

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VICTOR DIAS SCARELLI

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA TÉRMICA DE
NÚCLEOS ISOLANTES DE TELHAS TERMOACÚSTICAS EM
EDIFICAÇÕES NA REGIÃO DE CAMPO MOURÃO-PR**

CAMPO MOURÃO

2017

VICTOR DIAS SCARELLI

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA TÉRMICA DE
NÚCLEOS ISOLANTES DE TELHAS TERMOACÚSTICAS EM
EDIFICAÇÕES NA REGIÃO DE CAMPO MOURÃO-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior em Engenharia Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Luciano Fleischfresser

CAMPO MOURÃO

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA TÉRMICA DE NÚCLEOS ISOLANTES DE TELHAS TERMOACÚSTICAS EM EDIFICAÇÕES NA REGIÃO DE CAMPO MOURÃO-PR

por

Victor Dias Scarelli

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10h05min do dia 24 de novembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Luciano Fleischfresser

(UTFPR)

Co-orientador

Prof. Dr. Eudes José Arantes

(UTFPR)

**Prof. Dr. Ewerton Clayton Alves da
Fonseca**

(UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza

(UTFPR)

Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Ronaldo Rigobello

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná de Campo Mourão, pelos anos de convivência e aprendizado com os alunos, professores e servidores que contribuíram para a minha formação e conseqüente amadurecimento. À Universidade do Estado da Califórnia em Fullerton pela experiência proporcionada durante o intercâmbio pelo programa Ciências sem Fronteiras e por ser parte importante da minha formação. Agradeço também a todos professores e amigos que lá cultivei.

Aos meus orientadores, Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza e Prof. Dr. Luciano Fleischfresser pelo auxílio, paciência, tempo investido e conhecimentos transmitidos na realização deste trabalho. Agradeço também a todos os professores do Departamento de Construção Civil pelos os ensinamentos e atenção a mim investidos.

Aos engenheiros civis Rodrigo Camarini e Júlio César Cuissi, pela oportunidade de estagiar em obras e vivenciar o dia-a-dia da construção civil durante a graduação.

Aos colegas de curso e principalmente aos amigos, que foram muito importantes ao longo desses anos, e, espero que assim sempre o sejam ao longo da vida.

Por fim, agradeço aos meus pais, José Carlos e Carlota, e a meu irmão Rafael, pelo amor incondicional e apoio ao longo de toda vida. Em especial a minha mãe, meu exemplo maior de dedicação, superação e realização, por sempre insistir no meu potencial e nunca desistir de mim. Estendo esse agradecimento também a toda minha família pelo carinho e incentivo.

RESUMO

Objetiva-se, com este trabalho, analisar comparativamente dois materiais isolantes de telhas termoacústicas aplicadas em edificações na cidade de Campo Mourão. Por meio de avaliação quantitativa das diferenças de temperatura verificadas nas superfícies das telhas e do fluxo de calor que atravessa o material isolante, busca-se determinar as eficiências térmicas destas coberturas ante o emprego de espuma rígida de poliestireno expandido (cobertura A) e espuma rígida de poliisocianurato (cobertura B). Com o auxílio de termopares e dois termômetros digitais, foram medidas as temperaturas das telhas durante o mês de outubro e posteriormente comparadas em faixas de temperatura. Os resultados da eficiência térmica quanto às diminuições de temperatura nas superfícies inferiores das telhas indicam superioridade do poliisocianurato em todas as faixas avaliadas, com a eficiência no isolamento térmico variando de 30% a 40%, aproximadamente. Ainda, foi verificada diminuição em até 30% na taxa de fluxo de calor que adentra as coberturas para esse isolante em relação ao poliestireno para temperaturas de 60°C até 65°C, diminuição essa variando de 19% a 25% para temperaturas inferiores.

Palavras-chave: Isolamento térmico. Telhas termoacústicas. Poliestireno expandido. Poliisocianurato.

ABSTRACT

The present study aims to compare two insulating materials of thermoacoustic roofing tiles applied on buildings localized in the city of Campo Mourão. The thermal efficiency of the roofs with polystyrene (roof A) and polyisocyanurate (roof B) were analyzed through quantitative evaluation of temperature gaps between the tiles surfaces and the heat flowing through the insulating material. During the month of October, with the aid of thermocouples and two digital thermometers, the tiles temperatures were measured and later compared by temperature ranges. The study shows that the use of polyisocyanurate promotes a decrease in surface temperatures in all evaluated ranges, with insulating efficiency varying between 30% up to 40%. Likewise, a decrease of 30% on the heat flow rate were found when using polyisocyanurate over the use of polystyrene to temperature ranges around 60°C to 65°C, falling to 19% up to 25% to lower ranges.

Keywords: Thermic isolation. Thermoacoustic roof tiles. Expanded polystyrene. Polyisocyanurate.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Direção do fluxo de calor em uma parede plana.....	17
Figura 2 – Sistema térmico composto por duas paredes.	20
Figura 3 – Superfícies metálicas da cobertura A: a) face superior e b) face inferior.....	24
Figura 4 – Núcleo isolante EPS da cobertura A.	25
Figura 5 – Superfícies metálicas da cobertura B: a) face superior e b) face inferior.	25
Figura 6 – Núcleo isolante PIR da cobertura B.	26
Figura 7 – Aparelhos utilizados: a) termopar do tipo K e b) termômetro digital.....	27
Figura 8 – Canais T1 e T2 de entrada dos termopares.	27
Figura 9 – Termopares fixados às superfícies da cobertura A: a) superior e b) inferior.	28
Figura 10 – Termopares fixados às superfícies da cobertura B: a) superior e b) inferior.	28
Figura 11 – Posicionamento do termômetro na cobertura A.	29
Figura 12 – Posicionamento do termômetro na cobertura B.	29
Figura 13 – Representação do perfil do isolante EPS utilizado na cobertura A.	31
Figura 14 – Representação do perfil do isolante PIR utilizado na cobertura B.	32
Gráfico 1 – Temperaturas medidas pelos canais T1 e T2 de cada termômetro na medição de teste.	35
Gráfico 2 – Temperatura superficial das telhas superior (T1) e inferior (T2) durante o último dia de medição.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condutividade térmica do poliestireno a 23°C.	22
Tabela 2 - Espessura adicional.	33
Tabela 3 - Variações de temperatura médias nas coberturas e eficiência relativa entre o PIR e o EPS.	37
Tabela 4 - Resumo dos resultados de fluxo de calor em faixas de temperatura para cobertura A com isolante EPS.....	39
Tabela 5 - Resumo dos resultados de fluxo de calor em faixas de temperatura para cobertura B com isolante PIR.....	39
Tabela 6 – Dados de eficiência relativa entre os isolantes PIR e o EPS.....	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVO GERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 JUSTIFICATIVA.....	12
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
4.1 EFICIÊNCIA TÉRMICA.....	13
4.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	13
4.3 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	14
4.3.1 CONDUÇÃO EM REGIME PERMANENTE E LEI DE FOURIER.....	15
4.3.2 ANALOGIA COM CIRCUITO ELÉTRICO E RESISTÊNCIA TÉRMICA	18
4.4 PAINÉIS TERMOACÚSTICOS.....	20
4.5 ISOLAMENTO TÉRMICO EM COBERTURAS	21
4.5.1 ESPUMA RÍGIDA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO MATERIAL ISOLANTE.....	22
4.5.2 ESPUMA RÍGIDA DE POLIISOCIANURATO COMO MATERIAL ISOLANTE	23
5 MATERIAIS E MÉTODOS	24
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE COLETA E DAS COBERTURAS	24
5.2 MATERIAIS UTILIZADOS NA COLETA DE DADOS.....	26
5.3 INSTALAÇÃO E MONITORAMENTO DOS APARELHOS	28
5.4 CALIBRAÇÃO DOS TERMÔMETROS.....	30
5.5 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DOS SISTEMAS	30
5.6 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS.....	33
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
6.1 CALIBRAÇÃO DOS TERMÔMETROS	35
6.2 ANÁLISE TEMPORAL DA TEMPERATURA SUPERFICIAL DAS TELHAS.....	36
6.3 AVALIAÇÃO DAS VARIAÇÕES DE TEMPERATURA SOBRE AS SUPERFÍCIES.....	37
6.4 AVALIAÇÃO DA TAXA DE FLUXO DE CALOR SOBRE AS COBERTURAS.....	39
7 CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIAS.....	43
APÊNDICE A	46
APÊNDICE B	52
APÊNDICE C	58

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, em função da necessidade de climatização dos ambientes e os custos gerados para essa operação, observa-se uma considerável preocupação com o consumo racional de energia. Enquanto o desperdício de energia elétrica com o condicionamento de ar é elevado, as maneiras para diminuir o consumo são acessíveis e de baixo custo, principalmente por meio do emprego de materiais de maior resistência térmica, que tendem a contribuir para o isolamento térmico da edificação ao reduzir as trocas de calor com o meio externo (GASPARINI et al., 2006, p. 411).

O isolamento térmico inadequado das construções no Brasil tende a ser decorrente da baixa qualidade e produtividade na construção civil, da falta de subsídios e de conhecimento sobre o tema por parte dos profissionais da construção e na elaboração dos projetos. Por sua vez, nas edificações não condicionadas, onde se busca obter o conforto térmico predominantemente no verão em função das condições climáticas, o parâmetro de avaliação do desempenho térmico deixa de ser o consumo de energia e passa a ser o conforto térmico dos ocupantes (TAMANINI, 2002, p. 11). Nesse cenário, os materiais isolantes apresentam-se como uma grande ferramenta em tal busca, pois quando corretamente aplicados tendem a diminuir os “ganhos de calor” pelas edificações e serem efetivos na promoção de baixas amplitudes térmicas no seu interior ao longo do dia. A partir disso, pode-se identificar os meios por onde ocorrem esses “ganhos” e minimizar assim as trocas entre eles.

Dentre os principais meios por onde ocorre a transferência de calor nas edificações usuais, tem-se o telhado ou a cobertura das construções, os elementos de vedação externos, o piso e os demais elementos que podem compor a sua envoltória, como vidro, alumínio e madeira das esquadrias em geral. Segundo Matias (2001) a cobertura da edificação é o elemento construtivo onde os agentes atmosféricos atuam mais diretamente e a ação térmica da radiação solar se mostra sensivelmente mais intensa. Spannenberg (2006, p. 56) quantifica que a o calor total recebido pela cobertura de edificações térreas pode chegar a 70% do total e apenas 30% para as fachadas, enquanto que nas estruturas de múltiplos pavimentos tende a diminuir, passando a depender mais das paredes. Entretanto, mesmo para essas

edificações ocorre elevada taxa de transferência de calor pela cobertura, o que pode levar a prejuízos ao morador do último pavimento, pois, além do maior desconforto térmico, pode ocorrer o surgimento de fissuras provenientes da dilatação térmica dos materiais e estruturas mais expostos ao sol.

Nesse contexto, o presente trabalho pretende comparar o isolamento térmico promovido por núcleos isolantes de poliestireno expandido (EPS) e poliisocianurato (PIR) aplicados em sistemas de telhas termoacústicas, sistema também conhecido como telhado sanduíche, em edificações de porte similar na região de Campo Mourão, Paraná. Para isso, o estudo se baseia nas diferenças de temperatura medidas entre as superfícies das telhas e no fluxo de calor sobre os isolantes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliação comparativa da eficiência térmica de núcleos isolantes de telhas termoacústicas, por meio das variações de temperatura superficial das telhas e da taxa de fluxo de calor que atravessa os perfis, de duas coberturas em edificações na região de Campo Mourão, Paraná.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Medir as temperaturas das superfícies superior e inferior de duas coberturas de telhas termoacústicas com fechamentos externos de telha metálica e núcleo interno isolante: uma com núcleo isolante de espuma rígida de poliestireno expandido e outra com espuma rígida de poliisocianurato;
- Comparar os resultados das médias de diferenças de temperatura nos sistemas estudados em faixas de temperatura;
- Computar e comparar a taxa de fluxo de calor nas telhas das coberturas acompanhadas por meio das resistências térmicas, calculadas para os sistemas térmicos.

3 JUSTIFICATIVA

A crescente demanda por telhas metálicas em edifícios residenciais, em função principalmente de sua leveza e durabilidade, exige cada vez mais a utilização de materiais com características isolantes capazes de auxiliar a cobertura na diminuição do calor que adentra as edificações – em face da elevada condutividade térmica desses materiais em relação às telhas cerâmicas convencionais tradicionalmente utilizadas nessas construções. Nesse contexto, entram em cena as telhas termoacústicas, que a partir da combinação de um isolante com telhas metálicas, reduzem a passagem de calor e ruído para o ambiente interno.

Encontram-se no mercado uma grande variedade de isolantes para coberturas, especialmente para núcleos de painéis termoacústicos com o uso de sintéticos de espumas plásticas como os poliestirenos (EPS e XPS) e as fabricadas com isocianatos (PUR e PIR). Observa-se, portanto, a grande necessidade de estudos sobre o tema com o intuito de obter um melhor conhecimento acerca das características dos materiais usualmente empregados como isolantes nesses sistemas de cobertura e os consequentes efeitos no isolamento térmico destes. Assim, pretende-se, com este trabalho, contribuir para o estudo do isolamento térmico em edificações e reforçar a necessidade de se pensar a eficiência energética bem como o conforto térmico dos usuários.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 EFICIÊNCIA TÉRMICA

Segundo Vefago (2006, p. 81), o desempenho térmico de uma vedação deve, a partir de critérios normativos, proporcionar conforto aos usuários e diminuir os gastos energéticos para o condicionamento das edificações, sendo dado em função da transferência de calor entre os ambientes interno e externo. Ainda, Rosa (1984, apud ABREU et al., 2011) trata o fluxo de calor através das coberturas, juntamente com as elevadas temperaturas na face inferior das telhas, como a principal causa do desconforto no interior das instalações.

Pedote e Franco (2012) buscam conhecer a eficiência térmica de isolantes através das variações de temperatura que eles promovem ao ambiente interno em comparação com a temperatura ambiente de 23°C. Para isso, criaram cenários diurnos e noturnos fixando a temperatura interna do forro a um valor de ideal de 25°C, para que ocorresse condição de conforto térmico. Para situações de “calor”, como as desejadas nesse trabalho, o objetivo é fazer com que as superfícies inferiores dos forros possuam temperaturas menores em relação à superiores. Ainda, considerando que as temperaturas noturnas se encontram abaixo da temperatura ambiente, a metodologia empregada para o cálculo da eficiência térmica se inverte, com o tipo de isolante com o melhor desempenho térmico sendo aquele que melhor retém o calor dentro da edificação, mantendo a temperatura interna do forro mais próxima da necessária para o conforto térmico.

