



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

ENTAC 2010

XIII Encontro Nacional de Tecnologia
do Ambiente Construído

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS EM INFRAVERMELHO PARA ANÁLISE TÉRMICA DE COMPONENTES CONSTRUTIVOS

**Deivis Luis Marinoski (1); Gabriela Triches de Souza(2); Juliana May Sangoi(3);
Roberto Lamberts(4)**

- (1) LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Universidade Federal de Santa Catarina – e-mail: deivis@labeee.ufsc.br
- (2) LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Universidade Federal de Santa Catarina – e-mail: gabitriches@hotmail.com
- (3) LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Universidade Federal de Santa Catarina – e-mail: julimaysangoi@hotmail.com
- (4) LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Universidade Federal de Santa Catarina – e-mail: lamberts@ecv.ufsc.br

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 coberturas ou fachadas 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. Como exemplo, um teste de campo foi realizado, verificando a temperatura superficial de 9 amostras de telhas com diferentes cores de acabamento superficial.

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

1 INTRODUÇÃO

Observando o aumento da temperatura devido ao aquecimento global e também a busca pela melhoria da eficiência energética, o setor da construção civil estuda mais alternativas para manter ou melhorar o conforto térmico, seja no ambiente de trabalho ou em residências. Uma delas é analisar termicamente os materiais que compõem a envoltória da edificação. 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.

Dentro deste contexto é conhecido o fato de que a seleção das cores utilizadas nas construções são muitas vezes subjetivas e decididas pelo estilo arquitetônico e senso visual dos arquitetos e proprietários (WU *et al.*, 2008). Isto demonstra que há uma grande falta de base científica para a escolha da cor ou acabamento superficial externo dado às edificações.

Em regiões de clima quente (como no Brasil) as temperaturas no meio exterior e os níveis de radiação solar incidente nos fechamentos das edificações atingem valores elevados. Nestas condições, a aplicação de materiais que tenham aquecimento reduzido em função da menor absorção da radiação solar pode proporcionar redução dos 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 técnica inovadora 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. Nos últimos anos várias pesquisas têm sido realizadas aplicando esta técnica em diversos campos de estudos relativos à construção civil (GRINZATO *et al.*, 1998; BALARAS e ARGIRIOU, 2002; OCAÑA *et al.*, 2004).

Sobre processo de medição em infravermelho, destaca-se a importância da definição das variáveis de entrada (emissividade e temperatura refletida), assim como aspectos externos (ângulo de medição, incidência de radiação solar e outras condições ambientais) que influenciam na correta obtenção de imagens térmicas (AVDELILDIS e MOROPOULOU, 2003; GUERRERO *et al.*, 2005; BARREIRA e FREITAS, 2007).

No entanto, apesar da grande relevância do tema, até o momento não se tem conhecimento de estudos nacionais utilizando imagens em infravermelho para analisar as edificações com o intuito de melhoramento do conforto térmico. Além disso, na literatura internacional a maioria dos trabalhos analisa edificações em regiões com condições ambientais diferentes das existentes no Brasil.

Por isso, o objetivo principal deste artigo é demonstrar como a verificação de temperaturas superficiais com imagens em infravermelho é uma ferramenta importante e pode ser usada para avaliar o ganho de calor através de elementos opacos utilizados em coberturas ou fachadas de edificações no Brasil. Também é analisada a influência das alterações nos valores das variáveis de entrada da câmera infravermelha (emissividade e temperatura refletida) sobre o resultado da temperatura superficial.

2 CÂMERA INFRAVERMELHA

2.1 Especificações técnicas

A câmera infravermelha (IR) utilizada neste estudo foi a modelo ThermaCAMTM 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.

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.



Figura 1. Câmera IR

Tabela 1. Características básicas da câmera

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

2.2 Variáveis de entrada

2.2.1 Emissividade (ϵ)

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.

Tabela 2. Valores típicos de emissividade para alguns materiais (INCROPERA e DEWITT, 2003).

