



SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GMI - 21
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO XII
GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO EM INSTALAÇÕES
ELÉTRICAS - GMI**

**AS DIFERENTES VISÕES SOBRE A APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA NO SISTEMA ELÉTRICO DE
FURNAS E AS AÇÕES ADOTADAS PARA BUSCAR A CONVERGÊNCIA ENTRE ELAS, COM A MÁXIMA
OPERACIONALIDADE, PRODUTIVIDADE E CONFIABILIDADE DO SISTEMA.**

Laerte dos Santos* Luiz Carlos Barbosa Reyley Arimateia Araújo Roberto Teixeira Sinescalchi

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.

RESUMO

A termografia infravermelha é uma excepcional ferramenta de manutenção preditiva, que permite localizar possíveis falhas nos sistemas elétricos, evitando inúmeras paradas não programadas e perdas de produção e/ou fornecimento. A termografia pode detectar falhas que não são perceptíveis ao olho humano. É um método simples, não destrutivo e permite a inspeção sem contato. Se adequadamente conduzida, a inspeção termográfica poderá ser segura, rápida e altamente confiável.

Atualmente o Sistema FURNAS possui um programa de manutenção baseado na termografia infravermelha e os resultados obtidos têm sido animadores. Este programa está voltado principalmente à prevenção de falhas em subestações, linhas de transmissão e equipamentos de usinas.

Este trabalho se propõe a apresentar uma introdução à teoria da termografia infravermelha, seu desenvolvimento tecnológico, as vantagens e limitações de sua aplicação no setor elétrico, e como FURNAS, ao longo de três décadas tem utilizado esta tecnologia. Sobretudo, se propõe a apresentar as diferentes **visões** sobre a aplicação da termografia no sistema elétrico de FURNAS, as **ações** que FURNAS vem adotando para conciliá-las e os **resultados** obtidos.

Palavras Chave: Termografia, Manutenção preditiva, Sistema elétrico

1.0 - INTRODUÇÃO

A manutenção preditiva é a técnica que se fundamenta na monitoração periódica de certos parâmetros de equipamentos em operação, através dos quais identifica defeitos em seus estágios iniciais e procura corrigi-los antes que se transformem em falhas potenciais. Esta abordagem possibilita que paradas para a manutenção corretiva sejam executadas quando realmente necessárias [23].

Em sistemas elétricos as falhas geralmente são precedidas de uma anormalidade térmica do componente elétrico [2], fato que faz da medição de temperatura um dos principais parâmetros de análise e diagnóstico na manutenção preditiva.

A medição de temperatura pode ser realizada por dois métodos:

- Medição por contato, na qual termômetros de contato e termopares são utilizados.
- Medição sem contato, na qual termômetros de infravermelho, pirômetros ópticos e câmeras térmicas (termovisores) podem ser empregados.

A escolha, de um ou de outro método, vai depender basicamente da aplicação.

Em sistemas elétricos, fatores como segurança, distância do objeto a ser medido, agilidade na obtenção da medida e o caráter não destrutivo do método, fazem da medição sem contato uma opção bastante atraente e, em certos casos, a única opção. Dentre as alternativas de medição sem contato, a termografia possui a grande

*Rua Carmo do Rio Claro, 80 - Bairro Furnas – CEP 37943-000 - São José da Barra - MG - BRASIL
Tel.: (035) 3523-4486 - Fax: (035) 3523 -4409 - e-mail: laertesa@furnas.com.br

vantagem de ser um método visual e capaz de examinar grandes superfícies em pouco tempo (alto rendimento), ideal para locais com grande quantidade de equipamentos a ser inspecionada como é o caso de subestações e linhas de transmissão.

2.0 - A TERMOGRAFIA E SEU DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

A tecnologia aplicada à termografia teve seu início com a descoberta da radiação infravermelha em 1800 por William Herschel. Quarenta anos mais tarde, John Herschel produziu a primeira imagem térmica e a registrou em papel, no qual deu o nome de termograma [6,22]. Em 1880, Langley apresentou o primeiro bolômetro e Case, em 1917, desenvolveu o primeiro fotodetector, marcos na evolução dessa tecnologia [18,19,20,21]. Mas o grande desenvolvimento da termografia foi resultado do interesse militar que já na I guerra mundial desenvolvia sistemas infravermelhos [21] e durante a II Guerra Mundial obteve grandes avanços no desenvolvimento da visão noturna, mísseis guiados pelo calor e do primeiro “scanner” de linha [6,18,20,21]. Até 1954 uma câmera térmica levava 45 minutos para criar uma imagem [6] e só em meados da década de 60 é que foi lançada a primeira câmera de tempo real, ocasião em que se iniciou a comercialização de câmeras térmicas [19,20,21,23].

