



Faculdade de Tecnologia

Mestrado em Tecnologia

FTo20 Técnicas para Instrumentação

Jézer Oliveira Pedrosa

Marcelo Pinto Athayde

Seminário sobre Sensores:

Sensores de Temperatura

Aplicados à Termografia

Apresentação

- 1- Introdução
- 2- Histórico
- 3- Definições
- 4- Características
- 5- Detectores de temperatura
- 6- Aplicações
- 7- Referências Bibliográficas

Transdutor x Sensor

Segundo o Vocabulário Internacional de termos gerais e fundamentos de Metrologia (VIM)

- Transdutor é um dispositivo utilizado em medições que fornece uma grandeza de saída que tem uma correlação específica com a grandeza de entrada. Por exemplo, termopar.

- Sensor é um elemento de um sistema de medição que é diretamente afetado por um fenômeno que fornece uma grandeza de saída que tem uma correlação específica com a grandeza de entrada. Por exemplo, elemento de platina de um termômetro do tipo RTD.

Transdutor x Sensor

Ou ainda, conforme o livro Instrumentation for Engineering Measurements, temos:

- Transdutor é um dispositivo eletromecânico que converte alterações em quantidades mecânicas em alterações em quantidades elétricas que podem ser monitoradas, como uma tensão depois do processamento do sinal.

- Sensor é o elemento incorporado no transdutor para produzir a saída elétrica, responsável pelas características dos transdutores.

Histórico

- Até 1830 – Termômetros de mercúrio (Com auxílio de microscópio era possível perceber incremento de $0,1^{\circ}\text{C}$).
- 1829 – Nobili desenvolve o primeiro termopar (O efeito termoelétrico foi descoberto por Seebeck em 1821).
- 1833 – Termopilha de Meloni (São vários termopares ligados em série e apresentava-se 40 vezes mais sensível que os melhores termômetros da época).
- 1840 – John Herschel (filho do pioneiro) faz protótipo de “Evaporagraph” (Espécie de imageador baseado na evaporação diferencial de um filme de óleo).
- 1843 – Becquerel demonstra a fosforescência de certos materiais sob infravermelho bem como a sensibilidade de filmes fotográficos.
- 1883 – Abney detecta $1,3\text{ mm}$ com filmes fotográficos especiais.

Histórico

- Década de 1880 surge o bolômetro de Samuel Langrey (30 vezes mais sensível que a termopilha de Melloni).
- 1917 – Case desenvolve o primeiro fotocondutor de Sulfeto de Tálcio (Primeiro detector quântico).
- Durante II Guerra Mundial os Alemães desenvolvem vários fotocondutores e demonstram o ganho de sensibilidade com resfriamento.
- Durante a Guerra Fria houve grande desenvolvimento na área (Novos materiais, novas técnicas, grande aperfeiçoamento eletrônico etc...).
- Atualmente...

Tipos de Transdutores de Temperatura

- Termômetro de efeito mecânico:
 - Termômetro de expansão de líquidos em bulbo de vidro
 - Termômetros bimetálicos
 - Termômetros manométricos

- Termômetros de resistência elétrica:
 - Termômetros metálicos – RTD
 - Termistores – PTC e NTC

- Termopares

- Termômetros de Radiação
 - Termômetro de radiação de banda larga
 - Termômetro de radiação de banda estreita
 - Termômetro de radiação de duas cores
 - Pirômetros ópticos

Tipos de Sensores de Radiação Térmica

- ✓ Detectores térmicos
 - ✓ Termopilhas
 - ✓ Detectores piroelétricos
 - ✓ Bolômetros
- ✓ Detectores quânticos ou de fótons
 - ✓ Sensores semicondutores
 - Diodos e Transístores
 - Sensor de estado sólido (CI's)
- ✓ Sensores ativos de radiação infravermelha



Princípios da Radiação

Tanto a Temperatura como o Calor são grandezas estatísticas, não passíveis de observação direta, mas medidas através de alterações físicas e químicas em corpos de referência.

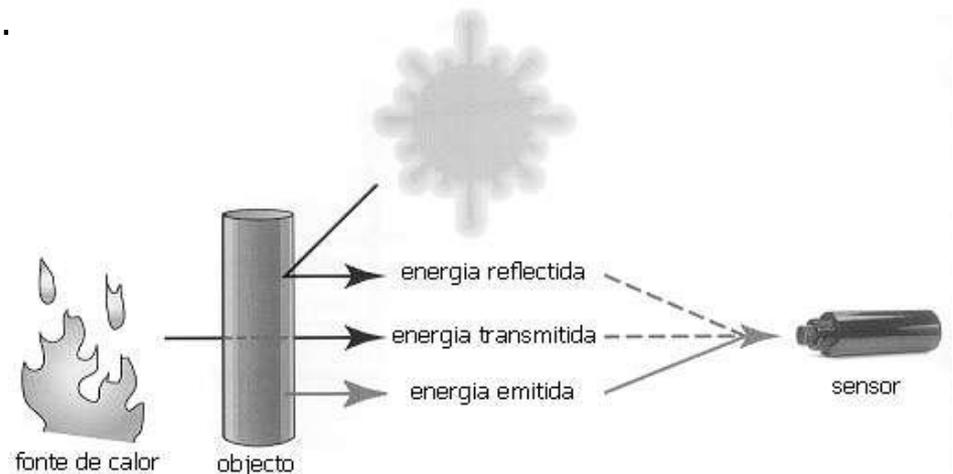
Radiação: é a transferência de calor através de ondas eletromagnéticas. Todos os corpos emitem naturalmente radiação eletromagnética em função da temperatura absoluta de acordo com a lei de Stefan-Boltzmann e desta forma podem trocar calor sem qualquer contato físico, mesmo no vácuo.

Modos de Interação

Os fenômenos observados quando a radiação eletromagnética interage com a matéria variam de acordo com o comprimento de onda que incide sobre o material.

Pode haver:

- absorção,
- transmissão
- reflexão da radiação.



Princípios da Radiação

Transmissão de energia em forma de onda eletromagnética capaz de atravessar e interagir com os distintos meios dependendo do meio e do comprimento de onda λ

O espectro eletromagnético está dividido em bandas em função de λ

Raio γ		Raio X		UV	Visível	IV	Microondas	Ondas de radio		
10^{-14}	10^{-12}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	10^2	10^4	10^6

λ, m

O **I.V.** é a zona de trabalho da termografia – onde é produzida a radiação térmica dos objectos nas temperaturas na superfície da terra.

O espectro infravermelho (**I.V.**) estende-se desde o limite visível (**vermelho**) até à banda das microondas

Visível	IV Próximo	IV Médio	IV Extremo	$\lambda, \mu m$
0.35	0.75	1.5	20	1000

Princípios da Radiação

Tabela 1 – Espectro Eletromagnético

Região	Tipo	Faixa de Frequência (Hz)
Rádio Frequência	Freq. Muito Baixas	3 - 300 Hz
	Freq. Baixas	300 Hz - 300 kHz
	Freq. Altas - Ondas Curtas	300 kHz - 30 MHz
	Freq. Muito Altas (VHF, UHF, SHF) - TV	30 MHz - 30 GHz
	Microondas	30 cm - 1 mm / 1 – 300 GHz
Infravermelho	Freq.: 100 GHz – 100 THz	Comprimento de onda
	Muito Distante (XIR)	1000 – 15 μm
	Distante (FIR)	15 - 6 μm
	Médio (MIR)	6 - 3 μm
	Próximo (NIR)	3 - 0.75 μm
Visível	Freq.: > 200 THz	Comprimento de onda
	Vermelho	770-622 nm
	Laranja	622-597 nm
	Amarelo	597-577 nm
	Verde	577-492 nm
	Azul	492-455 nm
	Violeta	455-390 nm
Ultravioleta	Freq. : 10^{15} - 10^{16} Hz	Comprimento de onda
	UV-A (Pouco Nocivo) – Luz Negra	400-315 nm
	UV-B (Nocivo, Absorvido por ozônio)	315-280 nm
	UV-C (Muito Nocivo, Absorvido pelo Ar)	280-100 nm
Raios-X	10^{17} - 10^{19} Hz	10^{-9} - 10^{-11} m
Raios Gama	10^{19} - 10^{21} Hz	10^{-11} - 10^{-13} m

Lei de Stefan-Boltzmann

A radiação total emitida por um corpo em condições ideais, é função única da temperatura

$$W_b = \sigma \cdot T^4$$

W_b = Potencia radiante [W/m²]

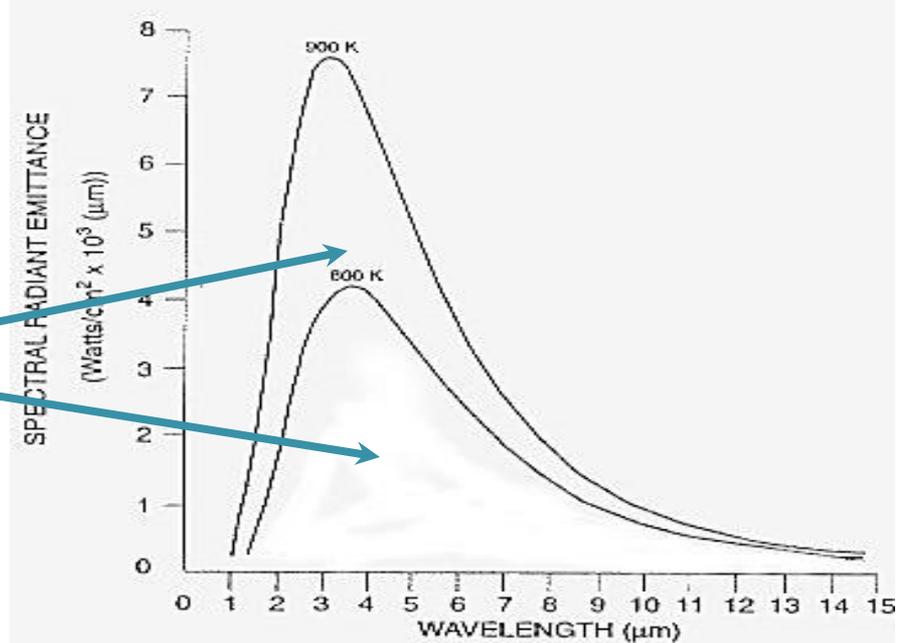
σ = Constante de Stefan-Boltzmann

[5,7x10⁻⁸ W/K⁴m²]

T = Temperatura absoluta [K]

Representa a **área por baixo da curva de Planck** para uma determinada temperatura

Obtém-se integrando a fórmula de Planck ao longo dos comprimentos de onda



A potência radiada por um ser humano, supondo uma temperatura 300K e uma área de 2 m², é de 1 kW

Corpo Negro e Corpo Real

Corpo Negro

Um objeto capaz de absorver **toda a radiação que incide sobre ele** em qualquer comprimento de onda.

