

O emprego da termografia na inspeção preditiva

Caroline Mendez R. Mendonça dos Santos*
Laila Gozzer Voll**

Resumo

Hoje em dia dá-se muita importância à manutenção, visto que antigamente ela era apenas vista como uma obrigação, um 'mal necessário'. Hoje reconhecemos os benefícios que um planejamento bem elaborado de manutenção pode proporcionar. Com essa valorização da manutenção, aumentou-se a procura de técnicas de manutenção preditiva, preventiva e proativa eficazes e de baixo custo. A termografia é um ensaio não destrutivo que se encaixa nessas descrições, é um método de manutenção preditiva que beneficia a empresa, os funcionários e os consumidores.

Palavras-chave: Manutenção. Termografia. Ensaio não destrutivo.

Introdução e conceituação

A termografia é um tipo de ensaio não destrutivo e não invasivo que tem como princípio a detecção da radiação infravermelha (pode ser percebida como calor). Seu princípio se baseia na medição da distribuição de temperatura superficial de um corpo qualquer, e esta medição é realizada pela detecção da radiação térmica (infravermelha) emitida pelo corpo. A imagem térmica de um equipamento contribui com informações valiosas sobre um equipamento ou sistema (MENEZES et al., 2006, p. 1 e 2).

Se corretamente utilizada junto à TPM (Manutenção Produtiva Total), é uma excelente ferramenta de manutenção preditiva, detectando defeitos em seus estágios iniciais e evitando atrasos, paradas não planejadas na produção, aumentando a segurança nas inspeções (visando que para a análise termográfica não é preciso contato direto com o equipamento inspecionado) e reduzindo as manutenções corretivas, conseqüentemente, reduzindo custos.

Na indústria do petróleo e petroquímica é mais frequentemente utilizada nas partes de instalações elétricas, medindo a temperatura de fusíveis, e principalmente em tubos, detectando sua condição (se está obstruído, se há alguma anomalia etc.).

A radiação é o processo de troca de calor de um corpo mais quente para um corpo menos quente, essa transferência de calor é o princípio para a medição de temperatura através da termografia, mais especificamente da radiação infravermelha. Qualquer corpo ou objeto que tem agitação térmica de átomos e moléculas emite radiação térmica, e

quanto maior sua agitação, maior sua temperatura (MENEZES et al., 2006, p 3).

É interessante saber que nós somos capazes de ver muito pouco calor, podemos dizer que cada cor de luz emite ondas de calor diferente sendo o violeta, azul, mais frio que vermelho. Mas após o vermelho e antes do violeta existem ondas que são invisíveis aos olhos humanos, são as ondas infravermelhas - prefixo infra = abaixo, logo, ondas abaixo do vermelho, isso na escala de frequência - e ultravioleta, por isso vemos pouco calor, a maior parte da radiação térmica da Terra é emitida na faixa infravermelha ou ultravioleta de onda como mostra a Figura 1.

Designação	Frequência (Hz)	Comprimento de onda (m)	Comprimento de onda (µm)	Cor
Raios Gama	$3 \cdot 10^{23}$	10^{-15}		
	$3 \cdot 10^{22}$	10^{-14}		
	$3 \cdot 10^{21}$	10^{-13}		
	$3 \cdot 10^{20}$	10^{-12}		
	$3 \cdot 10^{19}$	10^{-11}		
Raio X	$3 \cdot 10^{18}$	10^{-10}	0,38	Ultra-Violeta
	$3 \cdot 10^{17}$	10^{-9}	0,42	Violeta
	$3 \cdot 10^{16}$	10^{-8}	0,46	
	$3 \cdot 10^{15}$	10^{-7}	0,48	Azul
	$1,5 \cdot 10^{14}$	$2 \cdot 10^{-7}$	0,50	
Ultra-Violeta	$1,0 \cdot 10^{14}$	$3 \cdot 10^{-7}$	0,52	
	$7,5 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{-7}$	0,54	Verde
	$6,0 \cdot 10^{14}$	$5 \cdot 10^{-7}$	0,56	
Visível	$5,0 \cdot 10^{14}$	$6 \cdot 10^{-7}$	0,58	
	$4,3 \cdot 10^{14}$	$7 \cdot 10^{-7}$	0,58	Amarelo
	$3,8 \cdot 10^{14}$	$8 \cdot 10^{-7}$	0,60	
Infravermelho	$3,2 \cdot 10^{14}$	$9 \cdot 10^{-7}$	0,62	Laranja
	$3 \cdot 10^{14}$	10^{-6}	0,64	
	$3 \cdot 10^{13}$	10^{-5}	0,66	
	$3 \cdot 10^{12}$	10^{-4}	0,68	Vermelho
	$3 \cdot 10^{11}$	10^{-3}	0,70	
Microondas	$3 \cdot 10^{10}$	10^{-2}	0,72	
	$3 \cdot 10^9$	10^{-1}	0,74	
	UHF $3 \cdot 10^8$	1		
Ondas de Raio e Televisão	VHF $3 \cdot 10^7$	10	0,76	
	HF $3 \cdot 10^6$	10^2	0,78	Infravermelho
	MF $3 \cdot 10^5$	10^3		
	LF $3 \cdot 10^4$	10^4		
	VLf $3 \cdot 10^3$	10^5		