Na década de 70 chegou ao Brasil o primeiro termovisor, sendo FURNAS uma das empresas pioneiras na sua aplicação. Nessa época, as câmeras térmicas empregavam detectores resfriados a nitrogênio líquido, sistemas de varredura óptico/mecânico para formar as imagens térmicas e a temperatura do objeto inspecionado era obtida através de gráficos.

Rápidos avanços na tecnologia foram observados de 1970 até os nossos dias, como pode ser visto na Figura 1. Detectores de resfriamento criogênico evoluíram para resfriados eletricamente e em seguida para detectores sem resfriamento. Os sistemas de varredura óptico/mecânicos foram substituídos pela tecnologia de FPA (Focal Plane Array), o peso que nos anos 70 chegava próximo dos 40 kg diminuiu para menos de 1 kg, as leituras de temperatura passaram a ser mostradas diretamente no monitor da câmera e a sensibilidade térmica aumentou consideravelmente. Atualmente as câmeras térmicas são portáteis, podem ser conectadas ao computador e possuem “softwares” para análise das imagens, facilitando ainda mais a aplicação da termografia em sistemas elétricos.



FIGURA 1 – Evolução das câmeras térmicas da década de 70 até os nossos dias.

- a- Detector resfriado a nitrogênio líquido, sistema de varredura óptico/mecânico, peso total de 37 kg.
- b- Detector resfriado eletricamente, sistema de varredura óptico/mecânico, peso de 6,1 kg.
- c- Detector não resfriado, FPA (Focal Plane Array), peso de 2,7 kg.
- d- Detector não resfriado, FPA (Focal Plane Array), peso de 0,7 kg.

3.0 - BREVE TEORIA DA TERMOGRAFIA

Todos os objetos acima do zero absoluto (0 K ou -273,16° C) emitem radiação térmica devido à agitação térmica de átomos e moléculas dos quais são constituídos. Quanto maior essa agitação, mais quente se encontra o objeto e mais radiação ele emite [5].

A radiação térmica pode ser emitida nas faixas de ultravioleta, visível, infravermelho e até na faixa de microondas do espectro eletromagnético. Entretanto para temperaturas típicas encontradas na Terra, a maior parte da radiação é emitida dentro da faixa de infravermelho [5]. Assim sendo, as câmeras térmicas (termovisores) são fabricadas com detectores que respondem a essa faixa do espectro.

A termografia detecta a radiação infravermelha emitida pelo objeto inspecionado, que é invisível ao olho humano, e a transforma em imagens térmicas visíveis que são chamadas de termogramas. Além disso, existe a possibilidade de medição de temperatura [3]. A Figura 2 apresenta um filtro de onda (a) e seu termograma (b).