Nenhuma superfície emite mais radiação infravermelha que um corpo negro à mesma temperatura.

Corpo Real

As superfícies **só são capazes de emitir** uma determinada porção da energia que emitiria um corpo negro.

O parâmetro que determina a capacidade de emissão é a emissividade ϵ .

Emissividade I

Um corpo real tem uma emissão dada por:

$$W_b = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4$$

Emissividades típicas consideradas em termografia:

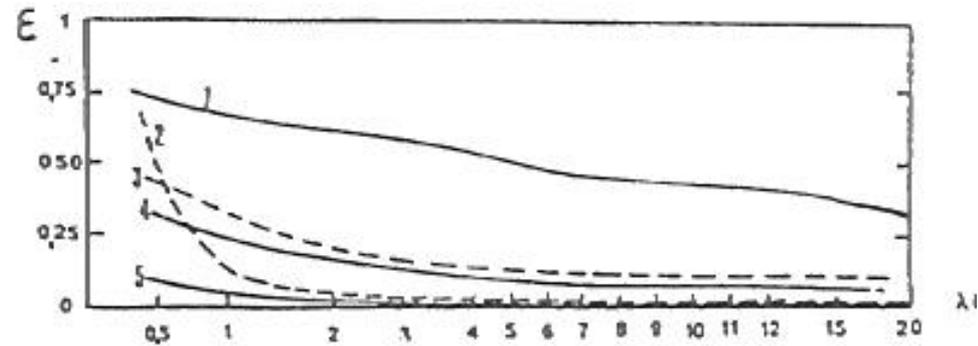
Materiais Temperatura (°C)		Emissividade
Cobre	100	0.05
Aço	100	0.07
Papel branco	20	0.07 – 0.9
Pele humana	32	0.98
Madeira	20	0.9

Emissividade II

Deve-se ter em conta que ϵ é função de λ , de T e do ângulo de incidência

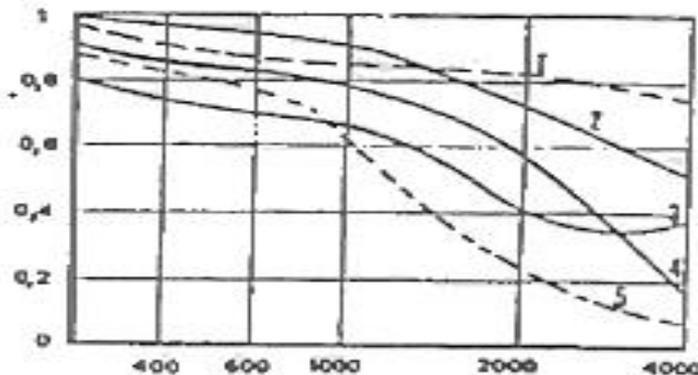
Variação com λ :

A emissividade toma valores muito distintos em função da região espectral considerada



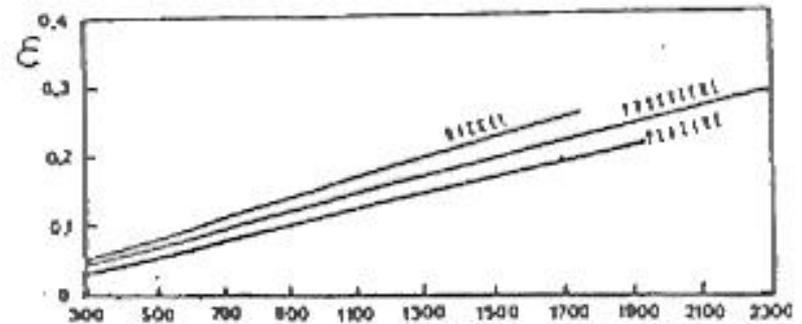
Variação com T:

Não - Metais



ϵ **DIMINUI** com o aumento de T

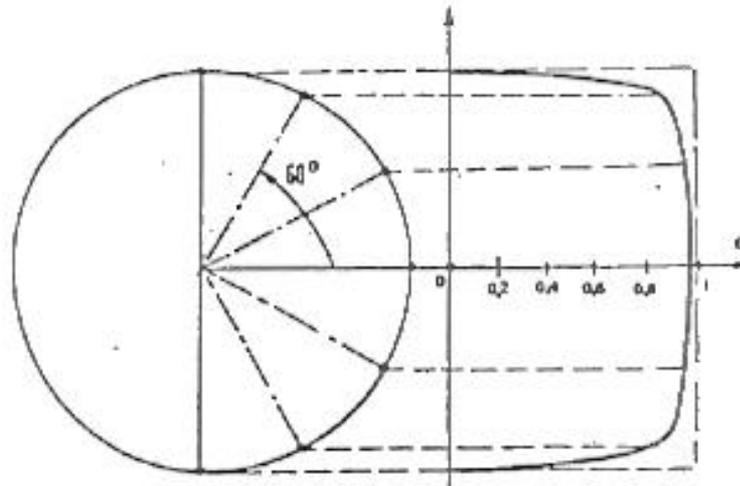
Metais



ϵ **AUMENTA** com o aumento de T

Emissividade III

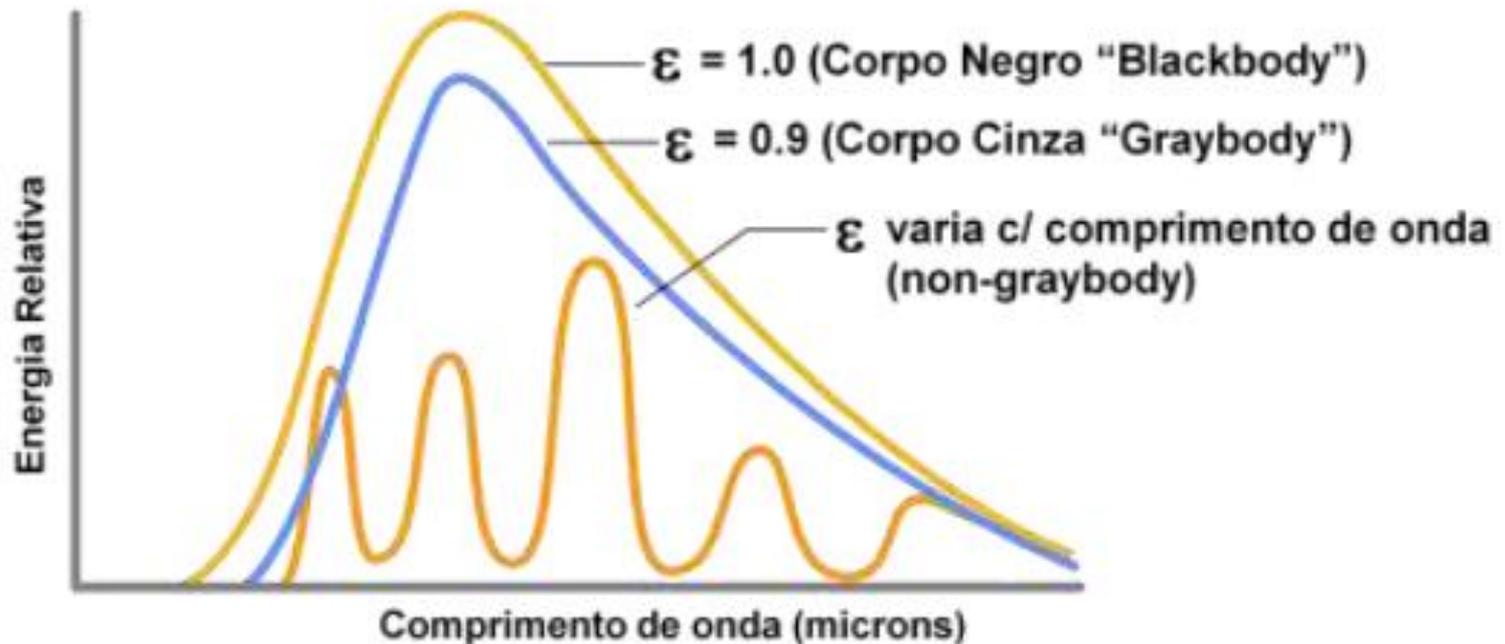
Variação com ângulo de incidência:



A partir de certo ângulo a emissividade baixa rapidamente sendo nula para um ângulo de incidência de 90°

Emissividade

Distribuição espectral de diferentes Emissividades



Absorção, Reflexão e Transmissão

Num corpo não negro, uma parte da radiação total incidente é absorvida e, por conservação de energia, o restante é refletido (ρ) na superfície e transmitido (τ) através do corpo.

