

ANÁLISE DE PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PARA REALIZAÇÃO DE INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA E DEFINIÇÃO DE LINHAS BASE PARA CONEXÕES EM MOTORES DE MÉDIA TENSÃO.

Vinicius Sena do Nascimento¹

Ubatan Almeida Miranda²

RESUMO

A termografia infravermelha é uma das principais técnicas utilizadas na manutenção preditiva de equipamentos e, se corretamente utilizada, torna-se uma ótima ferramenta para realizar inspeções em equipamentos industriais, detectando defeitos em seus estágios iniciais e evitando paradas não programadas. Neste trabalho apresenta-se um estudo de caso de uma manutenção preditiva, a termografia, e que a partir de uma análise crítica, quantitativa e qualitativa, levou de forma assertiva a parada programada de uma planta industrial no Pólo Petroquímico de Camaçari-BA para intervenção corretiva de uma anomalia detectada nas conexões elétricas em uma caixa de ligação de motor de indução trifásico alimentado a 4,16kVac e de potência nominal de 3MW. Este artigo faz também uma análise comparativa do procedimento atual utilizado nesta planta com os procedimentos de empresas especializadas em termografia, empresas do ramo petroquímico e óleo e gás e normas vigentes aplicáveis às inspeções termográficas. Durante a avaliação da instrução de trabalho e execução do serviço de inspeção termográfica, foi identificado a "base line" da temperatura para monitoramento do motor e que servirá para avaliação de equipamentos similares nesta mesma planta industrial.

Palavras-chave: Termografia, Preditiva, Temperatura, Emissividade.

¹ Graduado em Engenharia Elétrica. UFCG, 2006, PB – Engenheiro de Manutenção e Confiabilidade. E-mail: eng.viniciussena@gmail.com

² Me. Eng. Mecânica. UNICAMP, 2002, SP. – Professor Assistente SENAI CIMATEC. E-mail: ubatan.miranda@fiob.org.br

1 INTRODUÇÃO

A termografia se destaca como uma das técnicas mais importantes no diagnóstico de anomalias em dispositivos elétricos. Uma câmara de infravermelho mede e reproduz em imagens a radiação emitida pelos objetos e correlaciona-a com a temperatura da superfície dos equipamentos e conexões que estejam acima do zero absoluto (0K ou -273,15° C).

As principais vantagens da inspeção termográfica na manutenção preditiva compreendem: excelente relação custo-benefício, a garantia da segurança humana e da continuidade operacional, agilidade na obtenção da medida e o caráter não destrutivo do método para todos os equipamentos elétricos (ABNT, 2010).

Sistematizar o procedimento operacional para realização de inspeção termográfica em equipamentos elétricos de baixa e alta tensão, agregando confiabilidade aos sistemas elétricos é primordial para assertividade nas inspeções e na tomada de decisão quando identificadas anomalias térmicas críticas nos equipamentos do sistema elétrico, ou seja, qualquer padrão térmico que se desvie de uma referência conhecida (ABNT, 2006). Essas anomalias por aquecimento são geradas por diversos motivos, dentre eles conexões mal fixadas, curtos-circuitos, sobrecargas e desequilíbrios (SOUZA, 2016).

A seguir, será analisada uma instrução de trabalho de análise preditiva em equipamentos elétricos através de inspeção termográfica elaborado por uma empresa em atividade no setor Petroquímico e comparada com as práticas recomendadas por empresas especializadas na área de termografia, normas vigentes e recomendações dos fabricantes relacionadas às máximas temperaturas admissíveis de operação dos equipamentos ou componentes. O procedimento será analisado apenas quanto a sua efetividade técnica. O que esteja relacionado como item de segurança de pessoas e requisitos legais não farão parte da análise deste artigo.

Após nivelamento e padronização das práticas será apresentado o resultado da investigação de uma anomalia detectada durante uma preditiva em campo e definição de uma “*base line*” para futuras inspeções em equipamentos equivalentes.

2 METODOLOGIA DA AVALIAÇÃO

A escolha da metodologia de avaliação de temperatura deve atender a uma organização hierárquica: segurança humana, continuidade operacional, preservação dos equipamentos e redução dos custos envolvidos; caracterizar a anomalia com base em avaliações qualitativas e quantitativas; verificar as condições de inspeção, identificação, avaliação e gestão das anomalias térmicas e determinar prioridade nas ações baseadas nos riscos conforme organização hierárquica (ABNT, 2010).

A gestão da manutenção preditiva é fundamental para o empregador garantir que: os resultados encontrados serão confiáveis, o investimento na preditiva resulta em uma ferramenta efetiva nas tomadas de decisão e avalia a qualificação e nivelamento da equipe de manutenção.