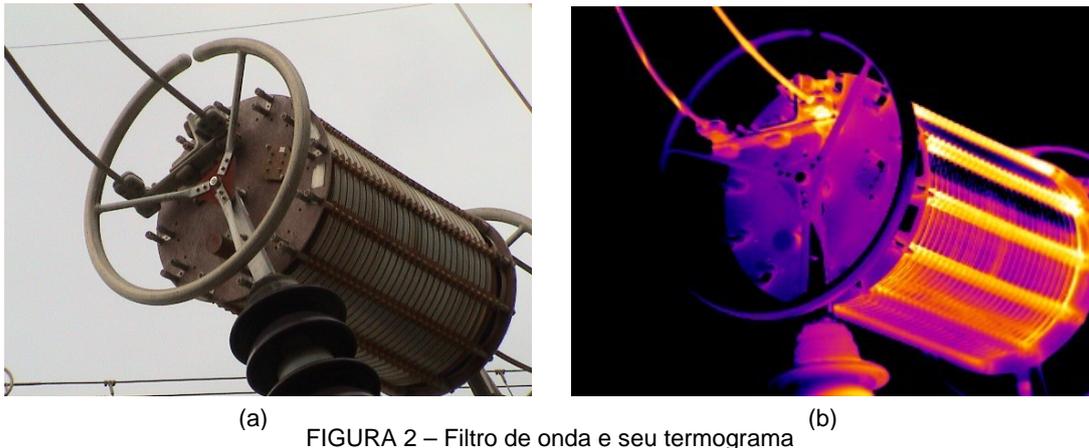


FIGURA 2 – Filtro de onda e seu termograma

É importante ressaltar que câmeras térmicas não medem temperatura diretamente, elas detectam a radiação térmica emitida pelo objeto inspecionado através de um detector, que gera um sinal de saída. O valor da intensidade desse sinal de saída, somado a alguns parâmetros fornecidos pelo operador da câmera, como emissividade, distância objeto à câmera e outros parâmetros relativos ao ambiente, são utilizados para o cálculo da temperatura. Sendo assim, a exatidão da medida de temperatura depende da calibração da câmera térmica e da exatidão dos parâmetros informados pelo operador, o que já evidencia a necessidade de um mínimo de conhecimento para a inserção de tais parâmetros [4,7,8]. Portanto, a utilização da termografia na manutenção preditiva de sistemas elétricos pode ser muito vantajosa, mas limitações referentes à tecnologia e o ambiente onde ela está sendo aplicada devem ser observadas, sob o risco de se tornar uma grande frustração.

4.0 - LIMITAÇÕES DA TERMOGRAFIA

4.1 Inspetor

Talvez o principal fator de limitação da inspeção termográfica seja o próprio inspetor de termografia [9].

A interpretação dos resultados pode variar com o treinamento, motivação e até com a capacidade visual do inspetor [6].

O inspetor de termografia deve conhecer o funcionamento dos equipamentos sob inspeção, a operação e as características da câmera térmica utilizada. Deve ter ciência da forte influência da radiação solar, do vento e da chuva e como eles afetam drasticamente a distribuição térmica dos objetos em ambientes abertos. Deve conhecer a teoria básica que envolve a radiação infravermelha e os princípios de transferência de calor [6]. Resumindo, para obter resultados consistentes, o inspetor deve ser qualificado para a inspeção, ter um alto nível de treinamento e conhecimento para que possa ser capaz de discernir entre um defeito real e uma falsa anomalia, o que pode economizar milhares de Reais em paradas e manutenções desnecessárias.

4.2 Equipamento

Mesmo o inspetor mais qualificado não conseguirá obter bons resultados com uma câmera térmica inadequada, portanto características importantes devem ser observadas na sua escolha:

- Faixa de temperatura – Deve ser adequada para a aplicação. No caso de sistemas elétricos dificilmente existe a necessidade de ultrapassar os 500° C.
- Resposta espectral – As faixas de comprimento de onda mais utilizadas para a fabricação de câmeras térmicas aplicáveis ao sistema elétrico são de 2 a 5,6 μm e de 8 a 14 μm , faixas nas quais a transparência da atmosfera à radiação infravermelha é alta. Dentre essas duas, a mais recomendada é a de 8 a 14 μm , que possui uma menor interferência do reflexo solar e às influências da atmosfera em inspeções realizadas em ambientes abertos e a grandes distâncias. Além disso, para as temperaturas normalmente encontradas em sistemas elétricos, a radiação emitida é maior nessa faixa [10,11].
- Resolução espacial – Define o menor detalhe de imagem que pode ser percebido. É função do tamanho do detector e da óptica do sistema [12]. Em subestações e linhas de transmissão cujas distâncias da câmera ao objeto são relativamente grandes, esse parâmetro pode fazer a diferença entre localizar, ou não, um defeito.
- Resolução da medida – Define o menor objeto que pode ter sua temperatura medida com exatidão a uma determinada distância. Este parâmetro pode ter grande influência na análise da severidade do defeito.
- Peso do equipamento – um equipamento muito pesado influi no manuseio e conseqüentemente na qualidade de inspeção, além de aumentar a fadiga do inspetor e limitar a duração da inspeção.

A capacidade de armazenar imagens e voz é também importante na agilização da inspeção e no pós-processamento dos dados.

4.3 Condições ambientais

O ambiente em que é realizada a inspeção termográfica desempenha um importante papel nos resultados obtidos. A atmosfera emitindo, absorvendo e dispersando a radiação, a radiação emitida pelo sol, a radiação emitida por objetos próximos ao objeto sob análise, a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar influenciam nos resultados da inspeção, Figura 3.

