 | 30% |
| | Máx. | 46,4 | 40,0 | 37,8 | 41,5 | 75% |
| 09/mai | Mín. | 25,2 | 23,8 | 29,6 | 29,5 | 33% |
| | Máx. | 43,1 | 38,2 | 36,2 | 39,4 | 88% |
| 10/mai | Mín. | 25,4 | 23,8 | 29,4 | 29,5 | 31% |
| | Máx. | 45,6 | 42,5 | 37,3 | 40,1 | 83% |

Fonte: Próprio autor.

Tabela 9 - Temperaturas do protótipo com EPS envelopado na face superior

| Dia | Temp. Mínimas e Máximas | Externa (°C) | Telha (°C) | | EPS (°C) | Interna (°C) | Umidade |
|--------|-------------------------|--------------|---------------|---------------|----------|--------------|---------|
| | | | Face Superior | Face Inferior | | | |
| 01/mai | Mín. | 26,2 | 24,0 | 28,8 | 27,5 | 42% | |
| | Máx. | 43,5 | 38,8 | 38,7 | 33,8 | 88% | |
| 02/mai | Mín. | 28,9 | 28,3 | 28,8 | 27,3 | 29% | |
| | Máx. | 44,4 | 39,4 | 39,0 | 35,6 | 79% | |
| 03/mai | Mín. | 26,0 | 23,9 | 28,2 | 27,6 | 63% | |
| | Máx. | 41,0 | 37,2 | 38,7 | 32,8 | 75% | |
| 04/mai | Mín. | 27,3 | 26,2 | 28,6 | 26,9 | 34% | |
| | Máx. | 43,9 | 39,7 | 38,2 | 37,4 | 77% | |
| 05/mai | Mín. | 27,3 | 26,5 | 30,1 | 29,3 | 43% | |
| | Máx. | 41,5 | 37,9 | 37,6 | 35,5 | 68% | |
| 06/mai | Mín. | 25,4 | 23,3 | 28,5 | 28,6 | 16% | |
| | Máx. | 47,8 | 41,5 | 37,6 | 36,6 | 90% | |
| 07/mai | Mín. | 24,8 | 23,1 | 28,4 | 28,5 | 26% | |
| | Máx. | 46,6 | 41,6 | 38,3 | 37,7 | 92% | |
| 08/mai | Mín. | 25,1 | 23,7 | 29,1 | 29,4 | 30% | |
| | Máx. | 46,4 | 40,2 | 39,7 | 38,5 | 75% | |
| 09/mai | Mín. | 25,2 | 24,1 | 30,1 | 29,1 | 33% | |
| | Máx. | 43,1 | 38,3 | 35,9 | 36,4 | 88% | |
| 10/mai | Mín. | 25,4 | 24,0 | 29,4 | 29,7 | 31% | |
| | Máx. | 45,6 | 42,7 | 39,7 | 37,5 | 83% | |

Fonte: Próprio autor.

Tabela 10 - Temperaturas do protótipo com EPS envelopado na face superior e inferior

| Dia | Temp. Mínimas e Máximas | Externa (°C) | Telha (°C) | | EPS (°C) | Interna (°C) | Umidade |
|--------|-------------------------|--------------|---------------|---------------|----------|--------------|---------|
| | | | Face Superior | Face Inferior | | | |
| 01/mai | Mín. | 26,2 | 23,7 | 26,8 | 27,3 | 42% | |
| | Máx. | 43,5 | 38,6 | 34,0 | 33,9 | 88% | |
| 02/mai | Mín. | 28,9 | 28,6 | 26,8 | 27,1 | 29% | |
| | Máx. | 44,4 | 39,4 | 35,3 | 35,4 | 79% | |
| 03/mai | Mín. | 26,0 | 23,8 | 27,2 | 27,8 | 63% | |
| | Máx. | 41,0 | 37,0 | 34,0 | 32,6 | 75% | |
| 04/mai | Mín. | 27,3 | 25,8 | 26,6 | 27,0 | 34% | |
| | Máx. | 43,9 | 39,8 | 38,4 | 37,6 | 77% | |
| 05/mai | Mín. | 27,3 | 26,5 | 28,1 | 29,5 | 43% | |

| | | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|-----|
| | Máx. | 41,5 | 37,7 | 34,0 | 35,7 | 68% |
| 06/mai | Mín. | 25,4 | 23,0 | 28,0 | 28,8 | 16% |
| | Máx. | 47,8 | 41,3 | 37,0 | 36,4 | 90% |
| 07/mai | Mín. | 24,8 | 22,8 | 27,0 | 28,7 | 26% |
| | Máx. | 46,6 | 41,3 | 37,7 | 37,5 | 92% |
| 08/mai | Mín. | 25,1 | 23,5 | 28,1 | 29,6 | 30% |
| | Máx. | 46,4 | 39,9 | 35,6 | 38,3 | 75% |
| 09/mai | Mín. | 25,2 | 24,0 | 28,1 | 29,3 | 33% |
| | Máx. | 43,1 | 38,0 | 35,1 | 36,2 | 88% |
| 10/mai | Mín. | 25,4 | 23,8 | 27,4 | 29,9 | 31% |
| | Máx. | 45,6 | 42,4 | 36,0 | 37,3 | 83% |

Fonte: Próprio autor.

