

Bernardete Dinis

TERMOGRAFIA APLICADA À FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES

Universidade Fernando Pessoa

Porto, 2009

Bernardete Dinis

TERMOGRAFIA APLICADA À FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES

Monografia apresentada à Universidade
Fernando Pessoa como parte dos requisitos
para obtenção do grau de Licenciada em
Engenharia Civil;

Bernardete Dinis

TERMOGRAFIA APLICADA À FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES

Esta Monografia é um Texto Original

AGRADECIMENTOS

É minha opinião que na vida nada se consegue sozinho. A ajuda de terceiros, quer a título meramente profissional, em nome de uma amizade ou ambas é factor fundamental para individualmente se evoluir. No que diz respeito ao meu ainda jovem percurso no mundo profissional, não foi diferente. Neste sentido, gostaria de agradecer e referenciar algumas pessoas que, directamente ou indirectamente, me marcaram e continuam a marcar nesta minha caminhada.

Tenho de começar inevitavelmente pelos meus pais, agradecendo-lhes por todo o apoio prestado ao longo da minha vida académica, por confiarem em mim, por me apoiarem e sobretudo pelo esforço que fizeram para me tentarem dar um futuro melhor.

Ao meu namorado, por todo o apoio prestado, pela atenção e por não me ter deixado desistir nos meus momentos mais difíceis.

Ao Professor Miguel Ferreira, que generosamente aceitou o convite para me ajudar, por toda a disponibilidade e apoio prestado a nível da elaboração deste projecto, sendo que seria infinitamente mais difícil a elaboração do mesmo sem a sua ajuda.

Não poderia deixar de agradecer a todos os professores da Universidade Fernando Pessoa que contribuíram para a minha formação académica e profissional, a todos o meu muito obrigado.

A todos os que apesar de não mencionar aqui, contribuíram ao longo do decorrer da minha vida académica para a concretização deste meu objectivo.

RESUMO

Actualmente começa a existir uma maior atenção para a especificidade do sector da construção e para a necessidade de intervenção em diversos domínios para acabar com alguns problemas que teimam em persistir como é o caso da fraca Eficiência Térmica de muitos dos Edifícios.

Os Estudos Térmicos conduzem ao aperfeiçoamento das soluções e à definição de regras qualitativas e quantitativas para a concepção e execução dos elementos construtivos, possibilitando garantir a sua durabilidade e, fundamentalmente, assegurar conforto aos utilizadores.

A grande maioria das patologias dos materiais e componentes está associada à solicitação temperatura, pelo que a sua medição poderá constituir um importante auxílio para a compreensão dos fenómenos que estão na origem das anomalias.

No presente trabalho foi estudado o princípio de funcionamento da termografia por infravermelhos, nomeadamente, os aspectos teóricos relativos à medição da temperatura por infravermelhos e os factores que influenciam a medição da radiação emitida pelas superfícies.

Foi ainda abordada a temática da Certificação Energética dos Edifícios, assumindo esta, um importante papel no contexto actual da Construção, com especial cuidado para os elementos definidos pela nova legislação e o papel desempenhado pelos Peritos Qualificados, que terão toda a vantagem em usar as técnicas de termografia. Por fim aborda-se a termografia qualitativa e quantitativa, esta última com especial incidência no cálculo aproximado dos coeficientes de transmissão térmica. São ainda apontadas as dificuldades com que se deparam os técnicos no processo de inspecção.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ÍNDICE	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABELAS	VIII
GLOSSÁRIO	IX
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO I - ENQUADRAMENTO DO SECTOR ENERGÉTICO	
EM EDIFÍCIO	3
I.1 - Conceito de Termografia	7
I.1.1 - Princípios da Termografia	8
I.1.2 - Termografia por Infravermelhos	8
I.1.3 - Interpretação de Imagens Térmicas	11
I.1.3.1 - Transmissão de Energia	12
I.1.4 – Temperatura	15
I.1.4.1 - Paletas de Cor para Temperaturas Aparentes	15
I.1.4.2 - Reflexões Pontuais	16
I.1.5 - Método Qualitativo vs Método Quantitativo	16
I.1.6 - Lei de Stefan-Boltzmann	18
I.2 - Inspeção Termográfica	19
I.2.1 - Funções de Medição da Câmara	19
I.2.2 – Emissividade	20
I.2.3 - Materiais Metálicos vs Materiais não Metálicos	21
I.2.4 - Termografia Intrusiva vs Termografia não Intrusiva	22

I.2.5 - Tipos de Câmaras Termográficas	22
I.2.6 - Escolha da Câmara Termográfica	24
I.3 - Aplicação da Termografia	26
I.3.1 - Termografia em Edifícios	26
I.3.2 - Termografia Aplicada à Electricidade	31
I.3.2.1 - Vantagens da Termografia Eléctrica	32
I.3.2.2 - Limitações na Aplicação à Electricidade	34
I.3.3 - Outras Aplicações da Termografia	34
CAPÍTULO II - CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS	36
II.1 – Histórico	36
II.2 - Principais Requisitos do RCCTE e do RSECE	37
II.2.1 - Papel do Perito nas Fases de Certificação	38
II.2.2 - Empresas de Certificação	39
II.2.3 - Entidades com Participação no SCE e Papel Desempenhado	40
II.2.4 - Funções do Perito Qualificado no Âmbito do SCE	41
II.2.5 - Fiscalização da Actuação dos Peritos Qualificados	41
II.3 - Método Detalhado e Método Simplificado	42
II.3.1 - Sistemas de Colectores Solares	43
II.3.2 - Ventilação Natural	45
II.3.3 - Pontes Térmicas	46
II.3.3.1 - Pontes Térmicas Lineares	47
II.3.3.2 - Pontes Térmicas Planas	49
CAPÍTULO III - APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA À CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS	50
III.1 - Técnicas de Inspeção	50
III.1.1 - Termografia Qualitativa	52
III.1.1.1 - Identificação de Pontes Térmicas	53

III.1.1.1.1 - Pontes Térmicas Lineares	56
III.1.1.1.2 - Pontes Térmicas Planas	59
III.1.2 - Termografia Quantitativa	60
III.1.2.1 - Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica	61
III.1.2.1.1 - Cálculo do U pela Norma DIN (método simplificado)	61
III.1.2.1.2 - Cálculo do U através de Metodologia Desenvolvida pelos Eng^{os} António Cardoso e Miguel Ferreira	62
III.2 - Exemplo Prático do Cálculo do U Integrando o Uso da Termografia	66
CONCLUSÃO	68
BIBLIOGRAFIA	70
ANEXOS	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Consumo de Energia Eléctrica por Sector	3
Figura 1.2 - Repartição do Consumo Doméstico de Electricidade	6
Figura 1.3 - Espectro Electromagnético	7
Figura 1.4 - Espectro Parcial	7
Figura 1.5 - Bandas do Espectro Electromagnético	8
Figura 1.6 - Radiação de Corpos Reais	9
Figura 1.7 - Mecanismos de Transmissão de Calor em Edifícios	12
Figura 1.8 - Passos na Captação da Imagem	21
Figura 1.9 - Modelos de Câmaras Termográficas	23
Figura 1.10 - Detecção de uma infiltração não visível	27
Figura 1.11 - Infiltração de Água	27
Figura 1.12 - Perdas de Calor Vindas do Interior do Edifício	28
Figuras 1.13 - Distribuição do Ar com um Sistema de Ventilação Mecânica	28
Figura 1.14 - Localização de Redes Interiores	28
Figura 1.15 - Imagem Termográfica	29
Figura 1.16 - Imagem Termográfica de Duas Habitações	30
Figura 1.17 - Imagem Termográfica de Pontes Térmicas	31
Figura 1.18 - Termografia Aplicada à Electricidade	33
Figura 2.1 - Fases da Entrada em Vigor do SCE	37
Figura 2.2 - Fases da Intervenção do Perito	39
Figura 2.3 - Pontes Térmicas Lineares pela Transição entre Diferentes Materiais	47
Figura 2.4 - Ponte Térmica Devido a Alterações de Espessura	47
Figura 2.5 - Correção de uma Ponte Térmica na Zona de um Pilar e Viga	47
Figura 2.6 - Pilares de Canto Salientes	49
Figura 3.1 - Ponte Térmica	53
Figura 3.2 - Problemas em Coberturas	54

Figura 3.3 - Fugas de Ar pelas Janelas	55
Figura 3.4 - Fugas de Ar pela Envolvente Opaca	55
Figura 3.5 - Paredes em Contacto com o Solo	56
Figura 3.6 - Paredes em Contacto com o Solo Sem Isolamento Térmico	56
Figura 3.7 - Paredes em Contacto com o Solo Com Isolamento Térmico	56
Figura 3.8 - Ligação da Fachada com Pavimentos sobre Locais não Aquecidos	57
Figura 3.9 - Ligação da Fachada com Cobertura Inclinada ou Terraço	57
Figura 3.10 - Ligação da Fachada com Varanda	57
Figura 3.11 - Ligação da Fachada com Caixa de Estore	57
Figura 3.12 - Ligação entre Duas Paredes Verticais	58
Figura 3.13 - Ligação da Fachada com Pavimentos Intermédios	58
Figura 3.14 - Ligação da Fachada/Ombreira, Padieira ou Peitoril	58
Figura 3.15 - Ligação da Fachada com Pavimentos Téreos	58
Figura 3.16 - Pilar Intermédio	59
Figura 3.17 - Talão de Viga	59
Figura 3.18 - Caixa de Estore	59
Figura 3.19 - Vigas/Topo das Lajes	60
Figura 3.20 - Determinação do U	66

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Classes Energéticas _____	5
Tabela 1.2 - Emissividade dos Materiais _____	11
Tabela 1.3 - Valores de Condutividade e Capacidade Térmica _____	13
Tabela 1.4 - Comparativo entre métodos _____	17

GLOSSÁRIO

ADENE - Agência para a Energia

ANET - Associação Nacional dos Engenheiros Técnicos

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

APIEF - Centro de Formação Profissional para a Indústria e Energia

APIRAC - Associação Portuguesa da Indústria de Refrigeração e Ar Condicionado

AQS - Água Quente Sanitária

CE - Certificado Energético

DCR - Declaração de Conformidade Regulamentar

DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia

EA - Emissão Acústica

IGAOT - Inspeção-Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território

INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

IR - Infravermelho

ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade

Li-Ion - Iões de Lítio

NT - Nota Técnica

OA - Ordem dos Arquitectos

OE - Ordem dos Engenheiros

PiP - *Picture in picture*

PQ - Perito Qualificado

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE - Regulamento dos Sistemas de Climatização em Edifícios

SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

SGS - Serviços Internacionais de Certificação

TI - Termografia por Infravermelhos

U - Coeficiente de Transmissão Térmica

UE - União Europeia

τ - Coeficiente de Perda Térmica de Espaços Não Úteis

INTRODUÇÃO

O sector dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa. No entanto, mais de metade deste consumo pode ser reduzido através de medidas que reforcem a eficiência energética, o que pode resultar numa redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂, quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto.

Os objectivos de eficiência energética da União Europeia são em 2050 estabilizar o consumo de energia nos níveis de 1990 e reduzir as reduções de CO₂ em 60 a 80%, as energias renováveis deverão representar cerca de 1/3 da energia primária total, tender para um sector eléctrico “carbono zero”, reduzir a emissão do sector dos transportes em 40% e tender para residências “emissão zero” (DGEG, 2008).

Para fazer face a esta realidade os Estados membros da União Europeia criaram directivas para melhorar o desempenho energético dos edifícios. O problema não se restringia apenas a Portugal mas sim a todo o Espaço Europeu. Surge então a Directiva n.º 2002/90/CE com o intuito de enquadrar a metodologia de cálculo do desempenho energético dos novos edifícios, definir os requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios bem como dos edifícios com alguma envergadura já existentes que sejam sujeitos a significativas obras de remodelação, certificação energética dos edifícios e, avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras existentes tenham uma idade superior a 15 anos.

Destaque para a importância com que passou a ser vista a implementação de um sistema de certificação energética de forma a dar a conhecer ao comum cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da sua construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos, permitindo assim a obtenção de informações sobre os consumos de energia potenciais (para novos edifícios), reais ou aferidos para padrões de utilização típicos para edifícios já existentes (ADENE, 2002).

Em 1991 entrou em vigor o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro). Este

primeiro regulamento, ainda que considerado muito moderado em termos de exigências, teve um grande impacto nos edifícios portugueses. Hoje praticamente todos os edifícios utilizam isolamentos térmicos e a maior parte possui vidros duplos sendo os utilizadores os primeiros a exigir boas condições de eficiência energética. A "Térmica", de que em 1990 praticamente ninguém falava nem se importava, é um dos aspectos que é agora abordado rotineiramente no projecto e na construção existindo dados estatísticos que revelam claramente os progressos efectuados na melhoria do desempenho térmico dos edifícios portugueses ao longo dos últimos anos.

Capítulo I - Enquadramento do Sector Energético em Edifícios

Ao longo dos anos a qualidade da construção e o conforto associado aos edifícios tem sofrido um aumento exponencial. O actual consumidor para além de satisfazer as necessidades básicas (água corrente, casa de banho, esgotos) busca outros factores como o conforto térmico (aquecimento e arrefecimento), o uso de equipamento de entretenimento (TV, Sistemas de Som, etc.) e equipamentos de eléctricos de apoio às tarefas diárias (computadores pessoais e electrodomésticos vários). Isto são exemplos de comodidades que gradualmente foram chegando às casas dos cidadãos, tendo tudo isto um custo, para além do monetário. Todas as comodidades que enunciamos e que quase ninguém as dispensa, traduzem-se num aumento do consumo de energia, logo, num aumento da emissão de gases nocivos para a atmosfera.

Pela observação da Figura 1.1 conclui-se que os Edifícios são responsáveis pelo consumo de 62% do Total de Energia Eléctrica.

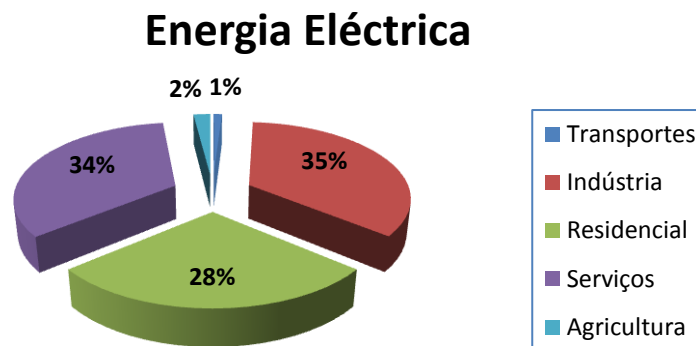


Figura 1.1 - Consumo de Energia Eléctrica por Sector; fonte: DGEG (2008)

Estima-se que o crescimento médio anual dos consumos de energia nos edifícios de habitação no período compreendido entre os anos 1990 e 2000 tenha sido de 3,7% (Eficiência Energética, 2008). Revela-se assim de uma enorme importância a atenção dada à eficiência energética dos equipamentos consumidores de electricidade como forma de moderar os consumos.

Uma outra causa para o aumento dos consumos de energia está associada à grande diversidade de pequenas e grandes ineficiências resultantes quer dos próprios

equipamentos utilizados no sector, edifícios incluídos, quer dos maus hábitos adquiridos na utilização desses equipamentos.

Os edifícios residenciais são utilizados por um universo de mais de 10 milhões de consumidores, existindo alguma falta de flexibilidade na adopção de padrões eficientes de consumo de energia causada, não só por razões comportamentais, como também devido ao período necessário para a substituição dos equipamentos e recuperação dos edifícios. Saliente-se o facto que Portugal possui uma dependência energética externa de cerca de 85%, oriunda em mais de 60% de combustíveis fósseis (EDP, 2006).

Os consumos de energia nas residências seguem mais ou menos a seguinte distribuição: cozinhas e águas quentes sanitárias 50%, equipamentos e iluminação 25%, arrefecimento e aquecimento 25%. No entanto, estes indicadores diferem consoante os sectores populacionais ou as diferentes áreas geográficas, mas permitem ter uma noção superficial sobre as áreas onde é mais urgente actuar de forma a aprimorarem a sua eficiência energética e térmica, assumindo neste ponto uma enorme importância os consumos dos equipamentos e da iluminação, onde a melhoria da sua eficiência energética é primordial.

A etiquetagem de electrodomésticos e lâmpadas desempenha neste domínio um papel importante no sentido de informar os consumidores para a escolha de opções mais compensatórias.

Quanto aos consumos destinados ao conforto térmico, dada a sua dependência directa com o actual nível de vida, caso não haja uma aplicação rigorosa e séria de princípios, regras ou normas que visem a utilização racional de energia e a introdução de novas tecnologias, esses níveis de conforto térmico tendem a ser atingidos com maior uso de sistemas de condicionamento de ar interior, o que tem implicação nos consumos globais no sector.

Na Tabela 1.1 pode observar-se as diferentes classes energéticas que são utilizadas para comparação de eficiência energética. Para os novos edifícios os consumos de referência situam-se apenas até ao ponto “B-”.

Tabela 1.1 - Classes Energéticas; fonte: ADENE (2008)

Classe Energética	Comparação com consumo de referência	$R = N_{tc} / N_t$
A+	Menos de 25% de consumo de referência	$R \leq 0,25$
A	Entre 25% a 50%	$0,25 < R \leq 0,5$
B	50% a 75%	$0,50 < R \leq 0,75$
B-	75% a 100%	$0,75 < R \leq 1,00$
C	100% a 150%	$1,00 < R \leq 1,50$
D	150% a 200%	$1,50 < R \leq 2,00$
E	200% a 250%	$2,00 < R \leq 2,50$
F	Entre 250% a 300%	$2,50 < R \leq 3,00$
G	Mais de 300% consumo de referência	$3,00 < R$

As metodologias de cálculo utilizadas na determinação da classe energética de um edifício dependem da sua tipologia ou da ponderação de tipologias que alberga. A classificação energética de edifícios de habitação (com e sem sistemas de climatização) e pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização ou com sistemas de climatização com potência instalada inferior a 25 kW é calculada a partir da expressão $R = N_{tc}/N_t$, em que “Ntc” representa as necessidades anuais globais estimadas de energia primária para climatização e águas quentes e o “Nt” o valor limite destas. Essas necessidades são expressas em quilogramas equivalente de petróleo por m² de área útil e por ano (kgep/m².ano).

É de salientar que uma casa eficiente pode consumir menos de ¼ do consumo de referência. O sector da construção apresenta-se muito variado, englobando edifícios muito eficientes e outros significativamente maus utilizadores de energia em que existe um elevado potencial para aperfeiçoamento. Em Janeiro de 2009 14% dos novos edifícios foram classificados com a classe A+, 45% com a classe A, 28% com a B e 12% com a classe B-, revelando uma boa prestação das novas habitações. Nos edifícios existentes apenas 6% atingem a classe A, 29% a B, 32% a C, 13% a D, 2% a G. Apresenta-se como inevitável os novos edifícios serem menos consumidores e que os existentes com piores desempenhos sejam forçados ou incentivados a melhorar (ADENE, 2008).

Na Figura 1.2 destaca-se o Frio, imediatamente seguido pelo aquecimento ambiente e iluminação como principais consumidores de energia:

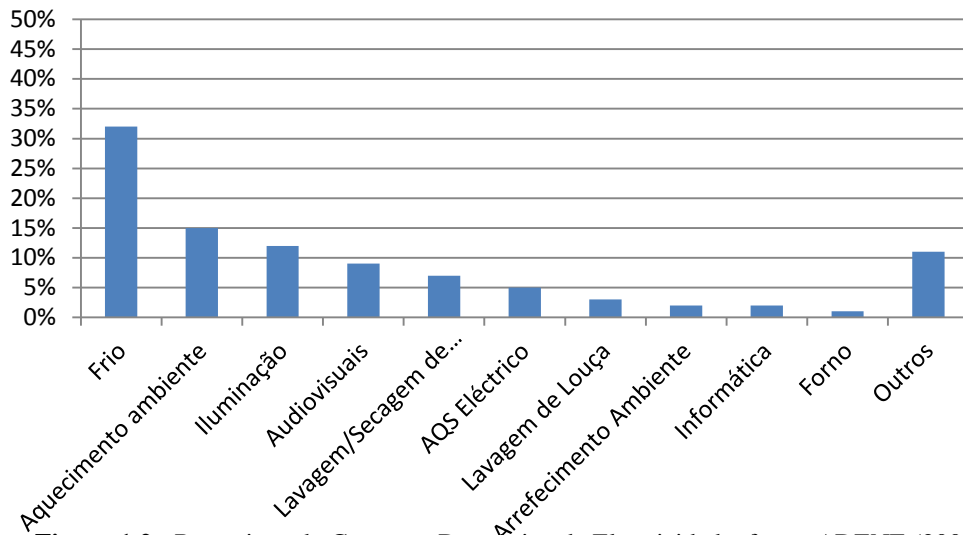


Figura 1.2 - Repartição do Consumo Doméstico de Electricidade; fonte: ADENE (2008)

Nas análises efectuadas pelos peritos estes devem recorrer à melhor informação que disponham, isto é, aquela que melhor demonstre a realidade construída e os equipamentos e sistemas instalados, validando e suportando sempre essa informação baseando-se nas evidências recolhidas e verificadas pelo próprio como por exemplo, peças escritas e desenhadas do projecto, soluções instaladas e catálogos de equipamentos, levantamentos fotográficos de visita ao local, entre muitas outras que se adequem à situação.