2.1 Gestão da Manutenção Preditiva

O primeiro passo antes de avaliar a execução das inspeções é nivelar as informações contidas nos procedimentos aplicáveis com o técnico termografista e a equipe de manutenção interna. Percebeu-se então que:

- a. O termografista: usava um valor de emissividade fixa durante a avaliação qualitativa e quantitativa; não havia correção de transmissividade para as janelas de inspeção; a temperatura ambiente ajustada era subjetiva; não seguia o critério de medição da instrução de trabalho da empresa contratante.
- b. O eletricista: não era capacitado na instrução operacional; não conhecia os fatores de influência da medição termográfica;

A partir de então surgiu a motivação para avaliar a instrução operacional de trabalho com objetivo de capacitar toda a equipe a:

- c. Implementar programas de monitoramento da condição e procedimentos de inspeção;
- d. Interpretar e avaliar normas, especificações e procedimentos;
- e. Avaliar quantitativamente e qualitativamente a anomalia;

- f. Avaliar as condições das instalações elétricas que facilite as medições elétricas reduzindo os fatores de influências (item 2.3)
- g. Interpretar, avaliar e diagnosticar anomalias térmicas;
- h. Conhecer e aplicar os critérios de avaliação e aceitação para equipamentos;
- i. Recomendar ações corretivas/preventivas apropriadas

2.2 Avaliação Comparativa e Referencial

A Termografia Comparativa é utilizada pelos inspetores para que componentes semelhantes sob condições semelhantes sejam avaliados além da condição do equipamento que está sendo testado (FLUKE, 2009). Analisa padrões térmicos diferenciais sem considerar os valores de temperatura medidos como critério (ABNT, 2010), ou seja, realiza uma termografia comparativa qualitativa.

A Termografia Referencial tem como objetivo estabelecer um ponto de referência (*base line*) mostrando as diferenças na temperatura aparente de áreas contidas no campo de visão considerando os valores específicos de temperatura como critérios de avaliação da anomalia (FLIR, 2016) (FLUKE, 2009) (PETROBRAS, 2013), ou seja, realiza uma termografia referencial quantitativa.

2.3 Fatores de Influência

As variáveis que mais contribuem para a incerteza na medição são: emissividade, transmissividade, ângulo de visão, radiação refletiva e influências atmosféricas.

Emissividade (ϵ)

A emissividade representa a capacidade de uma superfície de emitir mais ou menos radiação. A emissividade varia entre 0 (zero) e 1.

As Instalações Elétricas são projetadas com um número muito grande de materiais, alumínio, cobre, aço, etc. Esta composição de diferentes materiais em um inviabiliza a programação de emissividade no equipamento de termografia (SANTOS, 2006). Esta é a maior fonte de incerteza de medição. Muitas vezes, as

medições são executadas com configurações fixas de emissividade e distância (TEIXEIRA, 2012). Baixos valores de emissividade elevam a contribuição da irradiação refletida falseando os valores lidos de temperatura conforme visto Figura 1. Observa-se na Figura 2 a influência da cor das superfícies na incerteza de medição de temperatura .

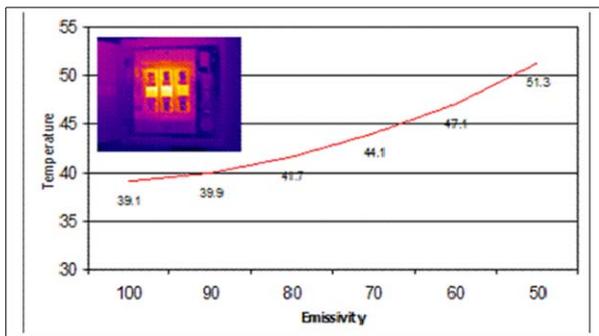


Figura 1 – Efeito da variação da Emissividade com a Temperatura (ROBISON, 2008).

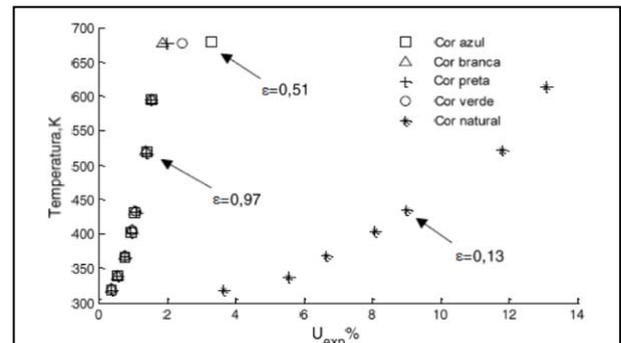


Figura 2 – Influência da cor na incerteza da medição de Temperatura (TEIXEIRA,2012).

Transmitância (τ)

Transmitância é a porção da energia incidente sobre um corpo, que é transmitida por este, em um dado comprimento de onda. Quando utilizado janelas de inspeção a correção deste parâmetro, se não for seguramente informado pelo fornecedor do produto, deve ser obtida pelo termografista através de testes com corpos-de-prova de temperatura e emissividade conhecidas. Qualquer negligência neste sentido ocasionará erro na análise quantitativa. O pior cenário ocorre quando são usados valores de emissividade e transmitância errados. Ver Figura 3.

