
**Ensaaios não destrutivos — Correntes parasitas
— Tubos não ferromagnéticos instalados em
trocadores de calor**

Non-destructive testing — Eddy current testing — Non-destructive testing for eddy-current in situ examination of nonferromagnetic heat-exchanger tubes

USO EXCLUSIVO
ABNT/ONS-58
(PROIBIDA A REPRODUÇÃO)

ICS 19.100

ISBN 978-65-5659-480-4



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS



Número de referência
ABNT NBR 15193:2020
15 páginas



Exemplar para uso exclusivo - ABNT/ONS-58 - ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS - 33.402.892/0002-97

© ABNT 2020

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

abnt@abnt.org.br

www.abnt.org.br

Sumário

Página

Prefácio	v
Introdução	vi
1 Escopo	1
2 Referências normativas	1
3 Termos e definições	1
4 Requisitos	1
4.1 Sensibilidade de ensaio	1
4.2 Requisitos para procedimentos	1
4.3 Qualificação de pessoas	3
4.4 Aparelhos	3
4.4.1 Geral	3
4.4.2 Aparelho analógico de correntes parasitas	3
4.4.3 Aparelho digital de correntes parasitas	3
4.4.4 Sistema digital de gravação	4
4.4.5 Sistema de análise de dados	4
4.5 Gravação e nível de sensibilidade	5
4.6 Velocidade de extração da sonda	5
4.7 Verificação de localização de dispositivos de manipulação de sondas	6
4.8 Sistema automatizado de triagem de dados	6
4.9 Sistema automático de seleção de dados	6
4.10 Sondas	6
4.11 Técnica	7
4.12 Tubo-padrão de referência	7
4.13 Calibração do aparelho	8
4.13.1 Aparelho analógico	8
4.13.2 Aparelho digital	9
5 Determinação da frequência de ensaio	9
5.1 Procedimento para cálculo da frequência básica	9
5.2 Determinação da frequência usando bobina diferencial	9
5.3 Definição da frequência usando bobina absoluta	10
6 Ajustes do sistema	11
6.1 Procedimento para ajuste da frequência auxiliar	11
6.2 Confirmação do ajuste	11
6.3 Ajuste para determinar a profundidade das descontinuidades	12
7 Ensaio	13
8 Avaliação	13
8.1 Avaliação dos dados	13
8.2 Frequências utilizadas para avaliação dos dados	13
9 Documentação	13
9.1 Relatórios	13
9.2 Registros	14

9.2.1	Geral	14
9.2.2	Identificação dos tubos	15
9.2.3	Relatório	15
9.2.4	Retenção dos registros	15

Figuras

Figura 1 – Exemplo de sinais típicos para o sistema configurado corretamente, utilizando sonda com bobina diferencial.....	10
Figura 2 – Exemplo de sinais típicos de um sistema de sonda com bobina absoluta.....	11
Figura 3 – Exemplo de curva de calibração (ângulo de fase x profundidade da descontinuidade).....	13

Tabelas

Tabela 1 – Requisitos para procedimentos de inspeção por correntes parasitas.....	2
---	---



Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 15193 foi elaborada no Organismo de Normalização Setorial de Ensaios Não Destrutivos (ABNT/ONS-058), pela Comissão de Estudo de Correntes Parasitas para o Setor Químico, Industrial e de Petróleo (CE-058:004.001). O Projeto de Revisão circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 07, de 03.07.2020 a 05.08.2020.

A ABNT NBR 15193:2020 cancela e substitui a ABNT NBR 15193:2016, a qual foi tecnicamente revisada.

O Escopo em inglês da ABNT NBR 15193 é o seguinte:

Scope

This Standard provides the requirements for multifrequency, multiparameter, eddy current examination of nonmagnetic heat exchanger tubing, and of the inspection system when applicable.

This method determine the physical condition of the heat exchanger tubing by analysis of the recorded data obtained from the manual, automated or semi-automated internal diameter (I.D.) tubing scanning.

Introdução

A intenção desta Norma é garantir que:

- os ensaios realizados nos tubos sejam conduzidos de forma que qualquer indicação proveniente de descontinuidades com profundidades iguais ou superiores a 20 % da parede do tubo seja prontamente diferenciada entre as indicações de ruído;
- a detecção de descontinuidades adjacentes aos suportes dos tubos e espelhos seja otimizada;
- os erros nas medições sejam minimizados;
- os resultados dos ensaios sejam consistentes.

USO EXCLUSIVO
ABNT/ONS-58
(PROIBIDA A REPRODUÇÃO)

Ensaio não destrutivo — Correntes parasitas — Tubos não ferromagnéticos instalados em trocadores de calor

1 Escopo

1.1 Esta Norma estabelece a metodologia para a execução do ensaio por correntes parasitas de multifrequência e multiparâmetros, e os requisitos de sistemas de inspeção, quando aplicáveis aos tubos não ferromagnéticos instalados em trocadores de calor.

1.2 Este método determina a condição física dos tubos, que será obtida pelo escaneamento da superfície interna dos tubos.