Sempre que se verifique uma ausência da melhor informação para o cálculo de determinado índice ou parâmetro essencial, assume-se como primordial que o PQ recorra a valores constantes de fontes ou elementos de referência, devidamente divulgados pela ADENE e reconhecidos pelo SCE.

No conjunto de fontes disponíveis para este efeito, caberá ao PQ a decisão para cada caso e para cada parâmetro ou índice, qual a fonte a utilizar, privilegiando sempre a que considere melhor espelhar a realidade existente. Cabe ao PQ manter uma perspectiva crítica do caso em estudo, observando cuidadosamente os pontos principais e onde com maior frequência se encontram as origens das patologias directamente ligadas ao fraco desempenho térmico dos edifícios e também associados ao elevado desperdício energético, nomeadamente no que toca ao consumo de energia.

I.1. Conceito de Termografia

Em 1800 um astrónomo Inglês de nome Sir Willliam Herschel descobre os raios infravermelhos. Este tentava descobrir quais as cores do espectro (Figura 1.3) que eram responsáveis pelo aquecimento dos objectos. Chegou então à conclusão que a temperatura subia à medida que se passava da cor violeta para o vermelho mas, ainda descobriu que a maior temperatura ocorria para além do vermelho, para além do visível.

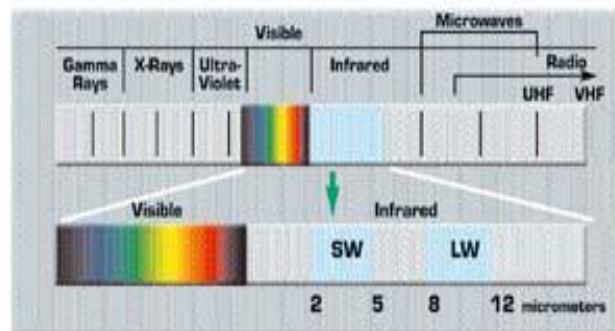


Figura 1.3 - Espectro Electromagnético; fonte: SpyBuilding (2008)

Na Figura 1.4 a secção que se encontra a colorido é a parte que o olho humano consegue ver, o espaço imediatamente à direita, infravermelhos, é a área que a Câmara consegue decifrar:

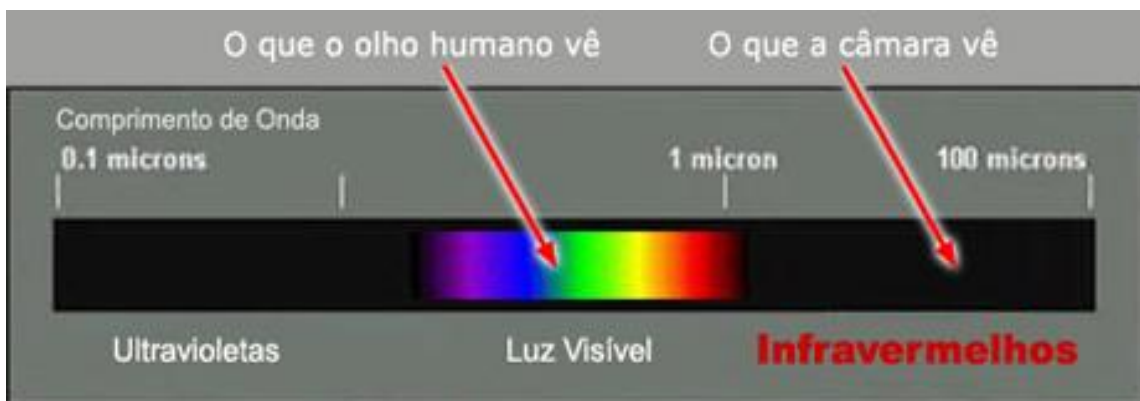


Figura 1.4 - Espectro Parcial; fonte: Fluke (2007)

O que Herschel apelidava de raios caloríficos são hoje conhecidos por raios infravermelhos.

I.1.1. Princípios da Termografia

Um dos princípios da radiação é a transmissão de energia na forma de onda electromagnética caracterizada por um certo comprimento de onda, capaz de interagir com meios distintos. As unidades mais comuns em IR (Infravermelho) é μm , micron ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m} = 1/1000 \text{ mm}$). O espectro electromagnético está dividido em bandas, delimitadas em função do comprimento de onda, traduzindo as características físicas das fontes emissoras (Figura 1.5).

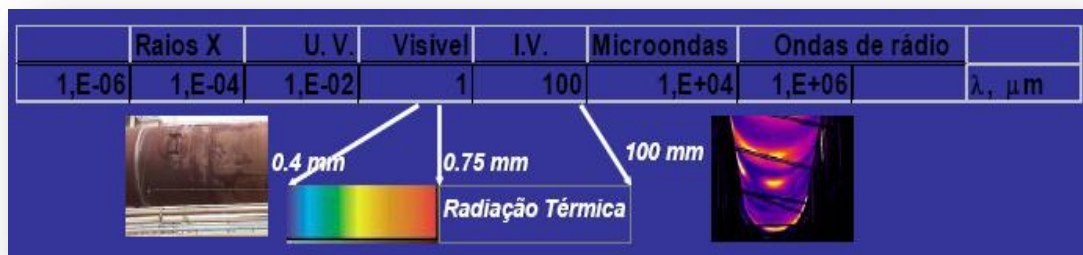


Figura 1.5 - Bandas do Espectro Electromagnético; fonte: IST (2003)

A zona de trabalho da Termografia é a IV, sendo nesta zona que é produzida a radiação térmica dos objectos.

No espectro Electromagnético, os infra-vermelhos repartem-se por infravermelhos curtos (0,7 - 5 μm), infravermelhos médios (5 - 30 μm) e infravermelhos largos (30 - 1000 μm). Os infravermelhos estão associados ao calor uma vez que os corpos na temperatura normal emitem radiação térmica no campo dos infravermelhos.

I.1.2. Termografia por Infravermelhos

Todos os objectos conhecidos são emissores de radiação infravermelha. A radiação emitida por cada um deles depende de dois factores: a temperatura do objecto e a capacidade de emitir radiação, sendo o último conhecido por emissividade. Uma das leis da Física diz que todos os materiais que possuam uma temperatura acima do zero absoluto (-273° C) radiam calor e quanto mais quente estiver o objecto maior será a radiação. Radiação de calor é o mesmo que dizer radiação infravermelha. A radiação

emitida é então como se pode observar pela Figura 1.6, a radiação que sai de um objecto, independente das suas fontes originais.

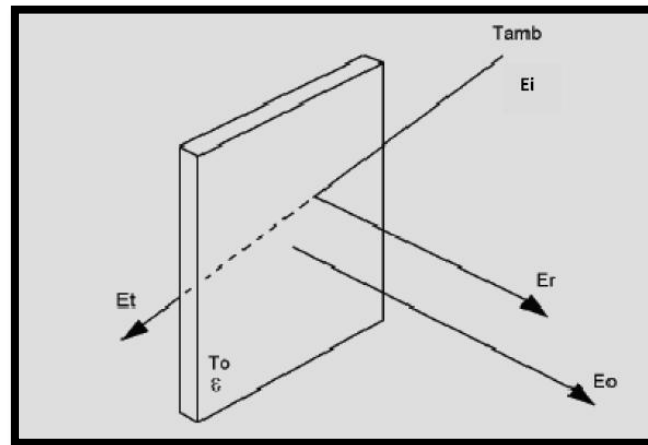


Figura 1.6 - Radiação de Corpos Reais; fonte: IST (2003)

Onde:

Eo: energia emitida

Er: energia reflectida

Et: energia transmitida

Ei: energia incidente

ε: emissividade

ρ: coeficiente de reflexão

τ: coeficiente de transmissibilidade

$$\text{Condição de Equilíbrio: } E_o + E_r + E_t = E_i \quad [1.1]$$

Da radiação emitida pelo alvo uma certa parte será emitida a partir do próprio objecto, outra será reflectida a partir de uma fonte situada em frente do objecto. A sua capacidade para exercer estas funções é obtida através da seguinte equação:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad [1.2]$$

A radiação Incidente é aquela que incide num objecto advindo dos seus arredores. Da radiação total incidente num alvo, uma certa proporção será absorvida, outra reflectida e outra transmitida.

Logo:

$$W\alpha + W\rho + W\tau = WINICID = 100\% \quad [1.3]$$

A radiação que é absorvida, reflectida ou transmitida depende do objecto em causa. Cada objecto tem uma determinada capacidade para exercer estas funções, sendo que a soma das três será sempre igual a 1. A expressão matemática é dada pela seguinte fórmula, onde α representa a absorvidade:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad [1.4]$$

A capacidade ou habilidade que um objecto possui para absorver energia radiante incidente é numericamente igual à capacidade que ele tem para emitir a sua própria energia em forma de radiação. Matematicamente:

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

$$\alpha = \varepsilon$$

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad [1.5]$$

Emissividade é a taxa de radiação emitida por um corpo a uma dada temperatura e comprimento de onda. O seu intervalo de variação situa-se entre 0 e 1.

A absorção de um corpo negro ideal é de 100% da radiação incidente, logo:

$$\alpha = 1 (\tau + \rho = 0) \quad [1.6]$$

Um corpo real tem uma emissão dada por:

$$Wb = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad [1.7]$$

- Corpo Negro: $\varepsilon = 1 ; \rho = \tau = 0$
- Espelho Perfeito: $\rho = 1 ; \varepsilon = \tau = 0$
- Corpo Transparente: $\tau = 1 ; \varepsilon = \rho = 0$

Representando “ σ ” a Constante de Stefan-Boltzmann.

Na vida real os alvos não são corpos negros, sendo que a grande parte dos objectos não são transmissivos mas sim opacos, ou seja, $\tau = 0$.

No caso de alvos reais deve-se ter sempre em conta que radiação de dois tipos sai do objecto, isto é, a emitida sai sempre do próprio objecto e da radiação reflectida dos arredores como se observa na Tabela 1.2. Matematicamente obtém-se:

$$W\varepsilon + W\rho = WR_{\text{radios}} = 100\% \quad [1.8]$$

Tabela 1.2 - Emissividade dos Materiais; fonte: IST (2003)

Materiais	Emissividade
Cobre	0,05
Aço	0,07
Alumínio em bruto	0,68
Alumínio oxidado	0,85
Alumínio polido	0,1
Cimento	0,95
Plástico branco	0,84
Plástico negro	0,95
Papel branco	0,07 - 0,9
Pele Humana	0,98
Madeira	0,9

I.1.3. Interpretação de Imagens Térmicas

É necessário compreender os princípios térmicos básicos para fazer a interpretação de imagens térmicas. Uma das regras do comportamento do calor diz-nos que a soma total das parcelas de energia num sistema fechado é constante ($E_{\text{Armazenada}} + E_{\text{Fora}}$), logo, a energia não pode ser criada nem destruída, apenas convertida de uma forma para outra.

Toda a energia que flui para um sistema irá permanecer nele ou deixá-lo. Refira-se que o calor flui sempre de uma temperatura mais elevada para uma menor, por conseguinte, se existir uma qualquer diferença de temperatura, ocorrerá um fluxo de calor. A

condução de calor não é mais que a transferência directa de energia térmica de molécula para molécula, originada pelas colisões entre as moléculas, matematicamente obtém-se:

$$E_{Dentro} = E_{Armazenada} + E_{Fora} \quad [1.9]$$

1.1.3.1. Transmissão de Energia

Para que um fluxo de energia térmica exista tem que haver sempre uma fonte de calor sendo que este flui de zonas mais quentes para zonas mais frias (Figura 1.7). Existem três formas de transmissão:

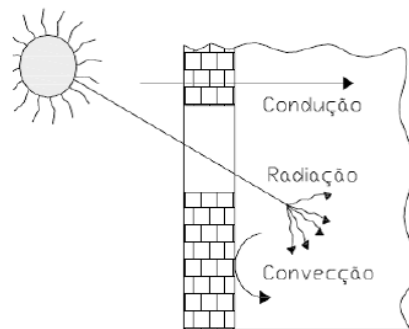


Figura 1.7 - Mecanismos de transmissão de calor em edifícios; fonte: Valério (2008)

➤ Fluxo de Calor por Condução

A condução é um mecanismo de transmissão de calor que assenta na transferência de energia cinética a nível molecular em sólidos, líquidos e gases. Nos líquidos e sólidos não condutores eléctricos, a condução térmica dá-se devido às oscilações longitudinais da estrutura molecular. Em metais, a condução do calor é igual à condução eléctrica, isto é, está directamente associada ao movimento de electrões livres. Por último, nos gases, a condução processa-se por via da colisão elástica entre moléculas.

A taxa de fluxo de calor em condições de regime permanente é directamente proporcional à condutividade térmica do objecto, à secção transversal do objecto através da qual o calor flui e à diferença de temperatura entre as duas extremidades do objecto. Este será inversamente proporcional ao comprimento ou espessura do objecto.

A equação da transferência de calor por condução é dada pelo seguinte quociente:

$$Q/t = \frac{\lambda A (T_1 - T_2)}{L} \quad [1.10]$$

Encontram-se aqui presentes quatro factores:

- Condutividade do material, λ (W/m*°C)
- Área da secção transversal, A (m²)
- Diferença de temperatura, T₁ - T₂ (λ)
- Comprimento do percurso de condução (L)

Se multiplicarmos o tempo pela potência obtemos a energia, 1 joule = 1 watt x segundo.

Observe-se na Tabela 1.3 os valores de condutividade e capacidade térmica de alguns materiais:

Tabela 1.3 - Valores de Condutividade e Capacidade Térmica (fonte: ITC, 2008)

	Condutividade (W/m*K)	Capacidade (KJ/Kg*K)
Cobre	401	0.39
Aluminio	237	0.90
Aço	52	0.46
Gelo Puro	2.04	2
Tijolo	1	0.75
Vidro	0.9	0.84
Água	0.6	4.18
Madeira	0.14	1.80 - 2.80
Fibra de Vidro	0.04	-
Ar (parado)	0.025	1
Argon	0.018	-
Xenon	0.0051	-

Suponha-se um material de isolamento com um $\lambda=0,04$ W/m°C e um batente de madeira com um $\lambda= 0,14$ W/m°C e a mesma espessura (“L” igual). O batente de madeira irá conduzir energia a uma taxa maior. Num caso de uma residência com 120 m² aquecida no Inverno (-10°C), com igual temperatura interna (20°C) e a mesma espessura de parede (0,2m) e material ($\lambda= 0,05$ W/m*°C). Em que:

$$\Delta T = 30^{\circ}\text{C} ; L = 0,2 \text{ m} ; \lambda = 0,05 \text{ W/m}^{\circ}\text{C} ; A = 120 \text{ m}^2$$

Neste caso a perda de calor será de 900 W ou 0,9 KW.

Existem dois tipos de situações de transferência de calor, o regime permanente e transiente. O regime permanente é uma condição estável sem alterações enquanto o transiente é uma condição onde ocorrem mudanças. Na realidade o regime permanente é uma condição pouco frequente;

➤ **Convecção**

Uma outra forma de transferência de calor é a Convecção, na qual o fluido é colocado em movimento, seja por gravidade ou outra qualquer força, conseqüentemente transferindo calor de um lugar para outro. A transferência pode ocorrer em líquidos ou gases mas não em sólidos. Este fenómeno pode criar dificuldades acrescidas ao termografo. Suponha-se um balde de água quente e um recipiente com silicone a ser aquecido. O que acontecerá é que nas partes mais quentes do fluido as moléculas encontram-se mais distantes umas das outras, ou seja, menor massa específica. Menor massa específica significa menor peso por unidade de volume. Menor peso por unidade de volume significa fluido mais leve, logo, o fluido mais leve irá subir enquanto o mais pesado irá afundar. É comum fazer-se a separação entre Convecção Natural e Forçada. Enquanto na primeira o fluido é afectado apenas pelas forças gravitacionais ao redor do objecto de estudo, na Forçada o fluido é também afectado por uma força externa, por exemplo, um ventilador, uma bomba de ar ou até mesmo o vento. Daqui pode ser retirada uma conclusão, não devem ser efectuados estudos sob condições de ventos fortes uma vez que existe a possibilidade de várias situações não serem detectadas ou serem mal interpretadas e a variação da temperatura (ΔT) diminuir com a ocorrência de ventos fortes;

➤ **Radiação**

Outra das formas de transferência de calor é por radiação, consistindo na passagem do calor por emissão e absorção de radiação térmica. Todos os objectos absorvem e emitem

radiação. A transferência de calor é então definida pela diferença líquida entre as emissões de ambos os corpos.

I.1.4. Temperatura

A Temperatura define o estado de um objecto em relação a outros objectos, sendo que esta não é uma forma de energia, normalmente, sobe ou desce directamente relacionada com o aumento ou diminuição da energia de um objecto, revelando-se como uma consequência da existência de mais ou menos energia. Permite-nos ainda verificar a facilidade com que um objecto transmitirá calor para outros objectos, sendo a unidade de medida o “kelvin” (K) ou graus célsius (°C). A água ferve a 100°C sendo equiparado a 373K, 0°C correspondem a 273K e é o ponto em que a água congela, por último o que corresponde a -273°C sendo zero na escala de Kelvin, designado por zero absolutos.

Uma correcta leitura da temperatura deve ser compensada das influências da emissividade do alvo e dos factores ambientais, isto é possível dado todos os instrumentos de medição terem capacidade para efectuarem a compensação. No que toca a emissividade faz-se a distinção entre alta emissividade, isto é, a temperatura aparente será mais próxima da temperatura real do alvo permitindo ter confiança no que se está a observar, e baixa emissividade colocando-se a temperatura aparente num ponto mais próximo à temperatura dos objectos que o rodeiam não permitindo uma validação do que está a ser observado (ITC, 2008).

I.1.4.1. Paletas de Cor para Temperaturas Aparentes

A paleta de cores da imagem termográfica atribui cores distintas para marcar níveis específicos de temperatura aparente. As paletas podem dar mais ou menos contraste, dependendo das cores usadas nelas. Na escolha da paleta deve ter-se em conta duas regras básicas, deve-se usar paletas de contraste alto em alvos de baixo contraste térmico e é fundamental que se use paletas de contraste baixo em alvos de alto contraste térmico.

I.1.4.2. Reflexões Pontuais

Quando se faz uma análise de imagens existem padrões enganadores que podem conduzir a erros. Um deles é a reflexão de uma fonte pontual.

Assim, quando estamos perante uma situação em que o ângulo de incidência é o mesmo que o ângulo de reflexão e quando o ponto quente se move quando o termografo se move, é um caso típico de reflexo, sendo que o aquecimento real por norma tem um padrão liso enquanto as reflexões não possuem esta característica.

Para uma verdadeira e apropriada análise, evitando-se reflexos pontuais deve-se:

- Evitar ficar directamente na frente do alvo para que não se reflecta o termografo;
- Ao capturar a imagem deve ocorrer uma movimentação para um lado e para outro com o intuito de que caso o ponto quente se mova este será um reflexo;
- O ângulo incidente deve ser igual ao ângulo emergente para que se possa determinar a fonte, assim poderá ser evitada;
- Pode-se usar um pedaço de papelão ou qualquer objecto parecido para se tentar bloquear o reflexo;
- Deve-se procurar por gradientes térmicos. O aquecimento real tem gradiente enquanto os reflexos não;
- Devem ser procuradas as partes do alvo que tenham alta emissividade pois estas terão menos reflexo e uma temperatura aparente mais próxima da temperatura verdadeira.

I.1.5. Método Qualitativo vs Método Quantitativo

Existem dois princípios diferentes de análise termográfica, o Qualitativo e o Quantitativo. A Termografia qualitativa debruça-se na análise de padrões térmicos para revelar a existência e localização das anomalias enquanto a Termografia quantitativa utiliza medições de temperatura como um critério para determinar a gravidade de uma anomalia, para conseguir delinear prioridades de reparação.

Pela observação da Tabela 1.4 podemos verificar as diferenças entre os dois métodos. No caso do método qualitativo procuramos responder a questões como se existe ou não o problema, se ele existir onde se encontra. Em termos do quantitativo o cerne da questão reside em quantificar a gravidade do problema, quando deverá ser reparado e na quantificação da temperatura.

