

# INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM SISTEMAS ELÉTRICOS

## Procedimento

Esta Norma substitui e cancela a sua revisão anterior.

Cabe à CONTEC - Subcomissão Autora, a orientação quanto à interpretação do texto desta Norma. O Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma é o responsável pela adoção e aplicação dos seus itens.

**Requisito Técnico:** Prescrição estabelecida como a mais adequada e que deve ser utilizada estritamente em conformidade com esta Norma. Uma eventual resolução de não segui-la ("não-conformidade" com esta Norma) deve ter fundamentos técnico-gerenciais e deve ser aprovada e registrada pelo Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma. É caracterizada pelos verbos: "dever", "ser", "exigir", "determinar" e outros verbos de caráter impositivo.

**Prática Recomendada:** Prescrição que pode ser utilizada nas condições previstas por esta Norma, mas que admite (e adverte sobre) a possibilidade de alternativa (não escrita nesta Norma) mais adequada à aplicação específica. A alternativa adotada deve ser aprovada e registrada pelo Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma. É caracterizada pelos verbos: "recomendar", "poder", "sugerir" e "aconselhar" (verbos de caráter não-impositivo). É indicada pela expressão: **[Prática Recomendada]**.

Cópias dos registros das "não-conformidades" com esta Norma, que possam contribuir para o seu aprimoramento, devem ser enviadas para a CONTEC - Subcomissão Autora.

As propostas para revisão desta Norma devem ser enviadas à CONTEC - Subcomissão Autora, indicando a sua identificação alfanumérica e revisão, o item a ser revisado, a proposta de redação e a justificativa técnico-econômica. As propostas são apreciadas durante os trabalhos para alteração desta Norma.

**"A presente Norma é titularidade exclusiva da PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. – PETROBRAS, de uso interno na Companhia, e qualquer reprodução para utilização ou divulgação externa, sem a prévia e expressa autorização da titular, importa em ato ilícito nos termos da legislação pertinente, através da qual serão imputadas as responsabilidades cabíveis. A circulação externa será regulada mediante cláusula própria de Sigilo e Confidencialidade, nos termos do direito intelectual e propriedade industrial."**

## Apresentação

As Normas Técnicas PETROBRAS são elaboradas por Grupos de Trabalho - GTs (formados por especialistas da Companhia e das suas Subsidiárias), são comentadas pelas Unidades da Companhia e das suas Subsidiárias, são aprovadas pelas Subcomissões Autoras - SCs (formadas por técnicos de uma mesma especialidade, representando as Unidades da Companhia e as suas Subsidiárias) e homologadas pelo Plenário da CONTEC (formado pelos representantes das Unidades da Companhia e das suas Subsidiárias). Uma Norma Técnica PETROBRAS está sujeita a revisão em qualquer tempo pela sua Subcomissão Autora e deve ser reanalisada a cada 5 anos para ser revalidada, revisada ou cancelada. As Normas Técnicas PETROBRAS são elaboradas em conformidade com a norma PETROBRAS **N-1**. Para informações completas sobre as Normas Técnicas PETROBRAS, ver Catálogo de Normas Técnicas PETROBRAS.

**CONTEC**  
Comissão de Normas  
Técnicas

**SC - 23**  
Inspeção de Sistemas e  
Equipamentos em Operação

## **PREFÁCIO**

Esta Norma PETROBRAS N-2475 REV. C FEV/2005 é a Revalidação da norma PETROBRAS N-2475 REV. B OUT/98, não tendo sido alterado o seu conteúdo.

## **1 OBJETIVO**

1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis à realização de inspeção termográfica em sistemas elétricos.

1.2 Esta Norma se aplica a inspeção termográfica em sistemas elétricos como:

- a) transformadores;
- b) painéis elétricos e seus componentes;
- c) motores;
- d) linhas de transmissão;
- e) banco de baterias;
- f) bancos de capacitores;
- g) equipamentos de manobra.

1.3 Esta Norma se restringe à inspeção termográfica de sistemas elétricos que estejam operando com cargas iguais ou superiores a 50 % da carga nominal.

1.4 Esta Norma se aplica à inspeções termográficas realizadas a partir da data de sua edição.

1.5 Esta Norma contém Requisitos Técnicos e Práticas Recomendadas.

## **2 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES**

Os documentos relacionados a seguir são citados no texto e contêm prescrições válidas para a presente Norma.