4.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor relaciona-se à energia transferida entre dois pontos onde existe diferença de temperatura, ou seja, na busca pelo equilíbrio termodinâmico o fluxo de calor ocorre de uma região de maior temperatura para uma região de menor temperatura. Assim, pode-se dizer que a força motriz para que ocorra transferência de calor é a diferença de temperatura. Para Van Wylen et al. (1995), definiu-se o calor como a forma de transferência de energia, através da fronteira de um sistema numa dada temperatura a um outro sistema em uma temperatura inferior. Por fim, o autor

argumenta que um dado corpo nunca contém calor por si só, uma vez que, este só pode ser identificado quando atravessa a fronteira, sendo, portanto, um fenômeno transitório.

A maneira pela qual o calor é transmitido entre as regiões de temperaturas diferentes é associada ao fluxo de calor. Segundo a Norma NBR15220 (ABNT, 2003), pode-se definir fluxo de calor como o “quociente da quantidade de calor que atravessa uma superfície durante um intervalo de tempo pela duração desse intervalo”, dado em Watts ou em Joules por segundo (J/s). A densidade de fluxo de calor, no entanto, refere-se ao fluxo de calor que atravessa uma superfície pela área dessa superfície, dado, portanto, em W/m^2 .

4.3 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

O calor se propaga de três maneiras distintas, através dos mecanismos de transferência de calor: a condução, a convecção e a radiação.

A condução ocorre por meio da transmissão de energia de partículas mais energéticas para partículas menos energéticas em um determinado meio de interações entre elas (INCROPERA & DEWITT, 1996). Aquelas partículas com energias moleculares maiores apresentam temperatura mais elevada, e, ao vibrarem com maior amplitude, conseguem aproximar-se das moléculas vizinhas levando a um iminente choque entre as partículas e à transferência de calor por condução. A convecção, por sua vez, pode ser explicada, conforme Freire (2005, p. 186), como um processo de transferência de calor no qual a energia térmica juntamente com as partículas aquecidas da substância se propagam. Portanto, diferentemente da condução, que ocorre normalmente em meios sólidos com a massa estática – pode ocorrer em fluídos estáticos – pode-se dizer que a convecção se refere ao fluxo de calor em fluídos, como líquidos e gases, onde há deslocamento de partes da substância da região quente para a região fria. Por último, a radiação pode ser definida como a energia emitida por toda matéria a uma temperatura não nula. Pode ser atribuída a mudanças nas configurações eletrônicas dos átomos ou moléculas que constituem a matéria. A energia de radiação é transferida por ondas eletromagnéticas, e, enquanto a transferência de calor para condução e convecção depende da

existência de meio material, a radiação ocorre mais eficientemente no vácuo (INCROPERA & DEWITT, 1996).

Esses mecanismos, apesar de serem qualificados separadamente, não estão desassociados, uma vez que na natureza um corpo qualquer pode estar sujeito a mais de um mecanismo de transferência de calor. Uma maneira de exemplificar a atuação destes mecanismos simultaneamente dentro de um elemento construtivo é entender como o calor adentra as edificações pela cobertura. Segundo Michels (2007, p. 19) a transferência sobre os elementos de telhado se dá, de modo genérico, de forma que a radiação solar, ao incidir sobre a superfície das telhas, as aquece. Assim, uma parcela deste calor é perdida por convecção e irradiação ao ambiente externo e a outra parcela é absorvida pelas telhas, transmitindo-as para o ático. No interior do ático, o calor é transferido das telhas até a superfície do forro por convecção e radiação, e, o forro, por sua vez, absorve parte deste calor e o transmite para o espaço interno da residência.

Dessa forma, pode-se dizer que o desempenho térmico das coberturas não é uma constante facilmente determinável, mas depende de muitas variáveis, como a existência da camada de ar do ático, o tipo de forro abaixo do telhado, sombreamentos e ventilação sob a superfície superior das telhas e as características dos elementos que compõem o telhado, como o material das telhas, a sua cor (variando a emissividade das telhas) e mesmo se há isolantes auxiliando a diminuição do fluxo de calor (por meio da baixa condutividade dos materiais).

Para o estudo em questão, no entanto, visto que a transferência de calor entre as interfaces da telha superior com o isolante e entre o isolante e a telha inferior se dá exclusivamente por condução, foi feita uma análise restrita ao mecanismo correspondente à condução através da equação de Fourier, detalhada no tópico a seguir.

4.3.1 CONDUÇÃO EM REGIME PERMANENTE E LEI DE FOURIER

A transferência de calor por condução se dá de duas formas: permanente ou transiente. A transferência em regime permanente ocorre sem que haja alteração no fluxo de calor ao longo do tempo no meio, ou seja, as características do sistema

(notoriamente a temperatura) são inalteradas e não dependem da variável do tempo. A transferência transiente, por outro lado, ocorre com variação do fluxo de calor no meio ao longo do tempo, como por exemplo com o aumento ou diminuição de uma fonte de calor incidente sobre um ponto desse sistema.

A grande maioria das aplicações práticas da transferência de calor em elementos construtivos ocorre de maneira transiente. Considerando as condições pelas quais uma cobertura de uma edificação está submetida, como velocidade e direção do vento, temperatura e posição do sol – que pode provocar sombreamentos – é seguro dizer que a transferência de calor nunca é em regime estritamente permanente. É uma análise comum na engenharia, porém, considerar uma aproximação da transferência de calor em regime permanente devido a maior facilidade de análise (ÇENGEL, 2012). De fato, uma análise permanente pode ser suficiente, visto que, apesar das condições serem dependentes do tempo, estas tendem a ser aproximadamente constantes em curtos períodos.

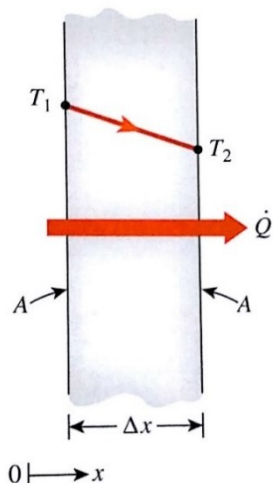
A transferência de calor por condução pode ser classificada segundo a direção do fluxo de calor de maneira uni, bi e tridimensional. Considerando o fluxo de calor sob uma placa, como a de isolantes rígidos de EPS comumente aplicados na construção civil, pode-se dizer que a variação de temperatura ocorre de maneira unidirecional, pois a mesma se dá predominantemente na direção normal a superfície da placa – calor transferindo-se da região de maior temperatura para a região de menor temperatura – enquanto que nas outras direções a variação de temperatura é desprezível. Por esta razão, consideraremos a transferência de calor apenas na direção x , que se refere ao eixo da espessura da placa.

Thomas (1985), valendo-se da Lei de Fourier, descreve que para a condução de calor permanente e unidimensional (fluxo de calor na direção x) em uma parede plana, o calor transferido pode ser resumido pela equação de Fourier para a condução de calor:

$$q_x = -\lambda Ax \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

O sinal de menos refere-se à necessidade de o calor fluir na direção da maior temperatura para a menor, de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, ou seja, de T_1 para T_2 , como pode ser visto na figura 1. O fluxo de calor deve ser positivo de T_1 para T_2 , mas com o acréscimo de valores de x a temperatura diminui, sendo o gradiente de temperatura negativo.

Figura 1– Direção do fluxo de calor em uma parede plana.



Fonte: Çengel (2012, p. 18).

Ainda sobre a equação de Fourier, a área Ax é normal a transferência de calor qx e λ é o coeficiente de condutividade térmica do material. Sendo $\frac{dT}{dx}$ o gradiente de temperatura, ou a variação de temperatura ao longo da distância na direção da espessura da placa e no sentido do fluxo de calor, pode-se substituir $\frac{dT}{dx} = \frac{\Delta T}{L}$. Assim, temos L como espessura da placa ou parede e o valor de ΔT correspondente a variação de temperatura nessa espessura. Adotando a hipótese de unidimensionalidade do fluxo na direção x , pode-se reescrever a equação da condução para o fluxo da seguinte maneira:

$$q = \lambda A \frac{\Delta T}{L} \quad (2)$$

Portanto, a Lei de Fourier indica que o fluxo de calor entre dois pontos é diretamente proporcional à área, à diferença de temperatura ΔT e à condutividade térmica do material e inversamente proporcional à espessura da parede ou placa onde o fluxo atua. A equação (2) é válida considerando que q atua na direção perpendicular ao plano da área A . O fluxo de calor é expresso em Watts ou kcal/h.

É comum referir-se ao fluxo de calor q em função da área, reportando-se assim à densidade de fluxo de calor ou taxa de fluxo de calor. Essa operação é interessante quando se tem como objetivo não o fluxo de calor absoluto, mas uma taxa ou intensidade com que ele ocorre, visando assim obter uma maior precisão no estudo da transferência de calor. Deixando a equação (2) em função da área, encontra-se a taxa de fluxo de calor q'' , exemplificada na equação (3), abaixo.

$$q'' = \frac{q}{A} \quad (3)$$

4.3.2 ANALOGIA COM CIRCUITO ELÉTRICO E RESISTÊNCIA TÉRMICA

A resistência térmica corresponde à dificuldade de transmissão de calor, ou seja, quanto maior a resistência térmica maior será a eficácia no isolamento térmico para o material. Essa definição parte do mesmo princípio da resistência elétrica, pois considera a maior ou menor dificuldade com que o fluxo térmico ou elétrico ocorre em uma dada direção. Assim, uma analogia com os circuitos elétricos para os problemas referentes a transferência de calor a partir da resistência térmica em circuitos térmicos. Segundo Kreith et al. (2014), o físico alemão Georg Ohm (1789-1854), descobridor da lei de Ohm publicada em 1827, que é a base fundamental da teoria de circuito elétrico, baseou sua formulação na obra de Fourier, o qual à época havia desenvolvido a equação da taxa para descrever o fluxo de calor, dando assim sentido ao tratamento análogo do fluxo de calor e da eletricidade.

Incropera e Dewitt (1996) sugerem que sendo a resistência elétrica associada à condução de eletricidade, a resistência térmica pode ser associada à condução de calor, de modo que onde temos a força motriz no sistema elétrico na diferença de potencial, tem-se a diferença de temperatura no sistema térmico. Procedendo a analogia para um sistema térmico, R é a resistência térmica, análoga à resistência elétrica e q'' é a densidade do fluxo de calor que atravessa o sistema onde há a diferença de temperatura ΔT , análoga à corrente elétrica. A partir da Lei de Ohm, portanto, tem-se:

$$U = R \cdot i \Leftrightarrow \Delta T = R \cdot q'' \quad (4)$$

A Norma NBR 15220 (ABNT, 2003), que trata do desempenho térmico de edificações, define a resistência térmica como o “quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário”. O mesmo resultado para a resistência térmica pode ser obtido isolando-se R na equação (4) e obtendo-se (5), onde a resistência térmica é dada em $(m^2.K)/W$.

$$R = \frac{\Delta T}{q''} \quad (5)$$

Substituindo q'' pela equação (3) em (5), obtém-se a equação (6) para a resistência térmica. Nota-se, portanto, que a resistência térmica é função unicamente da condutividade térmica do material e da sua espessura. Assim, é usual encontrar no mercado valores tabelados para a resistência térmica de materiais e componentes construtivos – para uma espessura fixada de material. Outra maneira de se referir à resistência térmica é através de (7), que é obtida dividindo a expressão (6) pela área da superfície analisada, fornecendo a resposta em K/W (ou em $^{\circ}C/W$). Tem-se, portanto, uma relação similar à do fluxo de calor e a taxa de fluxo de calor: a resistência térmica pode ser analisada sob um espectro de intensidade ou simplesmente quantificada de maneira absoluta.

$$R = \frac{L}{\lambda} \quad (6)$$

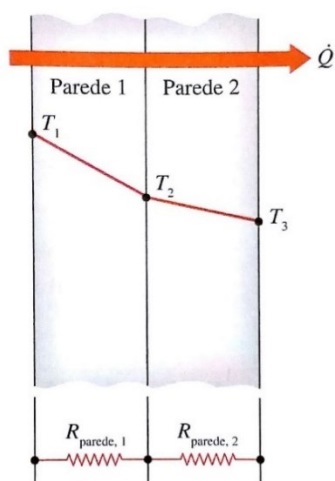
$$R = \frac{L}{\lambda \cdot A} \quad (7)$$

Considerando-se a recorrência dentro da construção civil do emprego de combinações de materiais diferentes nas aplicações de transferência de calor – como por exemplo um isolante térmico em composição a outro material auxiliando na redução da taxa de transferência de calor – deve-se prosseguir a analogia do sistema elétrico e encontrar a resistência equivalente do sistema. Nesses casos é quase sempre recorrente a aplicação de dois materiais imediatamente sobrepostos, trabalhando, portanto, em série. Para obter a resistência equivalente basta somar as resistências de cada material isoladamente, com suas respectivas condutividades térmicas e espessuras. A resistência equivalente R_{eq} é dada pela equação (8) abaixo:

$$R_{eq} = \frac{L_1}{\lambda_1 A} + \frac{L_2}{\lambda_2 A} + \dots + \frac{L_n}{\lambda_n A} \quad (8)$$

A analogia da resistência térmica pode ser exemplificada pela figura 2, onde o fluxo de calor por condução parte dos pontos T_1 em direção a T_3 , passando pela resistência relativa à parede 1 e à resistência relativa a parede 2. Com as respectivas resistências térmicas de cada parede definidas, pode-se calcular a R_{eq} para o sistema. É possível, por meio das deduções correspondentes à transferência de calor por convecção, encontrar a resistência térmica por convecção, relativas ao fluxo de calor nos fluídos à esquerda e à direita das paredes 1 e 2. O estudo da convecção não é, porém, o objetivo deste trabalho.

Figura 2 – Sistema térmico composto por duas paredes.



Fonte: Adaptado de Çengel (2012, p. 142).

4.4 PAINÉIS TERMOACÚSTICOS

Segundo a NBR 16373 (ABNT, 2015), os painéis termoacústicos são um conjunto formado por uma ou mais chapas metálicas, com camada de material termoisolante e/ou acústico, produzidas em unidade fabril ou montadas na obra.