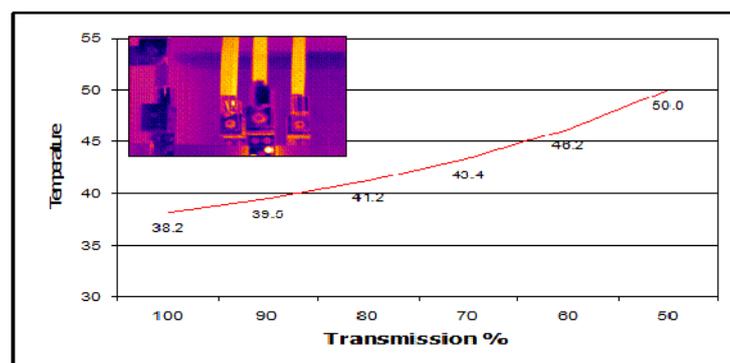


Figura 3 – Valores da Temperatura com variação da Transmitância (ROBISON, 2008).

Ângulo

A emissividade de uma superfície diminui quando o ângulo de visão aumenta em relação à sua normal. Medições devem ser efetuadas com um ângulo menor que 30°. Acima disso, introduz-se um erro moderado na medição infravermelha. (SANTOS, 2006)(OLIVEIRA, 2012)

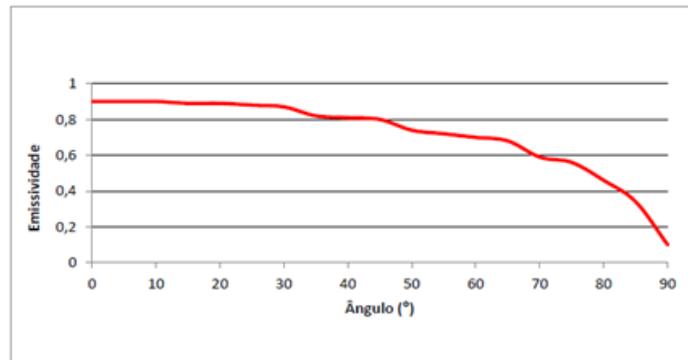


Figura 4 - Variação da emissividade com o ângulo de visão (OLIVEIRA, 2012).

Fatores climáticos

As condições atmosféricas (velocidade do vento) e ambientais (temperatura e umidade), influenciam as medições de temperatura tem sobre a medição temperatura. O efeito do vento depende, por exemplo, da velocidade, duração e direção (SANTOS, 2006).

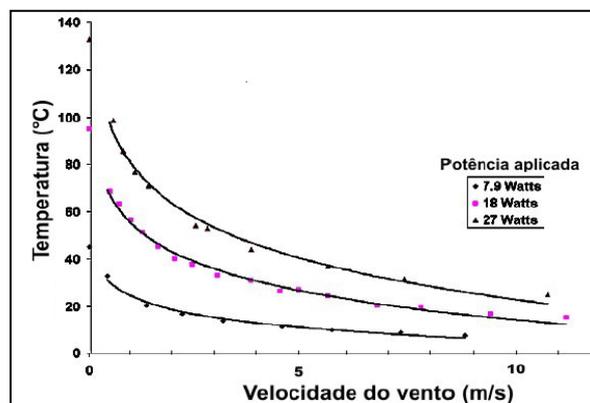


Figura 5 – Influência da carga e vento na temperatura medida.

(SANTOS, 2006) (MADDING, 2000).

As Tabelas 1 e 2 servem como referência para fator de correção em função da velocidade do vento. Fatores de correção são calculados empiricamente em estudos e técnicos e disponibilizado por fabricantes de câmeras termovisoras.

Tabela 1 – Fator de Correção em Função da velocidade do vento.

Velocidade do Vento		FATOR DE CORREÇÃO (KAPLAN, 2007)(FLIR, 2016)
m/s	km/h	
< 1	< 3,6	1,00
2	7,2	1,36
3	10,8	1,64
4	14,4	1,86
5	18,0	2,06
6	21,6	2,23
7	25,2	2,40
8	28,8	2,50

Tabela 2 – Estimativa da Velocidade do Ar (MORAN, 2005).

Velocidade do ar m/s	Descrição	Efeito Apreciável
< 1	Calmo	Fumaça/Vapor indica velocidade do ar ou sobe verticalmente
2 – 3	Brisa Leve	O vento é sentido no rosto, movem-se as bandeiras, movimentam-se as folhas
3 – 5	Vento Fresco	Folhas e ramos em movimentos constantes; Estendem-se as bandeiras
5 – 8	Moderado	Arrasta a terra e ramos; Trepidam as bandeiras.
> 8	Regular	Arbustos e folhas se inclinam. Vapor e fumaças totalmente arrastados.

2.4 Identificação de Anomalias e Critérios de Severidade

Máxima Temperatura Admissível (MTA)

A MTA refere-se ao valor absoluto da temperatura máxima corrigida aceitável para o componente. É informada pelo fabricante, colhidas durante sua vida útil ou de normas técnicas referenciais aplicáveis (ABNT, 2006). Recomenda-se que cada usuário determine seus critérios de aceitação com base em procedimentos internos, histórico de falhas e criticidade dos equipamentos.