Figura 1 - Frequência, comprimento de onda e as cores visíveis ao olho humano

História do Infravermelho

A análise termográfica que conhecemos hoje em dia, com termovisores e fotos termográficas, só foi possível a partir de uma série de descobertas ao longo da história, começando com a descoberta da radiação infravermelha. Vejamos a seguir.

* Técnico em Mecânica pelo IF Fluminense, campus Campos-Centro.

** Técnico em Mecânica pelo IF Fluminense, campus Campos-Centro.

Em uma pesquisa sobre decomposição da luz solar realizada em 1665, Newton utiliza um prisma para decompor a luz solar. Como ilustra a figura 2, ao passar por um prisma, a luz solar, que é branca, se decompõe nas cores do arco-íris.

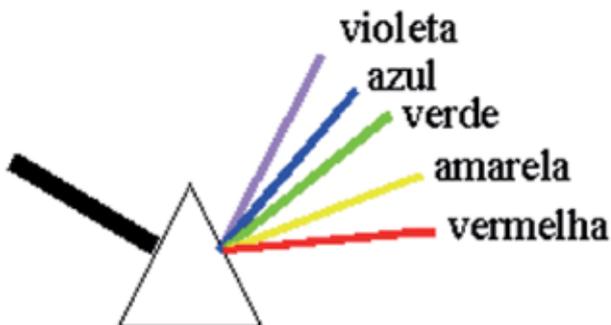


Figura 2 – Prisma decompondo a luz solar

Newton demonstrou que combinando adequadamente dois ou mais prismas, é possível decompor e recompor a luz branca. A separação é possível porque cada cor tem um índice de refração diferente, isto é, apresenta um desvio diferente quando passa de um meio (ar) para outro (vidro) (SANTOS, 2002, p. 19 e 20).

Em 1800, o alemão Friedrich Wilhelm Herschel - matemático e astrônomo que descobriu o planeta Urano - ao testar amostras de vidros coloridos para proteger seus olhos enquanto observava o sol, percebeu que algumas lentes deixavam passar mais calor que outras. Assim Herschel repetiu a experiência de Newton, só que com auxílio de um prisma e três termômetros de mercúrio com tubos pintado de preto, mediu a temperatura das cores que o prisma refratava da luz do sol e percebeu a diferença de temperatura entre elas e, analisando as cores e suas respectivas temperaturas, percebeu que do violeta para o vermelho a temperatura aumentava, porém percebeu também que a temperatura continuava a aumentar na região escura além do vermelho, concluindo assim que em tal região – nomeada de Espectro Termométrico e à radiação deu-se o nome de Calor Negro, porém décadas depois renomearam a região de Região Infravermelha e a radiação de Radiação Infravermelha - existe uma luz invisível, que aquece o termômetro, e esse necessitava de 16 minutos para cada medição e permitiam uma precisão de 0,2°C. Melhoramentos aumentaram a precisão desses instrumentos para 0,05°C (SANTOS, 2006, p 20).