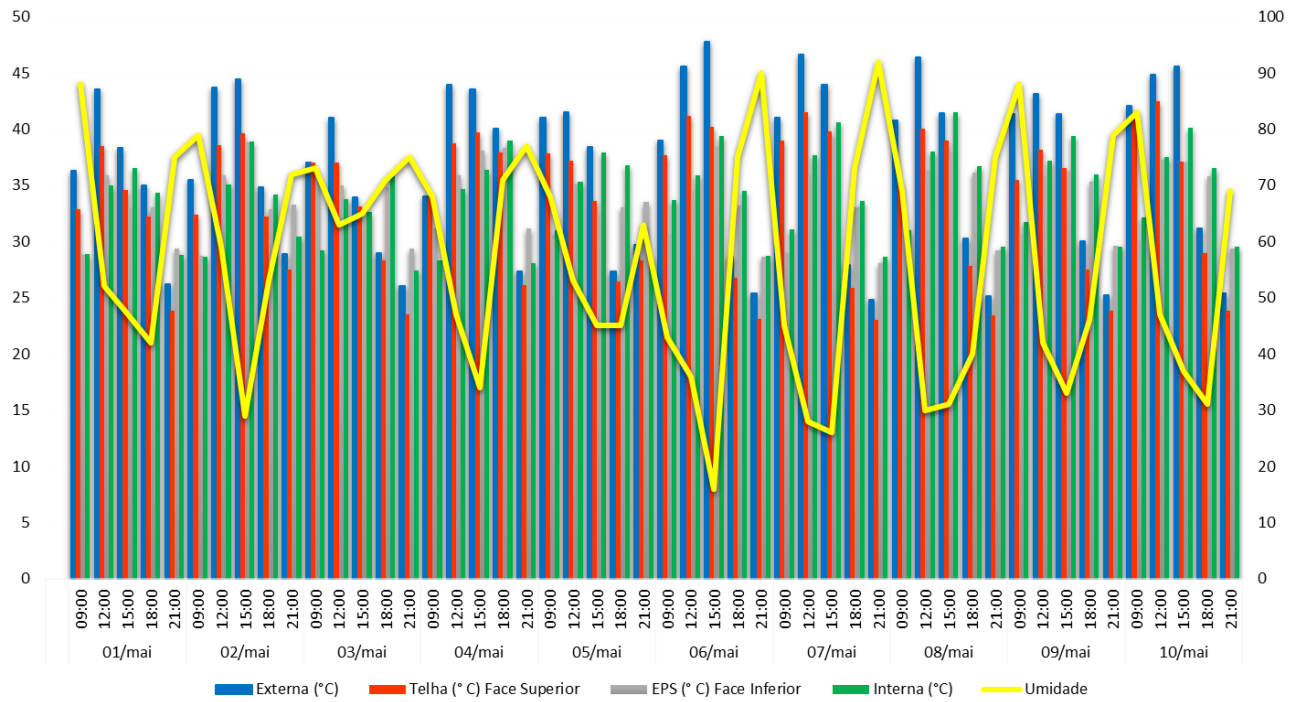
Com os resultados da coleta, que compreendeu 5 horários diferentes em 10 dias seguidos, foram montados os gráficos, expostos a seguir, para cada um dos protótipos.

A pesquisa foi realizada como orienta a norma, ou seja, em dias típicos de verão pois são predominantes na região da pesquisa. Iniciada no mês de maio, a temperatura foi gradualmente aumentando durante as medições pois, neste ano, houve muita chuva no mês de abril proporcionando um clima mais ameno. Foram elaborados 2 gráficos para cada protótipo, onde, o primeiro gráfico apresenta os valores da temperatura Externa local, da Telha superior, do EPS inferior e do ambiente interno do protótipo, além da umidade medida no local e o segundo apresentando as temperaturas exterior, interna e a umidade.

Como há uma grande quantidade de dados, foi necessário elaborar mais dois gráficos para melhor visualização dos resultados. Nestes foram apresentados um comparativo dos valores mínimos e máximos da temperatura interior dos protótipos e sua variação total onde procurou-se estabelecer a variação de temperatura como indicativo de conforto térmico pois de acordo com Frotta e Schiffer (2001) quando o ambiente não prejudica as trocas de calor com o corpo, o organismo funciona sem fadiga e estresse, trazendo para o homem uma melhor qualidade de vida e saúde, combatendo desta forma o chamado “stress térmico”.

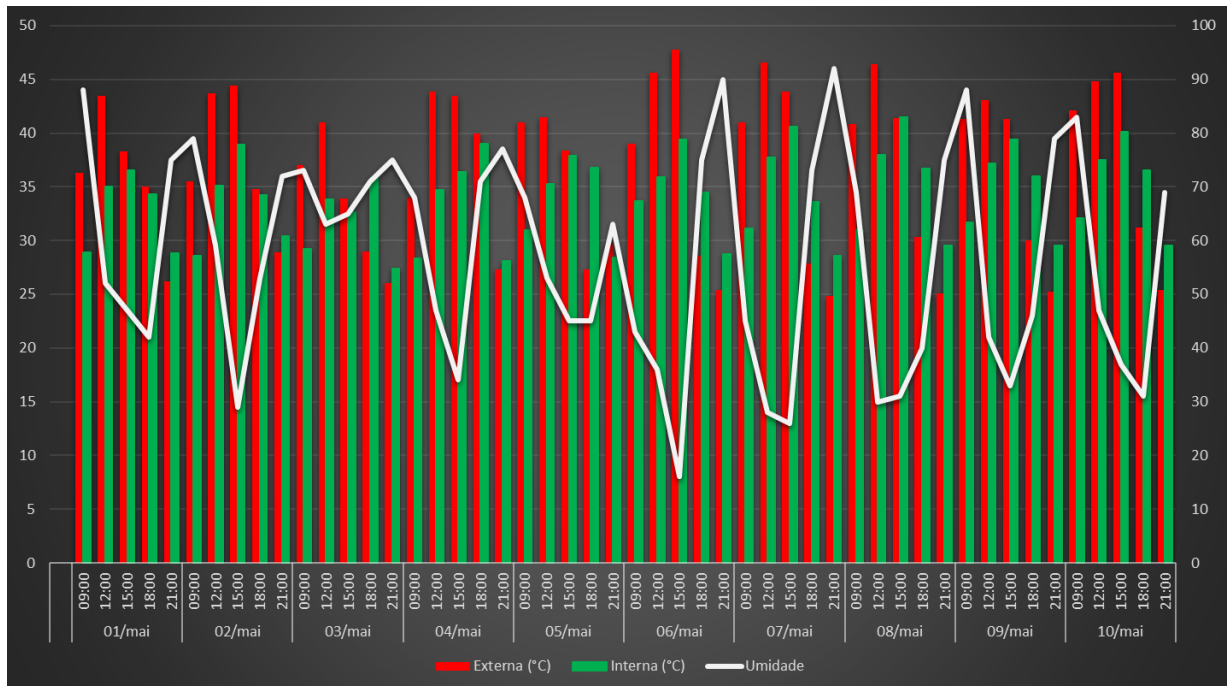
Desta forma, a pesquisa buscou evidenciar o protótipo ideal para que as características de conforto térmico relacionadas a temperatura, ou seja, que a menor variação entre temperatura mínima e máxima interna do ambiente fossem atendidas.

Figura 22: Gráfico Temperatura (Externa, Telha sup., EPS inf. e Interna) do protótipo com EPS sem enovelamento.