Descrição/Composição	Emissividade (ϵ)*
Alumínio – altamente polido	0,04
Aço inoxidável – típico, polido	0,17
Areia	0,90
Concreto	0,88 – 0,93
Janela de vidro	0,90 – 0,95
Tijolo vermelho	0,93 – 0,96
Madeira	0,82 – 0,92
Solo	0,93 – 0,96
Vegetação	0,92 – 0,96

*Todos os materiais descritos estão a 300K ou 27°C.

2.2.2 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 (ajuste na câmera) corretamente a temperatura refletida. (FLIR SYSTEMS, 2005).

2.3 Recomendações de utilização

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

- Devido à fragilidade dos componentes eletrônicos e das lentes o cuidado ao manusear a câmera é imprescindível;
- 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 posicionar a câmera o mais perpendicularmente possível ao objeto em análise;
- Ajuste do foco para melhorar a nitidez da imagem;
- Dar atenção à distância entre a câmera e o objeto. Se o objeto em questão possuir baixa emissividade e estiver a uma grande distância (ex: 100m), a câmera não conseguirá ler corretamente a irradiação do objeto, chegando a valores incorretos de temperatura.

3 ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NOS VALORES DE EMISSIVIDADE E TEMPERATURA REFLETIDA.

Testes experimentais foram realizados em laboratório, a uma temperatura estável de 24°C, e tiveram como objeto alvo de medição um aparelho estabilizador de energia ligado (gerando calor), colocado sobre uma mesa de escritório como mostra a Figura 2.

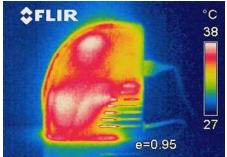
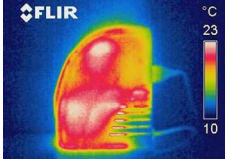
Para fazer as imagens, a câmera foi posicionada perpendicularmente ao objeto e com distância de medição aproximada de 1,5 metros. Foram realizados dois tipos de teste com o objeto de medição (estabilizador). Um, alterando as temperaturas refletidas e outro teste alterando os valores de emissividade do objeto.



Figura 2. Objeto de medição em laboratório.

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 ThermoCAM™QuickView, foi elaborado um gráfico apresentando a variação da temperatura média (ΔTM) do objeto em relação à variação da temperatura refletida (ΔTR) alterada a cada medição.

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

Imagem	TR (°C)	Amplitude (°C)	TM (°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	28,0 - 15,0	24,2
	165	26,0 - 12,8	22,0
	185	23,5 - 9,8	19,3

O gráfico da 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 valores foram alcançados a partir da seguinte equação $\Delta T = T_i - T_1$, para (i) variando de 2 até n, onde n é o número de medições.

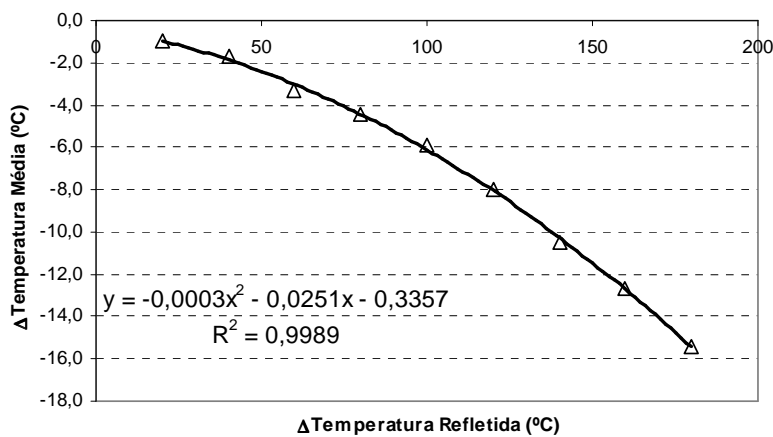


Figura 3. Variação da temperatura média do objeto em função da variação da temperatura refletida.

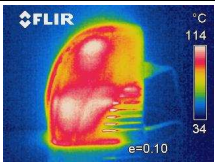
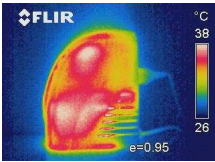
Tabela 4. Diferença entre variações na TM ($T_{i+1} - T_i$) alterando valores de TR.