Em 1863, Melloni construiu a termopilha, composta de vários termopares ligados em série. A sensibilidade alcançada pelo arranjo era quarenta vezes superior aos melhores termômetros da época, o suficiente para detectar uma pessoa

a dez metros de distância. A primeira imagem térmica foi obtida em 1840 por John Herschel, que desenvolveu um processo de detecção e registro da radiação infravermelha incidente, baseado na evaporação diferencial de um filme de óleo, em processo semelhante à fotografia. A partir daí começaram a inventar equipamentos (muitos para Segunda Guerra Mundial), como o de visão noturna.

Em 1879, Josef Stefan concluiu a partir de medidas experimentais, que o total de energia irradiada por um corpo negro é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta. Porém à medida que físicos se aprofundavam no assunto, percebia-se que tais teorias estavam restritas a determinados grupos (de certos materiais ou para comprimentos de onda muito longos, por exemplo) (Fundação Brasileira de tecnologia da Soldagem).

Emissividade

Os objetos reais podem atuar sobre a radiação incidente de várias formas (Figura 3), como:

- Uma fração 'B' da radiação pode ser absorvida.
- Uma fração 'C' da radiação pode ser refletida.
- Uma fração 'A' da radiação pode ser transmitida.

Em materiais opacos não tem como a radiação ser transmitida, logo 'A' é igual a zero (Fundação Brasileira de tecnologia da Soldagem).

De acordo com a Lei Kirchhoff, existe uma igualdade entre a capacidade de um corpo em absorver a energia incidente e a sua capacidade de reemitir-la. Chama-se esta última de "emissividade", a qual pode ser assim definida:

"A emissividade é a relação entre a energia irradiada, em um dado comprimento de onda, por um corpo qualquer e um corpo negro à mesma temperatura" (Fundação Brasileira de tecnologia da Soldagem).

Assim definida, a emissividade assume sempre valores entre 0 e 1 sendo numericamente iguais à fração da radiação absorvida pelo corpo, é uma característica que depende primordialmente da composição química e da textura do material, podendo variar com a temperatura e com o comprimento de onda. (Fundação Brasileira de tecnologia da Soldagem).

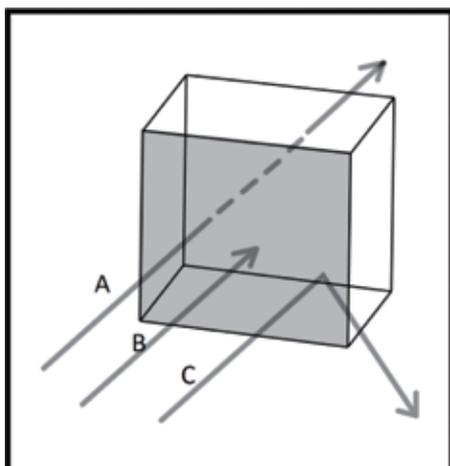


Figura 3 – Exemplos de cada tipo de emissividade

Sistema Infravermelho

Os recursos de fotografia infravermelha não foram muito além dos 0,9 μm de comprimento de onda, pois a energia da radiação não é suficiente para sensibilizar as emulsões fotográficas. Para detectar comprimentos de ondas mais longos, utilizam-se equipamentos denominados 'sistemas infravermelhos', que captam a radiação infravermelha e a convertem em sinais eletrônicos. Veja na Figura 4 os elementos básicos que compõem um sistema infravermelho (Fundação Brasileira de tecnologia da Soldagem).



Figura 4 - Esquema representativo dos elementos básicos de um sistema infravermelho

Óptica do sistema

Coleta a radiação que incide sobre o sistema, e através da reflexão/refração direciona-a ao detector. Pode também realizar o controle da radiação que chega ao detector em termos espectrais por intermédio de filtros ou de intensidade por meio de diagramas. Devido à opacidade do vidro à radiação infravermelha, a óptica de refração utiliza lentes fabricadas com materiais especiais transparentes a essa faixa espectral (Fundação Brasileira de tecnologia da Soldagem).