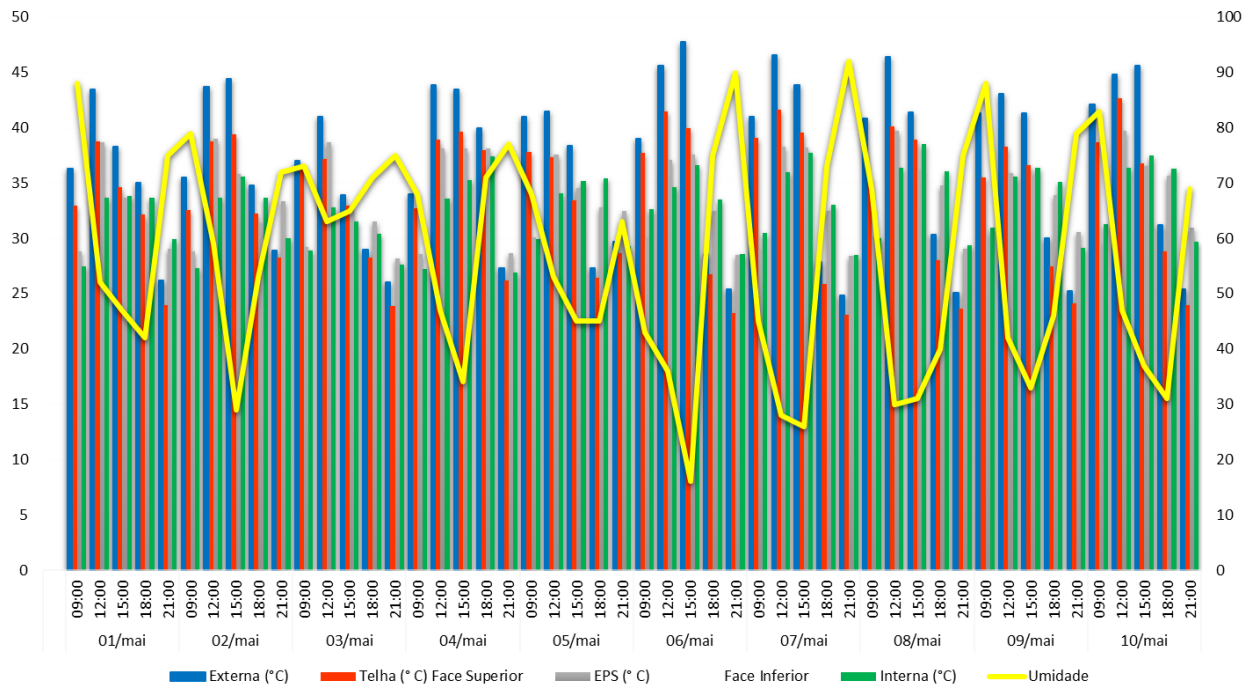
Fonte: Próprio autor.

Figura 23: Gráfico Temperatura externa e interna do protótipo com EPS sem enovelamento



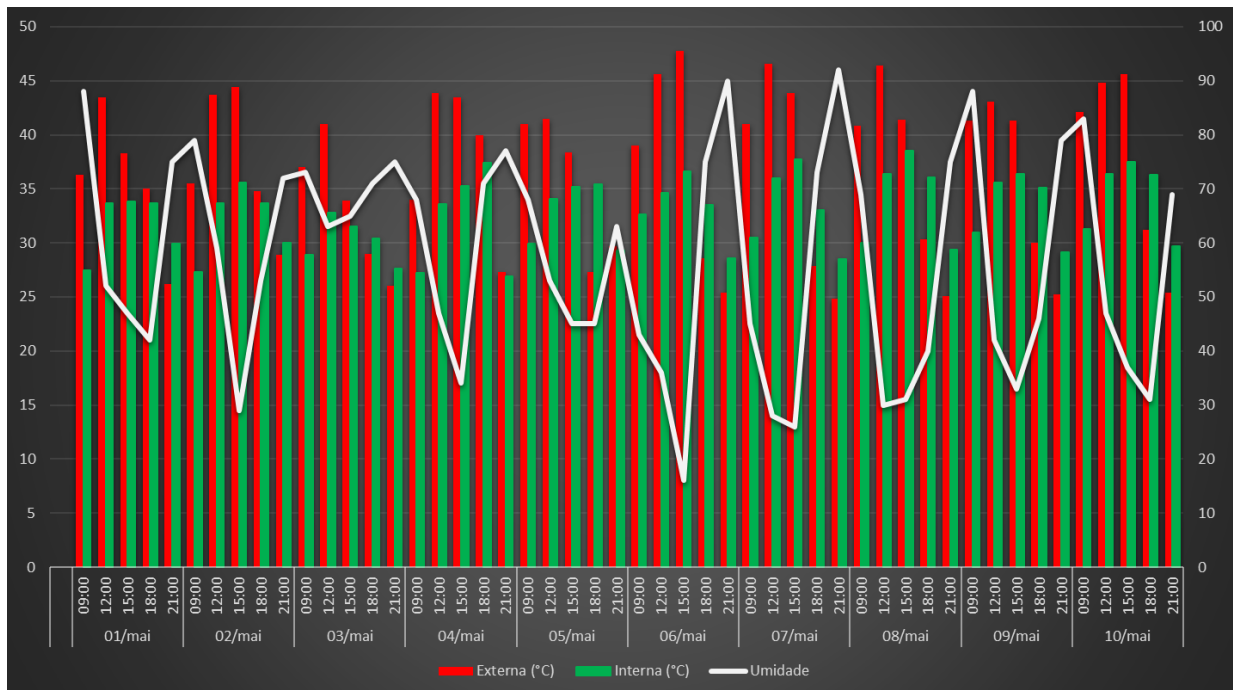
Fonte: Próprio autor.

Figura 24: Gráfico Temperatura (Externa, Telha sup., EPS inf. e Interna) do protótipo com EPS envolado na face superior



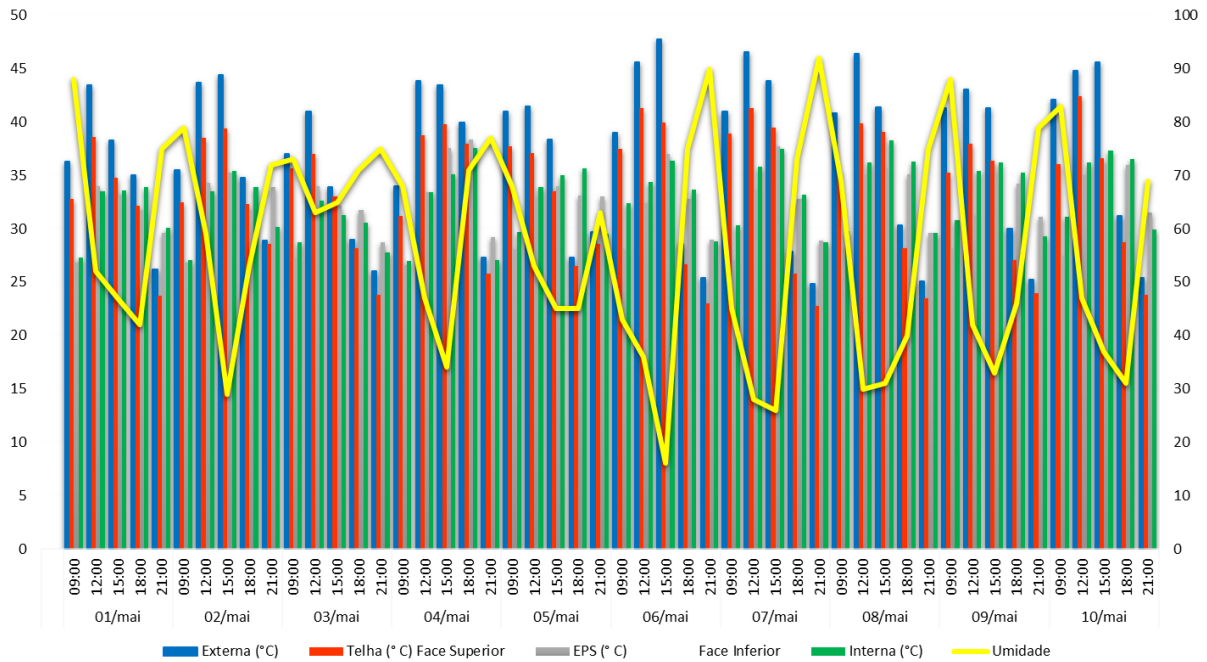
Fonte: Próprio autor.