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

Corpo negro:

$$\varepsilon = 1, \rho = \tau = 0$$

Corpo transparente:

$$\tau = 1, \varepsilon = \rho = 0$$

Espelho perfeito:

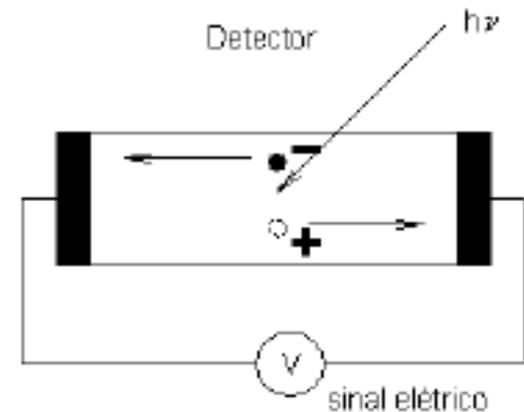
$$\rho = 1, \varepsilon = \tau = 0$$

No campo de aplicação da termografia as superfícies são na maioria das vezes **opacas ao infravermelho $\tau=0$** e a sua capacidade emissiva é constante (para T e λ considerados) e menor que 1, assim temos:

Corpo cinzento: $\varepsilon + \rho = 1$

Detectores ou sensores de radiação térmica

De modo geral, existem dois tipos de sensores conhecidos por sua capacidade de resposta espectral: próxima à região de infravermelho e afastada da região de infravermelho, aproximadamente de $0,8$ a $40\mu\text{m}$. O primeiro tipo é conhecido como detector quântico, e o segundo tipo, como detector térmico.



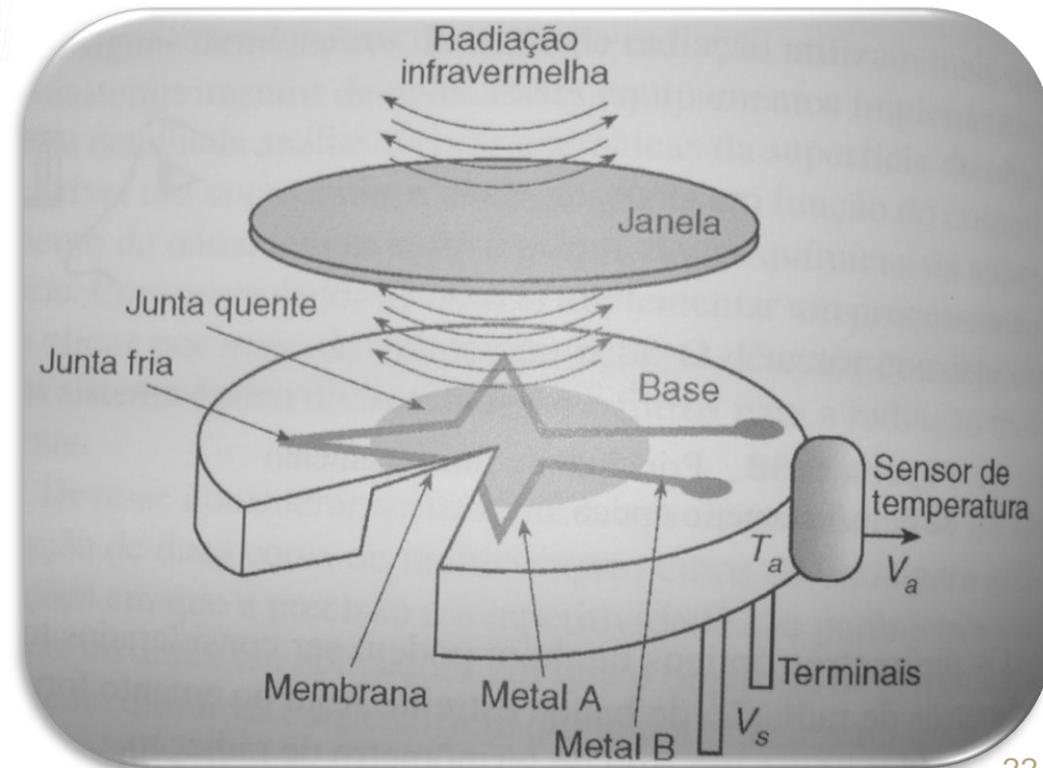
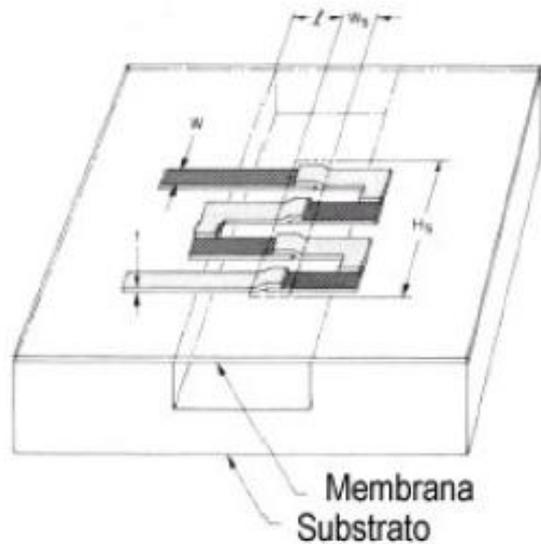
Detectores térmicos

Neste caso, a energia eletromagnética absorvida provoca o aquecimento do dispositivo. Isto provoca a alteração de alguma propriedade do material que é função da temperatura e pode ser mensurada por uma das seguintes formas:

- ***Medida direta da temperatura (calorimetria)***
- ***Mudança na resistência elétrica do material***
- ***Um sinal de corrente ou tensão termoelétrica***
- ***Alteração de Carga ou Capacitância do dispositivo***

Detectores térmicos

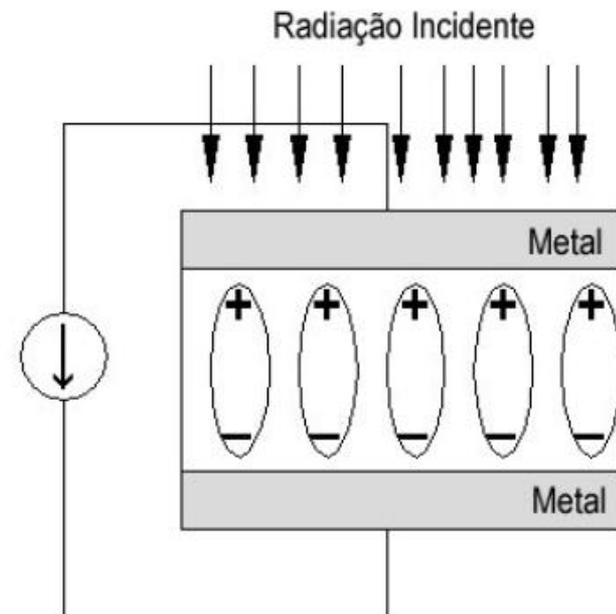
Termopilha - Consiste de vários termopares ligados em série. Um termopar consiste na junção de dois materiais com coeficientes termoelétricos diferentes.



Detectors térmicos

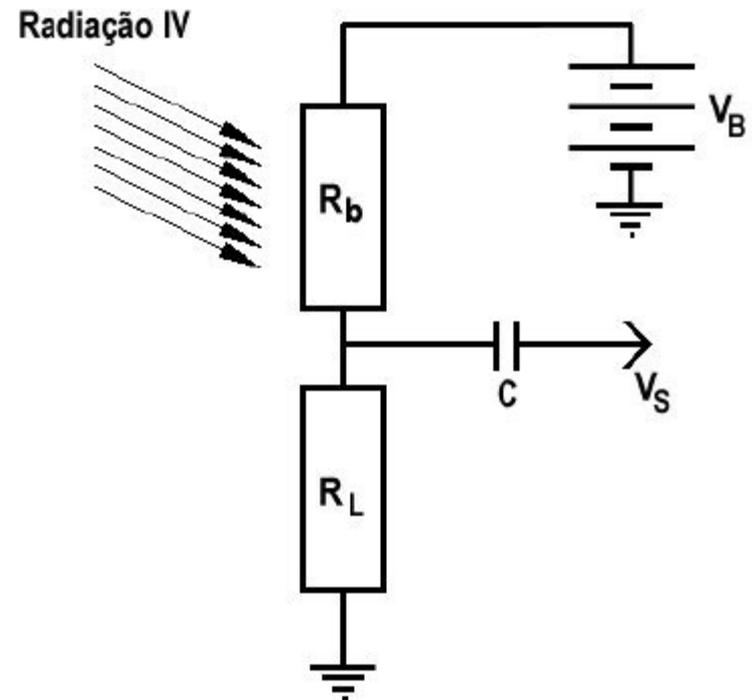
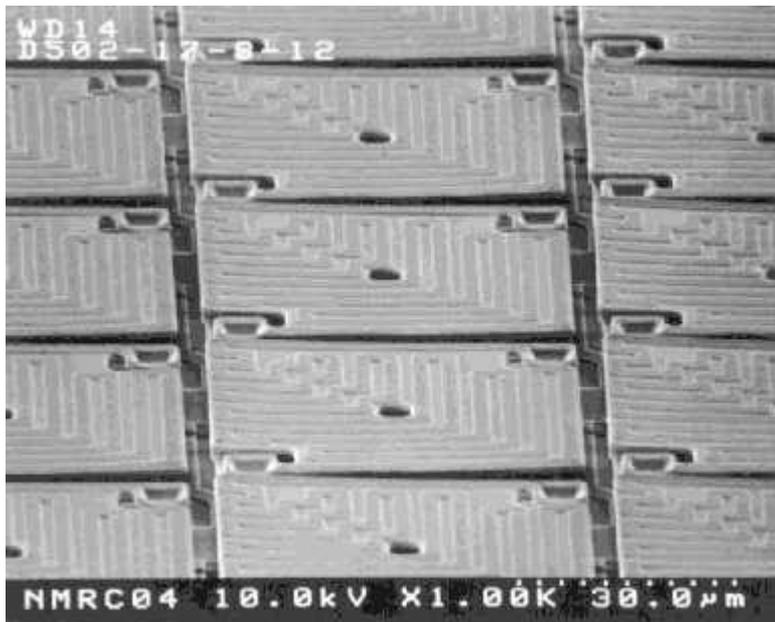
Detector Piroelétrico - Certos cristais dielétricos apresentam polarização dielétrica espontânea. Quando o momento de dipolo elétrico for dependente da temperatura o material pode ser usado como um sensor. O detector é construído na forma de um capacitor e as cargas induzidas nas duas faces do cristal pelos dipolos internos estabelecem uma corrente ou diferença de potencial que pode ser medida por um circuito externo.