Tabela 1.4 - Comparativo entre métodos

Qualitativo	Quantitativo
Análise de Padrões de imagem, sendo normalmente efectuada primeiro	Usada para classificar a gravidade de uma anomalia
Descobrir se existem anomalias	É feita compensação
Descobrir onde está localizada	Engloba a medição de temperatura
Temperatura aparente apenas	Nem sempre assume importância

É normal fazer-se uma classificação das falhas segundo um conjunto de critérios adoptados. Uma forma sistemática para que se reparem as prioridades obriga a uma classificação das falhas detectadas. Todos os relatórios que se baseiam em dados quantitativos devem mencionar quais os critérios utilizados para a classificação, mas na realidade existem critérios distintos podendo-se até definir um critério personalizado.

Para se determinar quanto é que a anomalia mudou em comparação com o considerado normal utiliza-se um Delta T, ou seja, este representa uma medição da diferença de temperatura. A comparação assume-se então como fundamental, devendo-se sempre comparar com qualquer coisa. No caso da electricidade, por exemplo, devem ser comparadas as fases entre si enquanto no caso na construção e se em causa estiver aplicações de isolamentos, as paredes devem ser semelhantes.

Dados de referência devem ser constantemente recolhidos, tornando-se primordial a sua obtenção.

1.1.6. Lei de Stefan - Boltzmann

A emissividade é um ponto fulcral na análise, sendo que é vista como a taxa de radiação emitida por um corpo real comparada com a radiação emitida por um corpo negro (corpo emitindo o máximo de radiação pela Lei de Stefan-Boltzmann), ambos à mesma temperatura e com o mesmo comprimento de onda.

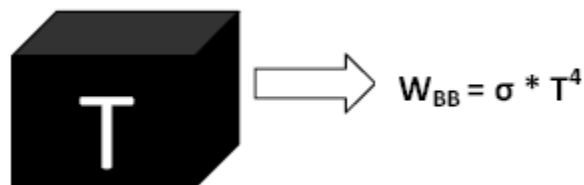
$$\varepsilon = \frac{W_{RB}}{W_{BB}}, \text{ logo, } W_{BB} = \frac{W_{RB}}{\varepsilon} \quad [1.11]$$

Onde:

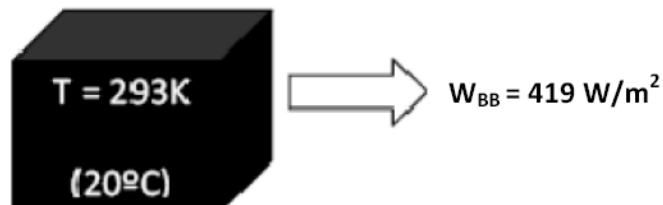
W_{RB} : Radiação do Corpo Real

W_{BB} : Radiação do Corpo Negro

A Lei de Stefan-Boltzmann processa uma relação entre temperatura e a energia irradiada. A energia emitida por um corpo negro é proporcional a T^4 .



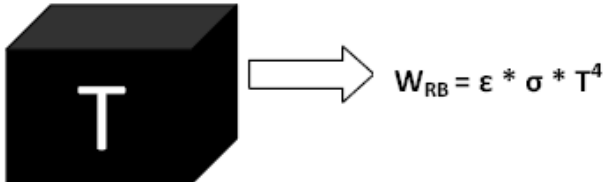
Constante de Stefan-Boltzmann: $\sigma = 5.67 * 10^{-8} \text{ W/m}^2 * \text{ K}^4$



Para um corpo negro a 20°C obtém um W_{BB} de 419W/m², enquanto que para um corpo negro de 50°C o W_{BB} é igual a 618W/m².

É necessário se encontrarem reunidas as devidas condições para uma medição precisa. O objecto alvo deve ser opaco (sem qualquer transmissividade) e deter uma temperatura que pretendemos saber, devendo ainda possuir uma emissividade (ϵ) que tem que ser conhecida ou facilmente estimada não ficando alheia a reflectividade (ρ) que a câmara poderá calcular a partir de $1-\epsilon$, estando localizado num tipo de envolvente. A câmara calcula a componente reflectida e remove-a, sendo eliminada a influência da atmosfera.

Quando o alvo não é um Corpo Negro, mas sim um Corpo Real, este emitirá menos radiação do que um corpo negro emitiria. A lei de Stefan-Boltzmann para corpos Reais é a seguinte:


$$W_{RB} = \epsilon * \sigma * T^4$$

I.2. Inspeção Termográfica

A termografia por Infravermelhos (TI) consiste na captação de imagens de calor (termogramas), não decifráveis pelo olho humano, mediante uma câmara termográfica. É então convertida a radiação infravermelha invisível numa imagem visível.

I.2.1. Funções de Medição da Câmara

- Isotérmica - utilização universal;
- Área - mostra máximo, mínimo, ou média de um rectângulo ou círculo;
- Perfil - ideal para análise vertical ou horizontal de gradientes.

A isotérmica substitui cores de escala com uma cor de contraste, mostrando geralmente um intervalo fechado de intensidade de radiação igual, podendo-se revelar inapropriada para relatórios.

A área fornece o mínimo, máximo ou média dentro de um rectângulo ou círculo, revelando-nos ainda a temperatura mas não a localização de um ponto quente ou frio, sendo ideal para relatórios.

O perfil mostra uma curva de temperatura ao longo de uma linha sendo ideal para analisar gradientes por exemplo, de máquinas de papel, canos, recipientes.

I.2.2. Emissividade

Em tudo o que se conhece existem particularidades, e a termografia não é excepção. Existe um conjunto variado de características susceptíveis de fazer variar a emissividade, entre os quais:

- Diferentes materiais têm diferentes emissividades;
- A textura da superfície influencia a emissividade;
- A geometria do objecto - alvo às vezes é um factor muito importante;
- O ângulo de visão afecta a emissividade efectiva da superfície;
- A emissividade de uma superfície pode não ser a mesma em ondas médias e em ondas longas;
- Grandes variações de temperatura podem afectar a emissividade da superfície.

A cor visual apesar de não ser um factor para a emissividade pode no entanto afectar a absorção da luz visível, logo, um carro preto ficará mais quente no sol do que um carro branco.

O ângulo pelo qual é captado o termograma é um dos melhores exemplos de afectação, dado que de pontos diferentes a emissividade não é a igual. Deverá ser tido especial cuidado com a distância da câmara ao objecto, durante o processo de leitura, no sentido de diminuir a influência do meio na leitura da temperatura do objecto (Veratti, 1992). A resolução dos termogramas diminui com o afastamento entre o equipamento e o objecto. A cada ponto do termograma corresponde uma área específica da superfície do objecto. Com o aumento da distância, a cada ponto corresponde uma área maior dessa superfície

e a radiação captada pelo equipamento passa a ser uma média da radiação real emitida, perdendo-se o detalhe (Barreira, 2004).

I.2.3. Materiais Metálicos vs Materiais não Metálicos

Materiais não metálicos geralmente têm um valor alto de emissividade, tendo pouca variação entre os diferentes tipos, oscilando pouco com o tempo.

Materiais metálicos caracterizam-se por:

- Metais puros, lisos, não oxidados têm emissividade reduzida, abaixo de 0,05;
- Óxidos metálicos densos possuem alta emissividade até aproximadamente 0,95;
- A emissividade da superfície irá oscilar entre estes valores consoante o grau de oxidação e de acordo com a transparência do óxido;
- Outros factores como a geometria e estrutura da superfície também terão impacto.

Quando a superfície é mais áspera a sua emissividade é maior, sendo que superfícies polidas, brilhantes e lisas têm baixa emissividade. Já as superfícies desgastadas e ou arranhadas têm maior emissividade. Quanto à Geometria, os ângulos, furos (quanto mais profundos maiores as temperaturas aparentes) e as cavidades assemelhar-se-ão a um corpo negro, no entanto, as reflexões múltiplas entre as superfícies farão aumentar a absorção, logo, a emissividade aumentará também. Saliente-se que quando a emissividade de um qualquer material for baixa o factor da geometria pode ajudar bastante. Por sua vez a temperatura tem pouco impacto na emissividade, aumentando a emissividade com temperaturas elevadas. Na Figura 1.8 observam-se os passos de captação da imagem por uma câmara termográfica.

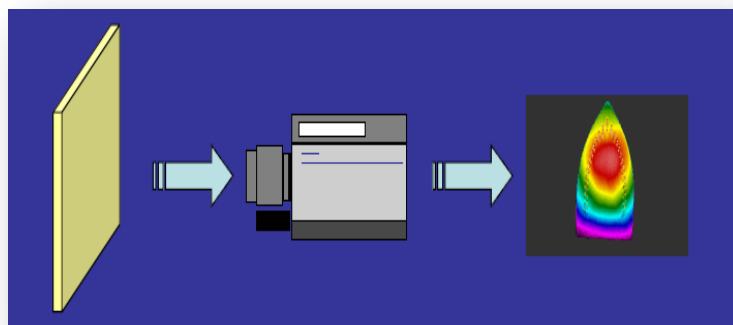


Figura 1.8 - Passos na captação da imagem; fonte: IST (2003)

I.2.4. Termografia Intrusiva e Termografia não Intrusiva

Qualquer corpo emite radiação térmica por se encontrar a uma temperatura acima do Zero Absoluto. A imagem infravermelha deve ser acompanhada por uma medição térmica exacta, para que se reflecta a verdadeira condição de um objecto. A análise dos dados obtidos é indispensável e deve ser apoiada no conhecimento adquirido em formação específica e consolidada com a experiência ao longo dos anos.

A Termografia pode ser:

Intrusiva, cujas características se podem resumir do seguinte modo:

- o contacto com o objecto a medir é primordial;
- a medição da temperatura em objectos móveis é difícil;
- o tempo de resposta é obtido em alguns segundos.

Não Intrusiva:

- não existe nem é necessário contacto com o objecto a medir;
- a medição da temperatura em objectos móveis é fácil;
- o tempo de resposta é dado em μ s.

A inspecção termográfica é uma técnica que amplia a visão humana sendo não destrutiva e servindo-se dos raios infravermelhos para medir temperaturas ou visualizar padrões diferenciais de distribuição de temperatura, com o intuito de possibilitar informações referentes à condição operacional de um componente, processo ou equipamento. A termografia mostra-se como uma técnica de inspecção indiscutivelmente útil, isto porque permite realizar medições sem contacto físico com a instalação, inspeccionar grandes áreas num curto espaço de tempo e verificar equipamentos em pleno funcionamento sem ter que interferir na produção.

I.2.5. Tipos de Câmaras Termográficas

A câmara de termografia por infravermelhos é um aparelho que detecta energia infravermelha (calor), a converte em sinal eléctrico e gera imagens, executando cálculos

de temperatura. A radiação calorífica encontra-se próxima da radiação luminosa visível, e pertence à vulgarmente chamada radiação electromagnética. Propaga-se a 300.000 km/s, isto é, à normalmente designada velocidade da luz. Apesar de até ao momento, apenas se ter mencionado radiação, o utilizador desta tecnologia está focado é na temperatura. Uma vez que a relação entre radiação e temperatura é uma lei física, tornou-se possível que as câmaras termográficas quantifiquem a radiação e a convertam em temperatura.

A nova tecnologia utilizada nos detectores (componente principal das câmaras termográficas), a imagem visual integrada e o software disponível actualmente, permitem a execução de inspecções termográficas excepcionalmente produtivas e precisas.

A aplicação é variada, passando pela manutenção preventiva dos sistemas eléctricos, monitorização de sistemas mecânicos, acompanhamento da performance de placas e circuitos electrónicos, pesquisas científicas de trocas térmicas, análise de isolamentos térmicos, entre muitas outras. (AREAL, 2007). As câmaras de infravermelhos/termográficas utilizadas conseguem ler a radiação transmitida por alguns corpos, informando sobre a temperatura na superfície do material emissor (Figura 1.9). Mediante análise termográfica de um edifício procura-se detectar a existência de incoerências nos padrões de temperatura, indiciando a existência de problemas diversos como infiltrações em paredes, falta de isolamento térmico, entre muitos outros (Eficiência Energética, 2008).

Câmaras Termográficas				
Modelo	1	2	3	4
Gama de Temperaturas	0°C a 250°C	-20°C a 350°C	-40°C a 500°C	-20°C a 500°C
Sensibilidade	≤0,1°C a 25°C (100 mK)	≤0,1°C a 30°C (100 mK)	45 mK	0,08°C a 30°C
Precisão	± 2°C ou 2%	± 2°C ou 2%	± 1°C ou 1%	± 1°C ou 1%
Banda Espectral	7,5 a 13µm	7,5 a 14µm	7,5 a 13µm	8 a 14µm
Pixelis	80 x 80	640 x 480	640 x 480	640 x 480

Figura 1.9 - Modelos de Câmaras Termográficas

No caso do Modelo 3, esta câmara infravermelha possui uma grande sensibilidade (<45 mK) e um grande número de pixéis (640x480), sendo uma das mais actuais do mercado. Esta combinação permite que o usuário inspeccione mais objectos e trabalhe de forma mais segura. Com esta máquina o usuário poderá visualizar alvos duas vezes mais longe que uma câmara de 320 x 240 pixéis, e ainda realizar medições com precisão máxima sendo ideal para aplicação no sector energético.

I.2.6. Escolha de Câmara Termográfica

Existem diversos tipos de câmaras implicando tal, por vezes, uma enorme dificuldade na escolha da que melhor se adequará às necessidades de cada inspector. Deve-se escolher uma câmara termográfica que possua uma precisão igual ou melhor que $\pm 2\%$ ou $\pm 2^\circ\text{C}$, de forma a garantir resultados fiáveis e reproduzíveis. O modelo escolhido deve possibilitar a configuração da emissividade do material em questão, de modo a assegurar a realização de medições absolutas. Uma câmara termográfica com emissividade fixa (que não permite ajustar o valor da emissividade) não irá permitir determinar temperaturas correctas de superfície, em diversos materiais (Anexo B).

A resolução do detector de infravermelhos da câmara termográfica é também um ponto a ter em especial atenção, devendo-se escolher a adequada à aplicação em causa, tendo em conta o facto de que quanto maior a resolução, melhor será a qualidade do termograma. Os modelos de câmaras termográficas, normalmente, têm resoluções de 80 x 80 pixéis a 640 x 480 pixéis, permitindo seleccionar a que melhor se adequa à aplicação pretendida sem comprometer o orçamento. Saliente-se que a resolução do visor da câmara termográfica não tem qualquer influência na qualidade do termograma a obter, sendo apenas o detector de infravermelhos que determina a qualidade dos termogramas a recolher.

A gama de medição de temperatura adequada à aplicação em causa também varia entre os diferentes equipamentos, isto é, quando se tenciona analisar elementos com uma temperatura de superfície de 320°C , deve ser escolhida uma câmara termográfica com uma gama de medição de -20°C a $+350^\circ\text{C}$ e não de 0°C a $+250^\circ\text{C}$.

Como qualquer equipamento portátil de medição, a alimentação deve ser efectuada com recurso a bateria recarregável, de preferência do tipo *Li-Ion* (iões de lítio), para ser possível retirá-la do equipamento e substituí-la por outra no local. Uma câmara termográfica com alimentação por bateria integrada no equipamento pode comprometer seriamente a sua utilização, uma vez que não permite a sua operação durante o processo de carregamento da bateria e, em caso de necessidade de substituição da bateria implica o seu envio para o respectivo fabricante.

O formato JPEG é universalmente compatível com todos os softwares de processamento de texto e imagem e a sua importação para computador é directa, bastando para isso efectuar a ligação entre a câmara termográfica ou o cartão de memória e o dispositivo, copiando-se desta forma os termogramas. Uma câmara termográfica que grave os termogramas recolhidos em formato JPEG, de modo a não ficar dependente de software dedicado deve então ser tida como factor de escolha.

Uma câmara termográfica que seja também máquina fotográfica digital integrada é um factor importante, para que se possa documentar de uma forma fácil os relatórios. A câmara termográfica a seleccionar deverá ainda ter iluminação integrada, assegurando-se a obtenção de fotografias digitais em ambientes com fraca iluminação.

Existem câmaras com ponteiro laser integrado. Esta funcionalidade permite a orientação em relação ao alvo, por exemplo, identificar o componente a analisar, possibilitando recolher termogramas para posterior comparação e garantindo a sua qualidade.

Outro factor importante na escolha é o software. O equipamento deve conter software passível de ser expandido. Grande parte das câmaras presentes no mercado, são fornecidas com software de tratamento de dados, mas que são limitados nas suas funções. Deve-se escolher um modelo que possa funcionar com softwares mais evoluídos, em termos de funcionalidades disponíveis, de modo a garantir a longevidade do seu equipamento.

Existem câmaras que permitem realizar a fusão de imagens sendo esta função muito útil em determinadas aplicações. A função de fusão de imagem, como o próprio nome

indica, permite obter uma imagem da área a analisar resultante da fusão do termograma com a fotografia digital da mesma área. Possibilita ainda redimensionar a imagem obtida, manipular o termograma integrado, etc. A função PiP (*Picture-in-picture*) é diferente da função de fusão imagem. A primeira é apenas uma sobreposição do termograma à respectiva fotografia digital.

Para garantir a longevidade do equipamento a escolha deve recair numa câmara termográfica que permita expansões posteriores de hardware, ou seja, que permita, por exemplo, a integração de módulo de humidades, a expansão da gama de medição, a integração de lentes diferentes. Deverá ser possível a sua utilização em variadas aplicações, mediante a futura expansão das suas funções (SPECMAN, 2008).

1.3. Aplicação da Termografia

A termografia por infravermelhos tem as mais variadas aplicações em edifícios. Pode ser utilizada para detecção de causas de patologias verificadas visualmente, tal como pode ser empregue como instrumento de engenharia preventiva, revelando patologias ainda não aparentes, mas já embrionárias.

1.3.1. Termografia em Edifícios

Numa inspecção termográfica são produzidas imagens, os termogramas, e registadas as respectivas temperaturas ao longo da superfície. Após análise dos dados recolhidos, através de software apropriado, torna-se possível tirar conclusões precisas e indicar as medidas preventivas ou correctivas adequadas.

As aplicações da Termografia em edifícios são muitas. Refiram-se algumas, a título de exemplo:

- detecção de infiltrações ou fugas de água;
- detecção de fendas estruturais;
- detecção de vazios no interior de materiais;
- detecção de corrosão de armaduras em betão armado;

- detecção de defeitos em materiais;
- localização de redes interiores;
- análise térmica dos edifícios.

Infiltrações são frequentes nas construções (Figura 1.10) causando enormes transtornos aos proprietários dos edifícios.

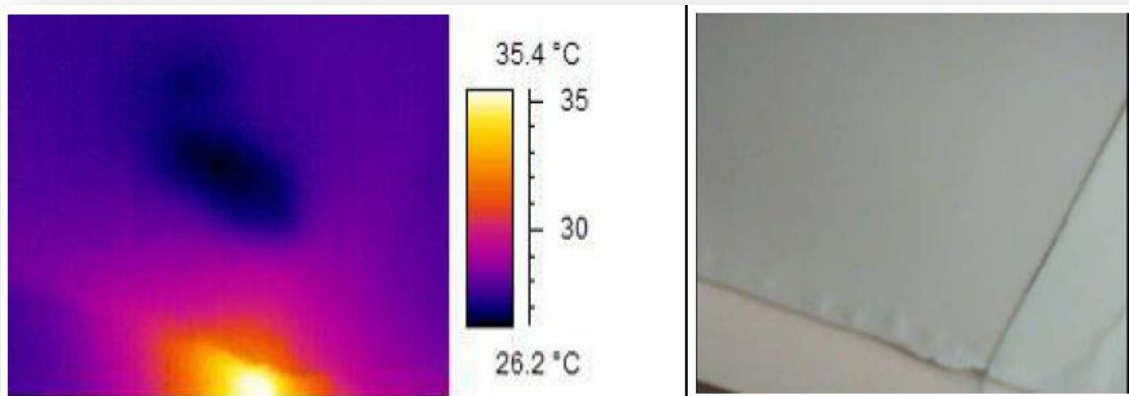


Figura 1.10 - Detecção de uma infiltração não visível; fonte: Spybuilding (2008)

A Figura 1.11 é uma termografia/fotografia onde se pode observar, uma situação de uma infiltração de água.

