



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
PIBIC/CNPq – BIP/UFSC 2009/2010**

**TÍTULO DO PROJETO:**

Construção, Conforto Ambiental e Uso Racional de Energia

**UTILIZAÇÃO DE IMAGENS EM INFRAVERMELHO PARA ANÁLISE TÉRMICA DE  
COMPONENTES CONSTRUTIVOS**

**BOLSISTA:**

Gabriela Trichês de Souza, graduanda em Engenharia Civil.

**PROFESSOR ORIENTADOR:**

Roberto Lamberts, PhD

**Co-orientador:**

Dr. Devis Luis Marinoski

**Florianópolis, Agosto de 2010.**

**CONSTRUÇÃO, CONFORTO AMBIENTAL E USO RACIONAL  
DE ENERGIA**

-  
UTILIZAÇÃO DE IMAGENS EM INFRAVERMELHO PARA ANÁLISE TÉRMICA DE  
COMPONENTES CONSTRUTIVOS

---

**Gabriela Trichês de Souza**

Bolsista

---

**Roberto Lamberts**

Professor Orientador

## RESUMO

Em edificações localizadas em países de clima quente (como o Brasil), a aplicação de materiais que tenham aquecimento reduzido, em função da menor absorção da radiação solar, pode proporcionar menores ganhos de calor melhorando o bem estar dos ocupantes e reduzindo o consumo de energia com condicionamento de ar.

Uma das técnicas inovadoras para observação do comportamento térmico de materiais com diferentes texturas e cores é o uso de imagens térmicas geradas a partir da detecção da radiação infravermelha. Para isto, utilizam-se câmeras especiais que permitem mapear os gradientes de temperatura na superfície dos objetos analisados.

Este trabalho demonstra como esta técnica pode ser utilizada para a verificação de temperaturas superficiais e avaliação do ganho de calor através de elementos opacos utilizados em fachadas e coberturas de edificações. Além de propor recomendações para a execução das medições, também é analisada a influência dos valores atribuídos às variáveis de entrada da câmera infravermelha (emissividade e temperatura refletida) sobre o resultado da temperatura medida.

Testes em campo foram realizados, verificando a temperatura superficial de 9 amostras de telhas com diferentes cores, constatando-se que para um mesmo tipo de telha, porém com acabamento de cores diferentes, poderá ocorrer uma variação de até 14°C. Também, são apresentados os resultados de verificações de temperatura em um telhado e 3 fachadas de diferentes edificações com diferentes colorações.

Palavras-chave: Termográfica infravermelha, Emissividade, Temperatura, Edificações, Telhas.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	5
1.2 OBJETIVOS.....	6
1.2.1 <i>Objetivos Gerais</i> .....	6
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	6
1.2.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	6
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>7</b>
2.1 PESQUISAS INTERNACIONAIS.....	7
2.2 DISCUSSÃO GERAL E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	10
<b>3. CÂMERA INFRAVERMELHA</b> .....	<b>11</b>
3.1 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA CÂMERA .....	11
3.2 VARIÁVEIS DE ENTRADA .....	11
3.2.1 <i>Emissividade (<math>\epsilon</math>)</i> .....	11
3.2.2 <i>Temperatura Refletida (TR)</i> .....	12
3.3 RECOMENDAÇÕES DE UTILIZAÇÃO .....	12
<b>4. ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NOS VALORES DE EMISSIVIDADE E TEMPERATURA REFLETIDA</b> .....	<b>13</b>
<b>5. VERIFICAÇÃO <i>IN LOCO</i> DA TEMPERATURA REFLETIDA</b> .....	<b>18</b>
<b>6. TESTES EM CAMPO</b> .....	<b>20</b>
<b>7. CATÁLOGO DE IMAGENS</b> .....	<b>25</b>
<b>8. CONCLUSÕES</b> .....	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>27</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Justificativa

Observando o aumento da temperatura devido ao aquecimento global e também a busca pela melhoria da eficiência energética, o setor da construção civil estuda cada vez mais alternativas para evitar o desconforto térmico, seja no ambiente de trabalho ou em residências.

Uma delas é analisar os materiais que compõe a edificação em questão. Através da observação do comportamento térmico de diferentes texturas e cores, pode-se avaliar a capacidade de ganho de calor dos materiais utilizados nas fachadas e coberturas das edificações.

Em regiões de clima frio, onde as temperaturas no meio exterior ficam muito abaixo da temperatura do ar condicionado no interior das edificações, o desconforto é causado pela perda de calor para o ambiente externo. Neste caso, materiais com superfícies de alta absorvância a radiação solar utilizados nas fachadas e coberturas podem contribuir para a manutenção da temperatura necessária para ocupação humana.

Porém, diferentemente disso, em regiões de clima quente (como no Brasil) as temperaturas no meio exterior atingem valores bem superiores às temperaturas internas adequadas para o conforto dos ocupantes. Nestas condições, a aplicação de materiais que tenham aquecimento reduzido em função da menor absorção da radiação solar, pode proporcionar menores ganhos de calor e conseqüentemente melhorar o bem estar dos ocupantes. Além disso, em ambientes condicionados artificialmente estes materiais colaboram para a redução do consumo de energia

Uma das técnicas mais inovadoras para esse tipo de análise é o uso de imagens térmicas geradas a partir da detecção da radiação infravermelha. Para isto, utilizam-se câmeras especiais que permitem mapear os gradientes de temperatura na superfície dos objetos analisados.

No processo de medição destaca-se a importância das variáveis de entrada (emissividade e temperatura refletida), assim como aspectos externos (incidência de radiação solar e outras condições ambientais) influenciando na obtenção correta de imagens térmicas.

No entanto, até o momento, nenhum estudo nacional utilizando imagens em infravermelho para avaliar as edificações com o intuito de melhoramento do conforto térmico e a redução do ganho de calor foi realizado. Além disso, na literatura internacional a maioria dos trabalhos analisa edificações em regiões com diferentes condições ambientais do Brasil.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivos Gerais

Demonstrar como a verificação de temperaturas superficiais com imagens em infravermelho pode ser utilizada para avaliar o ganho de calor através de elementos opacos utilizados em fachadas e coberturas de edificações.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a influência das alterações nos valores das variáveis de entrada da câmera infravermelha (emissividade e temperatura refletida) sobre o resultado da temperatura medida;
- Propor recomendações de utilização da câmera infravermelha;
- Demonstrar o processo verificação *in loco* da temperatura refletida;
- Produzir um catálogo com diferentes imagens em infravermelho, destacando como os acabamentos (cores) influenciam no aquecimento das edificações.

### 1.2.3 Estrutura do Trabalho

No capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica de artigos internacionais sobre os estudos publicados de análise térmica de edificações utilizando imagens infravermelhas.

A seguir no capítulo 3 o instrumento de medição usado no estudo feito, a câmera ThermoCAM<sup>TM</sup>E25 é apresentada, juntamente com suas especificações técnicas, variáveis de entrada e recomendações e utilização.

No capítulo 4 é descrita uma análise feita em laboratório alterando os valores das variáveis de entrada da câmera, sendo elas: emissividade e temperatura refletida.

Já no capítulo 5 é exposta uma verificação *in loco* da temperatura refletida a ser utilizada nos testes a serem realizados.

O capítulo 6 mostra os testes feitos em campo, utilizando um conjunto de amostras com 9 telhas.

No capítulo 7 é realizado um catálogo analisando e depois analisando edificações particulares e também prédios da Universidade Federal de Santa Catarina.

Por fim no capítulo 8 são feitas algumas considerações finais e conclusões obtidas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Pesquisas internacionais

A seguir são apresentadas algumas pesquisas internacionais onde as análises de imagens em infravermelho são especialmente aplicadas às edificações.