Os materiais comumente empregados para a fabricação de detectores piroelétrico são o TGS (Tri-Glycine Sulphate), LiTaO₃ (Tantalato de Lítio) e PZT (Lead Zinc Titanate) além de alguns polímeros com propriedades piroelétricas.



Detectores térmicos

Bolômetro - Trata-se basicamente de um termoresistor, isto é, de um dispositivo cuja resistência elétrica varia com a temperatura. Pode ser construído tanto a partir de metais (dispositivos clássicos) quanto com semicondutores (dispositivos modernos) que apresentem dependência significativa da resistência elétrica com a temperatura. Os modernos microbolômetros utilizam materiais absorventes como o óxido de vanádio (VOX) ou silício amorfo.



Detectores quânticos ou de fótons

São componentes fotocondutivos ou fotovoltaicos (fotodiodo) cujo funcionamento baseia-se na interação de fótons com a rede cristalina de materiais semicondutores. É o princípio do efeito fotoelétrico descoberto por Einstein.

Basicamente, Einstein partiu do princípio de que a luz, pelo menos em certas circunstâncias, poderia ser modelada por pacotes de energia denominados fótons. A energia de um único fóton podia ser calculada por:

$$E = h \cdot \nu$$

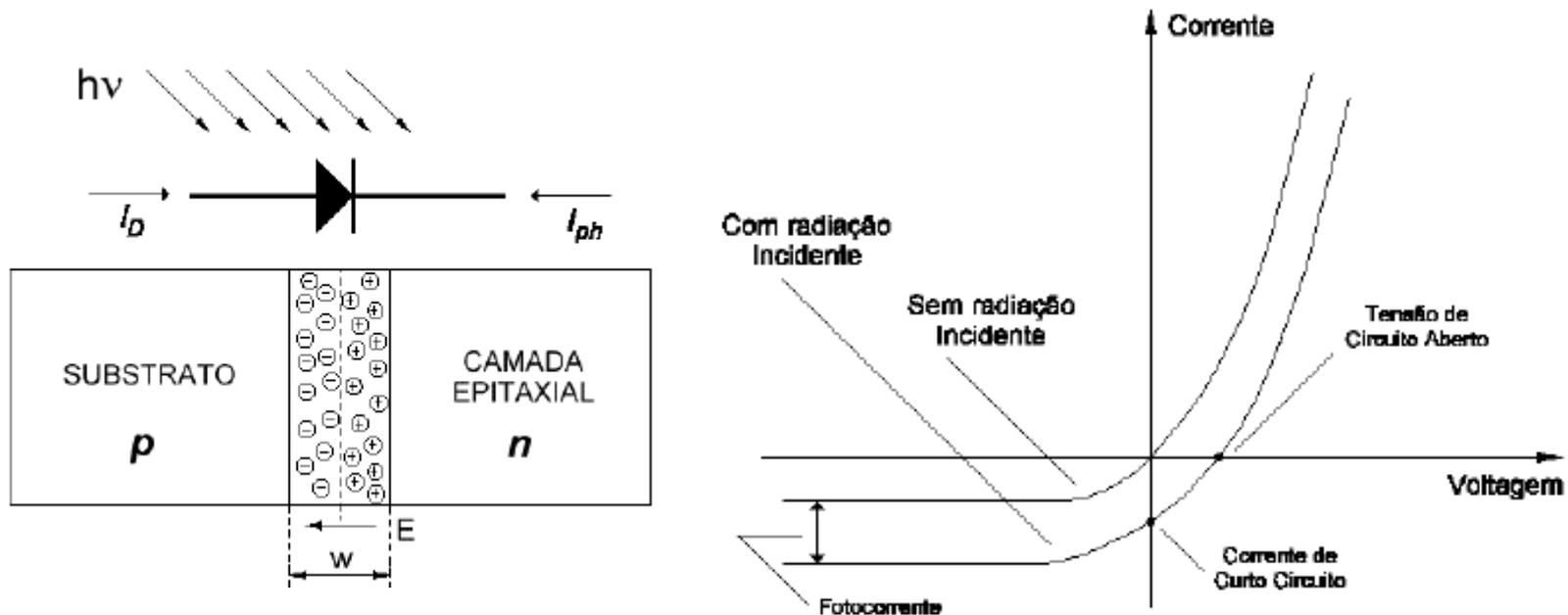
Detectores quânticos ou de fótons

Fotocondutor ou Fotoresistor - Neste caso, os fótons absorvidos acarretam um aumento na população de portadores de carga (*elétrons ou lacunas*) fazendo com que a *resistência elétrica* do dispositivo diminua.

- Tempo de resposta menor
- Precisam ser resfriados (semicondutores de “gap” estreito)

Detectores quânticos ou de fótons

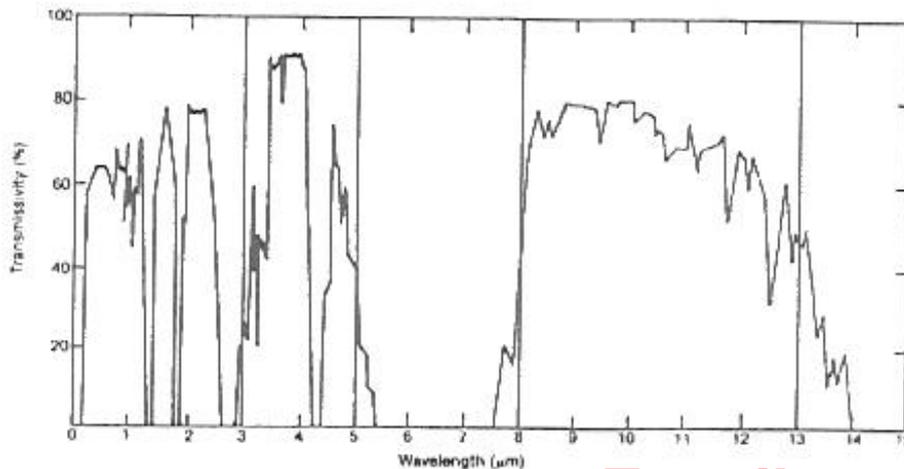
Fotodiodo - Consiste em uma junção $p-n$, conforme figura, onde ocorre a formação de uma zona de transição entre uma região de material semiconductor cuja condutividade elétrica é dominada por portadores de carga tipo- n (elétrons) e uma região cuja condutividade é dominada por portadores de carga tipo- p (lacunas).



Transmissão Espectral da Atmosfera

Na maior parte das aplicações da termografia a radiação atravessa a atmosfera antes de chegar ao elemento sensor.

A atmosfera não é transparente à radiação infravermelha e as suas características de transmissão dependem, entre outros, do comprimento de onda



Pode-se observar 2 regiões do **I.V.** onde a transmissão é mais elevada.

Onda curta **SWB** – 3 a 5 μm

Onda larga **LWB** – 8 a 13 μm

Escolha e Condicionantes

A escolha da banda afim de selecionar o equipamento mais adequado pode ser simplificado considerando:

Onda larga \Rightarrow Temperatura baixa

Onda curta \Rightarrow Temperatura alta

Tendo apenas em conta a distribuição espectral da energia

Condicionantes Físicas e Tecnológicas

Emissividade espectral:

Conveniente usar a banda onde a emissividade é mais elevada – onda larga

Contraste térmico:

A onda curta tem uma sensibilidade 2,2 vezes superior à onda larga

Reflexão:

A onda curta capta melhor as reflexões solares enquanto que a onda larga é mais sensível a radiações de baixa temperatura

Absorção atmosférica:

Pouca influência a distâncias curtas. Para distâncias longas é melhor a transmissão na onda larga. Para atmosferas muito úmidas e quentes a transmissão é superior em onda curta

Detectividade:

Os sensores de onda curta têm uma detectividade 7 vezes superior aos dos utilizados em onda larga

Precisão de medida:

Ambos têm alta precisão, mas as onda curtas são menos sensíveis a variações de ϵ , distância e temperatura ambiente proporcionando maior precisão nestas situações

TERMOGRAFIA

Técnicas de medição da temperatura

Termometria → transmissão de calor por condução → **Contato**

Termografia → transmissão de calor por radiação → **Sem contato**

O primeiro sistema de termografia por infravermelhos, disponível no mercado, capaz de produzir uma imagem térmica em tempo real, ocorreu em **1966**

Por contato

- ✓ Contato com o objeto a medir
- ✓ Difícil medir a temperatura em objetos móveis.
- ✓ Tempo de resposta da ordem dos segundos. Não é indicado para medições em fenômenos transitórios.

Sem contato

- ✓ Sem contato com o objeto a medir
- ✓ Mede com facilidade a temperatura em objetos móveis.
- ✓ Tempo de resposta da ordem dos microsegundos. Indicado para medição de temperatura em situações não estacionárias.