A óptica de um sistema pode ser caracterizada por: campo de visão total; campo de visão instantâneo; distância focal, diâmetro efetivo e abertura. O campo de visão total (FOV – field of view) é dado em graus, definido como a porção angular sensoreada pelo sistema, é função não só

da parte óptica como também do mecanismo de varredura. O campo de visão instantâneo (IFOV – Instantaneous field of view), expresso em radianos, é dado pelo ângulo sólido determinado pela projeção do detector na cena em um dado instante.

Mecanismo de Varredura

Sua função é efetuar o deslocamento do campo de visão instantâneo do sistema permitindo o sensoriamento de uma cena. A varredura pode ser linear, realizada em uma só direção (horizontal ou vertical) ou bidimensional, realizada em direções perpendiculares entre si.

Detectores

Responsável por converter a energia radiante, captada pelo sistema, em uma energia mensurável, normalmente em sinal elétrico. O espaço de tempo entre a variação no fluxo da energia radiante incidente e a correspondente variação na intensidade do sinal gerado pelo detector é chamado "tempo de resposta". A "detectividade" (grandeza representada pelo símbolo D^* (D – estrela), cujas unidades são $\text{cm} (\text{Hz})^{1/2}/\text{w}^1$) aumenta com sensibilidade do detector. Segundo a forma como processam a conversão da energia radiante em outra forma de energia, os detectores podem ser classificados em duas categorias:

Termodetectores

Baseia-se no efeito de aquecimento causado pela radiação incidente no elemento sensor, alterando alguma propriedade física do mesmo. Para ser eficiente, o elemento sensor deve ser convenientemente preparado para absorver o máximo de radiação na faixa espectral desejada. Têm ampla sensibilidade espectral, porém tempos de respostas relativamente longas, devido à inércia térmica dos componentes. São aplicados primeiramente em sistemas que devam operar em diversas faixas espectrais e não necessitem de altas frequências de medição.

Fotodetectores

Operam pela interação direta entre fótons da radiação incidente e os elétrons no material do detector. Por esse motivo, os fotodetectores são mais sensíveis e possuem tempos de resposta mais curtos que os termodetectores.

Equipamentos

O funcionamento fora de faixas preestabelecidas de temperatura pode causar um desgaste prematuro do sistema como um todo, pode danificar o sistema, em casos extremos, levando ao dano, e como consequência a parada do equipamento

danificado. Imagine se tal equipamento é um equipamento de *classe A*¹? Existem dois principais equipamentos capazes de captar a radiação infravermelha e transformá-la em informação térmica, os termovisores e os radiômetros (Fundação Brasileira de tecnologia da Soldagem).