Figura 25: Gráfico Temperatura externa e interna do protótipo com EPS envolado na face superior



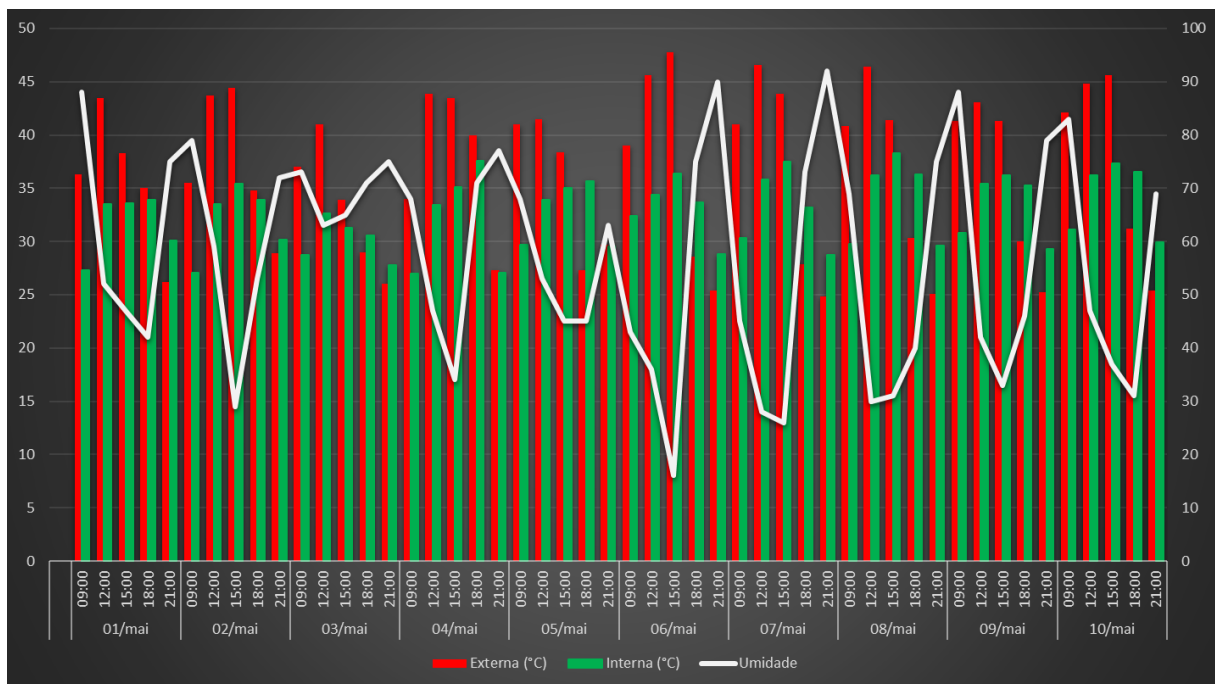
Fonte: Próprio autor.

Figura 26: Gráfico Temperatura (Externa, Telha sup., EPS inf. e Interna) do protótipo com EPS envolapado na face superior e inferior



Fonte: Próprio autor.

Figura 27: Gráfico Temperatura externa e interna do protótipo com EPS sem envolapamento



Fonte: Próprio autor.

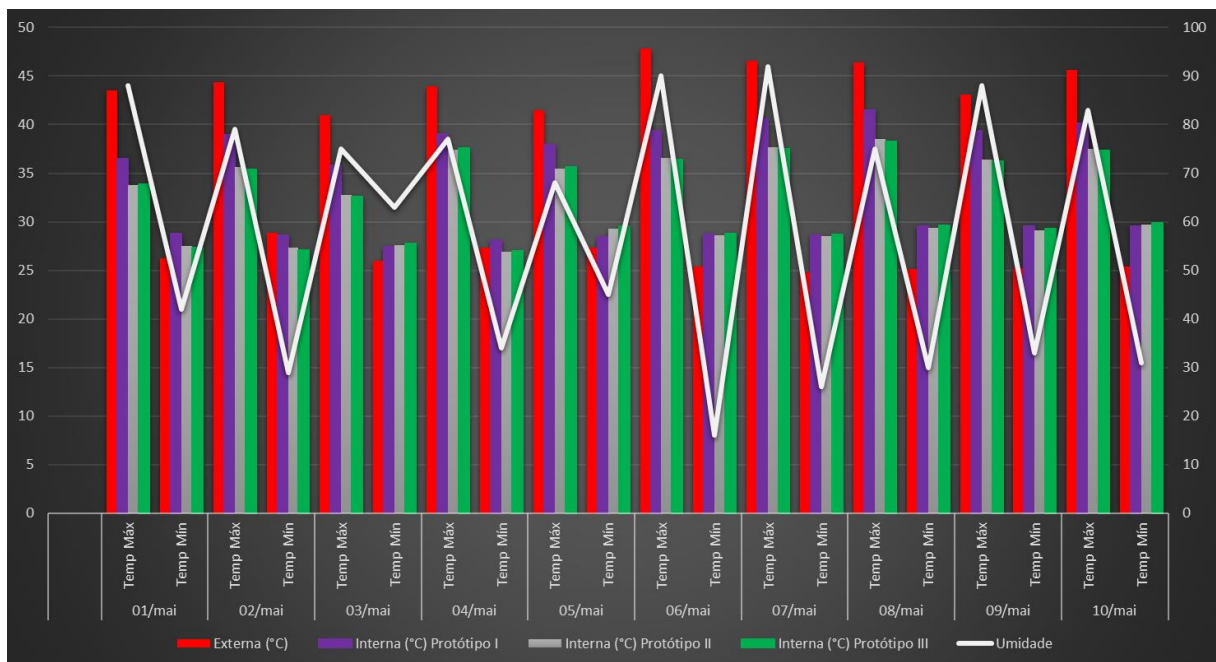
A observação dos gráficos e das tabelas mostra o processo de radiação do sol no ambiente interno e nas telhas, onde nas telhas ocorre uma refração dessa insolação e dissipação de uma parte dessa energia. Pela convecção do ar quente, no ático, o EPS recebe o

calor pela transmitância térmica e por condução esta energia atravessa o material e chega no ambiente interno.