Grau de Intervenção

A avaliação da severidade da anomalia térmica deve ser realizada seguindo os critérios próprios do usuário final, requisitos normativos ou recomendações do fabricante (ABNT, 2013). A anomalia pode ser referenciada em relação a:

- a. um valor estabelecido pelo fabricante nas condições nominais (MTA);
- b. um elemento similar adjacente (ΔT);
- c. um valor estabelecido pelo usuário com base no histórico operacional;

A maioria das normas e orientações internacionais baseia seus critérios de avaliação da severidade das anomalias térmicas no aumento de temperatura acima de uma temperatura de referência (componente similar e sob mesma carga, ΔT_{ref}) ou acima da temperatura ambiente (ΔT_{amb}) (SANTOS, 2006). Ver Tabela 3.

Tabela 3 – Comparativo de critérios de severidade de algumas Normas Internacionais (SANTOS, 2006) (EPRI, 2001).

Severidade	Ref. °C	NETA	US NAVY	NMAC	Nuclear	CES	MIL-STD 2194-SH
Baixa	ΔT_{ref}	1 – 3	10 – 24	0,5 – 8	5 – 15	14 – 20	
	ΔT_{amb}	1 – 10					10 – 24
Média	ΔT_{ref}	4 – 15	25 – 39	9 – 28		21 – 60	
	ΔT_{amb}	11 – 20					25 – 39
Alta	ΔT_{ref}	NA	40 – 69	29 – 56	36 – 75		
	ΔT_{amb}	21 – 40					40 – 69
Crítica	ΔT_{ref}	> 15	> 70	> 56	> 75	> 61	
	ΔT_{amb}	> 40					> 70

A ação a ser tomada e o prazo para executá-la são definidos como escrito a seguir conforme sugerida pela NETA MTS-1997.:

Baixa: Possível indicativo de falha

Média: Provável indicativo de falha;

Alta: Monitorar enquanto não se inicie a correção;

Crítica: Reparo imediato;

2.5 Recomendações e Técnicas

A seguir, seguem recomendações e técnicas para realização de inspeções termográficas:

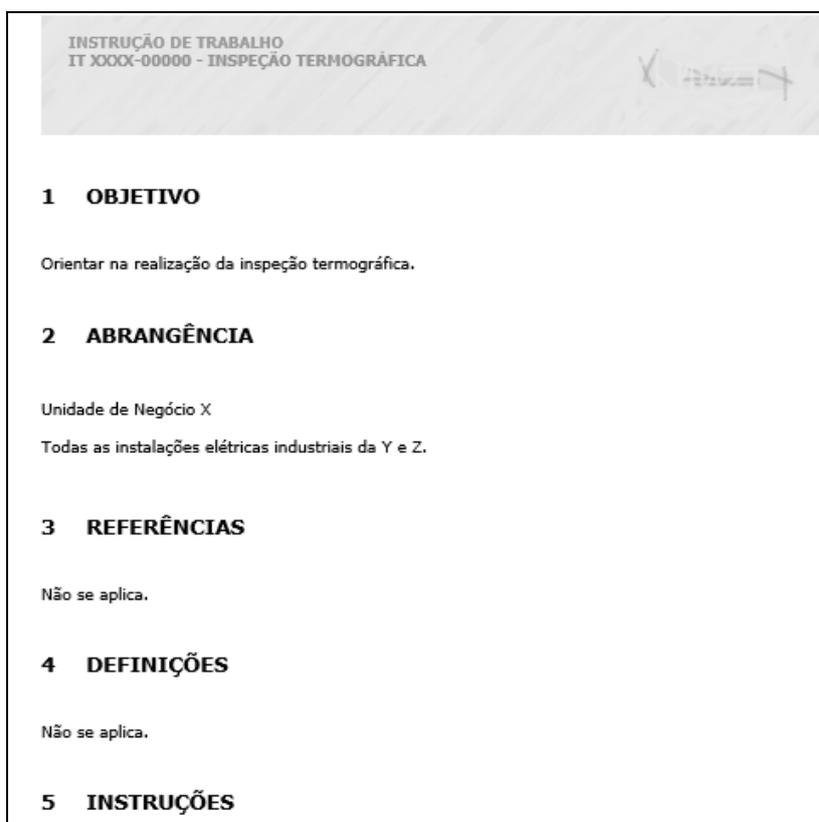
- a. Utilizar na medição amperímetros para verificar as diferenças de corrente, registrar a velocidade do vento, temperatura ambiente e atmosférica e umidade relativa do ar; realizar a correção do valor de temperatura medido. Evitar inspeções com umidade relativa do ar acima de 90% (EPRI, 2001) (PETROBRAS, 2013).
- b. Superfícies Metálicas: Utilizar Coberturas para aumentar a emissividade. A tinta branca (acrílica ou de óxido de zinco) aplicada em equipamentos localizados em subestações desabrigadas reduz influência da radiação solar; a tinta preta óptica ou fita adesiva de alta qualidade também são adequadas (PETROBRAS, 2013).
- c. Durante a especificação das janelas atentar para os valores de comprimento de ondas recomendados, máxima temperatura de projeto e sua resistência contra umidade e arcos elétricos (ABNT, 2013) (PETROBRAS, 2013).
- d. Garantir na medição equipamento com corrente acima 0,5In e no mínimo com 1 hora de operação ou até que atinja o equilíbrio térmico. (OLIVEIRA, 2012).
- e. Preferencialmente o ângulo entre o termovisor e o ponto inspecionado deve ser o mais perpendicular possível de modo a evitar a redução na emissividade em função de ângulos de observação (ABNT, 2013) (OLIVEIRA, 2012).
- f. Utilizar método refletor para determinar emissividade se não conhecida (ABENDI, 2015).
- g. A equipe deve ser formada por profissionais com treinamentos específicos e reconhecimento formal por um organismo de certificações.
- h. Tratar como NC (não-conformidade) as anomalias críticas, implementando medidas táticas no sentido de conter ou minimizar a probabilidade de novas incidências similares (FILHO, 2016).
- i. Nos casos de dúvida quanto à classificação das anomalias identificadas, recomenda-se acordar com o usuário final o melhor momento para uma

