



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
PAULO SALA FERREIRA

ANÁLISE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR
EM PAREDES EM EPS (ISOPOR)

Palhoça
2020

PAULO SALA FERREIRA

ANÁLISE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR
EM PAREDES EM EPS (ISOPOR)

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

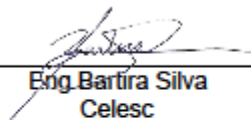
Palhoça, 27 de novembro de 2020.



Professor e orientador Valdi Henrique Spohr, Ms
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Roberto Motta Bez, M.Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Eng. Bartira Silva
Celesc

Dedico esta conquista a minha família, esposa e filhos pelo apoio e força nas horas que mais precisei.

AGRADECIMENTOS

Para a elaboração deste trabalho contei com a colaboração de diversas pessoas, sem as quais, não seria possível realiza-lo. Desejo desde já expressar os meus sinceros agradecimentos:

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força e saúde a alcançar mais um desafio em minha vida.

A Minha família, pelo apoio ilimitado e permanente para ser possível esta conquista.

Ao Professor Valdi Henrique Spohr pelo grande empenho, esclarecimentos, sugestões e valioso tempo no desfecho deste trabalho de fundamental importância.

Aos Professores pelo empenho em passar conhecimentos e experiências vividas.

Aos Amigos, que incentivaram com muita alegria, as diversas ideias que surgiam durante os dias.

E por fim a todos que me ajudaram e que de alguma forma apoiaram o desenvolver deste caminho. A todos aqui expresso meu agradecimento.

Obrigado!

“A mais importante de todas as obras é o exemplo da própria vida.” (Helena Blavatsky, 1877).

RESUMO

Se definirmos brevemente o "conforto térmico", trata-se da criação de sistemas construtivos adaptados ao ambiente local e às funções do espaço, cooperativamente. Um dos primeiros elementos a considerar ao projetar o conforto térmico é a criação de um exterior de construção eficiente. A envoltória de um edifício funciona como um filtro entre o clima exterior e o ambiente interno, estabilizando a atmosfera interna. O gerenciamento adequado do envelope resulta em um ambiente interno bem equilibrado e reduz o uso de sistemas mecânicos, contribuindo para uma estrutura mais sustentável. A *inércia térmica* (a lentidão com que a temperatura de um edifício atinge a de seus arredores) é amplamente controlada pelos materiais e tipos de estrutura usados na engenharia. Esses componentes reagem com o ambiente externo, garantindo que o interior permaneça mais frio - ou mais quente, dependendo da localização e necessidade - por um período mais longo. Tijolos e pedras são considerados materiais de alta inércia térmica, razão pela qual esses materiais são normalmente utilizados em ambientes quentes para manter o interior fresco por um longo período. Em regiões mais frias, os materiais de baixa inércia térmica (como a madeira) são comumente usados para que os interiores aqueçam mais rápido durante o frio. Por estes e muitas vantagens utilizaremos o EPS (isopor) em paredes para complementar estudos na área atuante. Engenheiros conscientes sempre priorizarão métodos sustentáveis para o conforto térmico, e como explicaremos nesta pesquisa, não é de forma alguma, complexo ou improvável. O futuro é de criatividade e inovação, e essas soluções realmente tornarão qualquer engenharia mais local, habitável e admirável.

Palavras-chave: Paredes em EPS (Isopor). Conforto térmico. Análise de transferência de calor.

ABSTRACT

If we define "thermal comfort" briefly, it is about the creation of construction systems adapted to the local environment and the functions of the space, cooperatively. One of the first elements to consider when designing thermal comfort is the creation of an efficiently constructed exterior. The envelope of a building acts as a filter between the external climate and the internal environment, stabilizing the internal atmosphere. Proper envelope management results in a well-balanced internal environment and reduces the use of mechanical systems, contributing to a more sustainable structure. Thermal inertia (the slowness with which a building's temperature reaches that of its surroundings) is largely controlled by the materials and types of structures used in engineering. These components react with the external environment, ensuring that the interior remains cooler - or warmer, depending on location and need - for a longer period. Bricks and stones are considered materials with high thermal inertia, which is why these materials are normally used in warm environments to keep the interior cool for a long period. In colder regions, low thermal inertia materials (such as wood) are commonly used to make interiors heat up faster during cold weather. For these and many advantages we will use EPS (styrofoam) on walls to complement studies in the active area. Conscious engineers will always prioritize sustainable methods for thermal comfort, and as we will explain in this research, it is by no means complex or unlikely. The future is one of creativity and innovation, and these solutions will truly make any engineering more local, livable and admirable.

Keywords: EPS walls (Styrofoam). Thermal comfort. Heat transfer analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sanduiche de argamassa armada com núcleo de Eps	13
Figura 2 - Detalhe de uma parede composta por diferentes materiais.....	17
Figura 3 - Esquema de parede alvenaria de blocos cerâmicos	27
Figura 4 - Exemplo de Câmara Térmica Rupp.....	30
Figura 5 - Poliestireno 50 mm e Papel Laminado	30
Figura 6 - Lâmpada Utilizada.....	31
Figura 7 - Dimmer	31
Figura 8 - Câmara Térmica.....	32
Figura 9 - Parede Acoplada	32
Figura 10 - Parede sendo acoplada com termômetros	33
Figura 11 - Paredes T3A.....	34
Figura 12 - Paredes T6A.....	34
Figura 13 - Paredes a serem ensaiadas	35
Figura 14 - Exemplo de Paredes com Isopor.....	35
Figura 15 - Projetor Pneumático.....	36
Figura 16 - 1 Camada	36
Figura 17 - 2 Aplicação	37
Figura 18 - 2 Aplicação Finalizadas	37
Figura 19 - Posicionamento dos Termômetros.....	38
Figura 20 - Parede com 80 mm	39
Figura 21 - Parede com 100 mm	39
Figura 22 - Parede com 140 mm	39
Figura 23 - Leitura das Temperaturas de Meia em Meia Hora	40
Figura 24 - Termômetro Utilizado.....	41
Figura 25 - Referência Termômetros	45
Figura 26 - Referência Termômetros	47
Figura 27 - Referência Termômetros	49
Figura 28 - Posicionamento Termômetros 80 mm	51
Figura 29 - Posicionamento Termômetros 100 mm	53
Figura 30 - Posicionamento Termômetros 140 mm	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características para Eps NBR 11752	22
Quadro 2 - Comparativo entre as paredes	28
Quadro 3 - Especificações do Termômetro	41
Quadro 4 - Estágios de Temperatura	42
Quadro 5 - Comparativo entre paredes 80 mm.....	46
Quadro 6 - Comparativo entre paredes 100 mm.....	48
Quadro 7 - Comparativo entre paredes 140 mm.....	50
Quadro 8 - Temperaturas Lidas T3A 80 mm	67
Quadro 9 - Temperaturas Lidas T6A 80 mm	67
Quadro 10 - Temperaturas Lidas T3A 100 mm	67
Quadro 11 - Temperaturas Lidas T6A 100 mm	68
Quadro 12 - Temperaturas Lidas T3A 140 mm	68
Quadro 13 - Temperaturas Lidas T6A 140 mm	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Parede 80 mm T3A	45
Gráfico 2 - Parede 80 mm T6A	46
Gráfico 3 - Parede 100 mm T3A	47
Gráfico 4 - Parede 100mm T6A	48
Gráfico 5 - Parede 140 mm T3A	49
Gráfico 6 - Parede 140mm T6A	50
Gráfico 7 - Temperatura Máxima 80mm T3A	51
Gráfico 8 - Temperatura Máxima 80mm T6A	52
Gráfico 9 - Comparativo de Temperaturas Máximas 80 mm.....	52
Gráfico 10 - Temperatura Máxima 100 mm T3A	53
Gráfico 11 - Temperatura Máxima 100 mm T6A	54
Gráfico 12 - Comparativo de Temperaturas Máximas 100mm.....	54
Gráfico 13 - Temperatura Máxima 140 mm T3A	55
Gráfico 14 - Temperatura Máxima 140 mm T6A	56
Gráfico 15 - Comparativo de Temperaturas Máximas 140mm.....	56
Gráfico 16 - Comparativo por Espessura de Parede T3A	57
Gráfico 17 - Comparativo por Espessura de Parede T6A	58
Gráfico 18 - Comparativo Todas as Paredes	58
Gráfico 19 - Comparativo Todas as Paredes Resultados.....	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	PROBLEMA ANALISADO	12
1.2	JUSTIFICATIVA	13
1.3	TEMA	14
1.4	DELIMITAÇÃO.....	14
1.5	OBJETIVOS	14
1.5.1	Geral	14
1.5.2	Específicos.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	16
2.2	TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM PAREDES COMPOSTAS	16
2.3	EPS.....	20
2.4	TELAS SOLDADAS.....	22
2.5	ARGAMASSA ARMADA.....	22
2.6	DESEMPENHO TERMICO.....	23
3	METODOLOGIA DA PESQUISA	29
3.1	ANÁLISE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TIPO DE PAREDE	29
3.2	CÂMARA TÉRMICA	29
3.3	SENSORES.....	33
3.4	EXECUÇÃO DAS PAREDES	33
3.5	POSIÇÕES DOS SENSORES.....	38
3.6	COLETA DOS DADOS DE TEMPERATURA EM DIFERENTES POSIÇÕES NAS PAREDES SELECIONADAS	40
3.7	CALIBRAÇÃO DOS SENSORES DE TEMPERATURA.....	40
3.8	PROCEDIMENTOS DE INSTRUMENTAÇÃO DAS PAREDES.....	41
3.9	PROCEDIMENTOS DE ENSAIO	42
3.10	MODELAGEM MATEMÁTICA	42
4	RESULTADOS	44
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
5.1	CONCLUSÕES	61
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62

REFERÊNCIAS	64
Anexo A - Temperaturas Lidas	67

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA ANALISADO

A pesquisa enquadra-se na área do Desempenho Térmico de Edificações, sendo que o foco da pesquisa foi entender o comportamento da transferência de calor em fechamentos opacos, mais especificamente em paredes executadas com blocos de EPS (Isopor).

Gehbauer *et al.* (2002), define que a qualidade utilizada nos métodos de execução e a intensidade com que se executa não evoluíram tanto quanto as teorias aplicadas às estruturas, deixando de lado a qualidade de execução e não alcançando os objetivos dos projetos. Por isso as construtoras optam por utilizarem métodos convencionais, aos quais já estão familiarizadas, sem buscar conhecer novas tecnologias que, talvez se encaixem melhor em seus empreendimentos, tanto financeiro como qualitativo.

De acordo com a resolução nº 307, de 5 julho de 2002 o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), determina, entre outras coisas, que os geradores dos resíduos da construção civil devem ser responsáveis por eles, e que o gerenciamento dos resíduos consiste em reduzir, reutilizar e/ou reciclar, de onde se observa que quanto mais produção de entulhos nas obras, maior energia, tempo gasto e custo acrescido ao valor final, qualquer que seja a opção que faça a construtora, ou mesmo utilizando opções combinadas. Uma das formas de minimizar impactos ambientais gerados pela construção civil seria por buscas de novas tecnologias, que não só devem ser ambientalmente corretas, mas também, economicamente viáveis.

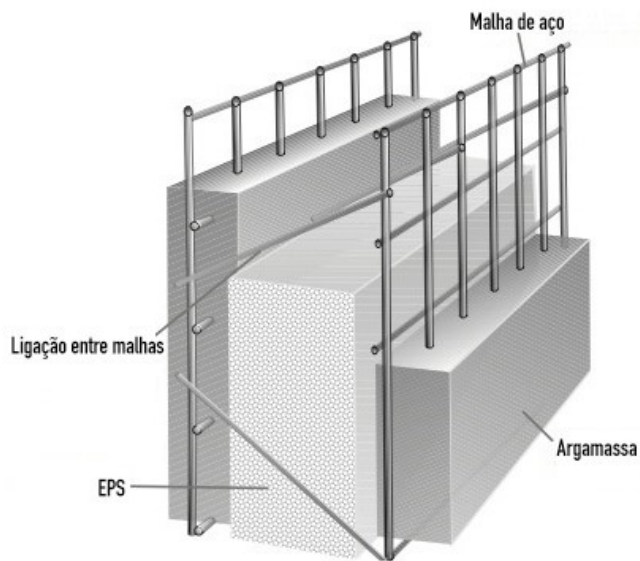
Umas das tecnologias que se adequam ao processo construtivo seria a substituição de paredes de alvenaria convencional por paredes de núcleo de poliestireno expandido (EPS).

O sistema construtivo mais avançado atualmente em termos do ponto de vista técnico, econômico e qualidade, é o processo Monolítico, aprovado pelo Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT). Este já é aplicado há mais de 30 anos nos mais variados e exigentes mercados da construção civil, como Itália, França, Alemanha e Estados Unidos. De acordo com Bertoldi (2007, p. 1) "a tecnologia é trazida para o Brasil na década de noventa, quando o sistema foi submetido a análises de pesquisa pelo IPT, onde foram feitos todos os testes e ensaios normativos exigidos para comprovação de sua eficiência.

Segundo Costa *et al.* (2014), a competitividade entre as empresas para se obter maiores lucros é grande, uma vez que as mesmas não dão tanta importância para os gastos com desperdícios de materiais em obras, além de ser um setor atrasado em relação aos setores industriais por estarem confortados em trabalhar estagnados, isso gera uma dificuldade de gerir

os processos. Nesse trabalho, o foco do estudo é o painel simples composto por três camadas, sendo duas camadas de argamassa armada (revestimento estrutural, em microconcreto, associado com tela eletro soldada) e uma placa central de EPS como vedação. A estrutura do painel é representada na Figura 1.

Figura 1 - Sanduiche de argamassa armada com núcleo de Eps



Fonte: Bruman Engenharia (2016).

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo a Procel (2020), o consumo de energia elétrica nas edificações corresponde, aproximadamente a 45% do consumo do país, sendo destacado, no entanto a possibilidade de redução em até 50% para novas edificações e de 30% para aquelas que promoverem reformas que contemplem os conceitos de eficiência energética em edificações. Entende-se que estas propostas possam ser o emprego de materiais com maior resistência térmica e de acordo com o clima local ou a correta orientação solar das esquadrias, por exemplo.

Segundo Gasparini (2005), o condicionamento de ar é um desperdício de energia grande e as maneiras de reduzir o consumo são fáceis e sem grandes investimentos. Além de reduzir custos, representa um maior conforto térmico para os ocupantes da edificação. De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (1997), todos os fechamentos opacos (paredes, pisos, tetos) podem ser fontes de ganhos ou perdas térmicas entre os meios exteriores e interiores.

Os autores destacam ainda que a inércia térmica sendo uma característica importante dos fechamentos opacos, deve ser analisada: os fechamentos opacos absorvem calor tanto do

exterior quanto do interior, dependendo de onde o ar tem a maior temperatura. Desta forma ao conduzir o calor de um extremo ao outro, o material retém uma parte deste calor no seu interior, devido a sua massa térmica. Quanto maior for a massa térmica, maior o calor retido, lembrando que o mesmo pode ser restituído ao interior quando a temperatura do ar for menor que a da superfície - aquecimento solar passivo (LAMBERTS, DUTRA; PEREIRA, 1997).

Neste contexto entende-se a importância deste estudo, diante da atual necessidade de reduzir o gasto de energia elétrica em ambientes climatizados e a obtenção do conforto térmico em ambientes não climatizados.

Desse modo, vale ressaltar que a tipologia de paredes aqui mostrada ainda possui características que muitas vezes são qualificadas no nível “superior” dentro dos itens da Norma de Desempenho.

1.3 TEMA

O tema proposto neste trabalho é um estudo do sistema com paredes em EPS (isopor) no tocante ao seu desempenho térmico.

1.4 DELIMITAÇÃO

O trabalho vai ser limitado ao estudo de pequenas paredes para o ensaio de transferência de calor, este projeto delimitou-se a colher informações e analisar dois modelos de sistemas construtivos no âmbito técnico.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Geral

O referido trabalho tem como objetivo levantar informações e características a respeito do sistema construtivo com paredes de EPS e avaliar através de um estudo experimental o desempenho térmico de uma “parede modelo” com revestimento em EPS.

1.5.2 Específicos

- a) apresentar as vantagens e desvantagens do sistema construtivo com paredes em EPS, mostrando a técnica executiva, em detalhes, e o atendimento às normas de desempenho,

técnicas e materiais utilizados na execução de uma “parede modelo”;

- b) empregar um procedimento experimental para a análise térmica de uma parede modelo e interpretar dos resultados obtidos;
- c) analisar o desempenho térmico do sistema de paredes em EPS, comparando-o com o de paredes em alvenaria por meio de estudos presentes na literatura técnica;
- d) contribuir através deste estudo para o desenvolvimento do sistema de paredes de EPS no Brasil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

De acordo com Incropera e Dewitt (1998), transferência de calor é o nome dado ao processo de transferência de energia sobre a forma de calor. O calor é definido como a forma de energia que é transferida entre dois sistemas ou um sistema e a sua vizinhança devido a um gradiente de temperatura. Isto quer dizer que uma transferência de energia é feita sobre a forma de calor, apenas se existir uma diferença de temperatura. Logo, não existe transferência de calor entre dois sistemas que se encontrem à mesma temperatura. Calor é energia em transição, sendo identificada apenas quando atravessa uma fronteira de um sistema

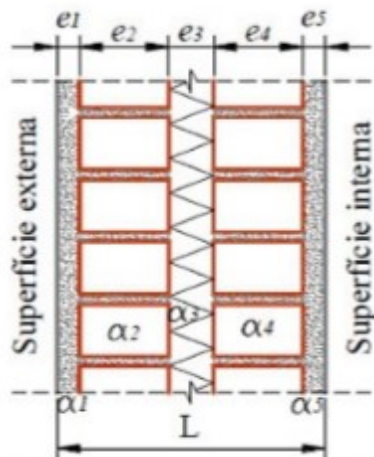
2.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM PAREDES COMPOSTAS

O problema de transferência de calor em paredes compostas por diferentes tipos de materiais foi modelado pela bem conhecida equação da condução de calor, adaptada para o caso em estudo, Equação 1, cuja demonstração pode ser encontrada em Incropera e Dewitt (2003) e em Özisik (1993).

$$\begin{aligned}\frac{\partial T}{\partial t} &= \alpha_i \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad 0 < x < L \text{ e } t > 0 \\ T(0, t) &= T_1(t), \text{ para } t > 0 \\ T(L, t) &= T_2(t), \text{ para } t > 0 \\ T(x, 0) &= T_0(x), \text{ para } 0 < x < L\end{aligned}\tag{1}$$

Onde: α_i é a difusividade térmica (m^2/s) dos materiais i , com $i = 1, 2, 3, 4, 5$, posicionados nas partições finitas e_i , do domínio $x \in [0, L]$; T é a temperatura ($^{\circ}C$); t é o tempo (s); x é a direção de transferência de calor (m); $T_1(t)$ e $T_2(t)$ são as condições de fronteira interna e externa respectivamente; e $T_0(x)$ é a condição inicial.