Os gráficos e as tabelas ainda mostram que durante o dia a temperatura interna foi bastante reduzida em relação a temperatura externa medida; enquanto nos períodos noturnos a temperatura interna sofreu uma menor variação do que a ocorrida na externa. Isto se deu por consequência do bom isolamento térmico ocasionado com a instalação do forro de teto em EPS que além de ter uma baixa condutibilidade térmica, calculada em 0.035 W/mK pela PROTOLAB, causou a redução da difusividade térmica e elevação da resistência térmica.

Outra característica do forro de teto de EPS constatada no experimento foi a inércia térmica, que é uma contribuição para o conforto térmico muito importante; e destacada por Bezerra (2003), pois as modificações nos picos de temperatura interna dos ambientes podem reduzir as sensações de desconforto devido ao “calor” ou ao “frio”. Abaixo seguem as figuras 28 e 29 que representam os gráficos para a melhor visualização destes fenômenos.

Figura 28: Gráfico temperatura interna máxima e mínima (externa e protótipos)

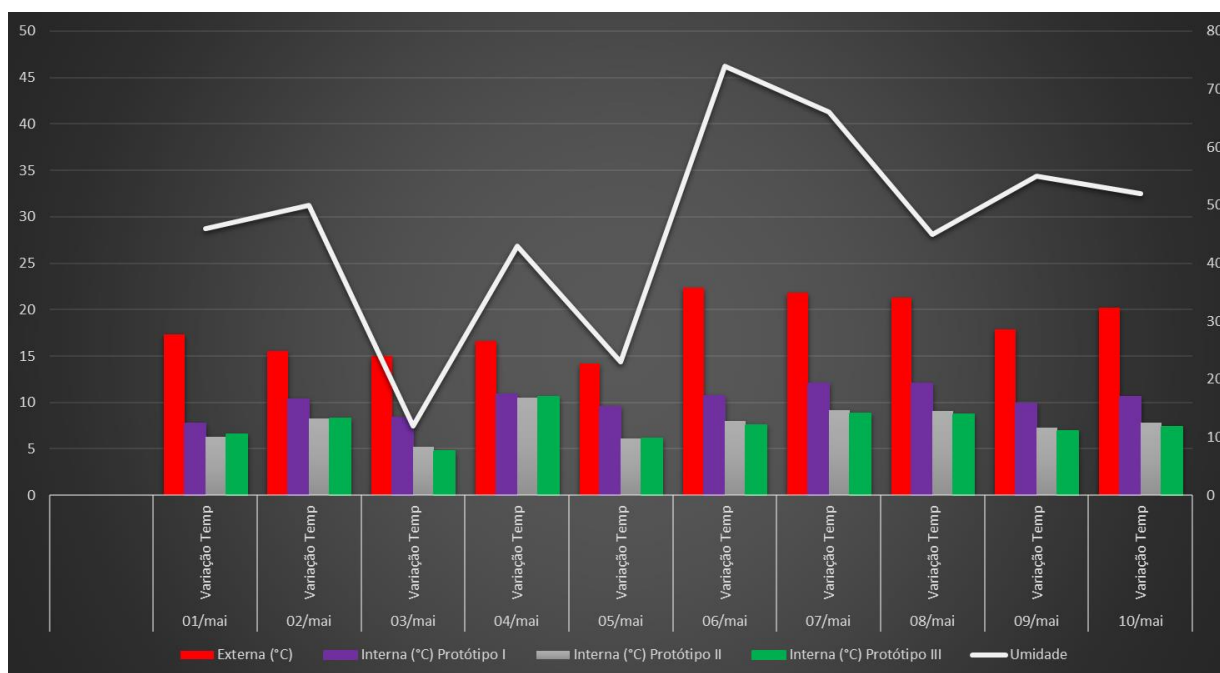


Fonte: Próprio autor.

Para cada tipo de protótipo houve uma diferença na variação das temperaturas internas máximas e mínimas, onde o protótipo I, sem envelopamento com papel alumínio, teve os piores resultados. O protótipo III teve os melhores resultados, ou seja, nos horários de maior insolação teve as menores temperaturas e nos horários sem a incidência solar e que a

temperatura externa teve a maior variação ele diminuiu a temperatura gradativamente, mantendo os melhores índices de variação de temperatura.

Figura 29: Gráfico variação de temperatura (externa e protótipos)



Fonte: Próprio autor.

Como observado anteriormente, os melhores resultados ficaram com o protótipo envelopado nas duas faces com papel alumínio pois foi onde houve a menor taxa de variação das temperaturas máximas e mínimas durante a maior parte dos dias de experimento. Mas como este é um projeto que busca o melhor custo/benefício, o protótipo escolhido para comparação final será o protótipo II.

Apesar de o protótipo II não ter tido os melhores resultados, ele obteve na maioria dos resultados uma diferença de até 0.2°C para o Protótipo III, considerado o melhor. Esta diferença é a mesma variação de falta de precisão dos termômetros HT-700, utilizados para coletar a temperatura. Desta forma eles são considerados tecnicamente iguais, ou seja, tendo as mesmas temperaturas e considerando que o envelopamento do protótipo II usa metade do material do protótipo III, este foi considerado o protótipo com o melhor custo/benefício.