*Grinzato et al. (1998)* buscam a solução de problemas relacionados a perdas de calor em construções civis, detectando as falhas/fendas causadoras dos vazamentos de que podem interferir no conforto térmico da edificação com uma análise dinâmica dos processos térmicos encontrados na edificação através da termografia infravermelha. Alguns defeitos são avaliados, como áreas de umidade, pontes térmicas, deficiência de isolamento térmica. A detecção dos defeitos em regimes dinâmicos foi mais compreensível do que em regimes permanentes. Além disso, vale ressaltar que *Grinzato et al. (1998)* reforçam o conceito de como estímulos térmicos, como a irradiação solar, fluxo de ar ou radiação de fontes artificiais são importantes na detecção dos defeitos na edificação. O autor também dá ênfase na utilização de modelos quantitativos para analisar o comportamento dos defeitos encontrados, assim como, na análise destes detalhadamente (em camadas).

Já *Balaras e Argiriou (2002)* foram mais amplos, detalhando o uso da termografia infravermelha nas edificações em diferentes áreas: civil, elétrica e mecânica. Concluindo que esta prática é de extrema importância para reduzir despesas de manutenção (por exemplo, para um telhado ou parede danificado por umidade, conexões elétricas defeituosas, motores desalinhados), uma vez que a anomalia seja detectada antes que evolua para um sério problema. Na área de construção civil, a qual é a que nos interessa, os autores citam que a termografia infravermelha vem para ajudar a detectar perdas de calor, isolamento térmica danificada em paredes e telhados, pontes térmicas, vazamentos de ar, fontes de umidade, e rachaduras em concreto. Além de reduzir gastos com reparação diminuem também os gastos com sistemas de aquecimento e arrefecimento da edificação. *Balaras e Argiriou (2002)* ressaltam a importância de se levar em consideração os aspectos e fenômenos físicos externos que podem interferir na obtenção das imagens do objeto inspecionado, como a incidência solar durante o dia (a qual dependendo do horário de obtenção das imagens tem seu ângulo variado), e os ventos. Sugerindo então, que se faça a análise termográfica durante a noite e em dias com menores velocidades de vento, pois estes dias são mais proporcionam melhores resultados. Alguns exemplos práticos analisados pelos autores foram: janelas envidraçadas onde a perda de calor durante o inverno é maior, e durante o verão se não está sombreada causa desconforto pelo excesso de luminosidade; correntes de ar através das aberturas, o que pode ser de grande desconforto para os ocupantes da edificação durante o inverno; além de problemas com umidade (muito encontrados em edificações). Algumas soluções para os problemas citados foram sugeridas, como: boa vedação em portas e janelas para controlar as perdas de calor nas aberturas, isolamento térmico eficaz em áreas em que há muita umidade aumenta a temperatura interior no inverno e diminui no verão.

*Avdelildis e Moropoulou (2003)* trouxeram em sua publicação a importância da emissividade na termografia infravermelha em análises de construções. E destacam que para se obter a leitura corretas temperaturas, e conseqüentemente uma melhor imagem térmica da área analisada, é necessário ter o conhecimento dos valores de emissividade dos materiais. Esses valores podem variar de 0 (refletor perfeito - espelho) a 1 (emissor perfeito ou corpo negro). A emissividade está diretamente relacionada com o comprimento de onda, isto é, cada material emite energia em um dado comprimento e absorve uma quantidade diferente em outro. Os materiais mais comuns utilizados na construção civil, como argamassa, pedra e concreto, possuem altos valores de emissividade (geralmente superiores a 0.8). Para medir a emissividade de alguns materiais, utilizaram-se dois métodos: um de acordo com a norma padrão *ASTM E1933 (1997)*, e outro de modo empírico, onde as amostras foram colocadas em uma estufa na temperatura desejada e anexadas à elas uma fita isolante preta (com valor de emissividade conhecida 0.95), desta forma, pôde-se comparar a emissividade do material adjacente à fita preta com emissividade conhecida. De acordo com os procedimentos feitos, chegou-se a conclusão de que os valores de emissividade variaram de acordo com a faixa de comprimento de onda, pequenos comprimentos de onda são mais sensíveis a altas temperaturas (maiores que a ambiente) e grandes comprimentos de onda são mais sensíveis a baixas temperatura (menores que a ambiente).

*Ocaña et al. (2004)*, através de inspeções em duas edificações localizadas em uma região fria da Espanha, compararam as performances térmicas destas através de uma análise com inspeção infravermelha. Os autores citam que a teoria se baseia em que cada material é capaz de absorver uma quantidade de radiação infravermelha, aumentando sua temperatura. Esse tipo de radiação possui um comprimento de onda, que pertence a um intervalo do espectro eletromagnético que nossos olhos não são capazes de detectar. O que estas câmeras fazem, é captar essa emissão, e mostrar através de imagens termográficas o comportamento térmico da área em questão. A câmera utilizada neste experimento foi a com longo comprimento de onda, Therma - CAM SC200 da FLIR SYSTEMS.

Uma das edificações analisadas foi chamada de tradicional, com três pisos, paredes em adobe e térreo em pedra, telhado com estrutura de madeira e recoberto de argila, pisos em madeira e poucas portas e janelas, além disso, somente possui uma lareira como sistema de aquecimento. Já na segunda edificação, mais moderna, construída com técnicas mais atuais, a qual também possui três pisos, mas sua estrutura é toda em concreto (lajes e pilares), fachada feita de tijolos em duas camadas com sistema de isolamento entre essas camadas e com aberturas em várias fachadas, além de um sistema de aquecimento a óleo. A pesquisa foi feita em dois períodos do dia, uma tarde da noite e outra no começo da manhã. Foi possível perceber que a edificação tradicional, na inspeção durante a noite apresentou o primeiro piso (feito de pedra) mais quente que o restante da edificação, isto devido ao diferentes comportamentos térmicos dos materiais, além da sua espessura (mais espesso armazena mais calor). Embaixo das sacadas e do beiral dos telhados foi possível perceber pontos de altas temperaturas, isto devido à retenção de ar nessas zonas. Já na edificação mais moderna percebeu-se que os pilares (concreto) absorveram mais calor que o restante da edificação. Em casos como este, em que o objetivo da pesquisa é atenuar as perdas de calor para o exterior, devido ao frio intenso da região, os testes realizados a noite são mais indicados, já que neste horário não há energia solar para interferir nos resultados.



*I.C.Guerrero et al. (2005)*, também analisaram edificações para checar a importância da termografia na análise do conforto térmico da edificação. Mas neste caso, foram estudados os materiais de construção utilizados em casas típicas da área rural de Soria, na Espanha. Os materiais pesquisados foram: adobe (tijolo não cozido-barro), tijolo vermelho e granito. E alguns fatores que influenciam na temperatura do material também estiveram dentro da pesquisa: tipo de material de construção, cor, forma do objeto inspecionado e incidência dos raios solares. Os autores citam que apesar de ser uma técnica muito utilizada, podem surgir erros de leitura causados por: incidência de raios solares, diferentes valores de emissividade dos materiais, áreas de sombreamento e de sol (que aparecem em baixas e altas temperaturas, respectivamente), ângulos entre a câmera e o objeto inspecionado e os diferentes comportamentos relatados pela cor e tipo de finalidade (claro, superfície áspera ou suave).

Assim como outros autores anteriormente, *I.C.Guerrero et al. (2005)* enfatiza que saber o valor da emissividade dos materiais para o correto ajuste da câmera é fundamental para uma boa análise. A câmera utilizada nesta pesquisa foi de longo comprimento de onda, já que trabalha melhor com pequenas temperaturas (entre 0 e 100° C ), além de detectar pequenas diferenças de temperaturas e ser menos afetada pela reflexão dos raios solares. Vale salientar a comparação que os autores fazem com outro tipo de método de inspeção, os termistores, os quais obtiveram valores ligeiramente diferentes do método com infravermelho. Uma das causas destas diferenças entre os métodos pode estar na falta de ajuste dos valores de emissividade dos materiais, já que foi utilizado para cada amostra um valor médio. Depois disto, ajustaram-se os valores de emissividade e assim foram obtidos valores mais próximos entre os métodos. Além de um correto valor de emissividade do material, a hora da realização da medição é um ponto muito importante (pela influência dos raios solares) assim como a superfície do material (superfícies planas, perpendiculares ao eixo da câmera trazem resultados mais precisos que uma superfície irregular de uma amostra).