O impacto das mudanças climáticas também podem ser significantes e difíceis de quantificar:

- Ventos com velocidade alta afetam consideravelmente a temperatura do objeto inspecionado, atuando como um resfriador convectivo e induzindo o inspetor a subestimar a severidade do defeito.
- A radiação solar pode mascarar pequenas diferenças térmicas indicativas de defeito, além de criar situações nas quais a sua reflexão em determinados componentes pode ser confundida por defeito.
- A chuva, como o vento, também resfria os componentes sob inspeção.

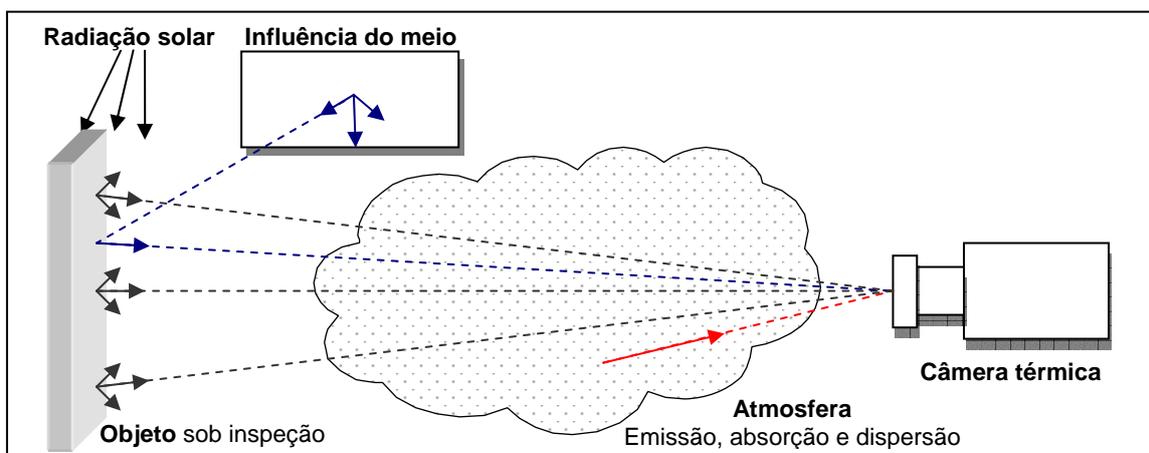


FIGURA 3 – Influências do ambiente

4.4 Emissividade

Emissividade é uma propriedade de superfície que determina a capacidade dessa superfície em emitir radiação. Os valores de emissividade vão de 0 (refletor perfeito) a 1 (emissor perfeito - corpo negro). A emissividade varia com a qualidade da superfície, o comprimento de onda, a forma do objeto, a temperatura e o ângulo de visão [15,16,17]. Como descrito anteriormente, câmeras térmicas não medem temperatura diretamente, elas detectam a radiação. Como a radiação emitida pelo objeto depende da emissividade de sua superfície, as leituras de temperatura são muito dependentes desta propriedade.

4.5 Carga

A corrente de carga é um importante fator na inspeção termográfica de sistemas elétricos. O calor gerado em uma conexão defeituosa depende do fluxo de corrente que passa através dela, sendo que a potência dissipada é diretamente proporcional ao quadrado da corrente ($P=I^2R$) e a temperatura apesar de aumentar com a corrente segue um padrão mais complexo, entre uma taxa linear e geométrica [12,13,14].

Em casos em que a corrente de carga está baixa, pode acontecer de certas falhas não serem percebidas ou de defeitos importantes serem subestimados.

5.0 - DIFERENTES VISÕES SOBRE A APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA NO SISTEMA ELÉTRICO DE FURNAS

1972 foi o ano de implantação da termografia em FURNAS e o foco principal era a manutenção preditiva de todas as subestações da empresa, que na época eram dez. Foi adquirido um termovisor e apenas uma equipe atendia toda a empresa com uma periodicidade anual. Apesar dos bons resultados dessa política, a empresa cresceu e em 1990, FURNAS possuía 38 subestações, com distâncias entre elas que podiam chegar a mais de 1000 km. Uma equipe já não era suficiente para atender todo o Sistema.

O crescimento da empresa, as exigências cada vez maiores de fornecimento de energia com qualidade e sem interrupção, somado aos avanços da tecnologia de infravermelho, fizeram com que FURNAS adotasse uma nova política de manutenção preditiva, comprando vários termovisores e criando várias equipes de inspeção para atuarem em suas próprias áreas [1].

