

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ISOLANTES TÉRMICOS POR
REFLEXÃO, UTILIZADOS COMO SUBCOBERTURAS.**

CARLOS ALBERTO NEME DARÉ

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas - Unesp – Campus de
Botucatu, para a obtenção do título de Mestre
em Agronomia – Área de Concentração em
Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP
janeiro - 2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ISOLANTES TÉRMICOS POR
REFLEXÃO, UTILIZADOS COMO SUBCOBERTURAS.**

CARLOS ALBERTO NEME DARÉ

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Targa

Co-Orientador: Prof. Dr. Mário Morio Isa

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas - Unesp – Campus de
Botucatu, para a obtenção do título de Mestre
em Agronomia – Área de Concentração em
Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP
janeiro – 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

D217a Daré, Carlos Alberto Neme, 1964-
Avaliação da eficiência de isolantes térmicos por
reflexão, utilizados como subcoberturas / Carlos Alberto
Neme Daré. -- Botucatu, [s.n.], 2005.
v, 72 f. : il. color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Estadual
Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas.
Orientador: Luiz Antonio Targa.
Co-orientador: Mário Morio Isa.
Inclui bibliografia.

1. Materiais isolantes. 2. Materiais de construção.
3. Conforto térmico. I. Targa, Luiz Antonio. II. Isa, Mário
Morio. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de
Ciências Agrônômicas. III. Título.

CDD 691.95

Palavras-chave: Subcobertura.

OFERECIMENTO E AGRADECIMENTOS.

Ofereço esta pesquisa aos meus pais Luiz e Olga, pela constante dedicação, formação digna, exemplo de vida e eterno carinho. Aos meus irmãos Stela e Neto, pela constante presença em todos os momentos. A minha esposa Edilaine, que com muita compreensão e carinho me auxiliou em todos os momentos. Aos meus filhos Carolina e Nicolás, este trabalho fica como incentivo à pesquisa científica.

Expresso meus agradecimentos à Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA. UNESP) e ao Laboratório de Transferência de Calor (L.T.C.) da Faculdade de Engenharia - UNESP - Bauru, que proporcionaram a realização deste trabalho, e em especial, aos amigos:

> Dr. Luiz Antonio Targa, pela orientação firme e segura e pelo estímulo e incentivo constantes;

> Dr. Mário Mório Isa, pela co-orientação e Dr. Adilson Renofio, pelo incentivo à pesquisa e amigos de longa jornada;

> Dr. Vicente Luiz Scalon e Dr. Alcides Padilha, pelo auxílio na parte experimental;

> Dr. Eduardo Carlos Bianchi e Dr. Paulo Roberto Aguiar, constantes incentivadores.

> Eng. Paulo Henrique Ferraz do Amaral Filho, Eng. Thiago Valle França, Eng. Ronaldo Yoshinobu Fusse, acadêmicos da pós-graduação, pelo auxílio na parte experimental.

> Téc. José Marcelo Felix da Silva e Vinícius Augusto Daré de Almeida, pela apoio de desenvolvimento computacional e de informática.

> Dr. Lauro Henrique Mello Chueiri, e aos demais professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil da UNESP - Bauru, pela compreensão ao longo do curso.

E aos demais amigos, colegas e familiares, que me apoiaram e me ajudaram das mais diversas formas, com carinho, afeto e solidariedade, aos quais, por serem muitos, peço desculpas por não citá-los nominalmente.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	V
1. RESUMO	01
2. SUMMARY	02
3. INTRODUÇÃO	03
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
4.1 Consumo de energia elétrica e sua relação com o condicionamento térmico em edificações	05
4.2 Fatores que influenciam o conforto térmico	06
4.3 Transmissão de calor	08
4.4 Isolantes térmicos por reflexão	09
4.5 Medidor de temperatura	12
5. MATERIAL E MÉTODOS	17
5.1 Material	17
5.1.1 Subcoberturas	17
5.1.2 Termopares	23
5.1.3 Registrador Gráfico	24
5.1.4 Telhas	25
5.1.5 Materiais empregados na construção do modelo	25
5.2 Métodos	25
5.2.1 Construção do modelo	25
5.2.2 Medidas das Temperaturas	29
5.2.3 Obtenção e armazenamento dos dados de temperatura	33
5.2.4 Determinação da taxa de transferência de calor	34
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
6.1 Valores das temperaturas sem o uso de subcobertura	43
6.2 Valores das temperaturas com o uso de subcoberturas	45
6.3 Valores das taxas de transferência de calor	50
7. CONCLUSÕES	55
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

APÊNDICE 1	59
APÊNDICE 2	61
APÊNDICE 3	63
APÊNDICE 4	65
APÊNDICE 5	67
APÊNDICE 6	69
APÊNDICE 7	71

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 1. Valores calculados das Taxas de Transferência de Calor q (W)	51
Tabela 2. Eficiência das subcoberturas (%)	53
Tabela 3. Eficiência média, mínima e máxima de cada tipo de subcobertura	54

1. RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho térmico de cinco tipos de subcoberturas para telhados, utilizados como isolante térmico. Para esta finalidade construiu-se modelos reduzidos de cobertura, com telhas cerâmicas, apoiadas em estrutura de madeira. Sob as telhas instalaram-se as subcoberturas. Para simular a radiação solar zenital incidente, foi utilizado um sistema constituído por duas lâmpadas incandescentes de 150watts de potência. Na determinação da taxa de transferência de calor, foram utilizados seis termopares localizados na parte superior, inferior e no ambiente externo do conjunto experimental. Estes termopares foram conectados em microprocessadores de alta resolução (registrador gráfico), permitindo o monitoramento das temperaturas de minuto a minuto, até alcançarem valores estáveis da radiação, conduzindo a resultados mais precisos.

Os resultados obtidos demonstram uma eficiência média de 68,6% dos telhados com o uso de subcoberturas, em relação ao telhado sem subcobertura (referência), demonstrando assim a importância destas no desempenho térmico das construções rurais e urbanas.

Além disso, o custo destas subcoberturas é significativamente inferior ao custo do telhado, não necessitando de mão-de-obra especializada, tendo a sua utilização otimizada, pois além de isolante térmico, contribui também para o isolamento acústico e hidráulico.

Palavras chave: materiais de construção, isolante térmico, subcobertura.

VALUATION OF EFFICIENCY OF THERMAL INSULATORS FOR REFLECTION TO USE FOR SUBCOVERINGS. Botucatu, 2005. 72p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Carlos Alberto Neme Daré

Adviser: Luiz Antonio Targa

Co-adviser: Mário Morio Isa

2. SUMMARY

This work had as objective to evaluate the thermal performance of five types of subcoverings used as thermal insulator. For this purpose, reduced models of subcoverings was constructed, with ceramic tiles, supported by wood structures. Under the tiles there were placed the subcoverings. To simulate the incident zenithal solar radiation, it was utilized a system consisted by two incandescent lamps of 150 Watts power. To determine the rate of heat transference it was utilized six thermocouples placed on the upper, lower and on the external environment of the experimental model. These thermocouples are connected to high resolution microprocessor (graphic registry), allowing the control of the temperatures minute by minute, until reaching stable values of radiation, leading to more accurate result.

The results obtained show an average efficiency to 68,6% of roofs with subcovering in relation of roofs without subcovering (reference), demonstrating, then, the importance of the use of subcovering on the thermic performance of the rural or urban constructions.

Besides, the cost of these sub covering is much lower than the cost of the roof and do not need specialized manual work, optimizing its use, because, beyond the thermic insulator, also contributes to the acoustic and hydraulic insulator.

Keywords: construction material, thermal insulator, subcovering.

3. INTRODUÇÃO

O homem, bem como os animais, embora possuam sistemas internos de controle de temperatura (são homeotérmicos), muitas vezes não conseguem desenvolver-se adequadamente sob condições adversas daquelas que lhes são próprias. Assim, necessitam de um abrigo que lhes garantam certos níveis de conforto, através da seleção e correção dos fatores físico-climatológicos, como radiação solar, umidade do ar, chuvas, ventos e temperatura. O desempenho térmico de uma edificação será sempre o resultado do seu comportamento face a esses fatores externos.

Apesar do estágio atual de desenvolvimento da construção, nem sempre é possível empregar técnicas e materiais apropriados para a execução do abrigo, uma vez que o fator econômico geralmente é limitante. Assim, normalmente, as pequenas construções, aquelas mais simples, em sua maioria, têm sido construídas seguindo mais a conveniência do proprietário do que obedecendo às prescrições técnicas, resultando, quase sempre, em edificações que, raramente, atingem os níveis de desempenho desejados para a finalidade proposta. Um mesmo padrão de desempenho pode ser conseguido através de diferentes soluções de projeto e de emprego de materiais. Cabe, então, analisá-los e procurar estabelecer a parcela de influência de cada um deles.

Ao se elaborar um projeto arquitetônico, ficam automaticamente definidos todos os fatores que influenciarão direta ou indiretamente o desempenho térmico da edificação, tais como forma e dimensões, orientação das fachadas, número, tamanho e disposição

das aberturas, materiais empregados e localização. Numa edificação, os fechamentos, paredes e cobertura, têm como uma das funções, adequar as condições térmicas interiores, independentemente daquelas exteriores.

Uma das maneiras de se conseguir isso é através da redução das trocas de calor, que ocorrem permanentemente entre esses meios.

Os componentes físicos do abrigo deveriam ser capazes de controlar esse fluxo de energia térmica entre o exterior e o interior e vice-versa. Isto, porém, nem sempre é conseguido, devido, na maioria das vezes, a um desempenho térmico deficiente desses elementos.

De maneira geral, nem todos os materiais usados na construção civil cumprem adequadamente esse papel. Assim, algumas partes da edificação podem se tornar importantes fontes geradoras de calor. Isto ocorre de maneira mais significativa com a cobertura. Sendo ela a parte da edificação que recebe a maior carga térmica, proveniente da radiação solar, torna-se, então, nas regiões de clima quente, a maior transmissora de calor para o interior da edificação.

Assim, melhorando-se sua eficiência térmica, seguramente, conseguir-se-á uma redução do fluxo de calor do telhado para o interior do edifício. É neste contexto que se inclui a presente pesquisa: avaliar o desempenho térmico de cinco tipos de subcoberturas, utilizadas como isolantes térmicos em telhados.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Consumo de energia elétrica e sua relação com o condicionamento térmico em edificações.

Akutsu (1998), comenta que a grande disponibilidade de energia devido a evolução tecnológica, contribui para a quebra da harmonia existente entre a edificação e o meio-ambiente, declinando para sistemas artificiais de condicionamento térmico de ambientes, permitindo a construção de edificações sem a preocupação das limitações inerentes à sua adequação ao clima, que conseqüentemente implica em um maior consumo de energia, principalmente nos grandes centros urbanos. O homem moderno vem cada vez mais se valendo de recursos adicionais em busca de maior conforto e produtividade que, pela relação direta com o aumento do consumo de energia elétrica, nos obrigando a refletir mais em busca de um equilíbrio sustentável.

Nos dias atuais, esta questão é muito importante, não só visando à economia de energia, mas devido também aos custos para a construção de novas fontes de geração, e transmissão até o local de consumo, não esquecendo também da preservação ambiental. Contudo, o ponto alto da edificação, está na integração harmoniosa do sistema de condicionamento térmico aos projetos arquitetônicos e construtivos, fatores que muitas vezes são esquecidos nos dias atuais, Akutsu (1998).

4.2 Fatores que influenciam o conforto térmico.

Alucci (1988) afirma que o desconforto causado tanto por temperaturas elevadas (ou baixas), quanto pelas más condições de iluminação é resolvido pelo usuário através de sistemas artificiais de iluminação e de condicionamento do ar. Isto aumenta consideravelmente o consumo de energia elétrica.

Ao se lançar a idéia de conforto, deve-se considerar que está em jogo a satisfação das exigências de cada um dos sentidos humanos, bem como, hábitos de vida e condições sociais que particularizam grupos ou regiões.

Segundo Carneiro (1988), o desempenho térmico de uma edificação é o resultado da interação de um conjunto de fatores, tais como climáticos, do entorno, do abrigo e ocupacionais.

Os fatores climáticos são representados pelas variáveis climáticas locais: ventos, radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e insolação.

Os fatores do entorno são representados pelas variáveis que caracterizam o local próximo ao abrigo, quanto a tipologia e posição das edificações vizinhas, características de paisagem (vegetação e massa d'água), recobrimento do solo e topografia.

Os fatores da edificação são representados pelas variáveis de projeto, tais como, implantação, características da envolvente, considerando a porção área opaca/transparente e as características térmicas dos materiais que as constituem.

Os fatores ocupacionais são representados pelas características de ocupação, pelo período de ocupação, número de pessoas e atividades desenvolvidas, número e natureza dos equipamentos instalados.

Romero (1988) descreve os fatores responsáveis pela origem e determinação do clima que são: radiação solar, circulação atmosférica, repartição das terras e dos mares, relevo do solo, correntes marítimas e revestimento do solo.

Este mesmo autor, após distinguir os elementos dos fatores climáticos, subdivide-os em fatores climáticos globais e locais.

Os fatores climáticos globais são aqueles que condicionam e dão origem ao clima, à radiação solar, à latitude, à longitude, à altitude, aos ventos e às massas de água e terra.

Já os fatores climáticos locais dão origem ao micro-clima, ou ao clima que se verifica num ponto restrito (cidade, bairro, pequena região), como a topografia, a vegetação e a superfície do solo natural ou construído.

A topografia é o resultado de processos geológicos que afeta, particularmente o micro-clima. Devem ser considerados vários fatores, como a declividade, a orientação, a exposição e a elevação das ondulações da superfície da terra.

A vegetação contribui, também, de forma significativa ao estabelecimento dos micro-climas. O processo de fotossíntese auxilia na umidificação do ar, através do vapor d'água que é liberado. Auxilia, ainda, na diminuição da temperatura do ar, absorve energia e favorece a manutenção do ciclo oxigênio/gás carbônico, essencial à renovação do ar.

Como exemplo, pode-se notar que um espaço gramado absorve maior quantidade de radiação solar, irradiando uma quantidade menor de calor do que qualquer superfície construída. Grande parte da energia absorvida é utilizada em seu processo metabólico, enquanto outros materiais transformam esta energia em calor.

Lamberts et al (1997) afirmam, ainda, que o sol é um corpo quente (6000°C) que emite uma radiação sob a forma de ondas eletromagnéticas, que se decompõem em:

- infra-vermelha: raios que transportam a maior parte da energia radiada por um corpo incandescente (calor irradiante);
- luz visível: as radiações que, iluminando a Terra, dão cor aos objetos; e
- ultra-violetas: transportam uma porção muito fraca da energia irradiada por um corpo incandescente.

A radiação solar sofre alteração no seu percurso pela atmosfera, já que 34% é refletida ao espaço, 47% é absorvida pela Terra, e 19% é absorvida na atmosfera pelos seus componentes (pó, nuvens, vapor d'água).

Quanto a orientação do sol e do vento, Sobenis (1982) comenta que as paredes de orientação norte recebem a maior quantidade de radiação direta no inverno e pouco

fluxo solar direto no verão. As fachadas de orientação nordeste recebem o sol da manhã, com fluxo direto e alto no inverno, e fluxo direto médio no verão. As paredes de orientação noroeste sofrem os efeitos do sol da tarde com alto fluxo direto no inverno, e médio no verão. A fachada sul recebe a luz diurna difusa ou iluminação uniforme, esta orientação é adequada, nas áreas, onde é necessária uma iluminação natural equilibrada (área de trabalho), com possibilidade de utilização de venezianas para controle da iluminação interna.

Este mesmo autor completa afirmando que a orientação das paredes da habitação leste-oeste é desfavorável, devido ao fato de que, no inverno, o fluxo térmico direto total recebido é mínimo e, no verão, é máximo, nas paredes correspondentes.

Como forma de controle solar nos elementos horizontais, as paredes de orientação norte são consideradas mais convenientes.

Os elementos físicos da envolvente (cobertura, paredes, aberturas), regulam o micro clima interno permitindo a ação dos elementos ambientais externos, direta ou indiretamente. Através dos componentes físicos da habitação, é possível realizar o controle do fluxo de energia térmica entre o exterior e o interior e vice-versa.

Roriz (1996), afirma que o mês de fevereiro é o mês mais quente do ano, e tanto a temperatura externa quanto a interna permanecem acima do Limite Superior de Conforto durante todas as horas do dia. Sentindo calor, a tendência natural do usuário seria a de manter as janelas abertas ao máximo. Neste caso, contudo há momentos em que o ideal seria fechar as janelas. É o que ocorre, por exemplo, entre as 10 e as 14 horas, período no qual a temperatura exterior está mais alta que a interior, tornando a ventilação uma fonte adicional de calor.

Todos estes aspectos devem ser considerados quando se acredita que uma boa arquitetura deve responder, adequadamente, às condições climáticas locais.

4.3 Transmissão de calor

Segundo Costa (1981), denomina-se transmissão de calor, o conjunto de fenômenos que caracterizam a passagem de calor. A transmissão de calor pode efetuar-se de três maneiras distintas, condução, convecção e radiação, obedecendo cada uma dessas formas às leis próprias.

Segundo este autor, a convecção ocorre quando um dos corpos envolvidos é fluido; as partículas do fluido entram em contato com uma superfície aquecida elas se dilatam, tornando-se menos densas, afastando-se a superfície quente e dando lugar a outras partículas, criando as correntes convectivas.

A condução depende das trocas de energia molecular no meio condutor, ocorrendo devido ao aumento de energia cinética proporcionado por uma excitação térmica, em uma região de um corpo. Elétrons com maior energia tornam-se mais velozes e com órbitas mais amplas, chocando-se com elétrons vizinhos. Estes que recebem os choques ganham mais energia térmica, passando a suceder de forma semelhante ao primeiro.

A radiação ocorre sem que haja contato entre os corpos, há somente transmissão de energia. Esta energia transmite-se em forma de ondas eletromagnéticas.

Armelin et al (2003), cita que nas superfícies das telhas cerâmicas o calor atinge temperaturas acima de 60°C. Com isso, o calor penetra na habitação através de três mecanismos:

Radiação térmica, energia emitida na forma de ondas eletromagnéticas por qualquer corpo com temperatura acima de zero absoluto, responsável por 89% do calor entrante.

Convecção natural, pois a movimentação do ar é ocasionada pela diferença de densidade entre o ar quente e frio, (responsável por 11% do calor entrante).

Condução, que no caso da cobertura, o calor é trocado através do contato físico entre as telhas e a estrutura de madeira, quando as temperaturas são diferentes.

4.4 Isolantes térmicos por reflexão.

Nesta pesquisa, optou-se pela utilização de isolantes térmicos por reflexão, denominados de subcoberturas. As subcoberturas são novas no mercado brasileiro, as primeiras subcoberturas chegaram ao Brasil, importadas da Europa, Estados Unidos e Argentina. Por causa das diferenças climáticas entre o Brasil e os países de origem, passou a ser fabricada no Brasil, após passar por uma série de adequações.