Outro tipo de pesquisa em laboratório é citado por *E. Barreira, V.P. de Freitas (2007)*, a qual foi realizada no *Buildings Physics Laboratory (LFC)*, da Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Portugal (FEUP). Além de estudar a influência da emissividade, condições do ambiente, cor e refletividade na termografia, foram estudados também os processos de secagem e umedecimento dos materiais de construção. Através de uma pesquisa comparando a sola do pé descalço, e depois de ela ter contato com diferentes materiais, foi obtido valores úteis para avaliar a confortabilidade dos materiais, principalmente daqueles utilizados em piso de banheiros e quartos, onde geralmente as pessoas andam descalças. De acordo com este estudo, o conforto vai depender do piso e temperatura ambiente, que são também determinadas pelas características térmicas, nomeadas, difusidade e efusividade. Para avaliar o conforto nestas situações, a pesquisa foi feita com seis tipos de materiais usados para revestimentos em pisos, sendo eles: carpete, cortiça, vinil, madeira, cerâmica e granito. Após o contato do pé com diferentes materiais, pode-se registrar que o carpete induz às altas temperaturas superficiais na sola do pé, seguido de cortiça, madeira, vinil, azulejo cerâmico e por último o granito. *E.Barreira, V.P. de Freitas (2007)*, fala que essas diferenças de temperaturas existem devidas às características de transferência de calor de cada material. Esta transferência de calor depende essencialmente da difusidade e efusividade. A difusidade térmica expressa à transferência de calor dentro do material, quanto maior é o valor, mais rápido o calor é trocado entre o pé e o material, o qual causa

mais desconforto no contato inicial e induz as baixas temperaturas no pé. Por exemplo, o carpete tem baixa difusividade, já o granito tem alta difusividade o que o torna mais desconfortável como revestimento de piso. Já a efusividade é expressa pela capacidade de absorver e armazenar calor, quanto maior o seu valor, melhor é sua capacidade de armazenar calor, assim o material demorará mais tempo para atingir o equilíbrio térmico. Carpete, cortiça, madeira e vinil têm baixa efusividade. Depois de 2 minutos de contato eles induzem temperaturas superficiais no pé mais fáceis para se atingir o equilíbrio térmico, já a cerâmica e o granito tem alta efusividade e então induzem baixas temperaturas de superfícies o que ocasiona desconforto por um maior período.

Já *Yanpend Wu et al. (2008)* trazem em seu artigo a discussão sobre a influência das cores das fachadas das edificações sobre a temperatura da estrutura analisada (edifício) e conseqüentemente sobre a eficiência energética da mesma. Particularmente, foram estudados edifícios locados em Pequim. Os testes foram feitos pela Universidade de Ciência e Tecnologia de Pequim através de uma câmera infravermelha, a qual analisa os efeitos térmicos que cada cor causa. Diante do estudo feito, observou-se que na cidade de Pequim as seleções das cores utilizadas nas edificações são subjetivas e decididas pelo estilo arquitetônico e senso visual dos arquitetos e proprietários. Isto mostra que falta uma base científica antes da escolha da cor para um dado edifício, deve-se então, ajustar-se à condição real da construção, considerando sua função, orientação e arredores. Desta forma, para obter-se uma economia no consumo energético tanto residencial ou comercial, a escolha da cor correta da fachada para uma dada edificação é de grande importância, podendo diminuir consideravelmente o gasto energético.

## 2.2 Discussão geral e considerações finais

- Para analisar o conforto térmico de uma dada edificação, podem-se utilizar imagens infravermelhas feitas com câmera especiais, as quais são capazes de detectar as temperaturas do objeto analisado, e assim, pode-se chegar à conclusão de quais materiais são mais isolantes termicamente e conseqüentemente sua influência sobre o desempenho energético.
- Para a utilização da câmera, deve-se ter conhecimento de algumas propriedades necessárias para calibrar à mesma, e assim ter imagens e leituras corretas. Deve-se reconhecer o material que constitui o corpo analisado, e assim ajustar na câmera o valor de sua emissividade. Além disso, deve-se ajustar também a temperatura refletida do ambiente.
- Ressalta-se que a utilização desse método possui algumas limitações. Como a dificuldade de leitura de superfícies muito distantes da câmera. Isto porque, em grandes distâncias a câmera pode sofrer influência da radiação térmica de outros elementos. Para se ter uma medição mais precisa, deve-se de preferência colocar a câmera perpendicularmente ao objeto analisado.
- No Brasil, não foram encontrados estudos publicados sobre este assunto, sendo que todos os artigos utilizados como referências nesta pesquisa foram publicados em outros países. As medições apresentadas nestes artigos têm normalmente como objetivo melhorar a eficiência dos sistemas de aquecimento das edificações, já que nos países em questão o clima frio é

predominante. Já o Brasil, sendo um país quase na sua totalidade de clima tropical, o objetivo de análises de imagens em infravermelho visando o conforto térmico é diferente. Busca-se neste caso reduzir o ganho de calor e diminuir o consumo de energia com resfriamento de ambientes, especialmente no verão. Assim, analisando cada tipo de material, sua constituição, cor e necessidade da edificação monitorada, pode-se chegar à conclusão de um melhor material a ser utilizado para que se tenha conforto térmico.

### 3. CÂMERA INFRAVERMELHA

#### 3.1 Especificações técnicas da câmera

A câmera infravermelha utilizada neste estudo foi a modelo ThermaCAM™E25 fabricada pela empresa FLIR SYSTEMS. Esta câmera é capaz de medir e reproduzir em imagem a radiação de infravermelhos emitida por um objeto. “O sistema da câmera também inclui um ponteiro laser, LCD policromático 2,5”, uma lente para infravermelhos, uma bateria amovível e um conjunto de acessórios. O modelo citado (Figura 1) apresenta as seguintes características técnicas básicas, conforme apresentadas na Tabela 1:



Figura 1. Câmera IR

Tabela 1. Características básicas da câmera

Resolução da imagem:	160 x 120 pixels
Amplitude espectral:	7.5 – 13 $\mu\text{m}$
Amplitude de temperaturas:	-20°C até 250°C
Resolução:	1°C
Precisão:	$\pm 2,0^\circ\text{C}$ ou 2% da leitura

Para o funcionamento correta da câmera é necessário o conhecimento prévio de algumas informações do ambiente e da superfície a ser analisada. Os dados de entrada que devem ser definidos pelo operador da máquina são a emissividade e a temperatura ambiente refletida.

#### 3.2 Variáveis de entrada

##### 3.2.1 Emissividade ( $\epsilon$ )

Todo material com temperatura acima de zero Kelvin (zero absoluto) emite radiação eletromagnética, esta emissão depende de uma propriedade denominada emissividade.

Com valores na faixa  $0 < \epsilon < 1$ , essa propriedade fornece uma medida da capacidade de emissão de energia de uma superfície em relação a um corpo negro. Ela depende fortemente da superfície do material e de seu acabamento. (Incropera e DeWitt, 2003). Alguns valores típicos de emissividade são mostrados na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2. Valores típicos de emissividade para alguns materiais

Descrição/Composição	Emissividade ( $\epsilon$ )*
Aço inoxidável – típico, polido	0,17
Alumínio – altamente polido, película	0,04
Água	0,96
Areia	0,90
Concreto	0,88 – 0,93
Janela de vidro	0,90 – 0,95
Materiais de construção – placas de amianto	0,93 – 0,96
Materiais de construção – tijolo, vermelho	0,93 – 0,96
Materiais de construção – estuque ou placa de gesso	0,90 – 0,92
Materiais de construção - madeira	0,82 – 0,92
Papel, branco	0,92 – 0,97
Pavimentação de asfalto	0,85 – 0,93
Rochas	0,88 – 0,95
Solo	0,93 – 0,96
Tecido	0,75 – 0,90
Tintas – pretas (Parsons)	0,98
Tintas – branca acrílica	0,90
Tintas – branca óxido de zinco	0,92
Vegetação	0,92 – 0,96

\*Todos os materiais descritos estão a 300K ou 27°C. (Incropera e DeWitt, 2003).

### 3.2.2 Temperatura Refletida (TR)

A temperatura ambiente refletida é um parâmetro utilizado para compensar a radiação refletida no objeto e a radiação emitida pela atmosfera entre a câmera e o objeto. Caso a emissividade seja baixa, a distância seja demasiado grande e a temperatura do objeto seja relativamente próxima à ambiente, será importante regular e compensar corretamente a temperatura ambiente. (FLIR SYSTEMS, 2005).