2 Referências normativas

Os documentos a seguir são citados no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR NM 316, *Ensaio não destrutivo — Correntes parasitas — Terminologia*

ABNT NBR NM ISO 9712, *Ensaio não destrutivo — Qualificação e certificação de pessoal em END*

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os termos e definições da ABNT NBR NM 316.

4 Requisitos

4.1 Sensibilidade de ensaio

O procedimento para o ensaio por correntes parasitas deve proporcionar uma sensibilidade com a qual seja possível detectar indicações de descontinuidades iguais ou maiores do que aquelas contidas em um tubo-padrão de referência descrito em 4.12.

4.2 Requisitos para procedimentos

4.2.1 Os ensaios por correntes parasitas devem ser obrigatoriamente executados segundo procedimentos escritos e qualificados, os quais devem conter no mínimo os requisitos listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Requisitos para procedimentos de inspeção por correntes parasitas

Requisitos aplicáveis	Variável essencial	Variável não essencial
Material do tubo	X	
Diâmetro e espessura de parede do tubo	X	
Modo de inspeção (diferencial ou absoluta)	X	
Tipo e tamanho da sonda	X	
Comprimento do cabo da sonda e extensões do cabo da sonda	X	
Fabricante, número de série e descrição da sonda	X	
Frequência de ensaio, tensão e ajustes do ganho	X	
Fabricante e modelo do aparelho de correntes parasitas	X	
Modos e direção de varredura durante a aquisição de dados (inserindo e extraíndo)	X	
Modo de varredura (passagem da sonda manual, mecanizada ou com acessório de controle remoto)	X	
Verificação da localização do dispositivo	X	
Tipo, dimensões e identificação do tubo-padrão de referência	X	
Taxa de digitalização mínima	X	
Máxima velocidade de varredura durante a aquisição de dados	X	
Formas de ajuste do sistema de inspeção com base no tubo-padrão de referência	X	
Requisitos de qualificação de pessoal		X
Fabricante e modelo do aparelho de armazenamento de dados		X
Velocidade de inserção ou retirada da sonda, quando não estiver gravando dados		X
Lado pelo qual foi executado o ensaio (entrada ou saída do trocador de calor)		X
Parâmetros de análise de dados		X
Numeração dos tubos		X
Preparação da superfície para ensaio dos tubos		X
Informações adicionais, se necessário, para descrever o ensaio		X

4.2.2 Os procedimentos escritos devem ser qualificados por demonstração e devem estabelecer um valor único, ou uma faixa de valores, para cada requisito.

4.2.3 Os procedimentos devem ser requalificados por demonstração, quando forem feitas mudanças em requisitos identificados como variáveis essenciais, conforme a Tabela 1.

4.2.4 Alterações em variáveis não essenciais não requerem requalificação dos procedimentos. Os procedimentos devem ser revisados ou anexos devem ser adicionados, quando forem feitas alterações em variáveis essenciais ou não essenciais especificadas nos procedimentos.

4.3 Qualificação de pessoas

A pessoa que executa os ensaios de correntes parasitas deve atender aos requisitos da ABNT NBR NM ISO 9712.

4.4 Aparelhos

4.4.1 Geral

4.4.1.1 O aparelho de correntes parasitas deve possuir a capacidade de gerar múltiplas frequências simultaneamente ou multiplexadas, e possuir capacidade de combinação multiparamétrica de sinais. Na seleção da frequência, considerações devem ser feitas para otimização e caracterização da detecção das descontinuidades.

4.4.1.2 Os sinais produzidos pelo aparelho de correntes parasitas devem fornecer informações de fase e amplitude.

4.4.1.3 Os aparelhos de correntes parasitas devem ser capazes de operar com sondas em modo absoluto, diferencial ou ambos.

4.4.1.4 Os sistemas de correntes parasitas devem ser capazes de gravar e apresentar em tempo real os sinais produzidos durante o exame.

4.4.1.5 Os aparelhos de correntes parasitas devem ser capazes de detectar e gravar sinais provenientes de alterações dimensionais, alterações metalúrgicas e depósitos de materiais, como produtos de corrosão, e por descontinuidades existentes na superfície interna, externa ou ambas dos tubos.

4.4.2 Aparelho analógico de correntes parasitas

4.4.2.1 A resposta de frequência na saída do aparelho deve ser constante, com variação máxima de 2 % da escala de fundo, desde DC até a frequência máxima ($F_{m\acute{a}x}$), onde $F_{m\acute{a}x}$ é igual a 0,4 Hz (mm/s) (10 Hz in/s), multiplicado pela velocidade máxima da sonda em milímetro por segundo (m/s).

4.4.2.2 Os sinais de correntes parasitas devem ser apresentados em padrões bidimensionais por meio da utilização de um osciloscópio de armazenamento X-Y ou equivalente.

4.4.3 Aparelho digital de correntes parasitas

4.4.3.1 Na velocidade de inspeção utilizada (V_i), a taxa de amostragem do aparelho ($T \times A$) deve resultar em uma taxa de digitalização ($T \times D$) mínima de 1,2 amostra por milímetro do tubo examinado, conforme a seguir:

$$TxD = \frac{TA}{V_i}$$

onde

V_i é a velocidade de inspeção, expressa em milímetros por segundo (mm/s);

TxD é a taxa de digitalização, expressa em amostras por segundo ou em hertz (Hz);

TxA é a taxa de amostragem, expressa em amostras por segundo ou em hertz (Hz).

