



1. OBJETIVO

1.1 A utilização deste documento destina-se, única e exclusivamente, ao treinamento de candidatos à certificação no método de END e técnica descrita. A aplicação deste procedimento deve ser feita sob a supervisão do N3 responsável pelo treinamento.

1.2 Este documento não deve ser considerado como referência para qualquer trabalho de inspeção em campo.

1.3 Este procedimento estabelece as condições necessárias para a execução do ensaio não destrutivo por meio de Ultrassom, para detecção e dimensionamento de descontinuidades em soldas, sendo aplicável para as seguintes situações:

- Juntas de topo entre chapas e tubos
- Juntas de ângulo em ângulo
- Conexões (Bocais)
- Juntas tubulares (Nós de plataformas)

Este procedimento não é aplicável a juntas soldadas em tubulações do tipo tubo x acessório.

2. NORMAS DE REFERÊNCIA

2.1 Código ASME – Sec. V – Edição 2023

2.2 ASME Sec. VIII Div.1 – Edição 2023 – Vasos de Pressão

2.3 ABNT_NBR ISO 22232-3 Ensaio Não Destrutivos - Caracterização e verificação do equipamento de ensaio por ultrassom - Parte 3: Equipamento combinado – Edição 2022

2.4 ISO 2400 - Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Specification for calibration block No. 1

2.5 ISO 7963:2022 Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Specification for calibration block No.2

2.6 API 1104 22a. edição – 2021 – Welding of Pipelines and Related Facilities

2.7 ASME B31.3 – 2022 – Process Piping

2.8 AWS D1.1 – Structural Welding Code - Steel

2.9 BS – 7910 – Edição 2019 – Guide on methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures.

3. MATERIAL/DIMENSÕES

3.1 Aço carbono e aços de baixa liga com teores de liga até 6%

3.2 Espessuras de 5 mm a 45 mm

3.3 Diâmetro mínimo - 2" ($\varnothing$ ext $\geq$ 60,3 mm)

4. SAÚDE E SEGURANÇA

4.1 Antes da aplicação deste procedimento todas as pessoas envolvidas com a inspeção, devem estar familiarizadas com os conteúdos dos procedimentos de segurança local.

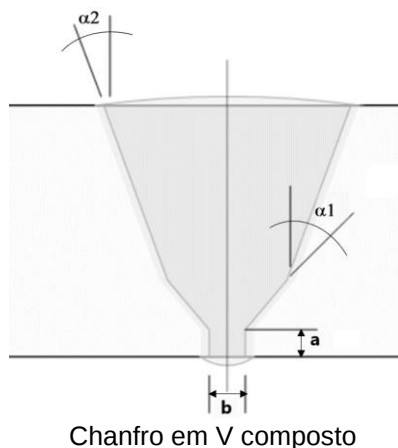
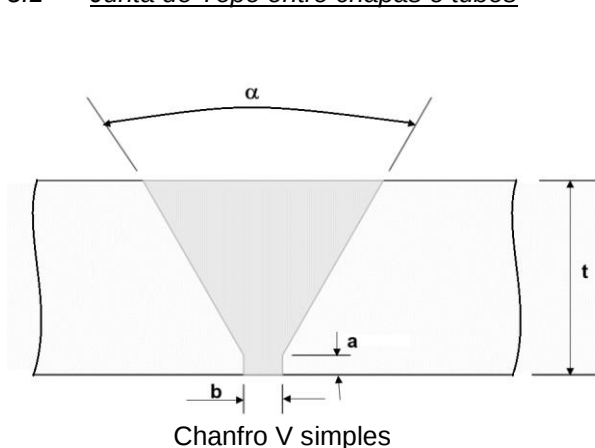
4.2 Em função dos locais de inspeção e dos produtos a serem utilizados, o inspetor deve avaliar a necessidade de uso de EPI's apropriados.

4.3 Toda atividade é executada de forma a minimizar ou evitar os impactos ambientais potenciais.

4.4 Deve ser rigorosamente observado a limpeza da área de trabalho, os materiais quando não forem mais utilizados, devem ser recolhidos e transferidos para locais adequadas.

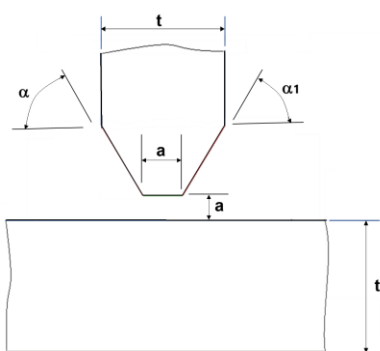
5. DIMENSIONAL, TIPO E DETALHE DE JUNTAS

5.1 Junta de Topo entre chapas e tubos

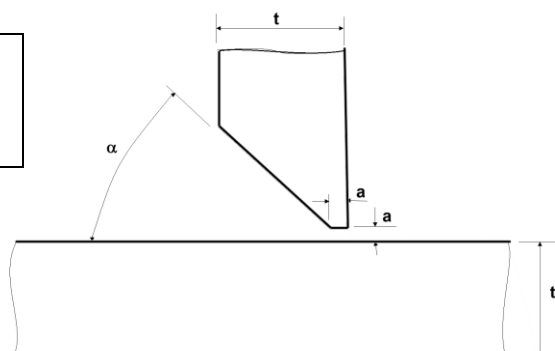


$\alpha = 30^\circ$ a 80°
 $\alpha_1 = 30^\circ$
 $\alpha_2 = 20^\circ$
 $a = 1,6 \pm 0,8 \text{ mm}$
 $b = 2,4 \pm 0,8 \text{ mm}$
 $t = 5$ a 38 mm

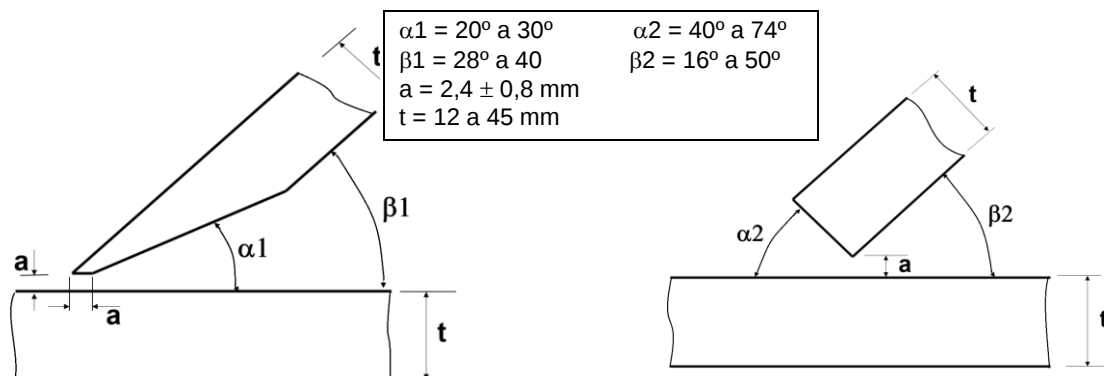
5.2 Junta de ângulo em "T"



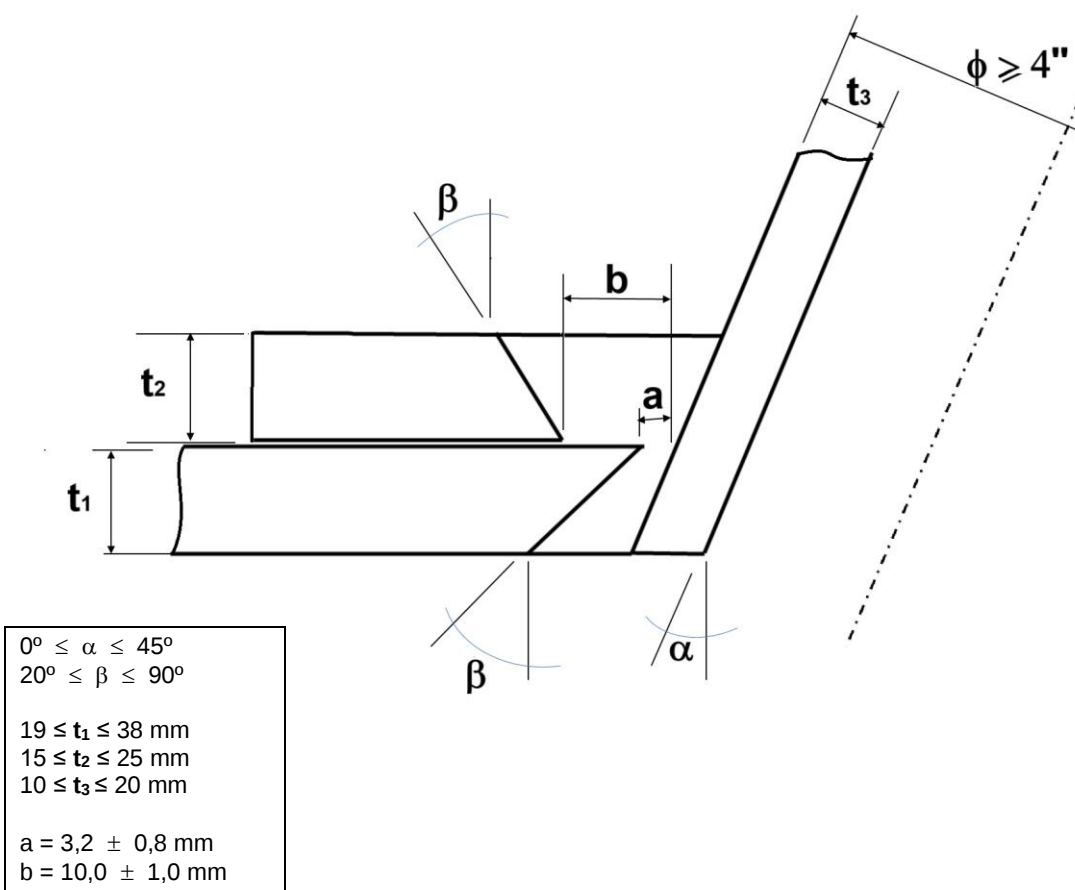
$\alpha = 45^\circ$ a 60°
 $\alpha_1 = 45^\circ$ a 60°
 $a = 2,4 \pm 0,8 \text{ mm}$
 $t = 12$ a 45 mm

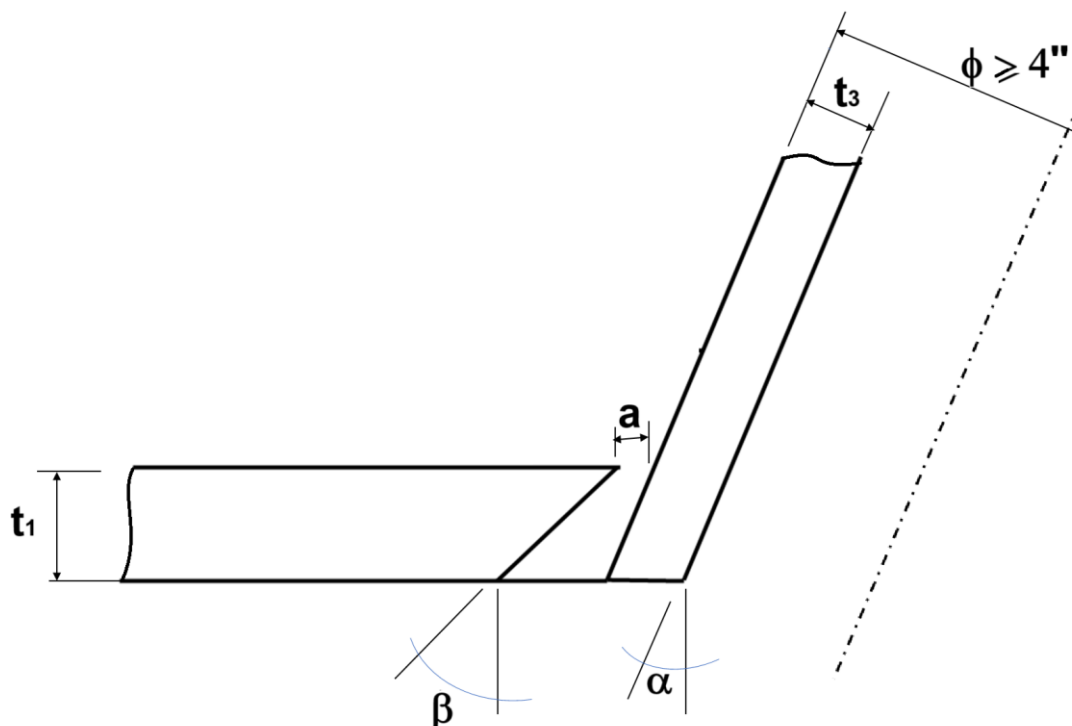


5.3 Junta de ângulo com solda em ângulo

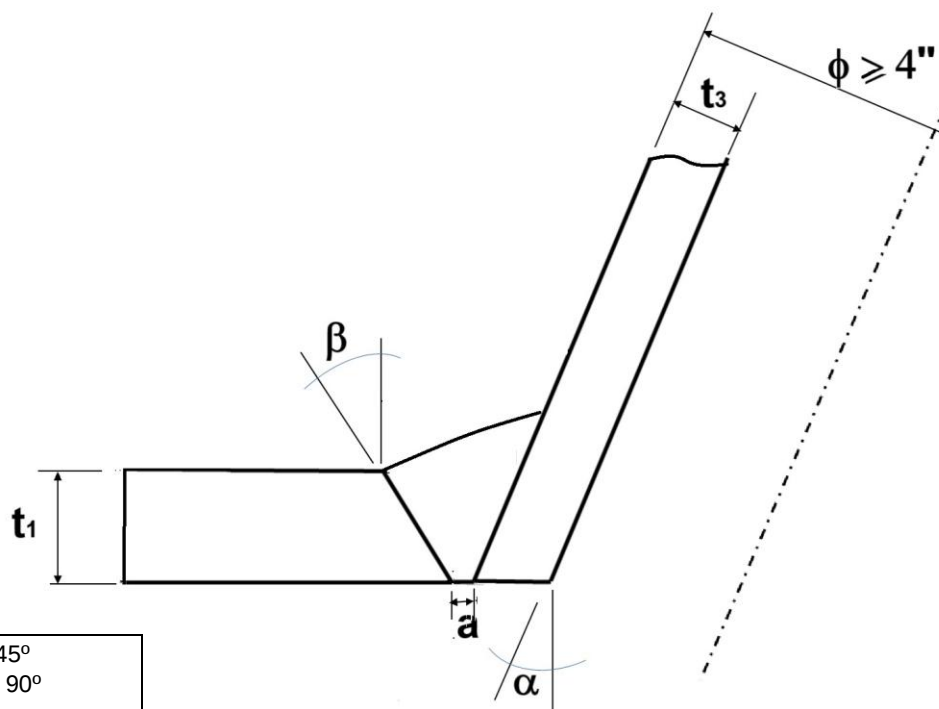


5.3.1 Conexão com chanfro de geometria variável (com e sem chapa de reforço)





Conexão com chanfro de geometria variável (Continuação)