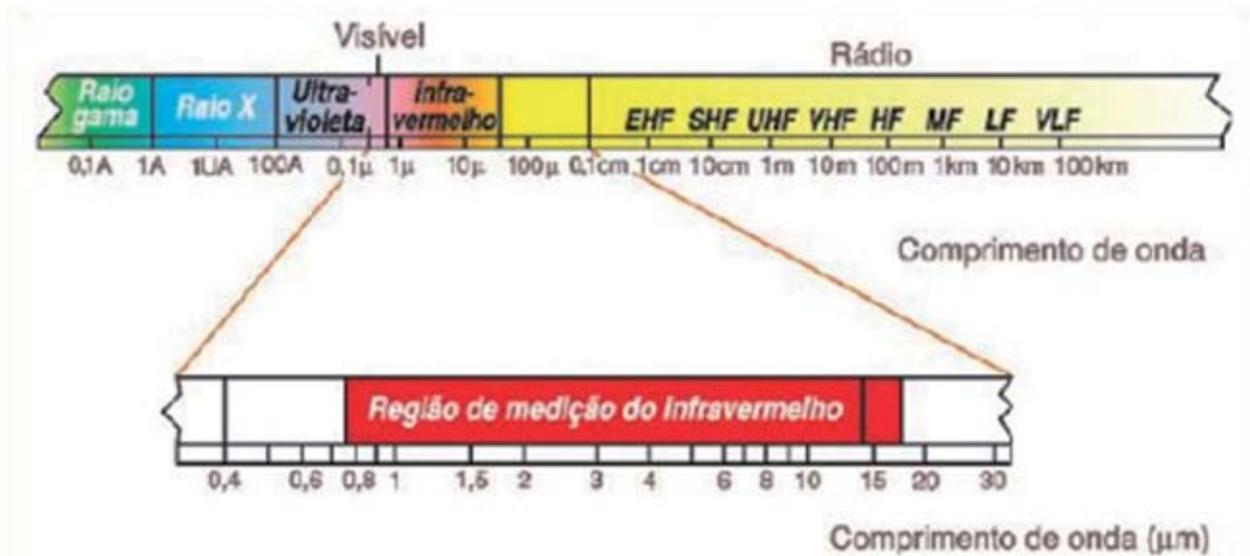


Figura 5 - Comprimentos de ondas que indicam a região de medição do infravermelho

Termovisores



Figura 6 - Termovisor

Termovisores são equipamentos capazes de fazer leitura da energia irradiada no espectro infravermelho, ou seja, são equipamentos capazes de ver o calor irradiado por qualquer corpo. Funcionam como câmeras fotográficas, mas seus sensores são ajustados para outro comprimento de onda.

Estes equipamentos medem a temperatura da superfície, porém não medem a temperatura no interior dos objetos. Mas mesmo sem essa

capacidade, a temperatura de superfície é um excelente parâmetro para dar início à manutenção, uma vez que ela fornece uma boa ideia do que está acontecendo no interior do equipamento.

Além de ser um grande aliado das manutenções preditivas, estes instrumentos são indicados quando é necessária a medição em ambientes de difícil acesso. Isto porque uma de suas principais características é conseguir fazer a medição térmica sem a necessidade de contato físico, exatamente como uma máquina fotográfica que captura uma imagem sem a necessidade de contato com o que está sendo fotografado.

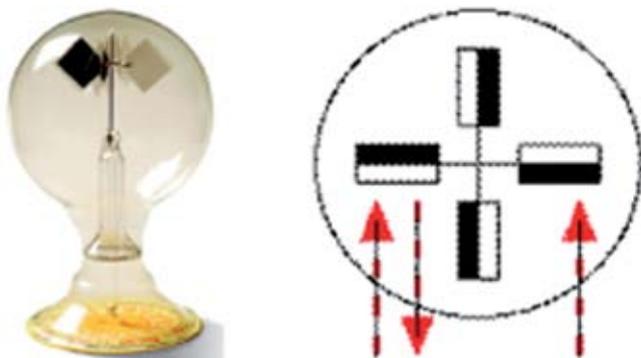
Funcionamento

Permite a coleta de imagens no monitor (branco e preto ou coloridas) da distribuição de temperatura da superfície focalizada pela câmera, de acordo com a sua temperatura (termografia infravermelha). O infravermelho é uma frequência eletromagnética emitida naturalmente por todos os corpos. Neste caso, as anomalias na distribuição da temperatura superficial que correspondem a possíveis discontinuidades, serão mostradas como “manchas coloridas”.

¹Equipamentos de Classe A são equipamentos cuja parada interrompe o processo produtivo causando o lucro cessante ou cuja condição irregular cause risco de acidente.

Radiômetro

Um radiômetro (também chamado de moinho de luz) é um equipamento utilizado para medir o fluxo de radiação ou força da radiação eletromagnética. Apesar de o termo ser aplicado a um dispositivo que mede radiação infravermelha, o nome também pode ser aplicado a detectores operando em qualquer comprimento de onda no espectro eletromagnético; um radiômetro que mede o espectro também pode ser chamado de espectro radiômetro.



Figuras 7 e 8 – Imagens do moinho de luz

O radiômetro, contudo, presta-se apenas a demonstrações qualitativas, dada a dificuldade em se avaliar corretamente sua velocidade angular. São sistemas infravermelhos de construção mais simples e preço mais acessível, uma vez que não formam imagens térmicas. Medem a temperatura coletando a radiação infravermelha de uma área definida à frente do aparelho que é dirigida a um detector do tipo termopilha ou piroelétrico, onde é transformada em sinal elétrico. O valor de temperatura calculado é apresentado em um display de cristal líquido (VERATTI, 1999, p. 1).

Os parâmetros determinantes para a seleção de um radiômetro, em função de sua aplicação, são o Campo de Visão (FOV) e a faixa espectral de sensibilidade.