Sistemas de Medida de Radiação Térmica

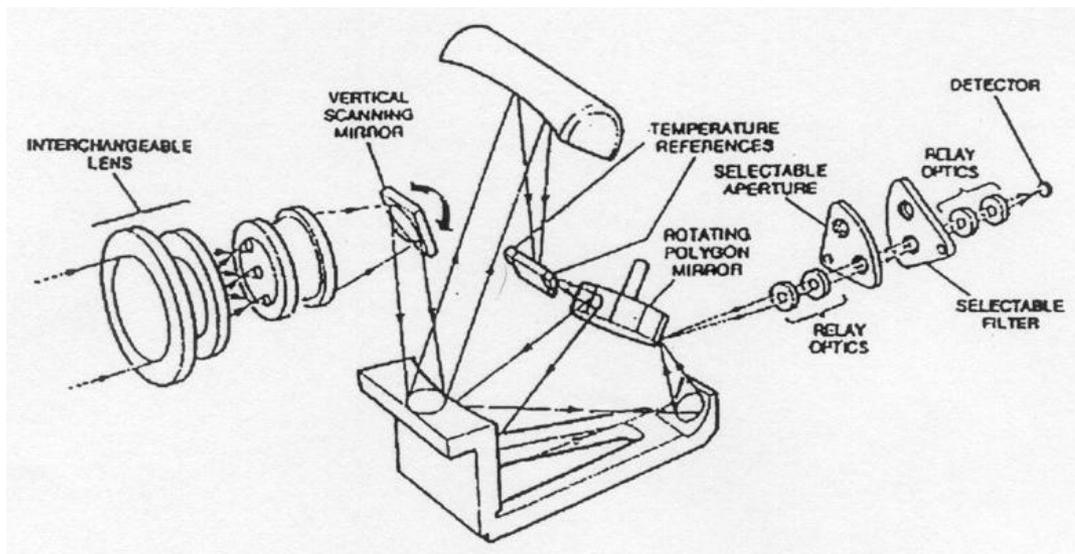
- ✓ Medidores pontuais ou pirômetros de I.V.
Valor de temperatura de uma pequena área
- ✓ *Scanners* de linha
Perfil de temperatura ao longo de uma linha
- ✓ Câmaras termográficas
Imagens térmicas representando, em escalas de cores, a distribuição de temperaturas

Medidores pontuais ou pirômetros de I.V.

- ✓ Medem o valor médio de temperatura em uma pequena área, pontuais
- ✓ A área em questão depende da resolução óptica do aparelho e da distância a que a leitura é efetuada
- ✓ Funcionam normalmente na banda de onda larga (8-13 μm)
- ✓ Constituídos por uma óptica de entrada, um detector de radiação térmica e por uma eletrônica associada para acondicionamento de sinal
- ✓ Elemento sensor tipo termopilha sem refrigeração

Scanners de linha

- ✓ Fornecem o perfil de temperatura ao longo de uma linha através de um sistema de varrimento óptico linear, ou uma imagem quando instalados num suporte com deslocamento
- ✓ Utilizam detectores MCT (Mercúrio-Cádmio-Telúrio) com refrigeração termoelétrica (efeito de Peltier)
- ✓ Existem scanners de linha para ambas as bandas, de onda curta (3 - 5 μm) ou de onda larga (8 - 13 μm)
- ✓ Adequados para funções de monitorização e controle de processos



Constituição de uma câmara termográfica de varrimento

Câmaras Termográficas

- ✓ Fornecem imagens térmicas em escalas de cores ou níveis de cinzento, permitindo também efetuar medidas e análise sobre a própria imagem
- ✓ Existem dois sistemas distintos para a formação da imagem:
 - ✓ Sistema de varrimento - constituído por um único sensor e por um sistema de varrimento óptico
 - ✓ Sistema FPA (Focal Plane Array) - em que o detector é constituído por uma matriz bidimensional de sensores
- ✓ Existem câmaras que trabalham em cada uma das bandas, com refrigeração dos detectores

Câmaras Termográficas

Sistema de varrimento	Sistema FPA
A imagem é formada linha a linha por um conjunto de espelhos giratórios	Um elevado número de sensores captam simultaneamente todos os pontos da imagem
Tempo de integração bastante curto (5 μ s)	Tempo de integração elevado (15 ms)
O varrimento óptico implica uma grande complexidade mecânica	Os sistemas eletrônicos substituem os sistemas mecânicos
Sensores do tipo MCT (Mercúrio-Cádmio-telúrio)	Sensores compostos tipicamente por PtSi e InSb

Conforme dizem os especialistas, os bolômetros e seus sucessores, os microbolômetros, são a base dos Termógrafos IV utilizados hoje em dia.

O avanço da termografia se deve à evolução tecnológica ocorrida na informática e na física, com a microeletrônica e a ótica, que possibilitaram o avanço dos sensores, a captação ótica do infravermelho e as correções necessárias dos valores de temperatura obtidos.

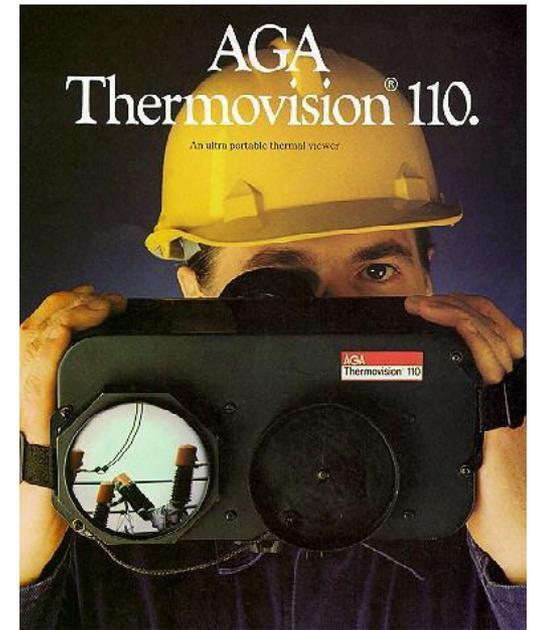
Câmaras Termográficas

Mecanismos de refrigeração

- ✓ aumentam a sensibilidade do sensor
- ✓ minimizam a emissão do próprio sensor
 - ✓ Azoto líquido: método simples mas em desuso
 - ✓ Termoelétrico (Efeito de Peltier): podem-se atingir temperaturas na ordem dos $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - ✓ Ciclo de Stirling fechado: onde se alcançam temperaturas de cerca de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$

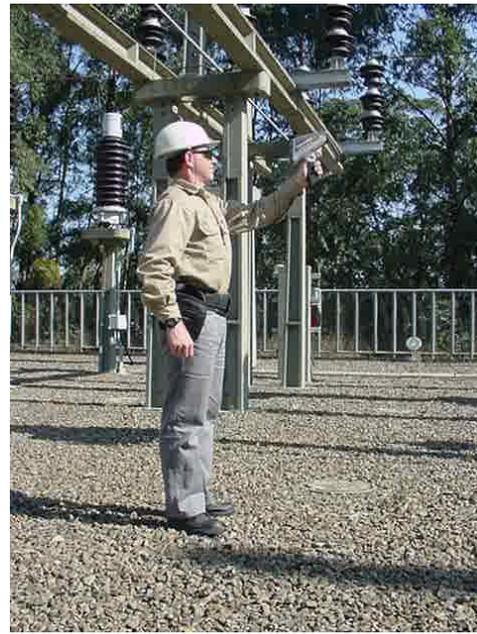
Outros tipos de sensores de elevada sensibilidade:

Microbolómetros (não refrigerados), QWIP (Quantum Well Infrared Photodetector)



A EVOLUÇÃO





A EVOLUÇÃO



Câmaras Termográficas

ThermoCAM® PM695 - Flir Systems



www.flir.com

- ✓ Gama de temperaturas: (1) -40 °C a 120 °C, (2) 0 a 500 °C, (opção) até 1200 ou 2000 °C
- ✓ Sensibilidade: 0.08 °C a 30 °C
- ✓ Precisão: ± 2 °C
- ✓ Resolução geométrica: 1.3 mrad
- ✓ Banda espectral: onda larga (8 - 13 μm)
- ✓ Sensores: microbolómetros
- ✓ FPA: 320 x 240 pixels

Caracterização de um sistema de termografia

Sensibilidade

Representa a menor diferença de temperatura que pode ser medida ou detectada, sendo especificada por:

- ✓ NETD (Noise Equivalent Temperature Difference)
- ✓ MDT (Minimum Detectable Temperature)

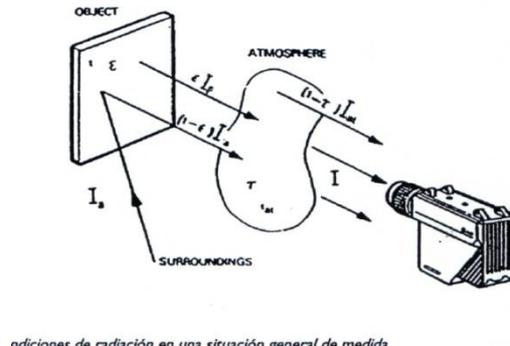
Resolução geométrica

Indica a dimensão do objeto mais pequeno que o sistema é capaz de reconhecer, sendo especificada por:

- ✓ SRF (Slit Response Function)
- ✓ MRTD (Minimum Resolvable Temperature Difference)

Fatores que influenciam a medição da temperatura

Fatores externos



Nestas condições a energia, I , que alcança o “scanner” é dada por:

$$I = \tau \varepsilon I_p + \tau(1 - \varepsilon)I_a + (1 - \tau)I_{at}$$

I_p – energia que seria emitida pela superfície considerada como um corpo negro

I_a – energia emitida pelo meio envolvente

I_{at} – energia emitida pela atmosfera

ε - fator de emissividade da superfície

τ - coeficiente de transmissividade da atmosfera

Fatores que influenciam a medição da temperatura

Os fatores externos são definidos pelos denominados **Parâmetros do Objeto** e devem ser introduzidos pelo utilizador do equipamento.