$$0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$$

$$20^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$$

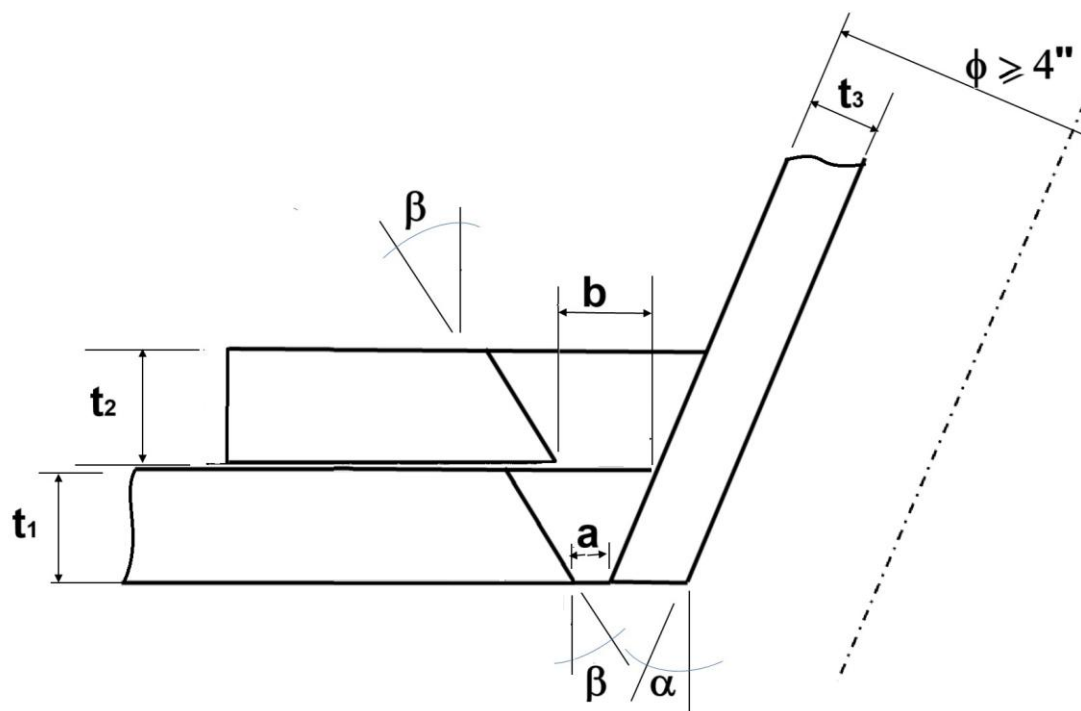
$$19 \leq t_1 \leq 38 \text{ mm}$$

$$15 \leq t_2 \leq 25 \text{ mm}$$

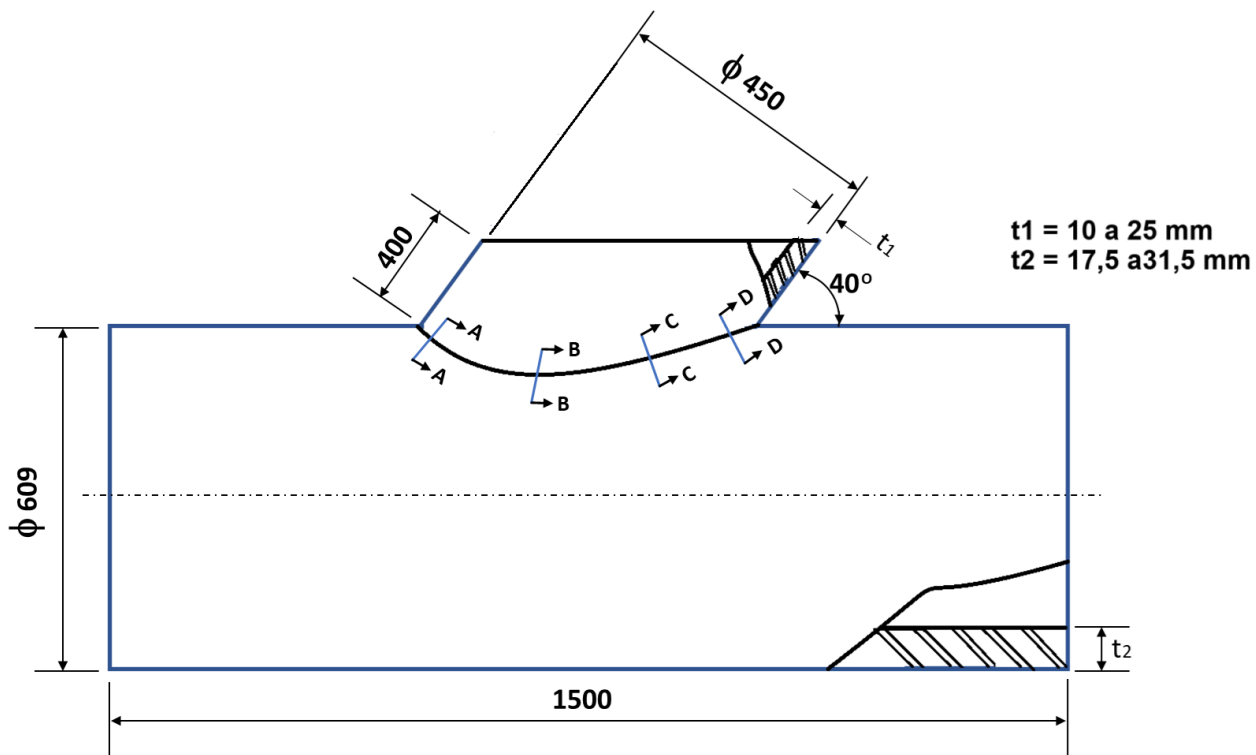
$$10 \leq t_3 \leq 20 \text{ mm}$$

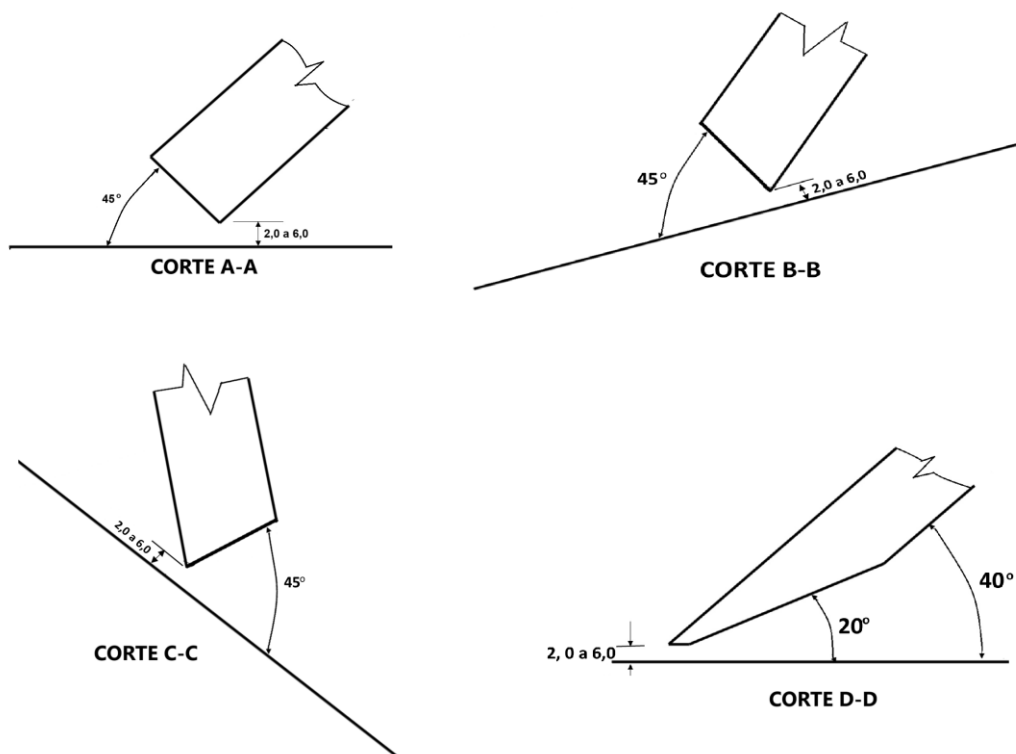
$$a = 3,2 \pm 0,8 \text{ mm}$$

$$b = 10,0 \pm 1,0 \text{ mm}$$



5.4 Junta Tubular (Nó)





Detalhamento dos cortes A-A, B-B, C-C, D-D, da junta tubular

6. APARELHO

6.1 Equipamento deverá estar em conformidade com o Anexo I.

7. CABEÇOTES

7.1 Os cabeçotes a serem utilizados devem ser de 4 MHz.

7.2 Os cabeçotes normais devem ser utilizados para espessuras iguais ou maiores que 25 mm. Para espessuras menores do que 25 mm devem ser utilizados cabeçotes duplo-cristal.

7.3 Os cabeçotes angulares a serem utilizados devem ter o ângulo variando de 35 a 80 graus.

7.4 O ruído máximo permitido é de 10% da altura total da tela.

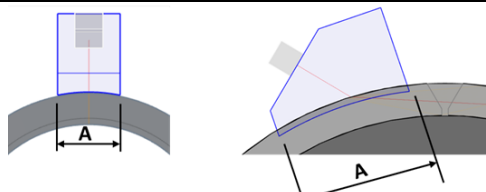
7.5 O ângulo do cabeçote deve ser escolhido observando-se os seguintes requisitos:

- Ser compatível com o detalhe dimensional da junta soldada incidindo o mais perpendicular possível à face do bisel;
- Ser compatível com o tipo de descontinuidade a ser detectada.
- Recomenda-se no mínimo os seguintes ângulos:

ângulo do cabeçote(°)	espessura do material
60 e 70	≤ 15 mm
60 e 70 / 45 e 60	> 15mm e ≤ 25 mm
45 e 60 / 45 e 70	> 25 mm e ≤ 40 mm
45 e 60	> 40 mm

Tabela 1

- d) Conforme exigido por (e) e (f) abaixo, os exames realizados em um componente curvo com diâmetro menor que 14 pol. (350 mm) (na superfície de exame) devem ser realizados usando uma sapata adaptada à curvatura da peça sob inspeção, garantindo desta forma, que seja alcançado o acoplamento ultrassônico suficiente e para limitar qualquer potencial balanço do cabeçote conforme ele é movido ao longo da circunferência do componente.
- e) As sapatas dos cabeçotes devem ser adaptadas à curvatura, conforme exigido pela seguinte equação:

$D \leq \frac{(A \times A)}{2,87 \text{ mm}}$	
---	---

Onde:

A = comprimento da sapata durante a varredura circunferencial ou a largura da sapata durante a varredura na direção axial, mm;

D = o diâmetro do componente na superfície de inspeção (I.D./O.D.), mm

- f) Para a curvatura da sapata, deve ser observado os requisitos da tabelas (2) e (3) abaixo, e deve ser determinada usando a mesma dimensão do componente a partir do qual o exame está sendo realizado (ID ou OD).

φ Real do componente (mm / pol.)	Aumento permitido no diâmetro de curvatura da sapata acima do diâmetro do componente (mm/pol)
< 100 (4")	< 25 (1")
≥ 100 φ ≤ 250 (4" a 10")	< 50 (2")
> 250 (>10")	< 100 (4")

Tabela 2 - Limites de curvatura para exames realizados a partir do diâmetro externo (OD).

φ Real do componente (mm / pol.)	Diminuição permitida no diâmetro de curvatura da sapata abaixo do diâmetro do componente (mm/pol)
< 100 (4")	< 25 (1")
≥ 100 φ ≤ 250 (4" a 10")	< 50 (2")
> 250 (>10")	< 100 (4")

Tabela 3 - Limites de curvatura para exames realizados a partir do diâmetro interno (ID).

7.6 O ponto de emissão e o ângulo real dos cabeçotes angulares devem ser verificados diariamente no bloco padrão V1. O ângulo real pode variar no máximo, mais ou menos 2 graus em relação ao ângulo nominal.