4.4.3.2 O instrumento de correntes parasitas deve possuir uma resolução mínima de 12 bits por sinal.

4.4.3.3 A resposta de frequência da parte analógica do aparelho digital deve ser constante na faixa de 2 % do valor de entrada, desde DC até a $F_{m\acute{a}x}$, onde $F_{m\acute{a}x}$ é igual a 0,4 (mm/s) (10 Hz in/s), multiplicado pela velocidade máxima da sonda em milímetro por segundo (m/s).

4.4.3.4 O *display* deve permitir a apresentação dos sinais em planos X-Y, representativos de planos de impedância dos sinais produzidos por todas as frequências de ensaio, e também dos sinais mesclados.

4.4.3.5 Os gráficos de Lissajous devem possuir resolução mínima de 7 bits.

4.4.3.6 O aparelho deve possuir capacidade de apresentação mínima de dois gráficos, X(t) e Y(t).

4.4.3.7 Os gráficos devem permitir a seleção da variável X(t) ou Y(t), de forma que seja apresentada a variável selecionada em função do tempo.

4.4.3.8 Os gráficos X(t) ou Y(t) devem possuir resolução mínima de 6 bits.

4.4.4 Sistema digital de gravação

4.4.4.1 O sistema digital de gravação deve ser capaz de gravar e reproduzir todos os sinais de correntes parasitas adquiridos em todas as frequências de ensaio.

4.4.4.2 O sistema digital de gravação deve ser capaz de gravar e reproduzir todas as informações de texto.

4.4.4.3 O sistema digital de gravação deve possuir resolução mínima de 12 bits por sinal gravado.

4.4.5 Sistema de análise de dados

4.4.5.1 Requisitos básicos do sistema de análise de dados

4.4.5.1.1 O sistema de análise de dados deve ser capaz de apresentar os sinais de correntes parasitas produzidos por todas as frequências de ensaio.

4.4.5.1.2 O sistema deve possuir capacidade de mixagem multiparamétrica.

4.4.5.1.3 O sistema deve ser capaz de manter a identificação de cada tubo gravado.

4.4.5.1.4 O sistema deve ser capaz de medir ângulos de fase em incrementos de 1° ou menos.

4.4.5.1.5 O sistema deve ser capaz de medir amplitudes de aproximadamente 0,1 V.

4.4.5.2 Sistema de análise de dados analógico

4.4.5.2.1 Display analógico

4.4.5.2.1.1 Os sinais de correntes parasitas referentes à inspeção devem ser apresentados como grandezas vetoriais em figuras de Lissajous, por meio da utilização de osciloscópios de armazenamento X-Y ou equivalente.

4.4.5.2.1.2 A resposta de frequência do *display* deve ser constante, com variação máxima de 2 % do valor de entrada, desde DC até a $F_{m\acute{a}x}$, onde $F_{m\acute{a}x}$ é igual a 0,4 Hz (mm/s) (10 Hz in/s), multiplicado pela velocidade máxima da sonda em milímetro por segundo (m/s).

4.4.5.2.2 Sistema de gravação

4.4.5.2.2.1 O gravador de fitas magnético deve ser capaz de reproduzir os dados gravados.

4.4.5.2.2.2 A resposta de frequência do gravador de fitas magnético deve ser constante, com variação máxima de 10 % do valor de entrada, desde DC até a $F_{m\acute{a}x}$, onde $F_{m\acute{a}x}$ é igual a 0,4 Hz (mm/s) (10 Hz in/s), multiplicado pela velocidade máxima da sonda em milímetro por segundo (m/s).

4.4.5.2.2.3 A reprodutibilidade entre os sinais de entrada e saída deve estar na faixa de 5 %.

4.4.5.3 Sistema digital de análise de dados

4.4.5.3.1 Display digital

4.4.5.3.1.1 O *display* do sistema digital de análise de dados deve ser capaz de apresentar os sinais de correntes parasitas e as informações de texto gravadas.

4.4.5.3.1.2 O sistema digital de análise de dados deve possuir resolução mínima de 12 bits por sinal gravado.

4.4.5.3.1.3 Os gráficos de plano de impedância (Lissajous) devem possuir resolução mínima de 7 bits e permitir a apresentação de todos os canais.

4.4.5.3.1.4 Os gráficos das componentes X e Y *versus* tempo (*strip chart*) devem permitir a seleção da variável X(t) ou Y(t) de forma que sejam apresentadas as componentes selecionadas em função do tempo, para todas as frequências e frequências misturadas.

4.4.5.3.1.5 Os gráficos X(t) ou Y(t) devem possuir resolução mínima de 6 bits.

4.4.5.3.2 Sistema digital de gravação

4.4.5.3.2.1 O sistema digital de gravação deve ser capaz de reproduzir todos os sinais de correntes parasitas e informações de texto.