Sato (2003) afirma que as subcoberturas ganham adeptos pela dupla função: estanqueidade e isolamento térmico. São mantas instaladas entre a telha e o forro que, por serem impermeáveis, e eliminam goteiras. Para isolar o calor, as mantas têm de possuir características mais complexas, no caso, elas são isolantes por diminuição da troca de calor por radiação. A manta deve ser fabricada com materiais adequados, como por exemplo, deve ter emissividade menor que 0,1. Isso quer dizer que ela vai emitir até 10% da radiação, ou vai refletir 90%.

As características de barreira radiante deve-se à lâmina de alumínio “foil”, que pode estar presente em apenas um dos lados ou em ambos os lados da subcobertura. A refletividade vai depender da maneira como está instalada. Se apenas um dos lados é aluminizado, é este quem deve estar voltado para baixo, pois, se voltado para cima, o alumínio empoeira fácil e diminui sua capacidade de reflexão. Nesse caso, o produto recebe calor do telhado, que é absorvido pela face superior e esquentar a subcobertura. Na hora que o lado de baixo for irradiar calor para o ambiente, como é de alumínio, o calor fica na própria folha. Na situação em que a subcobertura (manta) é bialuminizada têm duplo benefício, o lado superior reflete o calor de volta para o telhado e um pouco do que é absorvido não vai ser irradiado para dentro do ambiente (para baixo).

A isolação (proteção) da cobertura ajuda muito, pois a maior carga de calor chega pela cobertura. A temperatura de uma telha cerâmica pode chegar a 60 °C - 70 °C, e essa temperatura, irradia calor, conclui Sato (2003).

Esta mesma autora ainda afirma que a escolha da subcobertura vai depender da necessidade do empreendimento. Existem vários fabricantes e produtos diferentes, principalmente na composição do substrato, pois o “foil” de alumínio pode estar ligado a diversos materiais, e, enquanto alguns utilizam apenas um reforço para o “foil” de alumínio, outros usam substratos como polietileno, plástico bolha e lã de vidro. Estas camadas intermediárias (substrato) servem de reforço para o conjunto resistir aos esforços de tração.

O esquema de instalação sob telhas cerâmicas, sugerido pelos fabricantes de subcobertura, é o apresentado na Figura 1.

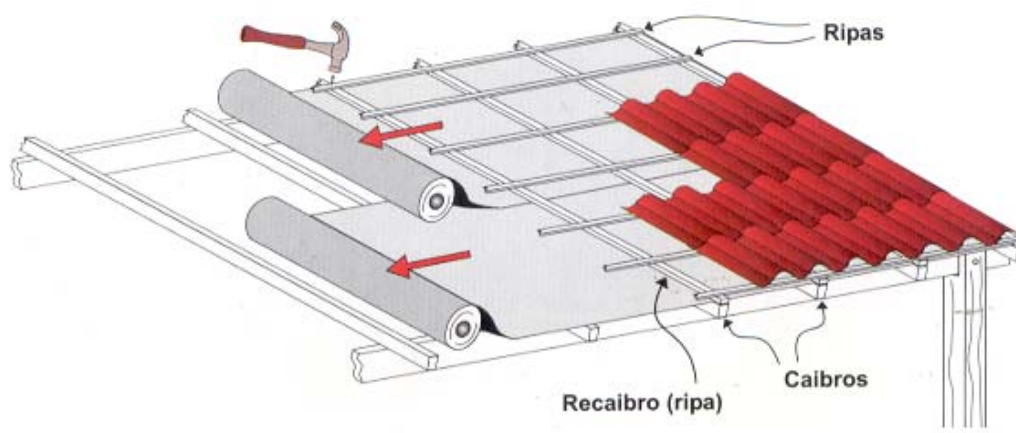


Figura 1. Esquema de montagem da subcobertura em telhado cerâmico.

Fonte: catálogo técnico da Pentak (2003).

A instalação da subcobertura é realizada de baixo para cima, e da direita para a esquerda, acompanhando o sentido de montagem das telhas, desenrolando-a no sentido indicado e em cima dos caibros, a próxima camada de subcobertura deverá transpassar a anterior em aproximadamente 10cm, unindo uma camada à outra através de uma fita adesiva própria. A fixação é feita por meio de pregos, utilizados também para fixar a primeira ripa que, por sua vez, é fixada no mesmo sentido dos caibros, formando o conjunto de fixação da subcobertura. A segunda ripa (a que serve de suporte das telhas, e fixada no sentido transversal ao caibro) é fixada na primeira ripa, com espaçamento de acordo com a telha à ser utilizada. Em seguida a colocação das telhas.

A Figura 2 apresenta um telhado sendo montado com a utilização de subcobertura do tipo aluminizada nas duas faces.



Figura 2. Telhado sendo montado com o uso de subcobertura.

Fonte: catálogo técnico da Pentak (2003)

Segundo Vecchia (2001), os valores das temperaturas internas do ar (em uma residência) foram reduzidos, após a colocação da subcobertura. Em média, esse *foil* colabora com uma redução da ordem de 5,1 °C. Afirmar ainda que, a utilização de isolantes térmicos por reflexão, apresentam um significado conjunto no campo da Economia de Energia (tendem a evitar o uso de ar condicionado), do Desempenho Térmico e, Conforto Humano. Melhores condições de produtividade e saúde.

4.5. Medidor de temperatura.

Lira (2001) cita que dentre os variados tipos de sensores para medição de temperatura, o termopar ou par termoelétrico é o mais utilizado industrialmente e em laboratórios. Em uma de suas extremidades os fios são unidos e soldados, que chamou-se de junta de medição ou junta quente, e a outra extremidade, aberta, de junta de referência. A Figura 3, apresenta um termopar tipo K.

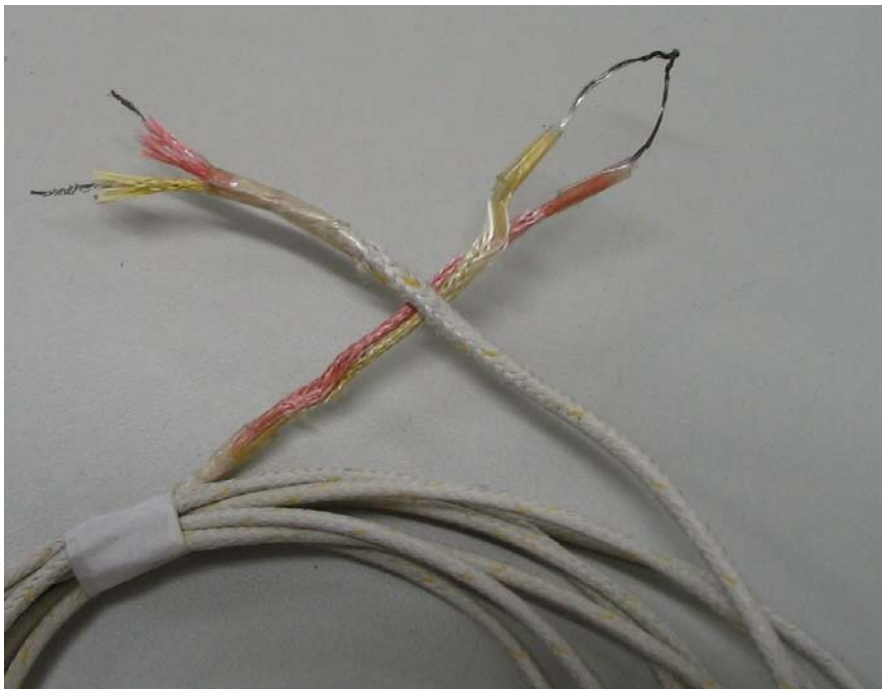


Figura 3. Termopar tipo K, junta de referência e junta de medição.

Termopares são sensores constituídos de dois condutores metálicos, os quais, quando submetidos a uma diferença de temperatura entre suas extremidades, geram uma força eletromotriz, da ordem de mV, provocada pela redistribuição de elétrons, cujo valor depende do tipo de material condutor, conforme apresenta a Figura 4.

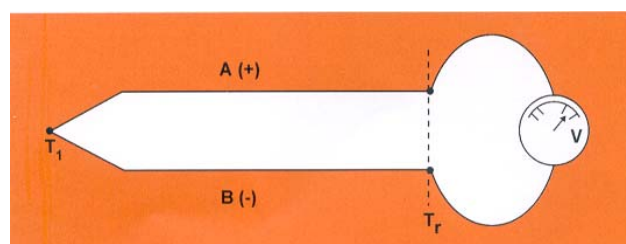


Figura 4. Esquema físico de um termopar.

A Figura 5 mostra o funcionamento de um termopar e como é gerada essa força eletromotriz.

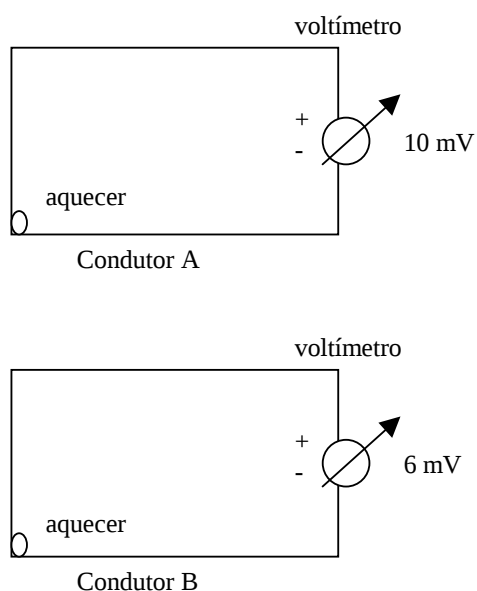


Figura 5. Esquema de funcionamento de um termopar.

Helfrick (1990) demonstra que juntando uma extremidade dos dois condutores (condutor A e condutor B) a força eletromotriz gerada será a diferença das medidas individuais, como mostra a Figura 6.

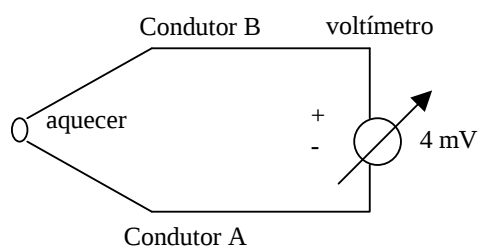


Figura 6. Força eletromotriz gerada através de dois condutores.

A Figura 7 apresenta o gráfico da força eletromotriz em função da temperatura incidente nos termopares de uso mais freqüentes.

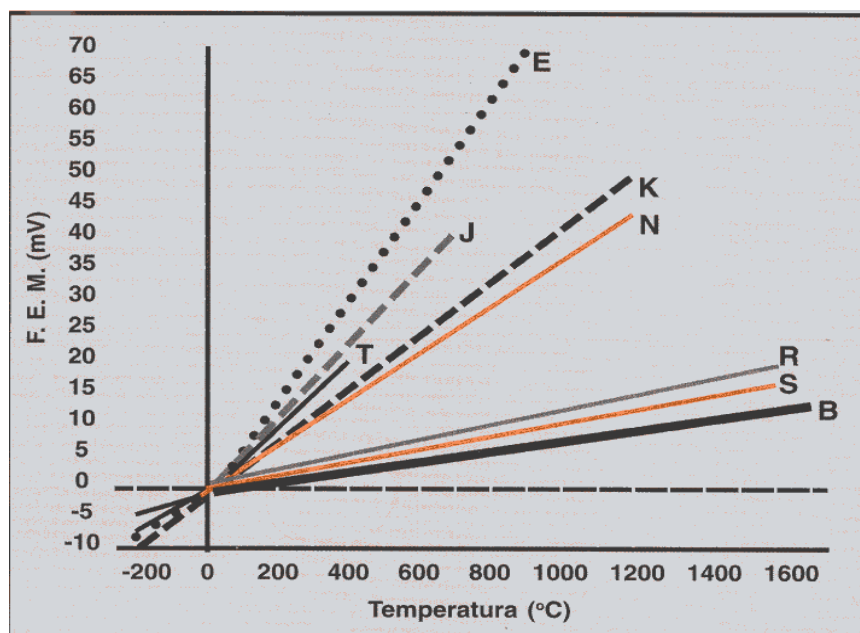


Figura 7. Gráfico da força eletromotriz em função da temperatura

Fonte: catálogo técnico da Salvi Casagrande (2001).

Como mostra a Figura 7, o termopar que apresenta um bom desempenho é o termopar K, graficamente apresenta uma reta formando um ângulo de aproximadamente 45° , variando uniformemente a F.E.M. em função da temperatura.

Os termopares são os sensores de temperatura mais econômicos, práticos e com boa exatidão para aplicação. Cobrem uma faixa de -200°C a 2300°C .

No termopar K, o fio positivo é de níquel – cromo, e o fio negativo é de níquel-alumínio e sua faixa de utilização é de -200°C a 1.200°C .

O termopar T, o fio positivo é de cobre – constantan, em quanto o fio negativo é de cobre-níquel e sua faixa de utilização é de -200°C a 350°C .

Já o termopar J ou ferro-constantan o fio positivo é de ferro, o fio negativo é de cobre-níquel, sendo a sua faixa de utilização de -40°C a 750°C .

O termopar E, o fio positivo é de níquel-cromo e o fio negativo é de cobre-níquel e sua faixa de utilização é de -200°C a 900°C .

Os outros tipos de termopares: S, R, e B, fornecem uma força eletromotriz de menor intensidade (baixa potência termoelétrica).

A análise do gráfico da Figura 7, mostra que o termopar K é o que apresenta o melhor desempenho e sua faixa de utilização é adequada à esta pesquisa.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Material.

Foram utilizados cinco tipos de isolantes térmicos, na forma de mantas, usados normalmente como subcoberturas (colocados abaixo das telhas). Das cinco mantas, quatro possuíam pelo menos uma face revestida por película metálica refletora, de alumínio, tipo *foil*. Estas podem ser classificadas como *isolantes térmicos refletivos*.

Neste trabalho, as mantas foram denominadas simplesmente de subcoberturas (denominação comercial), identificadas por números de 1 a 5.

5.1.1. Subcoberturas

5.1.1.1. Subcobertura 1.

Manta composta por camadas de folha de polietileno e de tecido trançado de polietileno de alta densidade, nas quais foram aplicadas folhas de alumínio brilhante, de 7 e de 9 microns de espessura. A folha de polietileno e de tecido trançado de polietileno de alta densidade formam um conjunto termo-soldado, à alta temperatura, que garante maior resistência mecânica à manta, estanqueidade (evita goteiras) e melhora a aderência entre suas partes constituintes. As folhas de alumínio tornam a manta com alta capacidade de reflexão à radiação térmica (face voltada para cima) e com baixo poder de emissividade (face voltada para baixo), Figuras 8 e 9.

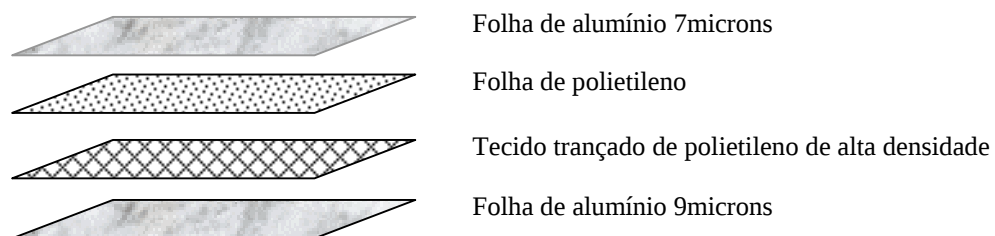


Figura 8. Composição do conjunto termo-soldado da subcobertura 1.



Figura 9. Detalhe da subcobertura 1.

5.1.1.2. Subcobertura 2.

Constituída por manta aluminizada nas duas faces, composta de substrato de espuma de polietileno de baixa densidade, de 2 mm de espessura, na cor branca, conforme esquema da Figura 10.

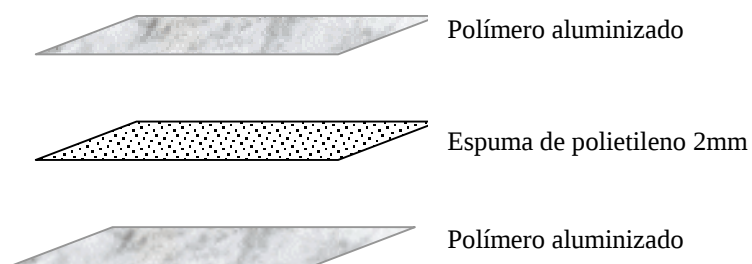


Figura 10. Composição do conjunto termo-soldado da subcobertura 2.

As faces compostas de polímero aluminizado são responsáveis pela reflexão das radiações e pela baixa emissividade. A camada intermediária de espuma de polietileno (substrato) é importante para que a subcobertura tenha também capacidade de estanqueidade e de resistir aos esforços mecânicos. A Figura 11 mostra a subcobertura 2, com as duas faces aluminizadas e em detalhe a camada intermediária de espuma de polietileno.



Figura 11. Subcobertura 2.

5.1.1.3. Subcobertura 3.

A subcobertura 3 é composta de um conjunto termo-soldado de dois materiais: o primeiro, de polímero aluminizado, responsável pela baixa emissividade pois, na instalação deste tipo de subcobertura, esta face aluminizada é voltada para baixo (para o interior do telhado). O segundo material é constituído de espuma de polietileno de baixa densidade, na cor branca, com espessura de 2 mm. Esta camada de espuma tem a finalidade de resistir aos esforços mecânicos e de conferir capacidade de estanqueidade ao conjunto, Figura 12.

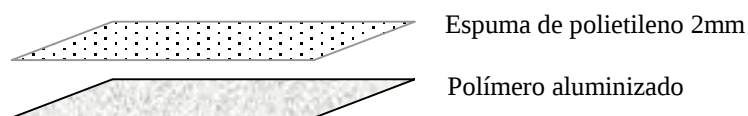


Figura 12. Composição do conjunto termo-soldado da subcobertura 3.

As características dos materiais constituintes desta subcobertura são as mesmas da subcobertura 2. A diferença entre ambas é que esta subcobertura possui apenas uma face aluminizada.

A Figura 13 apresenta a subcobertura 3, mostrando a face aluminizada e a camada de espuma de polietileno.



Figura 13. Subcobertura 3.

5.1.1.4. Subcobertura 4.

O quarto tipo de isolante térmico por reflexão utilizado nesta pesquisa, apresenta em apenas uma de suas faces a lamina metálica de alumínio; outra face é a da camada de espuma de polietileno de baixa densidade, de 5mm de espessura, na cor branca, conforme mostra a Figura 14. Esta manta deve ser instalada com a face aluminizada voltada para baixo para aproveitar a sua pequena capacidade de emissão de calor.

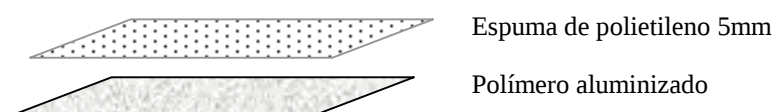


Figura 14. Composição do conjunto termo-soldado da subcobertura 4.