reinspeção, considerando melhores condições de carga e ambientais (ABNT, 2013) (OLIVEIRA, 2012).

3 AVALIAÇÃO DO PROCEDIMENTO

A partir de agora será analisado uma instrução de trabalho de inspeção termográfica utilizada em uma empresa do Pólo Petroquímico de Camaçari-BA. As inspeções são realizadas trimestralmente.

Na instrução abaixo – Figura 7 – o primeiro quesito observado é que em seus primeiros tópicos não apresentam referências bibliográficas, definições ou conceitos sobre inspeção termográfica. A periodicidade das medições também não é evidenciada. Definições teóricas básicas e utilização de padrões normativos enriquecem o conteúdo do procedimento ao mesmo tempo que assegura ao executante confiança e assertividade nas inspeções preditivas.



INSTRUÇÃO DE TRABALHO
IT XXXX-00000 - INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA

1 OBJETIVO

Orientar na realização da inspeção termográfica.

2 ABRANGÊNCIA

Unidade de Negócio X
Todas as instalações elétricas industriais da Y e Z.

3 REFERÊNCIAS

Não se aplica.

4 DEFINIÇÕES

Não se aplica.

5 INSTRUÇÕES

Figura 7 – Página 1 da Instrução de Trabalho Analisada.

Pela Figura 8 verifica-se que não há critérios ou recomendações para orientar o inspetor durante as medições. Os fatores de influencias devem estar contidos na instrução de trabalho como itens em destaque. Recomenda-se que a IT contenha:

- distância limite de medição;
- ângulo limite de medição;
- determinação da emissividade;
- correção da temperatura refletida;
- critérios para avaliação referencial;
- cálculo da correção temperatura pela carga;
- ajuste da transmitância (atmosférica e janelas de inspeção);
- fatores de correção para influências climáticas

IT XXXX-00000 - INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA			
Descrição das Atividades			
O QUE FAZER?	COMO FAZER?	PORQUE FAZER?	RISCOS / CUIDADOS OBSERVAÇÕES
- Preparar AST e solicitar assinatura do supervisor. - Emitir PT - Permissão de trabalho junto ao operador dono da área.	- Analisar os riscos identificados na AST com o operador dono da área. - Solicitar Permissão de trabalho ao operador de elétrica. Obs.: Instalar barreiras que impeçam contato com as partes energizadas caso o acesso para a execução dos serviços coloque o executante dentro de Zona de risco, conforme definido pela NR-10.	- Para eliminar ou controlar os riscos e evitar acidentes com choque elétrico. - Atender exigências de SSMA e da NR-10.	- Instalar proteção coletiva isolando o equipamento a ser ensaiado. - Consultar tabela de aproximação da NR-10, em anexo. - Usar Vestimenta contra arco elétrico.
- Preparar o equipamento (termovisor) para a realização das medições.	- Verificar se os valores de emissividade estão de acordo com a tabela em anexo.	- Para garantir precisão nas leituras.	- Testar o equipamento em laboratório. Obs.: Antes de iniciar os testes, verificar se o equipamento está funcionando adequadamente.
- Verificar a temperatura média do ambiente onde o equipamento se encontra instalado o equipamento sob ensaio. (Tref).	- Medir a temperatura de um ponto próximo, ao local a ser inspecionado, que esteja no mesmo ambiente, e que não esteja submetido à corrente do circuito elétrico. Obs.: Caso o objeto a ser medido estiver sob influência da temperatura de um outro equipamento (ex. bucha de transformador) o valor de referência será a temperatura do óleo.	- Obter um valor de temperatura de referência para o cálculo de delta T.	- Instalar barreiras que impeçam contato acidental com partes energizadas Obs.: Consultar tabela da NR-10 referente a raios de delimitação de zonas de risco, controlada e livre.
- Medir a temperatura no ponto a ser inspecionado (T medida).	- Focalizar o equipamento e medir a temperatura no local a ser inspecionado. Obs.: Preferencialmente posicionar-se fora de Zona de risco, durante a medição.	- Para comparar as temperaturas atuais com as nominais fornecidas pelo fabricante.	- Instalar barreiras para se evitar contato acidental com partes energizadas, caso a medição ocorra dentro da zona de risco.

Figura 8 – Página 2 da Instrução de Trabalho Analisada.