Um novo programa de termografia começou a se formar dentro da empresa, não por imposição, mas por necessidades e observações dos vários envolvidos no processo como um todo. Desde os responsáveis pela elaboração inicial do programa, os responsáveis pela inspeção, os responsáveis pela operação e coordenação do Sistema, até os responsáveis pela manutenção dos equipamentos começaram a opinar e a discutir a aplicação da termografia em FURNAS, visões distintas que precisavam ser equalizadas e concentradas na máxima operacionalidade, produtividade e confiabilidade do Sistema.

Abaixo um breve relato das diferentes visões sobre a aplicação da termografia no sistema elétrico de FURNAS.

5.1 Visões

5.1.1 Planejamento do programa de termografia

Responsáveis pela elaboração de treinamentos, procedimentos de inspeção, critérios de avaliação e especificação dos termovisores utilizados em FURNAS. Conhecedores da tecnologia e de sua aplicação, mas com pouco conhecimento das normas do sistema elétrico e da realidade enfrentada nas diferentes áreas de FURNAS. No início do programa apresentavam uma visão baseada em teorias e normas, sem levar em consideração as dificuldades específicas de cada área, as dificuldades na realização da inspeção, as dificuldades na realização da manutenção e as dificuldades da Operação e Coordenação do Sistema em seguir as normas impostas pelo Operador Nacional do Sistema.

5.1.2 Coordenação e Planejamento do Sistema

Conhecedores das normas e responsabilidades do sistema elétrico, mas com pouco conhecimento de termografia e sua aplicação e questionadores das intervenções requeridas pelos responsáveis da execução das inspeções e análise dos resultados. Visão voltada para as normas do sistema elétrico, disponibilidade dos equipamentos para o Sistema Interligado Nacional e dos custos diferenciados de manutenções programadas e urgentes.

5.1.3 Inspeção e análise dos resultados

Responsáveis pela execução das inspeções e a base de todo o programa de termografia. Com conhecimentos básicos dos equipamentos sob inspeção e da teoria da termografia e sua aplicação. Conhecedores das dificuldades encontradas nas inspeções, das responsabilidades na análise do defeito e da aplicação dos critérios estabelecidos. Possuem uma visão crítica e prática dos procedimentos estabelecidos pelos responsáveis pelo planejamento do programa de termografia.

5.1.4 Manutenção dos equipamentos

Talvez o setor que mais sentiu o impacto da aplicação da termografia. Com ela foi possível a redução da manutenção preventiva e uma concentração de esforços somente em equipamentos indicados como defeituosos. Os responsáveis pela execução da manutenção possuem um profundo conhecimento dos equipamentos do sistema elétrico e dos recursos materiais e humanos envolvidos em uma intervenção. Por essa razão, têm uma visão questionadora sobre os limites de temperatura estabelecidos para equipamentos e conexões e sobre critérios que definem se as intervenções devem ter caráter de urgência ou de programada.

6.0 - AÇÕES ADOTADAS PARA EQUALIZAÇÃO DAS DIFERENTES VISÕES [1]

Diante das diferentes visões apresentadas e das limitações que a aplicação da termografia possui, FURNAS elaborou várias ações na tentativa de equalizar os conhecimentos e melhorar os procedimentos relativos à termografia, buscando a máxima operacionalidade, produtividade e confiabilidade do Sistema.

As principais ações tomadas são descritas a seguir.

6.1 Treinamentos

Inicialmente FURNAS elaborou um treinamento para ser ministrado a todos os envolvidos com a termografia. Toda uma infra-estrutura foi montada para as aulas teóricas. Para as aulas práticas eram utilizadas suas próprias subestações. Quando necessário, instrutores com todo material do treinamento se deslocavam para treinar os funcionários em seu próprio local de trabalho. Atualmente, FURNAS está procurando certificar todos os inspetores seguindo as orientações da norma SNT-TC-1A da American Society for Nondestructive Testing (ASNT).

6.2 Padronização do procedimento de inspeção

O próximo passo foi definir e elaborar um procedimento padronizado para que fosse aplicado em todas as subestações. O procedimento descreveria passo a passo o método de inspeção, os critérios de avaliação térmica e o modelo do relatório padrão. Esse procedimento, a princípio baseado em normas internas, normas

internacionais e artigos de especialistas sobre o assunto, foi sendo aprimorado ao longo dos anos para atender as necessidades específicas da empresa.