As propriedades dos materiais constituintes desta subcobertura são as mesmas da subcobertura 3. A diferença entre ambas é que esta subcobertura possui uma camada de 5 milímetros de espuma de polietileno.

A Figura 15 apresenta a subcobertura 4, mostrando a face constituída de polímero aluminizado, e a camada de espuma de polietileno de baixa densidade de cor branca.

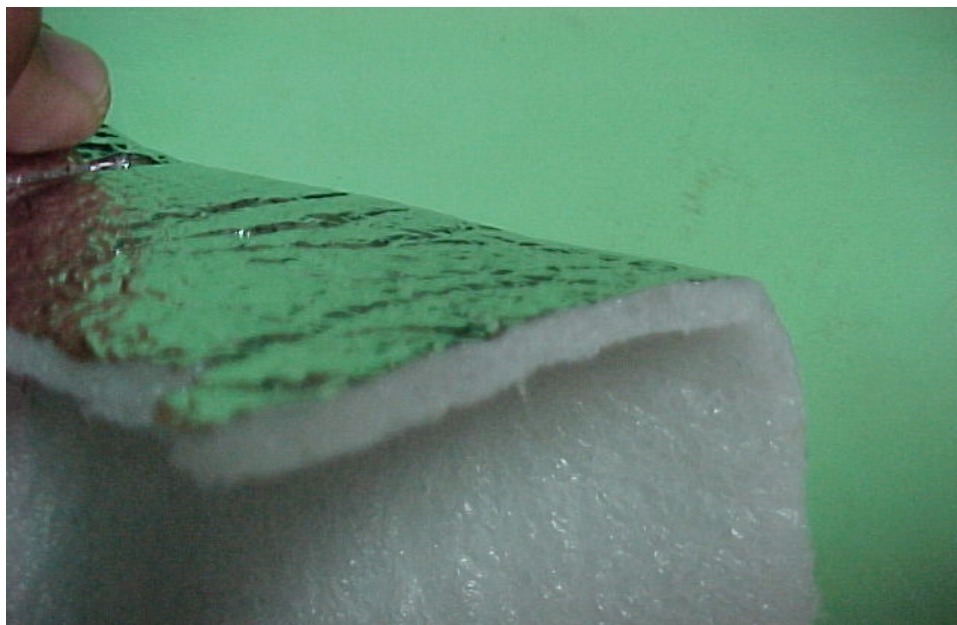


Figura 15. Subcobertura 4.

5.1.1.5. Subcobertura 5.

A subcobertura 5 não possui nenhuma face aluminizada. Constitui-se, apenas, de uma manta de 5mm de espessura de espuma de polietileno de baixa densidade, na cor branca, conforme esquema da Figura 16.



Espuma de polietileno, com 5mm de espessura

Figura 16. Material constituinte da subcobertura 5.

A Figura 17 mostra a subcobertura 5, onde se nota a ausência de faces aluminizadas.



Figura 17. Subcobertura 5.

As principais características destas subcoberturas são:

Refletividade.....95%

Condutividade Térmica.....0,03W/mK

Massa específica.....70 a 90 Kg/m³

Obs. 1 - Dados fornecidos pelos fabricantes.

2 – Exceto a Subcobertura 5.

5.1.2. Termopares.

No presente trabalho foram utilizados termopares tipo K, como medidores de temperatura, os quais, como comentado no Capítulo 4, apresentam melhor desempenho. Ele é composto de um fio de níquel-cromo, considerado de polaridade positiva e representado com a capa na cor amarela, e de um fio de níquel-alumínio-manganês-silício, considerado de polaridade negativa, representado com a capa na cor vermelha. Encapando estes dois fios, outro

material de cor branca com faixas amarelas. A sua faixa de utilização é de temperaturas variando de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.1.3. Registrador Gráfico.

Para o registro de temperatura utilizou-se o registrador gráfico sem papel, da marca JUMO, modelo LOGOSCREEN, com 12 canais de conexão. A precisão do aparelho é de 1% de fundo da escala. A escala utilizada neste trabalho é de 0 a 120°C .

Os sinais enviados pelos termopares são convertidos em temperaturas, em $^{\circ}\text{C}$, e armazenados no próprio aparelho.

Pode-se configurar o registrador para armazenar dados de vários tipos de termopares, num total de até 12 conexões. Os dados podem ser coletados desde segundo a segundo, até de hora em hora. Os valores obtidos são transferidos para um disquete, em drive localizado no equipamento.

A Figura 18 apresenta o aparelho registrador gráfico em ensaio em andamento.



Figura 18. Aparelho registrador gráfico de temperatura.

5.1.4. Telhas.

Foram utilizadas nesta pesquisa telhas de barro (cerâmicas) tipo romana, de cor avermelhada, procedente da cidade de Penápolis – SP. Sua fabricação segue a norma brasileira ABNT - NBR 13582/2002 – Telha cerâmica tipo romana.

5.1.5. Materiais empregados na construção do modelo.

O modelo foi construído utilizando-se chapas de madeira compensada, de 18mm de espessura, formando uma caixa em forma de paralelepípedo. A estrutura de apoio das telhas também foi executada em madeira, utilizando-se caibros, ripas e pregos.

Para a vedação do espaço entre as telhas e as laterais do modelo utilizou-se de argamassa refratária composta de argila e silicatos.

Para simular a radiação solar incidente sobre as telhas, utilizou-se de duas lâmpadas incandescentes de 150 W de potência, alimentadas com a tensão de 127 V, ligadas em paralelo, acionadas através de fios de cobre com 2,5mm² de seção e interruptor.

5.2. Métodos.

5.2.1. Construção do modelo.

O modelo utilizado é formado por chapas de madeira compensada, espessura 18 mm, medindo 74 cm de comprimento, 44 cm de largura e altura de 64 cm, com uma tampa, também de madeira, medindo 54 cm x 100 cm, formando uma caixa com forma de paralelepípedo, conforme mostrado na Figura 19.

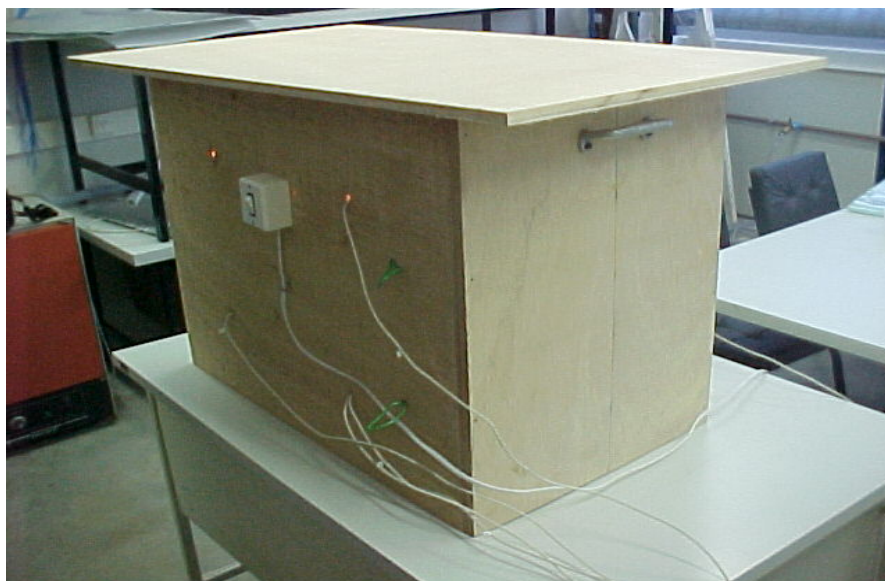


Figura 19. Modelo para ensaio: laterais e a tampa em madeira compensada.

A estrutura de apoio das telhas foi montada com inclinação de 30%, seguindo as especificações recomendadas para o tipo da telha utilizada, Figura 20.



Figura 20. Detalhe da estrutura para apoio das telhas.

O modelo emprega quatro unidades da telha cerâmica tipo *romana*, conforme mostra a Figura 21.



Figura 21. Disposição das telhas cerâmicas no interior do modelo.

Para a vedação lateral, utilizou-se argamassa refratária constituída de argila, silicato e água, material argiloso, moldável e aplicado em toda a lateral de contato entre as telhas e as paredes laterais do modelo, para evitar perda de calor. A Figura 22 apresenta o modelo já vedado, assim como detalhes das lâmpadas geradoras de calor e da fixação e posicionamento dos termopares.

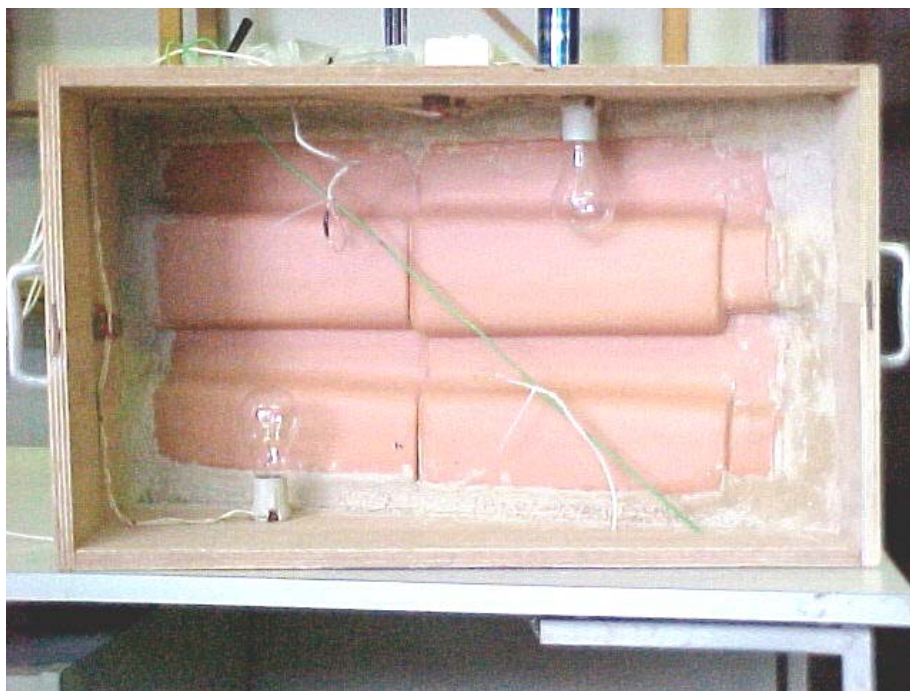


Figura 22. Detalhes da vedação das frestas laterais, das lâmpadas e dos termopares.

As subcoberturas foram instaladas em baixo da estrutura de suporte das telhas (ripas), coladas aos caibros e nas laterais do modelo.

Este processo se repete, quando da substituição da subcobertura ensaiada, para a instalação da outra à ser ensaiada.

A instalação da subcobertura no modelo é mostrada na Figura 23.



Figura 23. Vista da parte inferior do modelo, destacando-se a instalação da subcobertura.

5.2.2. Medidas das Temperaturas.

Para formar a junta de medição (ou junta quente), as pontas dos fios dos termopares foram unidas, torcendo-se uma ponta contra a outra; posteriormente a esta união, as pontas recebem calor proveniente de um bico de solda de oxi-acetileno, fundindo parcialmente as duas pontas, gerando uma solda arredondada. Continua-se o processo de formação do termopar, com a limpeza desta solda com uma solução à base de 10% de ácido nítrico (HNO_3) e 90% de álcool etílico ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), formando-se assim o terminal do termopar (junta de medição), conforme mostra a Figura 24.

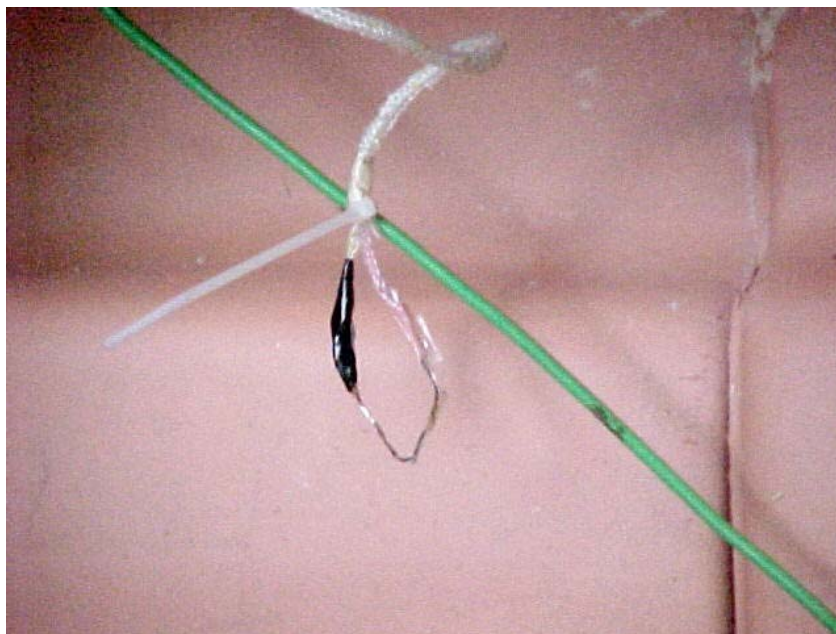


Figura 24. Termopar t_1 fixado no suporte, acima da telha cerâmica e o detalhe da união dos dois fios para formar a junta de medição.

Para isso utilizaram-se seis termopares K, aqui denominados de t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , t_5 e t_6 .

Os termopares t_1 e t_2 foram instalados na parte superior do modelo, logo acima das telhas, distantes destas de 2,5cm.

Os termopares t_3 , t_4 , e t_5 foram instalados na parte inferior do modelo, abaixo das telhas e da subcobertura, distantes desta de 3,0cm.

O termopar t_6 instalado no ambiente externo do modelo, distante 20cm da lateral.

Para o suporte dos termopares t_1 e t_2 , foi usado um fio de cobre com isolamento plástico (fio de instalação elétrica). Os termopares foram neles fixados com presilhas de plástico, de modo a não influenciar a corrente elétrica gerada pelo termopar. Com isso os termopares foram posicionados na posição desejada, conforme são vistos na Figura 25.



Figura 25. Instalação dos termopares t_1 e t_2 .

De maneira similar, os termopares t_3 , t_4 e t_5 foram instalados na parte inferior do modelo.

A Figura 26 apresenta o detalhe da fixação do termopar t_3 , abaixo da subcobertura 1.

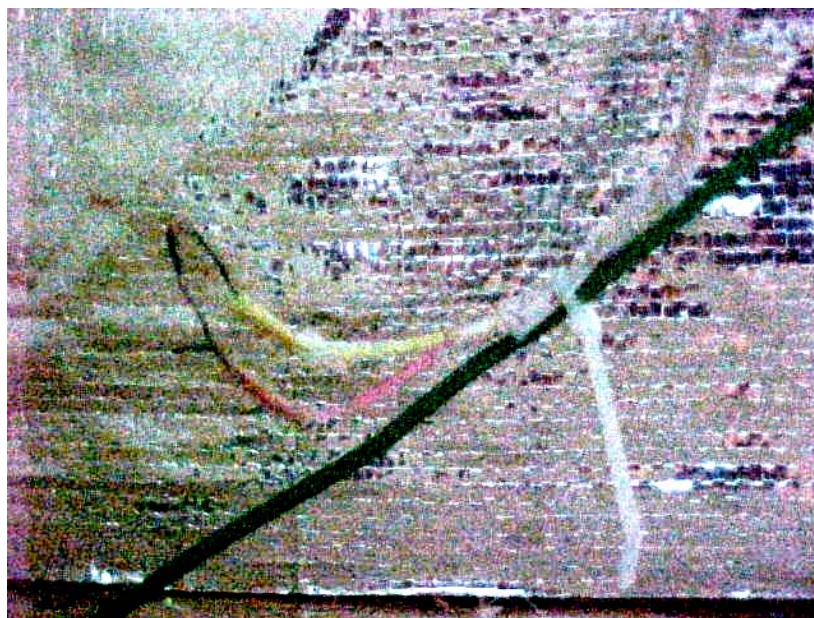


Figura 26. Detalhe do termopar t_3 fixado no suporte, abaixo das telhas cerâmicas e da subcobertura 1.

Para a visualização das localizações dos pontos de medida de temperatura no interior do modelo, a Figura 27 apresenta uma vista em corte longitudinal.

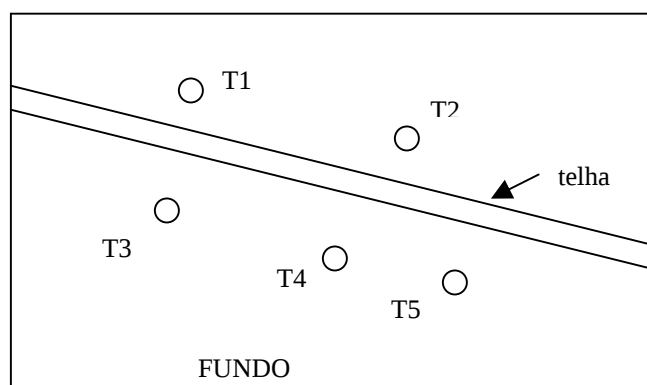


Figura 27. Vista em corte longitudinal do modelo.

5.2.3. Obtenção e armazenamento dos dados de temperatura.

Os valores de temperatura foram coletados através dos sinais elétricos enviados pelos termopares e captados pelo aparelho registrador gráfico, devidamente calibrado e configurado para o tipo de termopar (Figura 28). Este equipamento converte os sinais elétricos (tensão em mV), em valores de temperaturas (°C), armazenando-os em intervalos de um minuto, num período de 360 minutos.

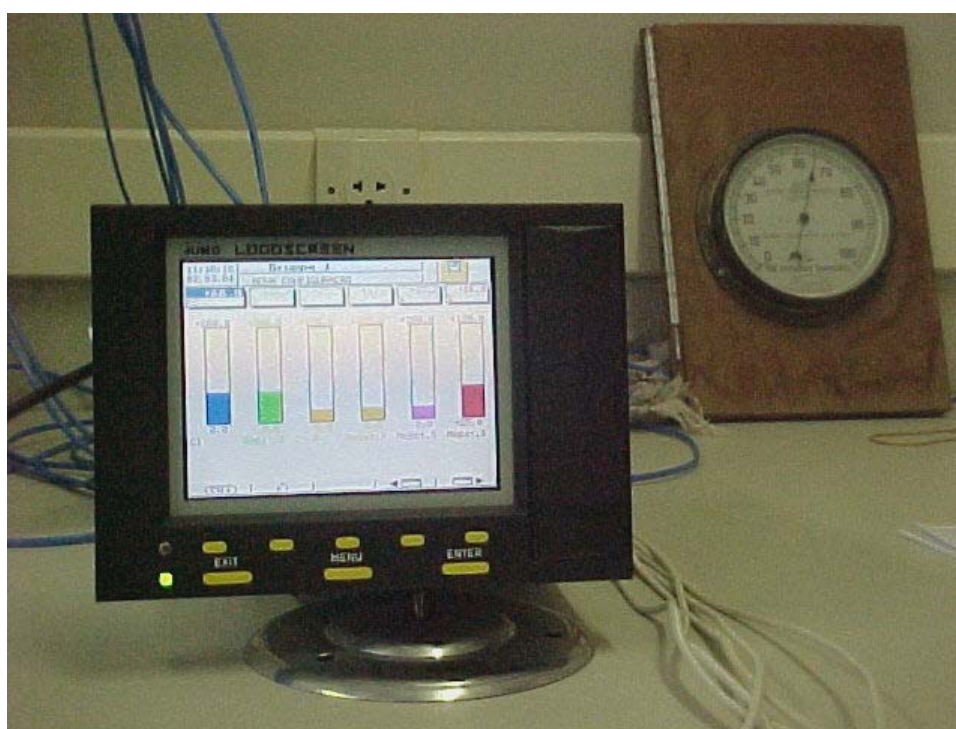


Figura 28. Vista do aparelho registrador gráfico de temperatura, e ao fundo, aparelho medidor da umidade do ar.