A IT toma t_{ref} como sendo a temperatura medida em um ponto qualquer próximo ao componente, mas que não esteja sendo influenciado pela corrente do circuito. Esta recomendação pode ser o primeiro erro da medição, pois a lateral

interna de um painel pode, por irradiação, sofrer aquecimento de uma outra fonte de calor. Neste caso, como uma boa prática, considerar t_{amb} como referência.

A Figura 9 recomenda que o inspetor meça a temperatura do componente e utilize a fórmula $\Delta t = t_{med} - t_{ref}$, para calcular a variação de temperatura, ou seja, realizar uma avaliação referencial. A comparação com os valores nominais fornecidas pelo fabricante não estão como anexo desta IT e durante os ensaios os termografistas não portavam uma planilha com os MTA's recomendados.

INSTRUÇÃO DE TRABALHO IT XXXX-00000 - INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA			
- Calcular o delta de temperatura para verificar se o valor é aceitável ou não.	- $\Delta t =$ Temperatura medida – Temperatura de referência Obs.: O valor obtido de Δt deve ser comparado com as tabelas I e II em anexo, para cada tipo de equipamento e classe de tensão.	- Para verificar se existe anormalidade no equipamento (ex.: conexão folgada, umidade, falha na isolamento, sobrecarga, etc.)	
- Verificar se excedeu a temperatura máxima admissível para o componente.	- Comparar o valor de temperatura medida com a tabela anexa.	- Para verificar se o equipamento está trabalhando fora da faixa de temperatura para o qual foi projetado	- Escolher o equipamento errado para fazer a comparação.
- Registrar o valor medido na folha de acompanhamento de termografia.	- Verificar se existe aumento de temperatura ao longo do tempo ou algum ponto de oxidação visual.	- Obter um acompanhamento preditivo adequado do equipamento.	
- Dar baixa na PT	- Remover barreiras isolantes; - Fechar os painéis; - Efetuar limpeza da área; - Junto com o operador da elétrica, dar baixa na PT.	- Restabelecer as condições de segurança anteriores ao teste.	- Durante o processo de fechamento dos painéis, manter o uso da vestimenta contra arco elétrico.

Figura 9 – Página 3 da Instrução de Trabalho Analisada.

A IT não solicita a realização de medição das correntes para cálculo do fator de correção da temperatura lida. Também não há evidências de solicitação do fator de correção do vento e ajuste das transmitâncias. A Tabela I da Figura 10 informa os MTA's dos equipamentos é bastante genérica. Não detalha os tipos de cabos e indica um mesmo MTA para os internos do painel, barramentos e conexões.

Bornes, fusíveis, disjuntores de baixa tensão e barramentos equivalem a 80% do total de componentes analisados nas inspeções e nenhum desses itens tem sua MTA indicada na Tabela I da IT. A Tabela II da IT é o único item que pela análise

deste artigo não sofreria modificações. Os critérios de severidade e ações a serem tomadas estão em consonância com os critérios aplicados nas Normas Internacionais conforme mostrado na Tabela 3.

Condições a serem observadas:

1-Na ocorrência da mesma faixa de temperatura nas 3 (três) fases, usar a tabela I abaixo:

Tabela I

EQUIPAMENTO	DELTA (°C)	TEMP MAX (°C)
Painéis 480v	80	90
Cabos	-	70
Terminações	-	80
Pára-raios ZNO	3	-
Disjuntores de 13,8 kV a ar na região dos contatos	65	105
Disjuntores de 13,8 kV a óleo na região dos contatos	65	105
Disjuntores de 13,8 kV a ar região das conexões	50	90
Disjuntores de 13,8 kV a óleo na região das conexões	60	100
Disjuntores de 13,8 kV a SF6 na região das conexões	75	115

2- Quando 1 ou 2 fases estão com faixas de temperaturas diferentes, usar a tabela II.

Tabela II

6 Elevação de temperatura (α)	7 Ação
Até 10 °C	Não há necessidade de manutenção.
10 a 35 °C	Intervenção no máximo em 30 dias.
>35 °C	Intervenção imediata.

Figura 10 – Página 4 da Instrução de Trabalho Analisada.

4 ESTUDO DE CASO

Os termogramas a seguir mostram uma anomalia detectada nas conexões elétrica em uma caixa de ligação de motor de 4,16kV com potência nominal de 3000kW. As medições termográficas foram realizadas por uma empresa parceira contratada, a câmera é uma FLIR T-400 e a preditiva tem acompanhamento de um eletricitista da empresa contratante.

A medição foi realizada através de uma janela de inspeção termográfica localizada na tampa da caixa de ligação do motor, em dia seco e ensolarado. Como

são conexões internas não há influência do vento. A temperatura ambiente foi ajustada sem algum instrumento auxiliar. O ajuste é feito pelo inspetor e em alguns casos padronizado em 30°C. O valor de emissividade ajustado é $\epsilon = 0,85$, conforme instrução da contratada. O ajuste de transmitância da janela também não foi ajustado ou corrigido. O valor das correntes das fases para correção da temperatura para I_{nom} não foi verificado durante as inspeções.