Parâmetros externos principais:

- ✓ Emissividade
- ✓ Distância
- ✓ Temperatura ambiente
- ✓ Umidade relativa
- ✓ Temperatura atmosférica

Com a evolução da informática, quando o termografista está executando a inspeção, esses parâmetros já são introduzidos no equipamento e considerados na geração do relatório, com utilização de software apropriado, o que antes era feito manualmente pelo profissional.

Fatores que influenciam a medição da temperatura

Fatores internos:

A principal fonte interna de erro corresponde à radiação emitida pelo próprio sistema, tanto óptica como pelos elementos internos.

Os vários elementos presentes no “*caminho óptico*”, lentes e espelhos, provocam alguma atenuação da radiação emitida pelo corpo cuja temperatura se pretende medir.

Correção:

É necessário compensar a radiação interna emitida pelo sistema.

A fórmula a ser empregada para a compensação é:

$$I_{\text{det}} = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \dots \tau_n I_p + \tau_2 \tau_3 \dots \tau_n (1 - \tau_1) I_1 + \tau_3 \dots \tau_n (1 - \tau_2) I_2 + \dots + (1 - \tau_n) I_n$$

I_{det} – radiação incidente no detector.

I_p – radiação teórica do objeto considerado como corpo negro

I_n – radiação teórica do n-ésimo elemento óptico considerado como corpo negro

τ_n - Transmissão (ou reflexão, em caso de espelhos) do n-ésimo elemento óptico

Aplicações da termografia

Conforme o eng^o Atílio Bruno Veratti, um grande estudioso do assunto no Brasil, as aplicações da termografia podem ser classificadas em quatro objetivos principais, segundo a natureza dos gradientes térmicos observados.

Um gradiente térmico é definido como uma variação linear e contínua de temperaturas em função da distância, a partir de um ponto central de máxima ou mínima temperatura.

Analisando os *gradientes térmicos*, as *anomalias térmicas* podem ser identificadas tanto pela morfologia como pelas temperaturas máximas ou mínimas apresentadas.

Portanto, pode-se classificar a aplicação da Termografia em geral como:

- localização de componentes apresentando defeitos e falhas.
- determinação da presença ou ausência de materiais ou produtos.
- determinação de parâmetros operacionais de materiais ou componentes.
- determinação da ocorrência de fenômenos físicos ou químicos.

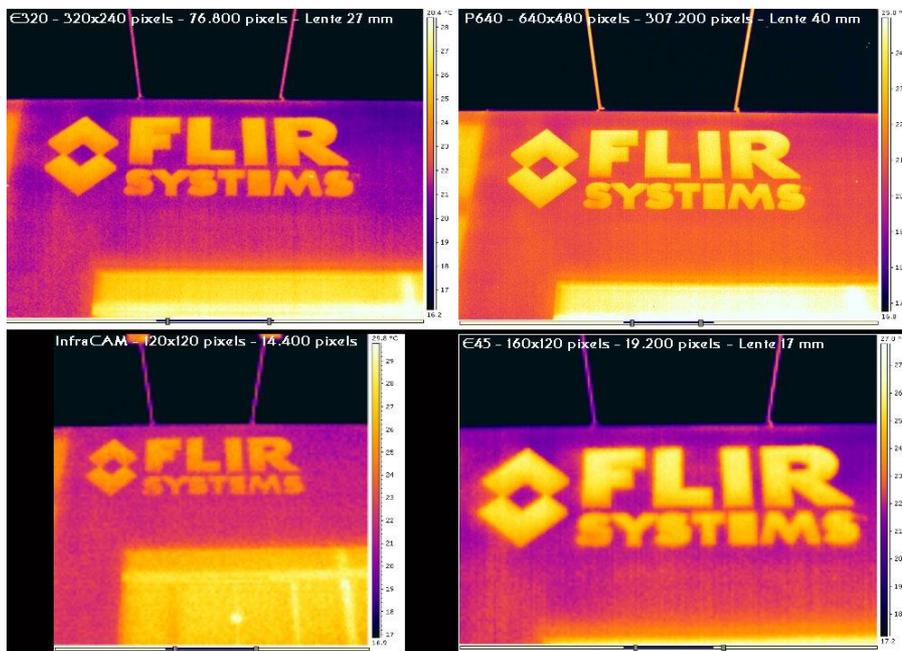
O grande diferencial na utilização da Termografia está na visualização desses gradientes térmicos, associando-os aos fenômenos existentes, com medições da grandeza sem contato.

Aplicações da termografia

O eng^o Attilio também afirma que, atualmente, os microbolômetros, com sua miniaturização e a não necessidade de resfriamento, estão presentes na grande maioria dos sistemas infravermelhos em uso.

As matrizes de plano focal (FPA – Focal Plane Arrays) mais utilizadas para aplicações industriais variam de 14.400 sensores (120x120) até 307.200, sensores (640x480).

Nas aplicações em pesquisas e área militar existem modelos com mais de 1.000.000 de sensores aumentando, ainda mais, a precisão.



Imagens produzidas por sistemas utilizando FPAs de:

- 14.440 sensores (abaixo à esquerda),
- 19.200 sensores (abaixo à direita),
- 76.800 sensores (acima à esquerda)
- 307.200 sensores (acima à direita)

Aplicações da termografia

Setor industrial

Empregam-se principalmente sistema portáteis, com capacidade de medida e análise *in situ*, e com capacidade de correção dos parâmetros que afetam a medida (emissividade, temperatura ambiente, distância, ...)

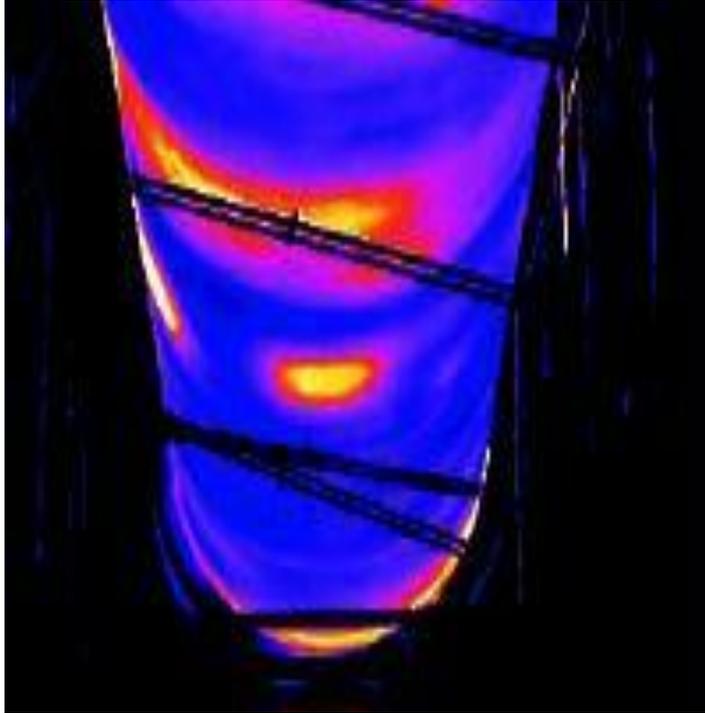
Investigação e Desenvolvimento

Empregam-se sistemas desenhados para trabalho em laboratório associados a sistemas informáticos

Segurança e Vigilância

Trata-se habitualmente de sistemas de visão noturna e em outras situações de visibilidade reduzida, não sendo relevante a medida da temperatura

Setor industrial



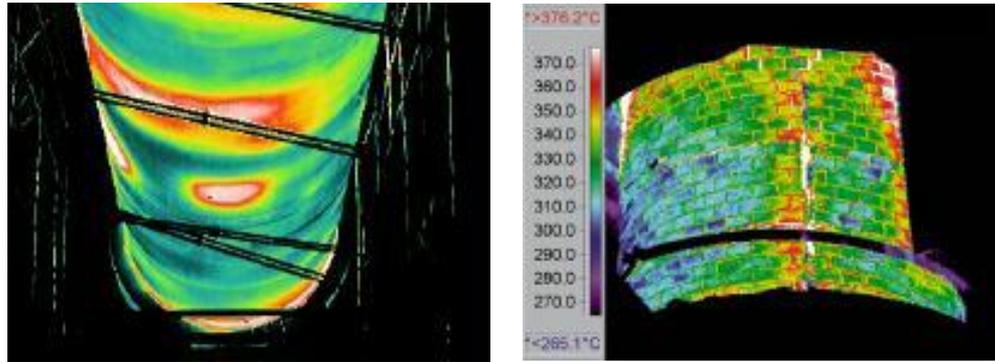
Fornalha Industrial

A termografia:

Permite um controle da temperatura para otimização da queima de hidrocarbonetos.