Na Figura 28, na tela do registrador, os termopares t_1 , t_2 , t_3 , t_4 e t_5 são representados, respectivamente, pelas cores azul, verde, laranja, amarelo e roxo. O termopar t_6 , representado pela cor vermelha, fornece os dados da temperatura externa.

Após a realização dos ensaios, transferiram-se os dados para uma planilha eletrônica, onde foram calculadas as médias das temperaturas.

5.2.4. Determinação da taxa de transferência de calor.

É possível quantificar os processos de transferência de calor em termos de equações de taxas de transferência de calor apropriadas. Essas equações são usadas para calcular a quantidade de energia transferida por unidade de tempo. Para a condução de calor, a equação da taxa de transferência de calor é conhecida por lei de Fourier, apresentada por Incropera et al (1998).

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad \text{Onde:} \quad (1)$$

q_x'' = fluxo de calor (W/m²);

K = condutividade térmica (W/m °K);

dT/dx = *gradiente de temperatura*.

O fluxo de calor q_x'' é calculado por unidade de área, perpendicular à direção de propagação, sendo proporcional ao gradiente de temperatura dT/dx . A constante de proporcionalidade k é uma propriedade de transporte conhecida como *condutividade térmica* (W/m °K), sendo uma característica do material da parede. O sinal negativo é uma consequência do calor transmitir-se no sentido da temperatura decrescente.

A Figura 29 apresenta um esquema físico da transferência de calor por condução, sendo a temperatura interna maior que a temperatura externa.

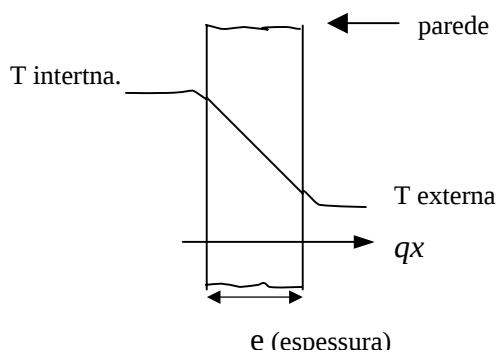


Figura 29. Transferência de calor por condução unidimensional através da parede plana.

A taxa de transferência de calor por condução q_x (W) através de uma parede plana de área A (m²) é o produto do fluxo de calor pela área da parede:

$$q_x = q_x'' \cdot A. \quad (2)$$

Substituindo-se os termos da equação (2), fica:

$$q_x = -K \frac{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}{e} A \quad \text{Onde:} \quad (3)$$

q_x = taxa de transferência de calor por condução (W)

T_{int} = temperatura média interna (°C);

T_{ext} = temperatura média externa (°C);

e = espessura da parede (m);

A resistência térmica é o inverso da condutividade, e da mesma forma que uma resistência elétrica está associada à condução de eletricidade, uma resistência térmica pode ser associada à condução de calor, sendo expressa por:

$$R_{t, \text{cond.}} = \frac{T_{\text{int.}} - T_{\text{ext.}}}{q_x} = \frac{e}{k.A} \quad (4)$$

Uma resistência térmica pode também ser associada à transferência de calor por convecção em uma superfície. A partir da lei de resfriamento de Newton:

$$q = h.A.(T_{int.} - T_{ext.}) \quad \text{Onde:} \quad (5)$$

h = coeficiente de transferência de calor (W/m².°K),

A resistência térmica na convecção (resistência térmica convectiva) é:

$$R_{t,conv.} = \frac{T_{int.} - T_{ext.}}{q} = \frac{1}{h_{conv.}.A} \quad (6)$$

Para os gases, o coeficiente de transferência de calor por convecção h_{conv} pode variar de 2 a 25 W/m².°K.

No presente trabalho, este coeficiente pode ser calculado, e é expresso pela equação:

$$h_{conv.} = \frac{k}{H}.Nu \quad \text{Onde:} \quad (7)$$

k = condutividade térmica do ar = 26,3 x 10⁻³ W/m.°K;

H = 0,3 metros (altura média inferior do modelo);

Nu = número de *Nusselt* calculado pela equação:

$$Nu = 0,68 + \frac{0,67 Ra^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{4}{9}}} \quad \text{Onde:} \quad (8)$$

Ra = número de *Rayleigh*,

Pr = número de *Prandtl*

Na equação, **Pr** (*Prandtl*), é uma propriedade física do ar, igual a 0,707 (nas condições do ensaio). **Ra** (*Rayleigh*), é o produto de *Grashof* e de *Prandtl*.

$$Ray = Gr \times Pr \quad \text{Onde:} \quad (9)$$

Gr = (*Grashof*) é calculado pela equação:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_i - T_m) \cdot H^3}{\nu^2} \quad \text{Onde:} \quad (10)$$

g = aceleração da gravidade = 9,8 m/s²

β = coeficiente de expansão térmica, calculado pela eq. (11);

T_i = temperatura interna máxima = 50 °C;

T_m = temperatura externa (do meio externo) máximo = 30 °C ;

ν = (νí) é uma propriedade física do ar, igual a 15,89 x 10⁻⁶ m²/s.

O valor do coeficiente de expansão térmica **β**, é calculado pela equação:

$$\beta = \frac{1}{T_m + 273} \quad \text{Onde:} \quad (11)$$

T_m = 40 °C, pois a temperatura interna máxima admitida é de 50 °C , e a temperatura externa (do meio) máxima é de 30 °C , resultando em:

$$\beta = \frac{1}{40 + 273}$$

$$\beta = \frac{1}{313}$$

$$\beta = 3,12 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

O número de *Grashof* indica a razão entre a força de empuxo e a força viscosa que atuam no fluido (ar), calcula-se:

$$Gr = 6,91719 \times 10^7$$

Substituindo os valores na equação (9):

$$Ra = 4,98045 \times 10^7$$

O valor de *Nu*, que é o número de *Nusselt*, calculado pela equação (8), vale:

$$Nu = 43,6634$$

Possibilitando calcular, para o presente trabalho, o coeficiente de transferência de calor por convecção h_{conv} , equação (7), assumindo o valor de:

$$h_{conv.} = 3,83. \frac{W}{m^2.º K}$$

Associa-se essas equações ao esquema físico do modelo construído, onde a representação do sistema na forma de circuitos fornecem um instrumento útil tanto para a conceituação quanto para o cálculo da transferência de calor, conforme apresenta a Figura 30.

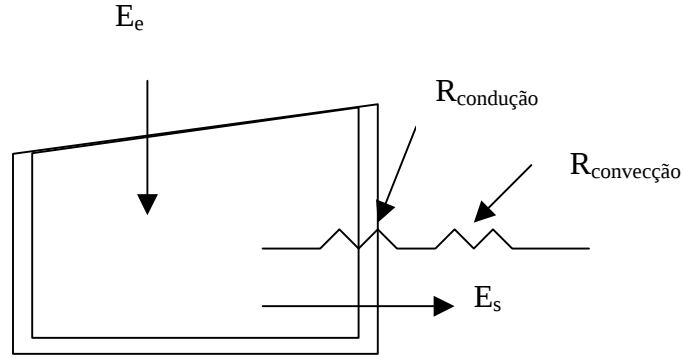


Figura 30. Comportamento físico do modelo.

O circuito térmico equivalente para a parede plana nas condições de condução e convecção, e em termos da diferença de temperatura total ($T_{int.} - T_{ext.}$), e da resistência térmica total ($R_{tot.}$), a taxa de transferência de calor é representada por:

$$q_x = \frac{T_{int.} - T_{ext.}}{R_{tot.}} \quad (12)$$

Uma vez que as resistências condutivas e convectivas estão em série, podem ser somadas, tem-se:

$$R_{tot.} = \frac{e}{K.A} + \frac{1}{h_{conv.}.A} \quad (13)$$

O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas do modelo construído, bem como o equacionamento deste resultados são calculados através destas equações da termodinâmica.

Ao se aplicar a primeira lei da termodinâmica, inicialmente identifica-se o volume de controle, uma região do espaço delimitado por uma superfície de controle da qual a energia e a matéria podem passar. Uma vez identificado o volume de controle, uma base de tempo apropriada deve ser especificada.

A taxa de aumento de energia acumulada E_{ac} em todo o volume de controle, se deve à diferença de temperatura, conforme mostra a equação à seguir:

$$\dot{E}_{ac.} = \frac{dQ}{dt} = \rho \cdot c \cdot v \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (14)$$

Na equação, ρ e c são a densidade e o calor específico do ar e valem $1,293 \text{ kg/m}^3$, e $1,00 \text{ kJ/kg.k}$, respectivamente. O volume de controle nas duas condições de ensaio, com e sem o uso de subcobertura varia. A outra parcela da equação é a variação da temperatura interna na parte inferior do modelo ΔT ($^{\circ}\text{C}$), no espaço de tempo Δt (é expresso em segundos).

A Figura 30, representou o modelo físico dos ensaios e, com o auxílio das equações da termodinâmica, chega-se a uma equação que fornece a taxa de transferência de calor q (Watts), em regime transiente:

$$q = \frac{dQ}{dt} + q_{transferido} \quad (15)$$

Substituindo as duas parcelas da equação, tem-se:

$$q = \rho.c.V.\frac{\Delta T}{\Delta t} + \frac{T_{int.} - T_{ext.}}{\frac{e_{mad}}{k_{mad}.A} + \frac{1}{h_{conv.}.A}} \quad (16)$$

Obtendo-se portanto a equação geral que representa a taxa de transferência de calor do ambiente interno do modelo para o meio externo.

Na presente pesquisa, esta equação é utilizada em duas situações diferentes, pois deve-se levar em consideração a análise de com e sem o uso de subcoberturas, que em função disso, calculam-se as áreas e volumes para estas duas situações.

A distância entre as telhas e a subcobertura é de 0,10m, resultando em áreas e volumes diferentes para a análise, como podem serem vistos nas Figuras 31 e 32.

A Figura 31 apresenta o esquema do modelo sem o uso de subcobertura.

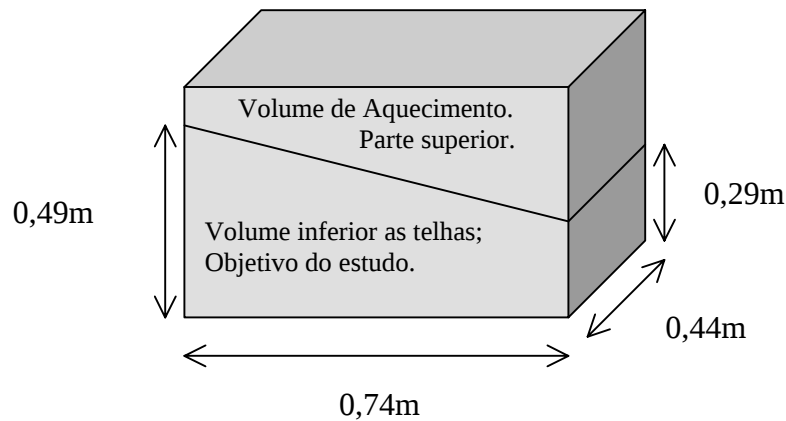


Figura 31. Modelo com medidas internas sem uso da subcobertura para o cálculo de áreas e volumes.

As áreas frontais do modelo são denominadas de A1 e A2.

$$A1 = A2 = \frac{0,49 \times 0,29}{2} \times 0,74 = 0,2886 m^2$$

As áreas laterais são A3 e A4;

$$A3 = 0,44m \times 0,49m = 0,2156 m^2$$

$$A4 = 0,44\text{m} \times 0,29\text{m} = 0,1276$$

Portanto, o somatório das áreas sem a subcobertura = $0,9204 \text{ m}^2$

O volume de controle (trapézio inferior) sem a subcobertura é igual a:

$$(0,2886 \text{ m}^2 \times 0,44\text{m}) = 0,1270\text{m}^3.$$

A Figura 32 apresenta as medidas para o cálculo das áreas e volumes para o modelo com o uso de subcoberturas.

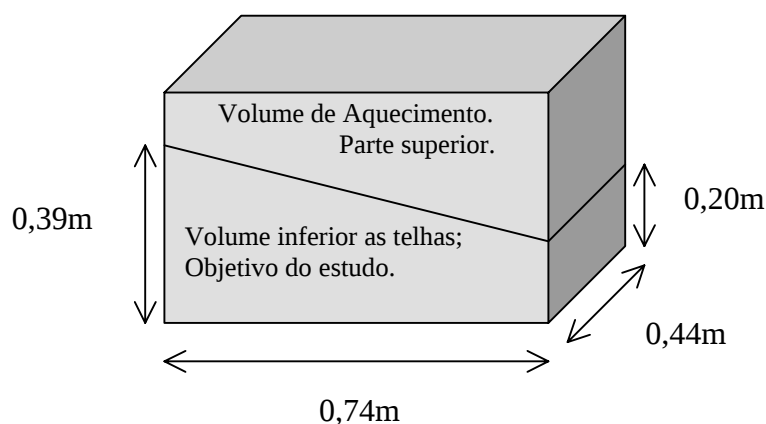


Figura 32. Modelo com medidas internas, com o uso da subcobertura, para o cálculo de áreas e volumes.

Áreas frontais são denominadas A1 e A2.

$$A1 = A2 = \frac{0,39 \times 0,20}{2} \times 0,74 = 0,2183\text{m}^2$$

As áreas laterais são A3 e A4;

$$A3 = 0,44\text{m} \times 0,39\text{m} = 0,1716\text{m}^2$$

$$A4 = 0,44\text{m} \times 0,20\text{m} = 0,0880 \text{ m}^2$$

Portanto, o somatório das áreas com a subcobertura é de $0,6962\text{m}^2$

O volume de controle (trapézio inferior) com a subcobertura é igual a:

$$(0,2183\text{m}^2 \times 0,44\text{m}) = 0,0960\text{m}^3.$$

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste Capítulo apresenta-se os resultados dos ensaios e os comentários. Apresenta-se também os esquemas físicos e as equações da taxa de transferência de calor, oriundas da termodinâmica.

6.1. Valores das temperaturas sem o uso de subcobertura.

6.1.1. Modelo de Referência (telhado sem o uso de subcobertura).

O primeiro modelo ensaiado foi aquele sem o uso de subcobertura, caracterizado neste trabalho como referência.

Os resultados obtidos, estão apresentados no gráfico da Figura 33, que representa a variação das temperaturas em função do tempo.

Os termopares 1 e 2 foram colocados na parte superior do telhado, enquanto os termopares 3, 4 e 5 estão localizados na parte inferior do telhado. Assim eles indicam as temperaturas obtidas nesses locais. Isso ocorre para todos os ensaios.

Os pontos indicados no gráfico representam as médias das temperaturas dos termopares 1 e 2 e dos termopares 3, 4 e 5.

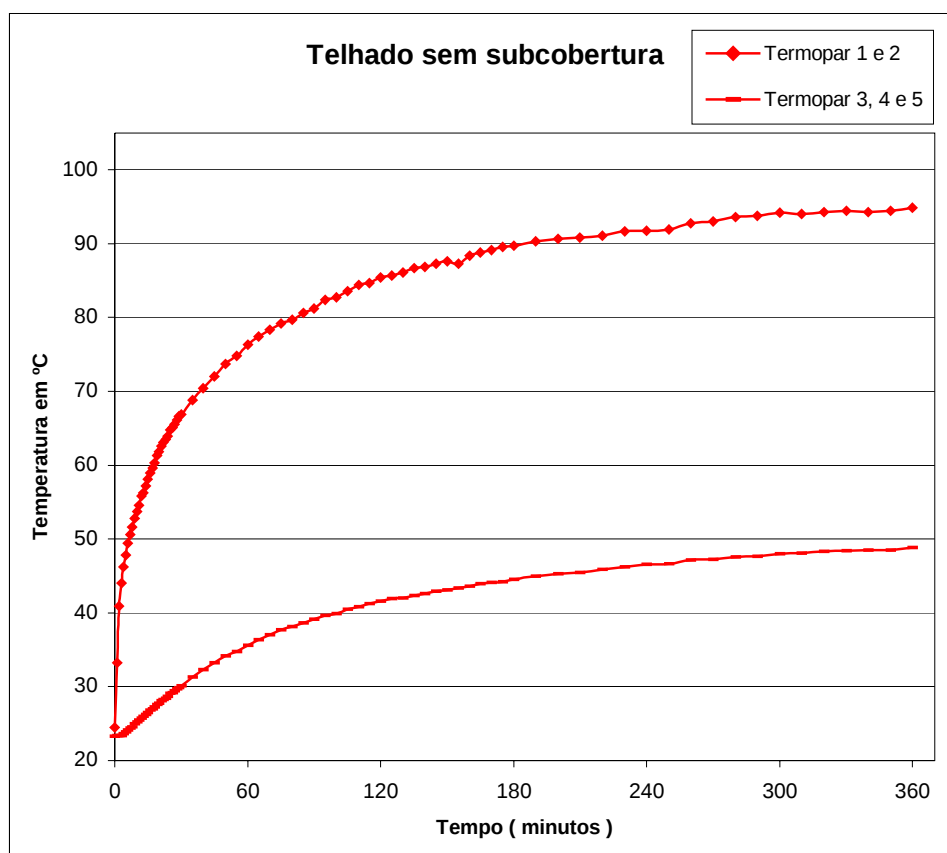


Figura 33. Gráfico das temperaturas em função do tempo para o telhado sem uso da subcobertura (referência).

Através da Figura 33, observa-se uma diferença de temperatura entre as regiões superior e inferior das telhas, de, aproximadamente 46 °C, nas temperaturas finais do ensaio.

No Apêndice 1, apresentam-se os valores das temperaturas de todos os termopares, ponto a ponto, para a condição “sem subcobertura”, tomada como referência.

6.2. Valores das temperaturas com o uso de subcoberturas.

6.2.1. Subcobertura 1.

No modelo ensaiado com a utilização da subcobertura 1, os valores obtidos para as temperaturas são representados na Figura 34.