### 3.3 Recomendações de utilização

Para a correta utilização das câmeras infravermelhas, é preciso estar atento a algumas recomendações importantes:

- Cuidado ao manusear a câmera é imprescindível, já que esta é de grande valor físico e possui lentes frágeis.
- Devem-se conhecer as duas variáveis de entrada: emissividade e temperatura refletida. Elas são inseridas na câmera antes de serem feitas as imagens.

- Deve-se ajustar a câmera o mais perpendicularmente possível ao objeto em análise.
- Ajustar o foco para melhorar a nitidez da imagem.
- Dar atenção à distância da câmera ao objeto, já que se o objeto em questão possuir baixa emissividade em uma distância muito grande, a câmera não conseguirá ler corretamente a irradiação do objeto, chegando a valores incorretos de temperaturas.

#### **4. ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NOS VALORES DE EMISSIVIDADE E TEMPERATURA REFLETIDA.**

Os testes experimentais foram realizados em laboratório, à temperatura estável de 24°C e tiveram como objeto de medição um aparelho e estabilizador de energia ligado, colocado sobre uma mesa de escritório como mostra a Figura 2.

Para fazer as imagens, a câmera foi posicionada perpendicularmente ao objeto e com distância de medição aproximada de 1,5 metros.



Figura 2. Objeto de medição em laboratório.

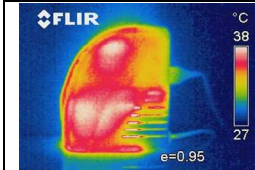
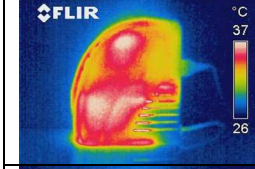
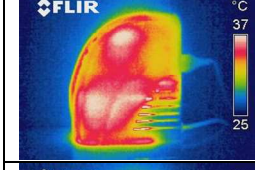
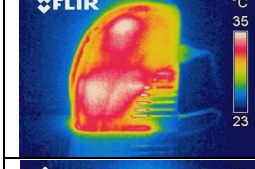
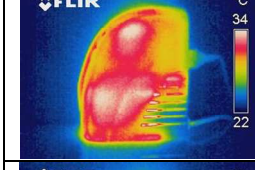
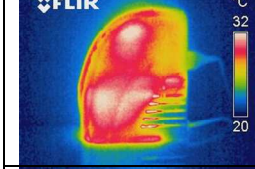
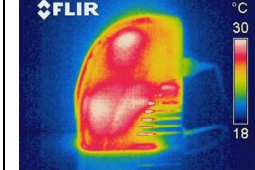
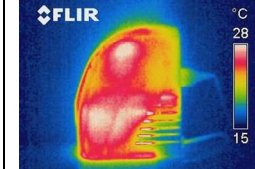
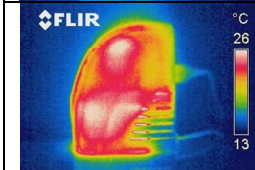
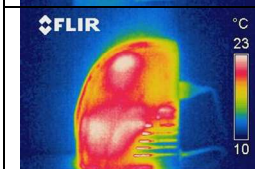
Foram realizados dois tipos de teste com o objeto de medição (estabilizador). Um, alterando as temperaturas refletidas e outro teste alterando os valores de emissividade do objeto.

Ao ajustar a câmera para fazer o primeiro teste, foi adotado o valor de emissividade do objeto fixo em 0,95 e a temperatura refletida foi aumentada em 20°C a cada nova imagem obtida.

Os resultados de amplitude de temperatura e temperatura média do objeto a cada medição são mostrados na Tabela 3.

Após a análise das imagens realizada com o software ThermaCAM<sup>TM</sup>QuickView, foi elaborado um gráfico apresentando a variação da temperatura média ( $\Delta TM$ ) do objeto em relação à variação da temperatura refletida ( $\Delta TR$ ) alterada a cada medição.

Tabela 3. Valores de temperatura média e variação de temperatura refletida. (com emissividade fixa 0,95)

Imagem	T. Refletida (°C)	Amplitude (°C)	T.Média (°C)
	5	38,3 - 26,6	34,7
	25	37,3 - 25,7	33,7
	45	36,7 - 24,7	33,0
	65	35,2 - 23,0	31,4
	85	33,9 - 21,6	30,3
	105	32,3 - 19,8	28,8
	125	30,3 - 17,5	26,7
	145	28 - 15	24,2
	165	26 - 12,8	22
	185	23,5 - 9,8	19,3

Este gráfico (Figura 3) foi plotado a partir de valores da variação de temperatura refletida de uma dada medição (i) em relação à temperatura refletida na primeira medição (Eixo x), e de valores da variação de temperatura média do objeto de uma dada medição (i) em relação ao valor de temperatura média do objeto na primeira medição (Eixo y). Os quais foram alcançados a partir da seguinte equação [1]:

$$\Delta T = T_i - T_1 \quad [1]$$

Para i variando de 2 até n, onde n é o número de medições.

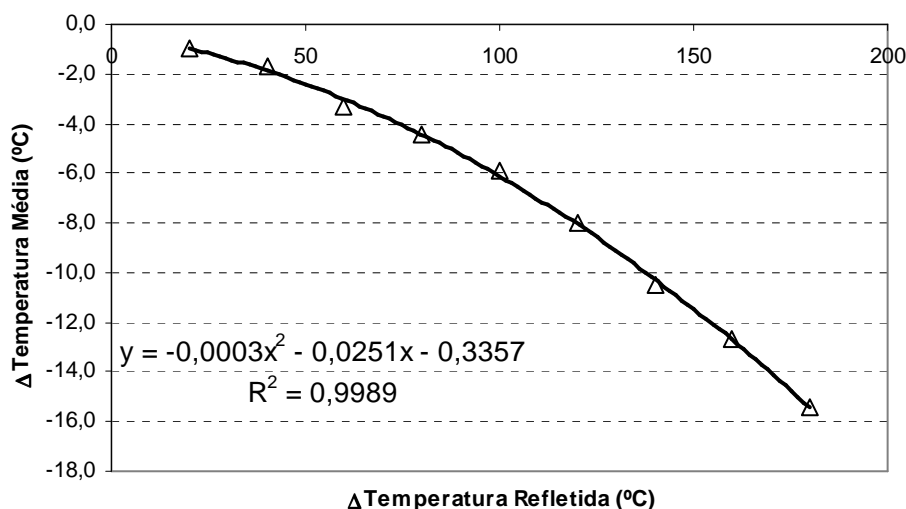


Figura 3. Variação da temperatura média do objeto em função da variação da temperatura refletida.

A seqüência de pontos plotados no gráfico  $\Delta TR \times \Delta TM$ , apresenta um ótimo ajuste para uma equação na forma polinomial, conforme apresentado também na Figura 3. Porém é possível, determinar um valor médio para a diferença causada na TM em função da alteração da TR. A Tabela 4 apresenta esta diferença entre cada ponto ( $T_{i+1} - T_i$ ), e o valor médio encontrado em dois segmentos: o primeiro para  $\Delta TR$  até 100°C; e o segundo para  $\Delta TR$  entre 100° e 180°C.

De acordo com a Tabela 4 é possível perceber que uma variação ( $\Delta$ ) da TR de 20°C representa uma diferença média na TM do objeto de  $\pm 1,2^\circ\text{C}$ , para TR de até 105°C (absoluto). Por exemplo, no caso de uma TM de 30°C para um determinado objeto com TR igual a 25°C, se esta última for alterada para 45°C, a TM será alterada para 28,8°C. Já uma variação de 20°C nos valores de TR maiores que 105°C (absoluto) ocasiona uma diferença média na TM do objeto de  $\pm 2,4^\circ\text{C}$ .

Tabela 4. Diferença entre variações na TM ( $T_{i+1} - T_i$ ) alterando valores de TR.