7.7 Os cabeçotes devem apresentar resolução conforme o requerido no anexo I.

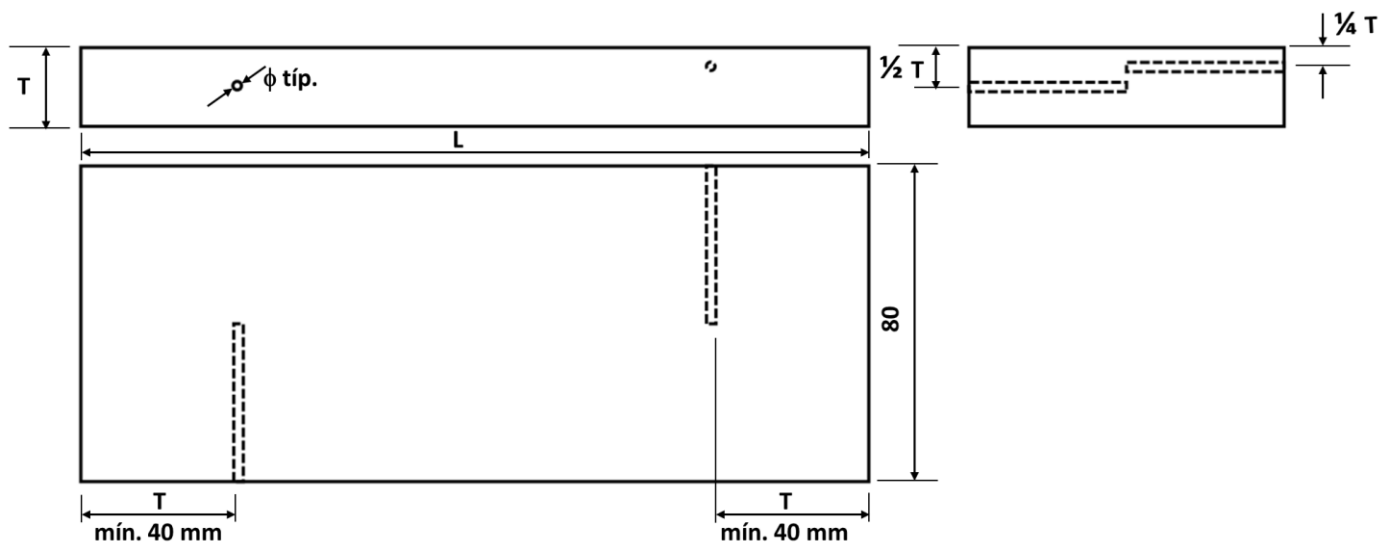
8. MÉTODO DE AJUSTE

8.1 O ajuste da escala de distância deve ser efetuada utilizando-se os blocos V1 ou V2.

8.2 SOLDAS ENTRE CHAPAS PLANAS, JUNTAS DE ÂNGULO, CONEXÕES E JUNTAS TUBULARES (NÓ)

8.2.1 *Bloco de referência* – Para o ajuste da sensibilidade, a traçagem da curva de referência deve ser traçada a partir de um bloco de referência cuja espessura "T" esteja relacionada com a espessura do material a ser ensaiado, como indicado na Figura 1a ou 1b. Quando duas ou mais espessuras "t" compõe a mesma junta soldada, o valor "t" a ser considerado deve ser determinado conforme a seguir:

- Para juntas soldadas de topo e juntas de ângulo em ângulo, "t" deve corresponder a espessura média da solda, entretanto, um bloco de calibração baseado na maior espessura do material de base pode ser usado desde que o diâmetro do refletor de referência seja baseado na espessura média da solda;
- Para juntas de conexões, "t" deve corresponder a espessura média da solda entre o casco e o pescoço, excluindo-se quando existente, a solda da chapa de reforço, entretanto, um bloco de calibração baseado na maior espessura do material de base pode ser usado desde que o diâmetro do refletor de referência seja baseado na espessura média da solda;
- Para juntas tubulares, "t" deve corresponder a menor das espessuras das partes envolvidas, entretanto, quando a condição selecionada for inviável em função do alcance de varredura, a calibração deverá ser efetuada utilizando-se o bloco de referência de maior espessura, porém com refletor equivalente à espessura "t" conforme os itens "a", "b" ou "c" acima.



Espessura da junta (t) mm(pol)	Espessura do bloco básico de referência (T) mm (pol.)	Diâmetro do furo mm (pol)
igual ou inferior a 25 (1")	20 (3/4") ou t	2,4 (3/32")
acima de 25(1") e até 50 (2")	38 (1 1/2") ou t	3,2 (1/8")

Figura 1a – Bloco de referência

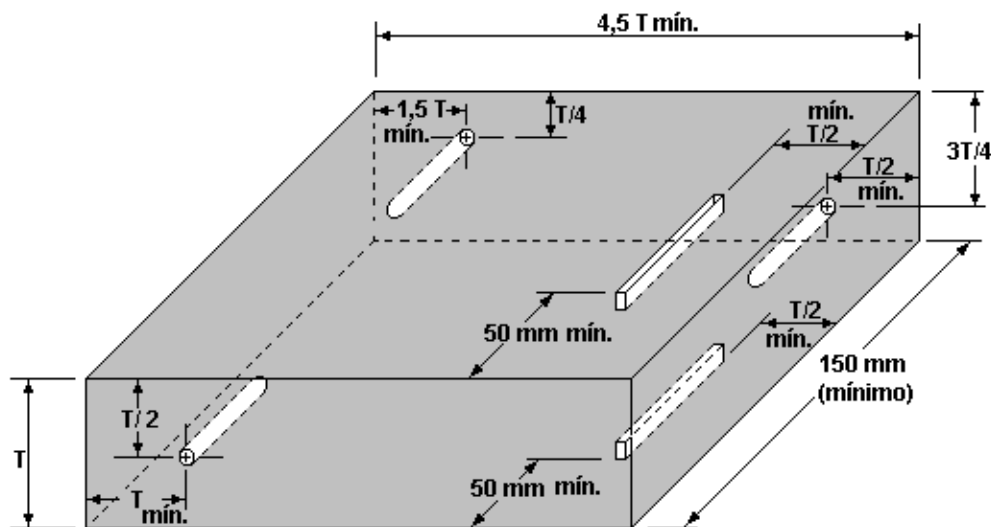


Figura 1b

Espessura da junta (t) mm(pol)	Espessura do bloco básico de calibração (T) mm (pol.)	Diâmetro do furo mm (pol)	Dimensões do entalhe (Aplicável somente ao bloco 1b) mm (pol.)
igual ou inferior a 25 (1") acima de 25(1") e até 50 (2")	20 (3/4") ou t 38 (1 1/2") ou t	2,4 (3/32") 3,2 (1/8")	Profundidade do entalhe = 2% T Largura do entalhe = 6,4 (1/4") Comprimento do entalhe = 25 (1")

Notas:

- (1) Os furos devem ter uma profundidade mínima de 40 mm, e essencialmente paralelos à superfície de exame.
- (2) A tolerância do diâmetro deve ser mais ou menos 0,1 mm. A tolerância na localização do furo, ao longo da espessura deve ser mais ou menos 1,0 mm.

8.2.2 Se a varredura for efetuada numa superfície cilíndrica, numa direção ortogonal ao eixo desta, e a superfície de contato tem um diâmetro externo de curvatura menor ou igual a 500mm, o diâmetro externo de curvatura de bloco de referência deve ser o mesmo da superfície de contato. A tolerância no diâmetro externo de curvatura da superfície a ser inspecionada é de 0,9 a 1,5 vezes o diâmetro do bloco de referência (Figura 2).

FIGURA 1b – Bloco de referência ASME

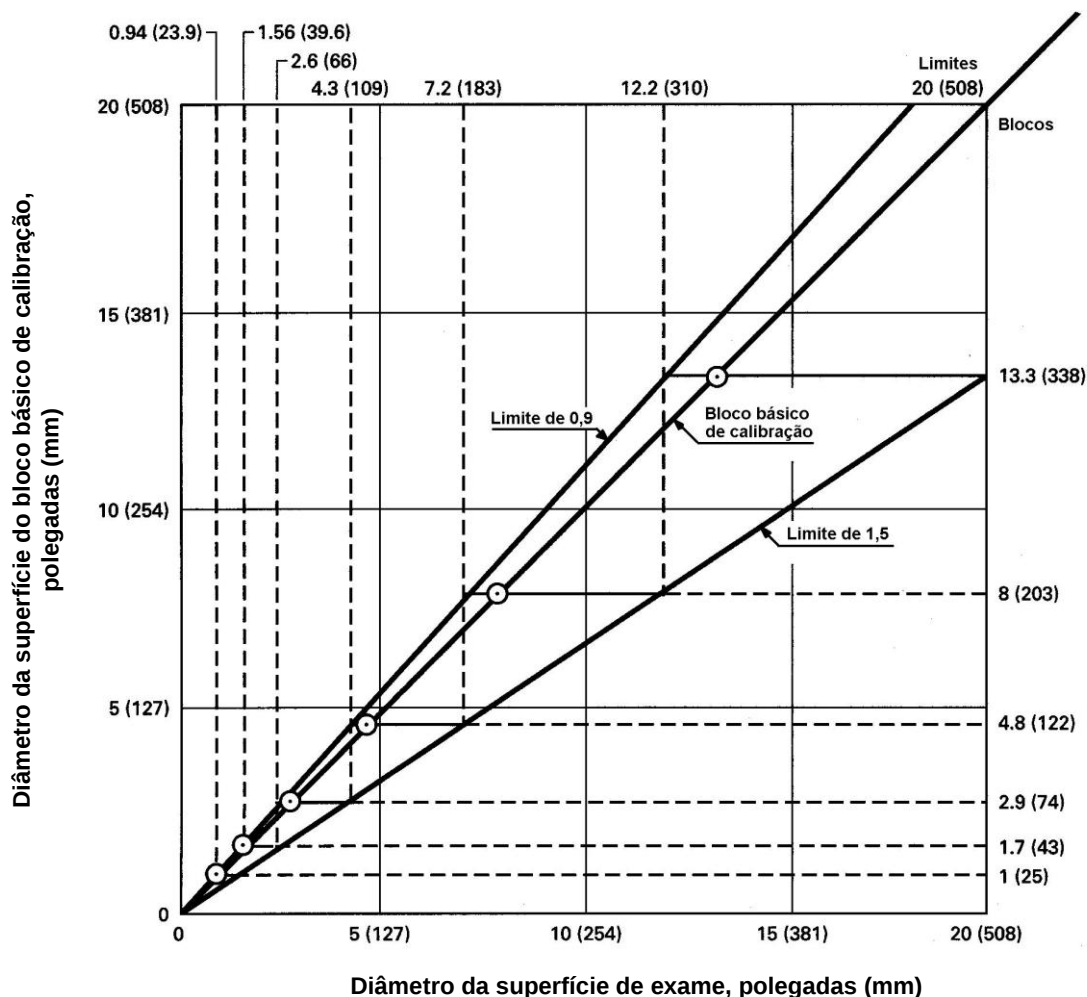


FIGURA 2 – Blocos de Referência Curvos

Procedimentos da seleção do diâmetro de curvatura dos blocos de referência:

- Marcar o diâmetro (de curvatura) da superfície do bloco de referência na linha diagonal;
- Traçar, pelo ponto marcado, uma linha horizontal ligando a diagonal às linhas dos limites 0,9 e 1,5;
- O segmento de reta, compreendido entre as linhas dos limites 0,9 e 1,5, representa, na escala horizontal, a faixa de diâmetros (de curvatura) das superfícies que podem ser examinadas com um sistema calibrado mediante o emprego desse bloco.

Nota: Devem ser também atendidos os requisitos para faixas de espessuras.

8.2.3 Ajuste da sensibilidade para cabeçotes normais/duplo-cristal

8.2.3.1 – Na inspeção do metal de base (região adjacente à solda) com cabeçote normal/duplo-cristal, o ajuste deve ser feito colocando-se o primeiro eco de fundo a 80% da altura total da tela.

8.2.3.2 Para inspeção de soldas e suas consequências e confecção das curvas de referência para cabeçotes normais/duplo cristal, deve ser feita conforme sequência descrita a seguir (ver Figura 3):

- Posicionar o cabeçote de modo a maximizar o eco do furo que proporcione a maior amplitude;
- Ajustar o controle de ganho de modo a se obter deste furo uma indicação com 80% de altura da tela, marcando o pico desta indicação na tela; o ganho é chamado de ganho primário (GP);
- Sem alterar o ganho, posicionar o cabeçote sobre os demais furos, marcando as respectivas amplitudes na tela;

- d) Interligar as marcações de modo a se obter a curva de referência primária;
- e) Traçar as curvas de 50% e 20% da amplitude da curva de referência primária, reduzindo-se o ganho em 6 dB e 14 dB em relação ao ganho primário.