PETROBRAS N-2162	- Permissão para Trabalho;
PETROBRAS N-2472	- Ensaio Não-Destrutivo - Termografia;
ASTM E 1316	- Standard Terminology for Nondestructive Examinations.

## **3 DEFINIÇÕES**

Para os propósitos desta Norma são adotadas as definições indicadas nas normas PETROBRAS N-2472 e ASTM E 1316.

## **4 CONDIÇÕES GERAIS**

### **4.1 Aparelhagem**

4.1.1 Deve ser utilizado aparelho capaz de obter imagens térmicas e dotado de recursos para análise e determinação de regiões de diferentes temperaturas. O uso de aparelho diferente do citado implica na aprovação prévia pela PETROBRAS.

4.1.2 O equipamento a ser utilizado deve ter os requisitos conforme citado na norma PETROBRAS N-2472.

#### **4.1.3 Calibração do Aparelho**

A calibração dos aparelhos que não possuem sistema automático deve ser efetuada utilizando os parâmetros: lentes, abertura e sensibilidade adequadas aos níveis de temperatura a serem medidos. Os demais requisitos devem ser conforme descrito na norma PETROBRAS N-2472.

### **4.2 Tabela de Emissividade**

A TABELA A-1 do ANEXO A mostra os valores de emissividade recomendados para os materiais utilizados. No caso de emissividade dos materiais a serem inspecionados não constar da TABELA A-1, ou as temperaturas forem diferentes, a emissividade deve ser determinada experimentalmente. Podem ser usados indicadores com emissividade conhecida nos pontos de inspeção.

### **4.3 Fatores de Correção de Temperatura**

Na determinação da temperatura devem ser considerados os fatores citados nos itens 7.1 e 7.2:

- a) atenuação atmosférica;
- b) velocidade do vento;
- c) carga.

### **4.4 Requisitos Adicionais**

Os seguintes cuidados devem ser observados quando da realização da inspeção:

- a) não efetuar a inspeção através de anteparos ou vidro;
- b) efetuar a inspeção externa, preferencialmente, sem incidência de luz solar ou chuva, e quando possível à noite;
- c) evitar posicionar o aparelho nas proximidades de equipamentos elétricos que operam com frequências elevadas, de modo a prevenir interferências;
- d) cuidados devem ser tomados para evitar erros de interpretação causados pelo reflexo de componentes mais aquecidos;
- e) efetuar correções de carga quando necessário;
- f) efetuar correção da velocidade do vento, quando necessário;
- g) em equipamentos que não estiveram operando, aguardar 2 horas para estabilidade da temperatura.

## **4.5 Preparação para Inspeção**

4.5.1 Devem ser verificados os seguintes itens a fim de que possa ser elaborada a programação de inspeção:

- a) relatórios de inspeções anteriores;
- b) periodicidade de inspeção;
- c) recomendações efetuadas durante a operação;
- d) modificações de projeto;
- e) normas de construção do equipamento.

4.5.2 Deve ser providenciado um resumo de todas as informações pertinentes coletadas durante a vida do equipamento (pontos críticos).

## **4.6 Requisitos de Segurança**

4.6.1 Verificar se foi emitida a permissão de trabalho de acordo com a norma PETROBRAS N-2162. Em caso de não-conformidade proceder conforme procedimento emitido pelo órgão de segurança local.

4.6.2 Devem ser observadas as condições de segurança e operação do aparelho, recomendado pelo fabricante para utilização em equipamentos elétricos energizados.

4.6.3 Devem ser utilizados os equipamentos de segurança (EPIs), conforme estabelecido na permissão de trabalho.

# **5 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS**

## **5.1 Inspeção de Equipamentos Externos**

### **5.1.1 Calibração**

Deve ser efetuada para os equipamentos externos de acordo com os seguintes parâmetros:

- a) escolha da lente em função da distância da câmara ao objeto;
- b) utilização do filtro contra reflexo solar, quando necessário;
- c) utilização da temperatura de referência mais próxima possível da temperatura do objeto a ser inspecionado (utilizar a atmosfera como referência; caso isto não seja possível, utilizar a pele humana ou outra referência com temperatura conhecida);
- d) ajuste da sensibilidade e abertura do diafragma para obtenção da máxima precisão.

Nota: As alíneas a), c) e d) não são aplicáveis para aparelhos que possuem ajuste automático.

### **5.1.2 Linhas de Transmissão**

5.1.2.1 Devem ser inspecionados os conectores dos cabos e contatos das chaves seccionadoras, pára-raios, disjuntores, isoladores e demais componentes.