ΔTR (°C)	ΔTM (°C)	Diferença na TM ($T_{i+1} - T_i$) (°C)	Diferença média na TM / ΔTR
5	0,0	-	$\pm 1,2^\circ\text{C} / 20^\circ\text{C}$
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	$\pm 2,4^\circ\text{C} / 20^\circ\text{C}$
120	-8,0	-2,1	
140	-10,5	-2,5	
160	-12,7	-2,2	
180	-15,4	-2,7	

De acordo com a Tabela 4 é possível perceber que uma variação (Δ) 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 $\pm 2,4^\circ\text{C}$.

Em um segundo teste, a variável de entrada a ser fixada foi a temperatura refletida ($T_R = 25^\circ\text{C}$), variando a emissividade (ϵ) 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.

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

Imagem	ϵ	Amplitude ($^\circ\text{C}$)	TM ($^\circ\text{C}$)
	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

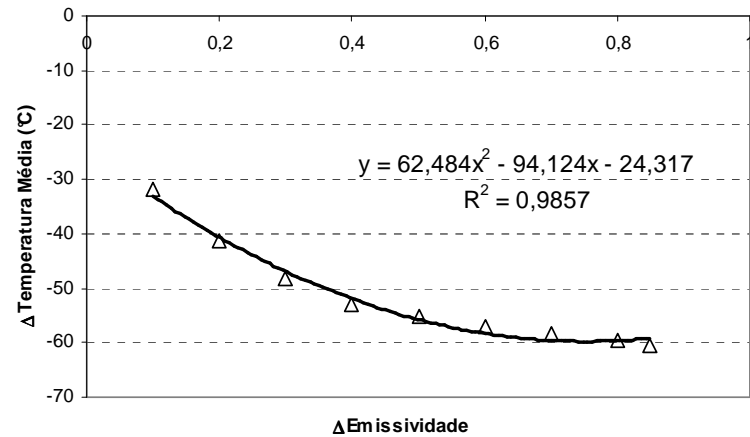


Figura 4. Variação da temperatura média do objeto em função da variação da emissividade.

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

$\Delta\epsilon$	ΔTM ($^\circ\text{C}$)	Diferença na TM ($T_{i+1} - T_i$) ($^\circ\text{C}$)	Diferença Média na TM / $\Delta\epsilon$
0,10	-31,7	-	$\pm 7,1^\circ\text{C} / 0,10$
0,20	-41,4	-9,7	
0,30	-48,4	-7,0	
0,40	-52,9	-4,5	
0,50	-55,3	-2,4	$\pm 1,5^\circ\text{C} / 0,10$
0,60	-57,1	-1,8	
0,70	-58,2	-1,1	
0,80	-59,7	-1,5	
0,85	-60,4	-0,7	

Assim como no primeiro teste, após analisar as imagens, foi também elaborado um gráfico (Figura 4) apresentando a variação da temperatura média (ΔTM) do objeto em relação à variação da emissividade ($\Delta\epsilon$) alterada a cada medição.

A sequência de pontos plotados no gráfico $\Delta\epsilon \times \Delta\text{TM}$, 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 ϵ . A Tabela 6 apresenta esta diferença entre cada ponto ($T_{i+1} - T_i$), e o valor médio encontrado em dois segmentos: o primeiro para $\Delta\epsilon$ entre 0,10 e 0,40 (ou até $\epsilon = 0,50$ absoluto); e o segundo para $\Delta\epsilon$ entre 0,40 e 0,85 (ou de $0,50 < \epsilon < 0,95$ absoluto).

De acordo com a Tabela 6 é possível perceber que uma variação (Δ) da ϵ de 0,10 representa uma diferença média na TM do objeto de $\pm 7,1^\circ\text{C}$ para ϵ de até 0,50 (absoluto). Por exemplo, no caso de uma TM de 50°C para um determinado objeto com ϵ 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 ϵ maiores que 0,50 (absoluto) ocasiona uma diferença média na TM do objeto de $\pm 1,5^\circ\text{C}$.