As telhas são chapas metálicas, podendo ser de aço galvanizado, galvalume ou alumínio. Dentre essas, as duas primeiras são as mais comuns. As telhas galvanizadas são revestidas apenas de zinco em sua composição, já as de galvalume são revestidas com 55% de alumínio, 43,5% de zinco e 1,5% de silício. A grande vantagem da telha galvalume é combinar a resistência estrutural do aço com a durabilidade do alumínio, tendo como resultado telhas muito mais duráveis que as

galvanizadas. No mercado, as telhas galvalume são encontradas mais comumente nas espessuras de 0,43 mm, 0,50 mm e 0,65 mm. Dentre os tipos de telhas metálicas empregadas em painéis termoacústicos, as principais são as onduladas e as trapezoidais. As telhas do tipo trapezoidal são classificadas de acordo com a altura da crista em mm, sendo as de 25 mm e 40 mm as mais comuns entre os fabricantes.

Os materiais isolantes, que compõe o núcleo do sistema de telhas termoacústicas, têm a função de promover o conforto térmico e acústico aos ambientes internos dessas coberturas. Dentre os materiais mais empregados como isolantes encontra-se, além da lã de rocha e das mantas de isolantes reflexivos, as espumas plásticas, detalhadas a seguir.

4.5 ISOLAMENTO TÉRMICO EM COBERTURAS

Muitas vezes, dentro da engenharia civil, é necessário diminuir o fluxo de calor em um elemento construtivo. Em edificações usuais, essas trocas de calor tendem a ocorrer pela cobertura e pelas vedações, porém, muitas vezes os materiais que compõem a superfície destes elementos não apresentam características favoráveis a essa diminuição necessária. A partir destas condições, uma saída razoável seria utilizar outros materiais em conjunto aos originais para promover um isolamento térmico adequado às finalidades da construção. Segundo Kreith et al. (2014, p. 36), um material isolante térmico deve apresentar baixa condutividade térmica, e, na maioria das vezes isso é obtido pelo aprisionamento de ar dentro de superfícies sólidas, o que leva a uma redução no fluxo de calor, devido à baixa condutividade do gás. Contudo, ocorre transferência de calor por convecção natural nos bolsões de ar e radiação entre as paredes sólidas, o que nos leva a entender a condutividade térmica não mais como uma propriedade do material isolante, mas como o resultado de uma combinação de fluxos de calor.

O mesmo autor divide os materiais isolantes em três grandes grupos segundo a sua estrutura: fibroso, celular e granular. Os materiais fibrosos caracterizam-se pela elevada porosidade e baixa densidade. São comumente aplicados como mantas, e, dentre os mais utilizados na construção civil destacam-se a lã de rocha e a lã de vidro. Os isolamentos celulares geralmente são dados por placas flexíveis ou rígidas que

apresentam como vantagens principais baixa densidade e elevada resistência. O isolamento granular é composto por pequenas partículas, algumas vezes em pó, que podem ser utilizados a granel dentro de blocos de alvenarias ou como agregado para argamassa em revestimentos de paredes.

Dentre os isolantes mais empregados em coberturas metálicas, destacam-se os isolamentos celulares, como as espumas rígidas de poliestireno expandido e de poliisocianurato. Isso é justificado pela baixa condutividade desses materiais, aliada a pouca variação de suas propriedades com a umidade e a elevada durabilidade, também característica das coberturas metálicas (MENDONÇA, 2005).

4.5.1 ESPUMA RÍGIDA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO MATERIAL ISOLANTE

Amplamente empregado na construção civil o poliestireno expandido ou EPS (sigla para Expanded Polystyrene) é, conforme a NBR 11752 (ABNT, 2016), um material plástico celular rígido, com adição de retardante à chama. É fabricado através da expansão de grânulos pré-expandidos de poliestireno. Sendo composto de 98% de ar e 2% de poliestireno, tem como uma das grandes vantagens sua leveza.

Atualmente é válida a norma NBR 11752 (ABNT, 2016), a qual classifica o EPS em 8 classes, variando a sua condutividade térmica. No entanto, a cobertura com isolante EPS estudada baseia-se na norma anterior, a NBR 11752 (ABNT, 2007), a qual escreve que o coeficiente de condutividade térmica do EPS deve ser obtido por meio do método de ensaio da NBR 12094 e respeitar limites da tabela 1, abaixo. Segundo essa norma, os produtos derivados do EPS podem ser não retardantes à chama (classe P) ou retardantes à chama (classe F).

Tabela 1 - Condutividade térmica do poliestireno a 23°C.

Propriedades	Método de ensaio	Unidade	Classe P			Classe F		
Tipo de material	-	-	I	II	III	I	II	III
condutividade térmica a 23°C	NBR 12094	W/(m.k)	0,042	0,039	0,037	0,042	0,039	0,037

Fonte: NBR 11752/93.

Os isolantes de EPS são amplamente aplicados em coberturas de edificações. Apesar de serem encontrados muitas vezes como uma placa rígida para aplicações

gerais, também podem ser moldados na forma definitiva pela indústria, sendo uma dessas na geometria adequada para o uso como material isolante em telhas “sanduíche”, como as estudadas.

4.5.2 ESPUMA RÍGIDA DE POLIISOCIANURATO COMO MATERIAL ISOLANTE

Assim como o EPS, a espuma rígida de poliuretano (PUR) é muito utilizada como material termoisolante em telhas termoacústicas. Além dessas, encontra-se também no mercado de isolantes, em menor escala, um material quase similar ao PUR: a espuma rígida de poliisocianurato. A principal diferença do PIR em relação ao PUR se dá na porcentagem em que seus componentes primários poliol e isocianato são misturados (100:150 PIR e 100:100 no PUR), que faz com que estes tenham maior estabilidade térmica e reação ao fogo (MENDONÇA, 2005).

O PIR não conta com uma norma própria para suas especificações e requisitos de fabricação no Brasil, os quais são regidas nacionalmente pela norma NBR 15366 (ABNT, 2006), que trata dos requisitos e métodos de ensaio do PUR. Internacionalmente, porém, é regulado segundo sua estabilidade dimensional pela ASTM 2126, tem sua resistência à compressão definido pela ASTM D 1621 e sua condutividade térmica pela ASTM C518. Como mencionado, a fabricação dos painéis PUR e PIR é regulada pela norma NBR 15366-1 (ABNT, 2006), e ela foi considerada nesse trabalho para a quantificação da resistência térmica do sistema com isolante PIR.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE COLETA DE DADOS

Neste trabalho, objetivou-se aferir a eficiência quanto ao isolamento térmico de dois isolantes pertencentes a coberturas de edifícios, tomando-se como base as diferenças de temperatura e o fluxo de calor que adentra as coberturas. Os edifícios possuem porte similar (4 e 6 pavimentos) e localizam-se na região central da cidade de Campo Mourão, Paraná, orientada em 24° 2' 46" Sul e 52° 23' 2" Oeste.

Ambas as coberturas são compostas por painéis termoacústicos com telha metálica de aço galvanizado pré-pintado, de espessura 0,43 mm, cromatizadas com primer epóxi e pintura de acabamento em poliéster na cor branco gelo (padrão RAL 9003). O painel da cobertura A possui núcleo isolante de poliestireno expandido (EPS) e o painel da cobertura B de poliisocianurato (PIR). Na figura 3 tem-se a edificação relativa à cobertura A, com indicação das superfícies superior e inferior das telhas.

Figura 3 – Superfícies metálicas da cobertura A: a) face superior e b) face inferior.



Fonte: Autoria própria (2017).

A cobertura A possui painéis com telhas superiores e inferiores iguais, do tipo trapezoidal 40 (TP40), com altura de 4 cm e núcleo isolante com espessura de 30 mm de EPS. A figura 4 mostra, em detalhe, a partir do vão entre a cumeeira do telhado, a placa de EPS entre as chapas metálicas da cobertura A.

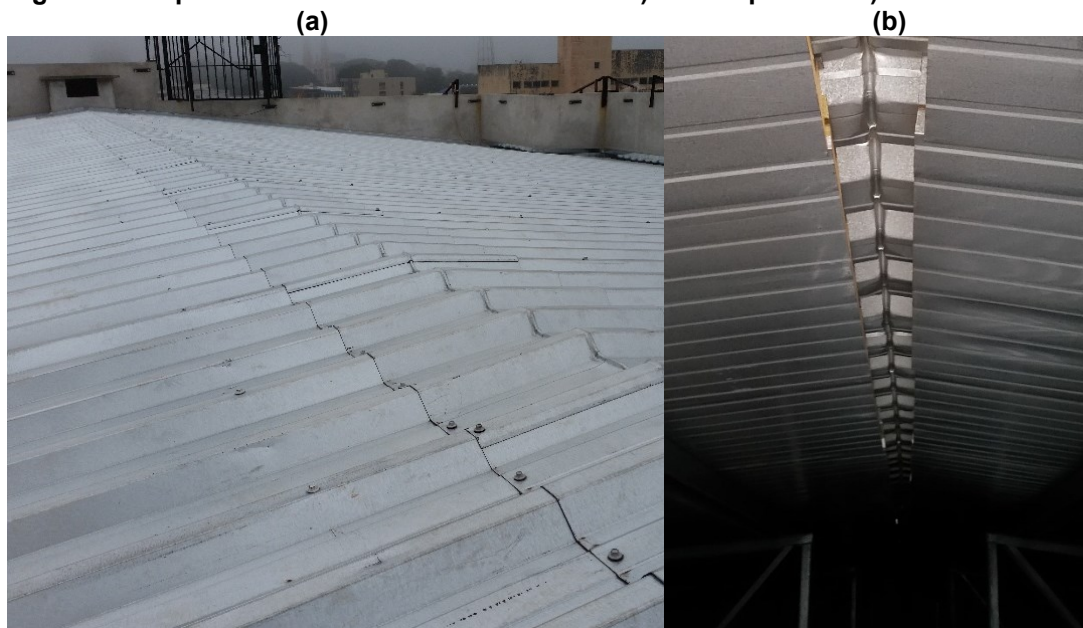
Figura 4 – Núcleo isolante EPS da cobertura A.



Fonte: Autoria própria (2017).

Na figura 5 apresenta-se a edificação relativa à cobertura B, com indicação das superfícies superior e inferior das telhas.

Figura 5 – Superfícies metálicas da cobertura B: a) face superior e b) face inferior.



Fonte: Autoria própria (2017).

A cobertura B, por sua vez, possui telhas do tipo TP40 na superfície superior e do tipo plano-frisado (lisas), na superfície inferior. Além disso, essa cobertura conta com núcleo isolante de PIR (espuma rígida de poliisocianurato), com espessura variando de 30 mm a 50 mm conforme a geometria das superfícies metálicas. Na figura 6, tem-se a aplicação do material como núcleo isolante de telha termoacústica no segundo sistema de cobertura estudado.

Figura 6 – Núcleo isolante PIR da cobertura B.



Fonte: Autoria própria (2017).

Para o estudo em questão, apurou-se com as empresas responsáveis pela execução das coberturas nas edificações e os respectivos fabricantes das telhas, as condutividades térmicas e também as demais especificações dos isolantes EPS e PIR empregados. O tipo de EPS nos painéis da cobertura A, conforme verificado, é F (retardante à chama) da classe I, com condutividade térmica de 0,042 W/m.K. O PIR empregado nos painéis da cobertura B é classe R1 de retardante à chama, com valor de condutividade térmica catalogado de 0,020 kcal/m.h.°C. Assim, sabendo-se que 1 Watt equivale a 0,859845 kcal/h, dispõe-se dos seguintes valores de condutividade térmica para os materiais estudados de acordo com o Sistema Internacional de Unidades:

$$\lambda_{EPS} = 0,04200 \frac{W}{m.K}$$

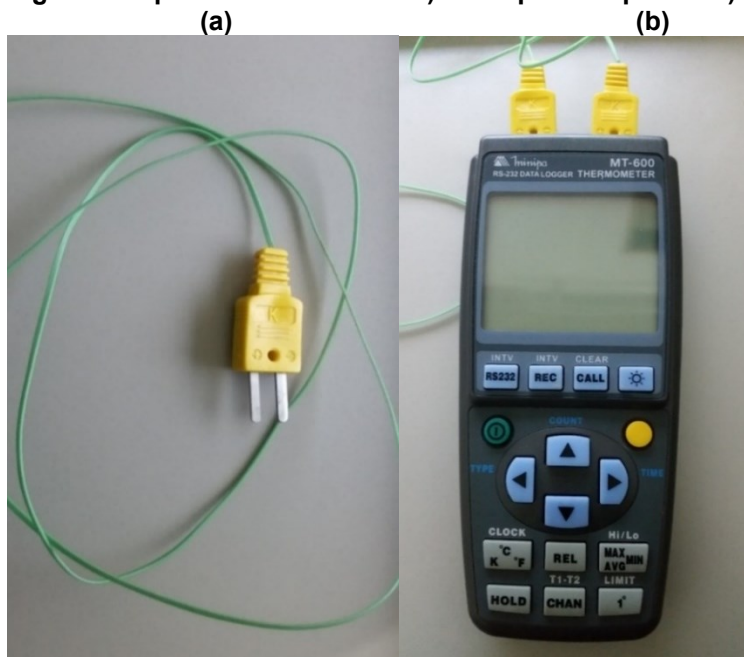
$$\lambda_{PIR} = 0,02326 \frac{W}{m.K}$$

5.2 MATERIAIS UTILIZADOS NA COLETA DE DADOS

Para a medição das temperaturas, foi utilizado um datalogger (termômetro digital) ligado a dois termopares que fornecem as temperaturas nas duas faces da cobertura. Os termopares utilizados são do tipo K, ilustrado na figura 7 (a) e o termômetro é da marca Minipa, modelo MT-600, como pode ser conferido na figura 7 (b). O modelo do termômetro tem capacidade de registro na memória de até 10.000 dados e permite o ajuste no intervalo de transmissão e de amostragem do termômetro

variando de um segundo até 59 minutos e 59 segundos. Para efeitos práticos e em razão do volume de dados necessários para o estudo, os termômetros foram configurados em um primeiro momento para gravar dados a cada quinze minutos, e, posteriormente, a cada dez minutos.

Figura 7 - Aparelhos utilizados: a) termopar do tipo K e b) termômetro digital.



Fonte: Autoria própria (2017).

Os termopares conectados ao termômetro foram colocados em contato com as duas faces da telha: a superior, exposta ao exterior da edificação e a inferior, ao ático. Os termopares foram conectados ao termômetro por dois canais, T1 (face superior da telha) e T2 (face inferior da telha), indicados na figura 8, que forneceram duas leituras simultâneas de temperatura para cada dado gravado. A diferença entre T1 e T2 indicou a variação de temperatura medida na telha e a direção do fluxo de calor no momento da medição.

Figura 8 – Canais T1 e T2 de entrada dos termopares.