O procedimento padronizado tem demonstrado ser elemento importante na aquisição de dados sobre bases confiáveis e repetitivas, isso tem sido observado em exercícios práticos realizados nos treinamentos, nos quais os participantes são divididos em grupos e encorajados a seguir os passos descritos no procedimento, na maioria dos casos os resultados obtidos são muito próximos.

O procedimento padronizado também é um importante documento para se buscar a certificação ISO 9001:2000 para usinas e subestações.

6.3 Definição de uma estrutura hierárquica

FURNAS decidiu centralizar e coordenar as informações referentes às inspeções em uma estrutura hierarquizada. Além da figura de inspetor, já existente, instituiu as figuras de Órgão Centralizador de Dados, de Coordenador e de Representante da termografia conforme a Figura 4. A finalidade era organizar as atividades relacionadas com a termografia e distribuir responsabilidades.

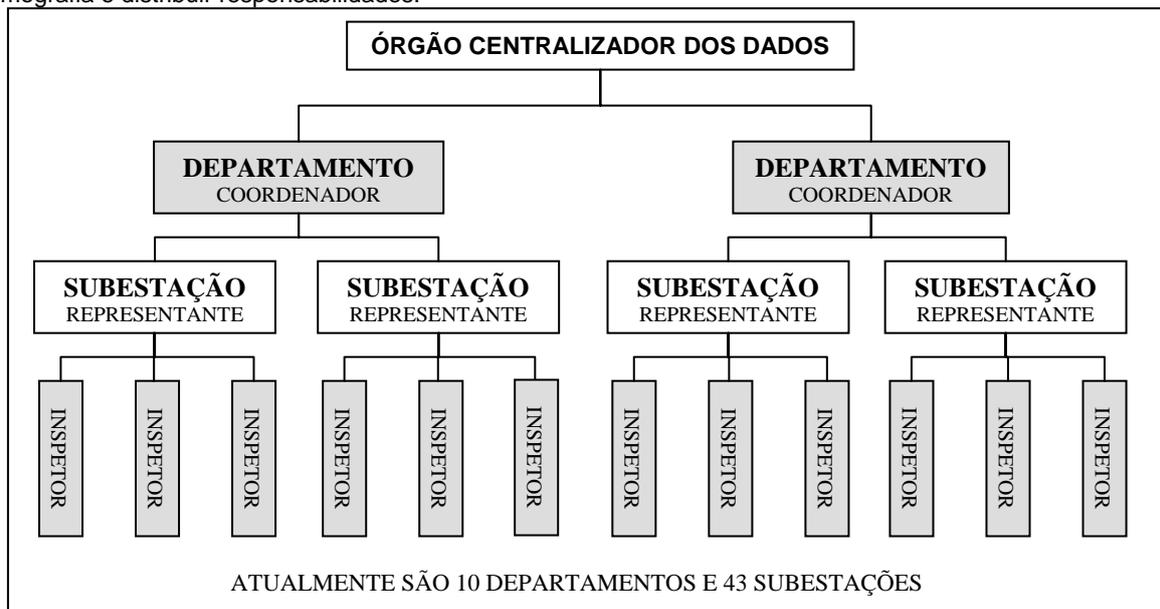


FIGURA 4 – Hierarquia das informações

6.3.1 Inspetor

Responsável por executar as inspeções termográficas, analisar as imagens obtidas, preencher o relatório e enviá-lo para o pessoal da manutenção e para o Representante da Termografia.

6.3.2 Representante da termografia

É um dos inspetores que além de executar as inspeções termográficas tem a responsabilidade de controlar, arquivar e enviar os dados coletados ao Órgão Centralizador dos Dados.

Também é de sua responsabilidade controlar e conservar os instrumentos utilizados na inspeção.

Deve informar ao Coordenador, dificuldades, dúvidas, sugestões e novas aplicações referentes às inspeções em sua subestação.

6.3.3 Coordenador da Termografia

Responsável pela coordenação de todas as inspeções realizadas nas subestações de seu departamento.

Funciona como uma ponte entre as subestações e o Órgão Centralizador dos Dados.

6.3.4 Órgão Centralizador dos Dados

Responsável por elaborar os procedimentos de inspeção, controlar e arquivar os dados coletados em todas as subestações, quantificar e analisar os dados coletados nas áreas e estudar meios de redução das falhas.