5.1.2.2 Deve ser verificado o equilíbrio entre fases com relação a correntes e temperaturas.

### **5.1.3 Transformadores**

5.1.3.1 Devem ser inspecionados os conectores de entrada e saída e contatos das chaves seccionadoras, comutadoras de “taps”, isolamento e buchas.

5.1.3.2 Deve ser verificada a eficiência do sistema de resfriamento, comparando as temperaturas dos radiadores.

## **5.2 Inspeção de Equipamentos Internos**

### **5.2.1 Calibração**

Deve ser efetuada para os equipamentos internos conforme especificado no item 5.1.1 alíneas a) a d). A temperatura de referência deve ser a mais próxima possível da temperatura do objeto a ser inspecionado. Utilizar a pele humana como referência ou outra referência com temperatura conhecida para os equipamentos não dotados de ajuste automático.

### **5.2.2 Barramentos**

5.2.2.1 Deve ser verificado o equilíbrio entre fases com relação a correntes e temperaturas.

5.2.2.2 Devem ser inspecionadas as conexões.

5.2.2.3 Devem ser verificadas fugas pelos isoladores.

### **5.2.3 Painéis Elétricos**

Verificar as conexões da entrada e saída dos seguintes componentes:

- a) fusíveis;
- b) disjuntores;
- c) chaves seccionadoras;
- d) garras;
- e) TPs, TCs e relés;
- f) contadores;
- g) barramentos;
- h) semicondutores.

#### **5.2.4 Bancos de Capacitores**

Verificar os terminais de entrada e saída e o corpo do capacitor.

#### **5.2.5 Motores Elétricos e Geradores**

Verificar a carcaça e os contatos das escovas e conexões dos cabos.

Nota: Devem ser observados os limites máximos estabelecidos pelo fabricante recomendados para as temperaturas das escovas.

#### **5.2.6 Bancos de Baterias**

Verificar conexões e o corpo das baterias.

#### **5.2.7 Cabos Isolados**

Verificar em cabos singelos se no percurso existem pontos de indução, tais como: eletrocalhas metálicas, tampas de painéis ou outros componentes metálicos. Verificar também pontos de possíveis danos em isolamento de cabos.

### **6 PERIODICIDADE DE INSPEÇÃO**

#### **6.1 Inspeção em Equipamentos Externos**

A inspeção em equipamentos externos recomenda-se ser efetuada, no máximo, a cada 6 meses. **[Prática Recomendada]**

#### **6.2 Inspeção em Equipamentos Internos**

A inspeção em equipamentos internos recomenda-se ser efetuada, no máximo, a cada 6 meses. **[Prática Recomendada]**

- Notas:
- 1) A periodicidade de inspeção pode ser alterada em função do histórico do equipamento e de problemas verificados durante a campanha. A inspeção em equipamentos tanto interna quanto externa deve ser efetuada, preferencialmente, antes de uma parada programada do equipamento possibilitando a avaliação da manutenção do equipamento.
  - 2) Se o histórico das inspeções mostrar a existência de problemas repetitivos, deve-se, preferencialmente, atuar na resolução desses problemas e não aumentar a frequência de inspeções.
  - 3) Recomenda-se a inspeção após intervenções da manutenção ou melhorias do equipamento. **[Prática Recomendada]**
  - 4) Após a manutenção em pontos de sobreaquecimento identificados na inspeção termográfica, efetuar nova inspeção para avaliar os resultados.

## 7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a análise dos resultados das medições devem ser considerados os fatores descritos nos itens 7.1 a 7.4.

### 7.1 Fator de Correção de Velocidade do Vento (FCVV)

**TABELA 1 - FATOR DE CORREÇÃO DE VELOCIDADE DO VENTO**

Velocidade do Vento (m/s)	Até 1	2	3	4	5	6	7
FCVV	1,00	1,37	1,64	1,86	2,06	2,23	2,39

- Notas:
- 1) A velocidade do vento nas condições de ensaio deve ser conhecida.
  - 2) O FCVV é válido para velocidades do vento iguais ou inferiores a 7 m/s. Acima da velocidade de 7 m/s não é recomendada à execução do ensaio.

### 7.2 Fator de Correção de Carga (FCC)

O FCC é obtido através da fórmula:

$$FCC = \left( \frac{I_n}{I_m} \right)^2$$

Onde:

FCC = fator de correção de carga;  
 $I_n$  = carga nominal (ampéres);  
 $I_m$  = carga medida (ampéres).

Nota: Os valores do FCC são válidos para cargas iguais ou superiores a 50 % da carga nominal.