$\Delta TR$	$\Delta TM$	Diferença na TM ( $T_{i+1} - T_i$ )	Diferença Média na TM
5	0,0	-	-1,2
20	-1,0	-1,0	
40	-1,7	-0,7	
60	-3,3	-1,6	
80	-4,4	-1,1	
100	-5,9	-1,5	
120	-8,0	-2,1	-2,4
140	-10,5	-2,5	
160	-12,7	-2,2	
180	-15,4	-2,7	

Já para o segundo teste, a variável de entrada a ser fixada foi a temperatura refletida ( $TR = 25^\circ\text{C}$ ), variando a emissividade entre 0,10 até 0,95. Os resultados de amplitude de temperatura e temperatura média do objeto em cada medição realizada são apresentados na Tabela 5.

Assim como no primeiro teste, após analisar as imagens com o software, foi também elaborado um gráfico apresentando a variação da temperatura média ( $\Delta TM$ ) do objeto em relação à variação da emissividade ( $\Delta \epsilon$ ) alterada a cada medição.

Este gráfico (Figura 4) foi plotado a partir de valores da variação de emissividade do objeto de uma dada medição (i) em relação ao valor de emissividade do objeto na primeira medição (Eixo x), e de valores da variação da temperatura média de uma dada medição (i) em relação à temperatura média na primeira medição (Eixo y). Esses valores foram obtidos a partir da equação [1] utilizada no primeiro teste.

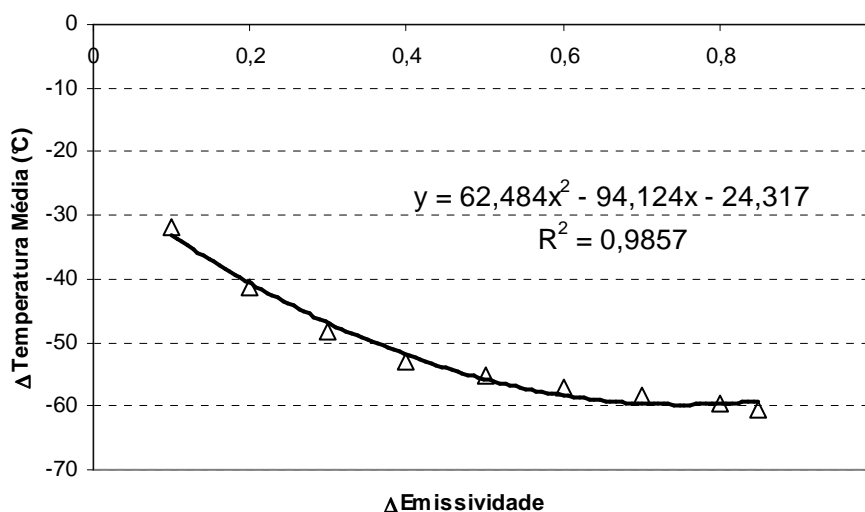

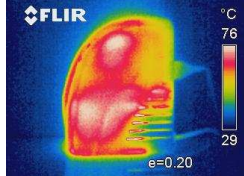

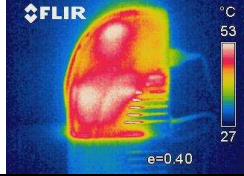
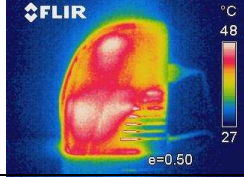







Figura 4. Variação da temperatura média do objeto em função da variação da emissividade.



Tabela 5. Valores de temperatura média e variação de emissividade. (com temperatura refletida fixa de 25°C).

Imagem	Emissividade	Amplitude (°C)	T.Média (°C)
	0,10	114,5 – 34,2	94,4
	0,20	75,7 – 28,8	62,7
	0,30	61,9 – 29,0	53,0
	0,40	53,0 – 27,0	46,0
	0,50	48,0 – 26,9	41,5
	0,60	44,2 – 26,1	39,1
	0,70	41,4 – 25,7	37,3
	0,80	39,9 – 26,0	36,2
	0,90	38,4 – 26,0	34,7
	0,95	37,6 – 25,8	34,0

A seqüência de pontos plotados no gráfico  $\Delta\varepsilon \times \Delta TM$ , apresenta um ótimo ajuste para uma equação na forma polinomial, conforme apresentado também na Figura 4. Porém é possível, determinar um valor médio para a diferença causada na TM em função da alteração da  $\varepsilon$ . A Tabela 6 apresenta está diferença entre cada ponto ( $T_{i+1} - T_i$ ), e o valor médio encontrado em dois segmentos: o primeiro para  $\Delta\varepsilon$  entre 0,10 e 0,40 (ou até  $\varepsilon = 0,50$  absoluto); e o segundo para  $\Delta\varepsilon$  entre 0,40 e 0,85 (ou de  $0,50 < \varepsilon < 0,95$  absoluto).

De acordo com a Tabela 6 é possível perceber que uma variação ( $\Delta$ ) da  $\varepsilon$  de 0,10 representa uma diferença média na TM do objeto de  $\pm 7,1^\circ\text{C}$  para  $\varepsilon$  de até 0,50 (absoluto). Por exemplo, no caso de se ter uma TM de  $50^\circ\text{C}$  para um determinado objeto com  $\varepsilon$  igual a 0,40, se esta última for alterada para 0,50, a TM será alterada para  $42,9^\circ\text{C}$ . Já uma variação de 0,10 nos valores de  $\varepsilon$  maiores que 0,50 (absoluto) ocasiona uma diferença média na TM do objeto de  $\pm 1,5^\circ\text{C}$ .

Tabela 6. Diferença entre variações na TM ( $T_{i+1} - T_i$ ) alterando valores de  $\varepsilon$

DTR	DTM	Diferença na TM ( $T_{i+1} - T_i$ )	Diferença Média na TM
0,10	-31,7	-	-7,1
0,20	-41,4	-9,7	
0,30	-48,4	-7,0	
0,40	-52,9	-4,5	
0,50	-55,3	-2,4	-1,5
0,60	-57,1	-1,8	
0,70	-58,2	-1,1	
0,80	-59,7	-1,5	
0,85	-60,4	-0,7	

## 5. VERIFICAÇÃO *IN LOCO* DA TEMPERATURA REFLETIDA.


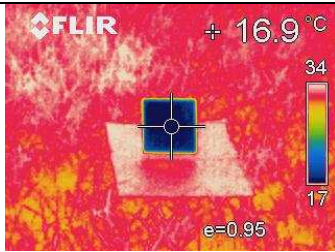


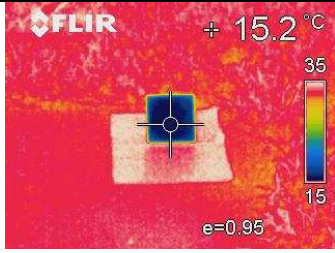

Para obter a temperatura refletida do local de medição é possível realizar uma verificação simplificada.

Esta verificação pode ser executada com o auxílio de uma chapa de alumínio polido. Após ajustar a câmera com o valor da TR igual a zero, e com um valor de emissividade elevado (ex: 0,95), posiciona-se a placa de alumínio no mesmo plano de medição e por fim se captura a imagem em infravermelho.

Devido à elevada reflexão e baixa emissividade da placa de alumínio (0,04-0,06), o valor de temperatura observado neste elemento será equivalente à temperatura refletida pelo entorno do plano de medição.

Em lugares diferentes (com diferentes condições de entorno), obtiveram-se duas temperaturas médias na placa de alumínio, mostradas na Tabela 7 abaixo:

Tabela 7. Temperatura média da placa de alumínio em diferentes locais em campo.

Imagem normal	Imagem infravermelha	Imagem do entorno	T.Média (°C)
			16,9
			15,2

Apesar das diferentes condições de entorno (uma delas com obstruções mais próximas do objeto de medição) é difícil identificar claramente a influência do entorno sobre a temperatura refletida, uma vez que o ângulo de medição entre a câmera e placa causa muita incerteza.


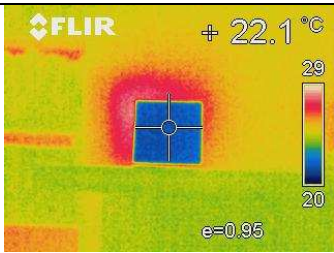

Além disso, a posição do operador da câmera é muito importante, uma vez que é necessário cuidado para não refletir sua própria “imagem” (radiação) e assim obter resultados incorretos.