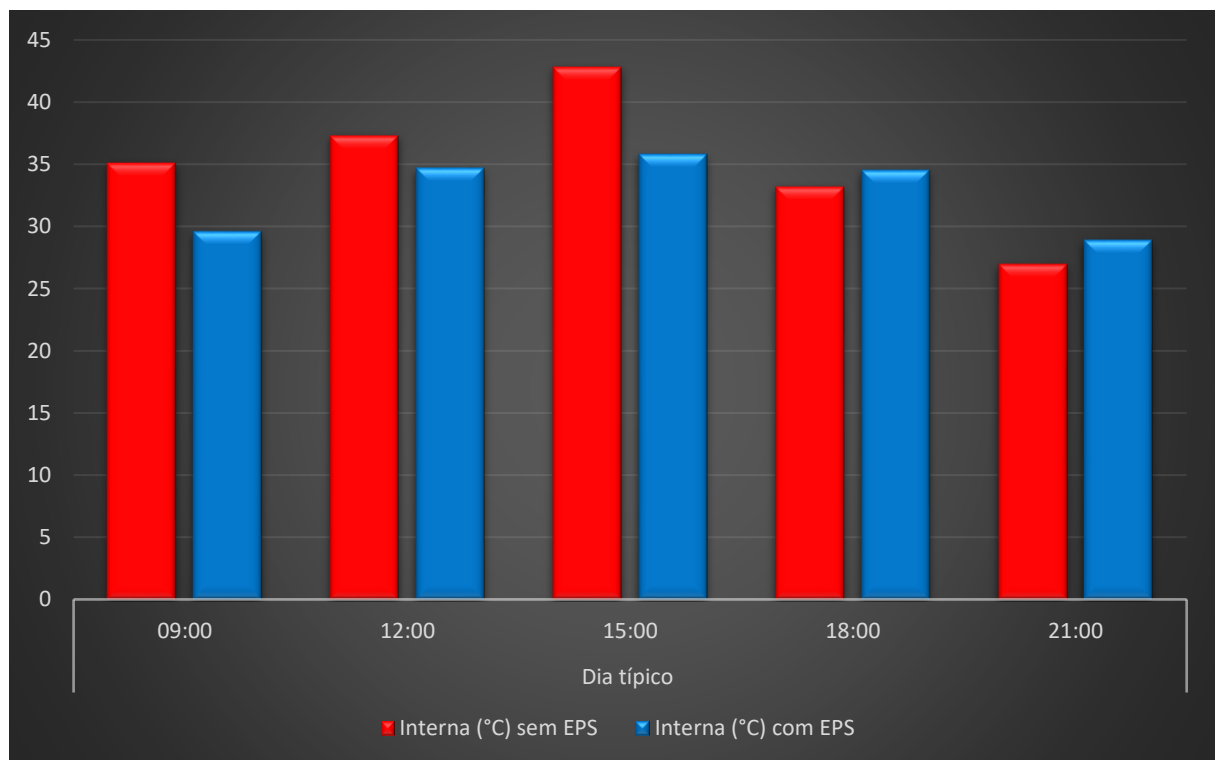
A pesquisa teve sequência ao se comparar os resultados obtidos pelo protótipo II com os resultados obtidos na pesquisa de Dourado (2018). Para tanto foi feito uma análise estatística, onde, com auxílio do Excel foi calculado o desvio padrão e após verificar que não havia uma grande dispersão dos valores coletados, sem a necessidade de excluir nenhum valor, foi feito o gráfico comparativo utilizando a média aritmética de cada dia e gerando um dia típico padrão.

Abaixo seguem os resultados da análise estatística na figura 30 e 31.

Figura 30: Tabela desvio padrão do protótipo II

| Dia | horário | | | | |
|----------|---------|------|------|-------|------|
| | 9h | 12h | 15h | 18h | 21h |
| 01/mai | 27,5 | 33,7 | 33,8 | 33,7 | 29,9 |
| 02/mai | 27,3 | 33,7 | 35,6 | 33,7 | 30 |
| 03/mai | 28,9 | 32,8 | 31,5 | 30,4 | 27,6 |
| 04/mai | 27,2 | 33,6 | 35,3 | 37,4 | 26,9 |
| 05/mai | 29,9 | 34,1 | 35,2 | 35,45 | 29,3 |
| 06/mai | 32,6 | 34,6 | 36,6 | 33,5 | 28,6 |
| 07/mai | 30,5 | 36 | 37,7 | 33 | 28,5 |
| 08/mai | 30 | 36,4 | 38,5 | 36,1 | 29,4 |
| 09/mai | 31 | 35,6 | 36,4 | 35,1 | 29,1 |
| 10/mai | 31,3 | 36,4 | 37,5 | 36,3 | 29,7 |
| Méd Arit | 29,6 | 34,7 | 35,8 | 34,5 | 28,9 |
| Desv Pad | 1,85 | 1,31 | 2,05 | 2,02 | 1,01 |

Fonte: Próprio autor.

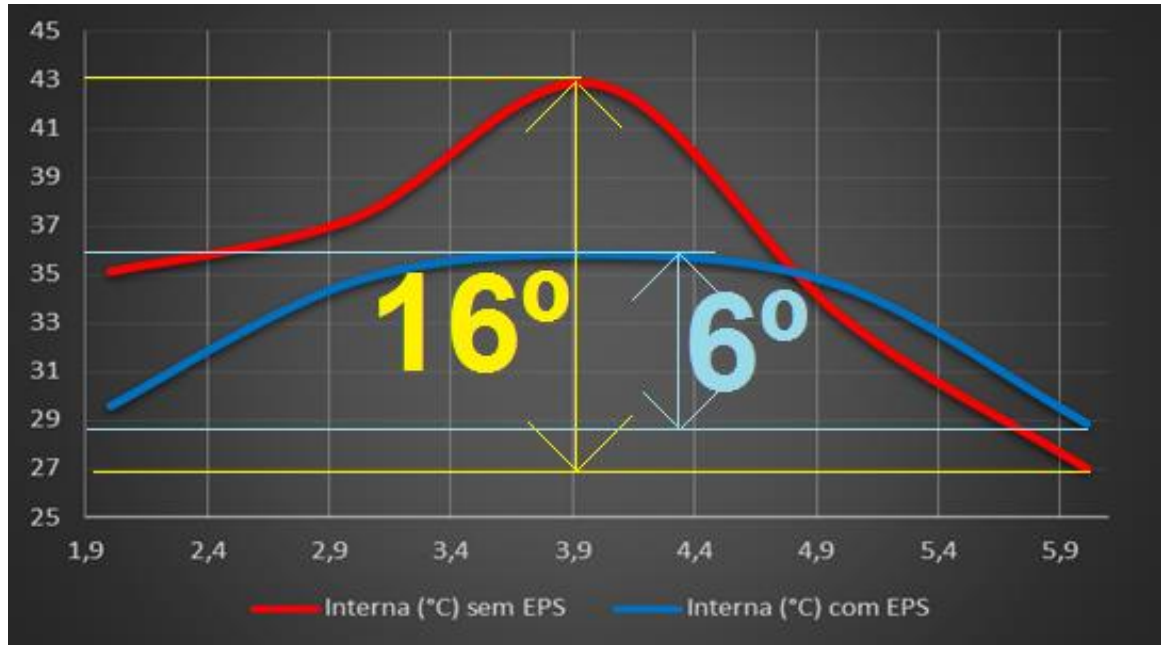
Figura 31: Comparação das temperaturas com e sem forro de teto EPS

Fonte: Próprio autor.