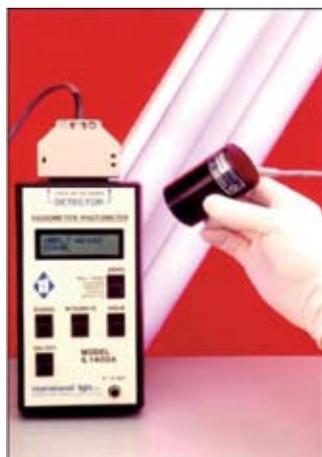


Figura 9 - Radiômetro

O Campo de Visão de um radiômetro (FOV) é descrito pela razão distância/diâmetro da área medida (D:S). Se considerarmos um instrumento com D:S de 60:1, a área sensoreada a 60 metros terá um diâmetro de 1 metro (VERATTI, 1999, p. 1).

Os radiômetros produzidos para fins industriais operam nas faixas espectrais do infravermelho entre 0,8 microns e 14 microns. Nos últimos anos os radiômetros passaram a incorporar miras infravermelhas, facilitando o posicionamento dos aparelhos e a rápida visualização da área que está sendo sensoreada (VERATTI, 1999, p. 2).

Aplicações da inspeção termográfica

O objetivo da inspeção termográfica é detectar e diagnosticar elevadas temperaturas e acréscimos de temperatura em componentes elétricos, para com isso evitar a interrupção de áreas da empresa. Atualmente a termografia tem aplicações em diversas áreas, como:

- Na indústria automobilística, é utilizada no desenvolvimento e estudo do comportamento de pneumáticos, desembaçador do para-brisa traseiro, freios, no sistema de refrigeração, turbo, entre outros.

- Na siderurgia, é aplicada no levantamento do perfil térmico dos fundidos, durante a solidificação, na inspeção de revestimentos refratários dos fornos.

- Na indústria aeronáutica, é utilizada no ensaio de materiais compostos para se detectar dupla laminação ou outros tipos de rupturas. Pontos quentes assim como falhas de coesão em componentes elétricos e eletrônicos podem ser determinados através da termografia.

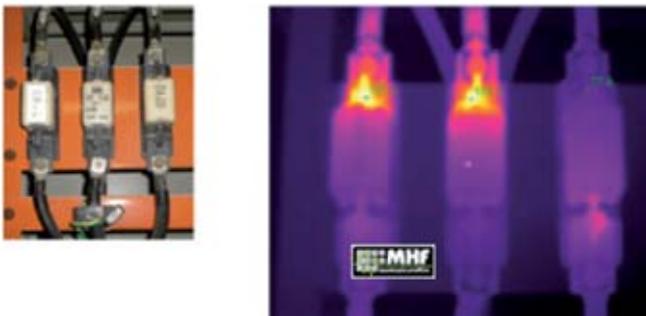
- Na indústria química, utiliza-se a termografia para a otimização do processo e no controle de reatores e torres de refrigeração.

- Nas aplicações na engenharia civil incluem a avaliação do isolamento térmico de edifícios e a possibilidade de se determinar detalhes construtivos das construções, etc. Nas artes, o método tem se mostrado de grande valia na detecção de descascamento de pintura e de massas reconstituintes bem como no diagnóstico geral para conservação e restauração.

Áreas elétricas

Manutenção Preditiva, através da inspeção termográfica, nos quadros elétricos de comando e distribuição de força, central de ar condicionado, de iluminação, grupo geradores, subestação etc. A termografia é feita com a emissão dos laudos, indicando suas devidas correções, ilustrados com os respectivos termogramas e registros

fotográficos dos pontos de calor excessivo, com o objetivo de prolongar a eficiência operacional dos sistemas. A análise termográfica permite uma melhor programação, minimizando a mão de obra e recursos envolvidos, pois possibilita identificação de sobreaquecimento nas instalações “sem a interrupção do processo produtivo” (MHF Manutenção preditiva).