Proporciona um método visual para determinar a presença de tubos obstruídos e de formação excessiva de carvão

Setor industrial



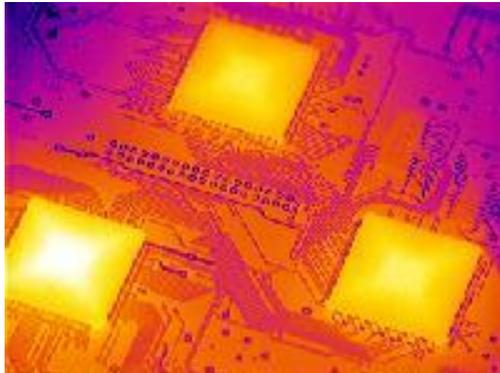
Termografia aplicada à manutenção de instalações (fornos rotativos, fornalhas industriais, etc)

Equipamento:



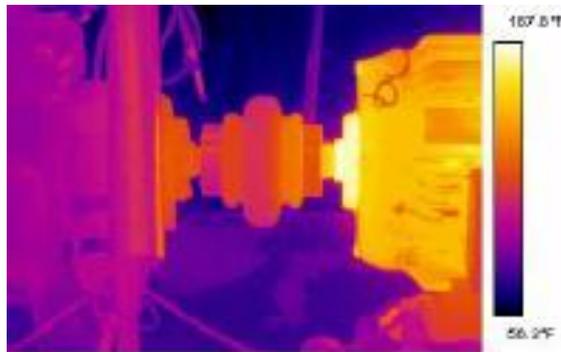
Este tipo de imagem é obtido por câmaras termográficas portáteis, de grande sensibilidade, como por exemplo a ThermoCAM PM695

Setor industrial



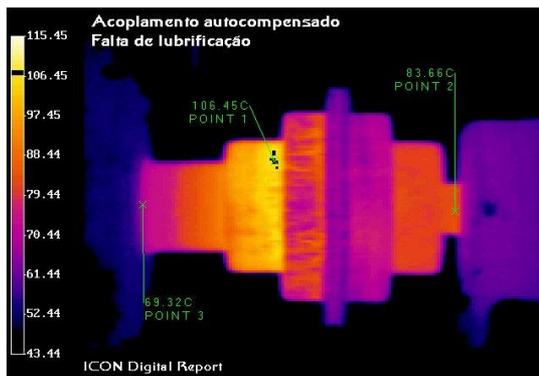
Desenvolvimento de um produto (controle do processo)

Através da termografia podem conhecer-se, em cada fase da fabricação as propriedades térmicas de um circuito integrado.



Inspeção mecânica

Detecta sobreaquecimentos em ligações entre os constituintes, por exemplo, de um motor. Permite detectar veios desalinhados



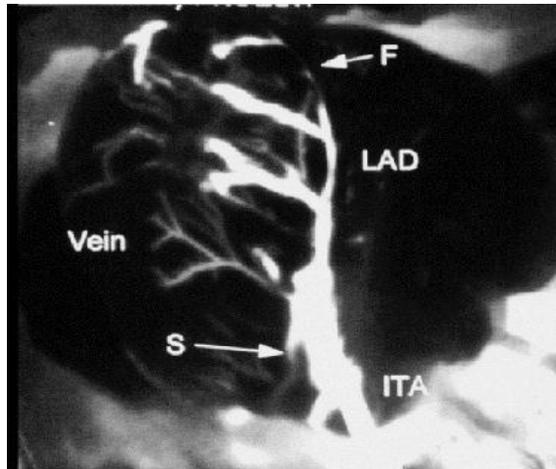
Visualiza os gradientes térmicos envolvidos, permitindo uma análise mais rápida e precisa problema de aquecimento.

Investigação e Desenvolvimento



Biologia

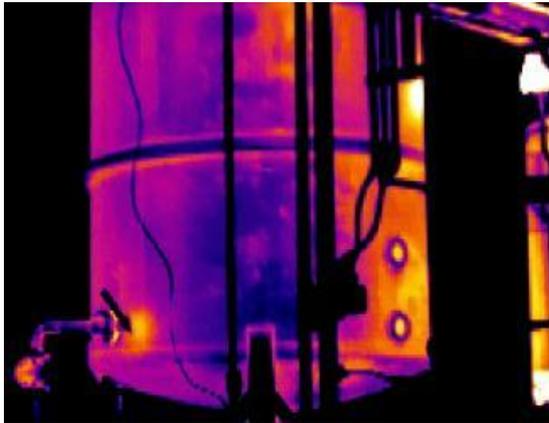
A termografia oferece um meio de diagnóstico a biólogos sem necessidade de contato com o animal em estudo



Medicina

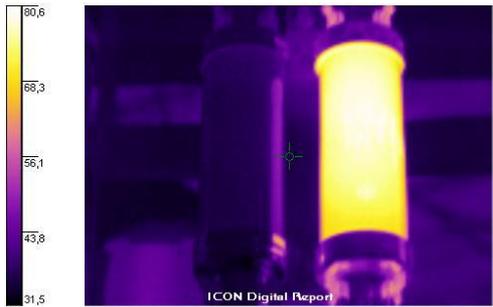
Permite a visualização da corrente sanguínea e metabolismos em órgãos afetados

Segurança e Vigilância



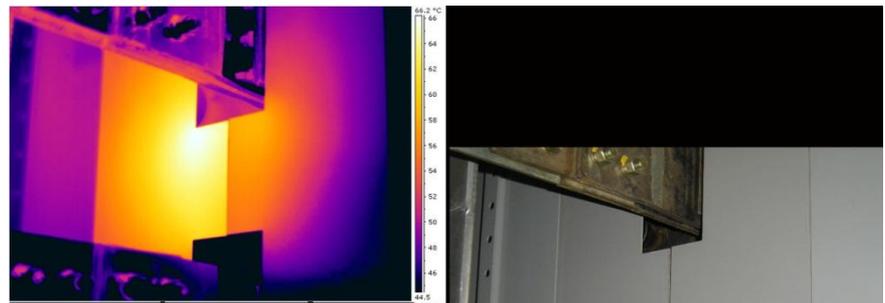
Vigilância

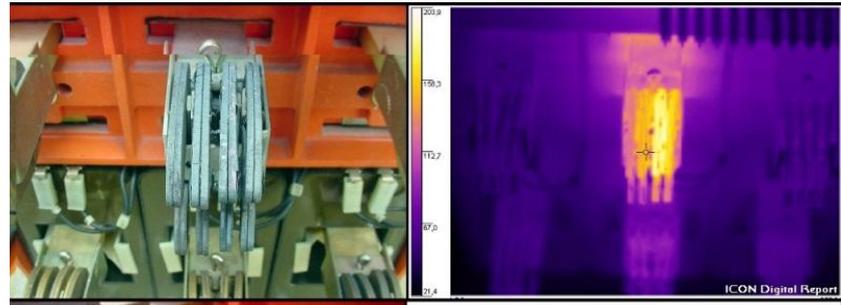
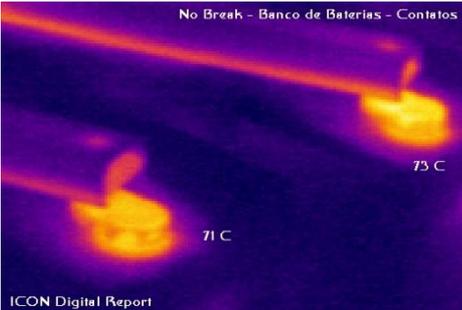
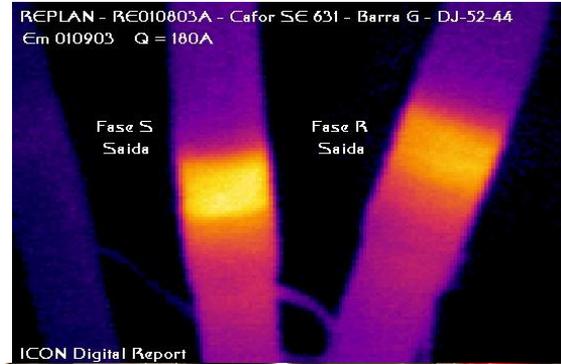
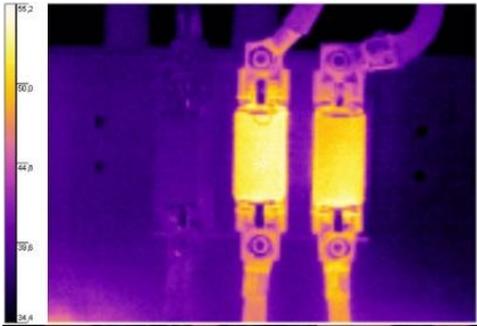
Através da termografia podem conhecer-se os pontos de possível ruptura do depósito