Figura 2 - Detalhe de uma parede composta por diferentes materiais



Fonte: Arquivo Pessoal Prof. Valdi Henrique Spohr, 2009.

Detalhe da parede composta por materiais de difusividades térmicas $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_3$, e espessuras $e_1, e_2, \dots, e_3$

Sobre as condições de contorno

A distribuição da temperatura em um dia de sol, sem nuvens, em uma parede exposta apresenta temperaturas amenas no início e no final do dia, e um pico de temperatura máxima em torno da meia tarde. A Equação 2 foi escolhida para descrever essa evolução de temperatura em função do tempo.

As condições de fronteira foram consideradas de primeira espécie (temperatura prescrita) obtidas experimentalmente, com sensores instalados em $x=0$ e $x=L$, para determinados valores de tempo, e expandidas para qualquer instante, por meio de um ajuste não linear. Com base nesses dados foram ajustados os parâmetros A , α e b da Equação 2.

$$T_f(t) = Ae^{-\alpha(t-b)^2} \quad (2)$$

Onde: T_f é a temperatura nas superfícies (externa ou interna) (oC); A é o parâmetro associado à temperatura máxima no período simulado (oC); α é um parâmetro ajustado associado à curvatura da função (1/s); b é um parâmetro ajustado associado ao instante de máxima temperatura no período simulado (s); e t é o tempo (s).

O parâmetro A está relacionado com a temperatura máxima; o parâmetro α com a curvatura da função; e b com o instante de tempo em que a temperatura é máxima no período. Todos os parâmetros foram ajustados pelo Método de Procura em Rede (MPR) de ajuste não linear, (SILVA NETO; MOURA NETO, 2005), através de programa próprio desenvolvido para

esse fim neste caso a média de todas as leituras.

A condição inicial foi obtida usando-se o valor médio de temperatura medida em cada posição da parede em $t = 0$ s.

A Equação 1 foi discretizada e resolvida em Diferenças Finitas Centrais pelo Método Implícito, levando em conta as condições de contorno como funções do tempo (Equação 2) e os diferentes valores das difusividades térmicas em cada camada da parede. A solução da Equação 1, com as respectivas condições de contorno, é chamada neste trabalho de Problema Direto.

Cálculo das difusividades térmicas – Problema Inverso (PI)

As difusividades térmicas dos materiais foram calculadas resolvendo o problema inverso de transferência de calor, com base nos dados experimentais de temperatura em função do tempo, para cada posição dos termopares no interior da parede, utilizando-se o MPR, de acordo com os seguintes passos:

1. 1º Passo: Estimam-se intervalos $I_p = [\alpha_{p\ min}, \alpha_{p\ max}]$ de valores de difusividade

onde $p=1,2,3,...,5$ (número de parâmetros) que contêm, por hipótese, cada um deles, o valor ótimo da difusividade de cada material;

2º Passo: Constrói-se uma partição de s pontos $\alpha_{pk} = \alpha_{pmin} + (k - 1)\Delta\alpha_p$ com $k=1,2,3,...,s$ e;

$$\Delta\alpha_p = (\alpha_{pmax} - \alpha_{pmin})/(s - 1)$$

3º Passo: Para cada sequência de valores $(\alpha_{1k}, \alpha_{2k}, \dots \dots \alpha_{nk})$ para $k=1,2,3,...,s$ resolve-se o Problema Direto usando a solução numérica;

4º Passo: Calculam-se as diferenças d_i entre as soluções calculadas (T_{cal}) e os dados experimentais (T_{exp}) usando a Equação 3:

$$d1 = \sum_{j=1}^m \sum_{t=0}^{t_f} (T_{cal}(j, t) - T_{exp}(j, t))^2 \quad (3)$$

Onde: $i=1,2,3,...,sn$; $T_{exp}(j,t)$ são os dados experimentais para cada posição j e tempo t ; e

5º Passo: Identifica-se o menor valor de d_i (d_{min}). Essa diferença corresponde ao conjunto de parâmetros α_{at} para o intervalo I_p .

O MPR é um método que não tem problemas de convergência, pois busca por inspeção

direta a solução que apresenta a menor diferença d_i (Equação 3) entre um conjunto de soluções finito. Por esse motivo pode ser considerado um método de soluções sub ótimas, porém, para um número suficientemente grande de divisões, em que o coeficiente de correlação não apresenta variações significativas, os resultados tendem a soluções ótimas. O método tem a vantagem de não necessitar de cálculo de derivadas, porém sua execução computacional tende a ser mais demorada que outros métodos, como Levenberg-Marquardt e Gradientes Conjugados, apresentados em Özisik e Orlande (2000) e em Silva Neto e Moura Neto (2005), por exemplo. Mesmo assim, mostrou-se um método eficiente para o presente problema.

Cálculo dos fluxos de calor nas superfícies das paredes

O fluxo de calor em uma superfície S, em dado instante de tempo, é definido pela Lei de Fourier, que discretizada, pode ser escrita com a Equação 4:

$$q = kA \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} \quad (4)$$

Onde:

q é o fluxo de calor (Wm^{-2}); A é a área, nesse caso considerada unitária (m^2); k é a condutividade térmica ($Wm^{-1}oC^{-1}$); x_1 e x_2 são posições nas superfícies à esquerda e à direita da superfície respectivamente; e T_1 e T_2 são as temperaturas nas posições x_1 e x_2 .

Neste trabalho foram utilizados os valores de condutividade térmica da literatura (INCROPERA; DEWITT, 2003).

A quantidade total de calor que passa, por metro quadrado, pela superfície S durante o tempo de experimento foi obtida somando-se o produto do fluxo de calor pelo intervalo de tempo Equação 5:

$$QT_j = \sum_{i=1}^n K_j \frac{T_{2i} - T_{1i}}{x_{2i} - x_{1i}} dt \quad (5)$$

Onde: QT é a quantidade total de calor (Jm^{-2}) no período de experimento; dt é o intervalo de tempo (s); n é o número de intervalos de tempo; os subíndices 1 e 2 referem-se às posições interna ou externa à superfície considerada; e j é a superfície cujo fluxo está sendo calculado.

É importante observar que a variável QT pode assumir valores positivos ou negativos. Na superfície $x = 0$ (externa), se $QT < 0$, significa que a parede recebeu calor do ambiente no período de experimento. Na superfície $x = L$ (interna), se $QT < 0$, significa que a parede

transferiu calor para o ambiente no período de experimento. Portanto, quanto menor o valor de QT, pior será seu desempenho como parede isolante.

Relação termo econômico

Com o intuito de avaliar o desempenho térmico e econômico das estruturas estudadas, criou-se o índice E (Equação 6), que é a relação termo econômica por unidade de área construída de parede.

$$E = \left(\frac{QT}{NC} \right) \quad (6)$$

Onde: E é a relação termo econômica por metro quadrado de parede (adimensional); C é o custo total de cada parede por metro quadrado (R\$/m²); e N é um valor de QT/C arbitrário, relativo a uma parede com péssima relação termo econômica.

O valor de N foi definido com base no menor valor observado da razão QT/C para os casos estudados, acrescido de uma margem extra, pois podem existir paredes com essa razão inferior aos casos estudados. Dessa forma, a relação termo econômico fica definida no intervalo $-\infty < E < 1$, sendo que o valor 1 refere-se a uma parede de péssimo desempenho termo econômico; se $0 < E < 1$, a parede cede calor ao ambiente interno, e se $-\infty < E < 0$, a parede retira calor do ambiente interno. (Análise da transferência de calor em paredes compostas por diferentes materiais, Ricardo Forgiarini Rupp; Pós-Graduação em Modelagem Matemática Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul Campus Ijuí)

2.3 EPS

De acordo com Soares (2014), o EPS foi descoberto na Alemanha em 1949 pelos químicos Fritz Stasny e Karl Bochholz. No Brasil é popularmente conhecido como Isopor®, marca registrada da empresa Knauf Isopor Ltda. De acordo com a norma DIN ISO 1043/78, esse material é um plástico celular rígido, resultado da polimerização do estireno (derivado do petróleo) em água. Esta transformação processa-se em três etapas: pré-expansão, armazenamento intermediário e moldagem. A expansão do poliestireno expansível, com densidade aparente de 600 a 700 kg/m³, é efetuada numa primeira fase num pré-expansor através de aquecimento por contato com vapor de água.

O objeto final é constituído de pérolas de até 3 milímetros de diâmetro, que se designam à expansão. No procedimento de transformação, as pérolas são submetidas à expansão em até 50 vezes em relação ao seu tamanho original, por meio de vapor, fundindo-se e moldando-se em diversas formas (ABRAPEX, 2015).

O isolamento térmico, leveza e o baixo custo são atributos que tem sustentado a presença do EPS no mercado (SANTOS, 2008).

A utilização de EPS na construção civil é constante, a princípio pode-se observar que esse uso é comum em lajes nervuradas chamadas de pré-moldadas com preenchimento de EPS, pois reduzem o peso e funciona como elemento de enchimento na laje e outros, melhorando suas características e possibilitando agilidade e economia na execução (SOUZA, 2002). Logo, percebe-se que o mesmo material pode ser utilizado também como alvenaria de vedação pois possui diversas vantagens. As principais características do Poliestireno Expandido é que apresentam uma grande variabilidade de utilização (SOUZA, 2002):

- a) baixa condutibilidade térmica - o corpo das células fechadas, porção muito grande de ar (97% de seu volume), atrapalha a passagem do calor o que concede ao EPS um grande poder isolante;
- b) leveza - as densidades do EPS variam entre os 10 - 30 kg/m³, possibilitando uma diminuição substancial do peso das construções;
- c) resistência mecânica - apesar de ser muito leve, o EPS tem uma alta resistência mecânica, que permite a sua aplicação onde esta propriedade é necessária. A resistência à compressão normalmente varia de 7000 kgf/m² até 14000 kgf/m², esta resistência é maior que a resistência de muitos solos;
- d) baixa absorção de água – o poliestireno expandido não é higroscópico. Mesmo quando imerso em água ele absorve meramente pouca água. Essa propriedade assegura que mantenha as suas características mecânicas e térmicas mesmo sob a ação da umidade;
- e) fácil de manusear e empregar - o EPS é um tipo de matéria que se trabalha com as ferramentas frequentemente disponíveis, alegando a sua adequação excelente à obra. O baixo peso simplifica o manuseamento do mesmo na obra. Todos os procedimentos de movimentação e colocação tornam-se significativamente reduzidas;
- f) econômico - levando em conta os vários critérios como baixo peso, mão de obra, transporte, armazenagem, manuseamento.

Quadro 1 - Características para Eps NBR 11752

PROPRIEDADES	NORMA	Unidade	TIPOS	DE EPS					
	Método Ensaio		TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4	TIPO 5	TIPO 6	TIPO 7
Densidade Aparente Nominal	NBR 11949	Kg/m ³	10	12	14	18	22,5	27,5	32,5
Densidade Aparente Mínima	NBR 11949	Kg/m ³	9	11	13,0	16	20	25	30
CONDUTIVIDADE TÉRMICA Máxima (23°C)	NBR 12094	W/(mK)	-	-	≤ 0,042	≤ 0,039	≤ 0,037	≤ 0,035	≤ 0,035
Tensão por COMPRESSÃO com deformação de 10%	NBR 8082	KPa	≥ 33	≥ 42	≥ 65	≥ 80	≥ 110	≥ 145	≥ 165
Resistência mínima à FLEXÃO	ASTM C-203	KPa	≥ 50	≥ 60	≥ 120	≥ 160	≥ 220	≥ 275	≥ 340
Resistência mínima ao CISALHAMENTO	EN-12090	KPa	≥ 25	≥ 30	≥ 60	≥ 80	≥ 110	≥ 135	≥ 170
Flamabilidade se Material Classe F	NBR 11948	-	Material Retardante à Chama	Material Retardante à Chama	Material Retardante à Chama	Material Retardante à Chama	Material Retardante à Chama	Material Retardante à Chama	Material Retardante à Chama

Fonte: (ABNT, 2016; ISOFERES, 2020).

2.4 TELAS SOLDADAS

Hanai (1992), comenta:

As telas soldadas surgiram no fim da primeira guerra mundial, quando a construção civil estabeleceu o foco no desenvolvimento de novos materiais. Apresentando novas características e opções, as telas eletro soldadas atendem às necessidades de diversos tipos de projetos da construção civil, sendo um dos materiais mais utilizados. No Brasil as telas eletro soldadas começaram a ser utilizadas no final da década de 50, onde sua introdução foi bastante difícil, devido à falta de informações sobre o material e a resistência dos construtores em promover mudanças nos seus processos construtivos.

Segundo Medeiros (2017), as malhas utilizadas no referido sistema construtivo são produzidas com aço de alta resistência, com limite de resistência superior a 600MPa, com limite de escoamento, $f_yk > 600$ MPa e limite de ruptura, $f_{tk} > 680$ MPa. O aço utilizado pode ser do tipo comum, galvanizado a quente, zincado e inoxidável, variando conforme a necessidade de aplicação e resistindo as agressões ao longo do tempo, com malha variando de 50x50 a 150x150 mm e diâmetro das barras variando de 3,4 a 10,0 mm.

2.5 ARGAMASSA ARMADA

A argamassa armada surgiu na década de 1850, sendo chamada de fer-ciment pelo seu idealizador Joseph-Louis Lambot, e foi patenteada na França, sendo considerada como o precursor do atual concreto armado. Em 1922, a argamassa armada foi utilizada na construção da primeira cúpula geodésica do mundo, na fábrica de Carl Zeiss, na Alemanha. Esta estrutura foi a primeira estrutura em casca executada com concreto (MEDEIROS, 2017).

Campos (1994) define: “A argamassa armada é um microconcreto armado, resultante

da associação de argamassa (cimento, areia e água), com uma armadura de aço constituída por fios de pequeno diâmetro e pouco espaçada entre si (tela soldada)”.

Medeiros (2017, p. 22), comenta:

A argamassa estrutural deve possuir resistência mecânica suficiente para suportar os esforços atuantes, rigidez satisfatória evitando deformações excessivas, estabilidade física, química e dimensional para se manter acima dos limites mínimos durante a vida útil de projeto, além de possuir elevada compacidade e baixa permeabilidade para funcionar como uma barreira eficiente à passagem de líquidos e gases no seu interior, que possam prejudicar a proteção da armadura ou as próprias condições de utilização do componente ou estrutura.

De acordo com Bertoldi (2007), para satisfazer às condições citadas, a argamassa estrutural deve possuir relação cimento e areia entre 2,0 e 4,5, com a quantidade de cimento Portland variando em função da granulometria dos agregados constituintes. A relação água/cimento (A/C), pode variar de acordo com a resistência característica necessária. A NBR – 11.173:1990, recomenda uma relação água/cimento máxima de 0,45. A argamassa estrutural possui o consumo de cimento entre 500 a 700 kg/m³, para resistências a compressão variando entre 30 e 50 MPa e massa específica de 24 kN/m³. Através de estudos e ensaios, atualmente obtém-se resistência de 15 Mpa em paredes com EPS.

2.6 DESEMPENHO TERMICO

Segundo Frota e Schiffer (2009), quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem maior esforço, a sensação do indivíduo é de conforto térmico e sua capacidade de trabalho, desse ponto de vista, é máxima. O uso de equipamentos de aquecimento e resfriamento nas habitações é cada vez maior, acompanhado de maior gasto de energia. Os elementos de vedação podem contribuir no desempenho térmico da edificação, proporcionando aos ambientes internos temperaturas agradáveis, entretanto, dependendo de sua aplicação, seus efeitos poderão ser contrários, gerando desconfortos e até aumento no consumo de energia.

Para a análise do desempenho térmico, conhecendo a localização da edificação, deve-se conhecer os materiais da fachada e a área de contribuição para as seções das vedações, para determinar a resistência térmica da parede. As formulações e cálculos utilizados foram retirados da NBR 15220-2 (ABNT, 2005a).

As Figuras (20,21,22) representa os perfis das paredes que será utilizado para a análise.

Resistência Térmica:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \text{ (M}^2\text{K)/W}$$

R_{si} = Resistência superficial interna

R_t = Resistência superficial externa

R_{se} = Resistência superficial núcleo

Onde:

$$R_T = R_{\text{argamassa}} + R_{\text{eps}} + R_{\text{argamassa}} \text{ (M}^2\text{K)/W}$$

Sendo:

$$R = \frac{e}{\lambda} + \text{(M}^2\text{K)/W}$$

e = Espessura da camada (m)

λ = Condutividade térmica do material (W/mK)

$R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ e $e = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$, segundo a NBR 15220;

$$R_t = \frac{e_{\text{arg}}}{\lambda_{\text{arg}}} + \frac{e_{\text{eps}}}{\lambda_{\text{eps}}} + \frac{e_{\text{arg}}}{\lambda_{\text{arg}}} \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_t = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,08}{0,04} + \frac{0,02}{1,15} = 2,03 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Então a Resistência Total:

$$R_t = 0,13 + 2,03 + 0,04 = 2,20 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Transmitância Térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} W/(m^2K)$$

$$U = \frac{1}{2,20} = 0,45 W/(m^2K)$$

Quanto menor a transmitância térmica, menor a quantidade de calor trocado entre os ambientes interno e externo, melhorando assim o conforto térmico da edificação. A NBR 15220-2 estabelece que para vedações leves a transmitância deve ser inferior a 3,00 W/(m²K). Desse modo, satisfaz a norma (ABNT, 2005a).