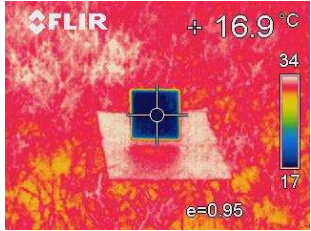


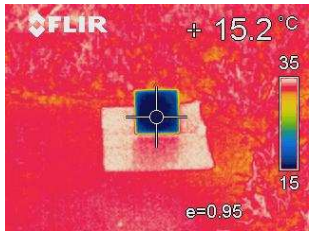

4 VERIFICAÇÃO *IN LOCO* DA TEMPERATURA REFLETIDA.

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 plana 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 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.

Este teste foi realizado em dois locais diferentes (diferentes condições de entorno), sendo a temperatura média na placa de alumínio em cada um deles mostrada na Tabela 7 abaixo:

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

Condição	Imagem visível	Imagem infravermelha	Imagem do entorno	TM (°C)
Obstruções afastadas				16,9
Obstruções próximas				15,2

Apesar das significativas diferenças nas condições de entorno (uma delas com obstruções bem 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.

Mas de acordo com os testes realizados em laboratório (Tabela 4), 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 e sob as mesmas condições ambientais em que foi verificada a TR (~16°C) da Tabela 7, e utilizar nessa medição o valor da temperatura do ar (~30°C) do dia da verificação 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.

5 TESTE EM CAMPO

Um teste de campo foi realizado para demonstrar o uso da termográfica por infravermelho aplicado ao estudo de componentes da envoltória das edificações (neste caso a cobertura). Foram testadas 8 amostras de telhas cerâmicas e 1 telha de fibrocimento, para comparar os comportamentos térmicos entre elas. (Condições de teste: $T_{ar} = TR = 30^{\circ}C$; $\epsilon = 0,95$; $Rad = 600-800W/m^2$; tempo de exposição = 4horas). A telha em fibrocimento utilizada foi do tipo ondulada, com espessura de aproximadamente 6,0mm, e condutividade térmica (λ) de 0,95W/(m.K). Já as telhas cerâmicas são do tipo portuguesa, com espessura de aproximadamente 1,0cm e condutividade térmica (λ) de 1,05W/(m.K). OBS.: Valores de λ conforme indicados na NBR-15220-2 (ABNT, 2005).

As amostras de telhas são apresentadas na Figura 5, onde o número 1 e 2 apresentam a cor original, enquanto as demais amostras (n° 3 a 9) são esmaltadas, tendo diferentes colorações. O fabricante local não disponibiliza 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 cores¹: branco médio (3), amarelo claro (4), amarelo (5), cinza claro (6), laranja escuro (7), vermelho escuro (8) e verde escuro (9).