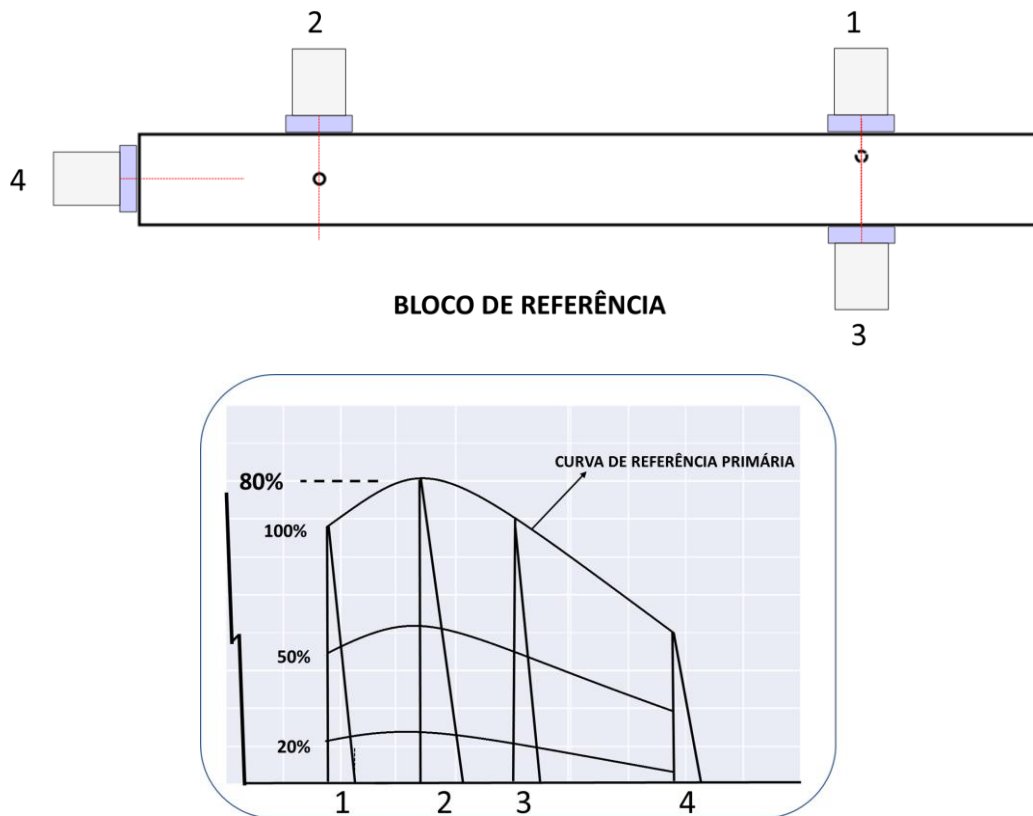


FIGURA 3 – Curvas de Referência – Cabeçote Normal e Duplo-Cristal

8.2.4 Ajuste da sensibilidade para cabeçotes angulares – A construção das curvas de referência para cabeçotes angulares deve ser feita conforme sequência descrita a seguir (ver Figura 4):

- a) Posicionar o cabeçote de modo a maximizar o eco do furo que proporcione a maior amplitude;
- b) Ajustar o controle de ganho de modo a se obter deste furo uma indicação com 80% da altura da tela; o ganho, chamado de ganho primário (GP);
- c) Sem alterar o ganho, posicionar o cabeçote de modo a se obter a resposta nas demais posições, marcando suas amplitudes na tela;
- d) Interligar as marcações de modo a se obter a curva de referência primária;
- e) Traçar as curvas de 50% e 20% da amplitude da curva de referência primária, reduzindo o ganho em 6 dB e 14 dB em relação ao ganho primário (GP).

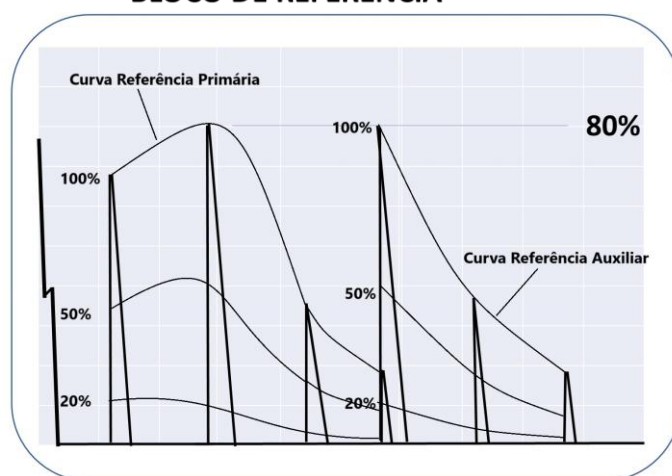
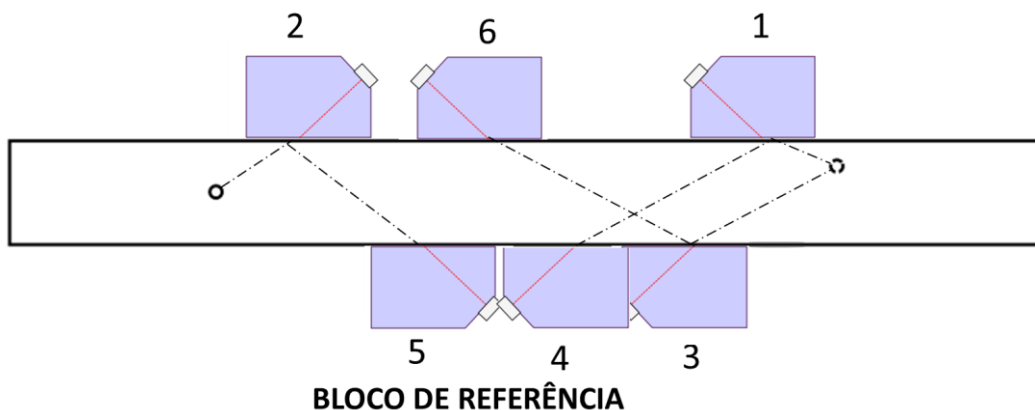


FIGURA 4 – Curvas de Referência – Cabeçote Angular

8.2.5 Se na traçagem da curva de referência, os últimos pontos ficarem abaixo de 20% de altura da tela, deve ser construída uma nova curva a partir destes pontos, denominada curva de referência auxiliar, como segue:

- Selecionar no bloco de referência o primeiro eco cuja altura seja igual ou inferior a 20% da altura da tela;
- Elevar este eco até 80% da altura da tela, utilizando-se o controle de ganho (este novo ganho é chamado ganho auxiliar - GA);
- Sem alterar o ganho, obter os ecos dos furos, com percursos maiores, marcando suas amplitudes na tela;
- Interligar as marcações de modo a se obter a curva de referência auxiliar.

8.2.6 A área da curva de referência entre o zero da escala e o seu primeiro ponto "1" (ver Figuras 3 e 4), não deve ser utilizada para avaliação de descontinuidades. Não há, entretanto, nenhum inconveniente em utilizá-la para detecção de descontinuidades, que devem, porém, ser avaliadas dentro da região útil da curva de referência.

8.3 SOLDAS DE TUBULAÇÃO

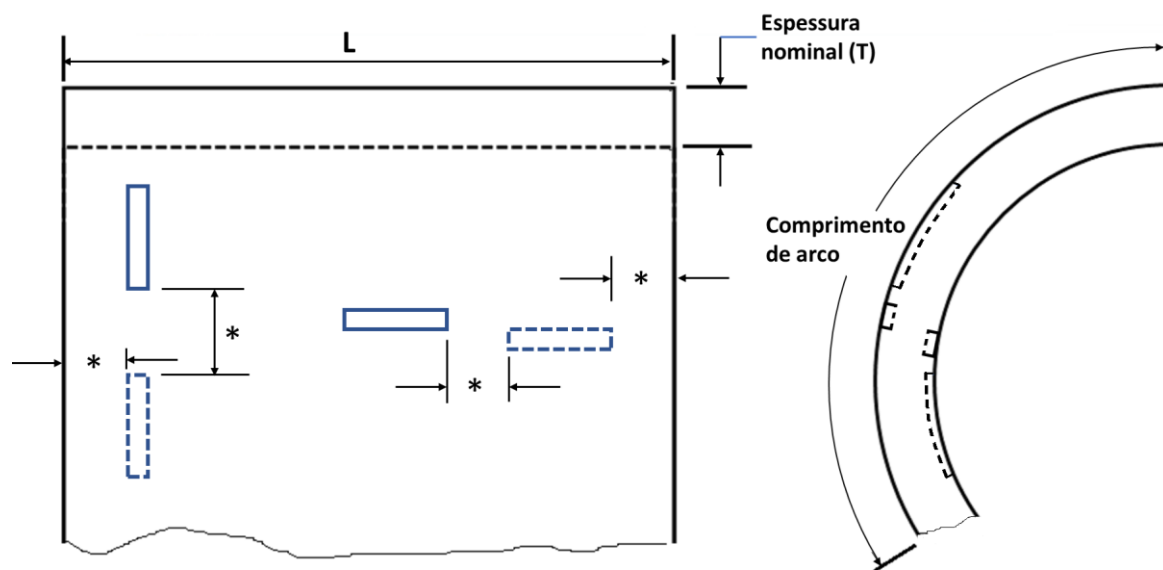
8.3.1 *Bloco de referência* – O ajuste da sensibilidade e a traçagem da curva de referência devem ser feitas em um bloco de referência que deve ter uma configuração como mostra a figura 5. O bloco de referência deve ter, preferivelmente, o mesmo diâmetro e espessura da tubulação a ser inspecionada.

8.3.2 Quando o bloco não for do mesmo diâmetro e espessura da tubulação a ser inspecionada, o mesmo deve atender as seguintes características:

- O diâmetro da tubulação a ser inspecionada deve estar dentro de uma faixa de 0,9 a 1,5 vezes o diâmetro do bloco de referência utilizado no ajuste da sensibilidade;

- b) A espessura T do bloco de referência deve ser $\pm 25\%$ da espessura nominal do componente a ser examinado. O tamanho do bloco e as localizações dos refletores devem ser adequados para executar calibrações para o(s) ângulo(s) do feixe e caminho(s) sônico(s) a serem usados.

Nota: - quando a espessura a ser inspecionada for menor do que a do bloco de referência, cuidado deve ser tomado quanto a extensão da varredura (1 pulso) indicada na figura 10 pois o 1º ponto da curva estará depois da incidência na raiz da solda, necessitando, portanto, efetuar a varredura com 1 1/2 pulsos para cobertura com sensibilidade adequada na região da raiz.



* Os entalhes devem ser localizados a uma distância não menor que “T” ou 25 mm, a que for maior, em relação a qualquer lado do bloco ou outro entalhe.

Notas:

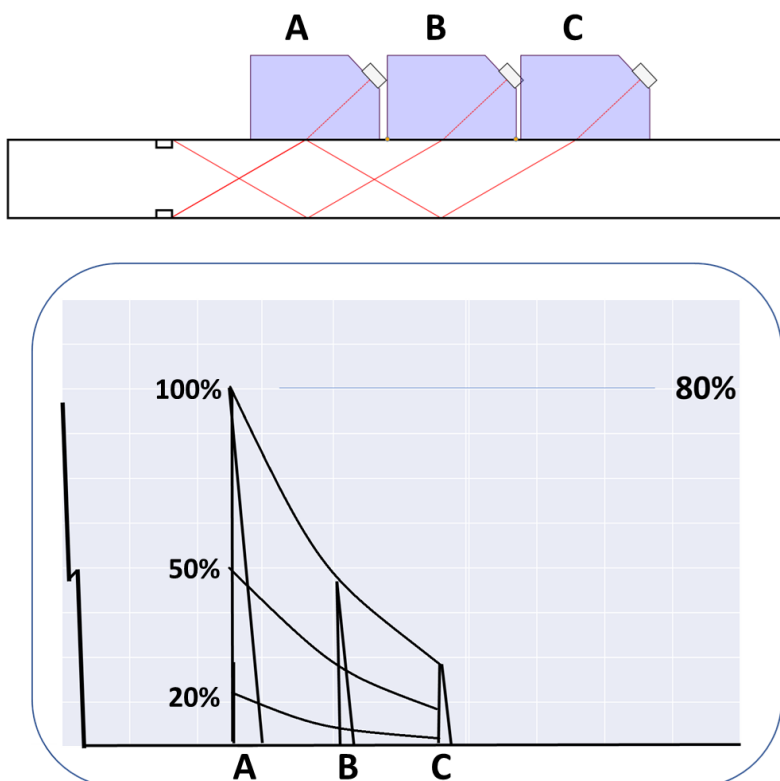
- (1) O mínimo comprimento do bloco (L) deve ser 203 mm ou 8T, o que for maior
- (2) Para diâmetro externo de 102 mm ou menor, o comprimento mínimo de arco deve ser 270 graus. Para diâmetro externo maior que 102 mm, o comprimento mínimo de arco deve ser 203 mm ou 3T, o que for maior.
- (3) Profundidade dos entalhes deve ser de 10% da espessura T, não podendo ser menor do que 8% da espessura T até um máximo de 11% da espessura T. A largura do entalhe deve ser no máximo 6,4 mm. O comprimento dos entalhes deve ser de no mínimo 25 mm.

FIGURA 5 – Bloco de referência para tubulação

8.3.3 Ajuste da sensibilidade para cabeçotes normais/duplo-cristal – Na inspeção do metal de base (região adjacente à solda) com cabeçote normal/duplo-cristal, o ajuste deve ser feito colocando-se o primeiro eco de fundo a 80% da altura total da tela.

8.3.4 Ajuste da sensibilidade para cabeçotes angulares – A construção das curvas de referência para cabeçotes angulares deve ser feita conforme seqüência descrita a seguir (ver Figura 6):

- a) Posicionar o cabeçote de modo a maximizar o entalhe posicionado no diâmetro interno (1/2 pulso);
- b) Ajustar o controle de ganho de modo a se obter deste entalhe uma indicação com 80% da altura da tela; o ganho, chamado de ganho primário (GP);
- c) Sem alterar o ganho, posicionar o cabeçote de modo a se obter a resposta do entalhe posicionado no diâmetro externo (1 pulso) e posteriormente obter a resposta referente ao entalhe posicionado no diâmetro interno com um percurso equivalente a 1,5 pulsos;
- d) Interligar as marcações de modo a se obter a curva de referência primária;
- e) Traçar as curvas de 50% e 20% da amplitude da curva de referência primária, reduzindo o ganho em 6 dB e 14 dB em relação ao ganho primário (GP).