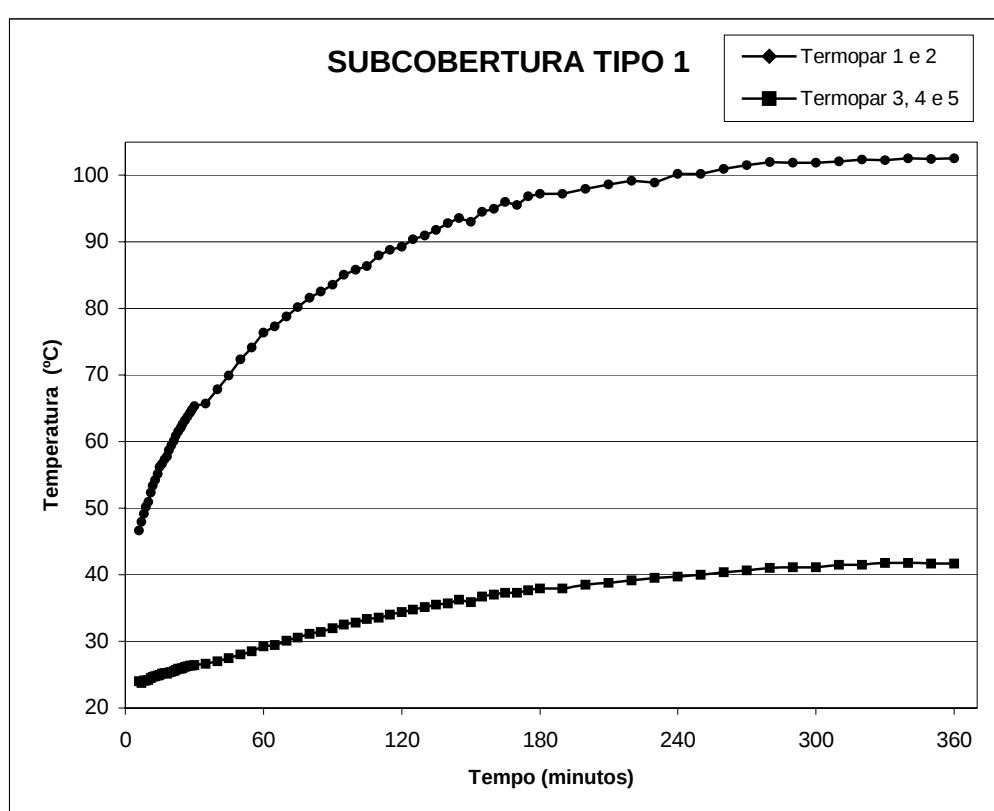


Figura 34. Gráfico das temperaturas em função do tempo para o telhado com uso de subcobertura 1.

Observa-se uma diferença entre as temperaturas da face superior e da face inferior das telhas de, aproximadamente 63 °C no final do ensaio. Com o uso desta

subcobertura, a temperatura na região acima das telhas aumentou de 95°C para 105°C, devido a contribuição do calor refletido pela subcobertura.

No Apêndice 2, apresentam-se os valores das temperaturas de todos os termopares, ponto a ponto, para subcobertura 1.

6.2.2. Subcobertura 2.

No modelo ensaiado com o uso da subcobertura 2, as temperaturas são representadas no gráfico da Figura 35.

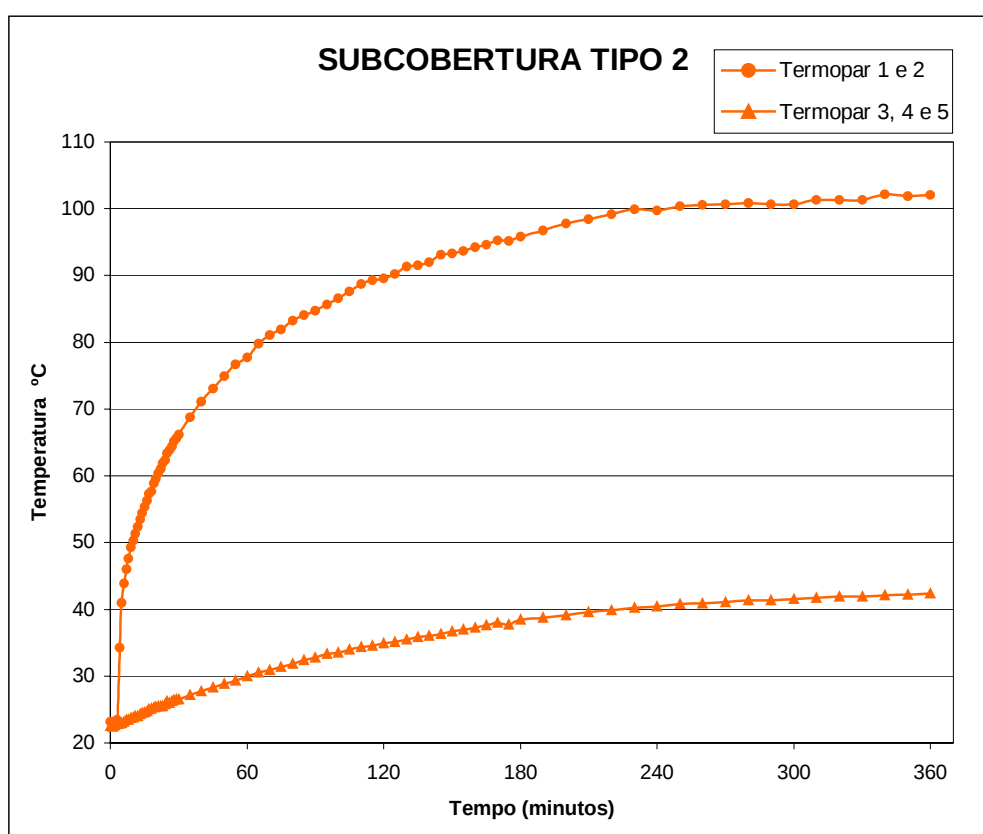


Figura 35. Gráfico das temperaturas em função do tempo para o telhado com o uso da subcobertura 2.

Observa-se que neste caso, há uma diferença de temperatura entre as faces superior e a inferior das telhas é de aproximadamente 60 °C, no final do ensaio. Este resultado é bem próximo do telhado com subcobertura 1, pois estas duas subcoberturas são aluminizadas nas duas faces.

Apresenta-se no Apêndice 3, o quadro com os valores das temperaturas de todos os termopares para este tipo de subcobertura.

6.2.3. Subcobertura 3.

No telhado ensaiado com o uso da subcobertura 3, as temperaturas obtidas são as representadas no gráfico da Figura 36.

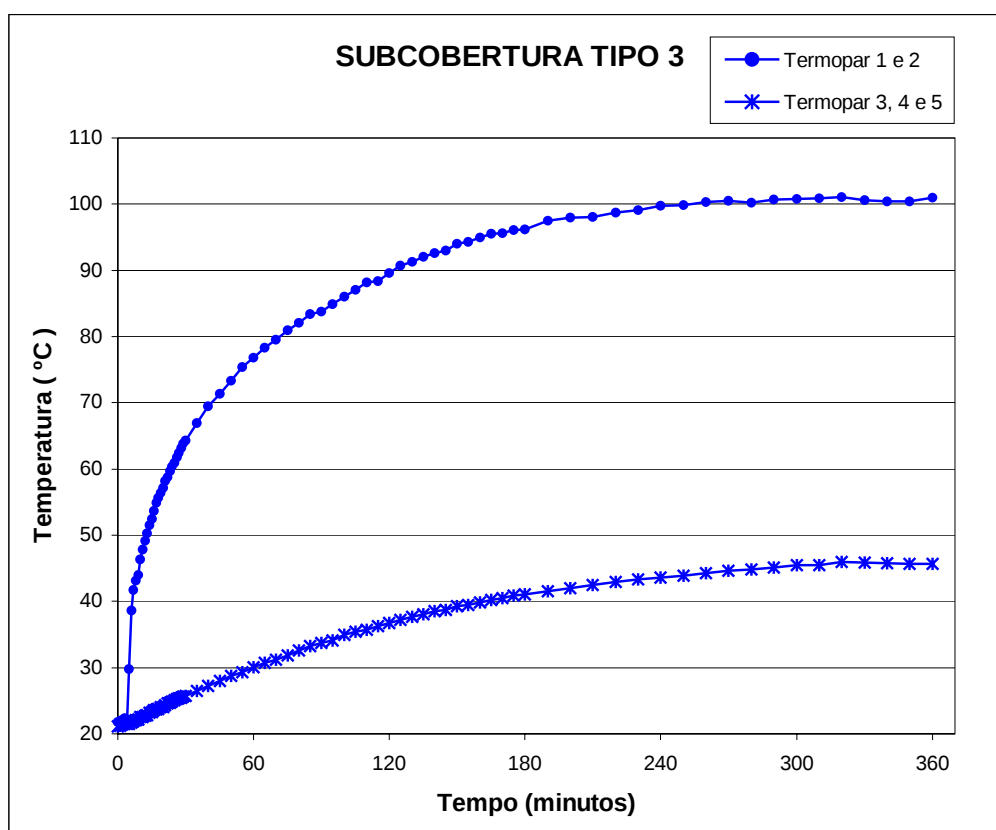


Figura 36. Gráfico das temperaturas em função do tempo para o telhado com o uso da subcobertura 3.

A diferença de temperatura observada, nestas condições, é de aproximadamente, 55°C no final do ensaio, ficando, portanto, com uma diferença de temperatura menor que a do tipo 1 e do tipo 2. Isso se deve ao fato deste tipo de subcobertura possuir, apenas, uma face aluminizada. Sendo a face branca voltada para as telhas e a face aluminizada (face de maior reflexão) voltada para baixo, ocorrendo uma menor reflexão do calor, comparada com a superfície aluminizada. A superfície aluminizada voltada para baixo, contribui com a baixa emissividade.

No Apêndice 4, apresentam-se os valores das temperaturas de todos os termopares para subcobertura 3.

6.2.4. Subcobertura 4.

Na subcobertura 4, as temperaturas obtidas são representadas no gráfico da Figura 37.

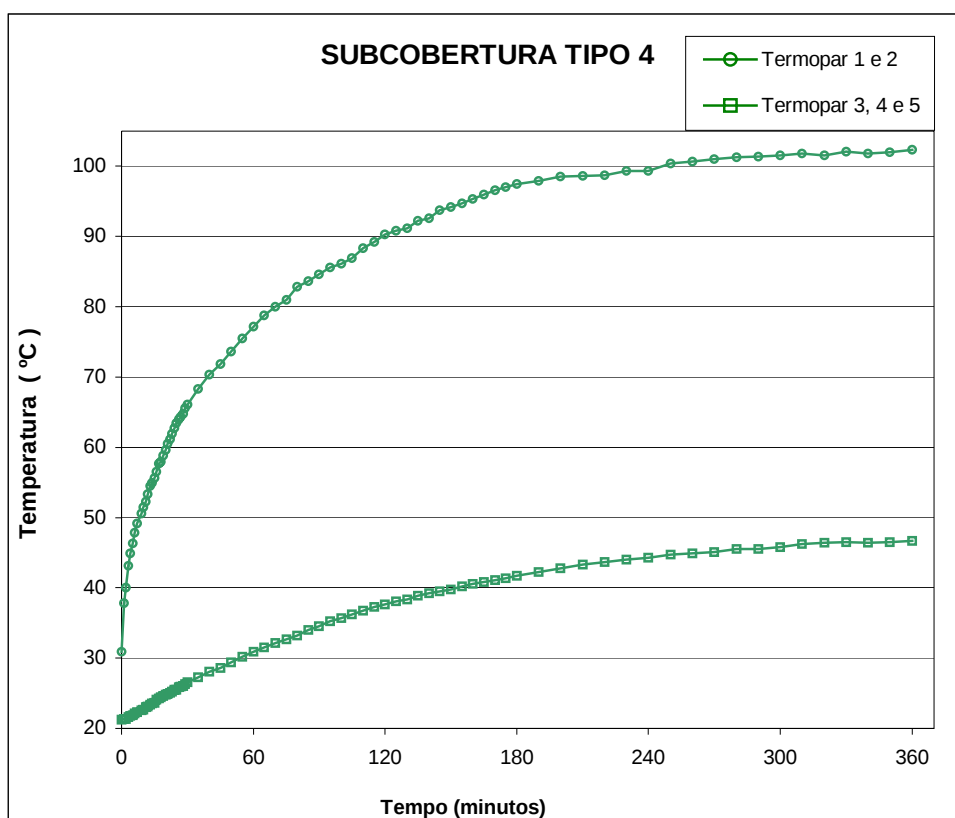


Figura 37. Gráfico das temperaturas em função do tempo para o telhado com o uso da subcobertura 4.

A diferença de temperatura observada, nestas condições, é de, aproximadamente, 53°C na parte final do ensaio. Esse resultado é bem próximo, comparado com o uso da subcobertura 3. Isso se deve ao fato de que as duas subcoberturas (tipo 3 e tipo 4) têm as mesmas características físicas, diferenciando, apenas, na espessura da camada de espuma de polietileno.

No Apêndice 5, apresentam-se os valores das temperaturas de todos os termopares para esta subcobertura.

6.2.5. Subcobertura 5.

No telhado ensaiado com o uso da subcobertura 5, as temperaturas obtidas são representadas no gráfico da Figura 38.

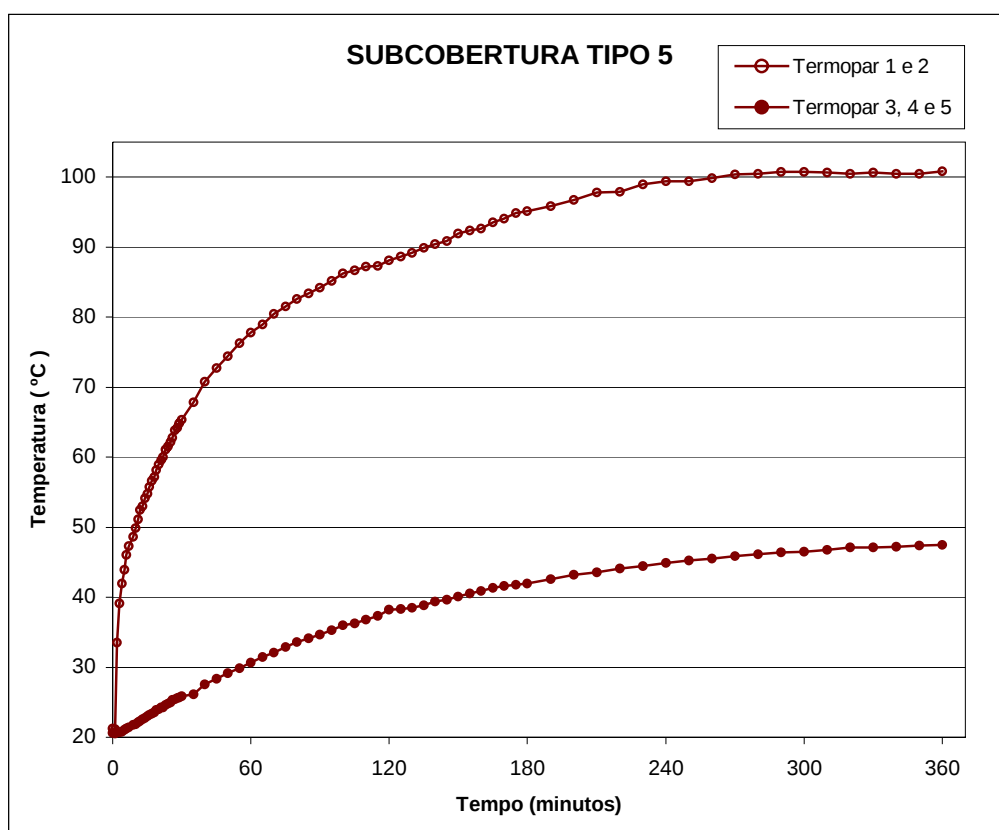


Figura 38. Gráfico das temperaturas em função do tempo para o telhado com o uso da subcobertura 5.

A diferença de temperatura observada nestas condições é de, aproximadamente, 52°C no final do ensaio. Este resultado é bem próximo, comparado com os valores das subcoberturas tipo 3 e tipo 4. Isso se deve ao fato de que as subcoberturas destes tipos possuem as mesmas características físicas, diferenciando-se na espessura da camada de espuma de polietileno e na ausência das faces aluminizadas.

A ausência das faces aluminizadas, faz com que este tipo de subcobertura fique prejudicada quanto ao efeito de isolamento térmico.

No Apêndice 6, apresentam-se os valores das temperaturas de todos os termopares, para a subcobertura 5.

6.3. Valores das taxas de transferência de calor.

As taxas de transferência de calor, foram calculadas através da equação (16), cuja dedução foi apresentada no Capítulo 5:

$$q = \rho.c.V.\frac{\Delta T}{\Delta t} + \frac{T_{int.} - T_{ext.}}{\frac{e_{mad}}{k_{mad}.A} + \frac{1}{h_{conv}.A}}$$

Através desta equação calcula-se q (W) para o modelo sem subcobertura (referência) e com as subcoberturas em análise, apresentadas na Tabela 1.

No Apêndice 7, apresentam-se os valores calculados, no intervalo de tempo de um minuto.

Tabela 1. Valores calculados das Taxas de Transferência de Calor q (W).

	Taxa de transferência de calor q (w)					
tempo (min)	Sem Sub	Sub 1	Sub 2	Sub 3	Sub 4	Sub 5
30	9,87	0,42	1,60	3,79	2,61	4,74
60	19,12	2,02	3,79	8,83	7,05	11,26
90	25,31	4,50	7,59	13,57	11,80	15,94
120	28,37	8,30	10,43	17,37	15,94	19,62
150	30,87	10,73	12,15	20,57	18,14	22,52
180	32,75	12,80	14,11	22,88	20,51	25,01
210	34,32	13,63	15,59	24,30	22,64	27,03
240	36,36	13,99	16,95	25,25	24,24	28,04
270	37,69	15,29	18,14	26,20	25,78	28,75
300	39,34	15,59	18,79	27,32	26,67	28,75
330	39,81	16,48	19,26	27,86	27,03	29,34
360	40,67	16,66	19,86	27,44	27,38	30,23

A taxa de transferência de calor para o ambiente, apresentada para a condição do modelo sem uso de subcobertura, é igual a 40,67 Watts, bem maior que as demais condições apresentadas. Isto indica que o fluxo de calor através das telhas é maior que nas outras condições, com subcobertura, ocasionando uma maior perda de calor para o ambiente externo.

Com esse valores é possível a construção do gráfico que apresenta os resultados calculados da taxa de transferência de calor q (W), em função do tempo (minutos), como pode ser visto na Figura 39.