4.4.5.3.2.2 O sistema digital de gravação deve possuir resolução mínima de 12 bits por ponto de dados.

4.5 Gravação e nível de sensibilidade

4.5.1 Os sinais de correntes parasitas devem ser gravados na mídia de gravação, enquanto a sonda atravessa o tubo.

4.5.2 A sensibilidade para a técnica diferencial com sondas tipo bobina deve ser suficiente para produzir uma resposta do furo passante com amplitude vertical mínima de 50 % da altura total do gráfico.

4.6 Velocidade de extração da sonda

4.6.1 A velocidade da sonda não pode exceder aquela cuja resposta de frequência e sensibilidade para detecção das descontinuidades de ajuste do sistema sejam satisfatórias. A taxa de digitalização

mínima deve ser mantida durante a inspeção. A velocidade de escaneamento da sonda é determinada pela frequência de ensaio e pelo comprimento do menor defeito a ser detectado e dimensionado.

4.6.2 A velocidade máxima de escaneamento deve ser de 900 mm/s (36 in/s). Para ligas de cobre cuja resistividade seja inferior a 50 $\mu\Omega/\text{cm}$, a velocidade máxima deve ser de 450 mm/s.

4.6.3 O escaneamento é feito geralmente por meio da extração manual ou por dispositivo motorizado da sonda fixada em um cabo flexível. Os resultados são obtidos pela avaliação dos dados adquiridos e gravados durante o escaneamento.

4.7 Verificação de localização de dispositivos de manipulação de sondas

4.7.1 A habilidade de localização de tubos específicos dos dispositivos utilizados para manipulação das sondas deve ser verificada visualmente e registrada na instalação do dispositivo, antes de sua relocação ou quando da remoção do dispositivo. A verificação independente da posição do dispositivo, isto é, a localização dos pontos de referência, deve ser executada e registrada no início e no fim de cada inspeção, gravada como uma unidade no dispositivo de armazenamento de dados.

4.7.2 Quando for identificado erro de localização de tubos pelo dispositivo nos dados gravados, os tubos ensaiados, desde a verificação de posição imediatamente anterior, devem ser reensaiados.

4.8 Sistema automatizado de triagem de dados

Quando forem utilizados sistemas automatizados de triagem de dados, cada sistema deve ser qualificado em conformidade com o procedimento escrito.

4.9 Sistema automático de seleção de dados

Quando um sistema automático de seleção de dados de correntes parasitas for utilizado, cada sistema deve ser qualificado de acordo com o procedimento escrito.

4.10 Sondas

4.10.1 As sondas tipo bobina devem ser capazes de detectar as discontinuidades artificiais no tubo-padrão de referência para calibração.

4.10.2 As sondas tipo bobina devem operar na faixa de frequência que inclui todas as frequências selecionadas para detecção e dimensionamento das discontinuidades.

4.10.3 As bobinas devem ser montadas o mais perto possível da superfície externa da sonda, de forma que ainda seja possível haver proteção suficiente contra danos à bobina.

4.10.4 O fator de enchimento deve ser no mínimo de 0,80, conforme a equação a seguir:

$$Fe = \frac{d^2}{D^2}$$

onde

Fe fator de enchimento

d diâmetro externo da sonda

D diâmetro interno do tubo

4.11 Técnica

4.11.1 Para a execução do ensaio, são permitidas técnicas de frequência simples ou múltipla.

4.11.2 Os sinais resultantes de cada frequência individual, bem como mixados, devem ser registrados para revisão, análise e disposição final.

4.12 Tubo-padrão de referência

4.12.1 O tubo-padrão de referência deve ser preparado a partir de um tubo que tenha a mesma dimensão nominal e o mesmo tipo de material (composição química e tratamento térmico) que os tubos a serem ensaiados no trocador de calor.

4.12.2 Os tubos-padrões de referência fabricados com materiais submetidos a tratamento térmico diferente do material utilizado para fabricação dos tubos que serão inspecionados podem ser utilizados, desde que seja demonstrado que os sinais produzidos pelas descontinuidades estabelecidas em ambos os materiais são equivalentes, ou seja, possuam as mesmas respostas.

4.12.3 As descontinuidades artificiais dos tubos-padrões de referência devem ser espaçadas axialmente, de forma que possam ser diferenciadas umas das outras e das extremidades do tubo. As dimensões finais das descontinuidades e as respostas do sistema de correntes parasitas aplicável devem fazer parte do registro permanente do tubo-padrão de referência.

4.12.4 Cada tubo-padrão de referência deve ser identificado permanentemente por um número de série.

4.12.5 O objetivo deste tubo-padrão de referência é estabelecer e verificar a resposta do sistema. O padrão deve conter as seguintes descontinuidades:

- a) um furo usinado passante, com um diâmetro de 1,3 mm para tubos com diâmetros externos iguais ou inferiores a 19 mm (3/4 in) e um furo com 1,7 mm de diâmetro, para tubos com diâmetros superiores a 19 mm (3/4 in);
- b) um furo usinado de fundo plano, com 2,8 mm de diâmetro e profundidade correspondente a 60 % da espessura de parede, partindo da superfície externa;
- c) quatro furos de fundo plano, na superfície externa, com diâmetro de 4,8 mm, defasados em 90°, em um plano perpendicular ao eixo do tubo e com profundidade igual a 20 % da espessura da parede do tubo;
- d) todas as descontinuidades feitas para a calibração devem estar espaçadas, de forma que possam ser identificadas separadamente, umas das outras, e também das extremidades do tubo;
- e) a profundidade das descontinuidades, em seus centros, deve corresponder a uma precisão de $\pm 20\%$ da profundidade especificada ou $\pm 0,08$ mm, a que for menor. Todas as outras dimensões devem ter precisão de $\pm 0,25$ mm;
- f) as dimensões reais das descontinuidades e a resposta do sistema de ensaio por correntes parasitas a essas descontinuidades devem fazer parte do registro de dados permanentes do respectivo tubo-padrão de referência.