Nota: Para a varredura transversal utilizar os entalhes usinados de maneira perpendicular ao eixo do tubo e para a varredura executada com o cabeçote aproximadamente paralelo a margem da solda, deverá ser utilizado os entalhes posicionados de maneira longitudinal ao eixo do tubo.

FIGURA 6 – Curva de Referência – Tubulação

8.4 CORREÇÃO DAS PERDAS POR TRANSFERÊNCIA

8.4.1 A correção devido à perda por transferência para cabeçotes normais e duplo-cristal deve ser executada da seguinte maneira:

- Maximizar um eco de fundo do bloco de referência e com o auxílio do controle de ganho, posicioná-lo a 80% da altura total da tela do aparelho;
- Com o mesmo ganho, posicionar o cabeçote na peça a ser examinada;
- Verificar a diferença na altura dos ecos em decibéis, sendo esta diferença denominada perda por transferência (PT), que deve ser acrescida ou diminuída no ganho primário;
- Ganho resultante é denominado ganho corrigido ($GC = GP + PT$)

8.4.2 A correção devido à perda por transferência para cabeçotes angulares deve ser executada da seguinte maneira:

- Com o auxílio do bloco de referência, deve ser traçada a curva mostrada na Figura 7, com dois cabeçotes, um como emissor e outro como receptor, de mesmo ângulo, frequência tipo e fabricante.
- Os cabeçotes devem ser posicionados conforme Figura 7, de modo a se obter o sinal E/R1, sendo o sinal maximizado e colocado a 80% de altura da tela;
- Sem alterar o ganho, os sinais das posições E/R2 e E/R3 devem ser marcados na tela;
- Interligar os pontos de E/R1 e E/R3 obtendo-se uma curva sobre a tela;
- Com o mesmo ganho, posiciona-se os cabeçotes na peça a ser examinada (ver Figura 7), na posição E/P1 e se a altura do eco deste posicionamento for igual à altura da curva (alínea b), não são necessárias correções;
- Havendo diferenças, ajusta-se a altura encontrada no material da peça para a mesma altura da curva (alínea b) e anota-se o número de decibéis (PT) que devem ser acrescidos ou diminuídos no ganho primário;
- Ganho resultante é denominado ganho corrigido ($GC = GP/GA + PT$).

Notas:

- (1) A verificação da perda por transferência deve ser feita na peça, na mesma superfície e direção que será executada a varredura.
- (2) No caso de soldas de tubulação (bloco curvo) não é necessária a traçagem da curva citada na figura 7. A verificação das perdas por transferência deve ser feita utilizando-se apenas comparação do pulso completo.

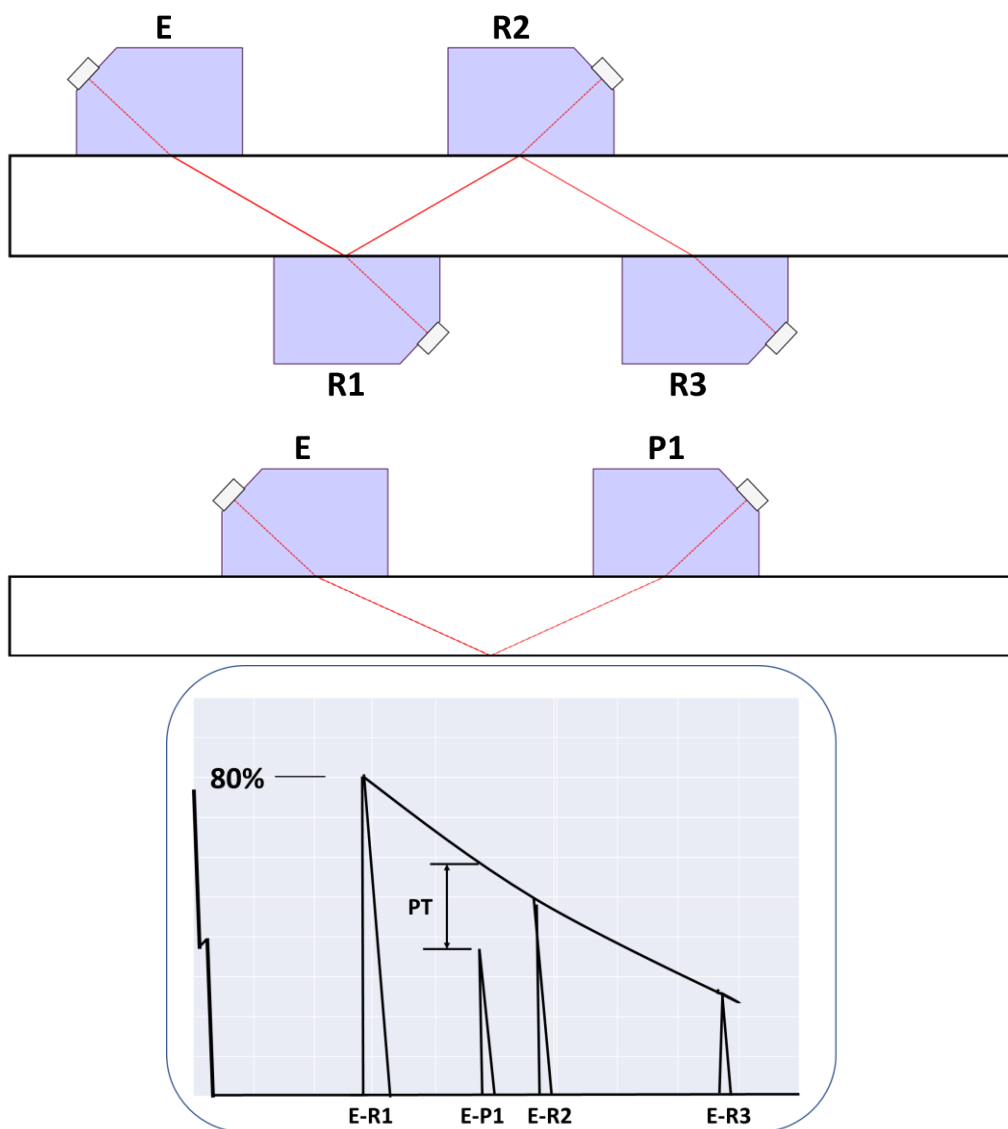


FIGURA 7 – Correção da Perda por Transferência

8.4.3 O ganho para varredura deve ser o ganho corrigido acrescido de 6 dB. Para avaliação de descontinuidades, o ganho deve ser o ganho corrigido, sem o acréscimo de 6 dB.

9. TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E DO BLOCO DE REFERÊNCIA

9.1 A temperatura da superfície deve estar entre 0° e 55°C.

9.2 A diferença de temperatura entre a superfície de ensaio e o bloco de referência utilizado não deve ser superior a 14°C.

10. CONDIÇÃO SUPERFICIAL E PREPARAÇÃO

A superfície, na área de varredura, deve estar livre de respingos de solda, óxidos, carepa de laminação, oxidação, etc. que possam interferir no acoplamento satisfatório e na movimentação do cabeçote.

11. ACOPLANTES

Deve ser utilizado Carboxi-Metil-Celulose. O mesmo acoplante utilizado na calibração deve ser utilizado na inspeção das soldas.

12. TÉCNICA DE VARREDURA

12.1 A região do metal de base a ser percorrida pelas ondas do cabeçote angular deve ser primeiramente inspecionada com cabeçote normal/duplo cristal para se pesquisar a existência de descontinuidades paralelas à superfície que caso existam, devem ser registradas e consideradas na realização do ensaio com cabeçotes angulares.

12.2 Para a varredura das soldas, devem ser empregados no mínimo 2 cabeçotes angulares de ângulos diferentes sendo que um deles deve incidir o mais perpendicular possível à face do bisel. Para a escolha dos cabeçotes deve-se observar a recomendação feita no item 7.

12.3 No ensaio de juntas de ângulo, devem ser utilizados os cabeçotes duplo-cristal ou normal e um cabeçote angular de 45° pela superfície 3.

12.4 Para juntas tubulares, a varredura deverá ser feita utilizando-se os três ângulos, 45, 60 e 70°.

12.5 Para conexão, devem ser empregados os cabeçotes de 45 °, 60 ° e 70° na varredura pela superfície 2 e 3. Pela superfície 1B deve ser utilizado o cabeçote normal ou duplo-cristal.

12.6 A varredura para detectar descontinuidades transversais (figura 18) deve ser realizada preferencialmente sobre o reforço usinado. Se não for possível remover o reforço, a varredura deve ser realizada com o cabeçote o mais paralelo possível ao cordão de solda (10 °) ou com 2 cabeçotes de mesmo ângulo, à 45° do eixo da solda, operando no modo emissor-receptor (*pitch-catch*).

12.7 A varredura deve ser executada com uma sobreposição mínima de 15% da largura do cabeçote e a velocidade de inspeção não deve ser superior a 150 mm por segundo.

12.8 A área e a técnica de varredura devem estar de acordo com as Figuras 10 a 19.

12.9 Em juntas circunferenciais de tubos com diâmetro $\leq 6"$, a raiz deve ser examinada com cabeçote de 70 graus posicionado de tal maneira que o feixe sônico atinja a raiz na linha de centro da solda, (ver figura 8). O cabeçote deve então ser movimentado paralelamente ao eixo do cordão de solda em ambos os lados desta. Para facilitar o posicionamento do cabeçote, devem ser produzidas marcações permanentes a 50 mm de distância da face da raiz (ver figura 9).