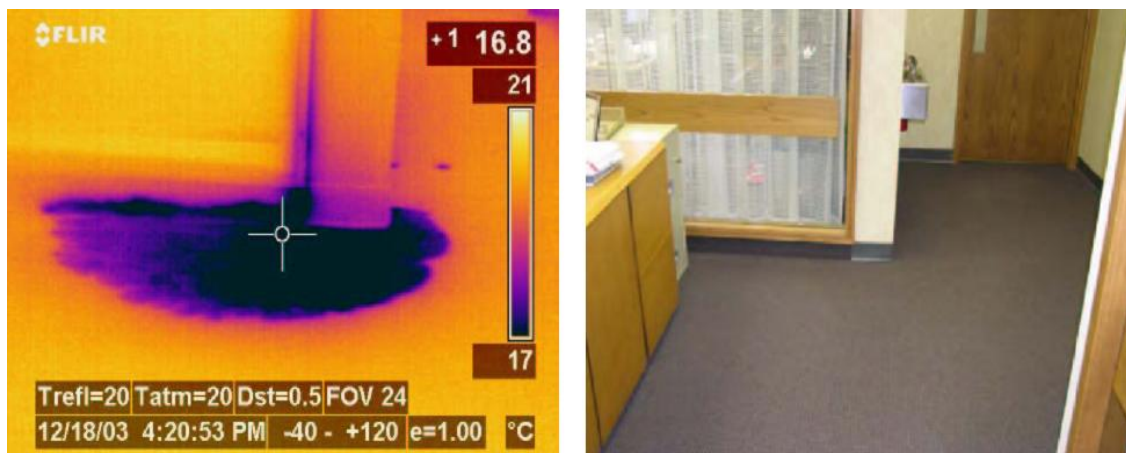


Figura 1.11 - Infiltração de Água; fonte: *Inframation* (2004)

A Figura 1.12 é um termograma/fotografia onde se observa, entre outras, uma situação bastante comum que é a perda de calor pelas fendas estruturais do edifício. Com recurso à imagem termográfica é facilmente descortinável a perda de calor e os pontos por onde ela se dá.

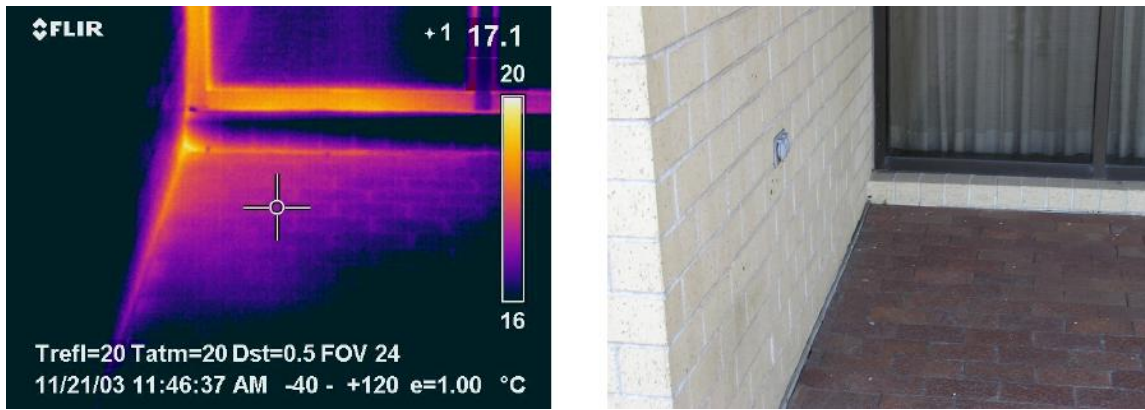


Figura 1.12 - Perdas de calor vindas do interior do edifício; fonte: *Inframation* (2004)

Na Figura 1.13 observa-se uma uniformidade da distribuição do ar, com exceção do local onde se encontra instalado um sistema de ventilação mecânica. Pela análise do termograma conclui-se que a zona onde o sistema se encontra instalado tem uma temperatura inferior quando comparada com o restante espaço.

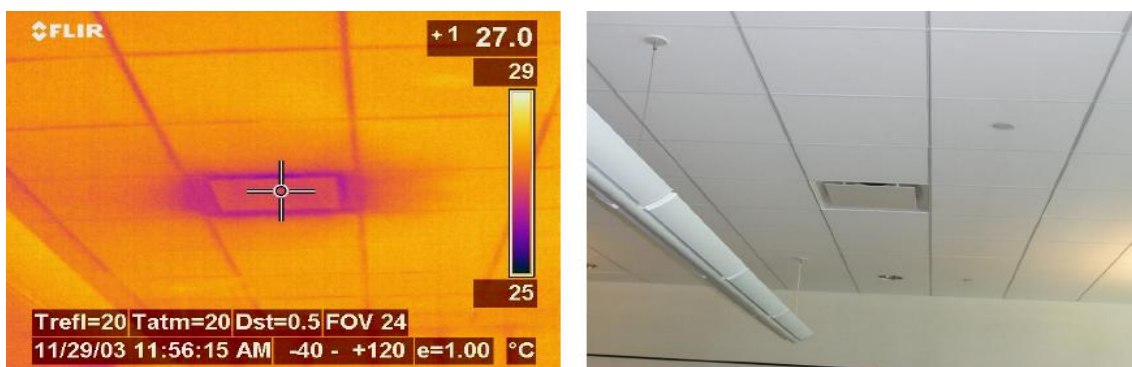


Figura 1.13 - Distribuição do Ar com um Sistema de Ventilação Mecânica; fonte: *Inframation* (2004)

De seguida é apresentado um exemplo de localização de uma rede interior (Figura 1.14), sendo impossível a sua identificação visual sem utilização de equipamento termográfico.



Figura 1.14 - Localização de Redes Interiores; fonte: Ahmaus E. e Fronapfel E. (2004)

Em suma, esta técnica permite a detecção de alguns problemas não identificados pela visão humana mas facilmente detectados através de imagens termográficas.

Na Figura 1.15 vê-se uma fotografia termográfica de elementos da envolvente opaca, onde se verificam as situações legendadas de A, B e C. Após uma análise cuidada da imagem conclui-se que a legenda A corresponde à ponte térmica que ocorre na junção de duas paredes verticais; a legenda B diz respeito à ponte térmica que ocorre na ligação entre parede e a laje de pavimento, sendo o ponto C o que corresponde à identificação de detalhes construtivos da superfície corrente em análise. No canto direito da fotografia pode-se visualizar a relação entre a cor e a temperatura.

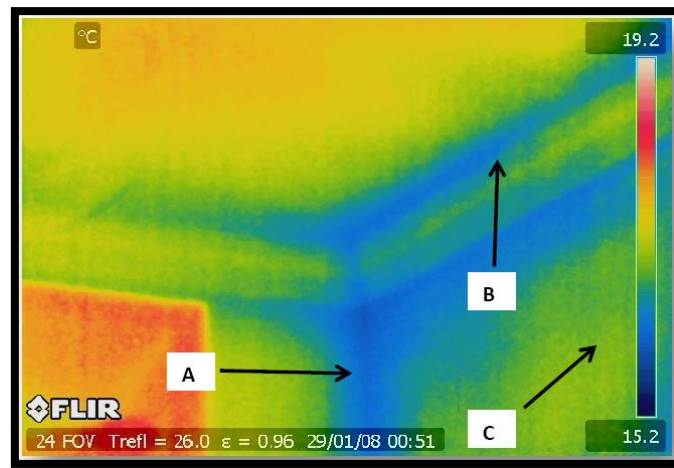


Figura 1.15 - Imagem Termográfica; fonte: Imagens cedidas pelo Eng.º António Cardoso

O exemplo apresentado de seguida através da Figura 1.16 mostra a termografia de dois edifícios de carácter habitacional, na qual se pode verificar que ambos os edifícios apresentam isolamentos térmicos distintos, ou seja, o edifício B revela um revestimento térmico executado pelo exterior, do tipo “ETICS”, ao contrário do edifício A que não possui isolamento térmico (as fachadas são construídas com paredes duplas e com caixa de ar mas sem isolamento).

A comparação entre os dois espelha-se na forma em que é possível distinguir o grau de capacidade de absorção de energia térmica dos edifícios, designadamente, o edifício mais à esquerda na imagem detém uma coloração mais amarela, correspondendo a uma temperatura que andarà próxima dos 21°C. Isto deve-se ao facto de absorver mais carga térmica pela inexistência de isolamento pelo exterior, podendo-se ainda observar neste

mesmo edifício, a delimitação de pontes térmicas planas com ausência de tratamento térmico, como é o caso dos pilares e topos de lajes.

O edifício B mostra-se com uma tonalidade mais azulada, logo, mais fria, demonstrando claramente a vantagem que se pode obter com a aplicação de revestimento térmico contínuo pelo exterior, complementando-se ainda pelo facto de não se detectarem pontes térmicas planas produzidas pelos elementos estruturais, face ao referido revestimento.



Figura 1.16 - Imagem Termográfica de duas habitações; fonte: Eng.º António Cardoso

Na Figura 1.17 pode-se observar uma fotografia termográfica tirada a um alçado lateral de um edifício. Estão presentes dois tipos de coloração distinta, nomeadamente uma mais clara, relativa aos elementos da envolvente opaca, e outra mais avermelhada, que mostra a estrutura resistente do edifício.

O motivo para a coloração se apresentar desta forma está relacionada com a carga térmica que o elemento consegue absorver, face às diferenças de massas entre ambos os elementos (maior no betão comparativamente com o elemento de alvenaria de tijolo da envolvente opaca, logo, com uma capacidade mais elevada de carga térmica).

Assim, os elementos na vertical, correspondentes aos pilares, e os elementos na horizontal correspondente às vigas, consistem tanto em pontes térmicas planas (ex:

pilares) como pontes térmicas lineares (ex: ligação de laje de piso intermédia com fachada).

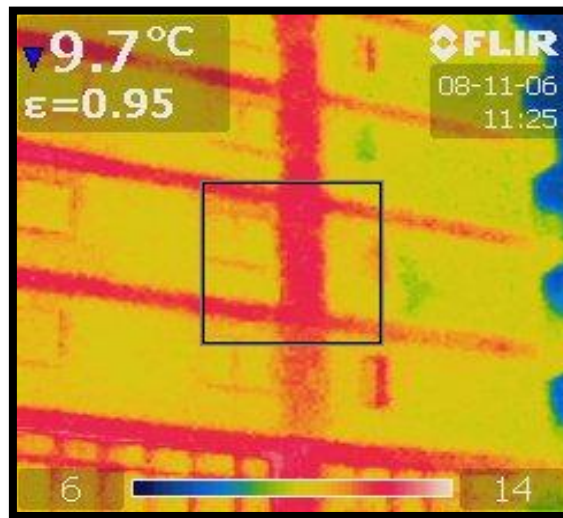


Figura 1.17 - Imagem Termográfica de Pontes Térmicas; fonte: Eng^o. António Cardoso

Com base nestes exemplos, pode-se concluir que a utilização deste recurso é uma mais-valia na inspecção que o perito irá efectuar no âmbito do processo de certificação de edifícios existentes, uma vez que traz a possibilidade de identificar vários detalhes directamente relacionados com as características térmicas do edifício e dos seus elementos, sendo ainda útil também na detecção de várias patologias, tudo pela identificação da radiação emitida pelo elemento e consequente associação à temperatura. O único entrave à proliferação desta ferramenta poderá ser o seu elevado custo (Costa, 2008).

I.3.2. Termografia Aplicada à Electricidade

A termografia aplicada aos sistemas eléctricos aplica-se à manutenção preventiva (geração de energia eléctrica, distribuição de energia e linhas de transmissão), monitorização do processo industrial (inspecção de tubagens e fornos, inspecção de refractários), ensaios não destrutivos (vazios em materiais compostos, corrosão em metais e verificação de juntas soldadas) (SIGMA, 2007).

1.3.2.1. Vantagens da Termografia Eléctrica

A maior parte dos problemas dos sistemas eléctricos são precedidos de uma mudança de temperatura sendo que um inspector bem treinado e experiente está apto para identificar e analisar os problemas antes da ocorrência de uma qualquer falha. As inspecções eléctricas realizadas com recurso a esta técnica trazem imensos benefícios.

As duas vantagens normalmente apontadas deste processo são a redução do tempo e dos custos desmontagem, reparações e montagens de componentes que se encontram em condições adequadas para o normal funcionamento. Este tipo de reparações que não têm grandes efeitos práticos e são financeiramente dispendiosos, originam em média uma diminuição de 30% na produção não sendo assegurado que o problema está resolvido depois da reparação, dado que a localização e o cerne do problema não foram estabelecidos.

Com uma inspecção termográfica consegue-se clarificar o centro do problema e apenas se proceder à reparação do componente afectado; problemas graves que existam e que se encontram em iminente ruptura facilmente são identificados, dando tempo para a sua reparação antes que os seus efeitos potencialmente nefastos se reflectam. Na grande maioria dos casos a falha é detectada muito antes de se tornar crítico. Tendo em conta a temperatura, a decisão de reparação pode ser tomada com tempo podendo ser agendada, possibilitando desta forma à organização a oportunidade de minimizar perdas ganhando eficiência e minimizando custos.

Existem outras vantagens baseadas nas anteriormente enunciadas, sendo dotadas de igual importância:

- Segurança - Uma falha num componente eléctrico pode ser catastrófico, provocando ferimentos ou mesmo a morte a colaboradores, pessoal de manutenção ou mesmo no público;
- Maior segurança no sistema: localizando o problema antes que ocorra, reduz-se em reparações não calendarizadas, em danos no equipamento e em tempo de não - produção;

- Aumento de Lucro: com a diminuição dos tempos de paragem e aumento do tempo produtivo, com menos manutenção, melhores componentes e rápidas reparações, os custos de manutenção baixam levando a um aumento do lucro;
- Redução de custos de reparação - O custo de uma reparação de emergência é 10x maior do que uma reparação planeada;
- Inspeções mais eficientes - todos os problemas se anunciam mediante o aumento da temperatura, sendo mais facilmente identificados num mais curto período de tempo. Não é necessária a paragem na produção para a realização da inspeção eléctrica termográfica;
- Redução de peças de substituição em stock - Se através da inspeção de termografia se consegue ter uma maior margem de tempo, então menos peças são precisas em inventário. Se conseguir reduzir 10% das peças em stock, é menos 10% de custos nessa área;
- Redução de custos operacionais: Com todo o sistema eléctrico a funcionar melhor e em maiores períodos de tempo, a redução e o melhoramento da eficiência das inspeções, manutenções e reparações vão diminuir os custos totais com essas operações.

Na Figura 1.18 encontram-se exemplos de termogramas sendo que quanto mais clara a cor mais alta é a temperatura (EDAO, 2008).

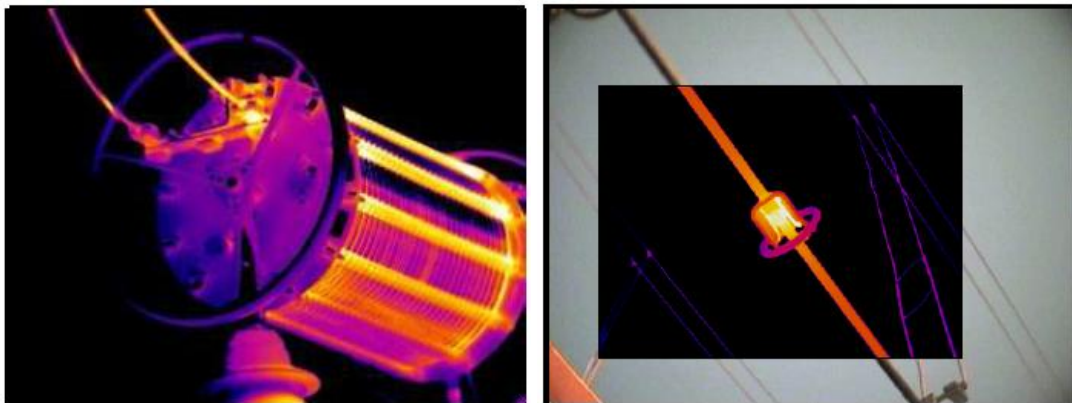


Figura 1.18 - Termografia aplicada à electricidade; fonte: EDAO (2008)

1.3.2.2. Limitações na Aplicação à Electricidade

A aplicação à electricidade tem também algumas limitações na sua abrangência, bem como a aplicação desta técnica noutra qualquer área. As mais comuns restrições na sua aplicação são:

- A grande variedade de materiais envolvidos dificulta a determinação correcta da emissividade dos pontos inspeccionados, originando erros na leitura dado que quanto menor a emissividade menor a capacidade de emitir infravermelhos, surgindo então a necessidade de definir uma emissão padrão;
- O vento provoca por convecção a dissipação do calor diminuindo a temperatura dos componentes aquecidos e originando erros na análise;
- A temperatura de um componente eléctrico tem relação directa com a intensidade da corrente que o atravessa, logo, leituras de temperatura efectuadas quando a corrente no componente está baixa pode esconder graves defeitos;
- Erros de reflexão, isto é, influências de radiações vindas de outras fontes de calor próximas ao ponto alvo ou até mesmo radiações solares podem contribuir para criar erros e até falsos pontos com temperaturas elevadas;
- A atmosfera atenua a radiação infravermelha que chega ao termovisor, logo, quanto maior a for a distância entre o objecto e o termovisor maior será este efeito;
- A prática do inspector e a qualidade dos equipamentos utilizados também pode limitar a qualidade dos resultados obtidos. (Furnas, 2008)

1.3.3. Outras Aplicações da Termografia

A termografia é actualmente utilizada como uma ferramenta médica para diagnóstico sendo dotada de um alto grau de precisão. A sua aplicabilidade na medicina é ainda relativamente recente, no entanto as suas aplicações não se restringem a esta ciência. Ao longo de vários anos foi utilizada para fins militares, possibilitando a medição do calor emitido pelos tanques, navios ou mesmo aviões. A partir da informação obtida através deste método os militares conseguem definir há quanto tempo os aparelhos foram utilizados ou até se estão prestes a partir.

Aplicada à Engenharia Civil, a termografia possibilita uma intervenção antecipada num vasto leque de situações, por este motivo é igualmente um precioso auxiliar na avaliação de falhas térmicas que ocorrem nos edifícios, permitindo identificar e diagnosticar anomalias na construção de edifícios. Problemas como sobreaquecimentos e desperdícios, curto-circuitos, são facilmente detectados em caldeiras e sistemas de ventilação ou refrigeração. Na qualidade de meio de diagnóstico é visto como um dos mais modernos principalmente por se tratar de uma técnica não evasiva, isto é, este género de exame não acarreta quaisquer riscos para o paciente ao contrário do que se passa nos exames de radiologia. Certas patologias como o Cancro podem ser detectadas numa fase precoce, possibilitando desta forma um tratamento mais adequado e eficaz (GEIA, 2007).

II. Certificação Energética de Edifícios

Antes de 1990 não existiam quaisquer requisitos térmicos na edificação. Para colmatar esta lacuna em 1990 surge o Decreto-lei 40/90 o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), sendo seguido em 1998 pelo Regulamento dos Sistemas de Climatização em Edifícios (RSECE).

II.1. Histórico

A Comissão Europeia em 2001 avançou com uma proposta referente a uma Directiva que se chamava Directiva sobre o Desempenho Energético dos Edifícios - EPBD, vindo a ser aprovada pouco tempo depois, originando então a Directiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro de 2002. Esta vinha obrigar os Estados Membros a implementar medidas até ao dia 4 de Janeiro de 2006 referentes a requisitos mínimos para os novos edifícios; requisitos mínimos para reabilitações importantes de edifícios existentes que possuíssem mais de 1000 m²; introdução da certificação obrigatória dos edifícios; qualificação necessária para os técnicos de certificação. Todos estes requisitos deveriam ser revistos ao nível interno a cada cinco anos, sendo actualizados caso surgisse essa necessidade.

A 3 de Junho de 2006 é transposta a Directiva 2002/91/CE para o Direito Nacional dando-se o início da aplicação dos novos regulamentos (RSECE e RCCTE), tendo sido Portugal dos primeiros países a efectuar a transposição. Surgem então os seguintes diplomas:

- DL 78/2006 de 4 de Abril - Decreto que aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade de Ar Interior nos Edifícios;
- DL 79/2006 de 4 de Abril - Decreto que aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios;
- DL 80/2006 de 4 de Abril - Decreto que aprova o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios.

A Certificação dos Edifícios existentes constituiu a terceira e última etapa do processo de faseamento para a entrada do Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), e compreendia a aplicação do SCE a todos os edifícios de habitação e serviços novos e existentes quando sujeitos a qualquer transacção ou arrendamento.

A entrada em vigor do SCE obriga a que a partir de 1 de Janeiro de 2009 fiquem abrangidos pelo sistema todos os restantes edifícios incluindo os existentes (Figura 2.1), sendo neste âmbito que surge a Nota Técnica 1 publicada pela ADENE.



Figura 2.1 - Fases da entrada em vigor do SCE; fonte: ADENE (2008)

O RCCTE vem servir de referência para Residências, pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados ou com sistemas de potência menores ou iguais a 25KW. O RSECE vem intervir em espaços com área superior a 1000m², edifícios pequenos e habitações com climatização ou cuja potência seja superior a 25KW.