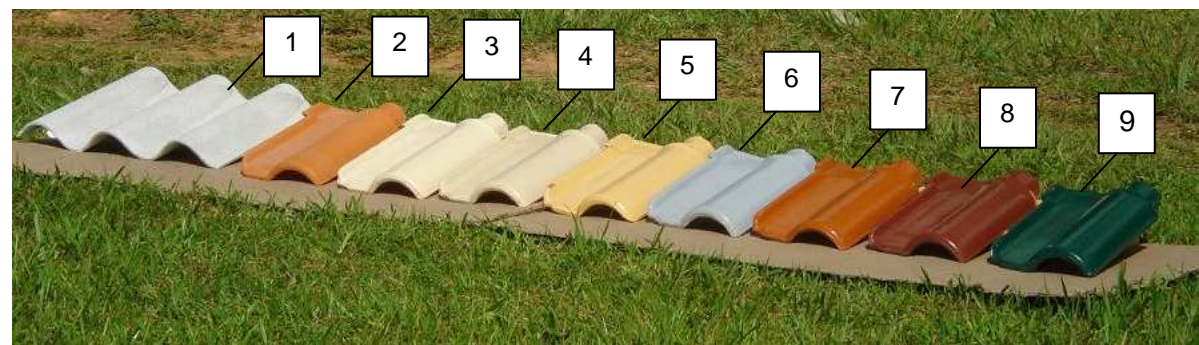

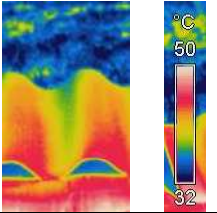

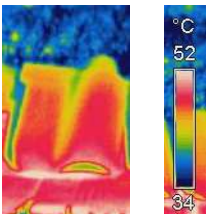

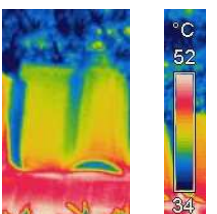

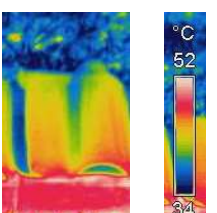


Figura 5. Imagem das amostras de telhas utilizadas nos testes em campo.

Na Tabela 8 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.

Tabela 8. Temperatura Média de 9 tipos de amostras de telhas.

n°	Imagem visível	Imagem infravermelha	TM (°C)
1			43,4
2			48,1
3			43,8
4			44,6

Continua...

Comparando as duas telhas não esmaltadas (fibrocimento (1) e cerâmica (2)), pode-se perceber que a amplitude da escala de temperatura não difere muito. Mas há uma variação de 4,7°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 à propriedade de absortância que elas possuem.

Analisando as telhas de material cerâmico, mas com diferentes colorações de esmalte, como por exemplo, a telha número 3 e telha número 9 (cores denominadas branco médio e verde escuro, respectivamente), nota-se uma diferença de aproximadamente 14°C entre a TM de cada uma delas. Neste caso pode-se dizer que esta grande variação de temperatura entre as duas telhas deve-se basicamente aos diferentes valores de absortância que cada cor possui.

De acordo com Dorneles (2008) o valor da absortância (α) da cor branco médio é 31%, enquanto que a absortância do verde escuro é 65,2%. Ou seja, verde escuro absorve uma maior quantidade (o dobro) de calor que o branco médio.

Como estimativa mais aproximada, as absortâncias foram determinadas através do uso de um espectrômetro portátil adaptado as superfície das telhas, e seguindo o procedimento de medição apresentado por Santos et al. (2009). A Tabela 9 mostra os resultados observados.

¹ Nomes comerciais: branco sereno (3), palha (4), amarelo canário (5), cinza BR (6), terracota (7), telha (8), verde quadra (9).

Continuação (Tabela 8)


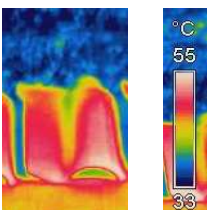
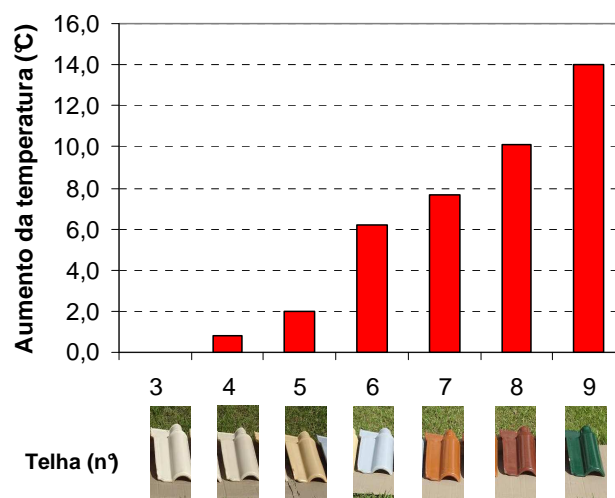
n°	Imagem visível	Imagem infravermelha	TM (°C)
5			45,8
6			50,0
7			51,5
8			53,9
9			57,8

Tabela 9. Absortância medida nas telhas.

Telha	Acabamento	Absortância
2	Cerâmica não esmaltada	0,60
3	Branco médio	0,35
4	Amarelo claro	0,39
5	Amarelo	0,48
6	Cinza claro	0,70
7	Laranja escuro	0,76
8	Vermelho escuro	0,88
9	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 (n° 4 ao n° 9) em relação à telha mais clara (telha n° 3 - branco médio).