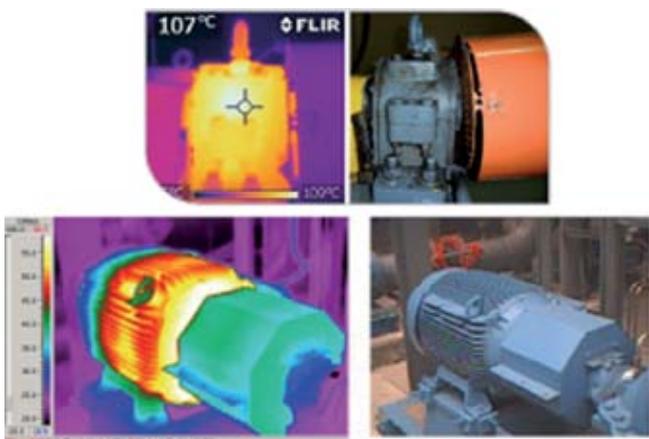
Figuras 10 e 11 – Mau contato nas pinças dos fusíveis

Área Mecânica

Análise de Vibrações e Termografia são duas técnicas Preditivas associadas com resultados excelentes na Manutenção Preditiva. A termografia é utilizada na inspeção dos revestimentos refratários em fornos, caldeiras, autoclaves, etc. (MHF Manutenção preditiva).

Equipamentos Mecânicos Dinâmicos

Quando utilizada em equipamentos mecânicos permite identificar problemas causados pelo atrito entre peças devido à lubrificação deficiente ou inadequada, desalinhamento de eixos pelo aquecimento nos dispositivos de acoplamento (Figura 12).



Figuras 12 e 13 – Imagens termográficas

Equipamentos Mecânicos Estáticos

A Termografia realizada em equipamentos estáticos busca principalmente a identificação em superfícies de regiões onde exista deficiência de isolamento térmico. As falhas dos equipamentos através da detecção de radiação infravermelha. Essa radiação é emitida pelas variações de temperatura dos objetos, formando imagens térmicas (Figura 14) que auxiliam na prevenção de defeitos e interrupções dos processos produtivos, permitindo uma programação de manutenção, minimizando mão de obra e recursos envolvidos.

A análise termográfica pode evitar tais despesas e infortúnios através da inspeção periódica, mantendo sob controle a empresa com inúmeros benefícios, aumentando a vida útil dos componentes sendo ela empresa de grande, médio ou pequeno porte.

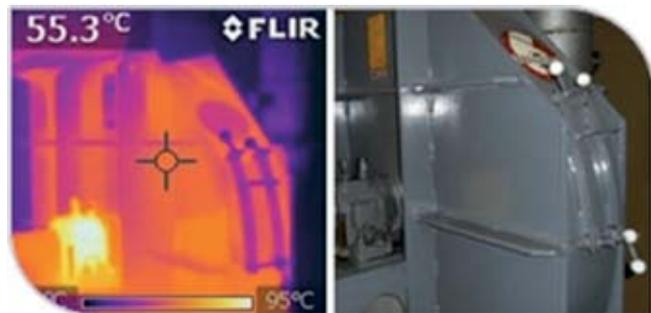


Figura 14 – Imagem termográfica

Fornos de processo - Condições dos tubos

A aplicação da termografia na inspeção de tubos de fornos é uma de suas utilizações mais importantes, uma vez que são bastante limitadas as informações que podem ser obtidas de um forno em operação através da utilização de outros métodos de inspeção. Em alguns casos, até mesmo a termografia pode ser prejudicada pelas chamas e gases de combustão existentes no interior do equipamento. A inspeção termográfica identificaria a condição interna do tubo, verificando a quantidade de sedimento acumulada dentro do mesmo para que não haja entupimento. Obstruções de equipamentos em geral são frequentes em refinaria de petróleo. São as obstruções no interior dos equipamentos, que, como vimos anteriormente, reduzem ou até mesmo impedem o escoamento normal do fluxo. A inspeção termográfica mostra claramente os tubos obstruídos, que se apresentam mais frios e permite acompanhar a evolução do seu problema, dando uma ideia bastante precisa das condições do equipamento. Este acompanhamento permite fazer previsões quanto ao tempo de operação, até

a parada da unidade, bem como planejar o volume de serviços de manutenção que são necessários (Fundação Brasileira de tecnologia de Soldagem).