Desta forma, dependendo da posição e do local em que o objeto se encontra, e da incerteza de posição do ângulo entre a câmera e o objeto, podem-se ter diferenças de medições, como as observadas na Tabela 7.

Mas de acordo com os testes realizados em laboratório, alterando os valores de TR na câmera, nota-se que os valores da temperatura do objeto não sofrem alterações muito significativas quando há pequenas variações na TR. Por exemplo, se o operador realizar um teste com um objeto qualquer no mesmo local sob as mesmas condições ambientais em que foi verificada a TR da Tabela 7 (~15°C), e utilizar nessa medição o valor da temperatura do ar do dia da verificação (~30°C) como valor da TR, será observada uma variação de somente 0,9°C entre os dois resultados da TM do objeto. Com isso, um artifício para realizar um ajuste simplificado da TR durante medições em campo, é aplicar a esta variável o mesmo valor da temperatura do ar.

Além da verificação externa da temperatura refletida, realizou-se também esta verificação em laboratório. A temperatura do ar no momento da medição era de ~24°C e o resultado da leitura da temperatura refletida encontrado no teste é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8. Temperatura média da placa de alumínio em laboratório.

Imagem normal	Imagem infravermelha	Imagem do entorno	T.Média (°C)
			22,1

## 6. TESTES EM CAMPO

Primeiramente, foram feitos testes em campo utilizando amostras de telhas em cerâmica e em fibrocimento para analisar e comparar os comportamentos térmicos entre elas. Em seguida, também foram captadas imagens infravermelhas de algumas edificações.

No primeiro teste, a telha em fibrocimento utilizada foi do tipo ondulada, possuindo cor original sem revestimento (Figura 5 - telha nº 1), espessura de aproximadamente 6 mm e condutividade térmica ( $\lambda$ ) de 0,95 W/(m.K) conforme valores indicados pela NBR-15220-2 (ABNT 2005).

Já as telhas cerâmicas foram do tipo portuguesa, com espessura de aproximadamente 1 cm e condutividade térmica ( $\lambda$ ) de 1,05 W/(m.K) conforme valores indicados pela NBR-15220-2 (ABNT 2005).

Avaliou-se uma telha cerâmica na sua cor original, sem nenhum tipo de revestimento, mostrada como “telha nº 2” na Figura 5.

Além dessa amostra, outro conjunto de telhas com revestimento em tinta foi testado. O qual é formado por 7 telhas de diferentes colorações (Figura 5 - telhas nº 3 ao nº 9).

Não havia informação sobre os tipos e tonalidades das tintas originalmente aplicadas nas telhas, por isso por comparação visual com amostras de tintas utilizadas por Dorneles (2008) foram atribuídas às amostras as seguintes cores\*: branco médio (3), amarelo claro (4), amarelo (5), cinza claro (6), laranja escuro (7), vermelho escuro (8) e verde escuro (9).

\* Nomes comerciais: branco sereno (3), palha (4), amarelo canário (5), cinza BR (6), terracota (7), telha (8), verde quadra (9).

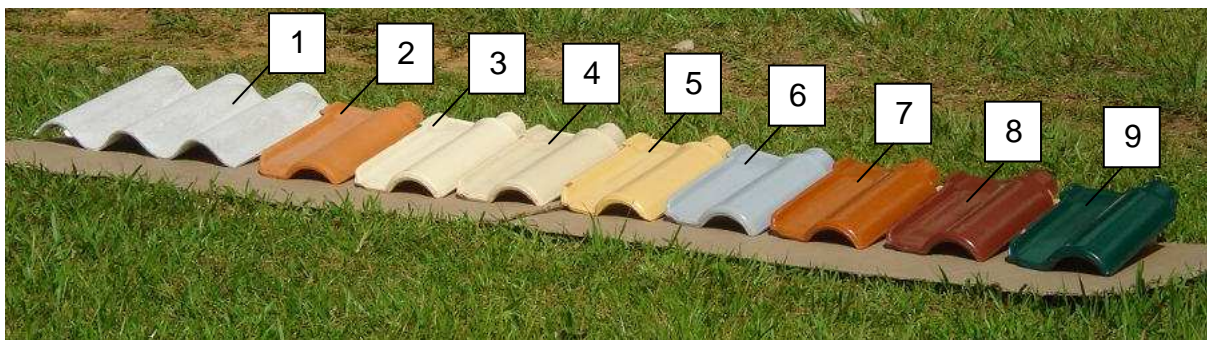



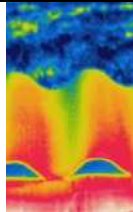

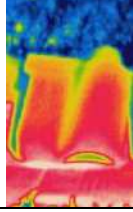
Figura 5. Imagem das amostras de telhas utilizadas nos testes em campo.

Na Tabela 9 são apresentadas as imagens infravermelhas juntamente com as respectivas imagens feitas com câmera fotográfica. Assim como, a amplitude de escala de cada imagem e a temperatura média de cada objeto, verificada no centro da parte convexa da telha.


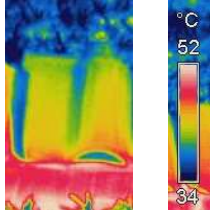

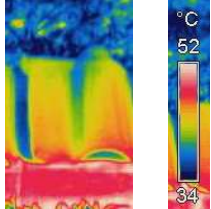

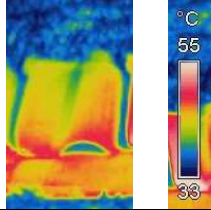

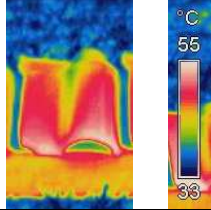

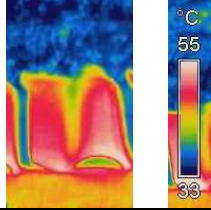

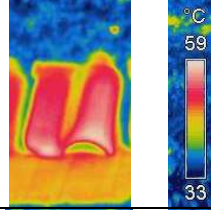

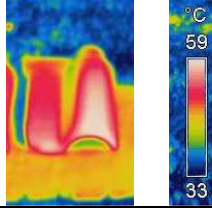
Comparando as duas telhas sem revestimentos (fibrocimento e cerâmica), pode-se perceber que a amplitude da escala de temperatura não difere muito. Mas há uma variação de  $4,7^{\circ}\text{C}$  na temperatura média entre os dois tipos de telhas analisados.

Essa diferença de temperatura média se dá pelos diferentes materiais que cada tipo de telha é constituído, estando também intimamente ligadas a propriedade de absorvância que elas possuem.

Tabela 9. Temperatura Média de 9 tipos de amostras de telhas.

N°	Imagem normal	Imagem infravermelha	T. Média (°C)
1			43,4
2			48,1

Continuação (Tabela 9)

N°	Imagem normal	Imagem infravermelha	T. Média (°C)
3			43,8
4			44,6
5			45,8
6			50,0
7			51,5
8			53,9
9			57,8

Por outro lado, analisando telhas do mesmo material, mas com colorações de revestimento diferentes, por exemplo: telha número 3 e telha número 9. Sendo elas, de cores denominadas branco médio e verde escuro, respectivamente, nota-se uma diferença de aproximadamente 14°C. Esta grande variação de temperatura entre as duas telhas deve-se basicamente aos diferentes valores de absorvância que cada cor possui. De acordo com *Dorneles (2008)* o valor da absorvância ( $\alpha_{TOT}$ ) da cor branco médio é 0,31, enquanto que a absorvância ( $\alpha_{TOT}$ ) do verde escuro é 0,65. Ou seja, verde-escuro absorve muito mais o calor que o branco médio.

Como estimativa mais aproximada, as absorções foram determinadas através do uso de um espectrômetro portátil adaptado as superfícies das telhas, e seguindo o procedimento de medição apresentado por Santos et al. (2009). Na Tabela 10 a seguir, são expostos os valores obtidos para cada telha.