Capacidade térmica da parede:

Verificação:

$$C_{ta} = \sum_{i=1}^5 e_i c_i \rho_i \text{ kJ}/(m^2K)$$

$$C_{Tparede} = (e_i c_i \rho_i)_{arg} + (e_i c_i \rho_i)_{eps} + (e_i c_i \rho_i)_{arg} \text{ kJ}/(m^2K)$$

e_i – Espessura (m)

c_i - Calor específico (J/kgK)

ρ_i - Densidade de massa aparente (kg/m³)

$$C_{Tparede} = 2 * (0,02 * 1,0 * 2000)_{arg} + (0,08 * 1,42 * 15)_{eps}$$

$$C_{Tparede} (80)_{arg} + (1,70)_{eps} = 81,7 \text{ kJ}/(m^2K)$$

A capacidade térmica determina a quantidade de calor que um corpo precisa receber para alterar sua temperatura em uma unidade. Assim, quanto maior a capacidade térmica da vedação, menor será a variação de temperatura interior proveniente das mudanças no ambiente externo.

Segundo a NBR 15575-4 (ABNT, 2008), para edifícios habitacionais de até 5 pavimentos, as fachadas devem apresentar nível de desempenho, quanto a capacidade térmica, igual ou superior a 45 kJ/(m²K). Desse modo, satisfaz a norma. (na parede ensaiada de menor volume, sendo realizada para as demais.)

Atraso Térmico:

Para vedações compostas:

$$\varphi = 1,328 * R_t \sqrt{B_1} + B_2 (\text{Horas})$$

Onde:

$$R_t = 1,98 \frac{m^2 K}{W}$$

$$B_1 = 0,226 * \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_2 = 0,205 * \left(\frac{(1,15 * 1,0 * 2000)_{ext}}{R_t} \right) * \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B_0 = C_{Tparede} - (epc)_{argext}$$

Então:

$$B_0 = 81,70 - (0,02 * 1,0 * 2000) = 41,7$$

$$B_1 = 0,226 * \frac{41,7}{2,20} = 4,28$$

$$B_2 = 0,205 * \left(\frac{(1,15 * 1,0 * 2000)_{ext}}{2,20} \right) * \left(0,02 - \frac{2,20 - \frac{0,02}{1,15}}{10} \right)$$

$$B_2 = -42,44$$

Segundo a norma, quando "B₂" assume valores negativos, deve-se desprezar o valor.

Assim,

$$\varphi = 1,382 * 2,20 \sqrt{4,28} = 6,29 \text{ horas}$$

O atraso térmico é o período correspondente, entre a defasagem das amplitudes de temperatura interna e externa de uma edificação, em horas. Em outras palavras, quanto maior o atraso térmico maior o isolamento da vedação. A NBR 15220-2 estabelece que para vedações

leves o atraso térmico de ser maior ou igual a 4,3 horas. Desse modo, o valor encontrado satisfaz a norma.

Fator Solar – FS:

$$F_s = 4 * 0,45 * \alpha$$

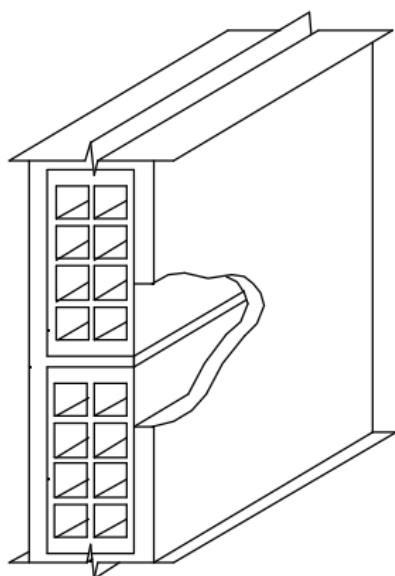
Para paredes brancas, $\alpha = 0,2$

$$F_s = 4 * 0,45 * 0,2 = 0,36 \%$$

De acordo com a NBR 15220-2, os tipos de vedações externas, O Fator Solar deve ser inferior a 4%, satisfazendo a norma (ABNT, 2005a).

Paredes em alvenaria de blocos cerâmicos: A NBR 15220-2 apresenta no Anexo D, na Tabela D.3 as características de diversas paredes comumente utilizadas no Brasil. Dentre elas, está a parede composta por tijolos de 8 furos quadrados (9,0x19,0x19,0 cm), assentados na menor dimensão, com espessura da argamassa de assentamento de 1,0 cm e espessura de revestimento de 2,5 cm, totalizando assim a espessura total de 14 cm (Figura 23). As características da parede de alvenaria em blocos cerâmicos são mostradas abaixo:

Figura 3 - Esquema de parede alvenaria de blocos cerâmicos



Fonte: (ABNT, 2005b).

Transmitância Térmica:

$$U = 2,49 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Capacidade térmica da parede:

$$C_{\text{Tparede}} = 158 \text{ kJ/(m}^2\text{K)}$$

Atraso Térmico:

$$\varphi = 3,30 \text{ horas}$$

Quadro 2 - Comparativo entre as paredes

Descrição	Transmitância Térmica U [W/(m ² K)]	Carga Térmica [kJ/(m ² K)]	Atraso Térmico [h]
Parede sanduíche com painel armado e núcleo de EPS, revestido com 2 camadas de argamassa armada. Espessura do EPS: 8 cm Espessura da argamassa (camada): 2 cm Espessura total da parede: 12 cm	0,45	81,7	6,29
Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão. Dimensões do tijolo: 9,0 x 19,0 x 19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1 cm Espessura da argamassa de emboço (camada): 2,5 cm Espessura total da parede: 14 cm	2,49	158,00	3,30

Fonte: Do Autor, 2020.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 ANÁLISE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TIPO DE PAREDE

Todas as formas de transferência de calor requerem a existência de uma diferença de temperatura (ÇENGEL; BOLES, 2007). A transferência de calor processa-se do meio que tem uma temperatura mais elevada para o que tem uma temperatura mais baixa.

O coeficiente global de transmissão térmica define a habilidade global de barreiras condutivas ou convectivas para transmitirem calor.

O coeficiente de transmissão térmica de um elemento construtivo pode ser calculado ou pode ser medido. O conhecimento dos valores das condutibilidades térmicas, permite o cálculo da resistência térmica dos elementos construtivos.

Calor é energia em transição, sendo identificada apenas quando atravessa uma fronteira de um sistema que neste caso será das paredes com EPS.

Utilizaremos referências bibliográficas para complementar nossas ideias e como embasamento científico ao nosso trabalho.

3.2 CÂMARA TÉRMICA

Com a finalidade de reproduzir aproximadamente as condições de aquecimento em paredes expostas ao sol, construiremos uma câmara térmica. (Figura 3). A câmara térmica desenvolvida por Rupp (2009), mede internamente 60x40x40 cm, sendo que uma das faces de 40x40 cm é vazada sendo reproduzida para sua mesma finalidade. Os materiais utilizados para a confecção da câmara térmica será: madeira compensada parafusada, poliestireno expandido de 50 mm, papel laminado (Figura 4), uma lâmpada (idêntica as usadas para secagem de solos e estufas) (Figura 5), um dimmer (Figura 6) e ferragens. As faces internas da caixa serão revestidas com poliestireno expandido e forradas com papel laminado (Figura 7).

Figura 4 - Exemplo de Câmara Térmica Rupp



Fonte: Arquivo Pessoal Prof. Valdi Henrique Spohr, 2009

Figura 5 - Poliestireno 50 mm e Papel Laminado



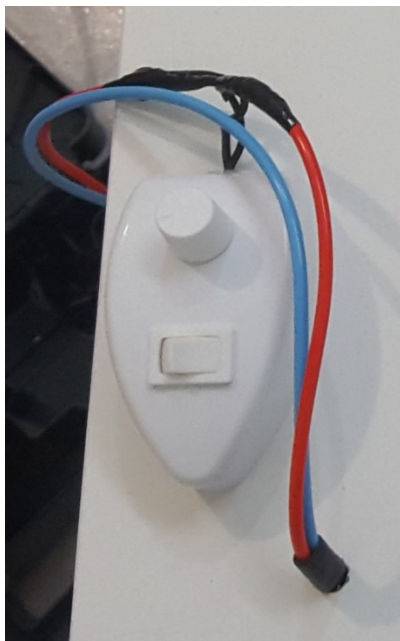
Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 6 - Lâmpada Utilizada



Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 7 - Dimmer



Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 8 - Câmara Térmica



Fonte: Do Autor, 2020.

A câmara será calibrada através de um termômetro, para atingir as temperaturas desejadas de 30°C, 45°C e 60 °C. As paredes ensaiadas serão acopladas na face aberta da câmara, recebendo assim o calor da lâmpada (Figuras 9, 10).

Figura 9 - Parede Acoplada



Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 10 - Parede sendo acoplada com termômetros



Fonte: Do Autor, 2020.

3.3 SENSORES

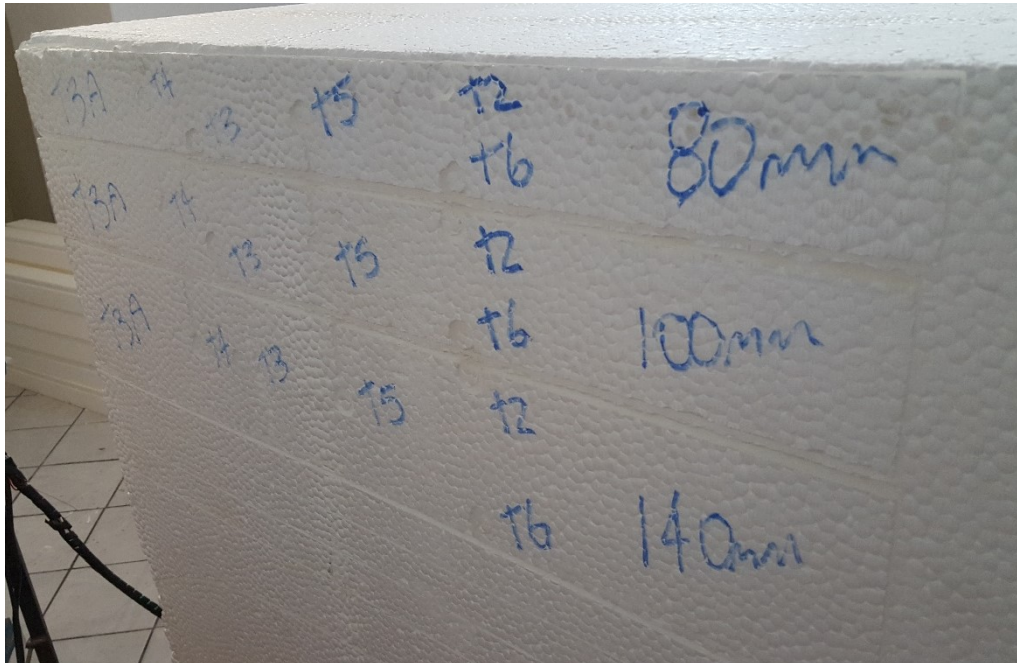
Serão calibrados nove sensores, dos quais foram utilizados oito nos ensaios. A calibração deles se dará da seguinte maneira: colocam-se os sensores em um recipiente com água, a qual gradativamente aquecida e posteriormente gradativamente resfriada. Com base nas leituras de cada sensor e do termômetro base, coletam-se as diversas temperaturas que posteriormente utilizadas para elaboração de um gráfico linear. Através desse gráfico verifica-se os sensores que tenha um coeficiente de determinação (R^2) mais alto (mais próximo de 1, melhor o ajuste), ou seja, os que melhor se ajustaram ao termômetro base.

3.4 EXECUÇÃO DAS PAREDES

Foram destacados três tipos de blocos e duas densidades T3 e T6 (Quadro 1) aplicados com espessuras de (0,080m 0,10m 0,14m) (Figura 10, 11). Núcleo central de poliestireno expandido, não tóxico, auto extingüível, quimicamente inerte e de densidade e morfologia variável com o modelo de cada painel, exemplos de paredes tradicionais utilizadas em painéis monolíticos de EPS. No total serão seis paredes ensaiadas (Figura 12). Exemplo de paredes com EPS (Figura 13), sendo que em todas utilizada argamassa ACII com a utilização de projetor pneumático (Figura 14). São, ao menos, duas camadas em cada face do painel: a primeira, com 0,7 cm até a altura da malha, 10 x 15 cm (Figura 15), 48 horas depois, no máximo, é feita a

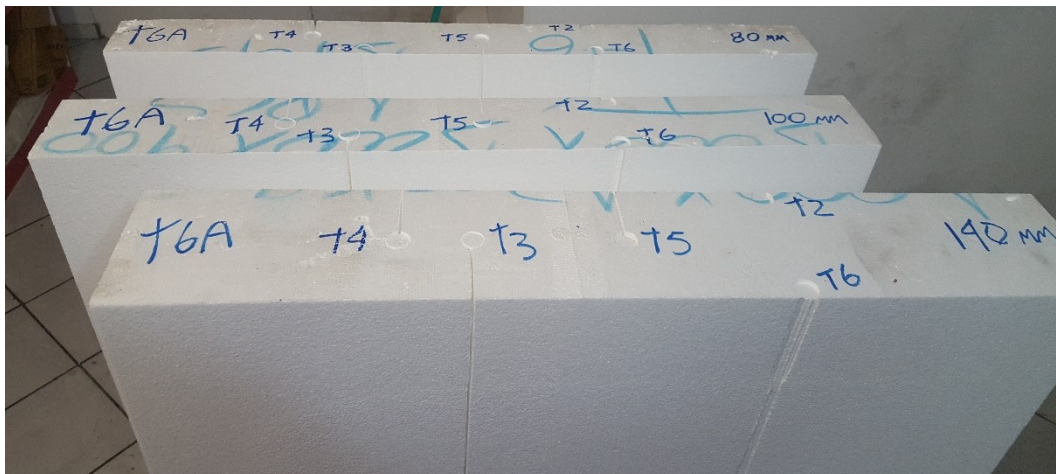
segunda aplicação com 1,3 cm de espessura (Figura 16, 17). Traço 3:1 (areia – cimento) mais adesivo Bianco na primeira etapa com um vedante de umidade Vedacil.

Figura 11 - Paredes T3A



Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 12 - Paredes T6A



Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 13 - Paredes a serem ensaiadas



Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 14 - Exemplo de Paredes com Isopor



Fonte: Grupo Isorecort (*apud* VELOSO, 2020).

Figura 15 - Projeter Pneumático



Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 16 - 1 Camada



Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 17 - 2 Aplicação



Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 18 - 2 Aplicação Finalizadas

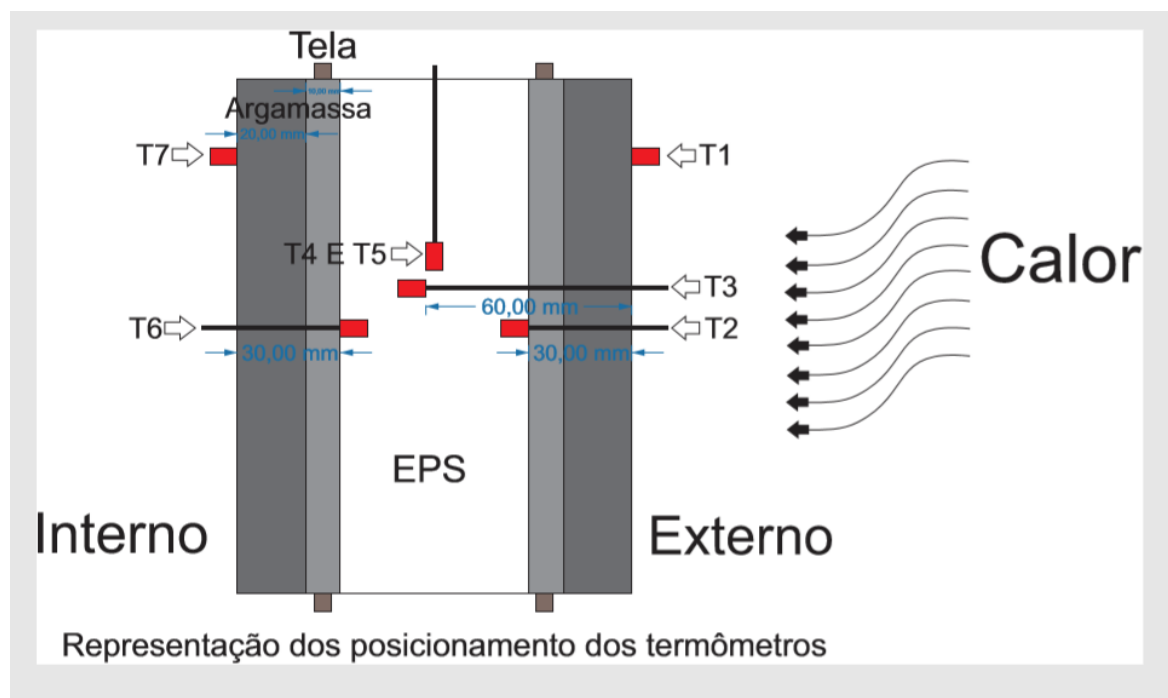


Fonte: Do Autor, 2020.