Figura 6. Gráfico do aumento da temperatura das telhas revestidas em relação à telha cor branco médio (n° 3).

Também uma estimativa do fluxo de calor através das telhas foi realizada para fins de comparação entre elas. Assumindo-se uma laje de concreto de 12cm de espessura e um espaço de ar maior que 5cm entre a telha e a laje, foi calculado o fluxo de calor entre a superfície externa da telha e a superfície interna da laje. Para a superfície interna da laje foi adotado um valor fixo de 20°C.

Adotando os princípios de cálculo da NBR 15220-2 (ABNT, 2005) o resultado da resistência térmica ($R_{\text{telha}} + R_{\text{câmara de ar}} + R_{\text{laje}}$) para o telhado com telha cerâmica foi de 0,288m²K/W, e do telhado com telha fibrocimento foi de 0,285m²K/W. A Tabela 10 apresenta os resultados dos fluxos de calor calculados em função da diferença de temperatura ($T_{\text{sup ext telha}} - T_{\text{sup int laje}}$) encontrada para cada telha, bem como a variação relativa do ganho de calor em relação à telha n° 3 (menor absortância conhecida).

A partir destes resultados, observa-se que a diferença em percentual (%) do fluxo de calor entre a telha cerâmica mais clara (n°3) e mais escura (n°9) foi de aproximadamente 59%. Além disso, a telha em fibrocimento (n°1) teve melhor desempenho com um fluxo 1% menor que a telha cerâmica mais clara (n°3). Embora não tenha sido determinada a absortância da telha de fibrocimento, o valor da temperatura superficial observado na imagem em infravermelho da um indicativo de que a sua

absortância também seja reduzida, ficando próxima ao valor da absortância encontrada na telha nº 3.

Tabela 10. Variações no fluxo de calor em cada amostra de telhas

Telha nº	T _{sup ext telha} (°C)	T _{sup int laje} (°C)	R (m²K /W)	q (W/m²)	Variação Relativa (%)
1	43,4	20	0,285	82,1	-1%
2	48,1	20	0,288	97,5	18%
3	43,8	20	0,288	82,6	-
4	44,6	20	0,288	85,4	3%
5	45,8	20	0,288	89,6	8%
6	50,0	20	0,288	104,1	26%
7	51,5	20	0,288	109,3	32%
8	53,9	20	0,288	117,7	42%
9	57,8	20	0,288	131,2	59%

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

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 potencialmente 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 e na redução do consumo de energia uma vez que contribui para a melhor escolha do material.

Um ponto destacado neste trabalho foi que o conhecimento sobre as variáveis de entrada (emissividade e temperatura refletida) utilizadas na câmera infravermelha é necessário 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).

Sobre a medição de campo com as telhas, fica claro como o acabamento superficial do elemento (com sua respectiva absortância) 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 absortância é valioso para o melhor desempenho térmico e energético das edificações.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (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.

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, K. A. **Absortância Solar de superfícies opacas: Conceitos, Métodos de determinação e base de dados para tintas imobiliárias**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2008.

FLIR SYSTEMS, **Manual do operador ThermoCAM 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**. 5º 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, E. I.; Marinoski, D. L. M.; Lamberts, R. **Influencia do ambiente de medição sobre a verificação da absorvência de superfícies opacas utilizando um espectrômetro portátil**. X ENCAC, Natal, 2009.

Wu, Y.; Li, D.; Lui, L.; Bai, J.; Feng, J. **Thermographic Method for Evaluation of Thermal Influence of Exterior Surface Colors of Buildings**. 2008 International Conference on Optical Instruments and Technology: Optoelectronic Measurement Technology and Applications, edited by Shenghua Ye, Guangjun Zhang, Jun Ni, Proc. Of SPIE Vol.7160 716037.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES, FEESC e ELETROBRAS/PROCEL pelos recursos financeiros aplicados no financiamento deste estudo.