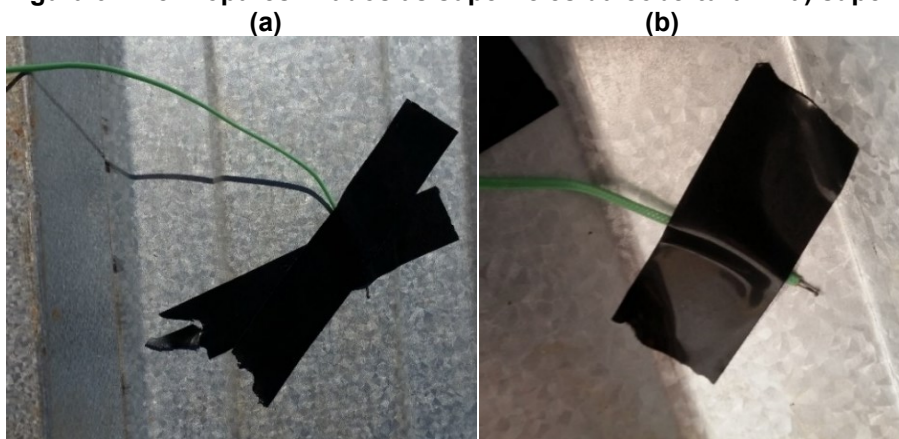


Fonte: Autoria própria (2017).

5.3 INSTALAÇÃO E MONITORAMENTO DOS APARELHOS

Os termopares, conectados ao termômetro, foram instalados na superfície das telhas com o auxílio de fita isolante, de modo que as superfícies metálicas dos termopares obtivessem somente contato com a telha. O contato de tal extremidade metálica do termopar com a superfície da telha é fundamental, visto que é através dele que se obtém a temperatura do material desejado. A fixação dos termopares às telhas, provenientes dos canais T1 e T2 mostrada na figura 8, foi feita nas duas faces da cobertura de modo que as distâncias respeitassem o comprimento do fio dos termopares. Na figura 9 (a) e (b), tem-se a fixação dos termopares com as superfícies metálicas opostas da cobertura A.

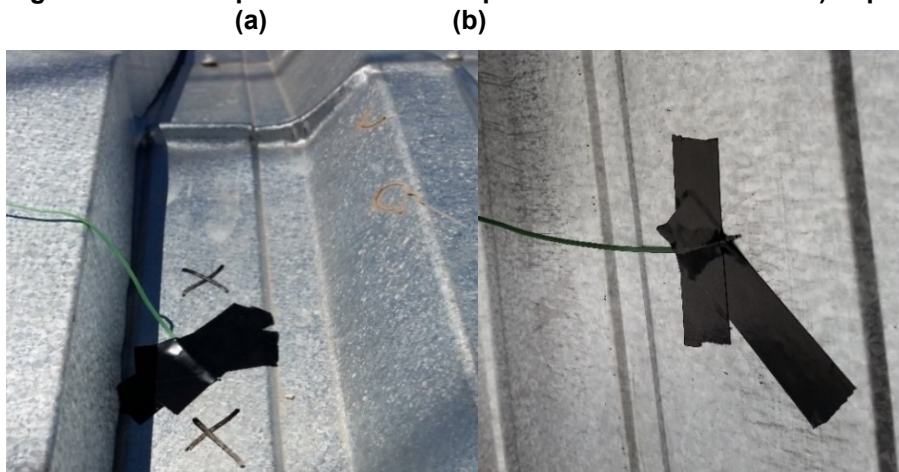
Figura 9 – Termopares fixados às superfícies da cobertura A: a) superior e b) inferior.



Fonte: Autoria própria (2017).

| A figura 10 (a) e (b), ilustra como foi feita a fixação dos termopares com as superfícies metálicas opostas da cobertura B.

Figura 10 – Termopares fixados às superfícies da cobertura B: a) superior e b) inferior.



Fonte: Autoria própria (2017).

A instalação do termômetro foi feita de modo a mantê-lo estático e em uma posição segura dentro do ático, sempre envolvido em uma proteção emborrachada. Na cobertura A (figura 11), foi improvisado um suporte de tubo de PVC para o aparelho, deixando-o fixo, protegido e na posição necessária para que os fios alcançassem as superfícies opostas da telha.

Figura 11 – Posicionamento do termômetro na cobertura A.



Fonte: Autoria própria (2017).

Na cobertura B, devido à geometria do ático e à presença de platibanda, foi necessário a instalação de uma pequena caixa de madeira na entrada do ático, para que os fios dos termopares pudessem alcançar as superfícies da telha, como revela a imagem a seguir:

Figura 12 – Posicionamento do termômetro na cobertura B.



Fonte: Autoria própria (2017).

Embora a coleta dos dados fosse automática, o monitoramento foi diário, com pelo menos uma visita feita por dia de coleta. Devido à sensibilidade dos aparelhos, fez-se necessário a checagem das condições que pudessem causar mal

funcionamento, a exemplo da falta de bateria dos termômetros; mal contato entre os termopares e o termômetro e, principalmente, a descolagem dos termopares das telhas devido a chuvas e ventos fortes.

5.4 CALIBRAÇÃO DOS TERMÔMETROS

Seguindo a mesma metodologia de calibração de termômetros de Pedote e Franco (2012), buscou-se obter informações sobre os termômetros em uma medição de teste na superfície inferior da cobertura A. Esta medição foi feita com o intuito de verificar possíveis erros em algum dos dispositivos. Para uma verificação precisa, estes foram deixados expostos às mesmas condições de temperatura ambiente e de contato, exposição ao sol e incidência de ventos. Posicionaram-se os termômetros lado a lado no interior do ático, e, em um mesmo ponto na telha, foram fixados os quatro termopares, referentes aos canais T1 e T2 de cada termômetro. Os termômetros foram configurados para obter medições simultâneas de temperatura, fazendo-se assim a programação de início e de intervalo de medidas idênticos, com medições a cada quinze minutos.

5.5 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DOS SISTEMAS

De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2003), tendo como objetivo o fluxo de calor de ambiente a ambiente, deve-se considerar além da resistência térmica dos componentes construtivos, a resistência térmica superficial interna e externa dos componentes. A resistência térmica superficial varia de acordo com a emissividade do material, velocidade do ar sobre a superfície e temperaturas da superfície do ar e superfícies próximas. Entretanto, por simplicidade, neste trabalho busca-se o fluxo de calor por condução entre as superfícies, e não entre os ambientes, assim foram consideradas somente as variações de temperatura dada entre as superfícies das telhas.

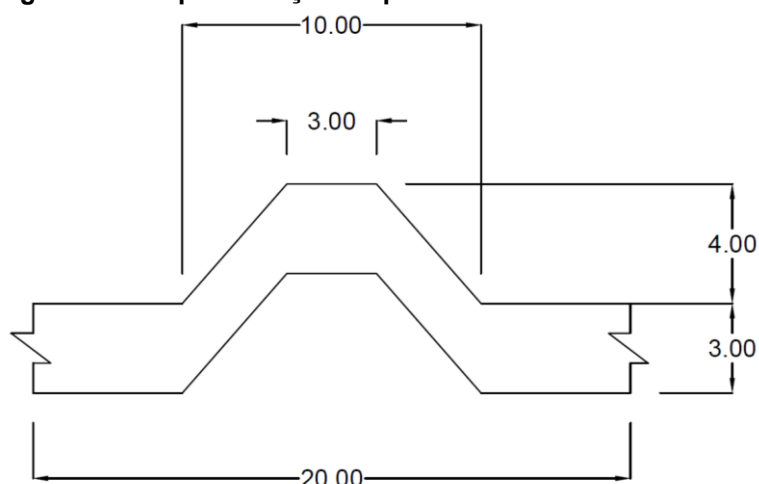
A mesma norma esclarece que a resistência térmica de superfície a superfície de um componente plano constituído de camadas homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, é determinado pela soma das resistências dos componentes, de acordo com a equação (8) apresentada. Portanto, de acordo com a lei de Fourier para o fluxo

de calor unidimensional, o único dado avaliado foi a variação de temperatura nas telhas superior e inferior.

Conforme recomenda a norma 15366-1 (ABNT, 2006), pode-se ignorar a condutividade térmica das telhas, pois ela pouco ou nada influencia na restrição ao fluxo de calor – visto que o sistema térmico está em série e as resistências seriam somadas. Desse modo, se ignorada a transmitância linear das juntas, a resistência do sistema se resume às características dos isolantes térmicos empregados, mais especificamente à sua espessura e condutividade térmica.

Portanto, faz-se necessário conhecer a geometria dos isolantes empregados. A figura 13 indica a geometria do isolante EPS utilizado na cobertura A.

Figura 13 – Representação do perfil do isolante EPS utilizado na cobertura A.



Fonte: Autoria própria (2017).

Por meio das simplificações adotadas para a resistência do sistema e do equacionamento feito conforme demonstrado em (7), item 4.3.2, tem-se a resistência do sistema em uma unidade de área, em kelvin por Watts, dada por:

$$R_{EPS} = \frac{L_{EPS}}{\lambda_{EPS.A}} \leftrightarrow R_{EPS} = \frac{0,03m}{1} * \frac{1.m.k}{0,042.W} * \frac{1}{m^2} = 0,7143 \frac{K}{W}$$

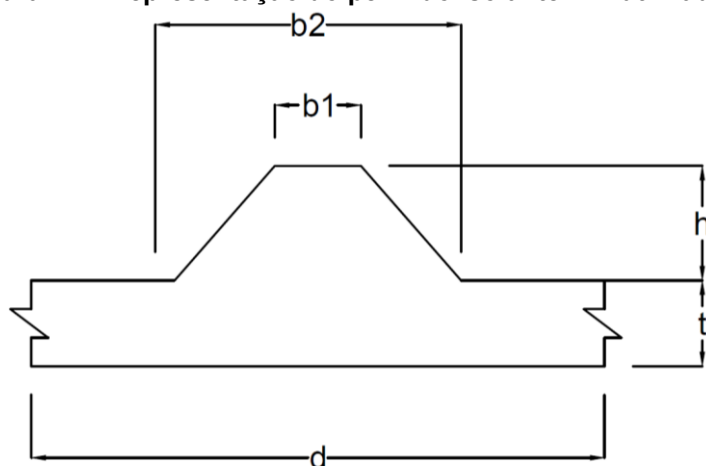
Para a cobertura B, devido às variações de dimensão do isolante, a espessura a ser considerada para o cálculo da resistência térmica se altera. Segundo o anexo G da NBR 15366-1 (ABNT, 2006), pode-se, então, calcular uma espessura adicional a ser acrescida na dimensão lisa do isolante para o cálculo da resistência térmica. Tal

espessura adicional, simbolizada por “ Δe ”, é dada em função da cobertura do perfil (r), sendo r dado pela expressão abaixo.

$$r = \frac{0,5 \cdot (b_1 + b_2)}{d} \cdot 100 (\%) \quad (9)$$

O perfil se refere à seção que se repete na cobertura, onde itens b_1 , b_2 e d são as distâncias horizontais da geometria do perfil do isolante. A figura 14 mostra, em corte, tais dimensões especificadas. A distância b_1 equivale à dimensão do topo do perfil, b_2 à dimensão onde há acréscimo na espessura e d é a dimensão dos perfis.

Figura 14 – Representação do perfil do isolante PIR utilizado na cobertura B.



Fonte: Adaptado de NBR 15366-1 (ABNT, 2006).

Para a cobertura em questão, tem-se:

- $b_1 = 3 \text{ cm}$
- $b_2 = 10 \text{ cm}$
- $d = 20 \text{ cm}$

Assim:

$$r = \frac{0,5 \cdot (3 + 10)}{20} \cdot 100 = 32,5\%$$

Com o valor de r calculado, pode-se calcular o valor de Δe em milímetros para o perfil estudado com base na tabela 2, retirada da mesma norma. O valor encontrado de espessura adicional é função de r calculado e da altura h do perfil. Como a telha da cobertura B estudada é TP40, essa possui h igual a 40 mm.

Tabela 2 - Espessura adicional.

Cobertura do perfil	Altura do perfil (mm)			
	10 ≤ h < 25	25 ≤ h < 50	50 ≤ h < 70	h ≥ 70
r < 25%	1	2	2	2
25 < r ≤ 50%	3	5	6	7
50 < r ≤ 60%	5	9	12	14
60 < r ≤ 70%	7	12	16	19
70 < r ≤ 85%	8	15	20	24

Fonte: Adaptado de NBR 15366 (ABNT, 2006).

Com valor de r igual a 32,5% e de h igual a 40 mm, tem-se a espessura adicional de 5 mm dada pela tabela. A resistência térmica do sistema da cobertura B com isolante PIR, deve ser calculada com esse valor de acréscimo na espessura lisa do isolante, que é de 3 cm:

$$R_{PIR} = \frac{L_{PIR} + \Delta e}{\lambda_{EPS.A}} \leftrightarrow R_{PIR} = \frac{(0,03 + 0,005)m}{1} * \frac{1.K}{0,02326.W} * \frac{1}{m^2} = 1,5047 \frac{K}{W}$$

5.6 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Este estudo se baseia no isolamento do calor que adentra as edificações, ou seja, o fluxo de calor descendente, na direção das telhas superiores para as inferiores. Portanto, as medições consideradas para esse trabalho foram todas em períodos nos quais a insolação se mostrou mais intensa sobre essas coberturas, concentrando-se entre as nove da manhã e as sete da noite.

A coletas dos dados são representadas pelas temperaturas medidas pelos equipamentos e foram realizadas nas coberturas das edificações A e B durante o mês de outubro de 2017. Na cobertura A os dias de medição foram 4, 5, 16, 17 e 18, enquanto na cobertura B foram 4, 5, 11, 12 e 13. A princípio, buscava-se obter valores simultâneos e assim promover maior confiabilidade às análises comparativas. Entretanto, por se tratar de um estudo de caso, os dias de medições tiveram de ser escolhidos levando-se em conta a compatibilidade de datas para realização deste trabalho, as condições climáticas favoráveis que mantivessem a representatividade do estudo e as possibilidades de visita às obras para instalação e monitoramento dos aparelhos (visto que ambas as edificações estavam ainda em fase de acabamento).

Após a coleta dos dados, estes foram então transferidos ao computador por meio de um cabo RS-232 e lidos por meio de um “software” próprio para leitura dos dados do aparelho. Finalizada a leitura do “software”, os dados foram exportados para o Microsoft Excel e posteriormente analisados. Os resultados completos das medidas de temperaturas coletadas durante o período de análise em ambas as coberturas são apresentados nos apêndices deste trabalho. O Apêndice A apresenta os dados coletados na cobertura A e o B, da cobertura B.