3.5 POSIÇÕES DOS SENSORES

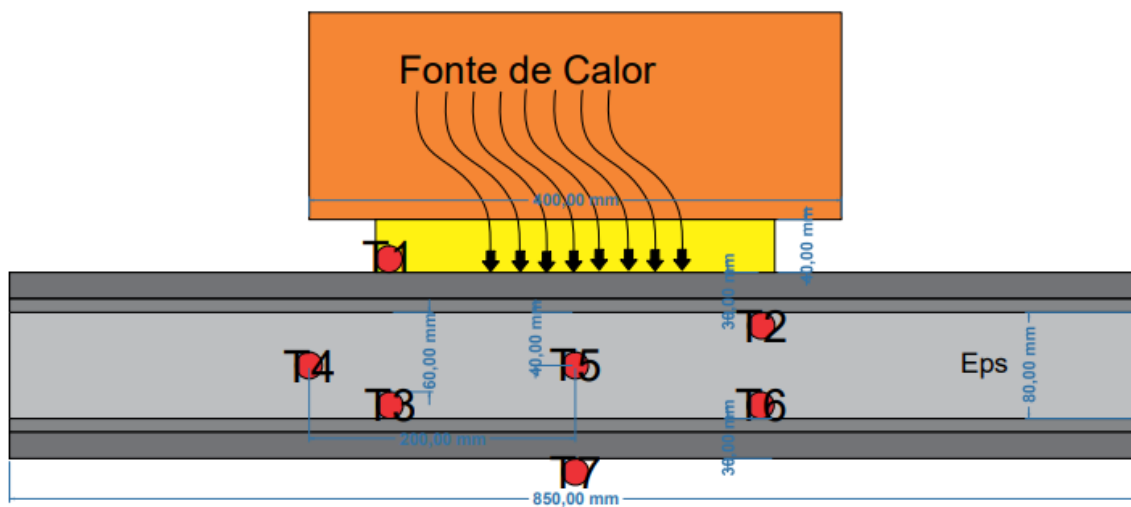
As posições dos sensores serão estrategicamente selecionados visando à captação de temperaturas em diferentes áreas assim distribuídas (Figura 18): T1= superfície externa da parede; T2= a 2 cm na argamassa de assentamento em relação à face externa da parede; T3= a 6 cm na argamassa de assentamento em relação à face externa da parede; T4 e T5= suspensos pelos fios dos próprios sensores com furos centrais nos blocos de eps (à esquerda e à direita); T6= a 2 cm na argamassa de assentamento em relação à face interna da parede; T7= superfície interna da parede.

Figura 19 - Posicionamento dos Termômetros



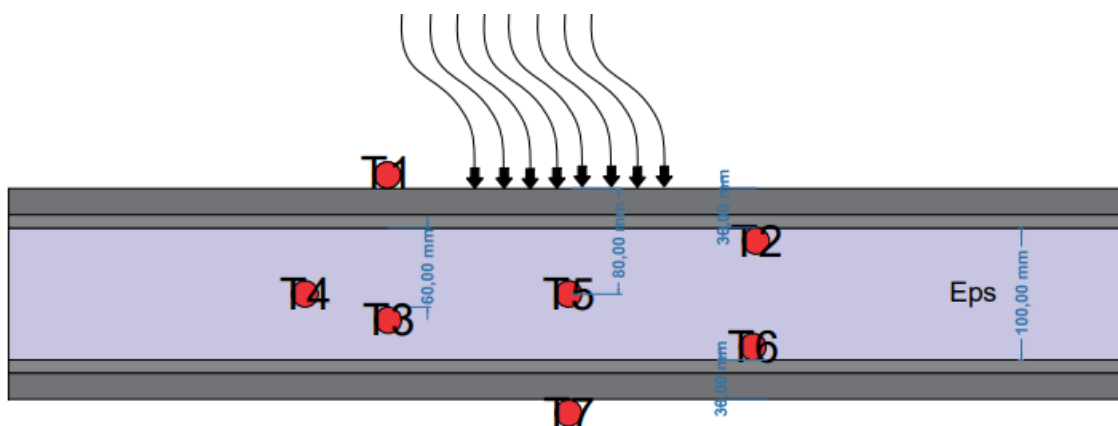
Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 20 - Parede com 80 mm



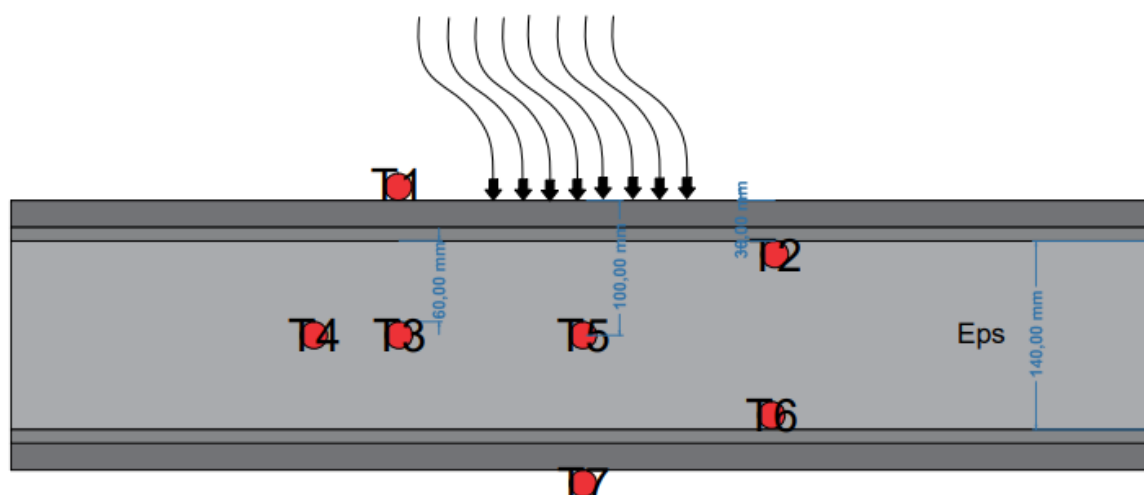
Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 21 - Parede com 100 mm



Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 22 - Parede com 140 mm



Fonte: Do Autor, 2020.

3.6 COLETA DOS DADOS DE TEMPERATURA EM DIFERENTES POSIÇÕES NAS PAREDES SELECIONADAS

Os ensaios serão realizados através da colocação da câmara térmica acoplada na face externa de cada uma das paredes ensaiadas. A câmara é vedada externamente com isopor para o perfeito acoplamento na parede, evitando assim alguma perda de calor por possíveis imperfeições na superfície da parede. As temperaturas dos sensores serão lidas de meia em meia hora, (Figura 22) destacando-se que a temperatura da câmara foi aumentada de hora em hora, e posteriormente resfriada de hora em hora. Os gradientes de temperatura utilizados foram: 30°C, 45°C e 60°C

Figura 23 - Leitura das Temperaturas de Meia em Meia Hora



Fonte: Do Autor, 2020.

3.7 CALIBRAÇÃO DOS SENSORES DE TEMPERATURA

Para que os dados medidos sejam precisos é necessário calibrar o aparelho de medida de temperatura. A escala do sensor de temperatura utilizado deve coincidir com uma escala conhecida. Assim, para a calibração dos sensores de temperatura utilizados, termômetro digital externo da categoria atmosférica (Figura 23), possuindo as especificações contidas no (Quadro 3) foi usado como referência um termômetro de vidro.

Figura 24 - Termômetro Utilizado



Fonte: Do Autor, 2020.

Quadro 3 - Especificações do Termômetro

Faixa de temperatura	-50 °c 110 °c
Resolução da tela de temperatura	0.1 °c
Precisão da medida da temperatura	1 °c
Linha de ponta de prova	1 metro
Tamanho	47x28x14mm
Alimentação	2 x bateria de botão 1r44
Marca	Zqc

Fonte: Zqc (2020).

3.8 PROCEDIMENTOS DE INSTRUMENTAÇÃO DAS PAREDES

Os procedimentos para a preparação (instrumentação da parede) das diferentes configurações de paredes ao ensaio na câmara térmica têm os seguintes passos:

1º passo: após a construção das paredes, para garantir uma adequada cura dos materiais cimentícios foram mantidos em local coberto, permanecendo assim por 14 dias.

2º passo: como os cortes nas paredes já tinham se realizado por CNC foi realizado a limpeza dos furos por aspiração de ar.

3º passo: inserção de cinco sensores de temperatura na parede ao longo de sua espessura L (eixo x); inserção de dois sensores de temperatura em ambos os lados da parede, sendo um sensor em $x = 0 \text{ cm}$ (T_1) e o outro em $x = L$ (T_7), para medição da temperatura interior e

exterior, respectivamente. Os esquemas de inserção dos sensores e as imagens das paredes já construídas encontram-se nas Figuras 20 a 22. É importante assegurar que os sensores de temperatura nas extremidades das paredes estejam encostados nas faces destas.

3.9 PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

O ensaio na câmara térmica tem os seguintes procedimentos

Acoplamento das paredes em estudo (Figura 9), já devidamente instrumentada com os sensores de temperatura nela inseridos (Figuras 10 e 23), na extremidade aberta da câmara – nesse acoplamento o centro da parede deve coincidir com o centro da lâmpada;

Acionamento e regulação da fonte de calor em função do tempo, de acordo com a escala de temperatura definida (Quadro 4), sendo realizadas leituras da temperatura de cada sensor de 30 em 30 minutos, desde o instante inicial ($t = 0$) até o instante final ($t = 6$ horas). Nos momentos de mudança do estágio de temperatura, a leitura da temperatura de cada sensor ocorre imediatamente antes da mudança.

Quadro 4 - Estágios de Temperatura

Temperatura Leitura
30
Pequena Variação
45
Pequena Variação
60
Pequena Variação
60
Pequena Variação
45
Pequena Variação
30
Pequena Variação

Fonte: Do Autor, 2020.

3.10 MODELAGEM MATEMÁTICA

Antes de apresentar os procedimentos da modelagem matemática torna-se necessário distinguir superfície externa de superfície interna.

Superfície externa da parede é a superfície na qual incide o calor produzido pela

lâmpada, simulando as condições ambientais da face da parede em contato com o ambiente (exterior).

Superfície interna da parede é a superfície exposta às condições ambientais do laboratório, simulando as condições internas de temperatura da parede (interior).

4 RESULTADOS

Após a validação do equipamento realizou-se os ensaios experimentais, utilizando-se da câmara térmica, nas configurações de paredes definidas.

Desta forma, foi possível medir as distribuições de temperatura ao longo da espessura de cada parede, incluindo as condições de fronteira: temperaturas ao longo do tempo em $x = 0$, temperaturas ao longo do tempo em $x = L$, e temperaturas iniciais em $t = 0$.

Com os ensaios laboratoriais terminados, passou-se a próxima etapa da pesquisa, que consistia na modelagem matemática. Os resultados desta modelagem encontram-se na sequência deste capítulo, bem como demais informações relevantes para a análise da transferência de calor em paredes compostas.

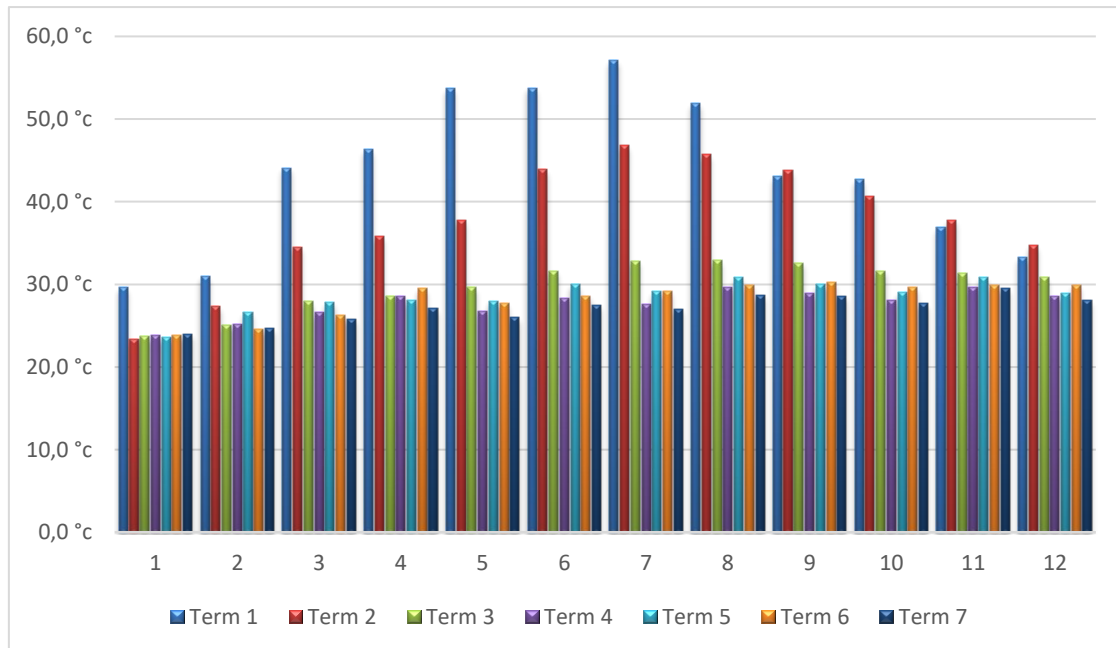
Cabe ressaltar que da maneira na qual foram realizados os ensaios na câmara térmica, temperatura externa maior que a temperatura interna, simulou-se o comportamento térmico de primavera. Assim, os desempenhos térmicos e econômicos dizem respeito a esta estação do ano, o que pode ser diferente para outras estações.

A quantidade total de calor que passa pela parede durante o dia é o balanço geral de todo o calor que entra e sai pela superfície. É a soma algébrica da quantidade de calor de cada instante de tempo. Este dado também é importante para verificar a eficiência da parede como isolante térmico.

Assim, a comparação dos fluxos e das quantidades de calor para cada composição é uma informação importante para a análise do desempenho térmico, visando uma melhor utilização dos materiais e a minimização do gasto de energia com refrigeração e aquecimento de ambientes. No presente estudo interessa fazer essa comparação em $x = L$, pois aí se situa a superfície interna da parede, ou seja, quanto menos calor passar para a superfície interna melhor é o desempenho térmico desta.

No Gráfico 1 é apresentado as leituras obtidas nos termômetros do experimento na íntegra, sendo aplicado na parede 80 mm em material t3a

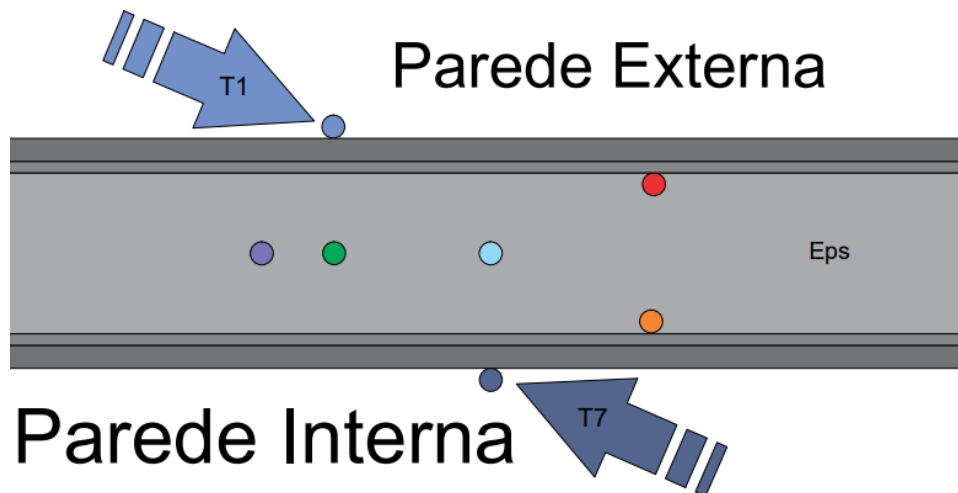
Gráfico 1 - Parede 80 mm T3A



Fonte: Do Autor, 2020.

No gráfico observamos somente alterações consideráveis no 1 e 2 termômetros demais permaneceu estável.

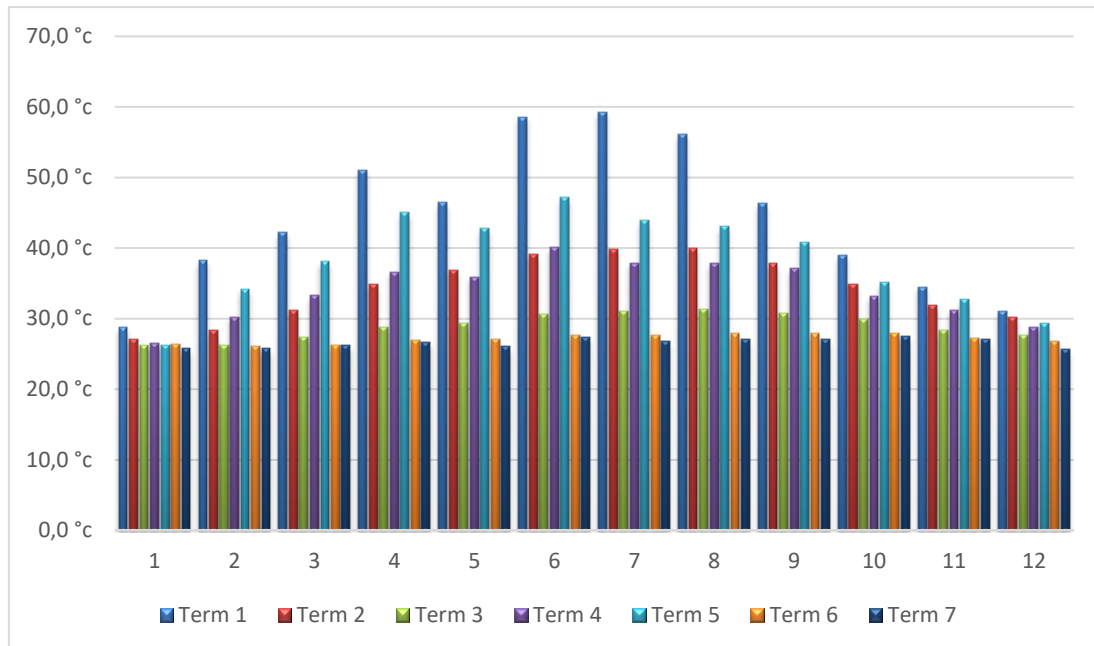
Figura 25 - Referência Termômetros



Fonte: Do Autor, 2020.