4.12.6 Como prática recomendada, o tubo-padrão de referência pode também conter as seguintes descontinuidades:

- a) uma ranhura circunferencial de 360°, com largura de 1,6 mm e profundidade de 10 % da espessura de parede do tubo, usinada na superfície interna do tubo;
- b) uma ranhura circunferencial de 360°, com largura de 1,8 mm e profundidade de 10 % da espessura de parede do tubo, usinada na superfície externa do tubo;
- c) um furo usinado de fundo plano, com 4,8 mm de diâmetro e profundidade correspondente a 40 % da espessura de parede, partindo da superfície externa;
- d) um furo usinado de fundo plano, com 2,0 mm de diâmetro e profundidade correspondente a 80 % da espessura de parede, partindo da superfície externa.

4.12.7 Como prática recomendada, o tubo-padrão de referência pode também conter descontinuidades artificiais que se assemelhem a descontinuidades reais que ocorrem durante a vida dos tubos, como, por exemplo:

- a) furos internos com fundo arredondado semelhantes aos pites de corrosão, com dimensões que simulem as dimensões dos pites reais;
- b) sulcos externos na semicircunferência do tubo, semelhantes à abrasão sob suporte;
- c) sulcos externos ou internos em toda a circunferência, em uma extensão de 16 mm na direção axial do tubo semelhantes à corrosão generalizada;
- d) deve haver no mínimo três descontinuidades de cada tipo, com profundidades diferentes, sugerindo-se 20 %, 40 % e 60 % da espessura do tubo.

4.13 Calibração do aparelho

A instrumentação eletrônica do sistema de ensaio por correntes parasitas deve ser calibrada conforme estabelecido pelo sistema da qualidade, recomendação do fabricante ou sempre que o equipamento for reparado.

4.13.1 Aparelho analógico

Os seguintes itens devem ser verificados durante as calibrações:

- a) a frequência de saída do oscilador de frequência pode variar no máximo ± 5 % da frequência indicada;
- b) a linearidade horizontal e vertical da tela do tubo de raios catódicos (CRT) pode defletir no máximo ± 10 % da voltagem de entrada;
- c) o alinhamento dos traços horizontais e verticais do CRT pode variar no máximo $\pm 2^\circ$;
- d) a razão entre a voltagem de saída do gravador de fita magnético pode variar no máximo ± 5 % em relação à voltagem de entrada de cada canal do gravador de fita;
- e) a velocidade da carta do gravador gráfico de tiras pode variar no máximo ± 5 % em relação ao valor indicado;
- f) a amplificação para todos os canais do aparelho de correntes parasitas pode variar no máximo ± 5 % em relação ao valor médio, em todos os parâmetros de calibração, em todas as frequências;

- g) os dois canais de saída do aparelho de correntes parasitas devem ser ortogonais, com variação máxima de $\pm 3^\circ$ na frequência de exame.

4.13.2 Aparelho digital

Os componentes analógicos dos aparelhos digitais devem ser calibrados conforme 4.13.1. Os componentes digitais não precisam ser calibrados.

5 Determinação da frequência de ensaio

O sistema de ensaio deve ser ajustado utilizando o tubo-padrão de referência descrito em 4.12.

5.1 Procedimento para cálculo da frequência básica

5.1.1 A frequência básica deve estar entre f_{90} e $2 \times f_{90}$, como determinadas pelas seguintes equações:

- a) frequência básica mínima

$$f_{90} = 3 \cdot (\rho / t^2 \cdot \mu_r)$$

- b) frequência básica máxima

$$2 \cdot f_{90} = 6 \cdot (\rho / t^2 \cdot \mu_r)$$

onde

f_{90} é o valor numérico da frequência que gera uma separação de 90° entre o defeito menos profundo interno e o menos profundo externo, expresso em kHz;

ρ é o valor numérico da resistividade do material do tubo, expresso em microhms centímetro ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$);

t é o valor numérico da espessura do tubo, expresso em milímetros (mm);

μ_r é o valor numérico da permeabilidade magnética relativa (= 1,0 para materiais não magnéticos).

5.1.2 O alinhamento dos traços horizontais e verticais do CRT pode variar no máximo $\pm 2^\circ$.

5.1.3 A frequência auxiliar pode ser empregada para verificação da parede remanescente do tubo.

5.1.4 Podem ser utilizados outros tubos-padrões de referência que não os mencionados em 4.12.

5.2 Determinação da frequência usando bobina diferencial

5.2.1 Ajustar o instrumento de ensaio por correntes parasitas na frequência escolhida, de forma que o ângulo de fase correspondente ao furo passante fique em 40° em relação à horizontal.