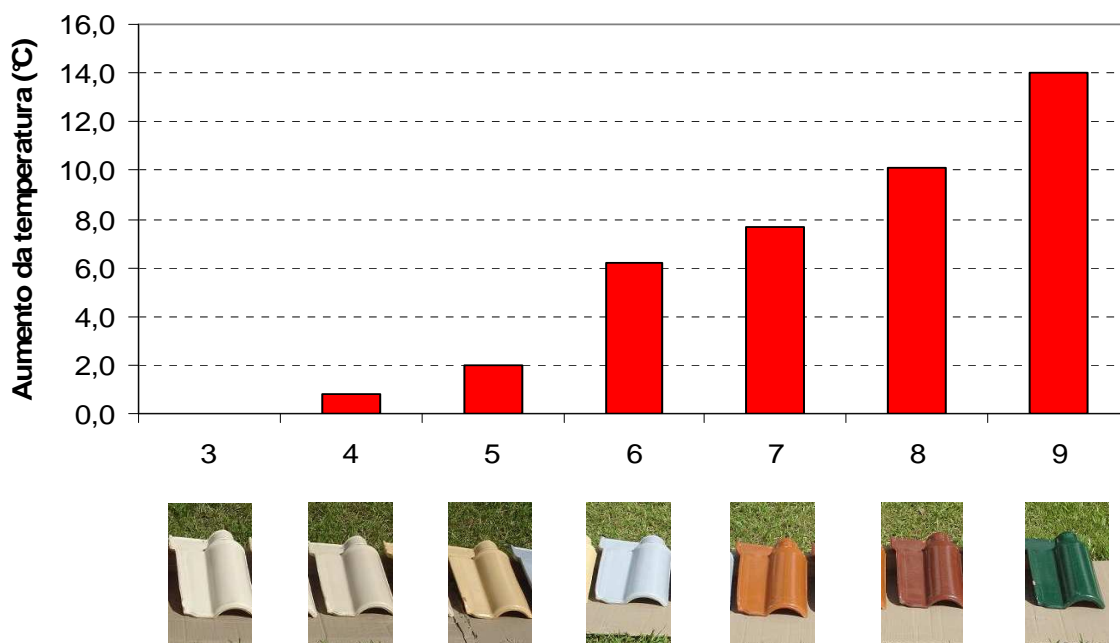
Tabela 10. Valores de absorção das telhas

Amostra	Material / cor	Absorção
2	Cerâmica / sem revestimento	0,60
3	Cerâmica / branco médio	0,35
4	Cerâmica / amarelo claro	0,39
5	Cerâmica / amarelo	0,48
6	Cerâmica / cinza claro	0,70
7	Cerâmica / laranja escuro	0,76
8	Cerâmica / vermelho escuro	0,88
9	Cerâmica / verde escuro	0,96

(OBS: Na telha de fibrocimento não foi possível realizar a medição em função de a curvatura alcançar toda a extensão da telha, não permitindo o posicionamento do sensor).

No gráfico abaixo (Figura 6) são apresentados os valores de aumento de temperatura das telhas cerâmicas revestidas de nº 4 ao nº 9 em relação à telha mais clara (telha nº 3 - branco médio).

Figura 6. Gráfico do aumento da temperatura das telhas revestidas em relação a telha branco médio.



Para calcular o fluxo de calor por condução, assumiu-se uma laje de 12 cm de espessura e um espaço maior que 5 cm entre a telha e a laje.

Analisando as telhas cerâmicas, as quais possuem espessura ( $e$ ) de 1 cm e condutividade térmica ( $\lambda$ ) 1,05 W/ (m.K) através da equação [2], a resistência térmica das telhas cerâmicas foi de 0,010 m<sup>2</sup>/W.

$$R_{\text{telha}} = e / \lambda \quad [2]$$

Aplicando esta mesma equação para a telha de fibrocimento, a qual possui 0,6 cm e condutividade térmica ( $\lambda$ ) 0,95 W/ (m.K), obtêm-se uma resistência térmica da telha ( $R_{\text{telha}}$ ) de 0,0063 m<sup>2</sup>/W.

Para calcular a resistencia termica da laje ( $R_{\text{laje}}$ ), fez-se os mesmos cálculos, mas utilizando o valor de conduividade térmica da laje ( $\lambda$ ) 1,75 W/ (m.K), e o valor da sua espessura (12cm), chegando ao valor de 0,07 m<sup>2</sup>/W.

Com um valor tabelado da resistência térmica da câmara de ar ( $R_{\text{cam\_ar}}=0,21$  m<sup>2</sup>/W) pode-se então, calcular a resistência térmica do telhado utilizando a seguinte equação [3]:

$$R_{\text{telha}} + R_{\text{laje}} + R_{\text{cam\_ar}} = R_{\text{telhado}} \quad [3]$$

Através da equação anterior, a resistência térmica do telhado com telha cerâmica foi de 0,288 m<sup>2</sup>/ W.

E a resistência térmica do telhado com telha fibrocimento foi de 0,285 m<sup>2</sup>/ W.

Assumindo como temperatura na face interna da laje 20°C, e utilizando os valores de temperatura das faces externas de cada terra obtidos pela camera infravermelha na Tabela 9, obtiveram-se valores de fluxo de calor ( $q$ ) através da seguinte equação [4]:

$$T_{\text{su ext}} - T_{\text{sup int}} / R_{\text{telhado}} = q \quad [4]$$

Na Tabela 11 abaixo, os valores de resistência térmica de cada telha são mostrados, assim como seus fluxos de calor. Além disso, é feita uma comparação entre o fluxo de calor de cada telha com a telha mais clara (telha n<sup>3</sup>).

Tabela 11.Variações no fluxo de calor da amostra de telhas.

Telha	T <sub>su ext</sub> (°C)	T <sub>su int</sub> (°C)	R <sub>telhado</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	q (W/m <sup>2</sup> )	Varição Abs. (W/m <sup>2</sup> )	Varição Rel. (%)
1	43,4	20	0,285	82,13777	-0,473803027	-1%
2	48,1	20	0,288	97,53719	14,92561983	18%
3	43,8	20	0,288	82,61157	0	0%
4	44,6	20	0,288	85,38843	2,776859504	3%
5	45,8	20	0,288	89,55372	6,94214876	8%
6	50,0	20	0,288	104,1322	21,52066116	26%
7	51,5	20	0,288	109,3388	26,72727273	32%
8	53,9	20	0,288	117,6694	35,05785124	42%
9	57,8	20	0,288	131,2066	48,59504132	59%