4.1 Identificação da Anomalia

Na avaliação qualitativa da Figura 11 as temperaturas das conexões das Fases ABC possuem valores de temperatura diferentes. Além de todos os desvios relacionados anteriormente e ainda com o ângulo de medição para as fases A e C é maior que 60° as temperaturas encontradas nas Fases A e C conforme as Tabelas I e II da IT são consideradas anomalias críticas.

Anomalia e Monitoramento

DATAS	FASE A	FASE B	FASE C
19/06/2015			
29/06/2015			
30/06/2015			

Figura 11 – Termogramas das conexões do motor.

Mesmo com todos os desvios de medição os valores elevados de temperatura medidos foram reais e já anunciavam uma atuação corretiva. A capacitação do

eletricista responsável por acompanhar as leituras deve ser reavaliada, pois ele pode ser o profissional capaz de minimizar possíveis erros de medição, podendo inclusive encontrar antecipadamente anomalias antes que se tornem críticas.

4.2 Correção da Anomalia

No dia 01 de julho de 2015 foi realizada a intervenção corretiva na anomalia detectada. Houve a parada programada da planta com perda mínima de produção de 4 horas, tempo gasto pelos eletricitistas para efetuarem o serviço.

A Figura 12 mostra o termograma das conexões após intervenção e definiu-se que 55°C será a **base line** para as próximas preditivas. Percebe-se pelos termogramas existências de áreas com colorações uniformes.

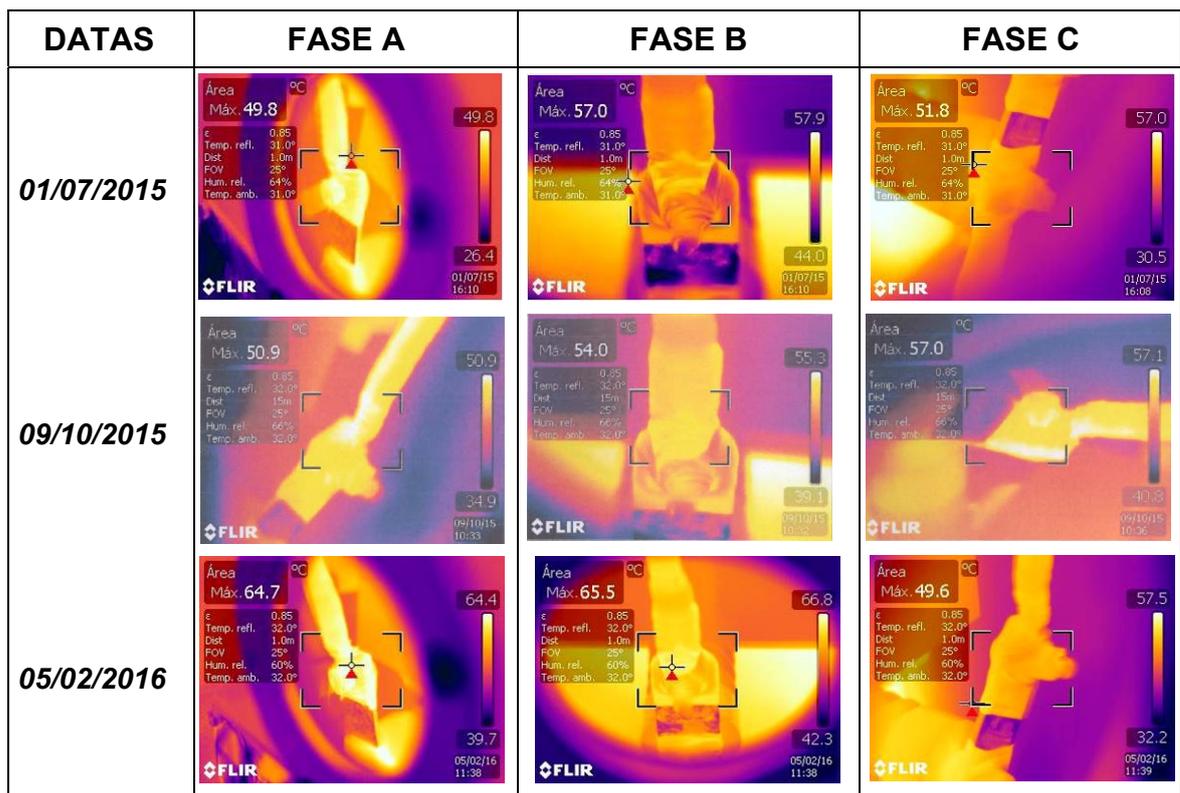


Figura 12 – Termograma após intervenção em julho de 2015.

Figura 13 identifica a superfície metálica foi envolta com fita isolante, prática recomendada para reduzir o erro da baixa emissividade encontrada em conexões de superfície metálica polida.



Figura 13 – Imagem interna da caixa de ligação do motor.

4.3 Custos evitados

Segue custos evitados com correção da anomalia antes da ocorrência da falha:

<i>Manutenção Motor (serviços e rebobinagem)</i>	R\$ 125.000,00	<i>TOTAL</i>
<i>Perda de Produção (15 dias sem produzir)</i>	R\$ 432.000,00	<i>R\$ 557.000,00</i>

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente artigo foram apresentadas as principais influências negativas em inspeções termográficas e proposto boas práticas a serem consideradas em revisões futuras do procedimento avaliado. Uma tabela completa com os valores máximos de temperatura admissível (MTA) é um item indispensável que deve compor um procedimento.