5.2.2 A fase do sinal correspondente aos quatro furos de fundo plano (com profundidade igual a 20 % da espessura de parede) deve estar entre 50° e 120° , contados no sentido horário, a partir do sinal proveniente do furo passante (ver Figura 1).

5.2.3 O traço na tela dos quatro furos de 20 % de fundo plano deve ser gerado quando a sonda for puxada nas direções mostradas na Figura 1. Primeiro para baixo e esquerda, e, em seguida, movimento para cima e para direita, retornando ao ponto de origem.

5.2.4 A sensibilidade deve ser ajustada para que o sinal proveniente da menor descontinuidade existente no tubo-padrão de referência (normalmente o furo passante) seja visível. Recomenda-se, para aparelhos analógicos, uma amplitude pico a pico mínima de 30 % da escala horizontal, produzida pelo furo passante, com a sensibilidade do *display* ajustada para 1 V por divisão.

5.2.5 Ajustar a fase ou o controle de rotação do instrumento de ensaio até que o sinal de resposta devido ao movimento da sonda ou do sinal do rasgo interno de 10 % esteja no eixo horizontal do *display*, com precisão de $\pm 5\%$.

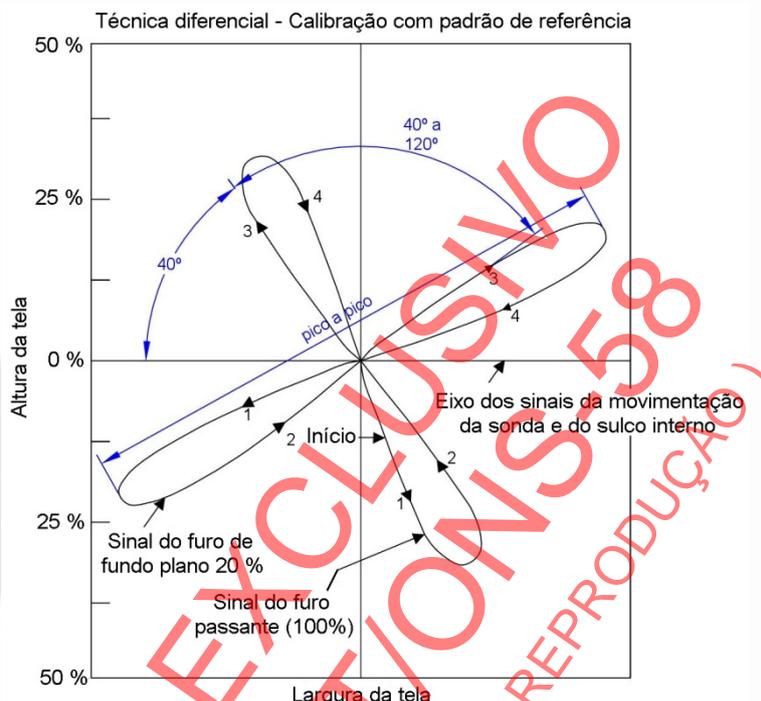


Figura 1 – Exemplo de sinais típicos para o sistema configurado corretamente, utilizando sonda com bobina diferencial

5.3 Definição da frequência usando bobina absoluta

5.3.1 Ajustar o instrumento de ensaio por correntes parasitas na frequência escolhida, de forma que o ângulo de fase correspondente ao furo passante fique em 40° em relação à horizontal.

5.3.2 A fase do sinal correspondente aos quatro furos de fundo plano (com profundidade igual a 20 % da espessura de parede) deve estar entre 50° e 120° , contados no sentido horário, a partir do sinal proveniente do furo passante (ver Figura 2).

5.3.3 A sensibilidade deve ser ajustada para que o sinal proveniente da menor descontinuidade existente no tubo-padrão de referência (normalmente o furo passante) seja visível. Recomenda-se, para aparelhos analógicos, uma amplitude pico a pico mínima de 20 % da escala horizontal, produzida pelo furo passante, com a sensibilidade do *display* ajustada para 1 V por divisão.

5.3.4 Ajustar a fase ou o controle de rotação do instrumento de ensaio até que o sinal de resposta devido ao movimento da sonda ou do sinal do rasgo interno de 10 % esteja no eixo horizontal do *display*, com precisão de $\pm 5^\circ$ (opcional).

5.3.5 A resposta pode ser posicionada no quadrante mais conveniente para o operador.

5.3.6 Puxar a sonda de ensaio pelo tubo-padrão de referência, registrando as respostas das descontinuidades. A velocidade deve assegurar que todas as descontinuidades sejam claramente indicadas pelo instrumento e distinguíveis umas das outras, bem como dos sinais devidos ao movimento da sonda.