II.2. Principais Requisitos do RCCTE e do RSECE

Existem diversos factores para que se obedeça aos requisitos do RCCTE, alguns deles são:

- Painéis solares - obrigatórios para produzir águas quentes sanitárias quando a exposição solar for apropriada;

- Pontes térmicas - os pontos onde ocorram perdas significativas de calor serão mais acautelados;
- Qualidade do Ar interior - caudais mínimos de ar novo para que seja assegurado um ambiente saudável;
- Isolamento térmico - aplicação camadas isolantes nos elementos construtivos para ajudar a que o edifício seja mais confortável;
- Vidros duplos - com a utilização de caixilharia dupla de corte térmico o desempenho energético é bastante melhorado (no entanto é importante referir que para já os vidros não estão contemplados com requisitos mínimos em termos de Us);
- Ar condicionado e Caldeiras - a eficiência destes equipamentos têm uma importância fundamental.

II.2.1. Papel do Perito nas Fases de Certificação

O processo de certificação envolve a actuação de um perito qualificado (PQ), o qual terá que verificar a conformidade regulamentar do edifício no âmbito dos regulamentos aplicáveis (RCCTE e/ou RSECE), classifica-lo de acordo com o seu desempenho energético, com base numa escala de A+ (melhor desempenho) a G (pior desempenho) e eventualmente aconselhar medidas de melhoria.

Em resultado da sua análise e caso o perito assim o entenda, deve emitir uma Declaração de Conformidade Regulamentar (DCR) necessária para a obtenção do pedido de licença de construção e o Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior (CE) necessário para a obtenção do pedido de licença de utilização ou, no caso de edifícios existentes, para venda ou aluguer do imóvel.

O primeiro funcionando como validação do projecto Térmico por parte do perito, e o segundo correspondendo à emissão do certificado energético que indica qual a classe energética que lhe foi atribuída.

Observe-se de seguida (Figura 2.2) as fases de intervenção do Perito:

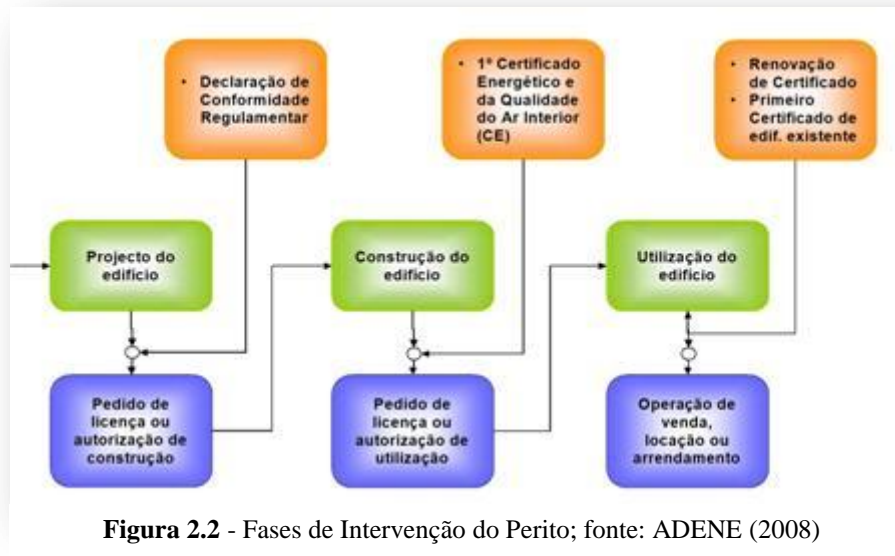


Figura 2.2 - Fases de Intervenção do Perito; fonte: ADENE (2008)

No decorrer de todo o processo de Certificação são inúmeras as entidades participantes. A supervisão é um dos pontos-chave estando à responsabilidade da Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG) cabendo-lhe a Supervisão na área da certificação da eficiência energética, e da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) efectuando esta a supervisão na área da qualidade do ar interior.

A Entidade Gestora é a Agência para a Energia (ADENE) tendo como principais funções:

- Supervisão dos peritos qualificados e dos processos de certificação;
- Emissão dos certificados;
- Aprovação do modelo de certificado;
- Criação da bolsa de peritos;
- Facultar o acesso on-line a toda a informação relativa ao processo da certificação aos peritos que o acompanham;
- Fiscalizar o trabalho de certificação do perito, pelo menos uma vez de 5 em 5 anos;
- Ordenar a fiscalização da qualidade do ar interior.

II.2.2. Empresas de Certificação

Actualmente as empresas que prestam serviços de certificação energética são uma realidade natural e incontornável na nova dinâmica de mercado neste sector. Assentes

no trabalho e na responsabilidade individual dos PQ, são frequentes as iniciativas deste género que surgem e que criam emprego para profissionais nesta área.

Para que fosse possível acompanhar esse fenómeno, a ADENE solicitou aos peritos qualificados, no final de 2008, informação sobre as empresas de certificação às quais estavam ligados ou de alguma forma prestassem colaboração. Essas respostas acusaram a existência de cerca de 60 empresas até então a actuarem nesta área (ADENE, 2009).

II.2.3. Entidades com Participação no SCE e Papel Desempenhado

As entidades que participam no SCE, cada uma com competências específicas, encontram-se descritas em seguida, de uma forma resumida:

- Entidades supervisoras: Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), para as áreas de Certificação e Eficiência Energética e a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), para a área da Qualidade do Ar Interior;
- Entidade gestora: Agência para a Energia (ADENE);
- Peritos Qualificados (PQ): técnicos devidamente habilitados, individualmente responsáveis pela condução do processo de certificação dos edifícios;
- Entidades responsáveis pelo reconhecimento profissional de PQ's: Ordem dos Arquitectos (OA), Ordem dos Engenheiros (OE) e a Associação Nacional de Engenheiros Técnicos (ANET);
- Promotores ou Proprietários de edifícios ou equipamentos: Responsáveis pelo cumprimento de todas as obrigações decorrentes do SCE, RCCTE e RSECE;
- Entidades competentes para contra-ordenações: DGEG (Direcção Geral de Energia e Geologia) na área da Certificação Energética e a IGAOT (Inspeção-Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território) na área da Qualidade do Ar Interior;
- Entidades fiscalizadoras: ADENE ou entidades mandatadas para auditar o trabalho dos PQs (actualmente o ISQ e a SGS);
- Comissão tripartida responsável pelo reconhecimento dos técnicos de instalação e manutenção de sistemas de climatização e técnicos responsáveis pelo funcionamento de sistemas energéticos, composta por: DGEG, APA, Associação Portuguesa da Industria de Refrigeração e Ar Condicionado (APIRAC), Associação

Portuguesa dos Engenheiros de Frio Industrial e Ar Condicionado e o Centro de Formação Profissional para a Indústria e Energia (APIEF).

(ADENE, 2009)

II.2.4. Funções do Perito Qualificado no Âmbito do SCE

Os PQ são os responsáveis pelo seguimento do processo de certificação dos edifícios, sendo os agentes que, no terreno, garantem a operacionalidade do SCE. As suas principais responsabilidades consistem em avaliar o desempenho energético e da qualidade do ar interior, propor medidas de melhoria na sequência das avaliações de desempenho que efectuou, verificar a correcta aplicação dos devidos regulamentos técnicos (RCCTE e RSECE) e ainda cabe-lhes a verificação ou realização das inspecções periódicas a caldeiras e a sistemas e equipamentos de ar condicionado, nos termos do RSECE.

Estes peritos podem exercer as suas competências tanto no decurso dos procedimentos de licenciamento ou autorização de utilização e de construção, como também no âmbito de possíveis auditorias periódicas estipuladas no RSECE, para o edifício ou suas fracções autónomas.

II.2.5. Fiscalização da Actuação dos Peritos Qualificados

A ADENE é a entidade a quem cabe a fiscalização do trabalho de certificação do perito qualificado, com base em critérios de amostragem a aprovar pelas entidades responsáveis pela supervisão do SCE.

As actividades de fiscalização serão, pelo menos numa primeira fase do sistema, contratadas pela ADENE a organismos públicos ou privados. A actividade de cada perito terá de sofrer fiscalização, pelo menos uma vez, de cinco em cinco anos, no entanto é previsto que a frequência da verificação seja bastante superior, uma vez que estão previstos ser auditados até 10% dos processos registados no SCE. A fiscalização consiste numa avaliação do trabalho do perito, ou seja, se foram aplicadas correctamente as metodologias previstas no SCE, no RCCTE e no RSECE. A exigência,

pela ADENE, de qualidade no trabalho dos peritos irá acompanhar a natural evolução e o progressivo detalhe das metodologias definidas pelo sistema.

Para que possa ser assegurada uma adequada evidência do seu trabalho, o PQ deverá documentar devidamente a sua análise em cada processo e conservar os respectivos registos, em formato electrónico ou impresso, por um período de 5 anos. Caso ocorra uma fiscalização, esses registos deverão ser facultados à entidade fiscalizadora, que neles buscará as necessárias evidências de que o perito verificou correctamente as metodologias regulamentares.

No que respeita a certificados emitidos em contexto de licença de utilização ou, no caso de edifícios de serviços, após uma auditoria periódica, a fiscalização poderá envolver uma visita ao edifício pelo auditor.

II.3. Método Detalhado e Método Simplificado

O esquema de análise de um edifício ou fracção autónoma, no âmbito do método detalhado pauta-se por um conjunto de índices térmicos e parâmetros cuja determinação e limites se encontram definidos no Decreto-Lei 80/2006. Por outro lado, no que respeita à Certificação Energética, a determinação da classe energética para um edifício existente encontra-se regulada num conjunto de procedimentos enquadrados na forma de uma NT, divulgada pela ADENE face ao Despacho n.º 10250/2008 de 8 de Abril. Estes procedimentos têm como objectivo a padronização e o aligeiramento da análise que se efectuar a edifícios que já se encontrem construídos, para efeitos de certificação energética (Método Simplificado).

O Método Detalhado consiste no método de aplicação pormenorizada do RCCTE (DL 80/06) enquanto o Método Simplificado trata do conjunto de procedimentos de simplificação que foram introduzidos pela Nota Técnica 1 da ADENE. Ambos os Métodos esbarram num ponto comum, que consiste na análise e definição de determinados pontos, sendo que, de um modo resumido, a diferença entre os dois métodos está na forma como eles são obtidos.

Simplificações permitidas pela NT:

- Levantamento dimensional;
- Pontes Térmicas;
- τ dos espaços não úteis;
- Ventilação mecânica (caso haja);
- Factor Solar do vão envidraçado;
- Coeficiente de transmissão térmica;
- Classe de inércia;
- E_{solar} ;
- Eficiência dos sistemas;
- Factores de sombreamento.

II.3.1. Sistemas de Colectores Solares

➤ Método Detalhado

O Dec. Lei 80/06 define a obrigatoriedade de recurso a colectores solares térmicos, na base de 1m^2 colector por ocupante convencional, sempre que exista uma exposição solar apropriada, ou seja, quando se verifique a existência de cobertura em terraço ou de cobertura inclinada com água quando esteja orientada numa gama de azimutes de 90° entre Sudeste e Sudoeste, que não sejam sombreadas por obstáculos significativos no período que se inicia diariamente duas horas depois de o nascer do Sol e termina duas horas antes do ocaso, podendo o valor de 1m^2 por ocupante convencional ser diminuído de forma a não ultrapassar 50% da área de cobertura total disponível, em terraço ou nas vertentes orientadas no quadrante sul, entre sudeste e sudoeste.

O contributo de sistemas solares para o aquecimento de AQS, denominado de Esolar, deve ser calculada utilizando o programa Solterm do INETI, e só poderá ser contabilizado se cumprir cumulativamente os seguintes requisitos mínimos:

- Os sistemas ou os colectores forem certificados com marca de produto CERTIF ou Solar Keymark;

- Os sistemas forem instalados por técnicos certificados pela DGEG;
- Existir garantia de manutenção do sistemas por um período mínimo de 6 anos após a instalação.

➤ Método Simplificado

Assume-se como necessária a distinção entre duas situações, nomeadamente se os colectores foram instalados antes ou depois da entrada em vigor do DL n.º80/2006, isto é, no caso de se tratar de colectores instalados antes da entrada em vigor do DL n.º80/2006 estes serão considerados colectores não certificados não podendo a sua contribuição ser considerada, deste modo, para os “após”, a sua contribuição deverá ser calculada segundo a metodologia que a seguir se descreve, de acordo com a NT e utilizando a seguinte expressão matemática:

$$E_{solar} = E_{solarRef} - f_1 - f_2 - f_3 \text{ (kWh)} \quad [2.1]$$

Onde:

E_{solar}^{ref} – contribuição referência de sistemas de colectores solares para o aquecimento da AQS por distritos e para diferentes áreas de colectores em função do tipo do sistema, os quais são obtidos ou directamente tirados do Quadro VIII da NT, ou então poder-se-á recorrer aos resultados do Solterm versão 5 ou superior, utilizando sistemas de colectores solares de referência (sistemas de circulação forçada ou sistemas do tipo “Kit) para uma inclinação de 40° e azimute sul;

f_1 - factor de redução referente ao posicionamento óptimo, que traduz a penalização a tomar em conta no que se concerne à eventual existência de situações de posicionamento (inclinação/orientação) que se traduzam numa deficiente captação da radiação solar, sendo estes valores retirados do Quadro IX da NT;

f_2 - factor de redução relativo ao sombreamento que se traduz na penalização a aplicar de modo a que sejam tidas em consideração as eventuais situações em que a superfície útil de captação do colector esteja sombreada, sendo esses valores retirados do Quadro

X, os quais são válidos para sombreamentos equivalentes a máscaras de obstruções em bandas de ângulos de azimute de 10° (vd. SolTerm).

Nas situações que conduzam a ângulos superiores, o valor de $E_{\text{solar}}^{\text{ref}}$ deverá ser afectado de tantos factores f_2 quanto o número de vezes que o ângulo for superior a 10° ;

f_3 - factor de redução referente ao tempo de vida, dando origem este factor a uma penalização que toma em conta o tempo de vida dos sistemas de colectores solares instalados, podendo tal dado ser retirado do Quadro XI da NT.

(Costa, 2008)

11.3.2. Ventilação Natural

A metodologia de determinação da taxa de renovação horária, tanto para o método detalhado como para o método simplificado é igual para ambos os métodos e encontra-se definida no ponto 3.2 do Anexo IV do Dec. Lei n.º.80/06.

De acordo com a Norma 1037-1, a renovação do ar efectua-se através dos caudais admitidos por grelhas colocadas nas caixilharias ou nas paredes dos compartimentos principais e a saída faz-se pelos compartimentos de serviço através de condutas prolongadas até 0,50 m acima do nível das coberturas. Quando a ventilação é projectada de acordo com esta norma, a taxa de renovação a adoptar para o cálculo do Nic será de 0,6 RPH, ou seja, 60% do volume do ar do espaço deve ser substituído em cada hora, sendo que o projectista deve demonstrar de forma inequívoca o cumprimento deste requisito. Esta obrigatoriedade é responsável por grandes consumos energéticos no Inverno, visto que o ar que entra tem de ser aquecido, perdendo-se o calor existente do ar que é retirado (Ferreira, 2004).

Esta implica:

- Existência de aberturas de admissão de ar, preferencialmente auto-reguláveis, em todos os compartimentos principais;
- Dispositivos que garantam a passagem do ar dos compartimentos principais para os de serviço;

- Existência de aberturas ou condutas de evacuação do ar nos compartimentos de serviços;
- Ausência de dispositivos de extracção mecânica na cozinha, banhos e arrumos;
- Subentende um projecto específico com demonstração de satisfação das regras constantes na Norma.

II.3.3. Pontes Térmicas

Ponte térmica é o termo normalmente utilizado para designar fenómenos localizados de transferência de calor na envolvente de um edifício, cuja consequência é uma diminuição das características de isolamento térmico desses locais relativamente à zona corrente. A ponte térmica é toda a parte da envolvente de um edifício onde não é possível admitir a hipótese de unidireccionalidade do fluxo de calor, logo, por conseguinte, deixa de ser válida a abordagem de cálculo convencionalmente usada em térmica de edifícios, que toma a resistência térmica dos elementos uniforme na sua área.

Em termos de fenómeno físico, nas zonas de pontes térmicas as linhas do fluxo de calor deixam de ser rectilíneas, aspecto característico de um processo, e tomam as direcções em que a resistência oferecida à passagem de calor é mais baixa. Esta especificidade transforma a transmissão de calor nessas zonas num processo bidimensional ou mesmo tridimensional. Em termos práticos, as pontes térmicas têm como efeito um aumento das trocas de calor através da envolvente, relativamente a uma situação base que não contemple esse efeito, originando um consequente aumento dos consumos energéticos de um edifício e uma distribuição heterogénea de temperaturas nos paramentos (Valério, 2007).

As pontes térmicas advêm sempre duma heterogeneidade, quer seja de ordem geométrica quer seja de ordem estrutural. Os casos mais comuns são: transição entre materiais com diferentes condutibilidades térmicas (Figura 2.3); alterações na espessura de um elemento (Figura 2.4); diferenças entre áreas internas e externas, como o caso que ocorre nos encontros entre paredes e por último, entre paredes e pavimentos e entre paredes e tectos.

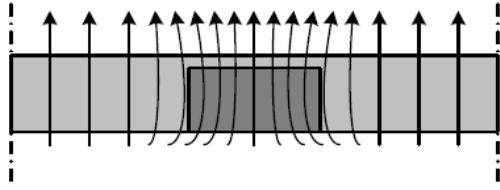


Figura 2.3 - Pontes Térmicas Lineares pela transição entre diferentes materiais; fonte: Valério (2007)

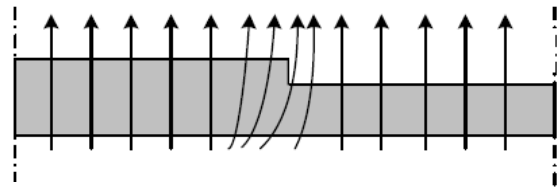


Figura 2.4 - Ponte Térmica devido a alterações de espessura; fonte: Valério (2007)

A correcção das pontes térmicas deve ser efectuada em função do tipo de pormenor construtivo que a origina (Figura 2.5), procedendo ao reforço do isolamento térmico nessa zona de modo a diminuir o seu efeito. A análise de cada pormenor susceptível de criar uma ponte térmica e a preconização de uma solução correctiva que melhor se adapte ao tipo de construção, será a melhor forma de solucionar os problemas associados às pontes térmicas.



Figura 2.5 - Correção de uma Ponte Térmica na zona de um pilar e viga; fonte: Valério, (2007)

Relativamente aos tipos de pontes térmicas, o RCCTE faz a distinção entre pontes térmicas planas e lineares.

II.3.3.1. Pontes Térmicas Lineares

No cálculo das pontes térmicas lineares é feita a separação entre método detalhado e método simplificado.

➤ **Método Detalhado**

As perdas de calor lineares unitárias são obtidas pelo produto entre o coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica, Ψ , e o desenvolvimento linear (comprimento) da ponte térmica, B, medido pelo interior do elemento. Os coeficientes Ψ são apresentados na tabela IV.3 do RCCTE para as situações mais correntes na construção em Portugal.

Quando se verificam pontes térmicas lineares não consideradas na tabela IV.3, o PQ deverá utilizar um valor convencional de $\Psi = 0,5\text{w}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ou em alternativa proceder ao seu cálculo segundo a norma EN ISO 10211-1.

➤ **Método Simplificado**

A aplicação do método simplificado permite que seja tido em conta apenas o desenvolvimento linear total das ligações de fachadas com pavimentos, cobertura ou varanda, utilizando um valor convencional de $\Psi = 0,75\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$, ignorando assim as ligações de fachada com caixa de estore, padieira, ombreira ou peitoril e as ligações entre duas paredes verticais.

O valor do coeficiente de transmissão térmica linear a considerar será $\Psi = 0,75\text{w}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$ para as situações seguidamente designadas, sendo as restantes PTL's ignoradas. De acordo com a NT, pode-se ter pontes térmicas lineares dos seguintes tipos:

- Fachada com Cobertura Inclinada;
- Fachada com Pavimento (Sobre espaço não-útil);
- Fachada com Pavimento Térreo.

II.3.3.2. Pontes Térmicas Planas

As pontes térmicas planas, nomeadamente pilares, talão de vigas e caixas de estore, também contribuem para as perdas térmicas pela envolvente exterior do edifício. O RCCTE impõe que o coeficiente de transmissão térmica superficial calculado de forma unidimensional na direcção normal à envolvente não pode ser superior ao dobro do dos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente, respeitando sempre, no entanto, os valores máximos para os coeficientes de transmissão térmica superficiais ($U_{máx}$). Em rigor, zonas de pontes térmicas planas também envolvem, nas zonas de contacto com as zonas correntes, pontes térmicas lineares. Uma vez que neste caso o efeito da ponte térmica plana se sobrepõe em muito ao efeito da ponte térmica linear, este último é, do ponto de vista do RCCTE, desprezado ($\Psi = 0$), logo, o cálculo das pontes térmicas planas é em tudo similar ao cálculo das zonas correntes, sendo apenas necessária mais atenção na contabilização das áreas e dos coeficientes de transmissão térmica, pois normalmente são zonas de singularidades em que se torna mais morosa a sua determinação (Valério, 2007).