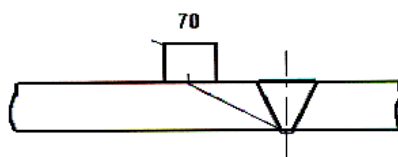


FIGURA 8 – Varredura da Raiz

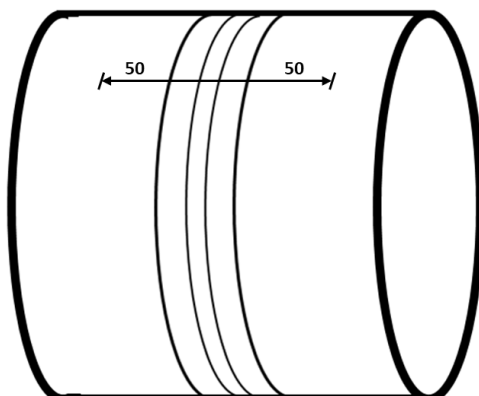


FIGURA 9 – Marcas referenciais para o posicionamento do cabeçote

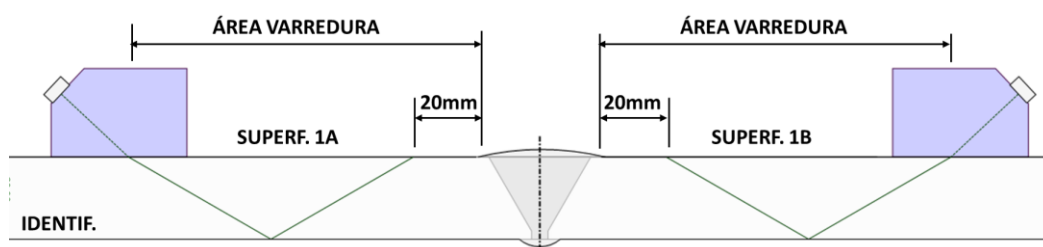


FIGURA 10 – Junta de Topo

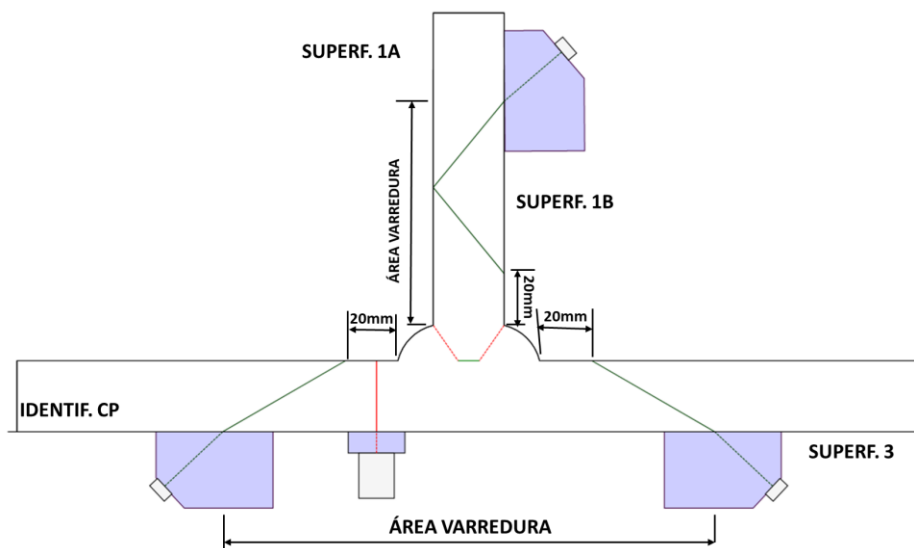


FIGURA 11 – Junta de Ângulo em T

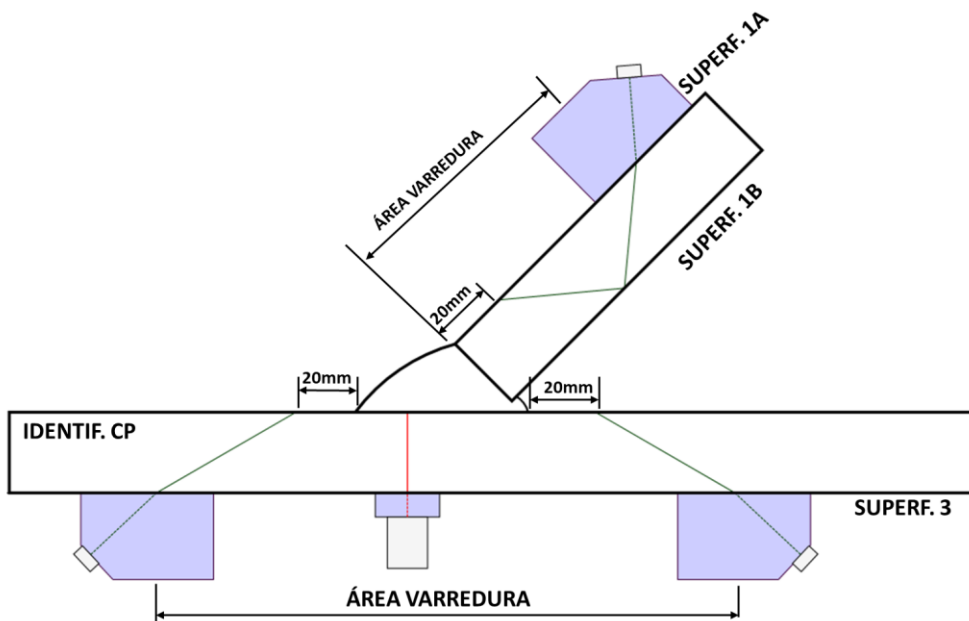


FIGURA 12 – Junta de Ângulo com solda em Ângulo

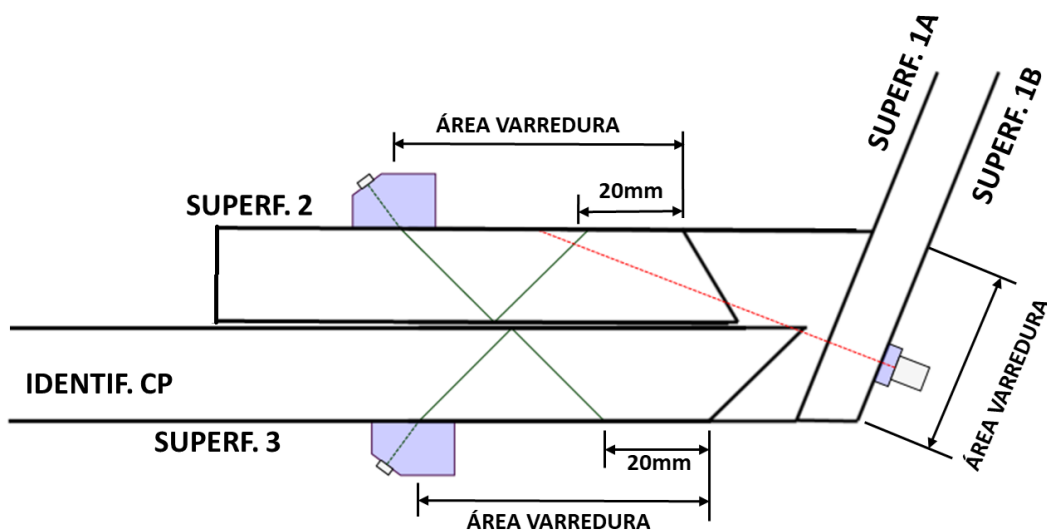


FIGURA 13 – Conexão com Chanfro de Geometria Variável

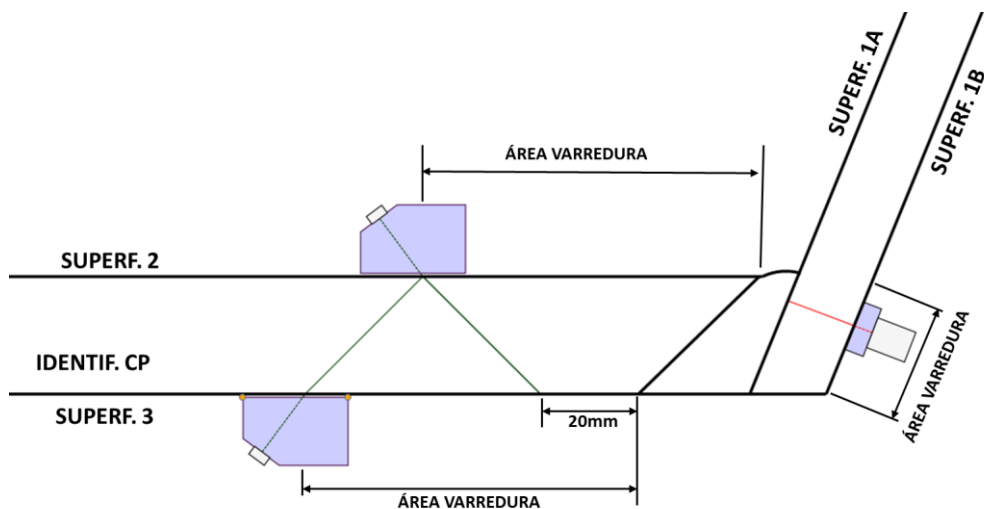


FIGURA 14 – Conexão com Chanfro de Geometria Variável

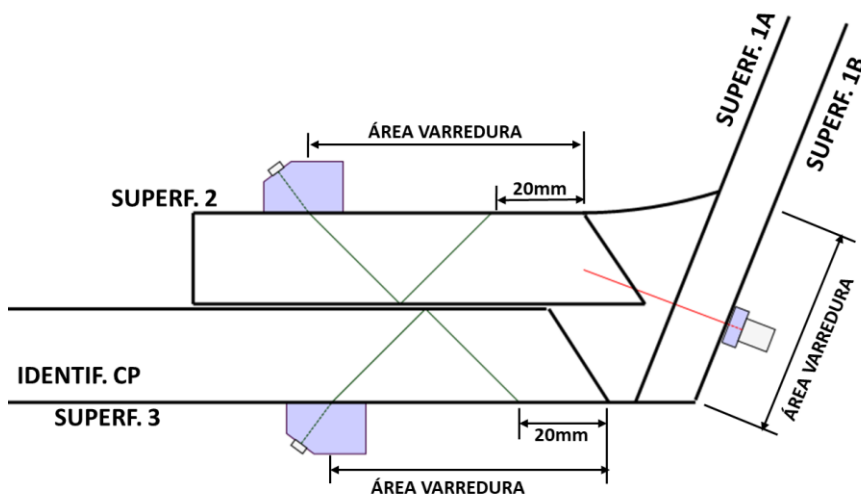


FIGURA 15 – Conexão com Chanfro de Geometria Variável

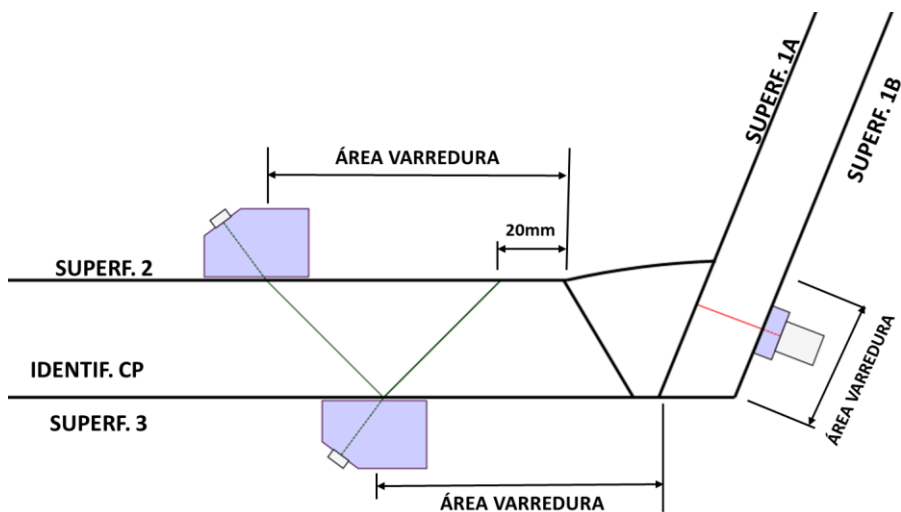


FIGURA 16 – Conexão com Chanfro de Geometria Variável

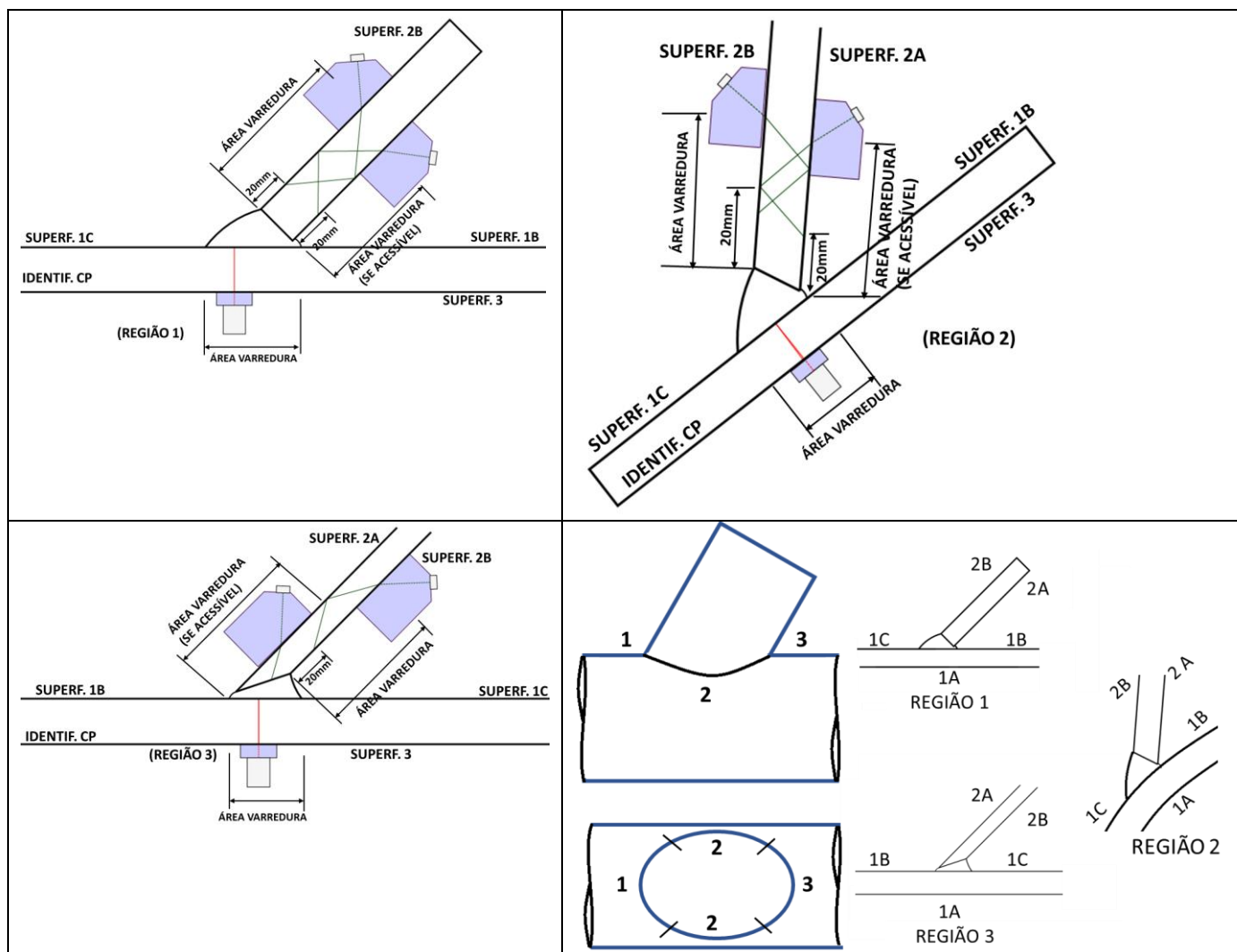
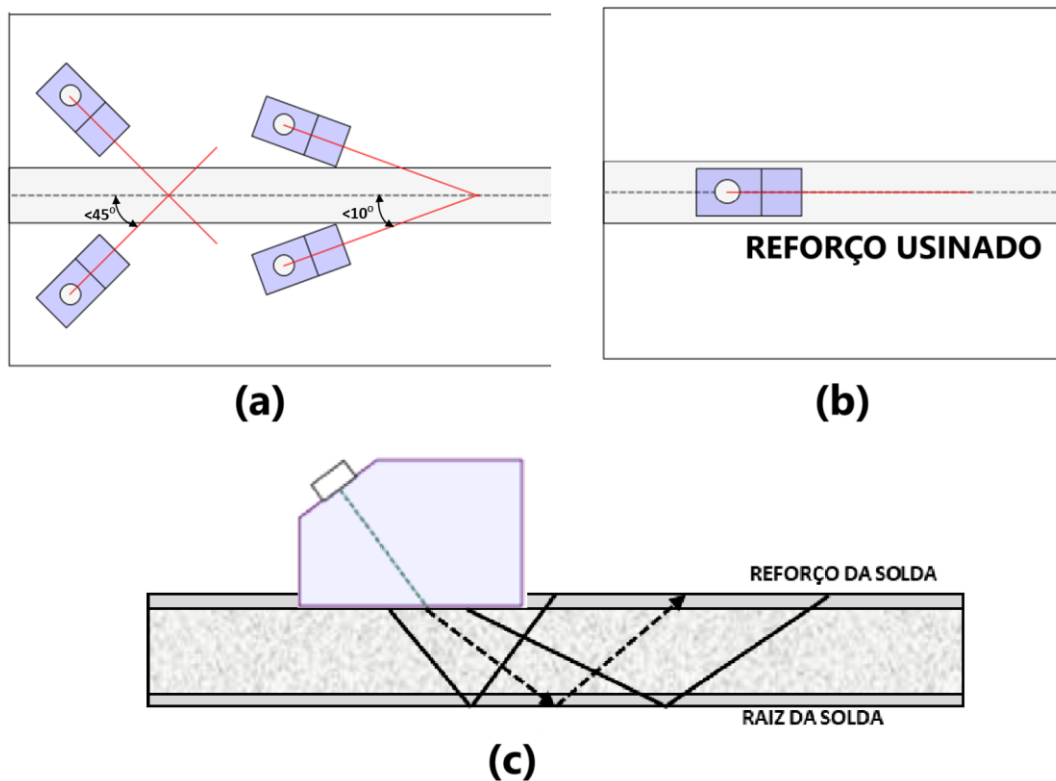