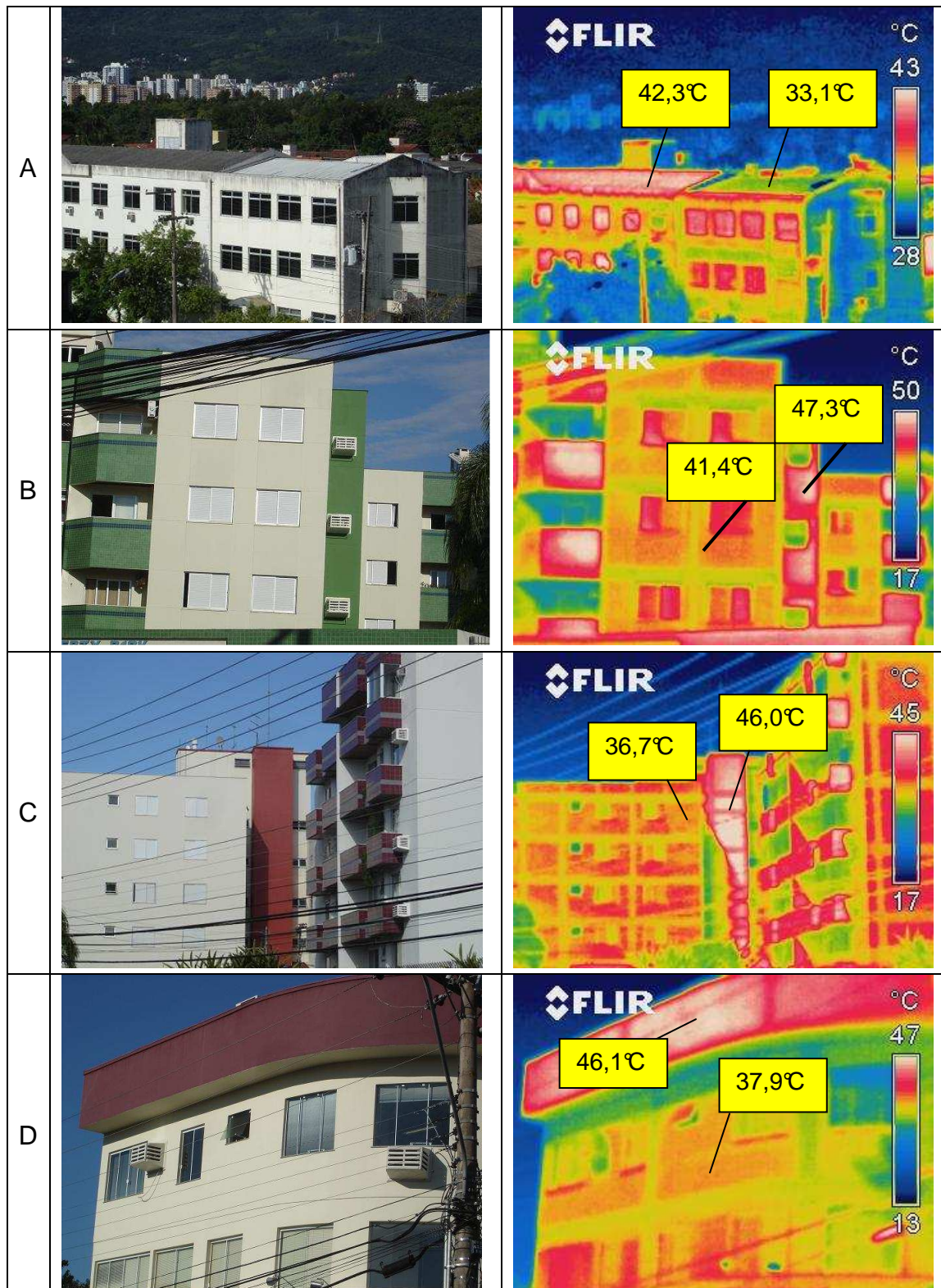
A partir destes resultados, pode-se perceber que a diferença em porcentagem do fluxo de calor entre a telha cerâmica mais clara (n<sup>3</sup>) e mais escura (n<sup>9</sup>) foi de aproximadamente 59%. Além disso, a telha em fibrocimento (n<sup>1</sup>) teve melhor desempenho com um fluxo de 1% menor que a telha cerâmica mais clara (n<sup>3</sup>).



## 7. CATÁLOGO DE IMAGENS

Os testes em edificações foram realizados no dia 19 de março de 2010, onde a temperatura média do ar era 31°C, a umidade relativa do ar era 57% e a radiação horizontal média estava entre 600 – 700 W/m<sup>2</sup>. Na Tabela 12 pode-se avaliar as imagens infravermelhas, e algumas temperaturas das paredes e telhados são apresentadas.

Tabela 12. Imagens reais e infravermelhas de cada edificações, respectivamente.



## 8. CONCLUSÕES

O uso de imagens em infravermelho é uma técnica nova e ainda pouco difundida no Brasil, especialmente na área da construção civil. No entanto, ela apresenta um potencial muito grande para aplicações de suporte para análises (térmicas, patológicas, energética, etc.) de elementos construtivos ou da edificação como um todo. Na questão térmica, esta tecnologia pode ser extremamente útil para melhorias do conforto ambiental aliadas a redução do consumo de energia uma vez que contribui para a melhor escolha do material.

Ter conhecimento sobre as variáveis de entrada (emissividade e temperatura refletida) utilizadas na câmera infravermelha é imprescindível para a obtenção de resultados corretos. Através dos testes realizados em laboratório, variando cada uma desses parâmetros, foi possível perceber que a temperatura refletida tem pouca influência sobre o valor final da temperatura do objeto analisado ( $\pm 1,2^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}$  para valor de TR <  $105^{\circ}\text{C}$ ;  $\pm 2,4^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}$  para valor de TR >  $105^{\circ}\text{C}$ ). Por outro lado a alteração da emissividade ocasionou significativas variações de temperaturas ( $\pm 7,1^{\circ}\text{C}/0,10$  para  $\varepsilon < 0,50$ ;  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}/0,10$  para  $\varepsilon > 0,50$ ), o que torna o conhecimento desta variável muito importante especialmente em testes de materiais com característica de baixa emissão de radiação (ou alta reflexão).

Outro parâmetro de grande influência sobre a temperatura do objeto observado em testes realizados com um conjunto de telhas cerâmicas com diferentes colorações de revestimentos foi a absorvância. Analisando a telha mais clara (branco médio) e a mais escura (verde escuro) da amostra foi possível perceber uma variação de aproximadamente  $14^{\circ}\text{C}$  na temperatura destas. Diferença esta devida basicamente aos diferentes valores de absorvância que cada cor possui.

Ainda analisando a grande diferença de temperatura entre a telha mais clara e a mais escura da amostra, fez-se uma simulação de cálculo para se obter os valores de fluxo de calor em um telhado composto com as diferentes cores de telhas propostas. E a partir disso, obteve-se uma diferença no fluxo de calor entre a telha mais clara e a mais escura de aproximadamente 59%.

Através dos parâmetros propostos neste trabalho, fica claro como o acabamento superficial do elemento (com sua respectiva absorvância) tem influência direta sobre a temperatura e conseqüente sobre o fluxo de calor gerado através do componente. Isso ressalta mais uma vez que a escolha do elemento construtivo ou de seu acabamento baseada apenas na questão estética pode ser perigosa, e também com o uso de imagens infravermelhas e do conhecimento da absorvância é valioso para o melhor desempenho térmico e energético das edificações.

## REFERÊNCIAS

- ABNT -NBR-15220-2 - **Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**.Rio de Janeiro (2005).
- ASTM E1933-97, Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA, 1997.
- Avdelidis, N.P.; Moropoulou, A. **Emissivity considerations in building thermography**. Energy and Buildings, v.35 (2003) p.663-667.
- Balaras, C.A.; Argiriou, A.A. **Infrared thermography for building diagnostics**. Energy and Buildings, v.34 (2002) p.171-183.
- Barreira, E.; Freitas, V.P. **Evaluation of buildings materials using infrared thermography**. Construction and Building Materials, v.21 (2007) p.218-224.
- Dornelles, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA** / Kelen Almeida Dornelles.--Campinas, SP: [s.n.],2008.
- FLIR SYSTEMS, **Manual do operador**. ThermaCAM E25. 2005.
- Grinzato, E.; Vavilov, V.; Kauppinem, T. **Quantitative infrared thermography in buildings**. Energy and Buildings, v.29 (1998) p.1-9.
- Guerrero, I.C.; Ocaña, S.M.; Requena, I.G. **Thermal - physical aspects of materials used for the construction of rural buildings in Soria (Spain)**. Construction and Buildings Materials, v.19 ( 2005 ) p.197-211.
- Incropera, F. P. e DeWitt, D. P. **Fundamentos da transferência de calor e massa**. 5ª edição, editora LTC. Rio de janeiro, RJ, 2003 .
- Ocaña, S.M.; Guerrero, I.C.; Requena, I.G. **Evaluation of buildings materials using infrared thermography**. Energy and Buildings, v.36 (2004) p.515-523.
- SANTOS, Elisiane I. ; MARINOSKI, D. L. ; LAMBERTS, Roberto . **Influência do ambiente de medição sobre a verificação da absortância de superfícies opacas utilizando um espectrômetro portátil**. In: ENCAC 2009, 2009, NATAL -RN. ANAIS DO ENCAC 2009, 2009.
- Wu, Y.; Li, D.; Lui, L.; Bai, J.; Feng, J. **Thermographic Method for Evaluation of Thermal Influence of Exterior Surface Colour of Buildings**. 2008 International Conference an Optical Instruments and Technology: Optoelectronic Measurement Technology and Applications, edited by Shenghua Ye, Guangjun Zhang, Jun Ni, Proc. Of SPIE Vol.7160 716037.