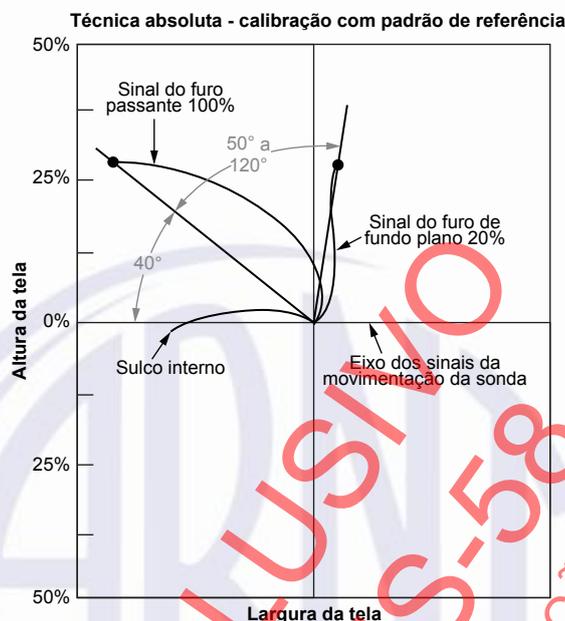


Figura 2 – Exemplo de sinais típicos de um sistema de sonda com bobina absoluta

6 Ajustes do sistema

6.1 Procedimento para ajuste da frequência auxiliar

6.1.1 A frequência auxiliar pode ser empregada para verificação da parede remanescente do tubo.

6.1.2 A frequência auxiliar pode ser combinada (mixada) com a frequência básica ou com outras frequências para a supressão de variáveis não desejadas.

6.1.3 Para a ajustagem da frequência auxiliar, podem ser utilizados outros tubos-padrões de referência que não os mencionados em 4.12.

6.1.4 Os tubos-padrões de referência simulando as variáveis indesejáveis devem ser usados para estabelecer os parâmetros de mixagem. A resposta da frequência auxiliar nas variáveis indesejáveis do tubo-padrão de referência e/ou a resposta da frequência básica do tubo-padrão de referência devem ser registradas, de modo a garantir que a mixagem foi bem-sucedida.

6.1.5 Puxar a sonda de ensaio pelo tubo-padrão de referência, registrando as respostas das descontinuidades. A velocidade deve assegurar que todas as descontinuidades sejam claramente indicadas pelo instrumento e distinguíveis umas das outras, bem como dos sinais devidos ao movimento da sonda.

6.2 Confirmação do ajuste

6.2.1 O ajuste deve incluir o sistema completo de ensaio por correntes parasitas. Qualquer mudança ocorrida na sonda de ensaio, nos cabos de extensão, no instrumento de ensaio, nos instrumentos de registro ou em qualquer outra parte desse sistema de inspeção deve exigir um novo ajuste.

6.2.2 A configuração do sistema do sistema deve ser confirmada periodicamente:

- a) no início e no fim da jornada de trabalho;
- b) a cada 4 h de trabalhos ou quando houver suspeita nos parâmetros de ajuste e funcionamento do equipamento;
- c) sempre que houver interrupção do ensaio.

6.2.3 Se o sistema for encontrado fora da configuração, conforme especificado na Seção 5, o equipamento deve ser reajustado. O reajuste também deve ser registrado. A análise dos dados deve determinar quais tubos devem ser ensaiados novamente.

6.3 Ajuste para determinar a profundidade das descontinuidades

6.3.1 A profundidade das descontinuidades é indicada, sobretudo, pelo ângulo de fase do sinal que elas produzem no instrumento de ensaio por correntes parasitas. Para o ensaio ser processado, devem ser desenvolvidas curvas de calibração com relação entre a profundidade das descontinuidades artificiais e o ângulo de fase (ver Figura 3).

6.3.2 As descontinuidades artificiais de comparação devem ser preparadas em um segmento de tubo que tenha as mesmas dimensões nominais (diâmetro e espessura de parede) que os tubos a serem ensaiados.

6.3.3 As descontinuidades artificiais devem ter furos passantes, de fundo plano, sulcos ou entalhes usinados com profundidades variáveis.

6.3.4 As tolerâncias para as dimensões das descontinuidades devem ser as mesmas especificadas para os tubos-padrões de referência (ver 4.11.2).

6.3.5 Todas as descontinuidades artificiais devem estar suficientemente distanciadas umas das outras e da extremidade, para que não haja interferência entre os sinais.

6.3.6 As curvas de calibração utilizadas para o dimensionamento das descontinuidades podem ser baseadas nos tubos-padrões de referência (ver 4.12.5) e/ou em outros padrões representativos (ver 4.12.6 e 4.12.7), que devem ser devidamente ensaiados e qualificados.

6.3.7 A amplitude do sinal pode ser utilizada para estimar a profundidade para defeitos que forneçam uma melhor correlação comprovada em experiência anterior. Padrões representativos dos defeitos devem ser usados para gerar uma curva de ajuste amplitude/profundidade.