FIGURA 17 – Junta tubular



- (a) solda com reforço
(b) solda com reforço usinado
(c) seção transversal mostrando a incidência do feixe

FIGURA 18 – Varredura para detecção de descontinuidades transversais

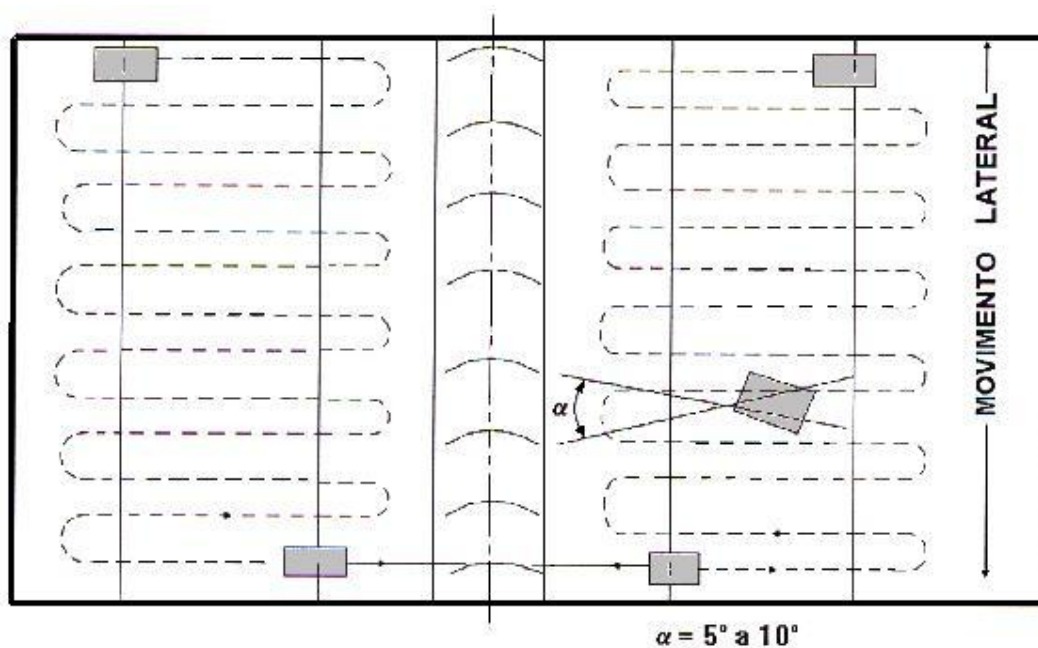


FIGURA 19 – Varredura para detecção de descontinuidades longitudinais e movimentação do cabeçote

13. REQUISITOS ADICIONAIS

Como um auxílio na localização e interpretação das indicações detectadas durante a varredura recomenda-se a utilização de recursos gráficos em escala real. Quando utilizado este recurso deve ser utilizado o perfil do feixe sônico dos cabeçotes utilizados (por exemplo o feixe de 20 dB).

14. MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS DESCONTINUIDADES

14.1 O comprimento das descontinuidades registráveis será determinado pelo método da queda dos 6 dB. O dimensionamento será feito pela aplicação do método nas extremidades da descontinuidade, considerando-se o eco mais próximo de cada extremo.

14.2 Quando requerido o dimensionamento da altura das descontinuidades, o mesmo deverá ser realizado pelo método mais adequado ao tipo, característica e localização da descontinuidade. As seguintes técnicas devem ser aplicadas pela seguinte ordem de preferência: - difração, máxima amplitude, queda dos 3 dB, queda dos 12 dB, queda dos 20 dB.

14.3 A figura 20 apresenta o bloco a ser utilizado na traçagem do perfil do feixe sônico pela queda dos 20 dB.

14.4 A figura 21 apresenta o bloco a ser utilizado na traçagem do perfil do feixe sônico pela queda dos 12 dB.

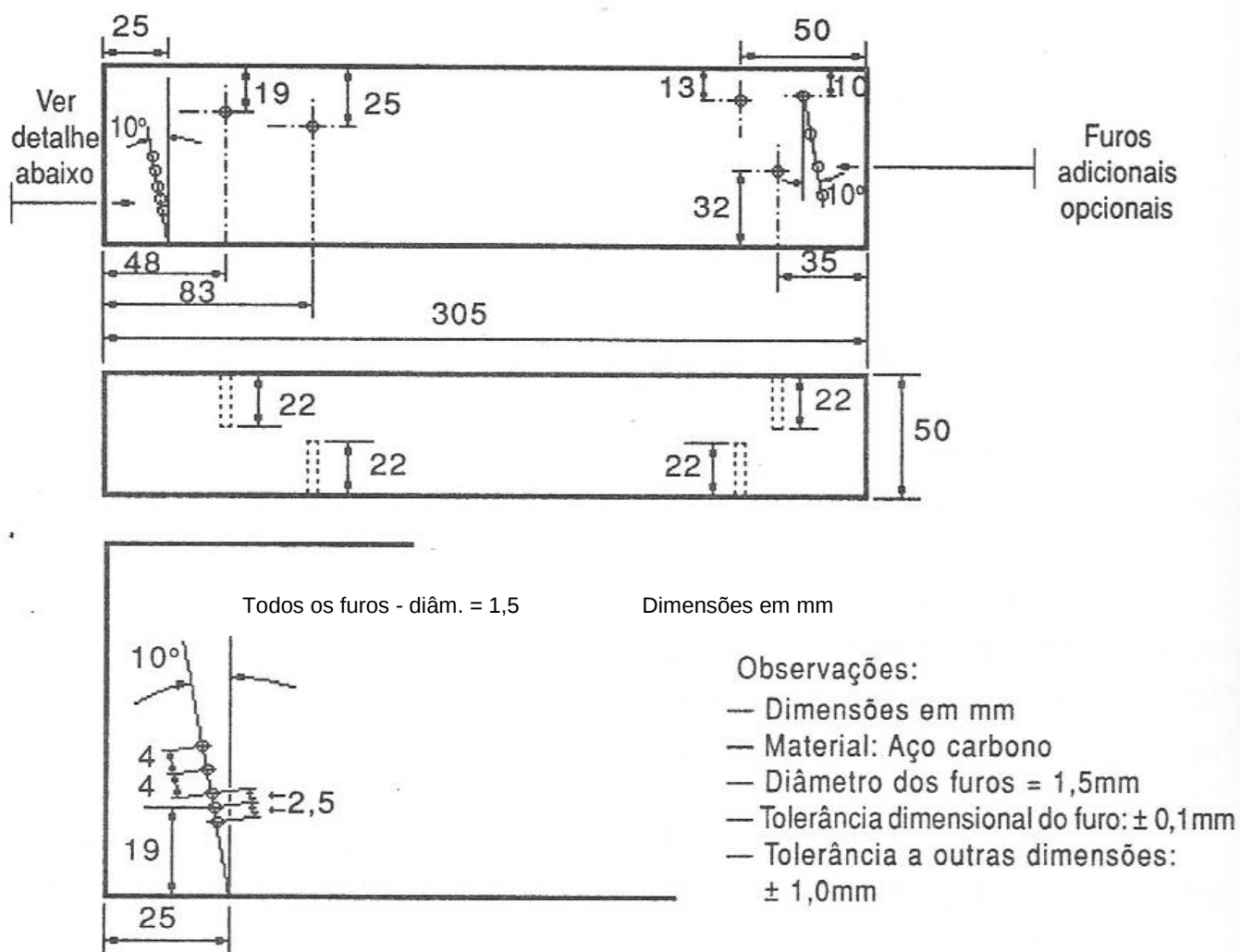
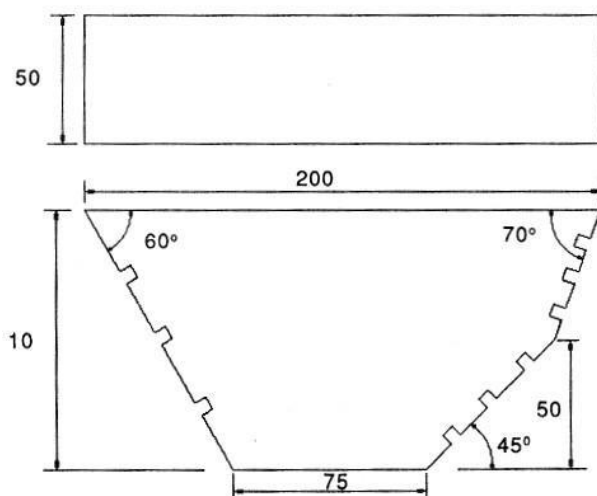


FIGURA 20 – Bloco para determinação do perfil do feixe de 20 dB



Notas (relativo à figura)

Dimensões em mm

Material: Aço Carbono

Entalhes de 5 x 5 mm

Tolerância dimensional do entalhe $\pm 0,1$ mm

Tolerância para as demais dimensões $\pm 1,0$ mm

FIGURA 21 – Bloco para determinação do perfil do feixe sônico de 12 dB

15. CRITÉRIO DE REGISTRO E ACEITAÇÃO DE DESCONTINUIDADES

A seguir estão apresentados critérios de aceitação aplicáveis a diferentes aplicações: As informações contidas a seguir são exemplos de critérios de aceitação, baseados em normas, utilizados no método de END. A única finalidade da inclusão destes critérios neste procedimento é treinar o candidato na interpretação destes, sob a supervisão de um N3 responsável.

15.1 EXAME DE CERTIFICAÇÃO.

- - Todas as indicações que ultrapassarem a curva de referência de 20% deverão ser investigadas e analisadas.
- - Todas as indicações com refletividade acima da curva de referência de 50% devem ser registradas, mencionando a localização da descontinuidade, o nível de resposta, dimensão e profundidade.
- - Descontinuidades que excederem ao nível de referência de 100% da curva de referência serão consideradas reprovadas, se o comprimento exceder às seguintes dimensões:

- 6,3mm para "t" $\leq$ 19mm
- 1/3t para "t" > 19mm até 58mm

Notas:

- (1) Para junta de topo, considerar "t" igual à espessura da solda, excluindo-se o reforço.
- (2) Para juntas de diferentes espessuras, "t" deve ser considerado a menor das espessuras.



15.2 API 1104 22a. edição – 2021 – Welding of Pipelines and Related Facilities

15.2.1 Classificação das Indicações:

- Indicações no ensaio por ultrassom não são necessariamente defeitos. Mudanças na geometria da solda devido ao desalinhamento no acoplamento dos tubos, mudanças de perfil nos reforços da solda (externo e interno) e conversão de modo devido a estas condições, podem ocasionar o aparecimento de indicações similares às produzidas por descontinuidades, mas que não são relevantes para a aceitabilidade da solda.
- Indicações lineares são definidas como indicações com a maior dimensão na direção do comprimento da solda. Indicações lineares típicas podem ser causadas, mas não se limitam, aos seguintes tipos de descontinuidades: IP, IPD, ICP, IF, IFD, ESI, TR, EU, IU, and HB
 - IP/ICP: Penetração incompleta (Falta de penetração / falta de fusão na raiz);
 - IPD: Penetração incompleta devido a desalinhamento interno;
 - IF: Falta de Fusão;
 - IFD: Falta de Fusão entrecortes;
 - ESI: Inclusão de escória alongada;
 - TR: Trinca;
 - EU/IU: Mordedura externa e na raiz;
 - HB: Poro alongado (passe oco).
- Indicações transversais são definidas como indicações com a maior dimensão transversal a solda. Indicações transversais típicas podem ser causadas, mas não se limitam, pelas seguintes descontinuidades:
 - Trinca;
 - Inclusão de escória isolada;
 - Falta de fusão entrecortes nos pontos de início e término dos passes (Start-stop).
- Indicações volumétricas são definidas como indicações tridimensionais. Estas indicações podem por simples ou múltiplas inclusões, vazios ou poros. Vazios parcialmente preenchidos, poros ou pequenas inclusões nos pontos de início e término dos passes podem causar indicações maiores na direção transversal do que na direção do comprimento da solda (longitudinal). Indicações volumétricas típicas podem ser causadas, mas não se limitam, pelos seguintes tipos de descontinuidades:
 - Concavidade Interna;
 - Perfuração;
 - Inclusão de escória isolada;
 - Porosidade;
 - Porosidade agrupada
- Indicações relevantes são aquelas causadas por descontinuidades e devem ser pesquisadas conforme requisitos determinados no procedimento. Devem ser avaliadas todas indicações com amplitude > 50% do nível de referência