Com a variação de temperatura obtida através das medições e a resistência térmica equivalente de cada sistema de cobertura calculada, pode-se encontrar a taxa de fluxo de calor pela razão de ΔT pela resistência térmica, conforme demonstrado em (5), item 4.3.2. Assim, obtêm-se os resultados para os fluxos térmicos em W/m^2 em cada um dos isolantes estudados:

$$q''_{EPS} = \frac{\Delta T}{R_{EPS}} = \frac{\Delta T}{0,7143} \quad (10)$$

$$q''_{PIR} = \frac{\Delta T}{R_{PIR}} = \frac{\Delta T}{1,5047} \quad (11)$$

Como o cálculo dos fluxos depende de ΔT , e tendo em vista a necessidade de comparar os resultados de maneira não simultânea, optou-se por simplificar as análises dividindo-as por faixas de temperatura. Tais faixas são as medidas na superfície superior das telhas, visto que a variação de temperatura desejada é a da face superior em relação à inferior com $T_1 > T_2$, como indicativo do calor que adentra as edificações.

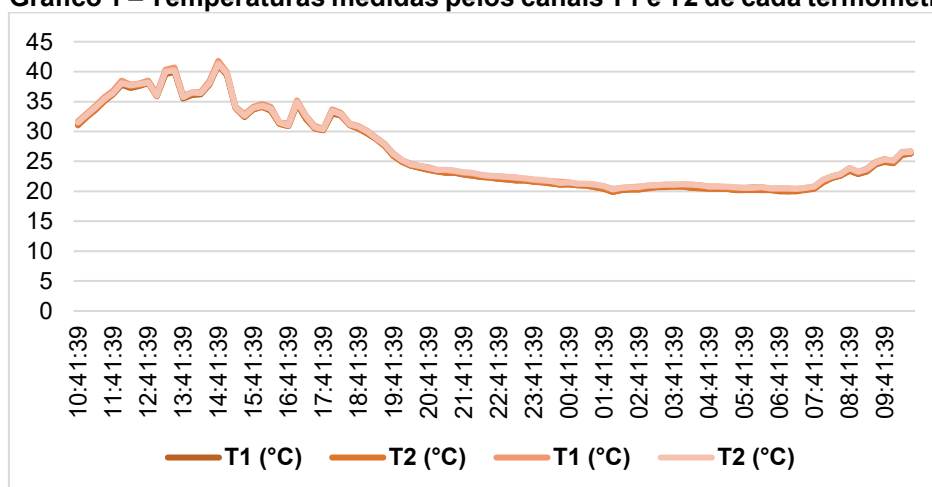
Computadas as variações de temperatura e quantificadas as taxas de fluxos de calor, uma análise comparativa quantitativa desses resultados foi feita buscando conhecer a eficiência relativa entre os isolantes estudados aplicados às coberturas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 CALIBRAÇÃO DOS TERMÔMETROS

A verificação da calibração dos termômetros feita na superfície inferior da cobertura A é mostrada no gráfico 1, que mostra como variaram as temperaturas ao longo das 24 horas de medição. O eixo horizontal refere-se ao momento da medição, enquanto o vertical a temperatura superficial obtida no momento.

Gráfico 1 – Temperaturas medidas pelos canais T1 e T2 de cada termômetro na medição de teste.



Fonte: Autoria própria (2017).

Os dados apresentados acima mostram as temperaturas resumidas em forma de gráfico durante as 24 horas de medição. No Apêndice C deste trabalho encontram-se todos os dados medidos de temperatura na medição de teste, que foram captados a cada quinze minutos.

Os resultados mostram desvios nas medições simultâneas de no máximo $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$ e desvio padrão amostral S (medida da dispersão dos dados de temperatura em relação à média dos quatro canais) de no máximo $0,32^{\circ}\text{C}$. Como o manual dos termômetros indica precisão de 2% ou $0,2^{\circ}\text{C}$, o desvio foi considerado nos fatores de incerteza das análises e as variações nas medições foram admitidas como razoáveis. Portanto, considera-se que não houve distorção nos dados obtidos pelos termômetros.

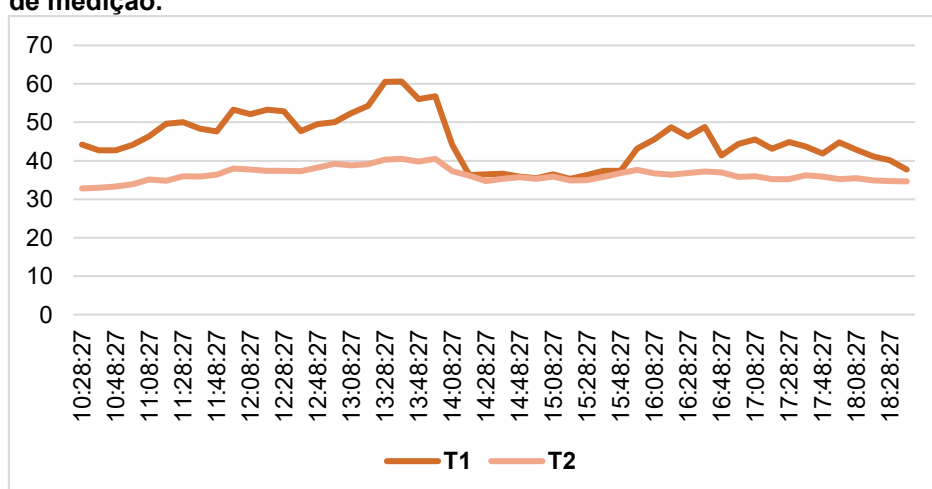
6.2 ANÁLISE TEMPORAL DA TEMPERATURA SUPERFICIAL DAS TELHAS

Após a realização das coletas dos dados medidos pelos aparelhos, foram analisadas as variações das temperaturas ao longo do dia nas faces inferiores e superiores das coberturas. Os resultados mostram que as temperaturas variam de maneira aproximadamente similar ao longo do dia, com os picos de temperatura concentrados nos períodos da tarde e temperaturas mais amenas nas manhãs e nos finais de tarde.

Entretanto, por meio dos resultados obtidos e da análise da temperatura superficial das telhas ao longo do dia, notou-se a presença de “vales” nas curvas de temperatura. Essas deformações se deram em decorrência da presença de sombreamentos nas regiões onde os termopares das faces superiores das telhas estavam localizados, os quais foram posteriormente confirmados em visitas feitas às obras durante os períodos de medição em que foram constatados. Como resultado, as temperaturas obtidas das superfícies superiores das telhas foram alteradas durante aproximadamente duas horas em todos os dias na cobertura A.

Como pode ser conferido no gráfico 2, referente ao último dia de medição na cobertura A (18/10/2017), a temperatura da telha superior (canal T1), diminuiu bruscamente próximo às 14 horas e assim se mantém até às 16 horas.

Gráfico 2 – Temperatura superficial das telhas superior (T1) e inferior (T2) durante o último dia de medição.



Fonte: Autoria Própria (2017).

A sombra ocorrida sobre a superfície superior das telhas fez com que nesses períodos, em alguns momentos, a temperatura destas fosse menor que a temperatura

das telhas inferiores, o que levou a fluxos de calor na direção contrária. Como o estudo se baseia no isolamento térmico em situações onde a temperatura superior das telhas é maior que a temperatura inferior em faixas de temperatura, os dados de temperatura nessas faixas foram parcialmente comprometidos.

Na cobertura B, apesar de também ocorrer sombras sobre o termopar, estas tiveram durações muito curtas que pouco afetaram os dados de médias de variação de temperaturas calculadas, importantes para as análises a seguir. Os dados obtidos nos outros dias de medição para ambas as coberturas se encontram nos Apêndices A e B deste trabalho, onde pode ser verificada a diminuição das temperaturas na cobertura A também nos outros dias.

6.3 AVALIAÇÃO DAS VARIAÇÕES DE TEMPERATURA SOBRE AS SUPERFÍCIES

Com a temperatura das superfícies das telhas obtidas, foi possível comparar a eficiência dos isolantes. Para isso, a partir de cada faixa de temperatura na face externa das telhas, encontrou-se a variação de temperatura correspondente média, que foi calculada com base nas médias de ΔT – médias obtidas fazendo a temperatura superior (canal T1) menos a temperatura inferior (canal T2) das telhas por meio dos dados obtidos. Na tabela 3, tem-se as variações de temperaturas encontradas nas faixas estudadas, com unidade de temperatura dada em kelvin (K), de acordo com o Sistema Internacional de Unidades, apesar de o valor de ΔT médio ser o mesmo em graus Celsius. Como não ocorreram temperaturas nas telhas superiores da cobertura A acima de 65°C (indicada pela coluna das frequências), não foram verificadas variações médias de temperatura para as faixas de 65°C a 70°C e de 70°C a 75°C.

Tabela 3 - Variações de temperatura médias nas coberturas e eficiência relativa entre o PIR e o EPS.

Faixa de temperatura	EPS		PIR		η (%) PIR/EPS
	Frequência	ΔT médio (K)	Frequência	ΔT médio (K)	
70-75	0	-	2	33,25	-
65-70	0	-	2	32,90	-
60-65	2	20,15	7	29,73	32,22
55-60	2	16,25	22	27,67	41,28
50-55	12	15,65	34	24,68	36,59
45-50	32	12,74	27	20,73	38,54
40-45	55	9,98	20	16,90	40,96
35-40	27	4,98	25	12,74	60,89
30-35	34	1,70	27	9,26	81,65

Fonte: Autoria própria (2017).

A última coluna refere-se à eficiência do núcleo isolante PIR em relação ao núcleo EPS das coberturas avaliadas quanto às diferenças de temperatura. Seguindo a mesma metodologia de Pedote e Franco (2012) para comparação de eficiência de térmica, calculou-se por meio da equação 12 a eficiência relativa entre os isolantes. Para tanto, foi utilizado o PIR como referência de maior valor de ΔT médio.

$$\eta = 100 \cdot \frac{\Delta T_{ref} - \Delta T}{\Delta T_{ref}} (\%) \quad (12)$$

Onde,

ΔT_{ref} : variação de temperatura do sistema de referência, dado pelo isolante PIR;

ΔT : variação de temperatura do sistema, dado pelo isolante EPS.

Nota-se, pelos resultados obtidos na tabela 3, que a eficiência no isolamento térmico na cobertura B (PIR) em relação a cobertura A (EPS) varia de aproximadamente 30% a 40% para temperaturas de 40°C a 65°C. Entretanto, para as temperaturas abaixo de 40°C as eficiências sobem em escala muito maior, chegando o isolante PIR a ser 80% mais eficiente.

Esses resultados distorcidos para as temperaturas abaixo de 40°C podem ser explicados como decorrência dos sombreamentos. Estes ocasionaram brusca queda na temperatura superior das telhas, para valores aproximados de 30°C a 40°C, enquanto a face inferior das telhas ainda manteve boa parte do calor absorvido. Possivelmente, isso ocorreu em função da inércia térmica, uma vez que o isolante – por possui baixa condutividade térmica – continua a transmitir o calor para a face interna por algum tempo. Além disso, as diferenças de temperatura entre as superfícies inferiores da cobertura em decorrência do sombreamento fazem com que ocorra fluxo de calor no plano da telha metálica inferior, devido à alta condutividade do material. Esses fatores contribuíram para que ocorresse diminuição considerável nas variações de temperatura médias entre as superfícies superior e inferior das telhas onde os termopares estavam localizados na cobertura A para as faixas de 30°C a 40°C, o que indicam uma baixa eficiência do isolante EPS, não condizente com a sua resistência térmica.

6.4 AVALIAÇÃO DA TAXA DE FLUXO DE CALOR SOBRE AS COBERTURAS

Tendo posse das variações de temperatura e das resistências térmicas, pode-se prosseguir para análise do fluxo de calor sobre as coberturas, mantendo o critério adotado na análise das temperaturas, por faixas de temperatura. Assim, a partir do equacionamento da taxa de fluxo de calor nos isolantes, equações (10) e (11), pode-se calcular as taxas de fluxos de calor q'' para cada faixa. Para o estudo em questão, considera-se que a taxa de fluxo de calor, que é a medida da intensidade do fluxo de calor, é dada em Watts por m^2 .

O resumo dos resultados das taxas de fluxo de calor verificadas na cobertura A (EPS), obtidos por meio da equação (10), são mostrados na tabela 4. Assim como na análise das variações de temperatura na cobertura A, como não foram verificadas temperaturas acima de $65^{\circ}C$ nas telhas desta cobertura, não foram encontrados valores de transferência de calor para essa faixa.

Tabela 4 - Resumo dos resultados de fluxo de calor em faixas de temperatura para cobertura A com isolante EPS.

Faixa de temp.	ΔT médio (K)	q'' (W/m ²)
70-75	-	-
65-70	-	-
60-65	20,15	28,21
55-60	16,25	22,75
50-55	15,65	21,91
45-50	12,74	17,83
40-45	9,98	13,97
35-40	4,98	6,97
30-35	1,70	2,38

Fonte: Autoria própria (2017).

A seguir, de maneira análoga ao cálculo do fluxo de calor na cobertura A, a tabela 5 mostra o resumo das taxas de fluxo de calor para as faixas estudadas de temperatura para a cobertura B (PIR), conforme a equação (11).

Tabela 5 - Resumo dos resultados de fluxo de calor em faixas de temperatura para cobertura B com isolante PIR.

Faixa de temp.	ΔT médio (K)	q'' (W/m ²)
70-75	33,25	22,10
65-70	32,90	21,86
60-65	29,73	19,76
55-60	27,67	18,39
50-55	24,68	16,40
45-50	20,73	13,78
40-45	16,90	11,23
35-40	12,74	8,47
30-35	9,26	6,15

Fonte: Autoria própria (2017).

Quantificados as taxas de fluxos de calor para cada faixa de temperatura em cada cobertura, foi realizada uma análise comparativa da eficiência dos isolantes de maneira análoga à feita para as diferenças de temperatura. O cálculo foi feito considerando o EPS como referência de pior isolamento térmico e maior valor de q'' , obtendo-se assim a eficiência relativa do PIR em relação ao EPS, como se segue:

$$\eta = 100 \cdot \frac{q''_{ref} - q''}{q''_{ref}} \quad (\%) \quad (13)$$

Onde,

q''_{ref} : calor efetivo que atravessa o sistema de referência, dado pela cobertura A;

q'' : calor efetivo que atravessa o sistema, dado pela cobertura B.

Os resultados de eficiência relativa para as faixas de temperatura são apresentados na Tabela 5. Assim, tem-se que a cobertura com núcleo de isolante PIR apresenta-se mais ou menos eficiente que a cobertura de núcleo EPS em relação à taxa de fluxo de calor dado pela última coluna da tabela.