No Gráfico 2 é apresentado as leituras obtidas nos termômetros do experimento na integra, sendo aplicado na parede 80 mm em material t6a

Gráfico 2 - Parede 80 mm T6A



Fonte: Do Autor, 2020.

No gráfico observamos que neste modelo comparado anterior houve bastante variação térmica, mas sendo que na parte interna apresentou melhor resultado.

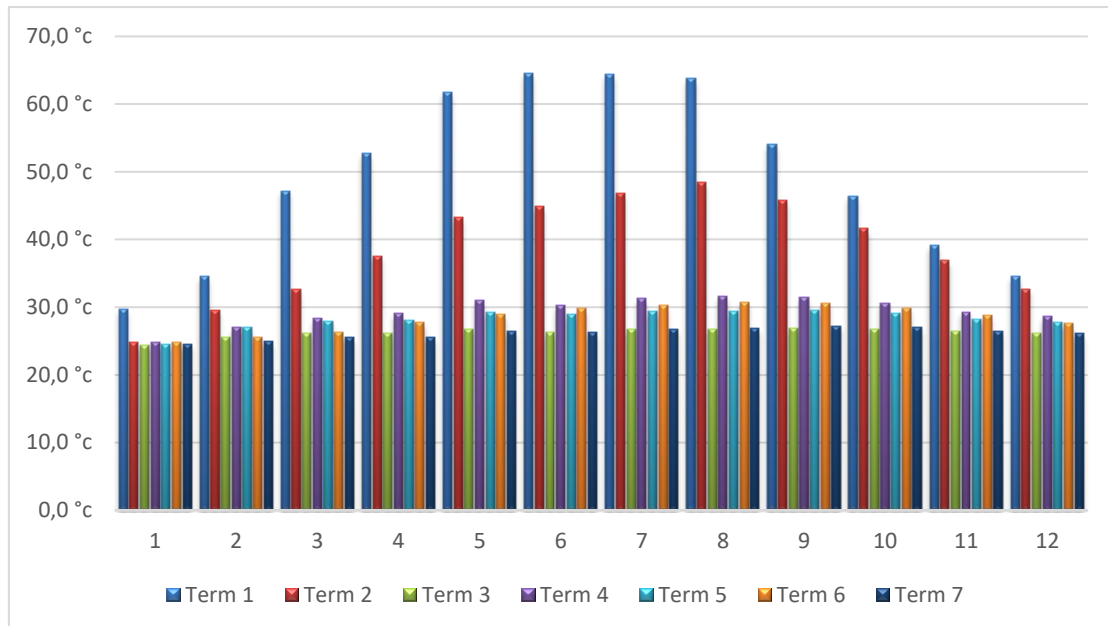
Quadro 5 - Comparativo entre paredes 80 mm

Parede 80 mm T3A	Parede 80 mm T6A
Temperatura Média 27,1 °c Ambiente	Temperatura Média 25,7 °c Ambiente
Temperatura Média Termômetro 1 - 43,6 °c	Temperatura Média Termômetro 1 - 44,3 °c
Temperatura Média Termômetro 7 - 27,1 °c	Temperatura Média Termômetro 7 - 26,6 °c

Fonte: Do Autor, 2020.

No Gráfico 3 é apresentado as leituras obtidas nos termômetros do experimento na integra, sendo aplicado na parede 100 mm em material t3a

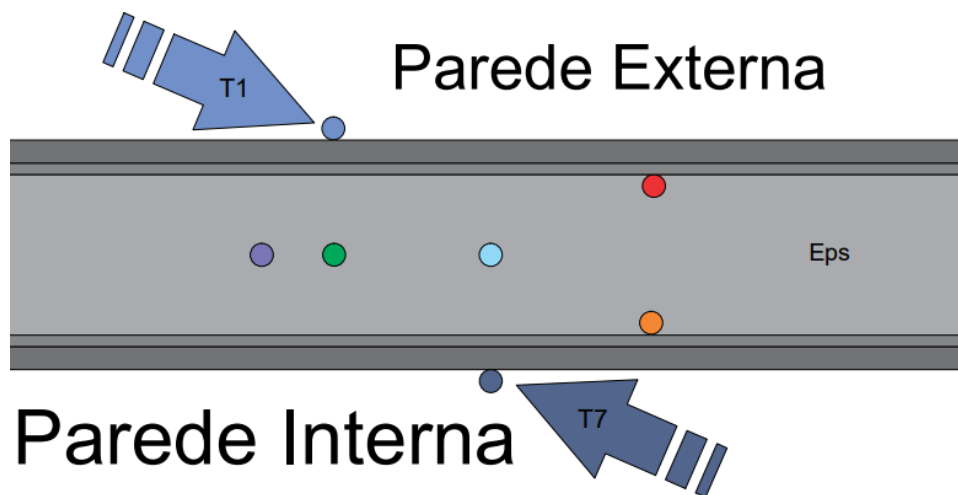
Gráfico 3 - Parede 100 mm T3A



Fonte: Do Autor, 2020.

No gráfico observamos que nesta parede durante um período de 2 horas sua temperatura ficou acima de 60° C e que seus resultados superaram a expectativa.

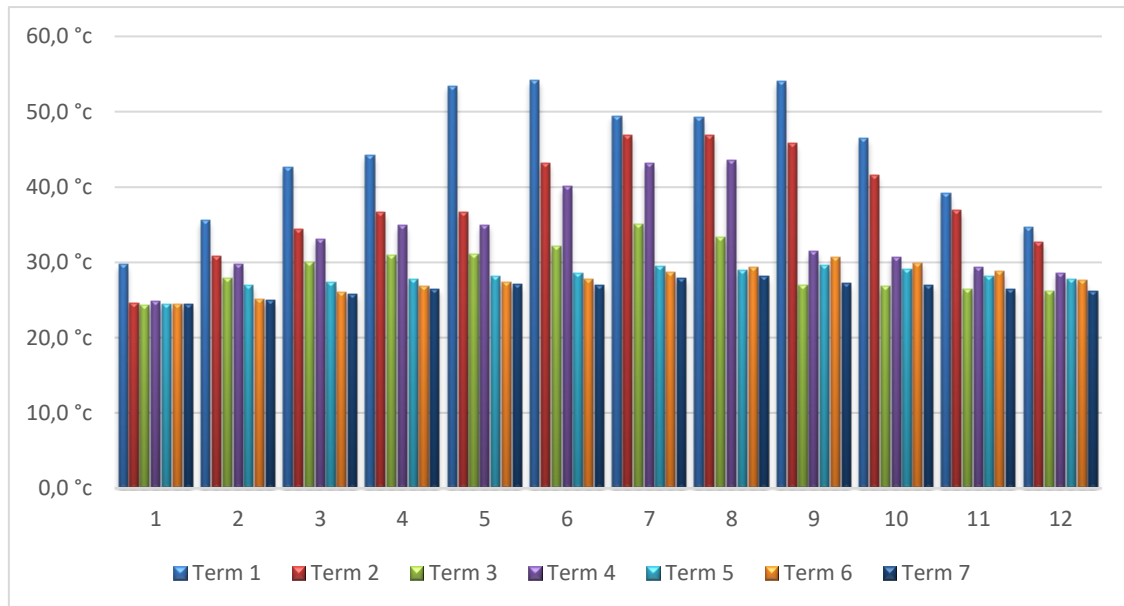
Figura 26 - Referência Termômetros



Fonte: Do Autor, 2020.

No Gráfico 4 é apresentado as leituras obtidas nos termômetros do experimento na integra, sendo aplicado na parede 100 mm em material t6a.

Gráfico 4 - Parede 100mm T6A



Fonte: Do Autor, 2020.

No gráfico observamos um dado interessante na 9 leitura nesta parede a temperatura se manteve praticamente a mesma somente baixando no termômetro 4.

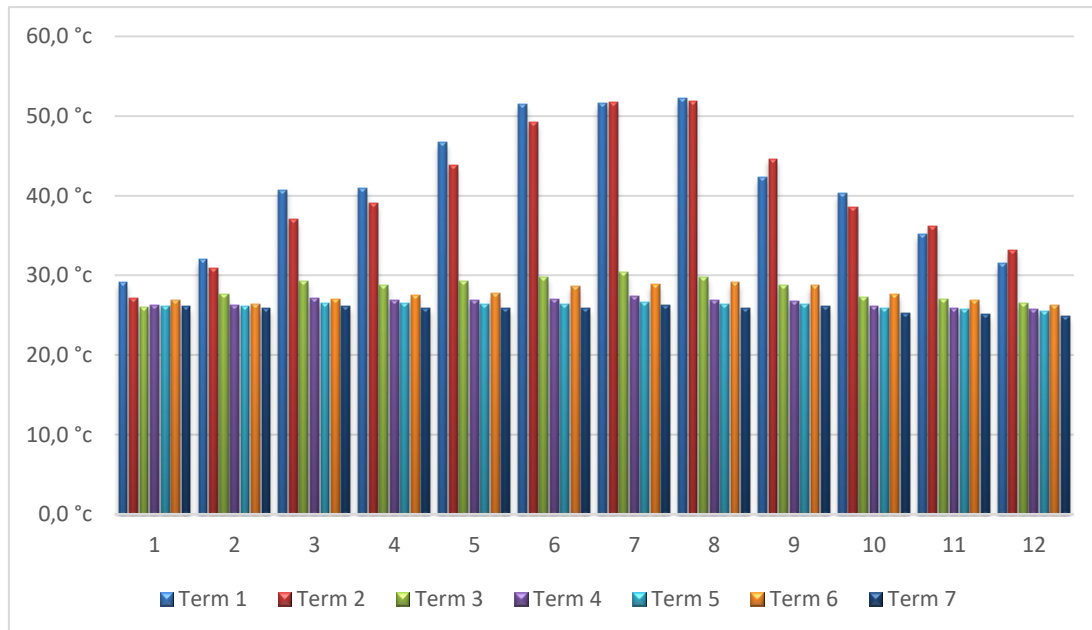
Quadro 6 - Comparativo entre paredes 100 mm

Parede 100 mm T3A	Parede 100mm T6A
Temperatura Média 25,1 °c Ambiente	Temperatura Média 25,8 °c Ambiente
Temperatura Média Termômetro 1 - 49,4 °c	Temperatura Média Termômetro 1 - 44,4 °c
Temperatura Média Termômetro 7 - 26,2 °c	Temperatura Média Termômetro 7 - 26,5 °c

Fonte: Do Autor, 2020.

No Gráfico 5 é apresentado as leituras obtidas nos termômetros do experimento na íntegra, sendo aplicado na parede 140 mm em material t3a.

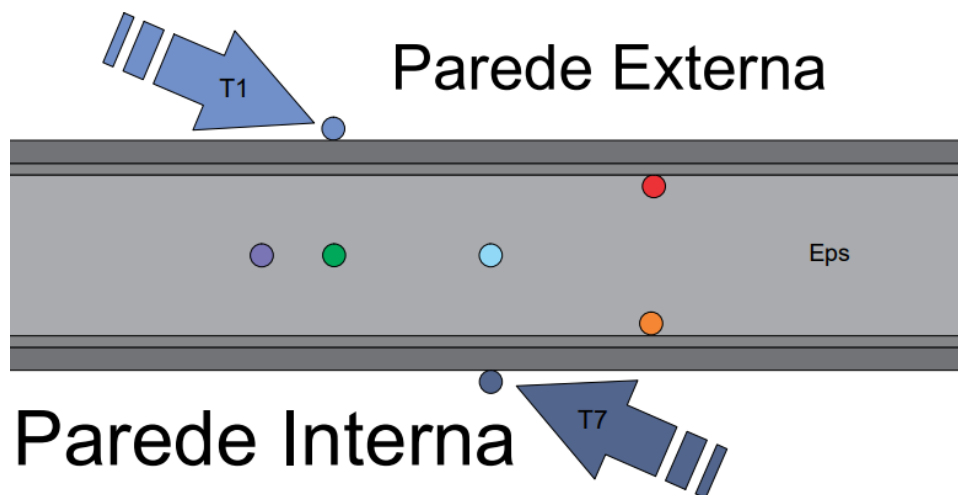
Gráfico 5 - Parede 140 mm T3A



Fonte: Do Autor, 2020.

No gráfico observamos uma escala bem definida de leituras no 1 e 2 termômetros praticamente iguais.

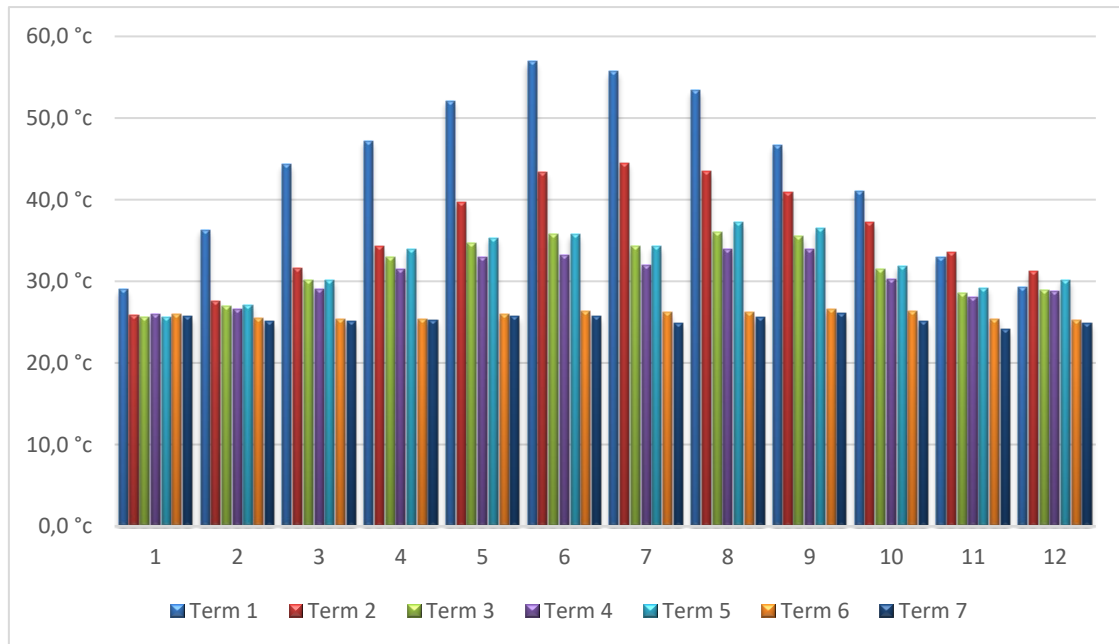
Figura 27 - Referência Termômetros



Fonte: Do Autor, 2020.

No Gráfico 6 é apresentado as leituras obtidas nos termômetros do experimento na integra, sendo aplicado na parede 140 mm em material t6a.

Gráfico 6 - Parede 140mm T6A



Fonte: Do Autor, 2020.

No gráfico podemos analisar que houve bastante alterações no gradiente dos termômetros, mas seu 2 estágio permaneceu bem mais baixo.

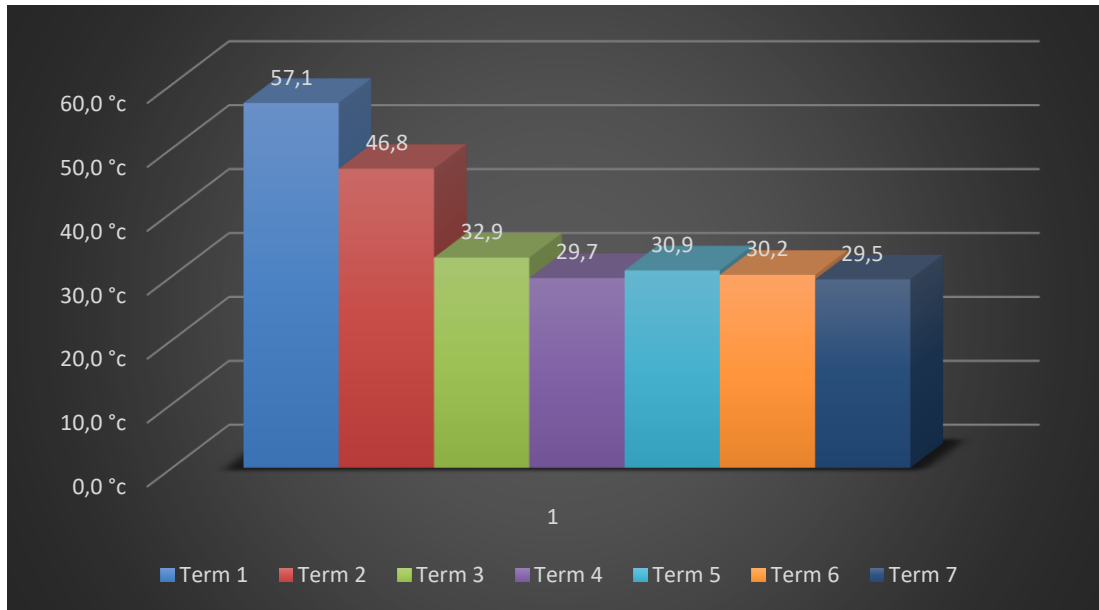
Quadro 7 - Comparativo entre paredes 140 mm

Parede 140 mm T3A	Parede 140mm T6A
Temperatura Média 24,9 °c Ambiente	Temperatura Média 24,9 °c Ambiente
Temperatura Média Termômetro 1 - 41,2 °c	Temperatura Média Termômetro 1 - 43,7 °c
Temperatura Média Termômetro 7 - 25,8 °c	Temperatura Média Termômetro 7 - 25,3 °c

Fonte: Do Autor, 2020.

No Gráfico 7 é apresentado as temperaturas máximas na parede indicada.

Gráfico 7 - Temperatura Máxima 80mm T3A



Fonte: Do Autor, 2020.