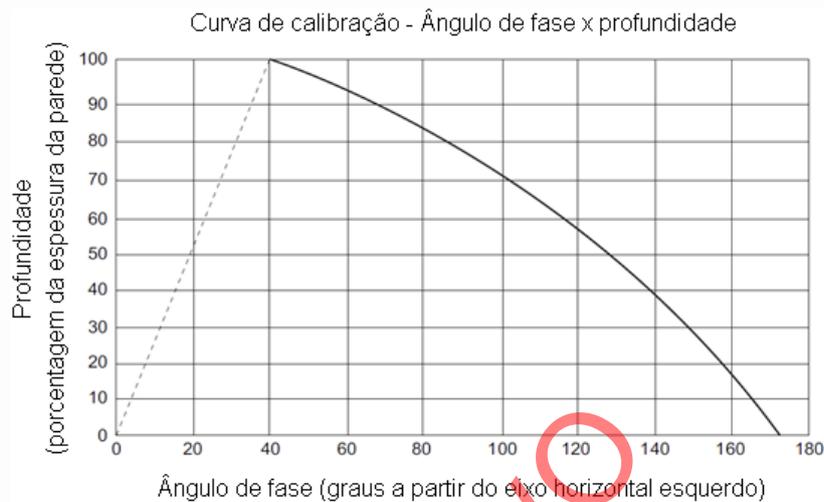


Figura 3 – Exemplo de curva de calibração (ângulo de fase x profundidade da descontinuidade)

7 Ensaio

Quando o registro for requerido, todos os dados devem ser registrados de maneira permanente e não podem ser alterados eletronicamente enquanto a sonda de ensaio percorrer o tubo.

8 Avaliação

8.1 Avaliação dos dados

A avaliação dos dados obtidos é necessária. Esta avaliação deve ser feita de acordo com os requisitos estabelecidos pelo proprietário do equipamento inspecionado.

8.2 Frequências utilizadas para avaliação dos dados

Todas as indicações devem ser avaliadas. Os tipos de indicações que devem ser reportadas devem ser caracterizadas utilizando frequências ou frequências misturadas que foram qualificadas.

9 Documentação

9.1 Relatórios

9.1.1 As indicações reportadas de acordo com os requisitos desta Norma devem ser descritas no mínimo com as seguintes informações:

- localização ao longo do comprimento do tubo e em relação às chicanas;
- profundidade da indicação, quando requerida;
- amplitude do sinal;
- frequência ou frequência misturada pela qual a indicação foi avaliada.

9.1.2 A profundidade máxima da descontinuidade deve ser reportada em termos de porcentagem perdida da espessura da parede do tubo. Quando a perda de espessura da parede do tubo, determinada pelo analista, for menor que 20 %, a porcentagem exata de perda de espessura da parede do tubo não precisa ser reportada, isto é, a indicação pode ser reportada como sendo inferior a 20 %.

9.1.3 As indicações não quantificáveis são reportáveis com aquelas que não podem ser caracterizadas. A indicação deve ser considerada uma descontinuidade até ser comprovado o contrário.

9.1.4 A localização dos suportes, utilizada como ponto de referência no exame por correntes parasitas, deve ser verificada pela utilização de desenhos de fabricação ou pela utilização de alguma técnica de medição.

9.2 Registros

9.2.1 Geral

O meio de registro deve conter as seguintes informações na unidade de dados armazenados:

- a) proprietário do equipamento;
- b) planta e unidade;
- c) identificação do trocador de calor;
- d) número da unidade de armazenamento de dados;
- e) data do ensaio;
- f) número de série do tubo-padrão de referência ;
- g) identificação do operador e nível de certificação;
- h) frequência(s) de ensaio;
- i) modo de operação do instrumento, incluindo a taxa de aquisição, voltagem de alimentação, e ajustes de ganho;
- j) comprimento das sondas e cabos;
- k) dimensões e tipo de sondas;
- l) fabricante da sonda e modelo, ou descrição, da sonda e seu número de série;
- m) número de série do instrumento de correntes parasitas;
- n) direção de escaneamento durante a aquisição de dados;
- o) lado pelo qual o ensaio foi executado - entrada ou saída do trocador de calor;
- p) anel de simulação de defletor de fluxo, se aplicável;
- q) identificação do procedimento e revisão.

9.2.2 Identificação dos tubos

9.2.2.1 Cada tubo examinado deve ser identificado na unidade de armazenamento de dados e deve ser consistente com os desenhos de fabricação e inspeções prévias.

9.2.2.2 O método de gravação da identificação do tubo deve correlacionar a identificação do tubo com os dados gravados do tubo correspondente.

9.2.3 Relatório

9.2.3.1 O proprietário ou seu agente deve preparar um relatório do exame executado. O relatório deve ser preparado, arquivado e mantido de acordo com as normas ou código de referência. Procedimentos e sistemas de correntes parasitas devem ser suficientemente identificados para permitir comparação dos resultados do exame com resultados de novos exames executados em data posterior. Isto deve incluir o registro indicando os tubos examinados (isto pode ser marcado no espelho, em croquis ou desenhos), qualquer limitação de escaneamento, localização e profundidade de cada descontinuidade reportada, e identificação e nível de certificação dos operadores e avaliador de dados que conduziram cada exame ou parte dele.

9.2.3.2 Tubos a serem reparados ou removidos de serviço, com base em ensaios por correntes parasitas, devem ser identificados.

9.2.4 Retenção dos registros

Os registros devem ser mantidos de acordo com os requisitos do código de referência do equipamento ou outra especificação de engenharia fornecida pelo responsável pela integridade estrutural do equipamento.

USO EXCLUSIVO
ABNT/ONS-58
(PROIBIDA A REPRODUÇÃO)