Tabela 6 – Dados de eficiência relativa entre os isolantes PIR e o EPS.

Faixa de temp.	q'' EPS (W/m ²)	q'' PIR (W/m ²)	η (%) PIR/EPS
70-75	-	22,10	-
65-70	-	21,86	-
60-65	28,21	19,76	29,96
55-60	22,75	18,39	19,16
50-55	21,91	16,40	25,13
45-50	17,83	13,78	22,76
40-45	13,97	11,23	19,60
35-40	6,97	8,47	-21,38
30-35	2,04	6,15	-158,63

Fonte: Autoria própria (2017).

Observa-se que, como não há dados amostrais de temperaturas nas faixas de 65 a 75°C na cobertura de EPS, não há valores válidos de eficiência relativa entre as coberturas. A eficiência do PIR em relação ao EPS na diminuição do fluxo de calor mostra-se máxima para a faixa estudada de 60 a 65°C, com a taxa de transferência de calor sendo 30% maior sob o isolante de EPS. Para faixas de 40°C a 60°C as transferências de calor variam de 19% a 25%. Para as temperaturas na face superior das telhas abaixo de 40°C, a transferência de calor encontrada é consideravelmente maior no isolante PIR.

A estes valores distorcidos para as temperaturas abaixo de 40°C, novamente, pode-se atribuir a ocorrência do sombreamento na superfície superior da telha onde

o termopar se localizava. A partir da mesma lógica tratada na análise das variações de temperatura, com o sombreamento as temperaturas externas medidas caíram sensivelmente, o que alterou também o fluxo de calor – com a proximidade dos valores de temperatura nas superfícies inferior e superior, obtêm-se valores de transferência de calor baixos. Isso se dá, pois, o fluxo de calor depende da resistência térmica e também da variação de temperatura.

7 CONCLUSÕES

Devido à grande variedade de materiais isolantes utilizados em telhas termoacústicas, este trabalho buscou comparar a eficiência térmica, por meio das variações de temperatura e dos fluxos de calor, de duas coberturas desse sistema com núcleos isolantes de placas rígidas de poliestireno expandido (EPS) e de poliisocianurato (PIR). Primeiro, foram medidas as temperaturas das telhas com o auxílio de termômetros digitais e termopares. Na sequência, foram analisados os resultados e comparadas as variações de temperatura para, por fim, calcular-se o correspondente fluxo de calor a elas associadas por meio de suas resistências térmicas.

Os resultados obtidos nas medições e nos cálculos indicaram que o isolante PIR apresentou melhor desempenho no isolamento térmico das coberturas, em comparação ao isolante EPS, em relação às variações de temperatura em todas as faixas de temperatura estudadas, sendo de 30% a 40% mais eficiente quando a temperatura da superfície externa das telhas variou entre 40°C a 65°C. Para temperaturas superiores, não foi possível comparar os desempenhos destes isolantes devido à falta de dados. Para temperaturas inferiores, devido à ocorrência de sombreamentos na cobertura, que alteraram os resultados mais intensamente nessas faixas, os resultados quantitativos são inconclusivos.

Em relação à transferência de calor nas coberturas, os resultados mostram que, para faixas de temperatura de 60°C a 65°C, a utilização do PIR em detrimento do EPS como material isolante nessas coberturas representa uma diminuição da taxa de fluxo de calor em cerca de 30%. Para temperaturas de 40°C a 60°C a diminuição variou entre 19% e 25%, aproximadamente. No entanto, para temperaturas inferiores a 40°C na face superior das telhas o isolante EPS apresentou menor fluxo de calor em relação ao PIR, possivelmente devido ao efeito das variações de temperatura em decorrência dos sombreamentos na cobertura serem muito maiores que o efeito das resistências térmicas dos sistemas.

REFERÊNCIAS

ABREU, P. G., ABREU, V. M. N., COLDEBELLA, A., LOPES, L. S., CONCEIÇÃO, V. & TOMAZELLI, I. L. Análise termográfica da temperatura superficial de telhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.15, n.11, p.1193–1198, set. 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2126-15**: Standard Test Method for Response of Rigid Cellular Plastics to Thermal and Humid Aging, ASTM International. West Conshohocken, PA, 2015.

_____ **ASTM C518-17**: Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

_____ **ASTM D1621-16**: Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Cellular Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11752**: Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial. Rio de Janeiro, 2007.

_____ ABNT. **NBR 11752**: Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial – Especificação. Rio de Janeiro, 2016.

_____ ABNT. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2003.

_____ ABNT. **NBR 15366-1**: Painéis industrializados com espuma rígida de poliuretano. Parte 1: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

_____. ABNT. **NBR 16373**: Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho. Rio de Janeiro, 2015.

ÇENGEL, Y. A. & GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa**: uma abordagem prática. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

FREIRE, M. L. F. A Transferência de calor com o uso de experimentos alternativos. **Scientia Plena**, Campina Grande, v. 1, n. 8, p. 185–191, dez. 2005.

GASPARINI, R., MOURA, L. & JABUR, A. Análise do uso da lã de vidro como isolante térmico em edificações. In: **XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construtivo**. Florianópolis, SC, p. 410–417, 2006.

INCROPERA, F. P. & DEWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

KREITH, F., MANGLIK, R. & BOHN M. **Princípios da Transferência de Calor**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

MATHIAS, L. **Avaliação do desempenho térmico de protecções reflectantes aplicadas em coberturas inclinadas**. 2001. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2001.

MENDONÇA, P. **Sistema de Fachadas**. In: Mendonça, P. (Ed.) **habitar sob uma Segunda Pele: Estratégias para Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade do Minho, Guimarães, 2005.

MICHELS, C. **Análise da transferência de calor em coberturas radiantes**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

PEDOTE, L & FRANCO, T. **Análise da Eficiência Térmica de Diferentes Tipos de Coberturas para Casas de Emergência.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

ROSA, Y. B. C. J. **Influência de três materiais de cobertura no índice de conforto térmico em condições de verão, para Viçosa – MG.** 1984. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 1984.

SPANNENBERG, M. **Análise de desempenho térmico, acústico e lumínico em habitação de interesse social: estudos de caso em Marau-RS.** 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TAMANINI, C. **Avaliação comparativa do desempenho térmico entre três sistemas construtivos em edificações escolares de Maringá/PR.** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

THOMAS, L. **Fundamentos de Transferência de Calor.** Rio de Janeiro: Prentice-Hall Brasil, 1985.

VAN WYLEN, G. J., SONNTAG, R. E. & BORGNAKE, C. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica.** 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1995.

VEFAGO, L. H. M. **Fachadas pré-fabricadas em argamassa reforçada com fibra de vidro em três estudos de caso na grande Porto Alegre.** 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

APÊNDICE A

Dados de temperatura superficial obtidos na cobertura A em todos os dias de medição.

T1 é a temperatura da face superior da telha e T2 a temperatura da face inferior.

Medição do dia 04/10/2017

REC	Hora	T1		Tipo	T2		Tipo	T1-T2
1	10:19:05	42	°C	K	27,9	°C	K	14,1
2	10:34:05	42,8	°C	K	27,2	°C	K	15,6
3	10:49:05	40,1	°C	K	28,2	°C	K	11,9
4	11:04:05	42,9	°C	K	28,8	°C	K	14,1
5	11:19:05	41,2	°C	K	29,4	°C	K	11,8
6	11:34:05	45,1	°C	K	28,6	°C	K	16,5
7	11:49:05	44,9	°C	K	29,4	°C	K	15,5
8	12:04:05	48,5	°C	K	30	°C	K	18,5
9	12:19:05	46,2	°C	K	30,2	°C	K	16
10	12:34:05	44,2	°C	K	31,3	°C	K	12,9
11	12:49:05	33,3	°C	K	28,9	°C	K	4,4
12	13:04:05	25	°C	K	28,2	°C	K	-3,2
13	13:19:05	24,8	°C	K	28,7	°C	K	-3,9
14	13:34:05	25,1	°C	K	26,7	°C	K	-1,6
15	13:49:05	25,1	°C	K	26,1	°C	K	-1
16	14:04:05	24,9	°C	K	26,4	°C	K	-1,5
17	14:19:05	25,3	°C	K	25,6	°C	K	-0,3
18	14:34:05	25,7	°C	K	27,2	°C	K	-1,5
19	14:49:05	26,3	°C	K	25,3	°C	K	1
20	15:04:05	26,5	°C	K	27,4	°C	K	-0,9
21	15:19:05	26,9	°C	K	27	°C	K	-0,1
22	15:34:05	28	°C	K	26,7	°C	K	1,3
23	15:49:05	27,3	°C	K	27,8	°C	K	-0,5
24	16:04:05	28,3	°C	K	27,5	°C	K	0,8
25	16:19:05	37,8	°C	K	27,7	°C	K	10,1
26	16:34:05	27,2	°C	K	28,6	°C	K	-1,4
27	16:49:05	24,3	°C	K	27,7	°C	K	-3,4
28	17:04:05	21,7	°C	K	27,3	°C	K	-5,6
29	17:19:05	30,6	°C	K	26,3	°C	K	4,3
30	17:34:05	28,7	°C	K	25,9	°C	K	2,8
31	17:49:05	27,3	°C	K	25,4	°C	K	1,9
32	18:04:05	25,4	°C	K	25,4	°C	K	0

Medição do dia 05/10/2017

REC	Hora	T1		Tipo	T2		Tipo	T1-T2
33	08:34:05	29,2	°C	K	24,6	°C	K	4,6
34	08:49:05	29,6	°C	K	25	°C	K	4,6
35	09:04:05	31,4	°C	K	25,4	°C	K	6
36	09:19:05	32,3	°C	K	26,2	°C	K	6,1
37	09:34:05	31,6	°C	K	26,8	°C	K	4,8
38	09:49:05	35,4	°C	K	27,5	°C	K	7,9
39	10:04:05	36,4	°C	K	27,4	°C	K	9
40	10:19:05	39,2	°C	K	28,1	°C	K	11,1
41	10:34:05	39,1	°C	K	29	°C	K	10,1
42	10:49:05	42,2	°C	K	29,1	°C	K	13,1
43	11:04:05	44,1	°C	K	27,8	°C	K	16,3
44	11:19:05	42	°C	K	29,1	°C	K	12,9
45	11:34:05	42,8	°C	K	30	°C	K	12,8
46	11:49:05	42,8	°C	K	28,6	°C	K	14,2
47	12:04:05	44,5	°C	K	29,1	°C	K	15,4
48	12:19:05	48,2	°C	K	29,5	°C	K	18,7
49	12:34:05	49,3	°C	K	29,6	°C	K	19,7
50	12:49:05	37	°C	K	29,3	°C	K	7,7
51	13:04:05	32,5	°C	K	28,8	°C	K	3,7
52	13:19:05	32,7	°C	K	28,7	°C	K	4
53	13:34:05	32,7	°C	K	28,8	°C	K	3,9
54	13:49:05	31,7	°C	K	28,4	°C	K	3,3
55	14:04:05	32,5	°C	K	28,8	°C	K	3,7
56	14:19:05	32,4	°C	K	29,1	°C	K	3,3
57	14:34:05	34,1	°C	K	29,6	°C	K	4,5
58	14:49:05	34,2	°C	K	+OL	°C	K	+OL
59	15:04:05	34,9	°C	K	+OL	°C	K	+OL
60	15:19:05	34	°C	K	+OL	°C	K	+OL
61	15:34:05	34,5	°C	K	+OL	°C	K	+OL
62	15:49:05	34,4	°C	K	+OL	°C	K	+OL
63	16:04:05	35,6	°C	K	+OL	°C	K	+OL
64	16:19:05	39	°C	K	+OL	°C	K	+OL
65	16:34:05	35,9	°C	K	+OL	°C	K	+OL
66	16:49:05	37	°C	K	+OL	°C	K	+OL
67	17:04:05	36,4	°C	K	+OL	°C	K	+OL
68	17:19:05	34,4	°C	K	+OL	°C	K	+OL
69	17:34:05	33,5	°C	K	+OL	°C	K	+OL
70	17:49:05	30,8	°C	K	+OL	°C	K	+OL
71	18:04:05	29,6	°C	K	+OL	°C	K	+OL

Medição do dia 16/10/2017

REC	Hora	T1		Tipo	T2		Tipo	T1-T2
72	09:00:08	29,7	°C	K	22	°C	K	7,7
73	09:15:08	32,3	°C	K	23,3	°C	K	9
74	09:30:08	33,5	°C	K	24,6	°C	K	8,9
75	09:45:08	35,7	°C	K	25,1	°C	K	10,6
76	10:00:08	38,5	°C	K	26,2	°C	K	12,3
77	10:15:08	36	°C	K	27,3	°C	K	8,7
78	10:30:08	41	°C	K	28,7	°C	K	12,3
79	10:45:08	41,1	°C	K	30,2	°C	K	10,9
80	11:00:08	43,1	°C	K	28,9	°C	K	14,2
81	11:15:08	42,9	°C	K	30	°C	K	12,9
82	11:30:08	51,4	°C	K	32,2	°C	K	19,2
83	11:45:08	51,5	°C	K	31,3	°C	K	20,2
84	12:00:08	48,1	°C	K	31,5	°C	K	16,6
85	12:15:08	45,9	°C	K	32,6	°C	K	13,3
86	12:30:08	44	°C	K	33,4	°C	K	10,6
87	12:45:08	45,1	°C	K	33,3	°C	K	11,8
88	13:00:08	46,7	°C	K	33,8	°C	K	12,9
89	13:15:08	47,2	°C	K	35,3	°C	K	11,9
90	13:30:08	50,8	°C	K	34,7	°C	K	16,1
91	13:45:08	39,4	°C	K	33,1	°C	K	6,3
92	14:00:08	32,3	°C	K	33,9	°C	K	-1,6
93	14:15:08	29,6	°C	K	31,9	°C	K	-2,3
94	14:30:08	28,8	°C	K	32,4	°C	K	-3,6
95	14:45:08	29,5	°C	K	32,2	°C	K	-2,7
96	15:00:08	29,7	°C	K	32,1	°C	K	-2,4
97	15:15:08	29,9	°C	K	31,9	°C	K	-2
98	15:30:08	29,9	°C	K	32,9	°C	K	-3
99	15:45:08	32	°C	K	33,6	°C	K	-1,6
100	16:00:08	39,1	°C	K	33,4	°C	K	5,7
101	16:15:08	41,1	°C	K	33,9	°C	K	7,2
102	16:30:08	43,5	°C	K	33,4	°C	K	10,1
103	16:45:08	41,6	°C	K	33,4	°C	K	8,2
104	17:00:08	43,9	°C	K	31,5	°C	K	12,4
105	17:15:08	41,2	°C	K	32	°C	K	9,2
106	17:30:08	40,5	°C	K	32,3	°C	K	8,2
107	17:45:08	36,5	°C	K	31,6	°C	K	4,9
108	18:00:08	34,3	°C	K	30,9	°C	K	3,4
109	18:15:08	33,7	°C	K	30,7	°C	K	3
110	18:30:08	33,3	°C	K	30	°C	K	3,3