Relativamente a estas pontes, a metodologia indicada na NT, permite que se ignorem as pontes térmicas planas (Figura 2.6) considerando-as como estando inseridas na zona corrente, aplicando-se no entanto uma majoração de 35% ao valor do coeficiente de transmissão térmica superficial dessa zona corrente.

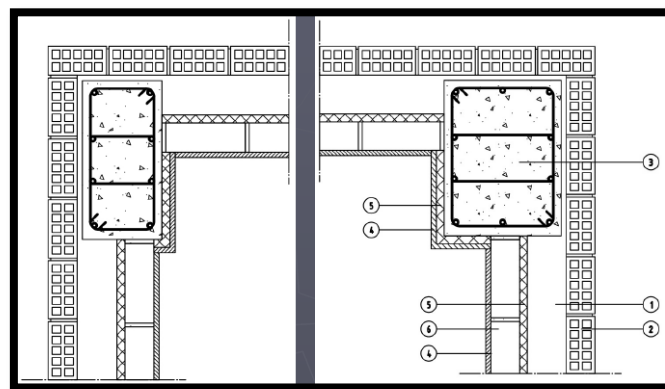


Figura 2.6 - Pilares de Canto Salientes; fonte: Coelho (2008)

III. Aplicação da Termografia à Certificação Energética de Edifícios

O Processo de exame e avaliação de sistemas e componentes utilizando sistemas sensoriais humanos é denominado de inspeção visual. O único tipo de ajuda nesta visualização diz respeito a eventuais sistemas mecânicos de melhoria e/ou ampliação da entrada sensorial, por exemplo, estetoscópios.

III.1. Técnicas de Inspeção

O processo de inspeção pode ser feito recorrendo a procedimentos tais como: olhar, ouvir, sentir, cheirar entre outros. São então envolvidos todos os sentidos do ser humano, sendo que a eficácia da análise ficará muito dependente das capacidades do observador. No entanto o cérebro/visão humana pode ser “treinada” para determinar e interpretar variações subtis em componentes estruturais. A inspeção divide-se em:

- Inspeções visuais directas – uso de telescópios, borescópios, visão em tempo real;
- Inspeções visuais indirectas – Observação de fotografias, radiografias ou vídeos.

Terá que ser feito um balaceamento entre os prós e os contras da utilização da inspeção visual. Assim, como vantagens tem-se o baixo custo, a elevada mobilidade e a prontidão dos resultados. As desvantagens serão a observância apenas de defeitos superficiais e a dependência de factores humanos. Fica então claro que em caso de se pretender uma análise cuidada e criteriosa, não se poderá ficar apenas pela mera inspeção visual, sendo necessário recorrer a apoio complementar para a análise.

A utilização da acústica como método de controlo dos materiais deu-se nos anos 50 e tem obtido bons resultados, com especial destaque para “materiais ruidosos” tais como compósitos de betão. A emissão acústica (EA) não é mais que a “escuta” do som gerado pela evolução de um dano na peça que se encontra a ser inspeccionada. A localização dos danos por esta técnica pode ser feita por técnicas de triangulação baseadas no tempo que levam os sinais a atingir os sensores sendo que a dimensão do problema não poderá ser determinada através de EA.

A emissão acústica é formada por ondas ultra-sonoras, pelo que terá que ser medida utilizando métodos similares, não podendo ficar o inspector, aqui também, limitado apenas aos seus sentidos sensoriais. Os complementos mais comuns neste tipo de análise são os Acelerómetros (100HZ no máximo), os Transdutores Ópticos (larga resposta em frequência e capacidade em integrar sinais de áreas consideráveis), e por último os Transdutores Piezoeléctricos, sendo estes os mais comuns dada a sua enorme sensibilidade, fiabilidade e adequabilidade a uma vasta gama de frequências.

As principais desvantagens associadas a este método começam logo pelo facto de que nem todos os materiais possuem EA, e também a impossibilidade de se determinar o tamanho das fissuras. Ainda é apontado normalmente o problema de que os múltiplos percursos para o ultra-som complicam a identificação do sinal (IST, 2007).

O que se pretende aqui demonstrar com esta abordagem é que nos tempos actuais, com a complexidade e diversidade dos materiais utilizados na Construção, é necessário o uso de equipamentos específicos para ser possível determinar com exactidão eventuais problemas que possam estar a ocorrer, não se podendo restringir o PQ à sua experiência (sendo esta também um factor importante) ou à sua elevada capacidade sensorial, independentemente da técnica que se encontra a utilizar.

O Sector da Construção, em particular a área da certificação energética de edifícios, com a utilização de equipamentos adequados, ganha em qualidade, em redução de custo e, sobretudo, em qualificação profissional e actualização tecnológica. Aplicada aos edifícios, a termografia pode ser útil nas diversas fases do processo construtivo, dando apoio na concepção do projecto, avaliando a execução em obra e facilitando a investigação de novos materiais e tecnologias.

É uma metodologia não destrutiva, bastante rápida e eficaz, permite a realização de ensaios em tempo real, de longo alcance e longa escala, sem requerer uma fonte externa de iluminação. Possibilita a detecção de objectos encobertos, a visualização de pontos quentes e frios na mesma imagem e é uma técnica bastantes segura e que pode ser aplicada a edifícios em funcionamento.

A utilização da termografia é no entanto especialmente eficaz para obter informação inicial sobre as anomalias, sendo a sua principal função inspeccionar o elemento construtivo numa fase preliminar do estudo. Mas, devido à complexidade dos elementos construtivos e dos mecanismos de medição da radiação infravermelha, a recolha e a análise dos termogramas têm que ser realizadas com algum cuidado, tornando-se importante a elevada qualificação do operador ou técnico que a executa e interpreta os resultados. As condições de ensaio são bastante rígidas o que poderá ser um factor a dificultar a sua realização.

A emissividade da superfície em estudo, a reflexão pelo objecto da energia emitida por outros objectos vizinhos que não poderão ser eliminados da zona de ensaio e a atenuação atmosférica, para distâncias de medição superiores a 10 m, são pontos a serem tidos em conta durante a captação das imagens e na sua interpretação. No entanto, a temperatura ambiente, a humidade relativa, o efeito chaminé, o vento, o sol e outras quaisquer fontes de calor, o ângulo de visão, a distância entre o objecto e o equipamento, podem causar distorções na medição da temperatura superficial do elemento construtivo em estudo e influenciar bastante os resultados, caso não sejam evitados ao longo da realização do ensaio.

Para que se possa diferenciar no termograma o objecto do fundo que o rodeia, a temperatura da superfície em estudo terá que ser superior à temperatura ambiente, isto dificultará o estudo de objectos em equilíbrio térmico com a ambiência.

Outra das limitações com que os peritos se deparam, é o ainda elevado custo dos equipamentos, uma vez que são produzidos por um número reduzido de empresas, e as suas especificações não são iguais, o que torna mais penosa a comparação de resultados (Barreira, 2004).

III.1.1. Termografia Qualitativa

A análise qualitativa é rápida, de fácil interpretação e deve ser utilizada sempre que se procure uma abordagem mais superficial do problema. Nesta análise são realizados

termogramas que, apenas pela sua observação cuidada e sem grandes detalhes de medição, possibilitam avaliar termicamente o elemento em estudo.

As imagens térmicas podem ser obtidas com emissividade constante, dado que apenas se pretendem observar as diferenças de temperaturas superficiais. A sua interpretação pode ser efectuada “in situ”.

Apesar da simplicidade aparente desta abordagem, é de uma enorme importância que a pessoa que efectuar os ensaios e interpretar os resultados tenha alguma experiência, para que saiba qual o tipo de imagem que seria esperada caso não existisse qualquer anomalia.

Para que possam ser evitados erros de interpretação é aconselhável que, sempre que seja possível, sejam efectuados termogramas de referência de zonas não afectadas do objecto em estudo ou de outro semelhante. Desde que as condições de ensaio e da envolvente sejam idênticas, a avaliação da imagem térmica da anomalia pode ser feita por comparação com o termograma de referência (Barreira, 2004).

III.1.1.1. Identificação de Pontes Térmicas

Uma laje de pavimento que suporta uma parede exterior isolada ou que esteja em consola para formar uma varanda, corresponde a uma ponte térmica que facilita a transferência do calor do interior para o exterior (Figura 3.1). Tal como nas zonas sem isolamento, as pontes térmicas podem ser identificadas através de zonas mais quentes ou mais frias, com a forma do componente com menor resistência térmica.

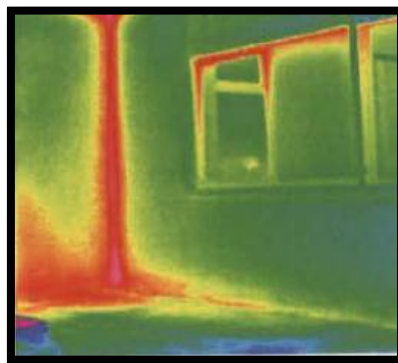


Figura 3.1 - Ponte Térmica; fonte: Barreira E., (2004)

De uma forma global a análise qualitativa assume-se como satisfatória podendo ser detectadas áreas problemáticas ao nível do isolamento térmico. No entanto, caso os ensaios sejam realizados pelo exterior, poderá ter que ser feita uma análise mais aprofundada. Se os revestimentos da fachada não forem uniformes e as condições climáticas variarem significativamente, a alteração da temperatura superficial pode resultar, não da menor resistência térmica do elemento mas, por exemplo, da diferente absorção da radiação solar, que é função da cor do revestimento.

➤ **Detecção de Problemas em Coberturas**

Em habitações com coberturas inclinadas (Figura 3.2), constituídas pelo tecto, devidamente impermeabilizado, por um espaço de ar ventilado e pelo telhado, não se assume como indicado o ensaio pelo exterior. As radiações emitidas pelo telhado apenas originam imagens distorcidas e pouco detalhadas das deficiências dos vários componentes que constituem o sistema, dado que o ar funciona como uma espécie de retardador térmico, aumentando exponencialmente a inércia entre o tecto e o telhado. Para se conseguir obter um resultado mais exacto os ensaios devem ser realizados pelo interior, sendo identificados os problemas de uma forma semelhante aos das fachadas. De seguida apresenta-se uma imagem de um ensaio realizado pelo exterior:

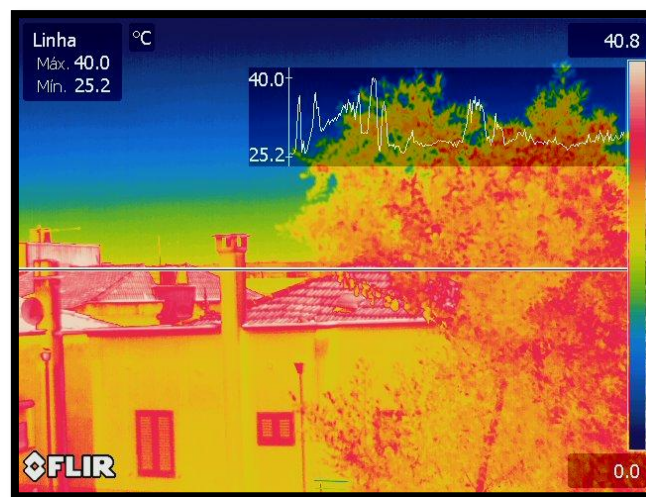


Figura 3.2 - Problemas em Coberturas; fonte: Imagens cedidas pelo Eng.º António Cardoso

➤ **Detecção de Fugas de Ar através das Janelas**

As perdas de calor em janelas ocorrem por condução ou por transferência de ar através de pontos de fuga (Figura 3.3). Para serem detectadas as perdas de calor por pontos de

fuga no caixilho, nas dobradiças ou nos encaixes das janelas, deve recorrer-se à diminuição artificial da pressão interior para evidenciar o problema. As perdas por condução apenas podem ser detectadas caso sejam eliminadas as radiações visíveis, transmitidas através do vidro, recorrendo a filtros espectrais. Através da termografia é possível comparar a prestação dos diversos tipos de janelas isolantes, através da visualização dos resultados obtidos após a aplicação dos diversos métodos para diminuir as perdas de calor.



Figura 3.3 - Fugas de Ar pelas Janelas; fonte: Imagens cedidas pelo Eng^o. António Cardoso

➤ **Deteção de Fugas de Ar através da Envolvente Opaca**

As perdas de calor através da envolvente opaca de um edifício (Figura 3.4) são facilmente detectadas através da visualização de quebras na temperatura superficial que se desenvolvem a partir de um ponto de fuga. Estas são acompanhadas de transferência de humidade da ambiência anterior para a superfície do elemento construtivo que, por estar mais fria, possibilita a condensação do vapor de água. Estando dependente da quantidade condensada e dos materiais que constituem a envolvente, as condensações superficiais junto aos pontos podem agravar a variação da temperatura superficial.

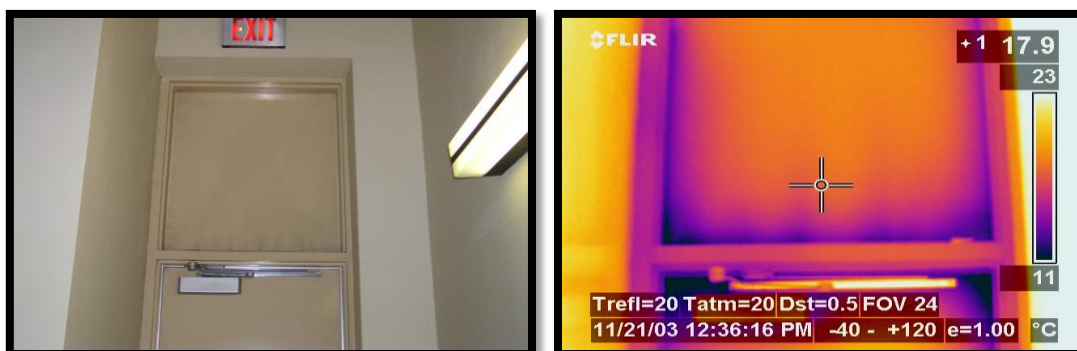


Figura 3.4 - Fugas de Ar pela Envolvente Opaca; fonte: Finn M. (2004)

A extensão da variação de temperatura em torno do ponto de fuga, que permite a sua melhor ou pior visualização, está dependente do tamanho e da natureza do ponto de fuga, da pressão diferencial a que está sujeito o elemento construtivo e da diferença de temperatura entre o interior e o exterior.

III.1.1.1.1. Pontes Térmicas Lineares

Observem-se exemplos de Pontes Térmicas Lineares (os esquemas têm todos eles como fonte o RCCTE, estando outros esquemas presentes no Anexo A):

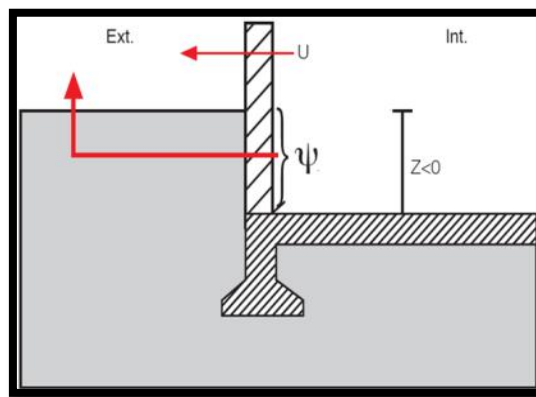


Figura 3.5 - Paredes em Contacto com o Solo; fonte: RCCTE (2006)

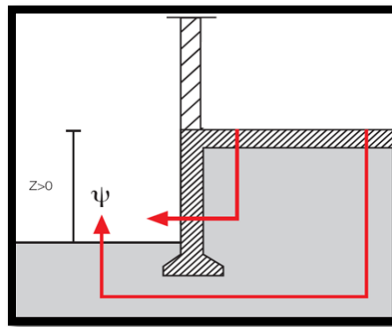


Figura 3.6 - Pavimentos em Contacto com o Solo sem Isolamento Térmico; fonte: RCCTE (2006)

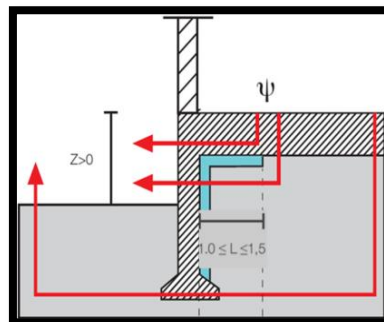


Figura 3.7 - Pavimentos em Contacto com o Solo com Isolamento Térmico; fonte: RCCTE (2006)

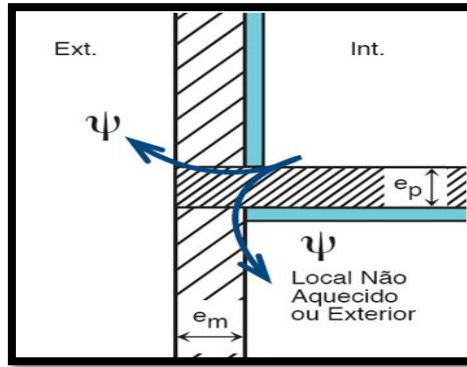


Figura 3.8 - Ligação da fachada com pavimentos sobre Locais não Aquecidos; fonte: RCCTE (2006)

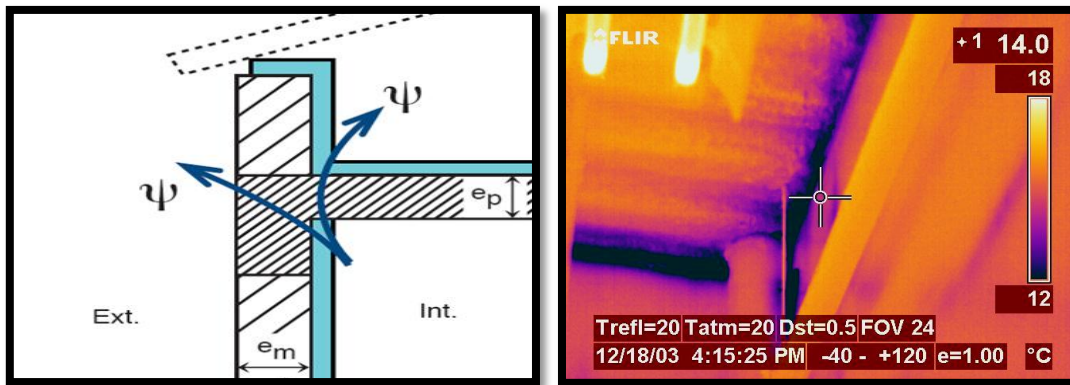


Figura 3.9 - Ligação da Fachada com Cobertura Inclinada ou Terraço; fonte: RCCTE (2006); Finn M. (2004)

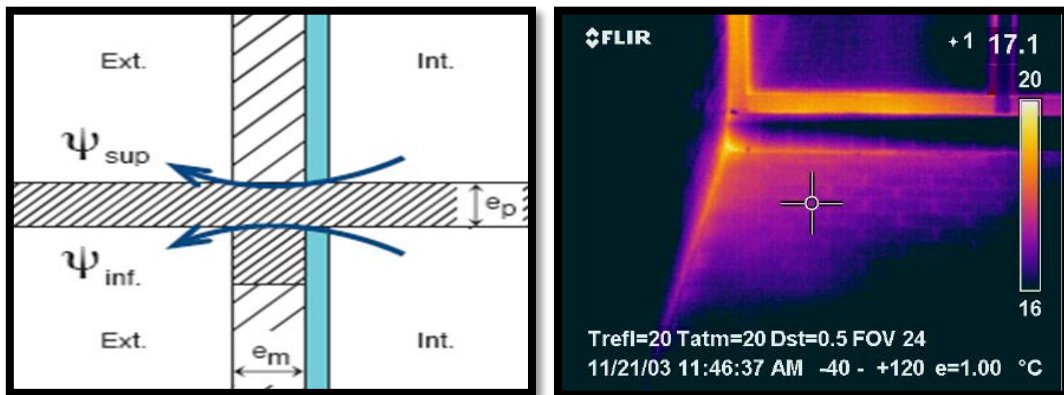


Figura 3.10 - Ligação da Fachada com Varanda; fonte: RCCTE (2006); Finn M. (2004)