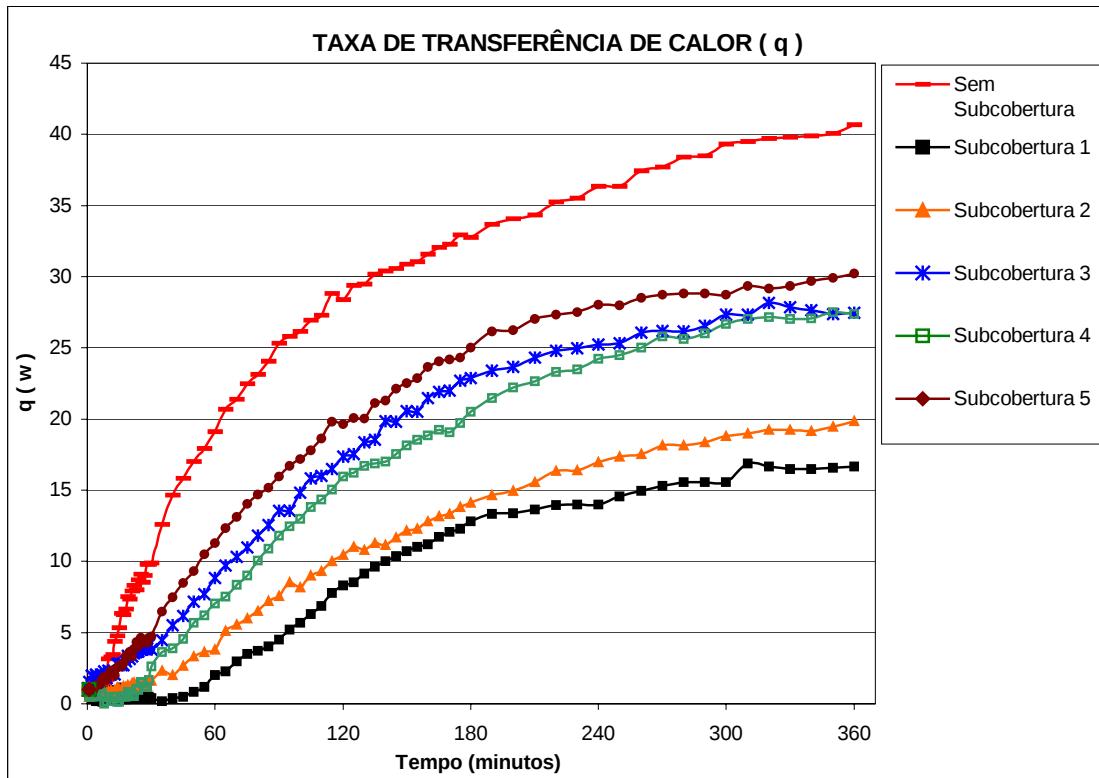


Figura 39. Gráfico de valores das taxas de transferência de calor, em função do tempo.

Comparando o telhado referência com os demais, calcula-se as eficiências das subcoberturas utilizando-se da seguinte equação:

$$e_f = \frac{q_{ref.} - q_{sub.}}{q_{ref.}} \cdot 100 \quad (17)$$

Onde: e_f = eficiência (%);

$q_{ref.}$ = taxa de transferência de calor para o telhado referência;

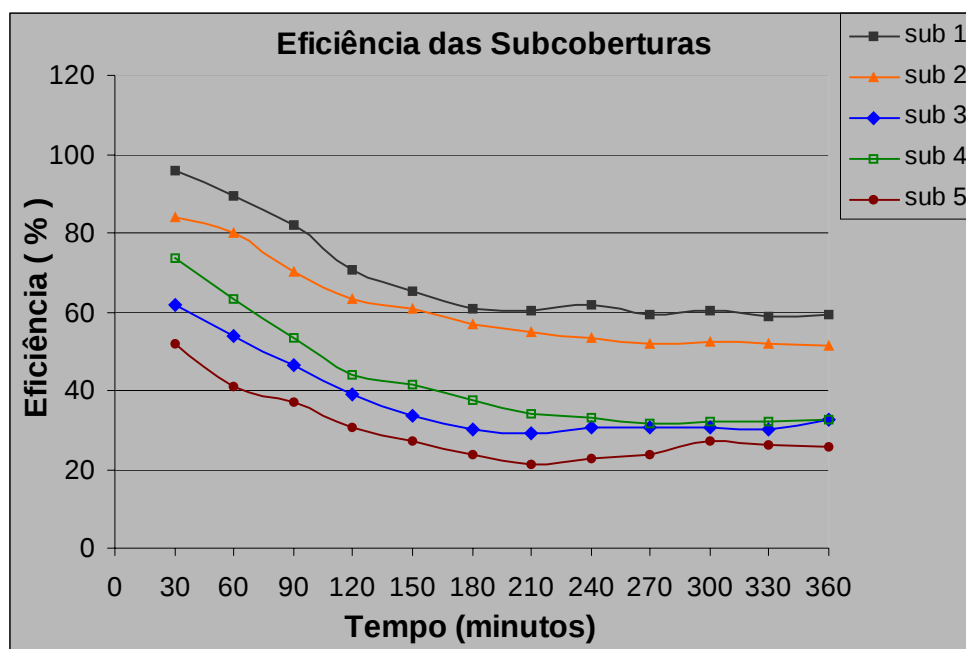
q_{sub} = taxa de transferência de calor da subcobertura analisada.

Os valores relativos as eficiências das subcoberturas, em porcentagem, são apresentados na Tabela 2

Tabela 2. Eficiência das subcoberturas (%).

Eficiência das subcoberturas (%)					
tempo	sub 1	sub 2	sub 3	sub 4	sub 5
30	95,7	83,8	61,6	73,6	52,0
60	89,4	80,2	53,8	63,1	41,1
90	82,2	70,0	46,4	53,4	37,0
120	70,8	63,2	38,8	43,8	30,8
150	65,3	60,6	33,4	41,3	27,0
180	60,9	56,9	30,1	37,4	23,6
210	60,3	54,6	29,2	34,0	21,3
240	61,5	53,4	30,6	33,3	22,9
270	59,4	51,9	30,5	31,6	23,7
300	60,4	52,2	30,5	32,2	26,9
330	58,6	51,6	30,0	32,1	26,3
360	59,0	51,2	32,5	32,7	25,7

Com os valores apresentados na Tabela 2, permite-se construir o gráfico que representa a eficiência de cada tipo de subcobertura, a partir dos trinta minutos de início do ensaio, como pode-se notar na Figura 40.

**Figura 40.** Gráfico de eficiência das subcoberturas em função do tempo.

A eficiência média, mínima e máxima de cada tipo de subcobertura são as apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Eficiência média, mínima e máxima de cada tipo de subcobertura.

Após 30 minutos do início do ensaio:					
eficiência (%)	Sub 1	Sub 2	Sub 3	Sub 4	Sub 5
eficiência média =	68,6	60,8	37,3	42,4	29,9
eficiência mínima =	58,6	51,2	29,1	31,6	16,7
eficiência máxima =	94,4	78,6	49,2	65,1	36,5

Uma análise comparativa deste quadro, permite-se afirmar que a subcobertura 1 (Sub 1), é a mais eficiente, apresentando um valor médio de 68,6%, em relação a um telhado sem uso de subcobertura (referência). Valor próximo aos 80%, obtido por Armelin et al (2003) em pesquisa conduzida com finalidade de impedir a entrada de calor pela cobertura.

A subcobertura 2 com eficiência média de 60,8%, pois possui as mesmas características físicas da subcobertura 1.

A subcobertura 4 com 42,4% de eficiência média. Isso se deve ao fato que este tipo de subcobertura possui apenas uma das faces aluminizada e esta face é voltada para baixo. A face de espuma de polietileno branca é a que fica voltada para cima (voltada para o lado das telhas), resultando em uma menor reflexão de calor. Possui as mesmas características físicas da subcobertura 3, porém com uma camada mais espessa de espuma de polietileno de 5mm.

A subcobertura 3 ocupa nesta pesquisa, o quarto lugar, com 37,3% de eficiência média, pois possui as mesmas características da subcobertura 4, porém com uma camada mais fina de espuma de polietileno de 2mm.

A menos eficiente, é a subcobertura 5, com uma eficiência média de 29,9%, como já visto, este tipo não possui face aluminizada, prejudicando a reflexão do calor.

7. CONCLUSÕES

Com os dados obtidos experimentalmente pode-se concluir que os conjuntos, compostos de telhas e subcoberturas, apresentaram desempenho térmico significativamente superiores ao do modelo sem o uso de subcobertura, tomada como referência nesta pesquisa. Isto porque a taxa de transferência de calor destas subcoberturas são inferiores em 68,6% para subcobertura 1; em 60,8% para subcobertura 2; em 42,4% para subcobertura 4; em 37,3% para subcobertura 3 e 29,9% para subcobertura 5.

Estes resultados apontam uma considerável diferença de temperatura na parte interna do modelo, após os 360 minutos de ensaio, resultando em 7,13°C com a subcobertura 1, em 6,43°C com a subcobertura 2, em 3,17°C com a subcobertura 4, em 2,13°C com a subcobertura 3, e em 1,37°C com a subcobertura 5.

A subcobertura 1 mostrou-se mais eficiente que as demais, provavelmente devida ao seu maior poder de reflexão, em função de suas características superficiais, quase que isenta da rugosidade presente nas demais.

A camada de polietileno expandido, pouco contribuiu na redução do fluxo de calor, pois este material não está presente na subcobertura 1.

Os resultados obtidos na pesquisa permitem recomendar o uso dos isolantes térmicos por reflexão, como subcoberturas, devido à sua eficiência na redução do fluxo de calor para o interior da edificação.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKUTSU, M. **Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil**. 1998. 156f. Tese (Doutorado em Arquitetura), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, SP.1998.

ALUCCI, M. P. Inadequação climática da edificação: do excessivo consumo de energia ao comprometimento da saúde do usuário. **Tecnologia de Edificações**. S.P. IPT/PINI, p.486 – 499, 1988.

ARMELIN, H. S., CHERRY, N., **e-Mat - Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**. v. 1, n. 1, p.79 - 82, maio 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13582**: Telha Cerâmica tipo romana: Especificação. Rio de Janeiro, 1996.

CARNEIRO, C. M. O papel do projeto arquitetônico na racionalização do consumo de energia elétrica na edificação. **Tecnologia de Edificação**. S.P. IPT/PINI, p.503 – 506, 1988.

COSTA, E. da C. **Física aplicada à construção :Conforto Térmico**. São Paulo, Edgard Blücher, 1981. 260p.

HELFRICK, A. D.; COOPER, W. D. **Modern electronic instrumentation and measurement techniques**. Prentice Hall, Inc. New Jersey, 1990, Cap. 11.

INCROPERA, F. P.; DeWITT, D. P. Convecção Livre. In: **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC , 1998, cap. 9.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997. 188p.

LIRA, A. de. Medição de Temperatura. In: **Metrologia na indústria**. 1 ed. São Paulo: Érica Ltda. 2001. cap. 8.

PENTAK. Comércio Internacional Ltda: O melhor Isolante térmico e Impermeabilizante para qualquer tipo de telha. Rio de Janeiro, 2003. Não paginado. **Catálogo Técnico**.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desempenho urbano**. São Paulo, P.W. Editores. 1988. 128p.

RORIZ, M. **Conforto Térmico em Edificações: Um modelo matemático e uma aplicação**. 1996. 184p. Tese - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo, USP. São Paulo. 1996.

SALVI CASAGRANDE. Salvi Casagrande: o mais completo e permanente estoque de instrumentação do Brasil. São Paulo, 2001. Não paginado. **Catálogo Técnico**.

SATO, S. N., Mantas refletem o calor e têm função impermeabilizante. Maioria possui foil de alumínio em uma ou duas faces. **Revista Técnica**. São Paulo. novembro. 2003.

SOBENIS, N. B. S. **Conforto térmico na arquitetura habitacional de São Paulo**. 1982. 228p. (Dissertação Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. USP. 1982.

VECCHIA, F. Isolamento por reflexão. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. **Anais do ENCAC 2001**. São Pedro, SP. 2001.

APÊNDICE 1

Medidas das temperaturas (°C) do ensaio sem subcobertura:

Tempo	média	média	Termopar	Termopar	Termopar	Termopar	Termopar	t externa
(minutos)	term. 1; 2	term. 3;4;5	1	2	3	4	5	
0	24,45	23,27	25,1	23,8	22,10	24,10	23,60	22,90
1	33,25	23,37	34,1	32,4	22,20	24,20	23,70	23,00
2	40,90	23,37	42,4	39,4	22,30	24,20	23,60	23,10
3	44,05	23,37	45,6	42,5	22,20	24,20	23,70	23,10
4	46,25	23,60	47,6	44,9	22,40	24,50	23,90	23,40
5	47,85	23,87	49,0	46,7	22,70	24,70	24,20	23,60
6	49,40	24,17	50,5	48,3	23,00	25,00	24,50	23,80
7	50,60	24,37	51,6	49,6	23,20	25,20	24,70	24,00
8	51,60	24,57	52,6	50,6	23,40	25,40	24,90	24,00
9	52,80	24,93	53,9	51,7	23,70	25,80	25,30	24,20
10	53,70	25,23	54,7	52,7	24,00	26,00	25,70	23,90
11	54,60	25,50	55,4	53,8	24,10	26,30	26,10	24,10
12	55,80	25,77	56,6	55,0	24,40	26,50	26,40	24,30
13	56,30	25,97	57,0	55,6	24,70	26,70	26,50	24,10
14	57,20	26,23	58,1	56,3	25,00	27,00	26,70	24,20
15	58,10	26,47	59,0	57,2	25,20	27,10	27,10	24,20
16	58,95	26,80	59,8	58,1	25,50	27,40	27,50	24,10
17	59,60	26,97	60,5	58,7	25,70	27,50	27,70	24,30
18	60,30	27,23	61,2	59,4	25,80	27,90	28,00	24,40
19	61,30	27,60	62,4	60,2	26,20	28,20	28,40	24,40
20	61,85	27,73	62,7	61,0	26,40	28,30	28,50	24,60
21	62,55	28,07	63,6	61,5	26,60	28,70	28,90	24,70
22	63,05	28,23	63,9	62,2	26,70	28,80	29,20	24,70
23	63,50	28,40	64,2	62,8	26,80	28,90	29,50	25,00
24	63,95	28,70	64,6	63,3	27,10	29,30	29,70	25,00
25	64,75	29,07	65,3	64,2	27,40	29,60	30,20	25,20
26	65,10	29,23	65,6	64,6	27,60	29,80	30,30	25,60
27	65,55	29,43	66,0	65,1	27,80	30,00	30,50	25,60
28	66,15	29,67	66,7	65,6	28,00	30,20	30,80	25,50
29	66,60	29,87	67,0	66,2	28,20	30,30	31,10	25,70
30	66,90	30,10	67,2	66,6	28,50	30,50	31,30	25,90
35	68,85	31,27	69,0	68,7	29,40	31,70	32,70	25,90
40	70,45	32,33	70,6	70,3	30,40	32,70	33,90	26,10
45	72,05	33,23	72,1	72,0	31,10	33,60	35,00	26,50
50	73,70	34,13	73,8	73,6	31,90	34,40	36,10	26,90
55	74,80	34,73	74,9	74,7	32,40	35,10	36,70	27,10
60	76,30	35,63	76,5	76,1	33,20	35,90	37,80	27,50
65	77,45	36,40	77,6	77,3	33,90	36,70	38,60	27,60
70	78,35	37,00	78,5	78,2	34,50	37,20	39,30	27,90
75	79,20	37,67	79,2	79,2	35,10	37,70	40,20	28,10
80	79,70	38,13	80,0	79,4	35,40	38,30	40,70	28,30
85	80,65	38,63	81,0	80,3	35,90	38,70	41,30	28,40
90	81,25	39,17	81,6	80,9	36,40	39,20	41,90	28,40
95	82,40	39,67	83,0	81,8	36,80	39,70	42,50	28,70

100	82,70	39,93	83,3	82,1	37,00	40,00	42,80	28,80
105	83,55	40,47	84,2	82,9	37,50	40,60	43,30	29,00
110	84,45	40,80	85,3	83,6	37,80	40,80	43,80	29,20
115	84,70	41,27	85,6	83,8	38,30	41,30	44,20	29,00
120	85,45	41,57	86,2	84,7	38,60	41,50	44,60	29,50
125	85,65	41,90	86,4	84,9	38,90	42,00	44,80	29,40
130	86,10	42,03	87,2	85,0	39,00	42,10	45,00	29,50
135	86,70	42,33	87,7	85,7	39,20	42,30	45,50	29,50
140	86,90	42,63	88,0	85,8	39,60	42,60	45,70	29,70
145	87,30	42,90	88,2	86,4	39,70	43,00	46,00	29,90
150	87,65	43,13	88,6	86,7	39,90	43,20	46,30	30,00
155	87,25	43,40	88,3	86,2	39,50	42,70	45,80	30,20
160	88,40	43,63	89,5	87,3	40,40	43,60	46,90	30,20
165	88,80	43,93	89,4	88,2	40,50	44,10	47,20	30,30
170	89,15	44,13	89,9	88,4	40,90	44,10	47,40	30,40
175	89,60	44,20	90,3	88,9	41,00	44,20	47,40	30,20
180	89,75	44,53	90,9	88,6	41,30	44,50	47,80	30,60
190	90,35	44,93	91,2	89,5	41,60	44,90	48,30	30,60
200	90,70	45,30	91,4	90,0	42,00	45,20	48,70	30,80
210	90,80	45,50	91,5	90,1	42,10	45,40	49,00	30,90
220	91,10	45,90	92,0	90,2	42,60	45,80	49,30	30,90
230	91,65	46,20	92,4	90,9	42,80	46,10	49,70	31,10
240	91,75	46,57	92,4	91,1	43,00	46,60	50,10	31,10
250	91,95	46,67	92,5	91,4	43,10	46,70	50,20	31,20
260	92,80	47,13	93,7	91,9	43,70	47,00	50,70	31,20
270	93,05	47,23	93,9	92,2	43,80	47,20	50,70	31,20
280	93,60	47,53	94,5	92,7	44,00	47,50	51,10	31,20
290	93,80	47,67	94,3	93,3	44,30	47,60	51,10	31,30
300	94,20	48,03	95,2	93,2	44,40	48,00	51,70	31,30
310	94,05	48,10	95,1	93,0	44,70	48,00	51,60	31,30
320	94,25	48,30	95,2	93,3	44,90	48,30	51,70	31,40
330	94,50	48,43	95,7	93,3	44,90	48,30	52,10	31,50
340	94,25	48,47	95,1	93,4	44,90	48,50	52,00	31,50
350	94,50	48,53	95,3	93,7	44,90	48,50	52,20	31,50
360	94,85	48,80	95,6	94,1	45,30	48,70	52,40	31,50

APÊNDICE 2

Medidas das temperaturas (°C) do ensaio com a subcobertura 1:

Tempo	média	média	Termopar	Termopar	Termopar	Termopar	Termopar	t. externa
(minutos)	term. 1; 2	term. 3;4;5	1	2	3	4	5	
0	24,25	23,00	24,90	23,60	21,90	23,80	23,30	22,50
1	24,45	22,93	25,10	23,80	22,00	23,60	23,20	22,60
2	24,70	23,10	25,20	24,20	22,00	23,90	23,40	22,90
3	38,40	23,27	39,40	37,40	22,30	24,00	23,50	22,90
4	42,30	23,30	43,10	41,50	22,30	24,10	23,50	23,20
5	44,65	23,60	45,50	43,80	22,60	24,30	23,90	23,50
6	46,65	24,00	47,60	45,70	22,90	24,80	24,30	23,50
7	47,95	23,77	48,80	47,10	22,70	24,60	24,00	23,70
8	49,20	24,10	50,00	48,40	23,10	24,80	24,40	23,60
9	50,25	24,10	50,90	49,60	23,10	24,90	24,30	23,90
10	50,95	24,20	51,40	50,50	23,30	24,90	24,40	23,90
11	52,40	24,47	53,00	51,80	23,40	25,20	24,80	24,00
12	53,40	24,63	54,20	52,60	23,60	25,40	24,90	24,10
13	54,25	24,73	54,70	53,80	23,70	25,50	25,00	24,40
14	55,15	24,87	55,50	54,80	23,90	25,60	25,10	24,60
15	56,20	25,00	56,80	55,60	24,10	25,70	25,20	24,50
16	56,70	25,13	57,10	56,30	24,20	25,80	25,40	24,50
17	57,30	25,20	57,90	56,70	24,20	25,90	25,50	24,80
18	57,75	25,17	57,90	57,60	24,30	25,80	25,40	25,00
19	58,75	25,37	59,10	58,40	24,40	26,00	25,70	24,90
20	59,50	25,40	60,00	59,00	24,40	26,20	25,60	25,20
21	60,15	25,53	60,60	59,70	24,50	26,20	25,90	25,20
22	60,90	25,73	61,30	60,50	24,80	26,40	26,00	25,40
23	61,55	25,90	62,00	61,10	24,90	26,60	26,20	25,50
24	62,10	25,93	62,70	61,50	24,80	26,70	26,30	25,70
25	62,60	26,00	63,10	62,10	25,00	26,70	26,30	25,80
26	63,20	26,17	63,60	62,80	25,10	27,10	26,30	25,90
27	63,75	26,23	64,30	63,20	25,20	27,10	26,40	26,00
28	64,30	26,40	64,80	63,80	25,30	27,20	26,70	26,10
29	64,80	26,37	65,30	64,30	25,20	27,10	26,80	26,10
30	65,35	26,43	66,00	64,70	25,30	27,30	26,70	26,20
35	65,70	26,60	66,00	65,40	25,40	27,40	27,00	26,50
40	67,90	27,03	67,90	67,90	25,80	27,90	27,40	26,80
45	69,95	27,47	69,70	70,20	26,20	28,50	27,70	27,20
50	72,40	28,07	72,30	72,50	26,60	29,20	28,40	27,60
55	74,15	28,47	73,60	74,70	26,90	29,70	28,80	27,80
60	76,35	29,23	76,00	76,70	27,50	30,50	29,70	28,10
65	77,35	29,47	76,70	78,00	27,60	30,90	29,90	28,20
70	78,80	30,07	78,10	79,50	28,00	31,60	30,60	28,40
75	80,25	30,57	79,40	81,10	28,40	32,10	31,20	28,60
80	81,60	31,10	81,00	82,20	28,70	32,90	31,70	29,00
85	82,55	31,37	82,00	83,10	28,80	33,30	32,00	29,10
90	83,55	31,93	83,40	83,70	29,40	33,80	32,60	29,40
95	85,05	32,53	84,90	85,20	30,00	34,50	33,10	29,60

100	85,85	32,80	86,30	85,40	30,00	34,90	33,50	29,60
105	86,40	33,33	86,90	85,90	30,50	35,40	34,10	29,80
110	87,95	33,57	89,10	86,80	30,50	35,90	34,30	29,70
115	88,85	34,07	90,30	87,40	31,00	36,40	34,80	29,70
120	89,30	34,37	90,90	87,70	31,10	36,80	35,20	29,70
125	90,40	34,80	92,00	88,80	31,50	37,30	35,60	30,00
130	91,00	35,13	92,50	89,50	31,70	37,70	36,00	30,00
135	91,80	35,50	93,50	90,10	32,00	38,20	36,30	30,10
140	92,80	35,73	94,40	91,20	32,10	38,40	36,70	30,10
145	93,55	36,23	95,40	91,70	32,70	38,90	37,10	30,40
150	93,05	35,93	94,90	91,20	32,20	38,70	36,90	29,90
155	94,50	36,70	96,50	92,50	33,00	39,50	37,60	30,50
160	95,00	37,00	97,20	92,80	33,20	39,80	38,00	30,70
165	96,05	37,30	98,20	93,90	33,40	40,20	38,30	30,70
170	95,55	37,30	97,90	93,20	33,40	40,20	38,30	30,50
175	96,90	37,70	99,40	94,40	33,70	40,70	38,70	30,80
180	97,20	38,00	99,80	94,60	34,00	41,00	39,00	30,80
190	97,20	37,93	99,70	94,70	33,90	41,00	38,90	30,80
200	97,95	38,53	100,50	95,40	34,40	41,60	39,60	31,00
210	98,65	38,77	101,40	95,90	34,50	42,00	39,80	31,10
220	99,20	39,13	101,50	96,90	34,70	42,50	40,20	31,30
230	98,95	39,57	101,60	96,30	35,10	42,90	40,70	31,70
240	100,20	39,77	102,60	97,80	35,30	43,00	41,00	31,90
250	100,20	40,00	102,50	97,90	35,50	43,30	41,20	31,80
260	100,95	40,40	103,20	98,70	35,90	43,70	41,60	32,00
270	101,55	40,70	103,90	99,20	36,00	44,10	42,00	32,10
280	102,05	41,07	104,50	99,60	36,40	44,50	42,30	32,30
290	101,95	41,17	104,40	99,50	36,40	44,60	42,50	32,40
300	101,90	41,17	104,60	99,20	36,50	44,60	42,40	32,40
310	102,1	41,50	104,60	99,60	37,00	44,90	42,60	32,00
320	102,4	41,47	104,90	99,90	36,80	44,70	42,90	32,10
330	102,25	41,77	104,70	99,80	37,10	45,10	43,10	32,50
340	102,6	41,77	105,10	100,10	37,00	45,00	43,30	32,50
350	102,5	41,73	105,00	100,00	37,20	45,00	43,00	32,40
360	102,6	41,67	105,10	100,10	36,90	45,10	43,00	32,30

APÊNDICE 3

Medidas das temperaturas (°C) do ensaio com a subcobertura 2:

Tempo	média	média	Termopar	Termopar	Termopar	Termopar	Termopar	t. externa
(minutos)	term. 1; 2	term. 3;4;5	1	2	3	4	5	
0	23,20	22,50	23,80	22,60	21,40	23,40	22,70	22,00
1	23,20	22,47	23,90	22,50	21,40	23,20	22,80	22,20
2	23,20	22,57	23,80	22,60	21,40	23,40	22,90	22,20
3	23,45	22,77	24,00	22,90	21,60	23,60	23,10	22,30
4	34,25	22,90	35,10	33,40	21,80	23,70	23,20	22,40
5	40,95	23,00	42,20	39,70	21,90	23,90	23,20	22,60
6	43,85	23,17	44,80	42,90	22,10	23,90	23,50	22,60
7	46,00	23,43	46,90	45,10	22,40	24,20	23,70	22,90
8	47,60	23,47	48,40	46,80	22,40	24,20	23,80	23,00
9	49,25	23,73	50,00	48,50	22,70	24,50	24,00	23,30
10	50,30	23,80	50,90	49,70	22,70	24,50	24,20	23,30
11	51,35	24,03	51,70	51,00	23,00	24,70	24,40	23,50
12	52,40	24,03	52,90	51,90	23,00	24,80	24,30	23,60
13	53,45	24,33	53,90	53,00	23,30	25,10	24,60	23,80
14	54,45	24,43	54,90	54,00	23,40	25,10	24,80	23,80
15	55,35	24,60	55,70	55,00	23,60	25,30	24,90	24,00
16	56,30	24,80	56,70	55,90	23,80	25,50	25,10	24,20
17	57,30	25,00	57,80	56,80	24,00	25,70	25,30	24,30
18	57,70	25,17	58,00	57,40	24,10	25,90	25,50	24,50
19	58,90	25,33	59,30	58,50	24,30	26,00	25,70	24,60
20	59,55	25,37	59,90	59,20	24,30	26,00	25,80	24,70
21	60,35	25,50	60,60	60,10	24,50	26,20	25,80	24,70
22	61,05	25,53	61,50	60,60	24,50	26,30	25,80	24,70
23	61,85	25,50	62,50	61,20	24,40	26,20	25,90	24,80
24	62,30	25,80	62,90	61,70	24,80	26,50	26,10	25,00
25	63,35	26,27	63,90	62,80	25,10	27,00	26,70	25,60
26	63,80	25,97	64,40	63,20	24,90	26,70	26,30	25,20
27	64,40	26,23	64,90	63,90	25,10	27,00	26,60	25,40
28	65,15	26,40	65,70	64,60	25,20	27,20	26,80	25,70
29	65,60	26,50	66,10	65,10	25,20	27,30	27,00	25,60
30	66,15	26,50	66,80	65,50	25,40	27,10	27,00	25,60
35	68,80	27,20	69,40	68,20	25,90	28,00	27,70	25,90
40	71,10	27,73	71,70	70,50	26,40	28,60	28,20	26,60
45	73,10	28,30	73,40	72,80	26,90	29,10	28,90	26,80
50	74,90	28,87	75,20	74,60	27,30	29,70	29,60	27,00
55	76,75	29,33	76,90	76,60	27,60	30,20	30,20	27,30
60	77,75	29,93	77,40	78,10	28,20	30,80	30,80	27,80
65	79,75	30,57	79,60	79,90	28,80	31,50	31,40	27,70
70	81,05	30,93	80,70	81,40	28,90	32,00	31,90	27,80
75	81,95	31,37	81,60	82,30	29,30	32,40	32,40	28,00
80	83,20	31,87	83,00	83,40	29,70	32,90	33,00	28,20
85	84,10	32,37	83,60	84,60	30,20	33,50	33,40	28,30
90	84,75	32,77	84,40	85,10	30,60	33,80	33,90	28,50
95	85,65	33,30	85,40	85,90	30,90	34,50	34,50	28,50

100	86,60	33,50	86,50	86,70	31,20	34,60	34,70	28,90
105	87,65	33,97	88,30	87,00	31,60	35,10	35,20	28,90
110	88,70	34,33	89,70	87,70	31,90	35,50	35,60	29,10
115	89,30	34,53	90,70	87,90	31,90	35,80	35,90	28,90
120	89,55	34,97	90,90	88,20	32,30	36,10	36,50	29,10
125	90,20	35,10	91,90	88,50	32,40	36,30	36,60	28,90
130	91,35	35,47	92,90	89,80	32,80	36,70	36,90	29,40
135	91,55	35,83	93,10	90,00	33,20	37,00	37,30	29,50
140	92,00	36,07	93,70	90,30	33,30	37,20	37,70	29,80
145	93,15	36,37	94,40	91,90	33,60	37,60	37,90	29,80
150	93,30	36,73	95,40	91,20	33,90	37,90	38,40	29,90
155	93,70	37,00	95,40	92,00	34,20	38,10	38,70	30,10
160	94,25	37,30	96,00	92,50	34,50	38,50	38,90	30,10
165	94,65	37,60	96,50	92,80	34,80	38,70	39,30	30,20
170	95,25	38,00	97,10	93,40	35,10	39,20	39,70	30,50
175	95,20	37,77	97,10	93,30	34,80	39,00	39,50	30,00
180	95,85	38,43	98,10	93,60	35,60	39,60	40,10	30,50
190	96,80	38,73	98,80	94,80	35,80	39,90	40,50	30,50
200	97,80	39,10	99,80	95,80	36,10	40,30	40,90	30,70
210	98,40	39,57	101,00	95,80	36,50	40,80	41,40	30,80
220	99,15	39,90	101,70	96,60	36,80	41,10	41,80	30,70
230	99,90	40,23	102,60	97,20	37,10	41,60	42,00	31,00
240	99,75	40,43	102,50	97,00	37,20	41,80	42,30	30,90
250	100,35	40,77	103,40	97,30	37,50	42,10	42,70	31,00
260	100,60	40,87	103,40	97,80	37,60	42,20	42,80	31,00
270	100,70	41,10	103,90	97,50	37,90	42,40	43,00	30,90
280	100,85	41,40	103,70	98,00	38,10	42,80	43,30	31,20
290	100,65	41,33	103,50	97,80	38,00	42,70	43,30	31,00
300	100,65	41,57	103,60	97,70	38,20	43,10	43,40	31,00
310	101,35	41,77	104,10	98,60	38,40	43,20	43,70	31,00
320	101,35	41,93	104,30	98,40	38,50	43,30	44,00	31,20
330	101,35	41,93	104,40	98,30	38,60	43,40	43,80	31,10
340	102,15	42,07	105,20	99,10	38,70	43,50	44,00	31,10
350	101,90	42,23	105,10	98,70	38,80	43,60	44,30	31,80
360	102,05	42,37	104,90	99,20	38,80	43,90	44,40	31,60

APÊNDICE 4

Medidas das temperaturas (°C) do ensaio com a subcobertura 3:

Tempo	média	média	Termopar	Termopar	Termopar	Termopar	Termopar	t. externa
(minutos)	term. 1; 2	term. 3;4;5	1	2	3	4	5	
0	21,75	21,13	22,40	21,10	20,00	22,00	21,40	20,10
1	22,00	21,27	22,70	21,30	20,20	22,10	21,50	20,40
2	22,05	21,40	22,80	21,30	20,30	22,20	21,70	20,30
3	22,35	21,47	23,00	21,70	20,40	22,20	21,80	20,40
4	22,15	21,47	22,70	21,60	20,40	22,30	21,70	20,30
5	29,80	21,47	30,60	29,00	20,30	22,30	21,80	20,40
6	38,60	21,70	39,70	37,50	20,60	22,50	22,00	20,70
7	41,70	21,87	42,70	40,70	20,80	22,70	22,10	20,70
8	43,15	22,07	43,90	42,40	20,90	22,90	22,40	20,80
9	44,00	22,20	44,70	43,30	21,00	23,10	22,50	20,80
10	46,35	22,50	46,90	45,80	21,40	23,40	22,70	21,20
11	47,85	22,57	48,40	47,30	21,40	23,40	22,90	21,20
12	49,20	22,77	49,80	48,60	21,70	23,60	23,00	21,40
13	50,25	22,87	50,70	49,80	21,70	23,70	23,20	21,50
14	51,55	23,17	52,00	51,10	22,00	24,00	23,50	21,70
15	52,45	23,30	52,80	52,10	22,10	24,10	23,70	21,60
16	53,70	23,53	53,90	53,50	22,30	24,40	23,90	21,70
17	54,90	23,63	55,30	54,50	22,40	24,40	24,10	22,00
18	55,60	23,77	56,10	55,10	22,40	24,60	24,30	22,10
19	56,35	24,00	56,70	56,00	22,70	24,80	24,50	22,10
20	57,15	24,07	57,20	57,10	22,80	24,80	24,60	22,10
21	58,20	24,37	58,50	57,90	23,10	25,00	25,00	22,30
22	58,70	24,60	58,90	58,50	23,20	25,40	25,20	22,50
23	59,65	24,73	59,90	59,40	23,40	25,40	25,40	22,60
24	60,35	24,87	60,60	60,10	23,50	25,40	25,70	22,70
25	60,95	25,03	61,10	60,80	23,60	25,60	25,90	22,80
26	61,80	25,23	62,10	61,50	23,80	25,80	26,10	22,90
27	62,45	25,37	62,80	62,10	24,00	25,90	26,20	23,10
28	63,20	25,50	63,60	62,80	24,00	26,20	26,30	23,20
29	63,80	25,63	64,10	63,50	24,20	26,20	26,50	23,30
30	64,30	25,73	64,60	64,00	24,30	26,30	26,60	23,30
35	66,95	26,50	67,30	66,60	24,90	26,90	27,70	23,60
40	69,45	27,20	69,70	69,20	25,40	27,70	28,50	24,00
45	71,35	27,97	71,40	71,30	26,10	28,30	29,50	24,10
50	73,35	28,73	73,20	73,50	26,70	29,20	30,30	24,50
55	75,35	29,33	75,40	75,30	27,10	29,70	31,20	24,70
60	76,80	30,07	76,50	77,10	27,70	30,50	32,00	25,00
65	78,35	30,77	77,80	78,90	28,20	31,20	32,90	25,10
70	79,55	31,20	79,10	80,00	28,60	31,60	33,40	25,30
75	80,90	31,87	80,60	81,20	29,10	32,20	34,30	25,40
80	82,05	32,63	81,70	82,40	29,90	32,90	35,10	25,70
85	83,40	33,27	82,90	83,90	30,50	33,60	35,70	26,00
90	83,80	33,73	83,00	84,60	30,70	34,20	36,30	26,20
95	84,90	34,13	84,30	85,50	31,10	34,50	36,80	26,10

100	86,05	34,93	85,50	86,60	31,80	35,30	37,70	26,50
105	87,05	35,40	86,70	87,40	32,20	35,90	38,10	26,60
110	88,20	35,70	88,60	87,80	32,50	36,20	38,40	26,50
115	88,40	36,27	88,50	88,30	33,00	36,70	39,10	26,70
120	89,60	36,77	90,10	89,10	33,50	37,20	39,60	27,00
125	90,75	37,17	91,40	90,10	33,60	37,80	40,10	27,00
130	91,25	37,63	92,80	89,70	34,10	38,20	40,60	27,30
135	92,05	38,03	93,40	90,70	34,60	38,60	40,90	27,30
140	92,60	38,57	94,00	91,20	35,10	39,10	41,50	27,60
145	92,95	38,73	94,70	91,20	35,10	39,40	41,70	27,40
150	94,00	39,27	95,40	92,60	35,70	39,80	42,30	27,60
155	94,30	39,43	95,90	92,70	35,80	40,00	42,50	27,70
160	94,95	39,87	96,60	93,30	36,20	40,50	42,90	27,90
165	95,50	40,23	97,00	94,00	36,60	40,80	43,30	27,80
170	95,60	40,47	97,40	93,80	36,70	41,10	43,60	27,90
175	96,05	40,87	97,70	94,40	37,20	41,50	43,90	28,10
180	96,15	41,07	98,00	94,30	37,30	41,70	44,20	28,10
190	97,50	41,57	99,60	95,40	37,80	42,20	44,70	28,20
200	98,00	42,00	99,70	96,30	38,20	42,70	45,10	28,40
210	98,10	42,47	100,20	96,00	38,60	43,10	45,70	28,70
220	98,70	42,93	101,10	96,30	39,00	43,60	46,20	28,80
230	99,05	43,33	101,70	96,40	39,60	44,00	46,40	29,00
240	99,75	43,60	102,10	97,40	39,70	44,30	46,80	29,30
250	99,85	43,93	102,40	97,30	40,00	44,70	47,10	29,40
260	100,35	44,27	102,70	98,00	40,30	45,00	47,50	29,70
270	100,50	44,63	103,30	97,70	40,60	45,50	47,80	29,60
280	100,25	44,80	102,80	97,70	40,90	45,50	48,00	29,90
290	100,70	45,13	103,40	98,00	41,20	45,90	48,30	30,10
300	100,80	45,47	103,40	98,20	41,40	46,30	48,70	30,20
310	100,85	45,47	103,50	98,20	41,50	46,30	48,60	30,10
320	101,05	45,93	103,80	98,30	41,70	47,00	49,10	29,70
330	100,55	45,87	103,20	97,90	41,50	47,00	49,10	29,70
340	100,45	45,73	103,50	97,40	41,20	46,90	49,10	29,20
350	100,45	45,70	103,00	97,90	41,50	46,70	48,90	29,00
360	100,95	45,63	103,80	98,10	41,50	46,60	48,80	29,20