Medição do dia 17/10/2017

REC	Hora	T1		Tipo	T2		Tipo	T1-T2
111	11:30:08	44,9	°C	K	33,4	°C	K	11,5
112	11:45:08	46,6	°C	K	33	°C	K	13,6
113	11:58:27	47,9	°C	K	33,3	°C	K	14,6
114	12:08:27	44,6	°C	K	34,4	°C	K	10,2
115	12:18:27	43,3	°C	K	34,4	°C	K	8,9
116	12:28:27	44,7	°C	K	33,4	°C	K	11,3
117	12:38:27	43,9	°C	K	33,7	°C	K	10,2
118	12:48:27	43,1	°C	K	34,8	°C	K	8,3
119	12:58:27	44,8	°C	K	34,5	°C	K	10,3
120	13:08:27	52,9	°C	K	35,3	°C	K	17,6
121	13:18:27	47,6	°C	K	35,8	°C	K	11,8
122	13:28:27	45	°C	K	35,5	°C	K	9,5
123	13:38:27	47,7	°C	K	35,8	°C	K	11,9
124	13:48:27	49,4	°C	K	36,3	°C	K	13,1
125	13:58:27	48,3	°C	K	35,9	°C	K	12,4
126	14:08:27	40,6	°C	K	36	°C	K	4,6
127	14:18:27	30,6	°C	K	34,4	°C	K	-3,8
128	14:28:27	30,8	°C	K	33,7	°C	K	-2,9
129	14:38:27	31	°C	K	33,2	°C	K	-2,2
130	14:48:27	31,2	°C	K	33,9	°C	K	-2,7
131	14:58:27	31,3	°C	K	34	°C	K	-2,7
132	15:08:27	32,1	°C	K	33,7	°C	K	-1,6
133	15:18:27	32,1	°C	K	33,5	°C	K	-1,4
134	15:28:27	33,3	°C	K	34,3	°C	K	-1
135	15:38:27	33,2	°C	K	34,5	°C	K	-1,3
136	15:48:27	32,5	°C	K	34,8	°C	K	-2,3
137	15:58:27	33,9	°C	K	35,6	°C	K	-1,7
138	16:08:27	41,5	°C	K	35,7	°C	K	5,8
139	16:18:27	46,8	°C	K	36,6	°C	K	10,2
140	16:28:27	46,9	°C	K	36,1	°C	K	10,8
141	16:38:27	46,6	°C	K	36	°C	K	10,6
142	16:48:27	44,1	°C	K	36,3	°C	K	7,8
143	16:58:27	43,1	°C	K	35,8	°C	K	7,3
144	17:08:27	43,4	°C	K	35,4	°C	K	8
145	17:18:27	44,8	°C	K	36,1	°C	K	8,7
146	17:28:27	46,1	°C	K	36	°C	K	10,1
147	17:38:27	41,7	°C	K	34,9	°C	K	6,8
148	17:48:27	39,9	°C	K	34,2	°C	K	5,7
149	17:58:27	40,2	°C	K	33,7	°C	K	6,5
150	18:08:27	38,6	°C	K	33,7	°C	K	4,9
151	18:18:27	37,1	°C	K	33	°C	K	4,1
152	18:28:27	36,7	°C	K	32,6	°C	K	4,1
153	18:38:27	34,6	°C	K	32,2	°C	K	2,4
154	18:48:27	33,9	°C	K	32	°C	K	1,9

155	18:58:27	31,7	°C	K	31,3	°C	K	0,4
156	19:08:27	31	°C	K	30,7	°C	K	0,3
157	19:18:27	29,9	°C	K	30,4	°C	K	-0,5
158	19:28:27	29,8	°C	K	30	°C	K	-0,2
159	19:38:27	29,2	°C	K	29,8	°C	K	-0,6
160	19:48:27	28,7	°C	K	29,6	°C	K	-0,9

Medição do dia 18/10/2017

REC	Hora	T1		Tipo	T2		Tipo	T1-T2
161	10:28:27	44,2	°C	K	32,8	°C	K	11,4
162	10:38:27	42,7	°C	K	33	°C	K	9,7
163	10:48:27	42,7	°C	K	33,3	°C	K	9,4
164	10:58:27	44,1	°C	K	33,9	°C	K	10,2
165	11:08:27	46,4	°C	K	35,1	°C	K	11,3
166	11:18:27	49,6	°C	K	34,8	°C	K	14,8
167	11:28:27	50	°C	K	36	°C	K	14
168	11:38:27	48,4	°C	K	35,9	°C	K	12,5
169	11:48:27	47,6	°C	K	36,4	°C	K	11,2
170	11:58:27	53,3	°C	K	38	°C	K	15,3
171	12:08:27	52,1	°C	K	37,7	°C	K	14,4
172	12:18:27	53,3	°C	K	37,4	°C	K	15,9
173	12:28:27	52,9	°C	K	37,4	°C	K	15,5
174	12:38:27	47,7	°C	K	37,3	°C	K	10,4
175	12:48:27	49,5	°C	K	38,2	°C	K	11,3
176	12:58:27	50	°C	K	39,2	°C	K	10,8
177	13:08:27	52,4	°C	K	38,8	°C	K	13,6
178	13:18:27	54,3	°C	K	39,1	°C	K	15,2
179	13:28:27	60,5	°C	K	40,3	°C	K	20,2
180	13:38:27	60,6	°C	K	40,5	°C	K	20,1
181	13:48:27	56	°C	K	39,8	°C	K	16,2
182	13:58:27	56,8	°C	K	40,5	°C	K	16,3
183	14:08:27	44,1	°C	K	37,3	°C	K	6,8
184	14:18:27	36,3	°C	K	36,1	°C	K	0,2
185	14:28:27	36,5	°C	K	34,7	°C	K	1,8
186	14:38:27	36,6	°C	K	35,3	°C	K	1,3
187	14:48:27	35,9	°C	K	35,7	°C	K	0,2
188	14:58:27	35,5	°C	K	35,3	°C	K	0,2
189	15:08:27	36,5	°C	K	35,9	°C	K	0,6
190	15:18:27	35,3	°C	K	34,9	°C	K	0,4
191	15:28:27	36,3	°C	K	35	°C	K	1,3
192	15:38:27	37,4	°C	K	35,8	°C	K	1,6
193	15:48:27	37,4	°C	K	36,8	°C	K	0,6
194	15:58:27	43,2	°C	K	37,6	°C	K	5,6
195	16:08:27	45,5	°C	K	36,7	°C	K	8,8
196	16:18:27	48,7	°C	K	36,4	°C	K	12,3

197	16:28:27	46,3	°C	K	36,8	°C	K	9,5
198	16:38:27	48,8	°C	K	37,2	°C	K	11,6
199	16:48:27	41,4	°C	K	37	°C	K	4,4
200	16:58:27	44,4	°C	K	35,8	°C	K	8,6
201	17:08:27	45,5	°C	K	36	°C	K	9,5
202	17:18:27	43,1	°C	K	35,2	°C	K	7,9
203	17:28:27	44,9	°C	K	35,2	°C	K	9,7
204	17:38:27	43,7	°C	K	36,2	°C	K	7,5
205	17:48:27	41,9	°C	K	35,9	°C	K	6
206	17:58:27	44,8	°C	K	35,2	°C	K	9,6
207	18:08:27	42,9	°C	K	35,5	°C	K	7,4
208	18:18:27	41,1	°C	K	34,9	°C	K	6,2
209	18:28:27	40,1	°C	K	34,7	°C	K	5,4
210	18:38:27	37,7	°C	K	34,6	°C	K	3,1

Obs.: +OL e -OL indicam Sobrefaixa.

APÊNDICE B

Dados de temperatura superficial obtidos na cobertura B em todos os dias de medição.

T1 é a temperatura da face superior da telha e T2 a temperatura da face inferior.

Medição do dia 04/10/2017

REC	Hora	T1		Tipo	T2		Tipo	T1-T2
1	11:22:39	33,5	°C	K	29,5	°C	K	4
2	11:37:39	31,3	°C	K	24	°C	K	7,3
3	11:52:39	31,7	°C	K	23,8	°C	K	7,9
4	12:07:39	26	°C	K	24	°C	K	2
5	12:22:39	24,4	°C	K	24,1	°C	K	0,3
6	12:37:39	24,8	°C	K	24	°C	K	0,8
7	12:52:39	24,9	°C	K	24,3	°C	K	0,6
8	13:07:39	29,9	°C	K	24,3	°C	K	5,6
9	13:22:39	57,2	°C	K	24,3	°C	K	32,9
10	13:37:39	54,7	°C	K	24,6	°C	K	30,1
11	13:52:39	57,2	°C	K	24,7	°C	K	32,5
12	14:07:39	52,4	°C	K	25,1	°C	K	27,3
13	14:22:39	52,6	°C	K	25,2	°C	K	27,4
14	14:37:39	50,7	°C	K	25,3	°C	K	25,4
15	14:52:39	55,2	°C	K	25,2	°C	K	30
16	15:07:39	54,6	°C	K	25,4	°C	K	29,2
17	15:22:39	53,8	°C	K	25,6	°C	K	28,2
18	15:37:39	57,1	°C	K	25,6	°C	K	31,5
19	15:52:39	49,9	°C	K	25,7	°C	K	24,2
20	16:07:39	49,7	°C	K	25,5	°C	K	24,2
21	16:22:39	44,7	°C	K	25,5	°C	K	19,2
22	16:37:39	44,3	°C	K	25,2	°C	K	19,1
23	16:52:39	40	°C	K	25,2	°C	K	14,8
24	17:07:39	36,3	°C	K	25,1	°C	K	11,2
25	17:22:39	33,1	°C	K	25	°C	K	8,1
26	17:37:39	30,3	°C	K	24,9	°C	K	5,4
27	17:52:39	28,7	°C	K	24,7	°C	K	4
28	18:07:39	26,6	°C	K	24,5	°C	K	2,1
29	18:22:39	25,4	°C	K	24,1	°C	K	1,3
30	18:37:39	23,7	°C	K	24,1	°C	K	-0,4
31	18:52:39	23,2	°C	K	24	°C	K	-0,8
32	19:07:39	23	°C	K	23,8	°C	K	-0,8

Medição do dia 05/10/2017

REC	Hora	T1		Tipo	T2		Tipo	T1-T2
33	09:07:39	28	°C	K	21,7	°C	K	6,3
34	09:22:39	28,6	°C	K	22	°C	K	6,6
35	09:37:39	29,7	°C	K	22,5	°C	K	7,2
36	09:52:39	33,5	°C	K	23,1	°C	K	10,4
37	10:07:39	35,5	°C	K	23,4	°C	K	12,1
38	10:22:39	38,8	°C	K	23,8	°C	K	15
39	10:37:39	39,3	°C	K	24,3	°C	K	15
40	10:52:39	41	°C	K	24,8	°C	K	16,2
41	11:07:39	40,3	°C	K	25,4	°C	K	14,9
42	11:22:39	42,1	°C	K	25,7	°C	K	16,4
43	11:37:39	38,9	°C	K	26,2	°C	K	12,7
44	11:52:39	37,2	°C	K	26,3	°C	K	10,9
45	12:07:39	33,6	°C	K	26,8	°C	K	6,8
46	12:22:39	34,4	°C	K	26,8	°C	K	7,6
47	12:37:39	35,4	°C	K	27,1	°C	K	8,3
48	12:52:39	35,4	°C	K	27,5	°C	K	7,9
49	13:07:39	39,2	°C	K	27,6	°C	K	11,6
50	13:22:39	50,5	°C	K	27,7	°C	K	22,8
51	13:37:39	53,2	°C	K	27,7	°C	K	25,5
52	13:52:39	55,2	°C	K	28,3	°C	K	26,9
53	14:07:39	54,2	°C	K	28,4	°C	K	25,8
54	14:22:39	51,9	°C	K	28,4	°C	K	23,5
55	14:37:39	49,8	°C	K	28,4	°C	K	21,4
56	14:52:39	50	°C	K	28,5	°C	K	21,5
57	15:07:39	51,8	°C	K	28,5	°C	K	23,3
58	15:22:39	49,3	°C	K	28,5	°C	K	20,8
59	15:37:39	51,2	°C	K	28,6	°C	K	22,6
60	15:52:39	47,8	°C	K	28,7	°C	K	19,1
61	16:07:39	46,1	°C	K	28,8	°C	K	17,3
62	16:22:39	45,3	°C	K	28,6	°C	K	16,7
63	16:37:39	41	°C	K	28,5	°C	K	12,5
64	16:52:39	39,3	°C	K	28,6	°C	K	10,7
65	17:07:39	41	°C	K	28,3	°C	K	12,7
66	17:22:39	36,8	°C	K	28,5	°C	K	8,3
67	17:37:39	34,6	°C	K	28,5	°C	K	6,1
68	17:52:39	32,5	°C	K	28,6	°C	K	3,9
69	18:07:39	30,9	°C	K	28,4	°C	K	2,5
70	18:22:39	28,9	°C	K	28,3	°C	K	0,6
71	18:37:39	27,8	°C	K	28,1	°C	K	-0,3
72	18:52:39	27,4	°C	K	28,1	°C	K	-0,7
73	19:07:39	26,9	°C	K	27,9	°C	K	-1