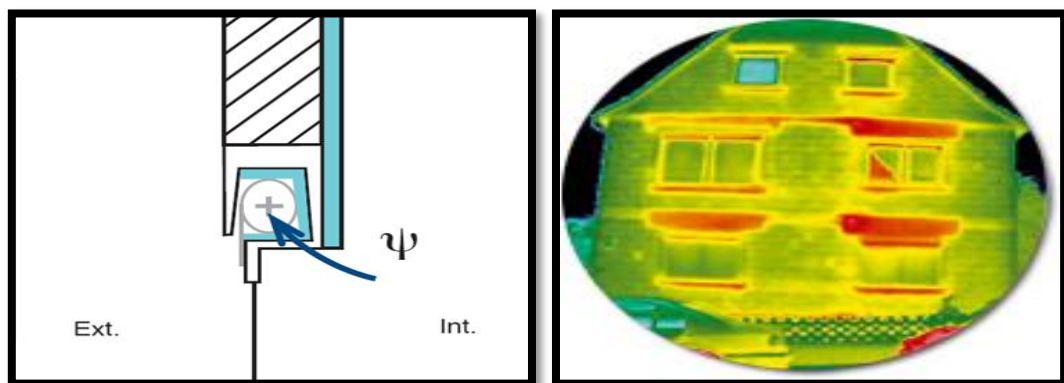


Figura 3.11 - Ligação da Fachada com Caixa de Estore; RCCTE (2006); fonte: <http://www.mra.pt/ALAVA>

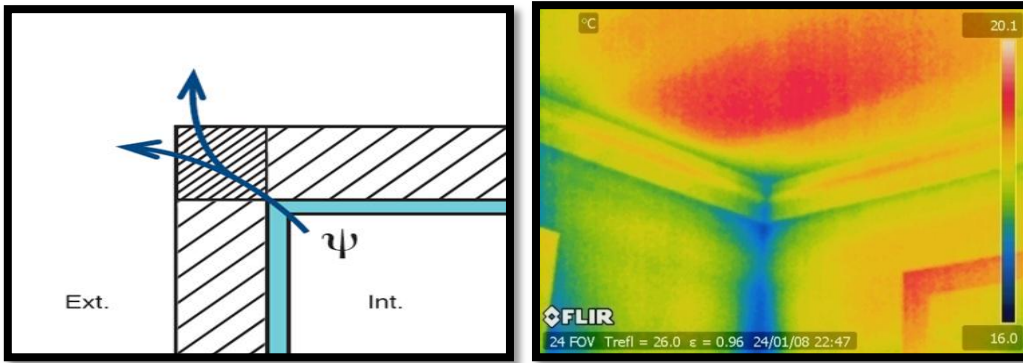


Figura 3.12 - Ligação entre duas Paredes Verticais; fonte: RCCTE (2006); Finn M. (2004)

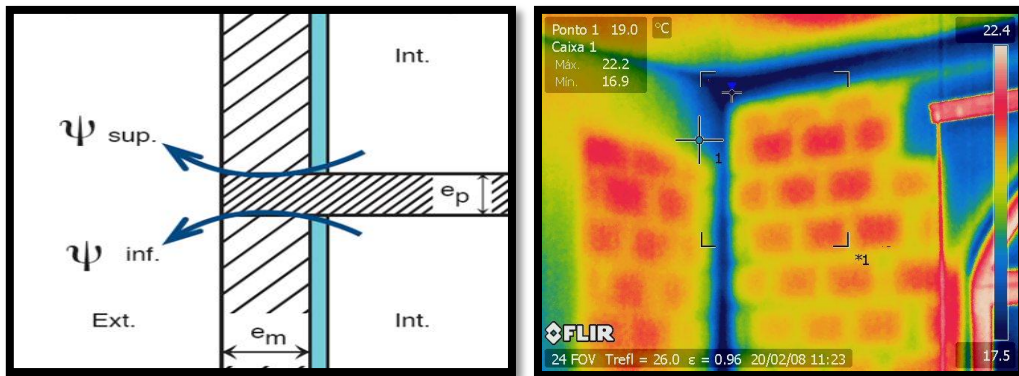


Figura 3.13 - Ligação da Fachada com Pavimentos Intermédios; fonte: RCCTE (2006); Finn M. (2004)

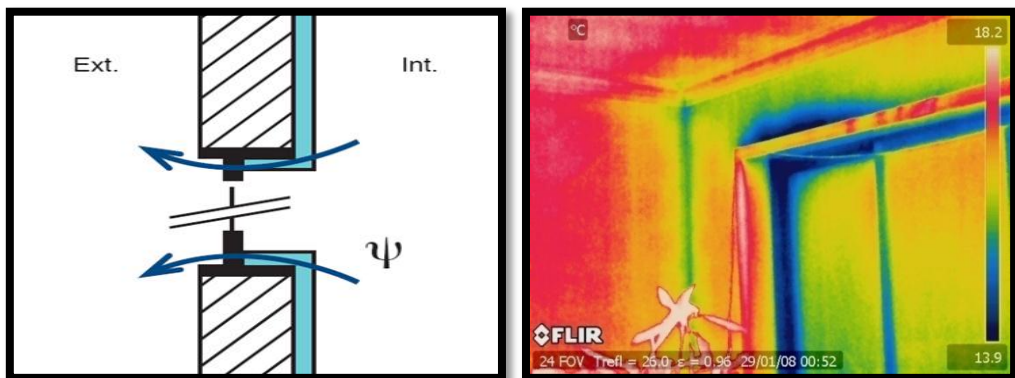


Figura 3.14 - Ligação da Fachada/Ombreira, Padieira ou Peitoril; fonte: RCCTE (2006); Finn M. (2004)

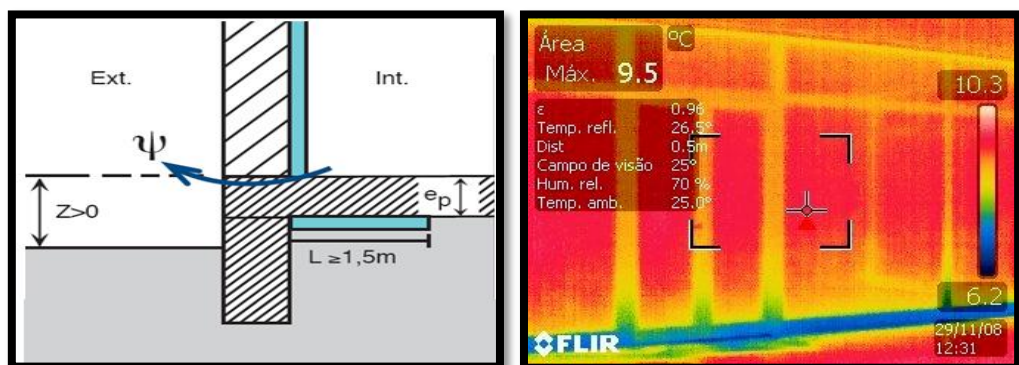


Figura 3.15 - Ligação da Fachada com Pavimentos Térreos; fonte: RCCTE (2006); Finn M. (2004)

III.1.1.1.2. Pontes Térmicas Planas

Ponte térmica plana é a heterogeneidade inserida em zona corrente da envolvente, como pode ser o caso de certos pilares e talões de viga (RCCTE, 2006). Observe-se de seguida nas figuras, exemplos de pontes térmicas planas:

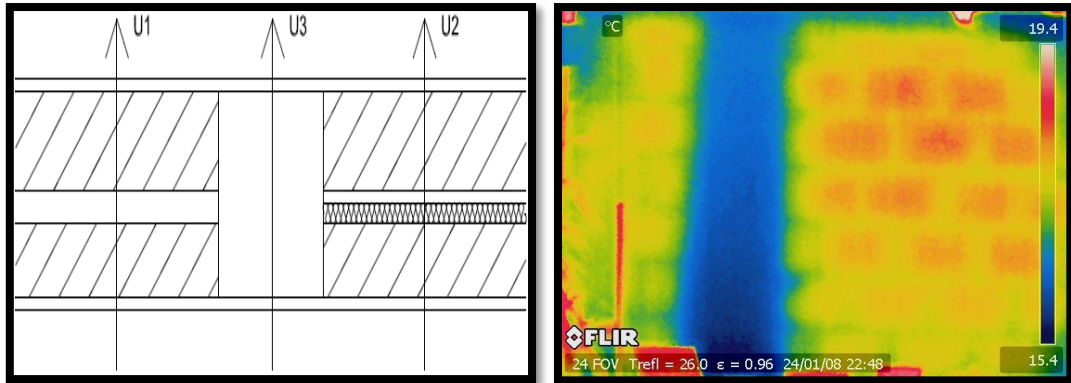


Figura 3.16 - Pilar Intermédio; fonte: RCCTE (2006); Finn M. (2004)

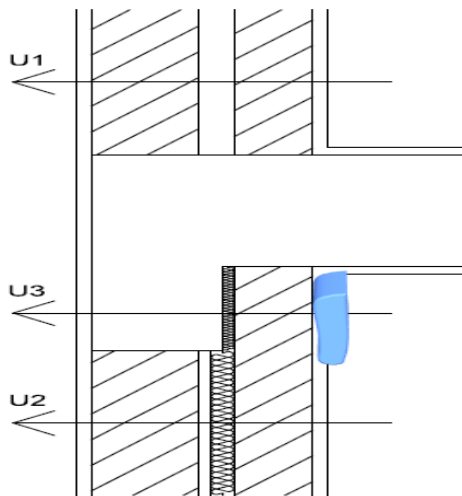


Figura 3.17 - Talão de Viga; fonte: Vasco Peixoto (2007)

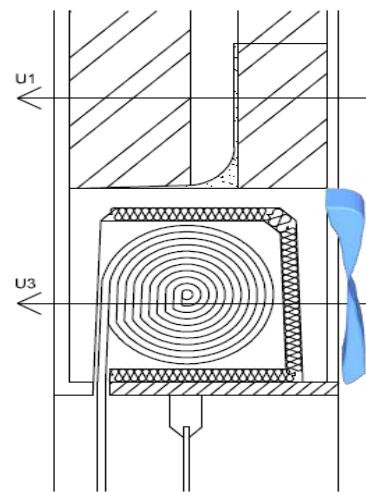


Figura 3.18 - Caixa de Estore; fonte: Vasco Peixoto (2007)

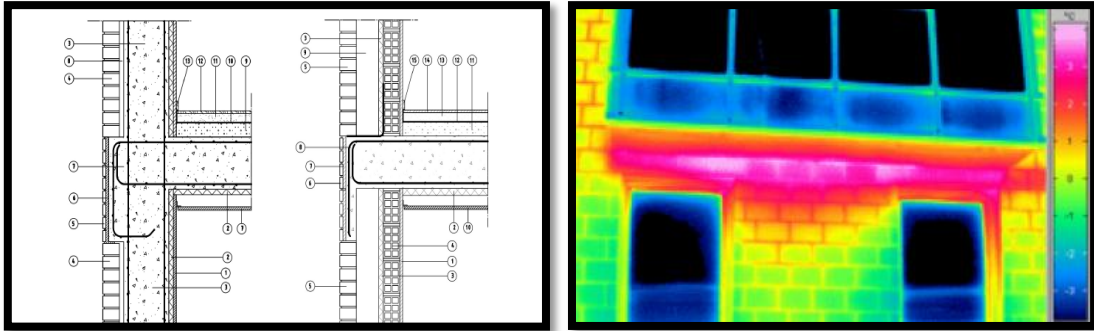


Figura 3.19 - Vigas/Topo Lajes; fonte: <http://www.peritagemdeedificos.com/termografia.html>

Saliente-se um aspecto importante que tem a ver com a aplicação da termografia (Figura 3.20), que, no caso de não existirem dados relativamente à localização de pontes térmicas planas, desempenharia um papel importante na identificação dos elementos estruturais que estão na sua origem, contribuindo este método para identificar de uma forma clara tanto a sua localização como as suas dimensões, para posterior contabilização e eventual elaboração de proposta para a sua correcção (Costa, 2008).

III.1.2. Termografia Quantitativa

Na análise quantitativa são calculadas as temperaturas superficiais através da imagem térmica e de alguns parâmetros analíticos. Este tipo de abordagem obriga a mais detalhe e condições de ensaio mais rígidas, sendo por isso mais demorada. Como técnica de medição é mais eficaz que a abordagem qualitativa, uma vez que possibilita medir temperaturas.

Normalmente os resultados da análise quantitativa não são avaliados “in situ”. As imagens térmicas são gravadas e atentamente anotadas todos os parâmetros que se vejam como fulcrais para posterior análise. A informação recolhida ao longo do ensaio é processada num computador e posteriormente interpretada.

O equipamento usado deve estar devidamente calibrado, dado que neste tipo de ensaio não se pretende apenas efectuar uma comparação das temperaturas relativas, mas sim os valores reais da temperatura para o objecto em estudo. Os procedimentos de calibração variam consoante o equipamento utilizado, devendo ser rigorosamente seguidos, conforme a descrição do respectivo manual (Barreira, 2004).

III.1.2.1. Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica

Uma das possíveis e importantes aplicações da determinação do valor das temperaturas é o cálculo aproximado do coeficiente de transmissão térmica dos elementos construtivos.

III.1.2.1.1. Cálculo do U pela Norma DIN (Método Simplificado)

O procedimento simplificado de cálculo do U que pode recorrer à técnica da análise termográfica é descrito pela norma DIN 4108.

Na parte 3 secção 3.5 desta norma, indica-se que o fluxo de calor que atravessa um elemento construtivo de determinada área superficial (densidade de fluxo) pode ser calculado por:

$$q = U * (\theta_i - \theta_e) \quad [3.1]$$

Em que:

- q representa a densidade de fluxo de calor (W/m²);
- U representa o coeficiente de transmissão térmica (W/m²K);
- θ_i representa a temperatura do ar interior (K);
- θ_e representa a temperatura do ar exterior (K).

Através de uma simples transformação da equação anterior pode ser calculado o coeficiente de transmissão térmica através de:

$$U = \frac{q}{(\theta_i - \theta_e)} \quad [3.2]$$

Segundo a Parte 3, secção 3.6 da mesma Norma, indica-se o procedimento para calcular a temperatura superficial interior do elemento em estudo:

$$\theta_{si} = \theta_i - R_{si} * q \quad [3.3]$$

Em que:

θ_{si} – Temperatura superficial interior do elemento construtivo (K);

R_{si} – Resistência térmica superficial interior (m^2K/W).

O valor de R_{si} , segundo a norma DIN 4108, parte 3-appendix A- secção 2.3, toma os seguintes valores:

- Para Fluxos de calor horizontal e vertical ascendente: $R_{si} = 0,13 m^2 K /W$, correspondendo a uma condutância térmica superficial $h_i = 7,69 W/m^2 K$;
- Para Fluxo de calor vertical descendente: $R_{si} = 0,17 m^2K/W$, correspondendo a uma condutância térmica superficial $h_i = 5,88 W/m^2 K$;

Sobre este aspecto do cálculo do R_{si} realça-se que a única diferença entre a norma DIN e o RCCTE (DL 80/2006) é que no caso do fluxo vertical descendente o valor do RCCTE é de $0,10 m^2 K /W$.

Adaptando a equação [3.1] unicamente para a camada superficial interior de ar, tem-se:

$$q = h_i * (\theta_i - \theta_{si}) \quad [3.4]$$

O cálculo de θ_{si} pode ser determinado, com os devidos cuidados, com uma câmara de termografia.

Usando a equação [3.2] e [3.4] em simultâneo obtém-se finalmente:

$$U = h_i * \frac{(\theta_i - \theta_{si})}{(\theta_i - \theta_e)} \quad [3.5]$$

III.1.2.1.2. Cálculo do U através de metodologia desenvolvida pelos Eng.^{os} António Cardoso e Miguel Ferreira (método detalhado)

Devido ao facto de que o método anterior do uso da Norma DIN pressupõe a utilização do parâmetro R_{si} (ou o seu inverso h_i), que entra em linha de conta com os complexos fenómenos de transferência de calor por radiação e por convecção, o tentar resumir toda

esta complexidade em valores únicos fixos, obviamente que poderá implicar uma margem de erro não negligenciável. Como já foi referido atrás existem diferenças de valores de R_{si} originários de referências bibliográficas diferentes, o que prova o carácter aproximado deste parâmetro.

Deste modo os Eng.os António Cardoso (termógrafo de nível II) e Miguel Magalhães Ferreira (UFP) estão em fase de desenvolvimento de um método mais detalhado e que conterà menor margem de erro visto tratarem de uma forma individualizada os vários fenómenos de transferência de calor: condução, convecção e radiação.

Um dos grandes problemas para a determinação rigorosa do U de um elemento construtivo tem a ver com o desconhecimento da condutância térmica superficial por convecção h_c medido em $W/m^2 \cdot K$.

Segundo Piedade (2000) h_c depende dos seguintes factores:

- Velocidade do fluído que incide na superfície do elemento construtivo;
- Diferença de temperatura entre a superfície e o fluído;
- Rugosidade da superfície;
- Forma e posição da superfície.

O valor proposto para o h_c assumindo gases à temperatura ambiente, é de entre $2W/m^2K$ e $25W/m^2K$ (Incropera, 2003).

Na situação de não existir velocidade apreciável do ar, que é o caso do interior dos edifícios, a diferença de temperatura entre a superfície e o fluído assume uma importância relevante no valor final de h_c .

Piedade (2000, p.67) apresenta valores de h_c , decorrentes de estudos de diversos outros autores, em função da diferença de temperatura entre a superfície e o fluído.

Pode-se, assim, usar as câmaras de termografia para conhecer o valor do U , assumindo-se sempre alguma margem de erro, em particular decorrente da fixação do valor de h_c .

Neste trabalho monográfico não se irá entrar em pormenor sobre o procedimento termográfico proposto pelos Eng.os António Cardoso e Miguel Magalhães Ferreira, até porque tal ainda será alvo de publicação em breve pelos autores. Refere-se somente que este envolve alguma complexidade no respeitante à determinação da emissividade dos materiais alvo de estudo bem como à determinação da temperatura reflectida pelas superfícies envolventes do elemento alvo de estudo, entre outros.

Explicita-se a seguir todo o desenvolvimento matemático que o método exige após a determinação “in situ” dos valores dos parâmetros previamente necessários.

➤ **Por radiação**

A transferência de calor entre duas superfícies paralelas e infinitas é obtida pela seguinte equação:

$$q_{irr} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \text{ W/m}^2 \quad [3.6]$$

De seguida, efectua-se o cálculo do fluxo por radiação, assumindo-se que a temperatura reflectida é resultante de uma superfície fictícia, que irradia e se encontra na frente da parede, paralelamente a esta, em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5.670400 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$), ϵ a emissividade e T a temperatura em graus Kelvin.

Nestas circunstâncias a equação passa a ser assim definida:

$$q_{irr} = \frac{\sigma(T_{refl}^4 - T_{parede}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{parede}} + \frac{1}{1} - 1} \text{ W/m}^2$$

$$\Leftrightarrow$$

$$q_{irr} = \epsilon_{parede} \sigma(T_{refl}^4 - T_{parede}^4) \text{ W/m}^2 \quad [3.7]$$

➤ Por Convecção

Para calcular o Fluxo de Calor por Convecção utiliza-se a seguinte expressão:

$$q_{conv} = h(T_{\infty} - T_s)W/m^2 \quad [3.8]$$

Para obter o Fluxo de Calor no caso em estudo:

$$q_{conv} = h(T_{amb} - T_{parede})W/m^2 \quad [3.9]$$

Cálculo Final

Após alguns passos que requerem um pouco de aritmética (Figura 3.24) obtém-se então o U:

$$U = \frac{q_{conv} + q_{irr}}{T_{parede} - T_{exterior}} W \cdot m / m^2 \cdot K \quad [3.10]$$

Observe-se na Figura 3.21 um exemplo ilustrado da determinação do U:

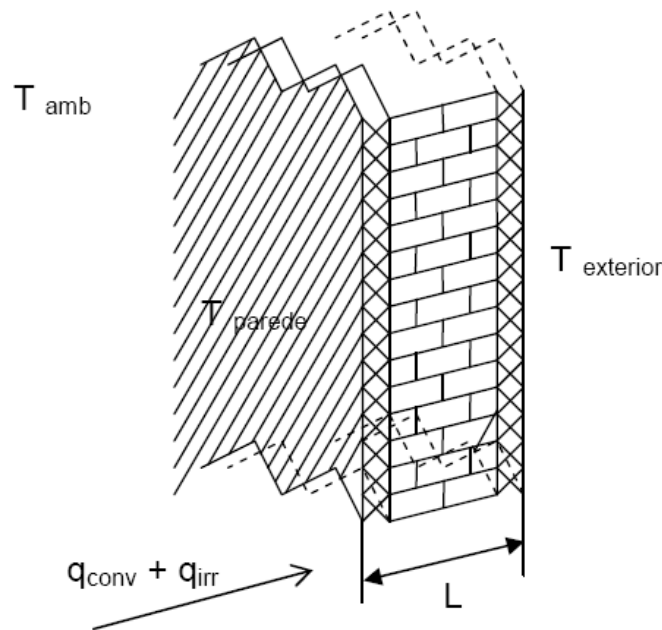


Figura 3.20 - Determinação do U; fonte: Cardoso (2008)

$$\lambda = \frac{q_{conv} + q_{irr}}{T_{parede} - T_{exterior}} \cdot L \cdot W \cdot \frac{m}{m^2 \cdot K} \quad [3.11]$$

A aplicação do novo RCCTE em construções já edificadas e no acto de certificação energética final da edificação nova é um pouco complexo. As câmaras termográficas, por si só, possibilitam apenas uma análise qualitativa. Com este protocolo ganhamos a capacidade de quantificar.