**TABELA 2 - FATOR DE CORREÇÃO DE CARGA**

Carga %	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
FCC	1,00	1,11	1,23	1,38	1,56	1,77	2,00	2,37	2,78	3,30	4,00

### 7.3 Temperatura Final Corrigida (TFC)

A TFC é obtida através da fórmula:

$$TFC = \Delta TC + T_a$$

Onde:

TFC = temperatura final corrigida;  
 $\Delta TC$  = elevação de temperatura corrigida;  
 $T_a$  = temperatura ambiente.

Sendo:

$$\Delta TC = (T_m - T_a) \times FCC \times FCVV$$

Onde:

$\Delta TC$  = elevação de temperatura corrigida calculada para carga nominal (100 %);

FCC = fator de correção de carga;

$T_m$  = temperatura medida;

$T_a$  = temperatura ambiente;

FCVV = temperatura de correção da velocidade do vento.

Nota: A carga nas condições de ensaio deve ser conhecida e para cargas medidas superiores a normal não deve ser usado o FCC.

## **7.4 Critérios para Classificação das Medições**

7.4.1 A elevação máxima de temperatura admissível é obtida através da fórmula:

$$\Delta T_{m\grave{a}x.} = T_{m\grave{a}x.} - T_a$$

Onde:

$\Delta T_{m\grave{a}x.}$  = elevação máxima de temperatura admissível;

$T_{m\grave{a}x.}$  = temperatura máxima admissível para o componente;

$T_a$  = temperatura ambiente.

Nota: A  $T_{m\grave{a}x.}$  é normalmente especificada pelo fabricante do componente a partir da qual tem início o processo de degradação do material.

### **7.4.2 Fator de Elevação de Temperatura (FET)**

O FET é obtido através da fórmula:

$$FET = \frac{\Delta TC}{\Delta T_{m\grave{a}x.}}$$

Onde:

FET = fator de elevação de temperatura;

$\Delta TC$  = elevação de temperatura corrigida;

$\Delta T_{m\grave{a}x.}$  = aquecimento máximo admissível.

Nota: A classificação dos aquecimentos medidos e a determinação da providência a ser tomada seguem os critérios descritos na TABELA 3.



**TABELA 3 - CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA DOS AQUECIMENTOS MEDIDOS E A DETERMINAÇÃO DA PROVIDÊNCIA**

<b>Fator de Elevação de Temperatura (FST)</b>	<b>Classificação Térmica</b>	<b>Providência</b>
0,9 ou mais	severamente aquecido	manutenção imediata
0,6 a 0,9	muito aquecido	manutenção programada
0,3 a 0,6	aquecido	em observação
até 0,3	normal	normal

Onde:

- condição normal: pontos que apresentam níveis normais de temperatura após correção do aquecimento a 100 % da carga.
- condição aquecido: pontos cujo aquecimento corrigido não é conclusivo no que se refere ao estado do componente, sendo recomendável manter o componente em observação até a próxima inspeção.
- condição muito aquecido: pontos nos quais o aquecimento corrigido indica estarem em vias de apresentar defeito, mas cuja evolução ainda permite a programação de manutenção.
- condição severamente aquecido: pontos cujo aquecimento corrigido indica que o comportamento do componente é imprevisível devido à temperatura atingida, a manutenção deve ser imediata.

## **8 REGISTRO DE RESULTADOS**

Todos os equipamentos devem ser registrados como inspecionados para seu histórico. Aqueles equipamentos que apresentarem classificação térmica diferente da normal (conforme item 7.4.2 desta Norma) devem ser registrados de modo a permitir uma adequada rastreabilidade.

---

**/ANEXO A**

**ANEXO A - TABELA****TABELA A-1 - EMISSIVIDADE (E) DOS MATERIAIS EM INSPEÇÕES  
TERMOGRÁFICAS DE SISTEMAS ELÉTRICOS**

<b>Material</b>		<b>Emissividade</b>
Alumínio	Chapa Comercial	0,09
	Polido	0,02 - 0,10
	Oxidado	0,20 - 0,40
Latão	Polido	0,01 - 0,05
	Oxidado	0,50
Cobre	Polido	0,02
	Altamente Oxidado	0,78
Estanho	Chapa Aço Estanhada	0,07
Níquel	Polido	0,07
Prata	Polida	0,02
	Oxidada	0,50 - 0,95
Porcelana		0,92
Vidro	Plano	0,85
Fita Isolante		0,98