Legenda: Termômetro 1: Pico 3 Horas

Termômetro 2: Pico 3 Horas

Termômetro 3: Pico 3,5 Horas

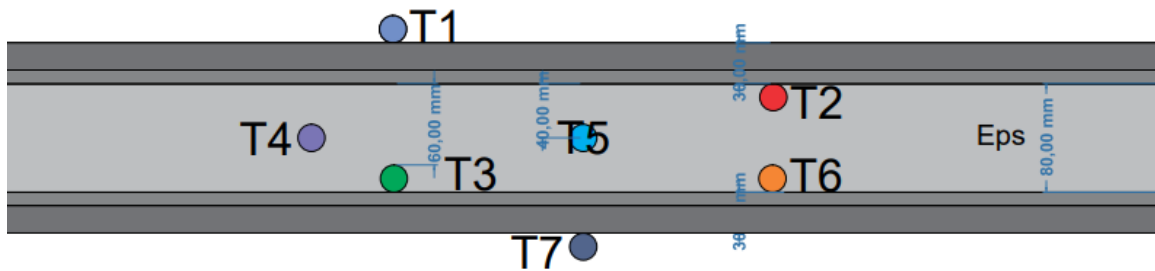
Termômetro 4: Pico 3,5 Horas

Termômetro 5: Pico 3,5 Horas

Termômetro 6: Pico 4 Horas

Termômetro 7: Pico 5 Horas

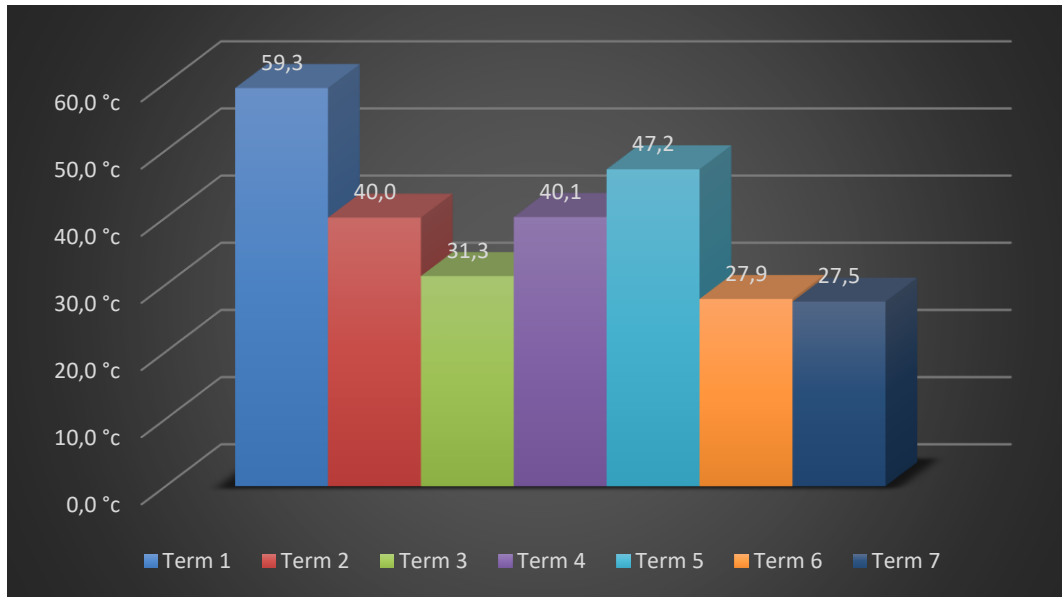
Figura 28 - Posicionamento Termômetros 80 mm



Fonte: Do Autor, 2020.

No Gráfico 8 é apresentado as temperaturas máximas na parede indicada.

Gráfico 8 - Temperatura Máxima 80mm T6A



Fonte: Do Autor, 2020.

Legenda: Termômetro 1: Pico 3,5 Horas

Termômetro 2: Pico 4 Horas

Termômetro 3: Pico 4 Horas

Termômetro 4: Pico 3 Horas

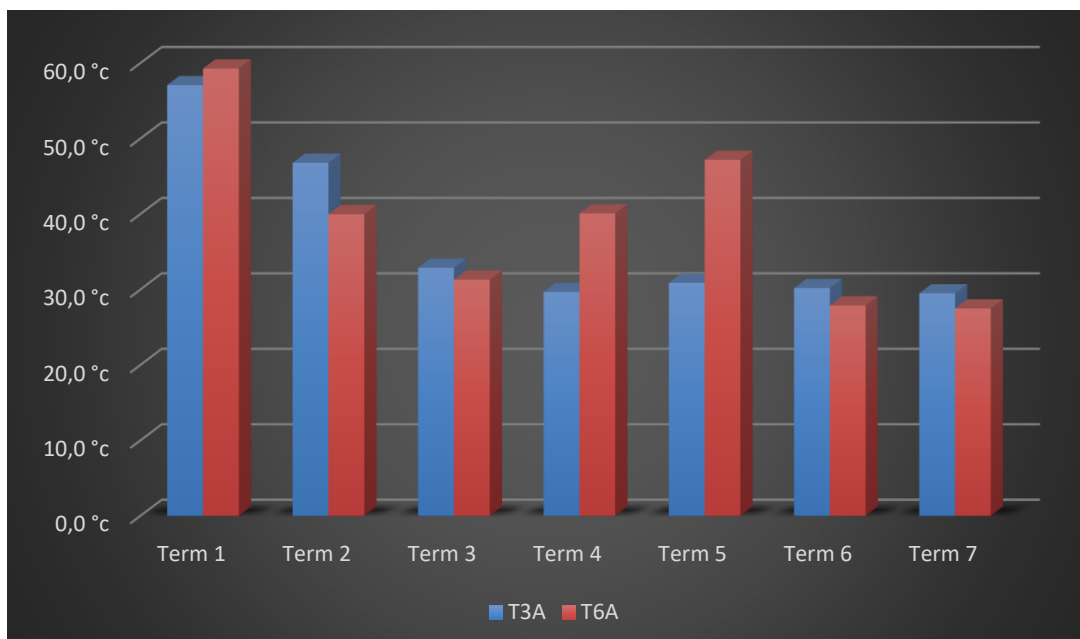
Termômetro 5: Pico 3 Horas

Termômetro 6: Pico 4 Horas

Termômetro 7: Pico 5 Horas

No Gráfico 9 é apresentado o comparativo de temperaturas máxima nas paredes de 80 mm.

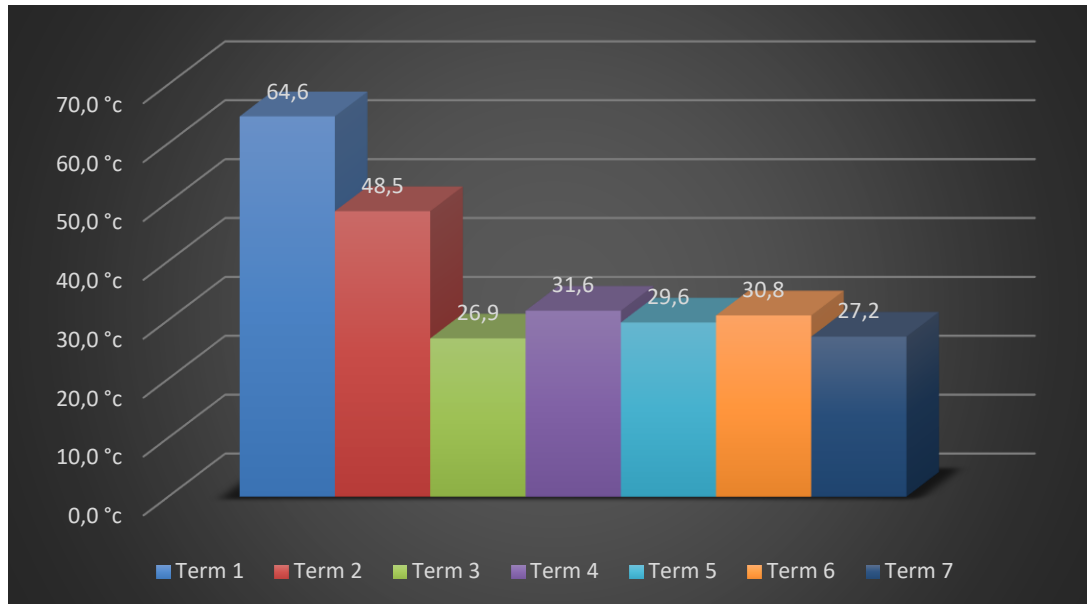
Gráfico 9 - Comparativo de Temperaturas Máximas 80 mm



Fonte: Do Autor, 2020.

No Gráfico 10 é apresentado as temperaturas máximas na parede indicada.

Gráfico 10 - Temperatura Máxima 100 mm T3A



Fonte: Do Autor, 2020.

Legenda: Termômetro 1: Pico 3 Horas

Termômetro 2: Pico 4 Horas

Termômetro 3: Pico 4,5 Horas

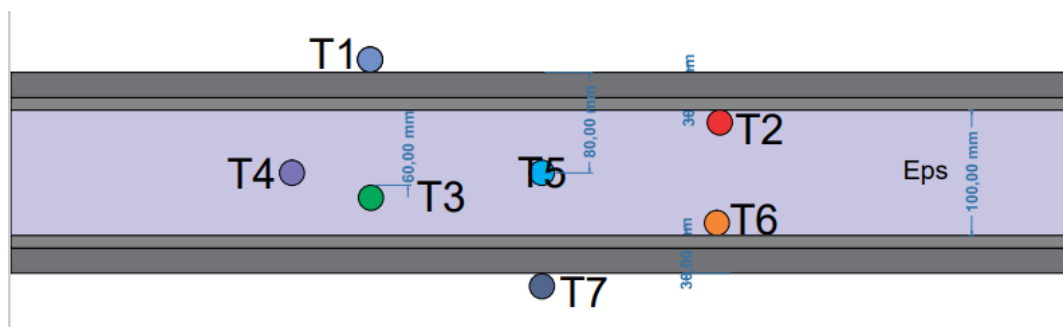
Termômetro 4: Pico 4 Horas

Termômetro 5: Pico 4,5 Horas

Termômetro 6: Pico 4 Horas

Termômetro 7: Pico 4,5 Horas

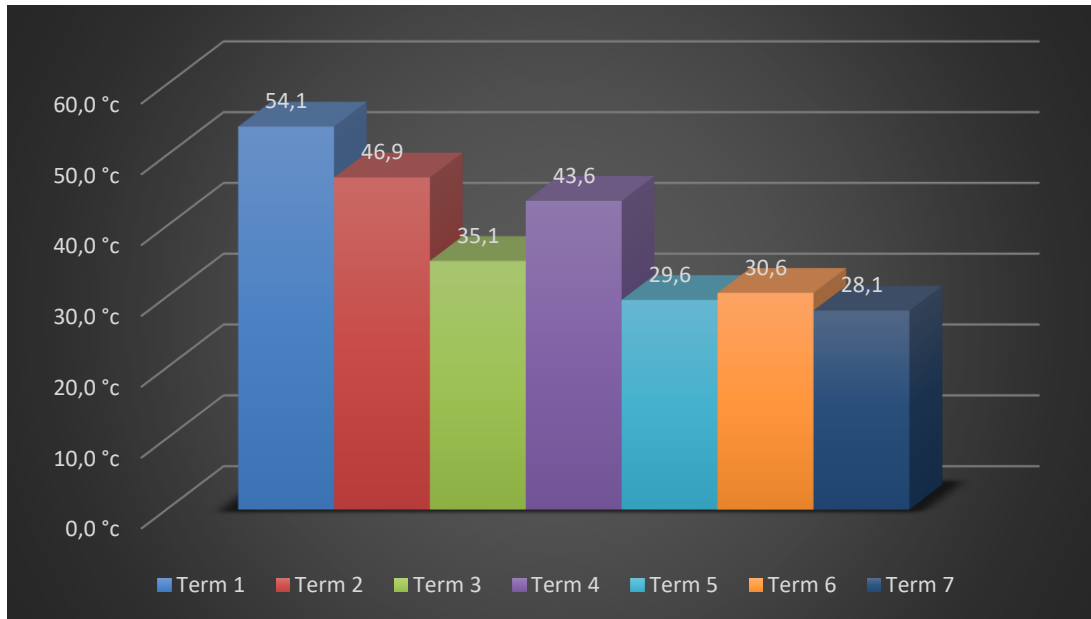
Figura 29 - Posicionamento Termômetros 100 mm



Fonte: Do Autor, 2020.

No Gráfico 11 é apresentado as temperaturas máximas na parede indicada.

Gráfico 11 - Temperatura Máxima 100 mm T6A

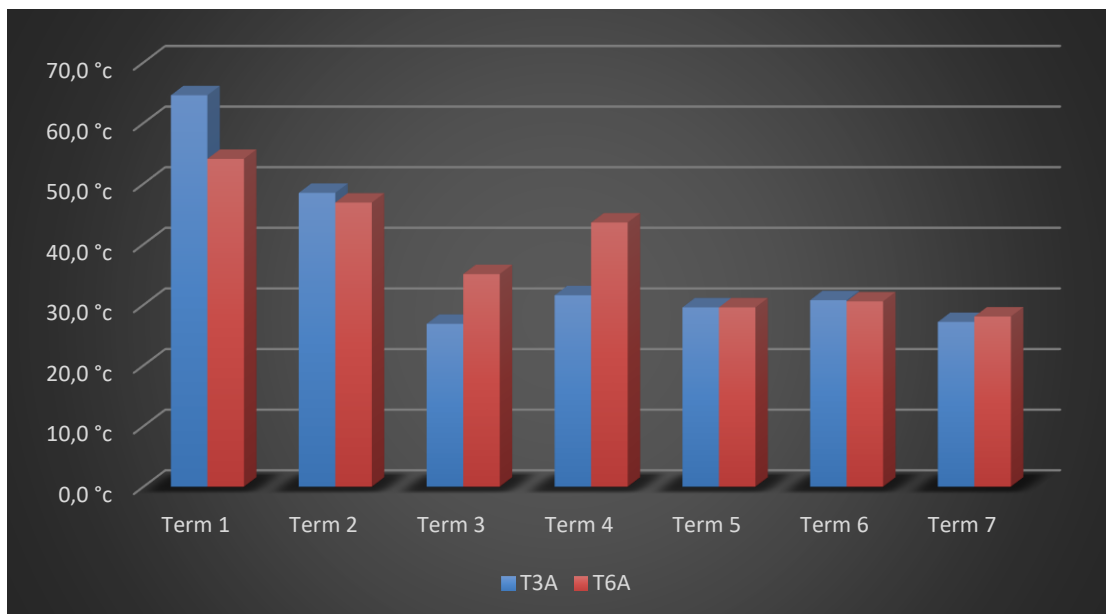


Fonte: Do Autor, 2020.

Legenda: Termômetro 1: Pico 3 Horas
 Termômetro 2: Pico 3,5 Horas
 Termômetro 3: Pico 3,5 Horas
 Termômetro 4: Pico 4 Horas
 Termômetro 5: Pico 4,5 Horas
 Termômetro 6: Pico 4,5 Horas
 Termômetro 7: Pico 4 Horas

No Gráfico 12 é apresentado o comparativo de temperaturas máxima nas paredes de 100 mm

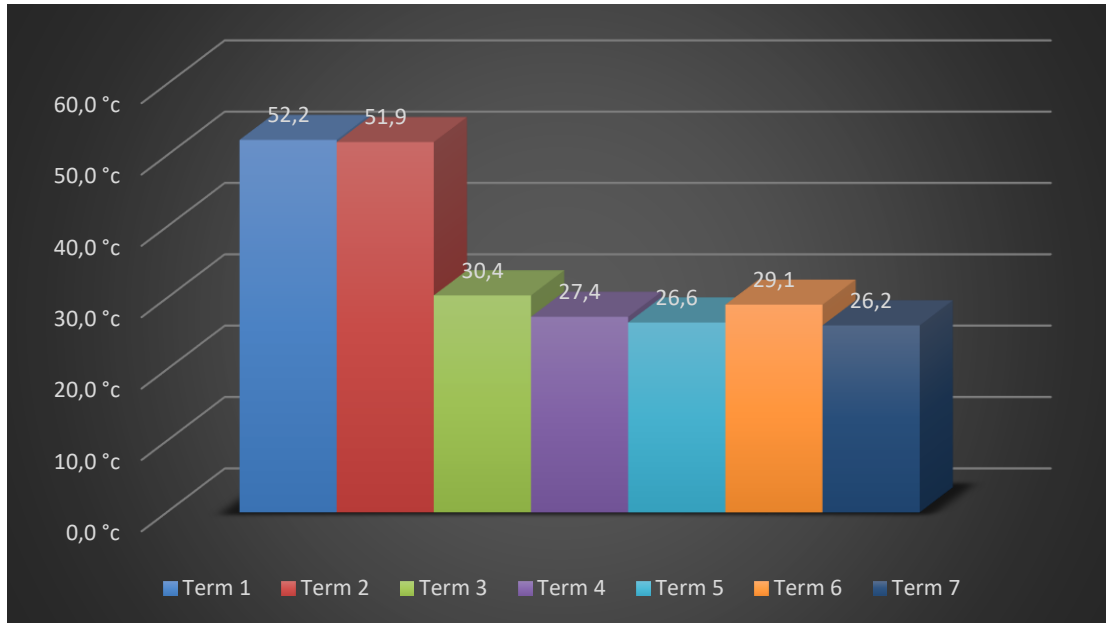
Gráfico 12 - Comparativo de Temperaturas Máximas 100mm



Fonte: Do Autor, 2020.

No Gráfico 13 é apresentado as temperaturas máximas na parede indicada.