Mais importante que saber onde estão os problemas, é ter a capacidade de os resolver e assegurar que tecnologias de ponta sejam uma mais-valia para o consumidor final.

III.2. Exemplo Prático do Cálculo do U Integrando o Uso da Termografia

Suponha-se uma parede de fachada pertencente a uma fracção autónoma sujeita a um processo de certificação energética, em que o perito pretende hipoteticamente calcular “in situ” o valor do U respectivo.

Mediu-se com a câmara de termografia as temperaturas θ_{si} , θ_i e θ_e e os resultados foram os seguintes:

- $\theta_{si} = 13^{\circ}\text{C} = 273+13=286 \text{ K}$;
- $\theta_i = 20^{\circ}\text{C} = 273 + 20 = 293 \text{ K}$;
- $\theta_e = 8^{\circ}\text{C} = 273 + 8 = 281 \text{ K}$.

Com a mesma câmara e através de metodologia própria constante deste processo detalhado, se calculou o valor da emissividade ϵ da superfície interior da parede de fachada e que este é igual a 0,9. Foi também calculada por procedimento próprio do método a temperatura reflectida pelas outras superfícies envolventes e esta foi de $15^{\circ}\text{C} = 288\text{K}$.

Então, seguindo o método simplificado da norma DIN 4108, o valor do U da parede de fachada é de:

$$U = 7,69 * (293 - 286) / (293 - 281) = 4,49 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

Seguindo agora o método detalhado de determinação do valor do U dos Eng.os António Cardoso e Miguel Magalhães Ferreira, é previamente necessário determinar o coeficiente h_c . Para a diferença de temperatura $\theta_i - \theta_{si} = 293-286=7 \text{ K}$ e usando o ábaco de Piedade C. (2000, p.67) no respeitante à curva de MAC ADANS, obtém-se o valor de $h_c = 2,5 \text{ W/ m}^2\text{K}$.

$$q_{conv} = 2,5 * (293 - 286) = 17,5 \text{ W/m}^2$$

$$q_{irr} = 0,9 * 5,67 * 10^{-8} * (288^4 - 286^4) = 9,65 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Então } U = (17,5 + 9,65) / (286 - 281) = 5,43 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Verifica-se pois que neste caso a diferença na determinação do valor do U entre o método simplificado e detalhado é de $0,94 \text{ W/ m}^2\text{K}$, denotando tal, que é imprescindível para se atingir o maior rigor possível, ter um conhecimento o mais pormenorizado possível dos vários parâmetros que intervêm no cálculo final do coeficiente de transmissão térmica.

Conclusão

O Sector da Construção sempre assumiu ao longo dos tempos um papel preponderante no contexto da Economia Global, sendo visto como o motor da actividade económica dos países, isto devido à sua enorme abrangência e diferenciação, sendo que o fenómeno de que tanto se fala e que se intitula de globalização agravou a sua interligação com outras áreas. O impacto desta actividade faz-se sentir em diversas áreas distintas como empresas de Serralharia, Carpintarias, Maquinaria, Vidro, Aquecimento, Tintas. Mas também nos serviços se sente o estado em que a construção se encontra, dando-se como exemplos os serviços de consultoria, engenharia, arquitectura, transportes, manutenção e decoração, seguros e serviços jurídicos. Como se pode observar existe um leque de dependência em volta deste sector.

A introdução da nova regulamentação, originada face às diversas preocupações ambientais, tem como objectivo promover a valorização energética, e terá como resultado não só a mencionada valorização, como também a optimização da construção, alterando de uma forma efectiva os sistemas e soluções construtivas, promovendo a criação de novos materiais, novos equipamentos e além de tudo, mudando mentalidades no que se refere à utilização dos edifícios, contrariando de certo modo os métodos construtivos mais simplistas anteriormente utilizados, apresentando-se esta regulamentação com um método de análise das características térmicas que vão além da simples aplicação de isolamento na envolvente opaca. A análise torna-se então mais especifica, mais direccionada e abrangente, determinando e definindo diversos parâmetros de cálculo cujas variáveis se tornam mais especificas para cada caso, obrigando a que exista definitivamente uma integração geral do projecto de arquitectura com o projecto térmico e com todas as outras especialidades intervenientes.

A termografia permite converter as radiações infravermelhas em imagens térmicas visíveis ou termogramas, nos quais as diferentes temperaturas da superfície do objecto são apresentadas a diferentes cores, segundo uma determinada escala. Recorrendo a esta técnica todos os objectos podem ser observados, uma vez que, tendo temperaturas superiores ao zero absoluto, emitem radiações infravermelhas captadas pelos equipamentos.

Apesar da simplicidade aparente da termografia, a análise dos resultados pode ser complicada e até conduzir a conclusões erradas se não forem tomadas algumas precauções antes e durante a realização do ensaio. Na análise dos termogramas é bastante provável confundirem-se defeitos do objecto com irregularidades na temperatura superficial resultantes de factores exteriores.

Um estudo deste tipo, se bem que limitado no alcance e na própria dimensão, permite sistematizar dados dispersos, estabelecer comparações, encontrar padrões, detectar algumas fraquezas do sistema, perspectivar oportunidades de melhoria e sugerir soluções. Permite descobrir coisas, e após uma breve análise à palavra, constata-se que todo o descobrimento não é mais que um “descobrimento” um trazer à tona o que se encontrava no fundo. É conhecimento e, como dizia Ortega y Gasset (1930) o conhecimento é essa montanha do pretérito acumulado do cimo da qual aqueles que conhecem miram mais longe.

Bibliografia

ADENE, (2008). Nota Técnica;

Amahaus E. e Fronapfel E. (2004). “*Infrared Applications for Post Construction Radiant Heating Systems*”. ITC - Infrared Training Center – InfraMation Proceedings 104 A;

Barreira, E. (2004); *Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrométrico dos Edifícios*. Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto;

Costa, M. (2008), *Certificação Energética de Edifícios Existentes*. Monografia, Universidade Fernando Pessoa. Porto;

DIN 4108, Cálculo do U;

EDP -Energias de Portugal S.A., Guia Prático da Eficiência Energética. Lisboa, EDP;

Ferreira, M. (2004) *Caudais de Ventilação para Edifícios Residenciais - Impacto ao Nível do Conforto Térmico e do Consumo de Energia para Aquecimento*. Tese de Mestrado em Construção de Edifícios, Porto, FEUP;

Finn, M. (2004). *The Use of Infrared Thermal Imaging in Indoor Environmental Investigations*. ITC - Infrared Training Center, InfraMation ; Proceedings 104A;

Incropera, F. e DeWitt, D. (2003). *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*. 5.^a edição. Rio de Janeiro, LTC;

Infrared Training Center, (2008) “Curso de Termografia por Infravermelhos”;

Mendonça, L. (2005). *Termografia por Infravermelhos na Inspeção de Betão*. Lisboa, Spybuilding;

Piedade, A. (2000). *Térmica de Edifícios; ICT, Especialização e Aperfeiçoamento, Edifícios S 297*. Lisboa, LNEC;

Rodolfo, J. e Mendonça, L.(2008). *Inspecção Termográfica por Infravermelhos - Análise Termo-Higrométrica ao Panteão Nacional*. Lisboa, Spybuilding;

Valério, J.(2007). *Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes*. Lisboa, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico;

Veratti, B.(1992).*Termografia: princípios, aplicações e qualidade*. SP: ICON Tecnologia.

Legislação Consultada

Despacho n.º. 11020/2009 de 30 de Abril - *Método de Cálculo Simplificado para a Certificação Energética de Edifícios Existentes no Âmbito do RCCTE*;

Decreto Lei n.º. 80/2006 - *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*;

Sites Consultados

Página da Agência para a Energia. [Em linha]. Disponível em www.adene.pt [consultado em 22/04/09];

Página da Agência Regional de Energia e Ambiente do Algarve. [Em linha]. Disponível em www.areal.pt [consultado em 25/04/09];

Página da Direcção Geral de Energia e Geologia. [Em linha]. Disponível em www.dgeg.pt [consultado em 25/04/09];

Página da EDAO. [Em linha]. Disponível em www.edao.com.br [consultado em 28/05/09];

Página da Eficiência Energética. [Em linha]. Disponível em www.eficiencia-energetica.com [consultado em 25/04/09];

Página da Electricidade de Portugal. [Em linha]. Disponível em www.edp.pt [consultado em 25/04/2009];

Página da Flir. [Em linha]. Disponível em www.flir.com.br [consultado em 25/04/09];

Página da Fluke. [Em linha]. Disponível em www.fluke.com [consultado em 26/04/09];

Página da Furnas Centrais Eléctricas. [Em linha]. Disponível em www.furnas.com.br [consultado em 27/04/09];

Página da GEIA. [Em linha]. Disponível em www.geia.com.pt [consultado em 26/04/09];

Página do Instituto Superior Técnico. [Em linha]. Disponível em www.ist.pt [consultado em 23/04/09];

Página da Peritagem de Edifícios. [Em linha]. Disponível em www.peritagemdeedificios.com [consultado em 23/06/09];

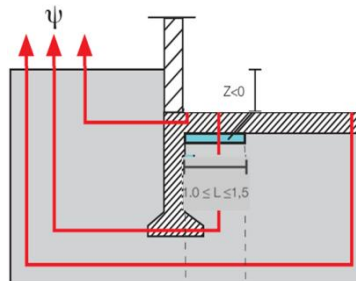
Página da SPECMAN. [Em linha]. Disponível em www.specman.pt [consultado em 28/04/09];

Página da SIGMA. [Em linha]. Disponível em www.sigma.isognom.pt [consultado em 27/04/09];

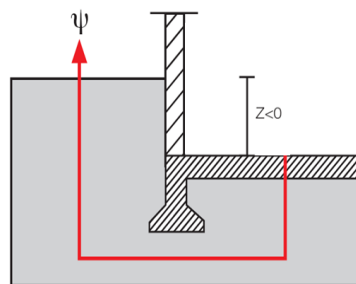
Página da SpyBuilding. [Em linha]. Disponível em www.spybuilding.com [consultado em 15/06/09];

ANEXOS

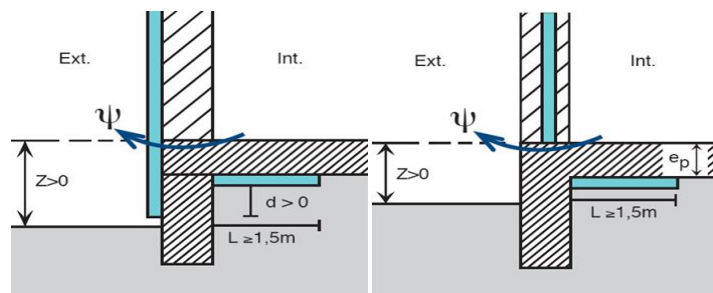
Figuras A.1 – Esquemas do RCCTE das várias Pontes Térmicas



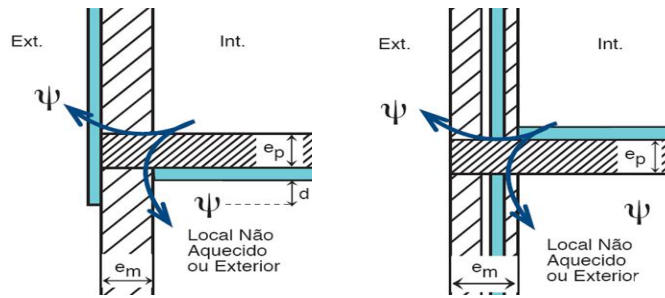
Pavimentos em Contacto com o Solo com Isolamento Térmico; fonte: RCCTE (2006)



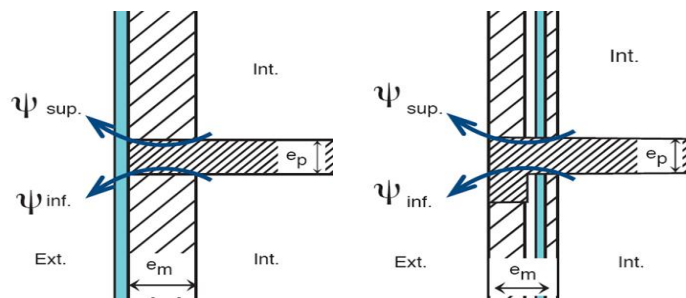
PTL Pavimentos em Contacto com o Solo sem Isolamento Térmico; fonte: RCCTE (2006)



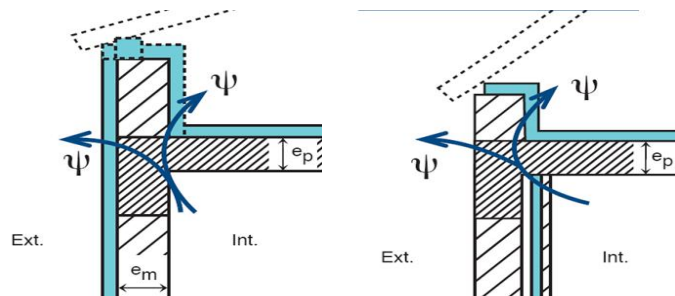
Ligação da Fachada com Pavimentos Térreos; fonte: RCCTE (2006)



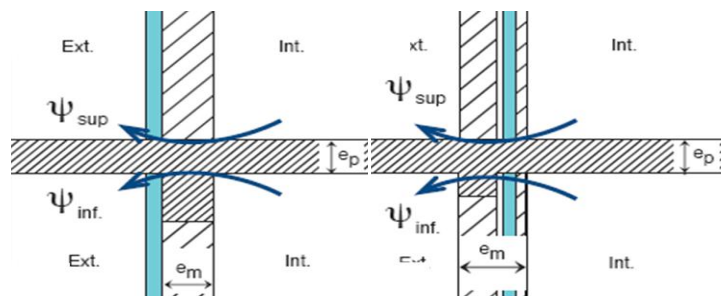
Ligação da Fachada com Pavimentos sobre Locais não Aquecidos; fonte: RCCTE (2006)



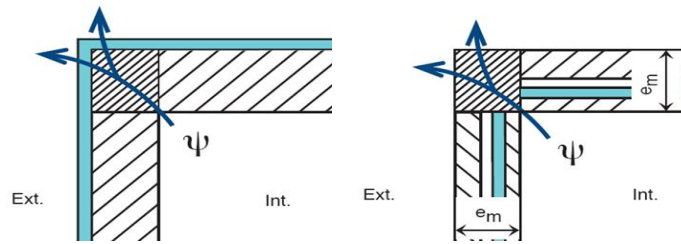
Ligação da Fachada com Pavimentos Intermédios; fonte: RCCTE (2006)



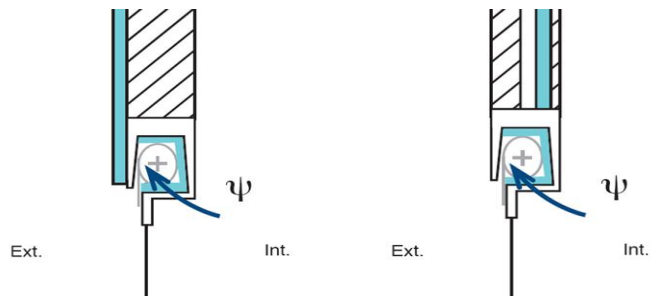
Ligação da Fachada com Cobertura Inclinada ou Terraço; fonte: RCCTE (2006)



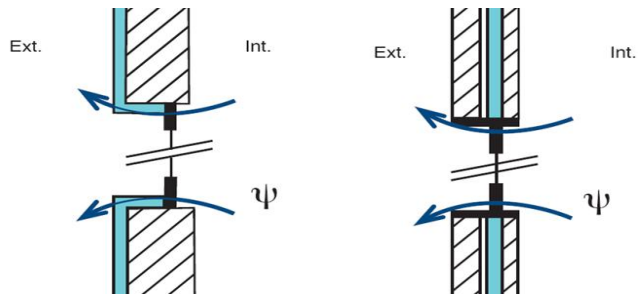
Ligação da Fachada com Varanda; fonte: RCCTE (2006)



Ligação entre duas Paredes Verticais; fonte: RCCTE (2006)



Ligação da Fachada com Caixa de Estore; fonte: RCCTE (2006)



Ligação da Fachada/Ombreira, Padieira ou Peitoril; fonte: RCCTE (2006)

Figuras B.1 – Folheto Informativo de uma Câmara Termográfica



FLIR Systems:
pioneira em tecnologia infravermelha

A FLIR Systems é a líder mundial em câmeras infravermelhas. As primeiras unidades foram produzidas nos anos 50! As câmeras e soluções da FLIR são projetadas, desenvolvidas e produzidas nas suas fábricas da Suécia (Estocolmo) e Estados Unidos (Boston e Santa Bárbara).

Para maiores informações, entre em contato:

FLIR SYSTEMS BRASIL
Av. Antônio Bardella, 320
Sorocaba/SP
Tel: +55 15 3238.8075
Fax: +55 15 3238.8071
flir@flir.com.br

www.flir.com.br



Uma Pequena Revolução em Termovisão








Display colorido

Interface inteligente

Botões de uso fácil



Lente infravermelha

Proteção integrada para a lente

Design ergonômico

Diversas possibilidades de conexão (USB, cartão SD, rede elétrica)

Financiamento

A FLIR Systems possui diversas opções de financiamento. Entre em contato com o nossos distribuidores.

Treinamento

A FLIR Systems possui um Centro de Treinamento em Infravermelho (TC) independente e com certificação ISO, o qual oferece o seguinte:

- Programas de treinamento termográfico para iniciantes e profissionais
- Cursos nas suas instalações ou nas instalações do cliente
- Cursos para aplicações específicas
- Cursos de software específicos

Para maiores informações visite www.infratrainning.com

Especificações técnicas

Características da imagem	
Campo de visão	17° x 17°
Sensibilidade térmica (NETD)	< 0,1 °C a 25°C
Frequência da imagem	9 Hz
Distância focal mínima	0,6 m
Dados de detecção	
Tipo de detector	Mente de plano focal (FPA), microbolômetro não refrigerado
Espectro	7,5-14 µm
Resolução Infravermelha	80 x 80 pixels
Apresentação da imagem	
Display	Display LCD colorido de 2,8 pol.
Ajuste de imagem	Ajuste automático (congelamento da imagem)
Medição	
Faixa de temperatura	0 °C a +250 °C
Precisão	±2 °C ou ±2% de leitura
Modos de medição	
Ponto de medição, conexão da emissividade e temperatura refletida, tabela de emissividade	
Configuração	
Comandos	Opções de paleta de cores (branco e preto, falso e auto-ênd), idioma, °C/°F, formato de data e hora
Armazenamento de imagem	
Tipo	Cartão miniSD
Formato	padrão JPEG, incluem informações de medição em 14 bits
Compatibilidade com software da FLIR	Reportar e QuickReport
Interface de comunicação de dados	
Interface	USB Mini-B, taxa de dados com um computador pessoal
Sistema de alimentação	
Tipo	Bateria de lítio recarregável
Duração da bateria	Aprox. 5 horas, temperatura ambiente de +25 °C
Economia de alimentação	Desligamento automático
Sistema AC	Adaptador AC, entrada de 90-260 VCA; saída de 5 V
Ambiente	
Faixa de temperatura de uso	0 °C a +50 °C
Faixa de temperatura de armazenamento	-40 °C a +70 °C
Umidade (operação e armazenamento)	IEC 60068-2-30/24 h, 95% de umidade relativa
Involucro da câmara e lente (IP 43 (IEC 60529))	25g (IEC 60068-2-32) / 2g (IEC 60068-2-4)
Características físicas	
Peso	340g
Tamanho	223 x 79 x 83mm
A câmera acompanha	
FLIR QuickReport (CD) Guia de Instalação, Manual do Usuário em CD em 21 idiomas, Alfa, Bateria, Carregador com padrões EU, UK, US e Australiano, cabo USB, cartão de memória miniSD, 512 MB	

ESPECIFICAÇÕES SUJEITAS A MODIFICAÇÃO SEM AVISO PRÉVIO
© Copyright 2008, FLIR Systems, Inc. All outros marcas ou marcas registradas de produtos são de propriedade dos seus respectivos donos.
36889197 - 06/09 - A

(Fonte: Flir, 2008)