APÊNDICE 5

Medidas das temperaturas (°C) do ensaio com a subcobertura 4:

Tempo	média	média	Termopar	Termopar	Termopar	Termopar	Termopar	t externa
(minutos)	term.1; 2	term.3;4;5	1	2	3	4	5	
0	30,90	21,23	31,70	30,10	20,00	22,20	21,50	21,00
1	37,80	21,37	39,30	36,30	20,20	22,20	21,70	21,10
2	40,05	21,33	41,30	38,80	20,20	22,10	21,70	21,00
3	43,10	21,57	44,20	42,00	20,40	22,40	21,90	21,30
4	44,90	21,77	45,90	43,90	20,40	22,70	22,20	21,40
5	46,35	21,90	47,10	45,60	20,70	22,70	22,30	21,60
6	47,80	22,10	48,60	47,00	20,90	22,90	22,50	21,50
7	49,15	22,30	50,10	48,20	21,10	23,10	22,70	21,90
9	50,60	22,60	51,60	49,60	21,40	23,50	22,90	22,60
10	51,45	22,70	52,30	50,60	21,50	23,50	23,10	22,60
11	52,30	23,03	53,10	51,50	21,80	23,70	23,60	22,80
12	53,35	23,10	54,00	52,70	21,80	23,80	23,70	23,00
13	54,45	23,37	55,20	53,70	22,10	24,10	23,90	23,10
14	54,95	23,57	55,70	54,20	22,30	24,20	24,20	23,30
15	55,65	23,67	56,30	55,00	22,40	24,30	24,30	23,60
16	56,55	24,07	57,00	56,10	22,80	24,70	24,70	24,00
17	57,65	24,27	58,30	57,00	22,90	24,90	25,00	24,00
18	57,95	24,40	58,40	57,50	23,20	24,90	25,10	24,10
19	58,85	24,57	59,30	58,40	23,20	25,20	25,30	24,30
20	59,65	24,77	60,10	59,20	23,50	25,30	25,50	24,30
21	60,50	24,90	61,10	59,90	23,60	25,40	25,70	24,50
22	61,10	25,03	61,60	60,60	23,60	25,60	25,90	24,70
23	61,90	25,20	62,50	61,30	23,80	25,80	26,00	24,90
24	62,70	25,50	63,30	62,10	24,10	26,00	26,40	24,90
25	63,40	25,53	64,10	62,70	24,10	26,00	26,50	25,00
26	64,00	25,87	64,60	63,40	24,50	26,30	26,80	25,00
27	64,35	25,93	64,90	63,80	24,40	26,40	27,00	25,10
28	64,80	26,07	65,30	64,30	24,50	26,50	27,20	25,40
29	65,55	26,27	66,20	64,90	24,70	26,70	27,40	25,60
30	66,05	26,53	66,60	65,50	25,00	26,90	27,70	25,60
35	68,30	27,27	69,00	67,60	25,70	27,50	28,60	25,80
40	70,30	28,03	70,60	70,00	26,40	28,10	29,60	26,00
45	71,85	28,60	72,00	71,70	26,90	28,70	30,20	26,40
50	73,65	29,37	73,80	73,50	27,60	29,30	31,20	26,80
55	75,50	30,20	75,50	75,50	28,20	30,20	32,20	27,00
60	77,15	30,90	76,90	77,40	28,90	30,80	33,00	27,40
65	78,80	31,57	78,80	78,80	29,40	31,40	33,90	27,60
70	80,00	32,13	80,30	79,70	30,00	31,90	34,50	27,90
75	81,00	32,70	80,90	81,10	30,50	32,30	35,30	28,00
80	82,80	33,17	82,80	82,80	30,70	32,80	36,00	28,10
85	83,60	33,97	83,50	83,70	31,50	33,50	36,90	28,30
90	84,65	34,53	84,20	85,10	31,90	34,10	37,60	28,40
95	85,55	35,23	85,10	86,00	32,40	34,80	38,50	28,60
100	86,15	35,70	85,80	86,50	33,00	35,10	39,00	28,70

105	86,90	36,20	86,90	86,90	33,30	35,70	39,60	28,90
110	88,35	36,77	88,70	88,00	33,90	36,20	40,20	29,00
115	89,20	37,27	90,30	88,10	34,20	36,70	40,90	29,20
120	90,30	37,67	91,80	88,80	34,60	37,00	41,40	29,20
125	90,80	38,07	92,20	89,40	34,90	37,40	41,90	29,10
130	91,20	38,33	93,10	89,30	35,10	37,60	42,30	29,20
135	92,25	38,90	93,80	90,70	35,70	38,20	42,80	29,50
140	92,55	39,20	94,40	90,70	36,00	38,50	43,10	29,70
145	93,70	39,47	95,20	92,20	36,30	38,60	43,50	29,90
150	94,20	39,77	96,20	92,20	36,70	38,80	43,80	29,90
155	94,75	40,20	96,50	93,00	37,00	39,30	44,30	30,00
160	95,30	40,53	97,30	93,30	37,30	39,60	44,70	30,10
165	95,95	40,80	97,90	94,00	37,50	39,90	45,00	30,20
170	96,60	41,13	98,40	94,80	37,80	40,10	45,50	30,30
175	97,05	41,33	98,90	95,20	38,00	40,40	45,60	30,60
180	97,45	41,70	99,30	95,60	38,30	40,80	46,00	30,60
190	97,90	42,23	100,10	95,70	38,90	41,10	46,70	30,70
200	98,50	42,77	100,50	96,50	39,20	41,80	47,30	30,70
210	98,60	43,30	101,00	96,20	39,90	42,20	47,80	30,80
220	98,75	43,63	101,20	96,30	40,10	42,60	48,20	30,90
230	99,30	44,00	101,60	97,00	40,50	42,90	48,60	30,90
240	99,30	44,30	101,80	96,80	40,70	43,20	49,00	31,10
250	100,40	44,73	103,00	97,80	41,10	43,60	49,50	31,10
260	100,70	44,87	103,20	98,20	41,30	43,70	49,60	31,10
270	101,05	45,07	103,80	98,30	41,50	43,80	49,90	31,00
280	101,30	45,50	104,10	98,50	41,90	44,30	50,30	31,00
290	101,35	45,50	104,00	98,70	41,90	44,30	50,30	31,10
300	101,50	45,83	104,10	98,90	42,30	44,50	50,70	31,20
310	101,85	46,20	104,40	99,30	42,50	45,10	51,00	31,20
320	101,50	46,40	104,20	98,80	42,80	45,20	51,20	31,20
330	102,10	46,47	104,60	99,60	42,80	45,20	51,40	31,20
340	101,85	46,40	104,50	99,20	42,50	45,30	51,40	31,20
350	102,00	46,53	104,80	99,20	42,70	45,30	51,60	31,30
360	102,30	46,67	105,00	99,60	42,80	45,50	51,70	31,20

APÊNDICE 6

Medidas das temperaturas (°C) do ensaio com a subcobertura 5:

Tempo (minutos)	média <i>term.1; 2</i>	média <i>term.3;4;5</i>	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 3	Termopar 4	Termopar 5	t externa
0	21,25	20,63	21,90	20,60	19,60	21,40	20,90	20,00
1	21,20	20,57	21,90	20,50	19,40	21,40	20,90	20,00
2	33,55	20,77	34,80	32,30	19,60	21,50	21,20	20,20
3	39,10	20,73	40,40	37,80	19,50	21,50	21,20	20,20
4	42,00	20,83	43,30	40,70	19,70	21,70	21,10	20,10
5	43,95	21,03	45,00	42,90	19,90	21,90	21,30	20,30
6	46,05	21,27	47,20	44,90	20,20	21,90	21,70	20,50
7	47,30	21,47	48,40	46,20	20,40	22,20	21,80	20,50
9	48,65	21,77	49,70	47,60	20,60	22,50	22,20	20,70
10	49,85	21,87	50,80	48,90	20,70	22,70	22,20	20,90
11	51,15	22,13	52,10	50,20	21,10	22,90	22,40	21,00
12	52,45	22,30	53,50	51,40	21,10	23,10	22,70	21,00
13	53,00	22,60	53,70	52,30	21,40	23,40	23,00	21,40
14	54,10	22,73	55,00	53,20	21,50	23,60	23,10	21,60
15	54,80	23,03	55,60	54,00	21,90	23,80	23,40	21,60
16	55,75	23,20	56,50	55,00	22,00	23,90	23,70	21,70
17	56,60	23,37	57,40	55,80	22,20	24,10	23,80	21,90
18	57,15	23,60	57,80	56,50	22,30	24,50	24,00	22,00
19	58,10	23,90	58,70	57,50	22,70	24,70	24,30	22,00
20	58,95	24,03	59,70	58,20	22,80	24,80	24,50	22,20
21	59,55	24,23	60,20	58,90	23,10	24,90	24,70	22,20
22	60,05	24,27	60,70	59,40	23,00	25,00	24,80	22,40
23	61,10	24,67	61,90	60,30	23,40	25,40	25,20	22,50
24	61,55	24,83	62,30	60,80	23,60	25,50	25,40	22,40
25	62,15	24,97	62,70	61,60	23,60	25,70	25,60	22,70
26	62,80	25,30	63,40	62,20	24,00	25,90	26,00	22,70
27	63,80	25,47	64,70	62,90	24,30	26,00	26,10	23,00
28	64,15	25,60	65,00	63,30	24,40	26,20	26,20	23,10
29	64,85	25,70	65,50	64,20	24,50	26,20	26,40	23,30
30	65,35	25,90	66,10	64,60	24,60	26,50	26,60	23,30
35	67,80	26,17	68,70	66,90	24,80	26,70	27,00	23,50
40	70,80	27,53	71,60	70,00	26,10	27,90	28,60	23,90
45	72,75	28,40	73,50	72,00	27,00	28,70	29,50	24,20
50	74,40	29,17	75,10	73,70	27,70	29,50	30,30	24,40
55	76,25	29,83	76,80	75,70	28,30	30,10	31,10	24,60
60	77,75	30,70	78,20	77,30	29,00	30,90	32,20	24,80
65	78,95	31,43	79,30	78,60	29,80	31,70	32,80	25,10
70	80,45	32,13	80,70	80,20	30,30	32,40	33,70	25,20
75	81,55	32,87	81,70	81,40	31,00	33,10	34,50	25,50
80	82,60	33,60	82,90	82,30	31,60	33,90	35,30	25,70
85	83,35	34,17	83,70	83,00	32,30	34,30	35,90	25,90
90	84,20	34,63	84,20	84,20	32,70	34,80	36,40	26,10
95	85,15	35,27	85,30	85,00	33,20	35,60	37,00	26,30
100	86,25	36,00	86,20	86,30	34,00	36,30	37,70	26,60

105	86,70	36,27	86,40	87,00	34,20	36,50	38,10	26,60
110	87,25	36,80	87,00	87,50	34,70	37,00	38,70	26,80
115	87,35	37,37	86,70	88,00	34,80	37,90	39,40	26,90
120	88,15	38,23	87,80	88,50	35,60	38,70	40,40	27,10
125	88,65	38,33	88,80	88,50	35,80	38,80	40,40	27,30
130	89,20	38,50	89,30	89,10	36,00	39,00	40,50	27,20
135	89,90	38,87	90,10	89,70	36,50	39,20	40,90	27,60
140	90,45	39,37	90,80	90,10	37,00	39,60	41,50	27,50
145	90,90	39,67	90,90	90,90	37,30	40,10	41,60	27,70
150	91,95	40,13	92,60	91,30	37,70	40,60	42,10	27,70
155	92,40	40,57	92,80	92,00	38,00	41,00	42,70	27,90
160	92,65	40,87	93,30	92,00	38,30	41,30	43,00	28,00
165	93,50	41,30	94,30	92,70	38,80	41,70	43,40	28,00
170	94,05	41,63	95,30	92,80	39,10	42,00	43,80	28,10
175	94,90	41,80	96,50	93,30	39,30	42,20	43,90	28,20
180	95,10	41,97	96,60	93,60	39,30	42,40	44,20	28,30
190	95,80	42,57	97,30	94,30	39,90	43,00	44,80	28,50
200	96,70	43,20	98,40	95,00	40,50	43,70	45,40	28,50
210	97,80	43,57	99,50	96,10	40,90	44,00	45,80	28,80
220	97,85	44,10	99,30	96,40	41,50	44,50	46,30	28,90
230	98,95	44,47	100,80	97,10	41,70	44,90	46,80	29,10
240	99,40	44,87	101,30	97,50	42,20	45,30	47,10	29,40
250	99,40	45,27	101,30	97,50	42,50	45,70	47,60	29,50
260	99,80	45,53	101,70	97,90	42,80	46,00	47,80	29,80
270	100,40	45,83	102,60	98,20	43,10	46,20	48,20	29,80
280	100,50	46,17	102,10	98,90	43,40	46,60	48,50	30,00
290	100,70	46,40	102,70	98,70	43,60	46,80	48,80	30,20
300	100,70	46,50	102,80	98,60	43,70	46,90	48,90	30,30
310	100,65	46,77	102,70	98,60	43,90	47,20	49,20	30,60
320	100,45	47,10	102,40	98,50	44,30	47,50	49,50	30,60
330	100,65	47,10	102,90	98,40	44,30	47,40	49,60	30,70
340	100,45	47,20	102,60	98,30	44,40	47,60	49,60	30,70
350	100,50	47,40	102,70	98,30	44,50	47,70	50,00	30,70
360	100,80	47,43	102,80	98,80	44,60	47,80	49,90	30,60

APÊNDICE 7

Taxa de transferência de calor:

		Taxa de transferência de calor q (w)				
tempo (min)						
	Sem Sub	Sub 1	Sub 2	Sub 3	Sub 4	Sub 5
0						
1	0,862	0,593	0,474	1,541	0,474	1,007
2	0,627	0,356	0,652	1,956	0,593	1,008
3	0,627	0,652	0,830	1,897	0,475	0,948
4	0,471	0,178	0,889	2,075	0,652	1,304
5	0,628	0,178	0,711	1,897	0,534	1,304
6	0,863	0,890	1,008	1,779	1,067	1,364
7	0,863	0,118	0,949	2,075	0,712	1,719
8	1,333	0,890	0,830	2,253	0,001	1,897
9	1,725	0,356	0,771	1,778	0,178	1,719
10	3,135	0,534	0,889	2,312	0,416	2,016
11	3,292	0,830	0,949	2,075	0,178	2,312
12	3,449	0,949	0,771	2,253	0,475	2,134
13	4,389	0,593	0,949	2,075	0,475	2,016
14	4,781	0,474	1,126	2,786	0,119	2,549
15	5,329	0,889	1,067	2,845	0,119	2,668
16	6,348	1,126	1,067	2,727	0,475	2,608
17	6,269	0,711	1,245	2,727	0,534	2,846
18	6,661	0,296	1,186	2,964	0,475	3,379
19	7,524	0,830	1,304	3,379	0,830	3,260
20	7,366	0,356	1,186	3,142	0,712	3,616
21	7,915	0,593	1,423	3,320	0,593	3,319
22	8,307	0,593	1,482	3,557	0,534	3,854
23	7,993	0,712	1,245	3,616	1,068	4,327
24	8,699	0,415	1,423	3,675	0,948	4,031
25	9,091	0,356	1,186	3,794	1,542	4,624
26	8,542	0,475	1,363	3,794	1,482	4,386
27	9,012	0,415	1,482	3,853	1,186	4,446
28	9,796	0,534	1,245	3,912	1,186	4,268
29	9,795	0,474	1,601	4,149	1,660	4,624
30	9,874	0,415	1,600	3,794	2,609	4,742
35	12,617	0,178	2,312	4,446	3,616	6,461
40	14,654	0,415	2,015	5,513	3,912	7,469
45	15,829	0,474	2,667	6,165	4,564	8,476
50	17,004	0,830	3,319	7,172	5,690	9,306
55	17,945	1,186	3,616	7,706	6,224	10,491
60	19,120	2,016	3,794	8,832	7,054	11,262
65	20,687	2,252	5,098	9,721	7,528	12,329
70	21,392	2,964	5,572	10,313	8,358	13,099
75	22,490	3,497	5,987	10,966	9,010	14,048
80	23,116	3,734	6,520	11,795	10,077	14,700
85	24,057	4,031	7,231	12,566	10,906	15,174
90	25,310	4,505	7,587	13,573	11,795	15,944
95	25,781	5,216	8,535	13,573	12,447	16,715

100	26,172	5,690	8,180	14,818	12,981	17,189
105	26,956	6,283	9,010	15,826	13,811	17,782
110	27,269	6,876	9,306	16,004	14,344	18,612
115	28,837	7,765	10,017	16,478	15,055	19,797
120	28,366	8,298	10,432	17,367	15,944	19,619
125	29,385	8,535	11,025	17,545	16,241	20,093
130	29,463	9,128	10,788	18,374	16,715	20,034
135	30,169	9,602	11,262	18,552	16,893	21,101
140	30,404	10,017	11,143	19,856	17,011	21,279
145	30,560	10,373	11,677	19,797	17,545	22,109
150	30,874	10,728	12,151	20,568	18,137	22,524
155	31,030	11,025	12,269	20,508	18,552	22,879
160	31,579	11,203	12,803	21,457	18,849	23,650
165	32,049	11,736	13,158	21,931	19,264	24,065
170	32,284	12,091	13,336	21,990	19,086	24,183
175	32,911	12,269	13,810	22,701	19,738	24,302
180	32,754	12,803	14,107	22,879	20,508	25,013
190	33,695	13,336	14,640	23,413	21,457	26,139
200	34,086	13,395	14,937	23,650	22,227	26,258
210	34,322	13,633	15,589	24,302	22,642	27,028
220	35,262	13,929	16,359	24,776	23,294	27,324
230	35,497	13,988	16,418	24,954	23,472	27,502
240	36,359	13,988	16,952	25,250	24,242	28,036
250	36,359	14,581	17,367	25,309	24,479	27,976
260	37,456	14,937	17,545	26,080	25,013	28,510
270	37,691	15,292	18,137	26,198	25,783	28,747
280	38,396	15,589	18,137	26,139	25,605	28,806
290	38,475	15,589	18,374	26,554	26,020	28,806
300	39,337	15,589	18,789	27,324	26,672	28,747
310	39,493	16,884	18,967	27,324	27,028	29,340
320	39,728	16,655	19,263	28,154	27,147	29,162
330	39,807	16,478	19,263	27,858	27,028	29,340
340	39,885	16,478	19,145	27,621	27,087	29,695
350	40,042	16,596	19,441	27,384	27,502	29,932
360	40,669	16,655	19,856	27,443	27,384	30,229