Percebeu-se que a qualificação da equipe técnica e melhoria no procedimento pode minimizar riscos envolvidos na validação das medições e tomadas de ações assertivas. O estudo de caso apresentado comprova a eficácia da realização de inspeção termográfica. Uma avaliação tardia pode acarretar em elevadas perdas industriais e redução da integridade dos equipamentos, por isso é recomendável uma auditoria da qualificação da empresa contratada e treinamento da equipe interna para que se tenha assertividade nas medições das inspeções preditivas.

Uma instrução de trabalho define uma metodologia de trabalho, orienta e recomenda melhores práticas na execução do serviço e estabelece critérios nas tomadas de decisão.

ANALYSIS OF OPERATING PROCEDURES FOR THERMOGRAPHIC INSPECTION AND DEFINITION OF BASELINES FOR CONNECTIONS IN MEDIUM VOLTAGE MOTORS

Vinicius Sena do Nascimento

Ubatan Almeida Miranda

ABSTRACT

Infrared thermography is one of the main techniques used in predictive maintenance and, if properly used, it is a great tool for performing inspections in industrial equipment by detecting defects in its early stages and avoiding unscheduled shutdowns. This paper presents a case of a predictive maintenance, thermography, which from a critical analysis, quantitative and qualitative, enabled assertively an scheduled shutdown of an industrial plant in Camaçari Petrochemical Complex-BA for corrective intervention of an anomaly detected in the electrical connections at the induction motor terminal box power supplied at 4,16kV with 3MW electrical power. This article will also make a comparative analysis between the current procedure used in this plant and the procedures of thermography specialized companies, besides petrochemical and oil and gas industry companies, also involving applicable current standards to thermographic inspections. During the evaluation of the work instruction and execution of thermographic inspection service, the "baseline " temperature has been identified for engine monitoring and will be used for evaluation of similar products in the same industrial plant.

Keywords: Thermography, Predictive, Temperature, Emissivity

REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15572:2013 – Ensaio não destrutivo – Termografia por infravermelha – Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânico;

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15424:2006 – Ensaio não destrutivo – Termografia – Terminologia;

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15866:2010 – Ensaio não destrutivo – Termografia – Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos;

EPRI. Electrify the World. **Guideline for Developing and Managing an Infrared Thermography (IRT) Program**. Final Report, September 2001.

ABENDI – PR-140- . **MEDIÇÃO E COMPENSAÇÃO DA EMISSIVIDADE UTILIZANDO CÂMERAS TERMOGRÁFICAS**. Janeiro de 2015.

FLIR SYSTEM. **Manual do Utilizador (T559591)**; Novembro 2010. Disponível Em: <<http://www.engeletrica.com.br/TermografialT.html>> Acesso em: 10 fev. 2016.

FLUKE. **Introdução Aos Princípios Da Termografia**. Ed. ATP, 2009.

ROBISON, M. **See What You've Been Missing: How IR Windows Can Help Prevent Arc Flash and Assist with NFPA 70E Compliance**. Burlington, janeiro/2008 Disponível em: < <http://www.irinfo.org/08-01-2008-robinson/> >. Acesso em: 15 jan. 2016.

MORAN. A.V. **Manutenção Elétrica Industrial**. 2ª Edição.s de um documento. Salvador, 2005.

PETROBRAS, N-2472 – **Ensaio Não Destrutivo - Termografia**; Contec -Comissão de Normalização Técnica, 2013.

FILHO, OSÓRIO R.C.. **Aplicações termográficas na Manutenção. Onde normalmente erramos!**. Disponível Em: <<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/jmario/manutencao-mecanica/artigos/Artigo%20termografia.pdf/view>> Acesso em: 10 fev. 2016.

SANTOS, Laerte dos. **Termografia infravermelha em subestações de alta tensão desabrigadas**. Itajubá, 2006. Disponível em: <<http://saturno.unifei.edu.br/bim/0032852.pdf>>. Acesso em: 14 fevereiro 2016.

SOUZA, G. R.; NOBRE, I.C.; POSSI, M. **Ensaio termográficos**. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/ed-102_Fasciculo_Cap-VII-Inspecao-de-instalacoes-eletricas.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2016.

TEIXEIRA, G.G.D.; **Confiabilidade Metrológica Em Termografia Aplicada Em Sistemas Elétricos.** [S.l.] Universidade Federal de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2012.

OLIVEIRA, T.M.D.; **Análise de Sistemas de Energia e Máquinas Elétricas com recurso a termografia.** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal, 2012.

MADDING, R; LYON, JR. BERNARD; **“Wind Effects on Electrical Hot Spots – Some Experimental IR Data”**; Infrared Training Center 2000.

KAPLAN, H., **“Practical Applications of Infrared Thermal Sensing and Imaging Equipment”**; 3ª Edition SPIE Press Vol TT75, 2007.