Fornos de processo - Controle de queima

Os tubos de um forno recebem uma incidência de calor muito grande, logo, é importante que os queimadores estejam bem ajustados para que essa incidência não seja maior, a ponto de prejudicar o tubo. Porém essa ajustagem pode ser prejudicada pela fumaça decorrente da queima de alguns tipos de combustíveis, então o ensaio termográfico pode ser um método auxiliar, que indica a distribuição das chamas no interior do forno através da imagem térmica.

Limitações

1. As variações na distribuição das temperaturas podem ser muito pequenas para serem detectadas.
2. Discrepâncias muito pequenas podem ser mascaradas, pelo “ruído de fundo”, e permanecer sem detecção.
3. As principais organizações de normalização ainda não reconhecem a termografia como um método confiável de END para avaliação e certificação dos produtos ensaiados.

Após ser emitida por um corpo, a radiação infravermelha pode interagir com a massa de gases circundantes, tendo vários de seus comprimentos de onda absorvidos e reemitidos. A essa interação dá-se o nome de “atenuação atmosférica” e sua ocorrência deve-se a presença de gases contendo três ou mais átomos na molécula e de partículas sólidas em suspensão.

A atmosfera terrestre não é inteiramente transparente à radiação infravermelha. Embora seus principais constituintes como o nitrogênio, oxigênio e o argônio não atuem apreciavelmente sobre a radiação infravermelha, o mesmo não ocorre com o vapor d’água e o gás carbônico, os quais absorvem diversos comprimentos de onda entre 1 e 15 μ m e grande parte da radiação acima de 15 μ m. Em termos atmosféricos esse fenômeno é denominado “efeito estufa” e a sua ocorrência é responsável por uma elevação da temperatura média da Terra de 30°C em relação ao calculado para uma atmosfera seca e isenta de gás carbônico. Em atmosferas industriais, onde são encontrados altas percentagens de vapor d’água, gás carbônico, gás metano e partículas em suspensão, os efeitos da atenuação e reemissão tornam-se mais pronunciados, o que leva à necessidade da utilização de filtros para seleção de comprimentos de onda menos afetados em instrumentos que realizem medições nessas condições (Fundação Brasileira de tecnologia de Soldagem).

Conclusão

O uso da termografia como manutenção preditiva traz inúmeras vantagens. Apesar do investimento em equipamento, treinamento, *software* e operação, o retorno é considerável e rápido, considerando-se o aumento da disponibilidade dos equipamentos devido à reconfiguração das práticas de manutenção, diminuição da manutenção corretiva (evitando paradas não planejadas), cumprimento de contratos de fornecimento, entre outras vantagens já vistas.

Apesar das limitações serem difíceis de qualificar, havendo conhecimento prévio, é possível reduzi-las e evitá-las. O processo pode ser aperfeiçoado com o estudo aprofundado focado na área de utilização.

É importante notar que o Sistema Básico de Inspeção Termográfica não necessariamente substitui a contratação externa de serviços, mas com ela se conjuga de maneira a cobrir melhor e por mais tempo as instalações produtivas da empresa, com o intuito de alcançar o principal objetivo da manutenção preditiva: evitar as paradas inesperadas na produção.

Referências

FUNDAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DA SOLDAGEM. Termografia. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/43383156/Apostila-Termografia>>. Acesso em: set. 2010.

LAERTE, S. Termografia Infravermelha em Subestações de Alta Tensão Desabrigadas. 2006. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia da Universidade Federal de Itajubá.

MENEZES A. F. S.; A. REGULY; C. O. D. MARTINS; E. PELIZZARI. Aplicações de termografia como ferramenta de manutenção preditiva em conectores elétricos. 2006. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17Cbecimat-307-001.pdf>>. Acesso em: set. 2010.

MHF. Manutenção preditiva. Disponível em: <<http://www.mhfpreditiva.com.br/downloads/termografia.pdf>>. Acesso em: mar. 2011.

VERATTI A. B. Sistema Básico de Inspeção Termográfica. Disponível em: <<http://tecem.com.br/site/downloads/artigos/SBIT3a.pdf>>. Acesso em: set. 2010.