Deve promover reuniões periódicas com os Coordenadores e Representantes da termografia, com o objetivo de analisar, atualizar e implantar procedimentos.

Deve promover treinamento para todos os envolvidos com a termografia.

Deve coordenar a manutenção e a calibração periódica de todos os termovisores.

No caso de aquisição de novas câmeras térmicas, deve especificar a melhor opção do mercado e a que melhor atende à empresa.

6.4 Organização de encontros técnicos

Com o objetivo de unir cada vez mais os envolvidos com a termografia e tentar convergir todas as forças para alcançar a máxima confiabilidade do Sistema, um encontro técnico com uma periodicidade anual foi criado. Nestes encontros o procedimento de inspeção é analisado, discutido e, se necessário, atualizado através das decisões acordadas, adequando-se às novas tecnologias e às novas normas vigentes, buscando a excelência no método utilizado e nos resultados alcançados.

Neste encontro técnico são apresentadas palestras, demonstração das últimas tecnologias e um debate é realizado entre os participantes com troca de informações e busca de soluções para dificuldades comuns.

Os excelentes resultados destes encontros atraíram a atenção de outras empresas e, de evento interno a FURNAS, se transformou em um encontro de proporções nacionais. Especialistas de Universidades, Centros de Pesquisa, Órgãos Governamentais, Fabricantes e Representantes de equipamentos, Empresas do Setor Elétrico Nacional e até especialistas de países como Argentina, Estados Unidos e Inglaterra participaram do último encontro realizado em 2004.

6.5 Calibração periódica dos instrumentos utilizados na inspeção

FURNAS aplica em suas inspeções uma termografia quantitativa, isto é, os critérios de avaliação dos equipamentos inspecionados se baseiam em leituras de temperatura. Levando isto em consideração e buscando sempre os melhores resultados, foi estabelecido um programa de calibração anual, mantendo todos os termovisores utilizados em FURNAS rastreados a um padrão primário.

6.6 Atualização tecnológica, pesquisa e desenvolvimento

Para obter melhores resultados nas inspeções, medições cada vez mais confiáveis e acompanhar o crescimento da empresa que hoje conta com dez usinas hidrelétricas e duas termelétricas que totalizam uma potência de 9.290 MW, 43 subestações e mais de 18.000 km de linhas de transmissão, FURNAS continua investindo na atualização tecnológica e na pesquisa.

Recentemente adquiriu mais nove câmeras térmicas, totalizando 20 câmeras em funcionamento.

Está adquirindo mais corpos negros para seu laboratório de termometria para aprimorar as calibrações e análises de câmeras térmicas.

Neste ano de 2005, inicia um projeto de pesquisa e desenvolvimento em conjunto com Universidade Federal de Itajubá, no qual se pretende desenvolver uma metodologia própria para inspeções termográficas em ambientes abertos e, ainda neste ano, será desenvolvido um software para agilizar o fluxo de informações de todo o Sistema FURNAS.

6.7 Motivando as equipes

Todas essas ações listadas anteriormente serviram para incentivar os envolvidos com o programa de termografia, os quais, em contrapartida, se empenharam em aperfeiçoar o programa dia após dia.

7.0 - RESULTADOS

- Nivelamento do conhecimento da tecnologia e sua aplicação entre todos os envolvidos com a termografia (treinamentos e encontros técnicos).
- Padronização, em toda a empresa, do método de inspeção, critérios de avaliação e registros de inspeção (procedimento escrito).
- Interação dos envolvidos com a termografia das diversas áreas do Sistema FURNAS (encontros técnicos).
- Aprimoramento dos critérios de avaliação através de debates em encontros técnicos.
- Disseminação da tecnologia de infravermelho em toda a empresa, abrindo novos horizontes para sua aplicação.
- Através do Órgão Centralizador de Dados, dos Coordenadores e dos Representantes, obteve-se uma melhor organização das atividades relacionadas com a termografia a nível local e geral.
- Redução das intervenções de urgência com substituição por intervenções programadas.
- Convergência das diferentes visões sobre a aplicação da termografia (Planejamento da termografia, coordenação e Operação do Sistema, inspeção e manutenção) para a máxima operacionalidade, produtividade e confiabilidade do Sistema.