O protótipo II, que utiliza forro de EPS envelopado na face superior, continua tendo uma menor variação da temperatura durante o dia, ou seja, realiza as trocas de calor de maneira mais constante; onde é melhor visualizado no gráfico 32 abaixo. Quando comparado com temperatura interna sem o forro de teto fica mais evidente a vantagem de se aplicar o forro de teto de EPS. Outra vantagem é que nesses tempos secos, como o EPS é um ótimo

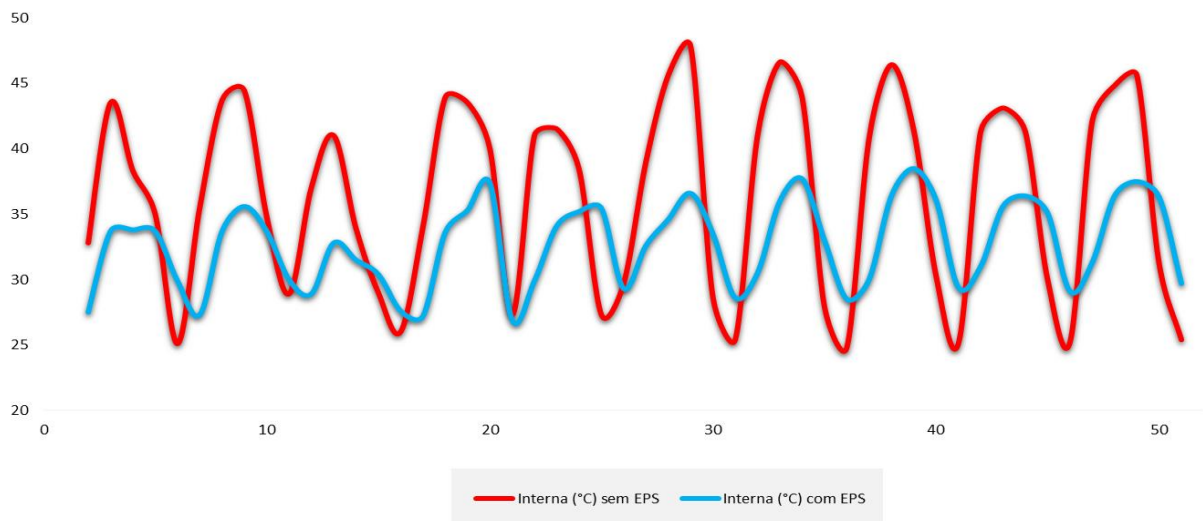
isolante, deixa o ambiente protegido contra o excesso de poeira. Abaixo, nas figuras 32 e 33, o gráfico comparativo mostra essa oscilação nos pontos de máxima e mínima de temperatura.

Figura 32: Gráfico em curva da variação da temperatura máxima e mínima em dia típico de verão



Fonte: Próprio autor.

Figura 33: Gráfico de curva entre as temperaturas com e sem forro de teto EPS durante todos os dias da pesquisa



Fonte: Próprio autor.

O desempenho térmico dos sistemas construídos com forro de teto de EPS deixou evidente a vantagem do seu uso como forma de reduzir a transferência de calor do meio externo para o meio interno; principalmente quando comparado com edificação sem forro de teto, onde as diferenças de temperaturas entre as temperaturas externas e internas aumentaram

em 50% e 55%, respectivamente para os protótipos com forro de teto envelopado em uma face e nas duas faces.

O uso de revestimento nas paredes internas do protótipo traria uma redução maior na diminuição da temperatura interna ambiente, melhorando ainda mais a sensação de conforto térmico. Este fator poderia ser estudado mais a fundo em um outro trabalho para que se comprovasse a hipótese levantada.

Esta proposta é vantajosa em função da redução do consumo de energia; do isolamento do ambiente interno contribuindo para uma menor variação de temperatura, diminuindo o stress térmico e aumentando o conforto térmico; por proporcionar a utilização de um material de fácil instalação, que dispensa construção de reforço estrutural, diminuindo o alto custo para implementação de forro em edificações de baixa renda; combatendo a poeira que nos tempos secos é um risco a saúde dos moradores das periferias.

5 CONCLUSÃO

A partir da análise dos dados coletados conclui-se que:

a) a metodologia utilizada na pesquisa mostrou-se adequada às análises dos desempenhos térmicos dos sistemas construtivos;

b) o protótipo construído com elementos convencionais, mas sem o elemento forro de teto, apresentou desempenhos térmicos inferiores ao sistema com forro de teto em EPS;

c) a diminuição da quantidade de energia transferida para o interior das edificações tem como possível consequência a economia de energia elétrica que seria necessária à climatização do ambiente. Esse fato deve ser mais evidente em edificações na região Norte do Brasil, onde a radiação solar é responsável por uma relevante parcela da carga térmica nos espaços construídos;

d) além da contribuição para a melhoria do conforto térmico dos usuários das edificações, o aproveitamento do EPS para a construção civil contribui para a redução do custo na produção das obras e evidentemente, permite também, reduzir o impacto causado pelo descarte desse material no meio ambiente.

Este trabalho demonstrou que é viável o aproveitamento do EPS como elemento construtivo, para sistema de forro das edificações, o que proporcionou maior isolamento térmico resultando em redução da temperatura interna nos horários de insolação.

6 SUGESTÃO DE NOVOS TRABALHOS

Como sugestão para novos trabalhos, utilizando os protótipos, seria interessante:

- Verificar qual a melhor altura proporcional do ático, espaço formado entre o forro e o telhado, em relação à altura do pé direito para proporcionar uma melhor transmitância térmica beneficiando a temperatura ambiente interna.
- Adotar o cobrimento com revestimento de argamassa nas paredes internas e fazer uma nova comparação com as temperaturas obtidas.
- Utilizar novas tecnologias de impermeabilização nas telhas de fibrocimento, que de acordo com os fabricantes também melhoram a eficiência térmica, e verificar se o custo/benefício seria maior que o obtido com a implementação do forro de teto em EPS.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**, NBR 13278. Rio de Janeiro, 2005a. 4p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - preparo da mistura e determinação do índice de consistência**, NBR 13276. Rio de Janeiro, 2005b. 3p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**, NBR 13279. Rio de Janeiro, 2005c. 9p.

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

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – determinação da resistência de aderência à tração**, NBR 13528. Rio de Janeiro, 2010. 11p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – especificação**, NBR 13749. Rio de Janeiro, 2013. 8p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 13529: **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

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

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 7211 – Agregados: Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724: **informação e documento trabalhos acadêmicos** - apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. BT 106: **guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo: ABCP, 2002.

ABRAPEX ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO. **O que é EPS**. Disponível em: < <http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html> >. Acesso em: setembro de 2018.

BAUER, F. **Materiais de Construção: Novos Materiais para Construção Civil**. 5. ed. Revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2000. v 1.

BAUER, F. **Materiais de Construção: Novos Materiais para Construção Civil**. 5. ed. Revisada. Rio de Janeiro: LTC, 1994. v 2.