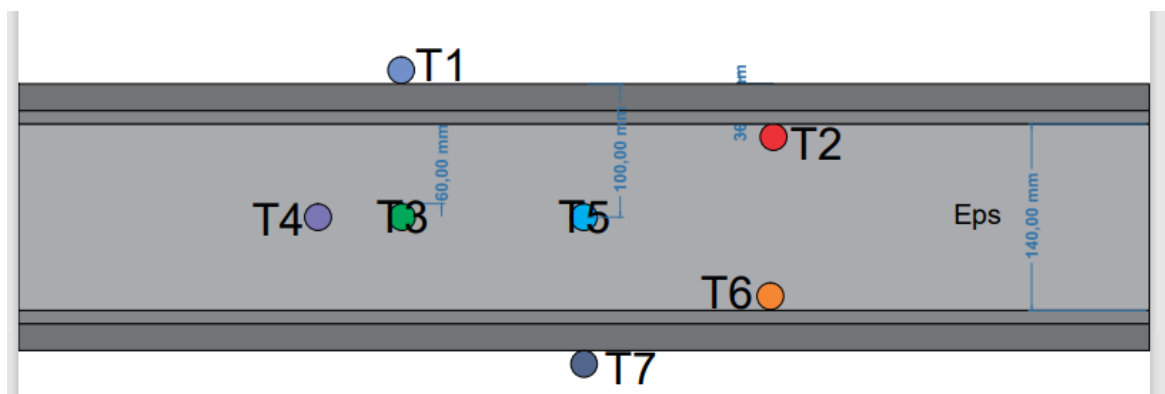
Gráfico 13 - Temperatura Máxima 140 mm T3A



Fonte: Do Autor, 2020.

Legenda: Termômetro 1: Pico 4 Horas
 Termômetro 2: Pico 4 Horas
 Termômetro 3: Pico 3,5 Horas
 Termômetro 4: Pico 3,5 Horas
 Termômetro 5: Pico 3,5 Horas
 Termômetro 6: Pico 4 Horas
 Termômetro 7: Pico 3,5 Horas

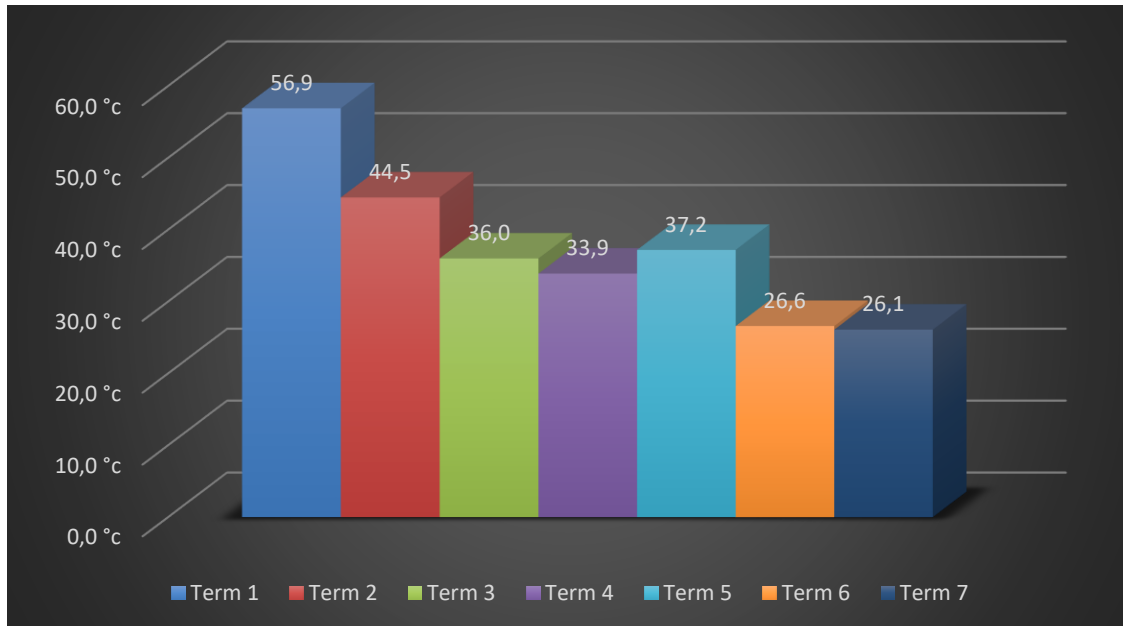
Figura 30 - Posicionamento Termômetros 140 mm



Fonte: Do Autor, 2020.

No Gráfico 14 é apresentado as temperaturas s na parede indicada.

Gráfico 14 - Temperatura Máxima 140 mm T6A

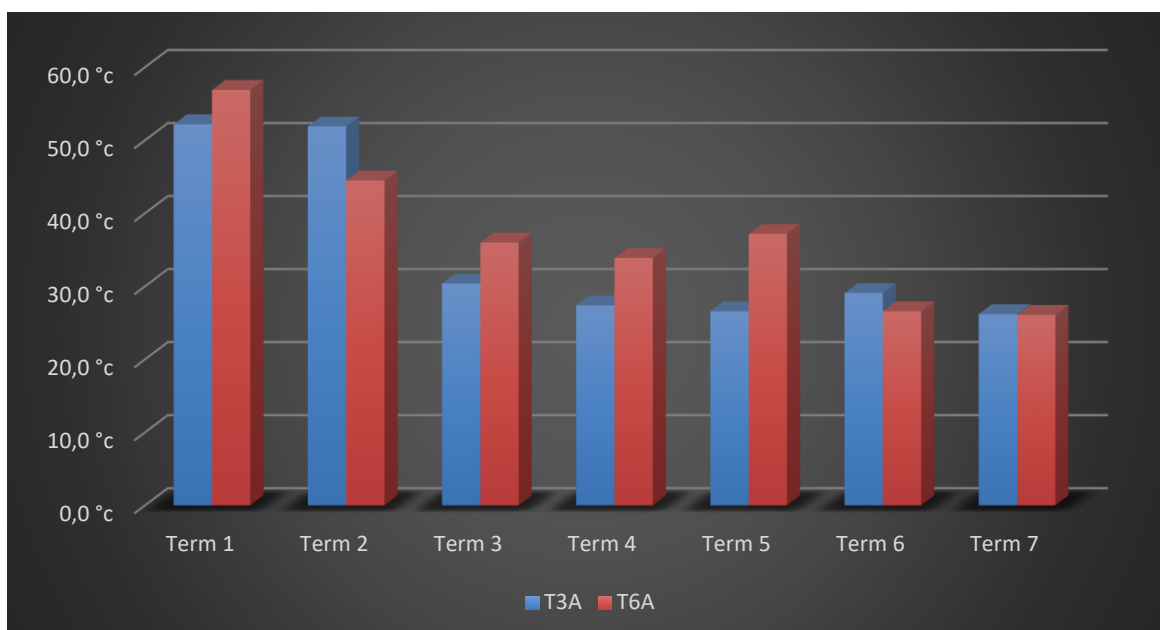


Fonte: Do Autor, 2020.

Legenda: Termômetro 1: Pico 3 Horas
 Termômetro 2: Pico 3,5 Horas
 Termômetro 3: Pico 4 Horas
 Termômetro 4: Pico 4 Horas
 Termômetro 5: Pico 4 Horas
 Termômetro 6: Pico 4,5 Horas
 Termômetro 7: Pico 4,5 Horas

No Gráfico 15 é apresentado o comparativo de temperaturas máximas nas paredes de 140 mm.

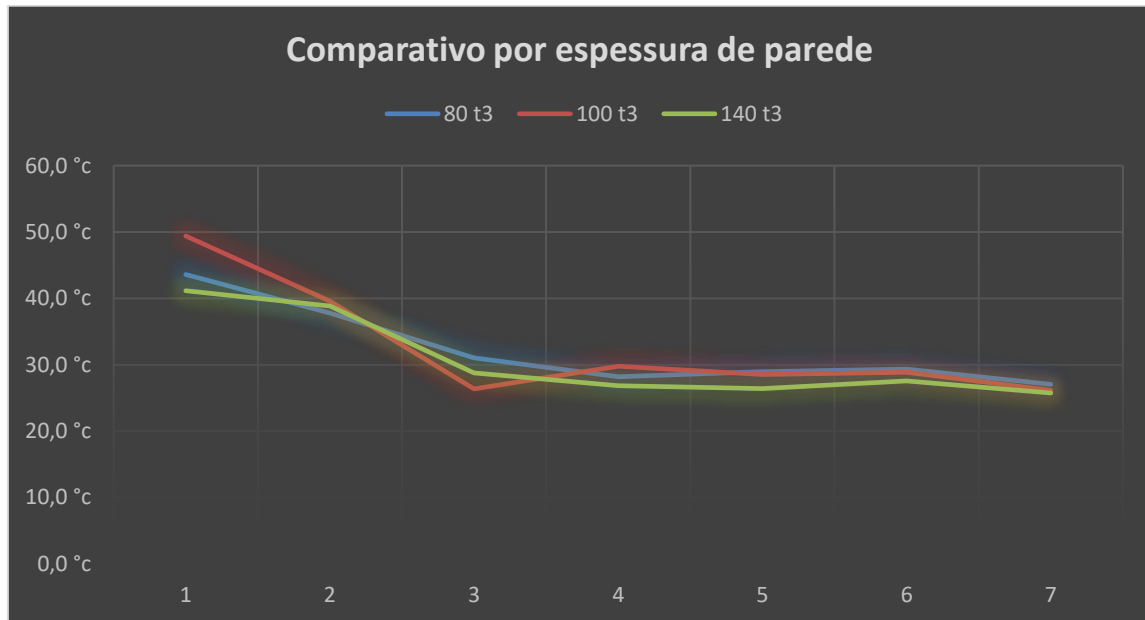
Gráfico 15 - Comparativo de Temperaturas Máximas 140mm



Fonte: Do Autor, 2020.

No Gráfico 16 é apresentado o gráfico comparativo de temperaturas médias nas paredes T3A.

Gráfico 16 - Comparativo por Espessura de Parede T3A

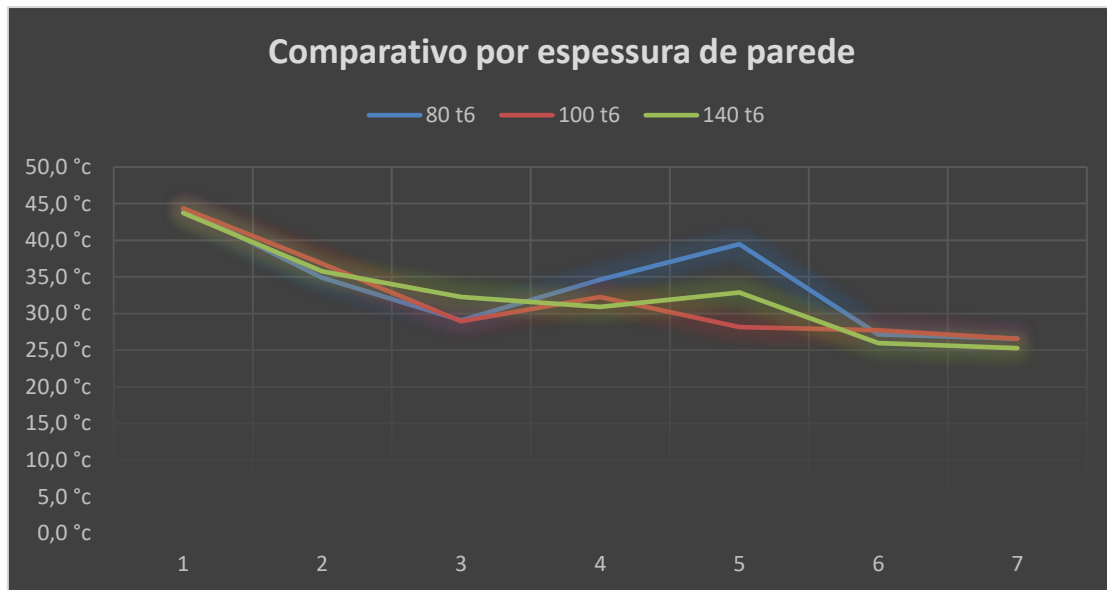


Fonte: Do Autor, 2020.

No gráfico observamos que a parede de 100 mm apresentou uma temperatura mais elevada no início do experimento, mas logo depois no termômetro 3 apresentou uma queda maior que a de 140 mm e sendo que no final se estabilizou juntamente correta com as demais.

No Gráfico 17 é apresentado o gráfico comparativo de temperaturas médias nas paredes T6A.

Gráfico 17 - Comparativo por Espessura de Parede T6A

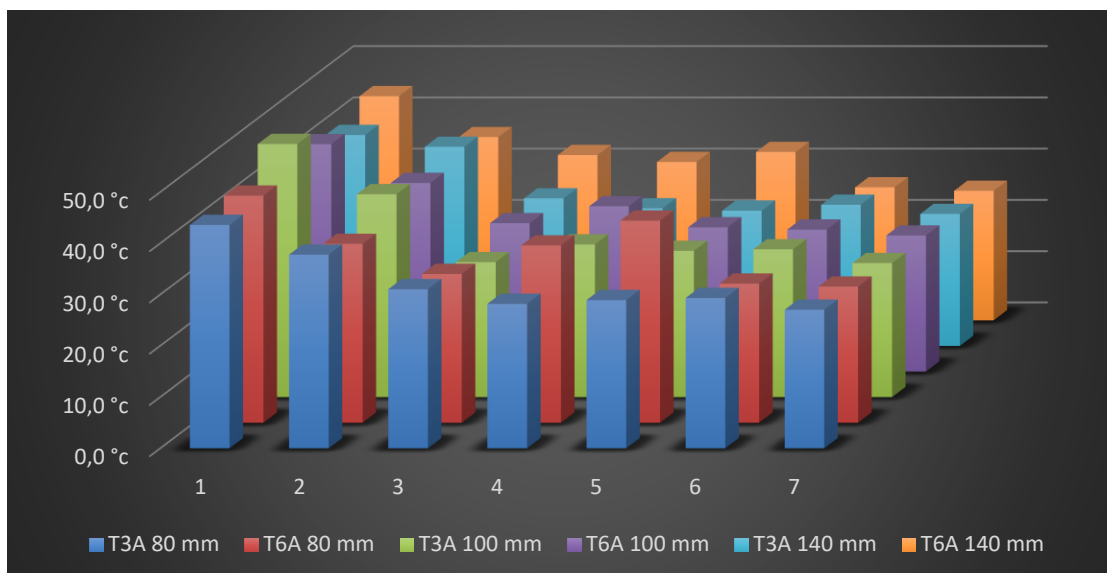


Fonte: Do Autor, 2020.

No gráfico em questão de densidade maior que as anteriores, a parede de 140 mm apresentou no termômetro 5 um pico maior que a de 100 mm mas no final ficou em temperatura menor, sendo que as outras 2 praticamente iguais, 80 mm na faixa de 26,58 C e 100 mm 26,55 C.

Apresenta-se a seguir, no Gráfico 18, um resumo comparativo de todas as Paredes.

Gráfico 18 - Comparativo Todas as Paredes

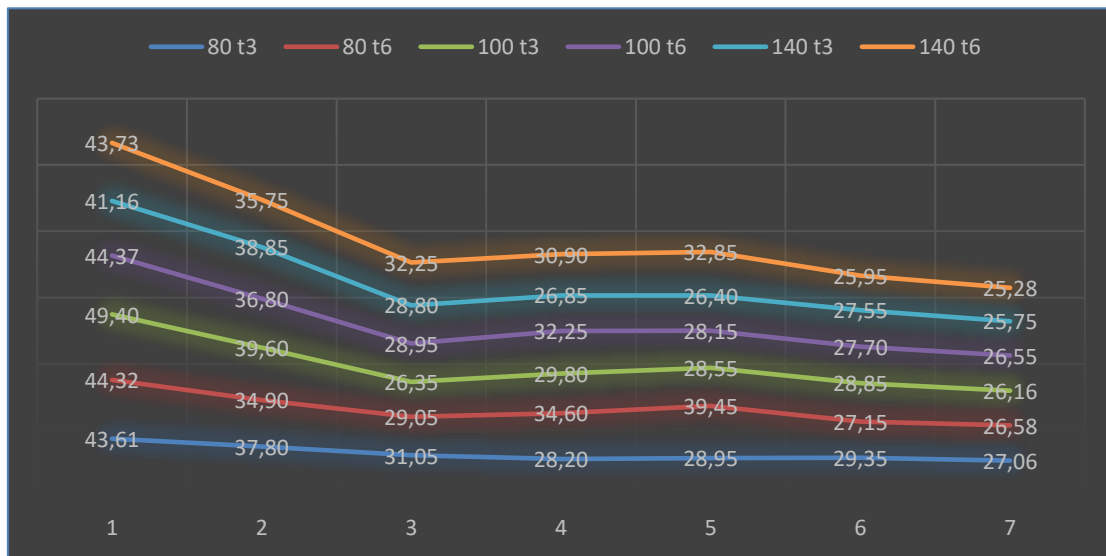


Fonte: Do Autor, 2020.

No gráfico observamos uma escala bem definida de leituras na sua leitura final no termômetro 7 que suas temperaturas se mantiveram estáveis e sem mudanças significativas.

No Gráfico 19 é apresentado o gráfico de diferenças térmicas na média final.

Gráfico 19 - Comparativo Todas as Paredes Resultados



Fonte: Do Autor, 2020.

Foi-se observado que na parede de 80 mm a diferença final foi de 1,79 % maior, se comparando as densidades, também foi observado que na parede de 100 mm constatou-se que a de material inferior apresentou um ganho de 1,50 % maior, e que na de 140 mm 1,88 % de vantagem em relação sua parede de densidade menor.

Também foi levado ao um teste, temperatura acima de 60 graus durante um período de 2 horas uma das paredes que apresentou uma pequena fissura menor que 1 mm em sua parte frontal (Gráfico 3) sendo realmente a única que apresentou uma variação maior que 1 grau em seu ambiente interno.