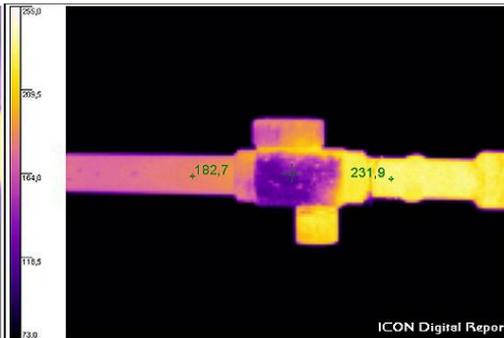
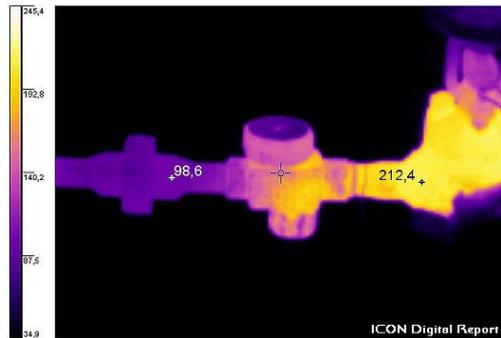
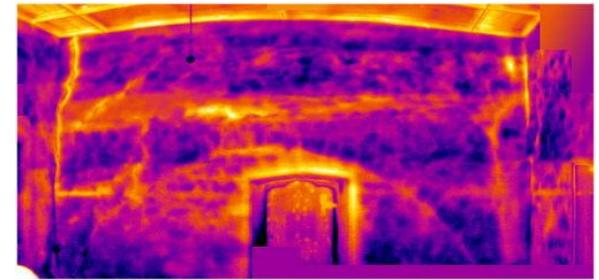
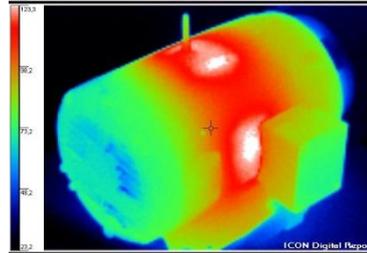
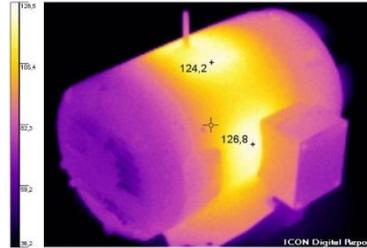
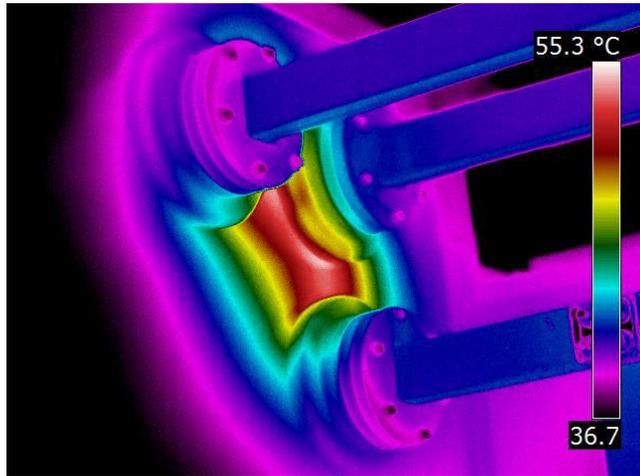
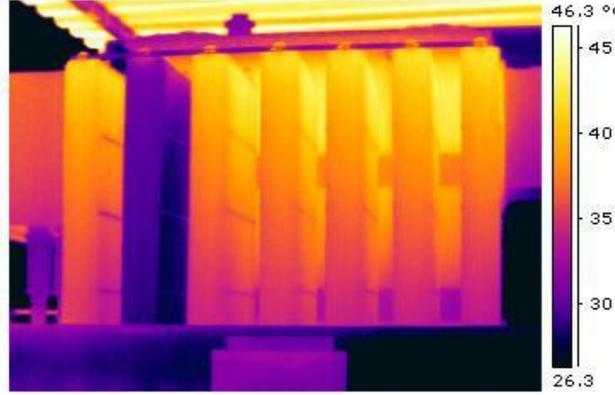
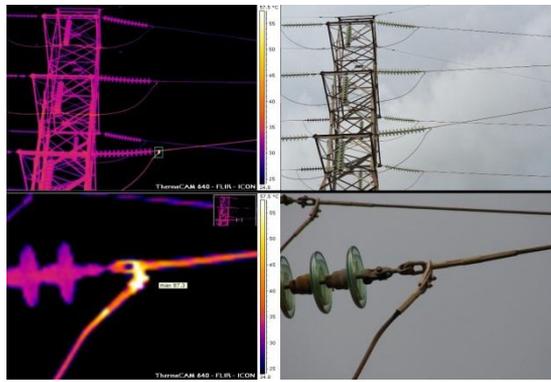


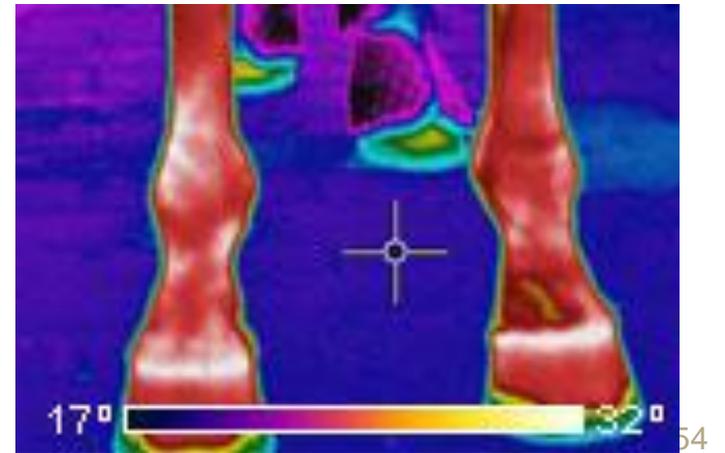
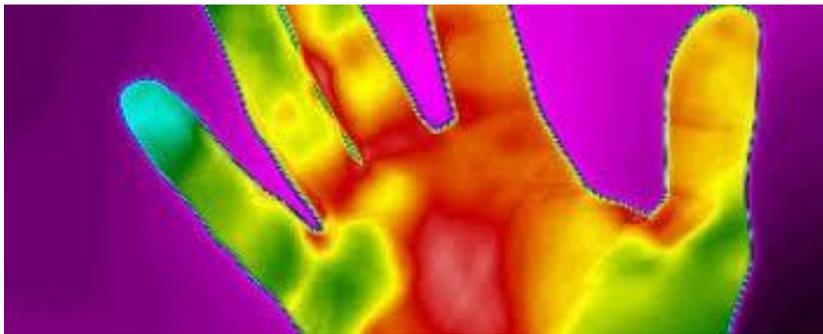
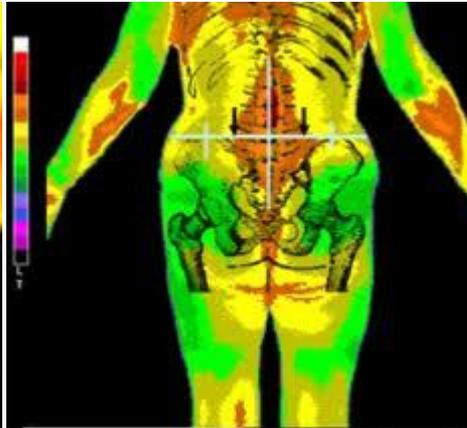
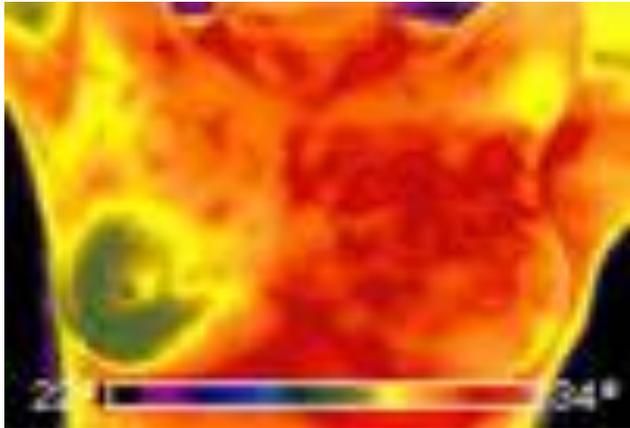
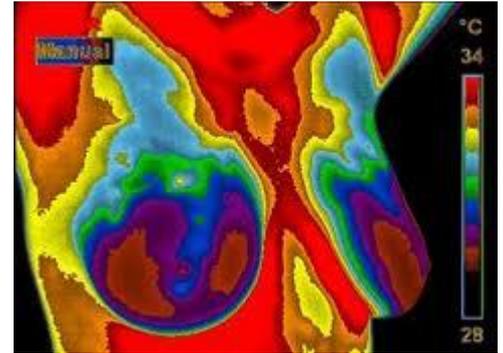
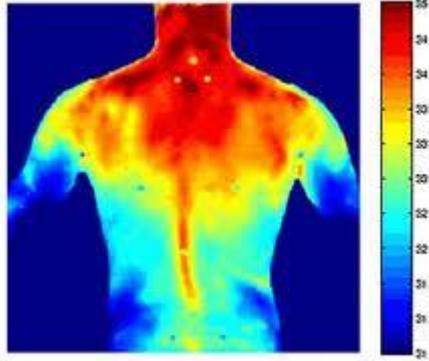
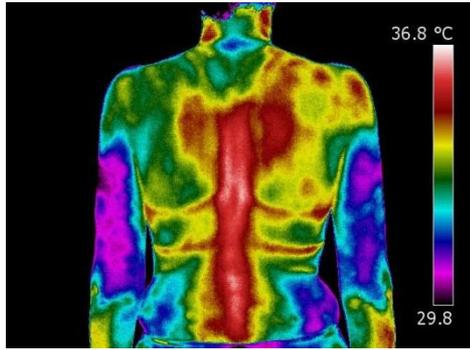
Inspeção preventiva

Detecta sobreaquecimentos nas ligações entre os bornes de cabos de alta tensão









Termografia

Técnicas de medição da temperatura

Vantagens da termografia por infra-vermelhos

- ✓ A medida da temperatura realiza-se sem contato.
- ✓ Não interfere com o processo.
- ✓ Tempo de resposta rápido; permite o estudo de regimes transitórios.
- ✓ Possibilita o estudo de distribuições térmicas temporais e espaciais a partir da visualização dos gradientes térmicos envolvidos.
- ✓ Recolhe grande quantidade de dados em pouco tempo.
- ✓ Permite a medição de temperaturas em atmosferas perigosas ou adversas.
- ✓ Grande precisão de medida.

Referências Bibliográficas

- J. W. Dally, W. F. Riley, K. G. McConnel. *Instrumentation for Engineering Measurements*, John Wiley & Sons, 1984.
- A. Balbinot, V. J. Brusamarello. *Instrumentação e Fundamentos de Medidas*, LTC, vol. 1, 2ª ed., 2010.
- C. Boschetti. *DETECTORES DE INFRAVERMELHO - Princípios e Caracterização*, LAS-INPE: Pós-graduação.
- A. B. Veratti. *Termografia - Princípios, Aplicações e Qualidade*.
- A. Moita, L. Silva, P. Canhoto. *Termografia*, IST, 2000.
- J. Afonso. *Termografia – Teoria, Procedimentos e Vantagens*, 2010.
- Site: www.termonautas.com.br – acesso restrito a profissionais da área e pesquisadores.