Medição do dia 11/10/2017

REC	Hora	T1		Tipo	T2		Tipo	T1-T2
74	09:17:35	35,5	°C	K	27,8	°C	K	7,7
75	09:32:35	38,6	°C	K	-OL	°C	K	-OL
76	09:47:35	39,4	°C	K	-OL	°C	K	-OL
77	10:02:35	45	°C	K	-OL	°C	K	-OL
78	10:17:35	47,8	°C	K	24,7	°C	K	23,1
79	10:32:35	49,7	°C	K	25,5	°C	K	24,2
80	10:47:35	50,3	°C	K	-OL	°C	K	-OL
81	11:02:35	49,6	°C	K	32	°C	K	17,6
82	11:17:35	54,3	°C	K	28,5	°C	K	25,8
83	11:32:35	54,2	°C	K	21,3	°C	K	32,9
84	11:47:35	46,6	°C	K	-OL	°C	K	-OL
85	12:02:35	47	°C	K	-OL	°C	K	-OL
86	12:17:35	44,2	°C	K	24,3	°C	K	19,9
87	12:32:35	45,4	°C	K	24,4	°C	K	21
88	12:47:35	44,5	°C	K	24,3	°C	K	20,2
89	13:02:35	40,7	°C	K	23,4	°C	K	17,3
90	13:17:35	58,5	°C	K	27,9	°C	K	30,6
91	13:32:35	62,4	°C	K	30,1	°C	K	32,3
92	13:47:35	66,3	°C	K	33,7	°C	K	32,6
93	14:02:35	63,6	°C	K	31,9	°C	K	31,7
94	14:17:35	62	°C	K	32,9	°C	K	29,1
95	14:32:35	70,2	°C	K	37,1	°C	K	33,1
96	14:47:35	71,4	°C	K	38	°C	K	33,4
97	15:02:35	69,3	°C	K	36,1	°C	K	33,2
98	15:17:35	61,7	°C	K	33,3	°C	K	28,4
99	15:32:35	57,8	°C	K	30,7	°C	K	27,1
100	15:47:35	59	°C	K	30,7	°C	K	28,3
101	16:02:35	54,4	°C	K	29,8	°C	K	24,6
102	16:17:35	53,3	°C	K	29,7	°C	K	23,6
103	16:32:35	48,7	°C	K	-OL	°C	K	-OL
104	16:47:35	50,2	°C	K	27	°C	K	23,2
105	17:02:35	44,5	°C	K	-OL	°C	K	-OL
106	17:17:35	37,2	°C	K	23,1	°C	K	14,1
107	17:32:35	35,8	°C	K	21,9	°C	K	13,9
108	17:47:35	34,8	°C	K	21,1	°C	K	13,7
109	18:02:35	33,6	°C	K	20,5	°C	K	13,1
110	18:17:35	31,8	°C	K	19,4	°C	K	12,4
111	18:32:35	30,5	°C	K	18,7	°C	K	11,8
112	18:47:35	29,7	°C	K	18,1	°C	K	11,6
113	19:02:35	29,2	°C	K	17,6	°C	K	11,6
114	19:17:35	29,3	°C	K	17,6	°C	K	11,7
115	19:32:35	28,5	°C	K	16,9	°C	K	11,6
116	19:47:35	27,7	°C	K	16,3	°C	K	11,4
117	20:02:35	28	°C	K	16,4	°C	K	11,6

118	20:17:35	27,8	°C	K	16,2	°C	K	11,6
-----	----------	------	----	---	------	----	---	------

Medição do dia 12/10/2017

REC	Hora	T1		Tipo	T2		Tipo	T1-T2
119	09:17:35	38,2	°C	K	20,9	°C	K	17,3
120	09:32:35	42,4	°C	K	22,7	°C	K	19,7
121	09:47:35	45,1	°C	K	23,5	°C	K	21,6
122	10:02:35	46,8	°C	K	24,9	°C	K	21,9
123	10:17:35	48,8	°C	K	26,9	°C	K	21,9
124	10:32:35	53,3	°C	K	28,4	°C	K	24,9
125	10:47:35	49,7	°C	K	27,2	°C	K	22,5
126	11:02:35	55	°C	K	29,1	°C	K	25,9
127	11:17:35	51,5	°C	K	28,2	°C	K	23,3
128	11:32:35	55,5	°C	K	29	°C	K	26,5
129	11:47:35	49,2	°C	K	28,2	°C	K	21
130	12:02:35	51,9	°C	K	28,3	°C	K	23,6
131	12:17:35	37,8	°C	K	23,3	°C	K	14,5
132	12:32:35	38,9	°C	K	23,6	°C	K	15,3
133	12:47:35	38,7	°C	K	24,8	°C	K	13,9
134	13:02:35	58,7	°C	K	17	°C	K	41,7
135	13:17:35	59,7	°C	K	30,5	°C	K	29,2
136	13:32:35	59,7	°C	K	30,6	°C	K	29,1
137	13:47:35	58,5	°C	K	30	°C	K	28,5
138	14:02:35	58,2	°C	K	30	°C	K	28,2
139	14:17:35	58,1	°C	K	29,7	°C	K	28,4
140	14:32:35	58,5	°C	K	30,1	°C	K	28,4
141	14:47:35	58,8	°C	K	-OL	°C	K	-OL
142	15:02:35	60	°C	K	30,7	°C	K	29,3
143	15:17:35	55,6	°C	K	29,7	°C	K	25,9
144	15:32:35	52	°C	K	28,1	°C	K	23,9
145	15:47:35	54,3	°C	K	28,4	°C	K	25,9
146	16:02:35	53,2	°C	K	28,2	°C	K	25
147	16:17:35	51,4	°C	K	27,9	°C	K	23,5
148	16:32:35	50,7	°C	K	28,5	°C	K	22,2
149	16:47:35	47,7	°C	K	26,2	°C	K	21,5
150	17:02:35	44,1	°C	K	-OL	°C	K	-OL
151	17:17:35	42,9	°C	K	-OL	°C	K	-OL
152	17:32:35	39,7	°C	K	22,8	°C	K	16,9
153	17:47:35	36,7	°C	K	-OL	°C	K	-OL
154	18:02:35	33,9	°C	K	20,5	°C	K	13,4
155	18:17:35	31,8	°C	K	19,5	°C	K	12,3
156	18:32:35	30,9	°C	K	18,9	°C	K	12
157	18:47:35	30	°C	K	18,4	°C	K	11,6
158	19:02:35	29,7	°C	K	17,9	°C	K	11,8

159	19:17:35	29,6	°C	K	18,1	°C	K	11,5
160	19:32:35	29,6	°C	K	18,4	°C	K	11,2
161	19:47:35	29,9	°C	K	18,4	°C	K	11,5
162	20:02:35	29,6	°C	K	18,3	°C	K	11,3
163	20:17:35	29,3	°C	K	18,1	°C	K	11,2

Medição do dia 13/10/2017

REC	Hora	T1		Tipo	T2		Tipo	T1-T2
164	10:17:35	43,7	°C	K	24,5	°C	K	19,2
165	10:32:35	46,5	°C	K	26,3	°C	K	20,2
166	10:47:35	49,4	°C	K	27,5	°C	K	21,9
167	11:02:35	51,3	°C	K	28,6	°C	K	22,7
168	11:17:35	52,4	°C	K	29	°C	K	23,4
169	11:32:35	57,5	°C	K	32	°C	K	25,5
170	11:47:35	48,4	°C	K	28,5	°C	K	19,9
171	12:02:35	56,5	°C	K	31,1	°C	K	25,4
172	12:17:35	39,5	°C	K	25,4	°C	K	14,1
173	12:32:35	39,4	°C	K	25,4	°C	K	14
174	12:47:35	38,2	°C	K	25,4	°C	K	12,8
175	13:02:35	57,7	°C	K	31,1	°C	K	26,6
176	13:17:35	60,7	°C	K	33,2	°C	K	27,5
177	13:32:35	50,9	°C	K	31,2	°C	K	19,7
178	13:47:35	43,2	°C	K	27	°C	K	16,2
179	14:02:35	61,1	°C	K	31,3	°C	K	29,8
180	14:17:35	41,2	°C	K	26,4	°C	K	14,8
181	14:32:35	55	°C	K	29,4	°C	K	25,6
182	14:47:35	53	°C	K	29,3	°C	K	23,7
183	15:02:35	51,6	°C	K	29,1	°C	K	22,5
184	15:17:35	53,6	°C	K	29,7	°C	K	23,9
185	15:32:35	53,5	°C	K	29,9	°C	K	23,6
186	15:47:35	48,3	°C	K	29,1	°C	K	19,2
187	16:02:35	47,6	°C	K	28	°C	K	19,6
188	16:17:35	46,5	°C	K	27,8	°C	K	18,7
189	16:32:35	44,1	°C	K	27,2	°C	K	16,9
190	16:47:35	45,4	°C	K	27,4	°C	K	18
191	17:02:35	43,5	°C	K	26,2	°C	K	17,3
192	17:17:35	38,9	°C	K	24,1	°C	K	14,8
193	17:32:35	35,3	°C	K	22,6	°C	K	12,7
194	17:47:35	33,8	°C	K	21,3	°C	K	12,5
195	18:02:35	32,1	°C	K	20,4	°C	K	11,7
196	18:17:35	29,8	°C	K	18,7	°C	K	11,1
197	18:32:35	28,2	°C	K	17,5	°C	K	10,7
198	18:47:35	27,4	°C	K	16,8	°C	K	10,6
199	19:02:35	26,9	°C	K	16,4	°C	K	10,5

200	19:17:35	26,4	°C	K	16	°C	K	10,4
201	19:32:35	26,1	°C	K	15,6	°C	K	10,5
202	19:47:35	25,9	°C	K	15,4	°C	K	10,5
203	20:02:35	25,7	°C	K	15,2	°C	K	10,5
204	20:17:35	25,3	°C	K	14,7	°C	K	10,6

Obs.: +OL e -OL indicam Sobrefaixa.

APÊNDICE C

Dados obtidos na medição de teste para verificação da calibragem dos termômetros feita na superfície inferior da telha da cobertura A.

Medição de teste

REC	Hora	Termômetro 1		Termômetro 2	
		T1 (°C)	T2 (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)
1	10:41:39	31,2	31	31,7	31,5
2	10:56:39	32,5	32,4	33	32,8
3	11:11:39	33,7	33,6	34,3	34
4	11:26:39	35,1	35,1	35,7	35,4
5	11:41:39	36,2	36,4	36,8	36,4
6	11:56:39	37,8	38	38,5	38,1
7	12:11:39	37,3	37,5	37,8	37,7
8	12:26:39	37,6	37,7	38	37,9
9	12:41:39	38,1	38,2	38,5	38,2
10	12:56:39	35,9	36	36,3	36
11	13:11:39	39,6	39,9	40,3	40
12	13:26:39	40	40,4	40,7	40,2
13	13:41:39	35,5	35,8	36	35,7
14	13:56:39	36,1	36,3	36,5	36,5
15	14:11:39	36,2	36,4	36,6	36,4
16	14:26:39	37,8	38	38,4	38
17	14:41:39	41,1	41,4	41,8	41,3
18	14:56:39	39,4	39,5	39,9	39,7
19	15:11:39	33,9	33,9	34,1	34
20	15:26:39	32,4	32,5	32,9	32,6
21	15:41:39	33,7	33,7	34,1	33,9
22	15:56:39	34,1	34,1	34,6	34,3
23	16:11:39	33,5	33,6	34,1	33,8
24	16:26:39	31,3	31,3	31,5	31,5
25	16:41:39	30,9	30,9	31,3	31
26	16:56:39	34,6	34,6	35,2	34,9
27	17:11:39	32,1	32,2	32,6	32,5
28	17:26:39	30,6	30,5	30,9	30,7
29	17:41:39	30,2	30,2	30,5	30,4
30	17:56:39	33	33,3	33,7	33,4
31	18:11:39	32,7	32,7	33,1	32,9
32	18:26:39	31,1	31	31,3	31,2
33	18:41:39	30,5	30,5	30,9	30,8

34	18:56:39	29,7	29,8	30,1	30
35	19:11:39	28,7	28,8	29	28,9
36	19:26:39	27,6	27,6	27,9	27,8
37	19:41:39	26	25,9	26,3	26,2
38	19:56:39	24,9	24,9	25,2	25,2
39	20:11:39	24,3	24,3	24,6	24,5
40	20:26:39	23,9	24	24,2	24,2
41	20:41:39	23,6	23,6	24	23,9
42	20:56:39	23,3	23,3	23,6	23,6
43	21:11:39	23,1	23,1	23,6	23,6
44	21:26:39	23,1	23,1	23,4	23,4
45	21:41:39	22,8	22,9	23,1	23,2
46	21:56:39	22,6	22,6	23	23,1
47	22:11:39	22,4	22,4	22,7	22,8
48	22:26:39	22,3	22,3	22,5	22,6
49	22:41:39	22,1	22,1	22,5	22,5
50	22:56:39	22	22	22,4	22,4
51	23:11:39	21,8	21,8	22,3	22,3
52	23:26:39	21,8	21,8	22,1	22,2
53	23:41:39	21,6	21,6	21,9	22
54	23:56:39	21,5	21,5	21,7	21,9
55	00:11:39	21,4	21,3	21,7	21,7
56	00:26:39	21,1	21,1	21,6	21,4
57	00:41:39	21,2	21,1	21,5	21,5
58	00:56:39	21	21	21,2	21,3
59	01:11:39	21	20,9	21,2	21,3
60	01:26:39	20,7	20,7	21,1	21,1
61	01:41:39	20,4	20,4	20,8	20,9
62	01:56:39	19,9	19,9	20,4	20,3
63	02:11:39	20,2	20,2	20,6	20,6
64	02:26:39	20,3	20,3	20,7	20,7
65	02:41:39	20,3	20,3	20,8	20,7
66	02:56:39	20,6	20,5	20,9	21
67	03:11:39	20,7	20,7	21	21
68	03:26:39	20,8	20,7	21,1	21,1
69	03:41:39	20,8	20,8	21,1	21,1
70	03:56:39	20,8	20,8	21,1	21,2
71	04:11:39	20,6	20,6	21,1	21,1
72	04:26:39	20,6	20,5	21	21
73	04:41:39	20,5	20,4	20,8	20,8

74	04:56:39	20,5	20,4	20,8	20,8
75	05:11:39	20,4	20,4	20,7	20,8
76	05:26:39	20,2	20,2	20,6	20,7
77	05:41:39	20,2	20,2	20,6	20,6
78	05:56:39	20,3	20,2	20,7	20,6
79	06:11:39	20,2	20,2	20,7	20,7
80	06:26:39	20,2	20,2	20,5	20,5
81	06:41:39	20	20,1	20,5	20,5
82	06:56:39	20	20	20,5	20,5
83	07:11:39	20	20,1	20,4	20,4
84	07:26:39	20,3	20,2	20,6	20,6
85	07:41:39	20,5	20,4	20,8	20,8
86	07:56:39	21,5	21,5	21,9	21,9
87	08:11:39	22,3	22,2	22,5	22,5
88	08:26:39	22,6	22,6	22,9	22,9
89	08:41:39	23,4	23,5	23,9	23,9
90	08:56:39	22,9	23	23,2	23,3
91	09:11:39	23,3	23,3	23,8	23,7
92	09:26:39	24,5	24,6	24,9	24,8
93	09:41:39	24,9	25	25,4	25,3
94	09:56:39	24,7	24,7	25	25,2
95	10:11:39	26,1	26,1	26,6	26,5
96	10:26:39	26,3	26,3	26,7	26,6