Cabe salientar que, com este trabalho não pretende-se afirmar com absoluta certeza, que uma configuração de parede é a mais indicada e deveria ser utilizada em todos os locais e em todas as situações, pois para fazer isto seria necessário considerar uma série de outros fatores - dentre eles o clima da região, a finalidade (ocupação) da edificação mas sim, destacar a importância que uma análise termo econômica tem para apontar possíveis soluções construtivas que podem ser utilizadas, melhorando-se o desempenho energético das edificações. É prática comum na engenharia adotar soluções construtivas de menor custo econômico possível, que requerem baixo investimento inicial, o que na maioria das vezes gera construções de baixa qualidade energética, prejudicando o meio ambiente, além de que no longo prazo, tais soluções construtivas de baixo custo inicial tornam-se mais onerosas que construções que levam em consideração outras variáveis, além da econômica.

Também é importante destacar que o presente trabalho somente torna-se relevante,

quando, no projeto de uma edificação, leva-se em conta as demais variáveis intervenientes no ambiente construído. Dentre essas se destacam três grandes: as variáveis climáticas, as variáveis humanas e as variáveis arquitetônicas. Dentro de cada uma dessas variáveis existem várias outras. Este trabalho estuda apenas uma dessas outras variáveis, as paredes que estão inseridas no grupo dos fechamentos, que por sua vez estão dentro do grupo das variáveis arquitetônicas. Percebe-se assim que a edificação tem de ser avaliada como um todo, já que suas partes dependem intrinsecamente umas das outras. Por exemplo, em uma parede com aberturas, de pouco adianta fazer um estudo de qual configuração de parede adotar, desta forma garantindo um bom desempenho neste fechamento, enquanto nos fechamentos transparentes empregam-se materiais de baixa qualidade, desta forma, resultando em ganhos de calor excessivos e consequentemente baixando o desempenho geral da edificação. É necessário mudarmos nossas técnicas construtivas e porque não nossa percepção de mundo.

Podendo com as análises criar um parâmetro de correção da influência da inércia térmica nos resultados que irão ocorrer com diferentes tipos de EPS e projetos apresentados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões desta pesquisa, que teve como objetivo geral a análise da transferência de calor em paredes em EPS. Ainda são feitas sugestões para trabalhos futuros, visando à continuidade da pesquisa.

Espera-se que o presente trabalho guie os futuros trabalhos com assuntos afins, no intuito de romper a barreira cultural que impede o avanço tecnológico das edificações no Brasil.

5.1 CONCLUSÕES

Ao final do desenvolvimento deste trabalho, espera-se que se tenha entendimento dos assuntos abordados acerca da tecnologia analisada em questão, revendo estudos e defendendo um conceito que pouco é conhecido no Brasil e em nossa comunidade que tem muitas dúvidas acerca desta tecnologia.

O objetivo do presente trabalho consiste em avaliar o desempenho térmico de paredes com revestimento em EPS

Procedimento experimental, apresenta-se a análise e interpretação dos resultados obtidos, embora alguma variação pode ter ocorrido por causas não definidas. Pois, para resultados conclusivos necessitaria de análise estatística e consequentemente aumentar ensaios de validação final para parâmetros normativos. Ademais, os resultados em relação as possibilidades térmicas econômicas propostas inicialmente foram descartadas por causa da pandemia de Covid 19, que durante todo esse ano de 2020, dificultou a vida acadêmica de milhares de estudantes.

Este estudo e levantamento de dados podem subsidiar também profissionais da área da engenharia e arquitetura para projetarem obras com maior conforto térmico, analisar o desempenho térmico do sistema de vedação em EPS, comparando-o com o de paredes em alvenaria de blocos cerâmicos por meio de estudos presentes na literatura

Ao final deste trabalho, algumas conclusões podem ser feitas, conforme relato abaixo.

O objetivo desta pesquisa foi alcançado, conseguiu-se avaliar configurações diversas de paredes compostas por EPS sob a ótica da térmica em edifícios.

Através dos resultados dos ensaios experimentais, realizados na câmara térmica, foi possível medir a transferência de calor de diferentes configurações de paredes ao longo do tempo. Assim, a câmara térmica constitui-se em um instrumento eficaz de medição desse fenômeno.

Esta avaliação não dispensa a análise caso a caso de cada edificação, continua sendo necessário estudar as demais variáveis intervenientes no ambiente construído, mas através dela, destaca-se a importância que uma análise termo econômica (e não só econômica) tem para apontar possíveis soluções construtivas que podem ser utilizadas, com o intuito de melhorar o desempenho energético das edificações. Também é importante frisar que, muitas vezes, edificações que adotam soluções construtivas que requerem baixo investimento inicial, no longo prazo consomem muito mais energia, consequentemente com custos financeiros muito maiores do que edificações mais eficientes energeticamente, que requerem um investimento inicial maior.

O programa desenvolvido é um instrumento útil para a escolha de soluções construtivas, visando melhorar a eficiência energética das edificações, porque permite a simulação do desempenho térmico e econômico de outras configurações de paredes (além das já estudadas neste trabalho), sem a necessidade de construí-las, desde que se conheçam os valores das difusividades térmicas e dos custos dos materiais utilizados.

Pela observação dos aspectos analisados, verificou-se que novos sistemas construtivos podem ser vantajosos diante dos já utilizados no momento, pois existem vantagens nos aspectos econômicos, ambiental e na agilidade de execução diante dos processos consolidados. A busca de materiais alternativos como o EPS amplia consideravelmente as oportunidades de obter-se obras mais rápidas, econômicas e ecologicamente corretas.

A partir disso conclui-se que não existe um sistema construtivo ideal e sim uma necessidade de adequação as demandas do contratante. Um sistema será mais indicado que o outro à medida que para determinadas condições existentes estiver mais adequado, ou seja, apresentar um melhor desempenho.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Aplicar a metodologia deste trabalho para paredes compostas por outros materiais (bloco de concreto, tijolo furado, lâ de vidro, madeira, materiais alternativos);
- b) Avaliar computacionalmente novas configurações de parede (inclusive com outros materiais);
- c) Complementar o trabalho estudando o comportamento térmico das paredes para a estação fria do ano, onde a temperatura interna é maior que a externa;
- d) Fazer uma estimativa do tempo de retorno do investimento inicial realizado em cada parede.

- e) Fazer um estudo similar ao presente, mas aplicando-se diferentes cores de pintura nas paredes;
- f) Estudar as Variáveis climáticas;
- g) Validar em laboratório o equipamento câmara térmica;
- h) Ensaaios de laboratório com EPS, a fim de verificar os índices de resistências ao impacto, ao fogo, a cargas concentradas, à flexão, entre outros;
- i) Realizar ensaios para caracterização do material, resistência à compressão de acordo com a NBR 6460 com massa específica aparente.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 11752**: materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial - especificação: referências. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ABNT. **NBR 15220-2**: desempenho térmico de edificações, parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.
- ABNT. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações, parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.
- ABNT. **NBR 15575-4**: desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, parte 4: sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ABNT. **NBR 15575-5**: desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, parte 5: requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ABRAPEX. **O que é EPS**. 2015. Disponível em: <http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html>. Acesso em: 08 jun. 2020.
- BERTOLDI, Renato Hecílio. **Caracterização de sistemas com vedações constituídas por argamassa projetada revestindo núcleo composto de poliestireno e telas de aço: dois estudos de caso em Florianópolis**. 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.
- BRUMAN ENGENHARIA. **Sistemas Construtivos**. Recife: Bruman Engenharia, c2016. Disponível em: <http://www.brumanengenharia.com.br/mainTecnologia.html>. Acesso em: 17 maio 2020.
- CAMPOS, P. E. F. **Argamassa armada produção industrializada**: aplicações e processo de fabricação com telas soldadas. São Paulo: Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, 1994.
- ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2007.
- COSTA, W. J. V. *et al.* Processos produtivos na construção civil: otimização do processo de reboco de fachada em edificação. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 34., 2014, Curitiba. **Anais eletrônicos [...]**. Curitiba: Abepro, 2014. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2014_TN_STO_195_101_25756.pdf. Acesso em: 10 ago. 2020.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2009.
- GASPARINI, R. R. **Modelagem da transferência de calor combinada por condução e radiação em isolantes térmicos de edificações**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2005

GEHBAUER, Fritz *et al.* **Planejamento e gestão de obras**: um resultado prático da cooperação técnica Brasil-Alemanha. Curitiba: CEFET-PR, 2002.

HANAI, J. B. **Argamassa armada**: projeto estrutural e dimensionamento com telas soldadas. São Paulo, 1992.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, c2003.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

ISOFERES. **Novas normas técnicas do EPS**. Belo Horizonte: Isoferes, 2020. Disponível em: <http://www.isoferes.com.br/imagens/ARQUIVOS%20PDF%20SITE/Novas%20Normas%20T%C3%A9cnicas%20do%20EPS%20.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2020.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

MEDEIROS, G. A. N. **Avaliação de paredes sanduíche em argamassa armada com núcleo de EPS**. 2017. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

OZISIK, M. N. **Heat Conduction**. 2. ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 1993.

OZISIK, M. N.; ORLANDE, H. R. B. **Inverse Heat Transfer**: fundamentals and applications. New York: Taylor and Francis, 2000.

PROCEL. **Edificações**. 2020. Disponível em: <http://www.procel.gov.br/main.asp?Team={82BBD82C-FB89-48CA-98A9-620D5F9DBD04}>. Acesso em: 19 abr. 2020.

RUPP, R. F. **Análise da transferência de calor em paredes compostas por tijolos maciços**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2009.

SANTOS, R. **Estudo térmico e de materiais de um compósito a base de gesso e poliestireno expandido para construção de casas populares**. 2008. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. Disponível em: <ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/ReginaldoDS.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2020.

SILVA NETO, A. J.; MOURA NETO, F. D. **Problemas inversos**: conceitos fundamentais e aplicações. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2005.

SOARES, F. A. M. **Incorporação de partículas de poliestireno expandido e resina epóxi em compósito cimentício**. 2014. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de São João Del Rei, 2014.

SOUZA, L. G. M., GOMES, U.U. **Viabilidades térmica, econômica e de materiais da utilização de tubos de PVC como elementos absorvedores em coletores de um sistema de**

aquecimento de água por energia solar. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

VELOSO, V. **Painéis monolíticos são ideais para obras novas ou reformas.** São Paulo: Comissão Setorial do EPS, 2020. Disponível em:
<http://www.epsbrasil.eco.br/noticia/view/75/paineis-monoliticos-sao-ideais-para-obras-novas-ou-reformas.html>. Acesso em: 25 out. 2020.

ZQC. Digital Thermometer Hygrometer: specifications. 2020.

Anexo A - Temperaturas Lidas

Quadro 8: Temperaturas Lidas T3A 80 mm

Temp Leitura	Term 1	Term 2	Term 3	Term 4	Term 5	Term 6	Term 7	Ambiente
30,0	29,6	23,3	23,7	23,8	23,6	23,8	24,0	24,4
31,9	31,0	27,3	25,1	25,2	26,6	24,6	24,7	25,0
45,0	44,1	34,5	27,9	26,6	27,8	26,3	25,8	25,4
46,3	46,3	35,8	28,6	28,6	28,1	29,5	27,1	27,7
60,0	53,7	37,8	29,6	26,8	28,0	27,7	26,0	26,5
60,1	53,8	43,9	31,6	28,3	30,0	28,6	27,5	28,2
60,0	57,1	46,8	32,8	27,6	29,1	29,2	27,0	27,4
58,8	51,9	45,7	32,9	29,7	30,9	29,9	28,7	29,1
45,3	43,0	43,8	32,6	28,9	30,0	30,2	28,6	28,1
43,1	42,7	40,6	31,6	28,1	29,0	29,6	27,7	27,9
34,7	36,9	37,8	31,3	29,6	30,8	29,9	29,5	28,4
30,8	33,2	34,7	30,8	28,6	28,9	29,9	28,1	27,4

Fonte: Do Autor, 2020.

Quadro 9: Temperaturas Lidas T6A 80 mm

Temp Leitura	Term 1	Term 2	Term 3	Term 4	Term 5	Term 6	Term 7	Ambiente
30,0	28,8	27,0	26,2	26,5	26,3	26,4	25,8	24,9
41,0	38,3	28,3	26,3	30,2	34,2	26,1	25,8	25,4
45,0	42,2	31,2	27,4	33,3	38,1	26,3	26,2	26,2
44,7	51,0	34,9	28,8	36,6	45,1	26,9	26,6	26,6
60,0	46,5	36,9	29,3	35,9	42,8	27,1	26,1	25,5
58,9	58,6	39,1	30,6	40,1	47,2	27,6	27,4	26,2
59,9	59,3	39,9	31,1	37,9	43,9	27,7	26,8	25,5
56,8	56,2	40,0	31,3	37,9	43,1	27,9	27,1	26,0
43,2	46,4	37,8	30,8	37,1	40,8	27,9	27,0	26,5
36,2	39,0	34,9	29,9	33,2	35,1	27,9	27,5	25,9
32,4	34,5	31,9	28,3	31,2	32,7	27,2	27,1	25,4
29,8	31,0	30,2	27,6	28,8	29,3	26,8	25,6	24,7

Fonte: Do Autor, 2020.

Quadro 10: Temperaturas Lidas T3A 100 mm

Temp Leitura	Term 1	Term 2	Term 3	Term 4	Term 5	Term 6	Term 7	Ambiente
30,0	29,7	24,8	24,3	24,8	24,5	24,8	24,6	24,7
37,7	34,5	29,6	25,5	27,0	27,0	25,6	24,9	25,0
45,3	47,2	32,6	26,2	28,3	28,0	26,3	25,5	25,5
46,3	52,7	37,6	26,2	29,1	28,1	27,8	25,6	24,8
60,2	61,8	43,2	26,8	31,0	29,3	28,9	26,5	25,6
61,4	64,6	44,9	26,3	30,3	28,9	29,8	26,3	24,3
60,2	64,4	46,8	26,8	31,3	29,4	30,2	26,8	25,4
58,3	63,8	48,5	26,8	31,6	29,4	30,8	26,9	25,5
44,5	54,0	45,8	26,9	31,4	29,6	30,6	27,2	25,1
37,6	46,4	41,6	26,8	30,6	29,1	29,9	27,0	25,4
33,0	39,1	36,9	26,4	29,3	28,2	28,8	26,5	25,4
30,1	34,6	32,7	26,2	28,6	27,8	27,6	26,1	25,0

Fonte: Do Autor, 2020.

Quadro 11: Temperaturas Lidas T6A 100 mm

Temp Leitura	Term 1	Term 2	Term 3	Term 4	Term 5	Term 6	Term 7	Ambiente
30,0	29,7	24,6	24,3	24,8	24,4	24,4	24,5	24,2
38,8	35,6	30,8	27,9	29,8	26,9	25,1	24,9	25,1
45,0	42,6	34,4	30,0	33,1	27,3	26,0	25,8	26,0
46,9	44,2	36,6	30,9	34,9	27,8	26,8	26,5	26,5
60,6	53,4	36,7	31,1	35,0	28,1	27,4	27,1	26,8
61,2	54,1	43,2	32,1	40,1	28,6	27,8	27,0	26,2
56,1	49,4	46,9	35,1	43,1	29,4	28,7	27,9	27,2
54,6	49,3	46,9	33,3	43,6	29,0	29,3	28,1	26,9
44,5	54,0	45,8	26,9	31,4	29,6	30,6	27,2	25,1
37,6	46,4	41,6	26,8	30,6	29,1	29,9	27,0	25,4
33,0	39,1	36,9	26,4	29,3	28,2	28,8	26,5	25,4
30,1	34,6	32,7	26,2	28,6	27,8	27,6	26,1	25,0

Fonte: Do Autor, 2020.

Quadro 12: Temperaturas Lidas T3A 140 mm

Temp Leitura	Term 1	Term 2	Term 3	Term 4	Term 5	Term 6	Term 7	Ambiente
30,0	29,1	27,1	26,0	26,3	26,1	26,9	26,1	25,7
32,2	32,0	30,9	27,6	26,3	26,1	26,4	25,8	25,3
45,0	40,7	37,0	29,3	27,1	26,5	27,0	26,1	25,7
46,4	40,9	39,1	28,8	26,9	26,5	27,5	25,9	25,5
60,0	46,7	43,8	29,3	26,9	26,4	27,7	25,8	25,0
62,7	51,5	49,2	29,8	27,0	26,4	28,6	25,9	24,9
57,5	51,6	51,7	30,4	27,4	26,6	28,9	26,2	24,9
58,1	52,2	51,9	29,8	26,9	26,4	29,1	25,9	24,7
47,2	42,3	44,6	28,8	26,8	26,4	28,7	26,1	24,6
43,1	40,3	38,6	27,3	26,1	25,9	27,6	25,3	24,2
35,8	35,1	36,2	27,0	25,9	25,7	26,9	25,1	24,1
30,4	31,5	33,1	26,5	25,7	25,5	26,2	24,8	24,0

Fonte: Do Autor, 2020.

Quadro 13: Temperaturas Lidas T6A 140 mm

Temp Leitura	Term 1	Term 2	Term 3	Term 4	Term 5	Term 6	Term 7	Ambiente
30,0	29,0	25,8	25,6	26,0	25,6	26,0	25,7	25,4
39,9	36,3	27,6	26,9	26,6	27,1	25,5	25,1	24,6
45,3	44,3	31,6	30,1	29,1	30,2	25,4	25,1	24,7
47,5	47,2	34,3	33,0	31,5	33,9	25,4	25,3	25,0
60,0	52,1	39,7	34,7	32,9	35,3	25,9	25,7	25,0
62,4	56,9	43,3	35,7	33,2	35,7	26,3	25,7	24,2
61,9	55,7	44,5	34,3	31,9	34,3	26,2	24,9	23,7
57,1	53,4	43,5	36,0	33,9	37,2	26,2	25,6	25,1
45,3	46,6	40,9	35,5	33,9	36,5	26,6	26,1	24,8
35,4	41,1	37,2	31,5	30,3	31,8	26,4	25,1	23,9
31,8	32,9	33,6	28,5	28,0	29,2	25,4	24,1	23,1
29,0	29,3	31,2	28,9	28,8	30,2	25,2	24,9	24,6

Fonte: Do Autor, 2020.