8.0 - CONCLUSÃO

A aplicação da termografia infravermelha no sistema elétrico pode ser extremamente efetiva, prevenindo falhas e perdas de produção. Mas para alcançar seus benefícios, as limitações da tecnologia, das normas existentes e das pessoas envolvidas devem ser conhecidas e respeitadas, sob risco de não se obter os resultados desejados. Além do mais, o processo em que está inserida a termografia infravermelha como ferramenta de manutenção preditiva é um processo muito dinâmico. A tecnologia dos equipamentos de inspeção e dos equipamentos sob inspeção está em constante desenvolvimento, normas são alteradas dependendo das necessidades internas e do Sistema

Interligado Nacional e, principalmente, as pessoas envolvidas têm diferentes níveis de conhecimento e experiência sobre o processo global, o que leva um programa de termografia a ter constantes aprimoramentos.

O programa de termografia aplicado atualmente em FURNAS passa por constantes aperfeiçoamentos e através da motivação dos envolvidos, encontros técnicos, procedimentos padronizados, treinamento contínuo, aquisição e utilização de equipamentos adequados, busca a convergência das diferentes visões sobre a aplicação da termografia (Planejamento da termografia, coordenação e Operação do Sistema, inspeção e manutenção) para que objetivos comuns sejam alcançados: máxima operacionalidade, máxima produtividade e máxima confiabilidade do Sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] dos Santos, Laerte; Bortoni, Edson C.; Barbosa, Luiz C.; Araújo, Reyler A.; Centralized vs. decentralized thermal IR inspection policy: Experience from a major Brazilian electric power company; Conference 5782 Thermosense XXVII Proceedings of SPIE, vol. 5782, 2005.
- [2] Newport, Ron; Electrical System Reliability utilizing Infrared Thermography; Newport Solutions 2002
- [3] Sefrim, R. J.; Infrared Thermography Advances Aid Proactive Maintenance; Jersey Infrared Consultants
- [4] Dewitt, D. P.; Nutter, G. D.; Theory and Practice of Radiation Thermometry; John Wiley & Sons, Inc 1988
- [5] Chrzanowski, K.; Thermal Radiation; www.inframet.pl
- [6] Holst, G. C.; Common Sense to Approach to Thermal Imaging; JCD Publishing and SPIE Optical Engineering Press, 2000.
- [7] Chrzanowski, K.; Non-contact thermometry – measurement errors, Research & Development Treatises, vol. 7, Polish Chapter of SPIE, Warsaw, 2001.
- [8] Lucier, R.; How to Guarantee Your Failure as an Infrared Thermographer; InfraMation 2002
- [9] Sefrim, R. J.; Defining the Elements for Successful Infrared Thermography; IR/INFO '95
- [10] Sefrim, R. J.; Selecting, Specifying, and Purchasing Infrared Imagers; www.infraspection.com
- [11] Epperly, R.A.; Heberlein, G. E.; Eads, L. G.; A Tool for Reliability and Safety: Predict and Prevent Equipment Failures with Thermography; IEEE 1997
- [12] Snell, John; Renowden, Joe; Improving results of thermographic inspections of electrical transmission and distribution lines; ThermoSense XXII 2000
- [13] Madding, R. P.; Leonard, K.; Orlove, G. L.; Important measurements that support IR surveys in substations; InfraMation 2002
- [14] Lyon Jr., B. R.; Orlove, G. L.; Peters, D. L.; The relationship between current load and temperature for quasi-steady state and transient conditions; InfraMation 2002
- [15] Madding, R. P., Emissivity measurement and temperature correction accuracy considerations; ITC 2002
- [16] Maldague, Xavier; Applications of Infrared Thermography in Nondestructive Evaluation; Université Laval
- [17] J. Frate, D. G.; R. Vilandré, R. D.; Evaluation of overhead line and joint performance with high-definition thermography; IEEE 2000
- [18] Tavares, S. G.; Andrade, R. M.; Metodologia de Ensaio e Análise de Incerteza na Aplicação da Termografia; Metrologia 2003
- [19] Maldague, Xavier; Infrared and Thermal Testing – Vol. 3; ASNT
- [20] Veratti, A. B.; Termografia – Princípios e Aplicações; AGA 1984
- [21] AGA Thermovision System 680/102B – Operating Manual, Publication 556.053, AGA 1969.
- [22] Thermacam P60 – Manual do operador – Publicação 1557775 Rev. A; Flir Systems 2003
- [23] Okrasa, Richard; Preventive Maintenance HANDBOOK, Second Edition, December 1997 Ontario Hydro