BERNAN, W. **History and Art of Warming and Ventilating**. Bell, London, 1845

BEZERRA, L. A. C. **Análise do Desempenho Térmico de Sistema Construtivo de Concreto com EPS como Agregado Graúdo**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica/UFRN, Natal – RN, f. 64, outubro, 2003.

BRASIL MINÉRIOS. **Vermiculita Expandida**. Dossiê técnico. 1. ed. Goiânia: 2014. 121 p.

CAIXA. **Selo Casa Azul: Boas Práticas para Habitação mais Sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras, 2010. 204 p.

CASTRO, A.P.A.S. **Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil**. Tese (Doutorado) - UNICAMP. Campinas. 2006.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Publicação IPT 2378), 1995. 118 p. Boletim Técnico 68 IPT.

CINTRA, C. L. D.; PAIVA, A. E. M.; BALDO, J. B. **Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus - Propriedades relevantes**. Cerâmica, [s.l.], v. 60, n. 353, p.69-76, mar. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132014000100010>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132014000100010&lang=pt>. Acesso em: 21 agosto de 2018.

DOURADO, L. A. **AVALIAÇÃO DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE VERMICULITA QUANTO AO DESEMPENHO MECÂNICO E TÉRMICO**. 2018. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Educacional Luterano de Palmas, Palmas, 2018.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. (2003) **Manual de Conforto Térmico**, Studio Nobel, São Paulo.

HENRIQUE, L; BANDUK, R; HISSAE, E. **Revestimentos de Argamassa: Boas Práticas em Projeto, Execução e Avaliação**. 1. ed. Porto Alegre: ANTAC, 2005. 96 p.

HENSCHER, A., L L Burton, L Margolies and J E Smith, **An analysis of the heat deaths in St. Louis during July 1966**.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Relevo e Clima: O clima brasileiro**. 2015. Disponível em: <<http://7a12.ibge.gov.br/pt/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/relevo-e-clima>>. Acesso em 21 de agosto de 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS et al. **Alvenaria de Vedação em Blocos Cerâmicos**. São Paulo: 2009. 65 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Clima**: O que é clima. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=>>. Acesso em 20 de agosto de 2018.

KRÜGER, Eduardo L.; SUETAKE, Graziela Y.; ADRIAZOLA, Márcia K. O. **COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS CONSTITUÍDAS DE EMBALAGENS TETRA PAK COM MANTA REFLEXIVA E PLACAS DE EPS**. 2006. 1 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_0476_483.pdf>. Acesso em: 23 agosto 2018.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. **Apostila de Conforto Térmico e Stress Térmico**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética e Edificações, 2002.

LUFA REFRACTARIOS. **Vermiculita expandida**. Disponível em: <<http://www.lufa.com.br/refratarios/vermicultura/28-vermiculita-expandida.html>>. Acesso em 12 de agosto de 2018.

MICHELS, Caren. **Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes**. Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis – SC. 2007.

MORAIS, D.M. **Análise do Conforto Térmico em Protótipos de Habitações para Usuários de Baixa Renda, com Isolamento Térmico Reutilizando Embalagens Tetra Pak: etapa 1**. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Belo Horizonte – MG, 2011.

NAKAMURA, Juliana. **Conforto acústico**. Revista Técnica, 106ª Edição, Ano XIV, 2006, p.44-47.

NEVES, Idércio França Das. **Materiais de construção: Estudo de dosagem racional de concreto estrutural comum**. Pontifícia universidade católica do Paraná – Curitiba- PR. 2009.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. Pini, 1997.

OLGYAY, V. **Design with Climate**. New Jersey: Princeton University, 1973.

OLIVEIRA, T. A. de; RIBAS, O. T. **Sistemas de controle das condições ambientais de conforto**. Ministério da Saúde. Brasília, 1995.

PAIVA, S. et. al. **Como instalar e manter forros de madeira, gesso, bambu e PVC**. Disponível em <http://casa.abril.com.br/materia/como-instalar-e-manter-forros-demadeira-gesso-bambu-e-pvc>, acessado em 16/09/2018.

PETRUCCI, E. **Materiais de Construção**. 11. ed. São Paulo: Globo, 1979. 435 p.

RIPPER, E. **Manual prático de materiais de construção: Recebimento, Transporte Interno, Estocagem, Manuseio e Aplicação**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1995. 252 p.

RUSCHEL, R.C. **Elementos Sociais e Culturais da Casa Popular em Campinas - SP**. Campinas, 38p. Relatório Científico, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1995.

SANTOS, C. C. N. **Critérios de projetabilidade para as argamassas industrializadas de revestimento utilizando bomba de argamassa com eixo helicoidal**. Brasília, 2003.135 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de pós-graduação em Estrutura e Construção Civil, Universidade de Brasília, 2003.

TOCANTINS (Estado). Secretaria de Planejamento – SEPLAN. **Atlas do Tocantins**. 6. Ed. Palmas, 2012.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 11. ed. São Paulo: Pini, 2011. 807 p.

[Exportar relatório](#)[Referências ABNT](#)[Visualizar ▾](#)

TCC II Karolly - Trabalho final.docx (31/05/2019):

Documentos candidatos

[up.edu.br/cmspositiv... \[0,25%\]](#)[contornospesquisa.or... \[0,23%\]](#)[evangelicagoianesia.... \[0,19%\]](#)[formatacaoabnt.blogs... \[0,17%\]](#)[pt.wikipedia.org/wik... \[0,16%\]](#)[blog.metzger.com/com... \[0,14%\]](#)[nead.uesc.br/arquivo... \[0,12%\]](#)[produto.mercadolivre... \[0,09%\]](#)[superprof.com.br/eng... \[0,07%\]](#)[leroymerlin.com.br/v... \[0%\]](#)

Arquivo de entrada: TCC II Karolly - Trabalho final.docx (10872 termos)

| Arquivo encontrado | | Total de termos | Termos comuns | Similaridade (%) |
|---|----------------------------|-----------------|---------------|------------------|
| up.edu.br/cmspositiv... | Visualizar | 888 | 30 | 0,25 |
| contornospesquisa.or... | Visualizar | 4532 | 36 | 0,23 |
| evangelicagoianesia.... | Visualizar | 1441 | 24 | 0,19 |
| formatacaoabnt.blogs... | Visualizar | 4348 | 27 | 0,17 |
| pt.wikipedia.org/wik... | Visualizar | 2866 | 23 | 0,16 |
| blog.metzger.com/com... | Visualizar | 1818 | 18 | 0,14 |
| nead.uesc.br/arquivo... | Visualizar | 2105 | 16 | 0,12 |
| produto.mercadolivre... | Visualizar | 1708 | 12 | 0,09 |
| superprof.com.br/eng... | Visualizar | 834 | 9 | 0,07 |
| leroymerlin.com.br/v... | Visualizar | 79 | 1 | 0 |