15.2.2 Critério de Aceitação:

- Indicações caracterizadas como trinca devem ser reprovadas independentemente do comprimento e toda a junta soldada deverá ser removida da linha (corte);
- Indicações individuais ou indicações múltiplas em zonas adjacentes na mesma localização circunferencial devem ser reprovadas se a dimensão vertical (altura) individual ou a soma de indicações adjacentes for maior que $\frac{1}{4} t$:



- Indicações lineares (que não sejam trincas) interpretadas como abertas para a superfície externa e/ou interna, devem ser reprovadas se:
 - O comprimento individual ou acumulado das indicações lineares exceder 25 mm em qualquer 300 mm de comprimento contínuo da solda;
 - O comprimento acumulado das indicações lineares exceder 8% do comprimento total da solda.
- Indicações lineares internas à solda (que não sejam trincas), interpretadas como sub superficiais, sem interação com as superfícies interna e externa, devem ser reprovadas se:
 - O comprimento individual ou acumulado das indicações lineares exceder 50 mm em qualquer 300 mm de comprimento contínuo da solda;
 - O comprimento acumulado das indicações lineares exceder 8% do comprimento total da solda.
- Indicações transversais (que não sejam trincas) devem ser consideradas como volumétricas e avaliadas usando o critério de indicações volumétricas. A letra "T" deve ser usada no relatório de inspeção para designar todas as indicações transversais registráveis.
- Indicações volumétricas agrupadas (cluster) serão reprovadas quando a dimensão máxima do agrupamento exceder 13 mm.
- Indicações volumétricas individuais devem ser reprovadas quando a dimensão máxima da indicação exceder 3 mm
- Indicações volumétricas na raiz, interpretadas como abertas para a superfície interna devem ser reprovadas se:
 - A dimensão máxima da indicação exceder 6 mm;
 - O comprimento acumulado de todas as indicações volumétricas na raiz exceder 13 mm em qualquer 300 mm de comprimento contínuo da solda.
- Qualquer acúmulo de indicações relevantes deve ser reprovado se:
 - O comprimento acumulado de todas as indicações com refletividade acima do nível de registro, exceder 50 mm em qualquer 300 mm de comprimento de solda;
 - O comprimento acumulado de todas as indicações com refletividade acima do nível de registro, exceder 8% do comprimento total da solda.

15.3 ASME B31.3 – 2022 – Process Piping

Os critérios de aceitação devem ser conforme descrito em (a) ou (b) a seguir:

- (a) Uma descontinuidade é inaceitável se a amplitude da indicação exceder o nível de referência e seu comprimento exceder a:

- (1) 6 mm (1/4 pol.) para $T_w \leq 19$ mm (3/4 pol.)
- (2) $T_w/3$ para 19 mm (3/4 pol.) $< T_w \leq 57$ mm (2¼ pol.)
- (3) 19 mm (3/4 pol.) para $T_w > 57$ mm (2¼ pol.)

- (b) Os critérios de aceitação do exame ultrassônico baseado em mecânica da fratura no Apêndice R podem ser usados se todos os requisitos do Apêndice R forem atendidos.



15.4 ASME Sec. VIII DIV. 1 – APÊNDICE 12

Descontinuidades que apresentarem resposta maior que 20% do nível de referência devem ser investigadas na medida em que o inspetor possa determinar a forma, identidade, e localização de todas essas descontinuidades e avaliá-las em termos dos padrões de aceitação fornecidos em (a) e (b) abaixo.

- (a) Indicações caracterizadas como trincas, falta de fusão, ou penetração incompleta são inaceitáveis independentemente do comprimento.
- (b) Outras imperfeições são inaceitáveis se as indicações excederem a amplitude do nível de referência e tiverem comprimentos que excedam:
 - (1) 1/4 pol. (6 mm) para t até 3/4 pol. (19 mm);
 - (2) 1/3t para t de 3/4 pol. a 2 1/4 pol. (19 mm a 57 mm);
 - (3) 3/4 pol. (19 mm) para t acima de 2 1/4 pol. (57 mm).

Onde t é a espessura da solda excluindo qualquer reforço permitido. Para uma solda de topo unindo dois membros com espessuras diferentes na solda, t é a menor dessas duas espessuras. Se uma solda de penetração total incluir uma solda de filete, a espessura da garganta do filete deverá ser incluída em t.

15.5 INSPEÇÃO EM SERVIÇO

15.5.1 Nas inspeções em serviço o critério de aceitação é baseado em estudos de mecânica da fratura, que dentre vários requisitos mecânicos, considera as dimensões de altura e comprimento das descontinuidades, assim como a sua localização em relação às superfícies externa ou interna, bem como a proximidade com descontinuidades adjacentes.

15.5.2 Nos registros de inspeção em serviço devem ser observadas as seguintes recomendações:

- A coluna de laudo não deve ser preenchida, ficando esta análise de competência do setor de engenharia.
- As descontinuidades devem ser representadas em um croqui em escala, apresentando as vistas lateral e frontal da junta e indicando o comprimento, altura, profundidade e espaçamentos entre descontinuidades adjacentes (sentido do eixo “x” longitudinal e eixo “z” transversal, conforme norma BS 7910 que está representado no anexo V.

16. REGISTRO DE RESULTADOS

16.1 Os resultados das inspeções em exame de certificação devem ser registrados em relatório (ANEXOS II, III e IV), indicando a identificação do corpo de prova.

17. ANEXOS

- ANEXO I – Verificação da aparelhagem de Ultrassom com apresentação A-Scan
- ANEXO II – Formulário para Relatório de Registro de Resultados
- ANEXO III – Formulário para localização das descontinuidades na seção transversal da solda
- ANEXO IV – Formulário para Localização Longitudinal das descontinuidades
- ANEXO V – Exemplo de detalhamento de dimensionamento de descontinuidades



ANEXO I – VERIFICAÇÃO DA APARELHAGEM DE ULTRASSOM

1. APARELHO DE ULTRASSOM

1.1 O aparelho de ultrassom deve ser tipo pulso-eco, apresentação tipo "A", capaz de gerar frequência na faixa de 1 a 5 MHz.

2. CABEÇOTES

2.1 Os cabeçotes devem possuir as seguintes características:

- a) cabeçotes normais (ondas longitudinais) para contato direto devem ter cristais com diâmetro variando de 10 a 30mm ou quadrado com 10 a 25mm de lado.
- b) cabeçotes angulares (ondas transversais) para contato direto devem ter cristais com área ativa mínima de 70 mm².
- c) cabeçotes tipo duplo cristal, normais ou angulares, para contato direto devem ter cristais de áreas 15 a 900 mm².

2.2 Os cabeçotes a serem utilizados devem trazer impressos, no seu corpo de forma permanente, um código que permita identificar as seguintes características:

- a) tipo do cabeçote;
- b) material e dimensões do cristal;
- c) frequência;
- d) ângulo no aço;
- e) index, quando tratar-se de cabeçote angular. (Ponto de saída do som do cabeçote).

3. CONTROLE DE GANHO

3.1 O aparelho deve permitir um ajuste grosso com incrementos de 10 decibéis ou 20 decibéis e um ajuste fino com incrementos de 1 decibel ou 2 decibéis.

3.2 O aparelho deve possuir capacidade de ampliar pelo menos 80 decibéis.

4. FAIXA OPERACIONAL DE TEMPERATURAS

4.1 A aparelhagem deve permitir a operação em condições satisfatórias nas seguintes faixas de temperaturas:

- a) 5 a 40°C para aparelhos;
- b) 5 a 60°C para cabeçotes.

5. LINEARIDADE VERTICAL E DO CONTROLE DE GANHO

5.1 A linearidade vertical e do controle de ganho deve ser verificada em intervalos não superior a três meses para instrumentos do tipo analógico e um ano para instrumentos do tipo digital, ou antes do primeiro uso posterior conforme indicado nas Figuras I.1 e I.2.

5.2 Linearidade Vertical

5.2.1 Para verificação da linearidade vertical do aparelho, deve ser posicionado um cabeçote angular em um bloco de referência, conforme mostrado na Figura I.1, de modo que as indicações de dois furos, por exemplo, 1/2T e 3/4T forneçam uma proporção de 2:1 de amplitudes entre as duas indicações. Ajustar a sensibilidade (ganho) para que a indicação maior seja colocada em 80% da altura total da tela (FSH). Sem mover o cabeçote, ajustar a sensibilidade (ganho) para definir sucessivamente a indicação maior de 100% até 20% da altura total da tela, em incrementos de 10% (ou etapas de 2 dB se um controle fino não estiver disponível) e ler a indicação menor em cada configuração. A leitura da amplitude da menor indicação deve ser 50% da amplitude da maior indicação, dentro de 5% da altura total da tela (FSH). As configurações e leituras devem ser estimadas para o 1% mais

próximo do total da tela cheia. Alternativamente, um cabeçote normal pode ser usado em qualquer bloco de referência ou padrão, que forneça diferenças de amplitude, com separação de sinal suficiente para evitar a sobreposição dos dois sinais.

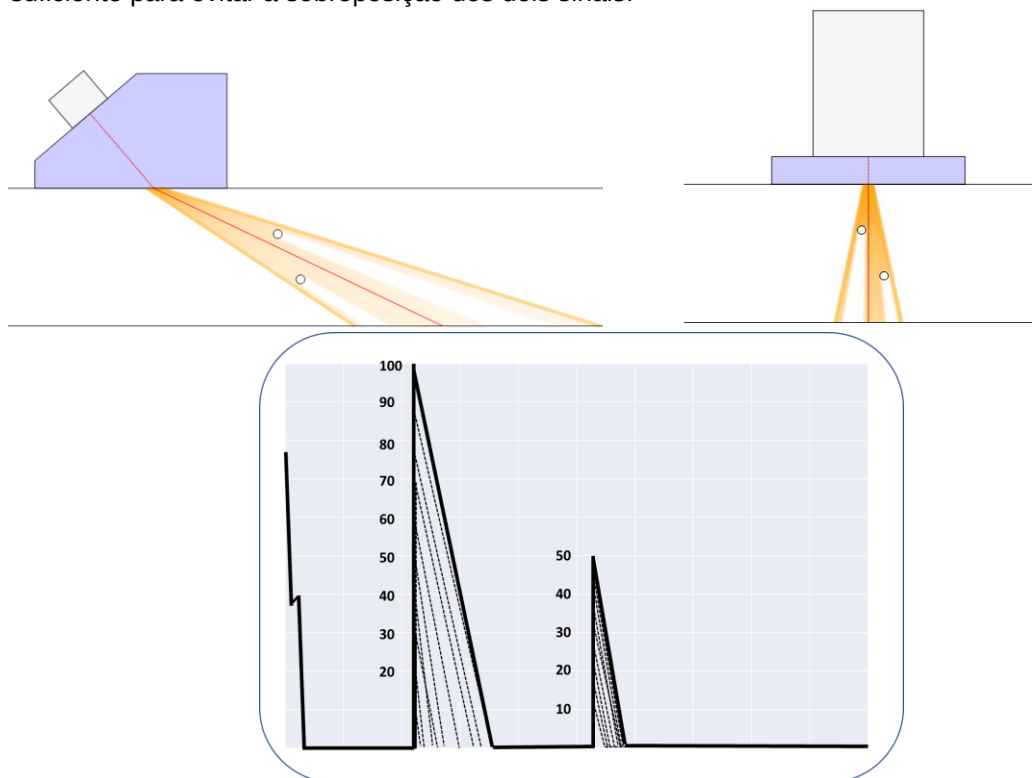


Figura I.1 – Verificação da linearidade vertical

5.3 Linearidade do Controle de Ganho

- 5.3.1 Posicionar um cabeçote angular ou normal em um bloco de referência, conforme mostrado na Figura I.2, de modo que a indicação da lateral do furo a 1/2T seja exibida na tela. Ajustar a sensibilidade (ganho) conforme mostrado na tabela I.2 a seguir. A indicação deve estar dentro dos limites especificados. Alternativamente, qualquer outro refletor conveniente de qualquer bloco de calibração pode ser utilizado.

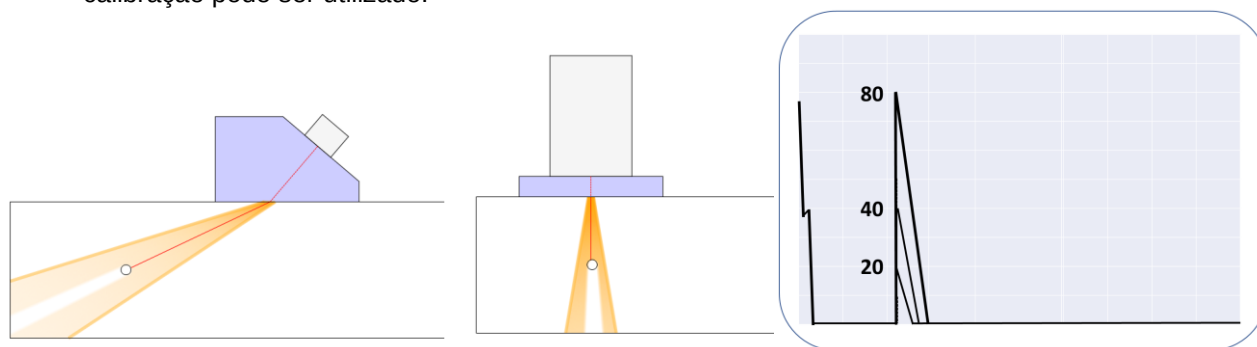
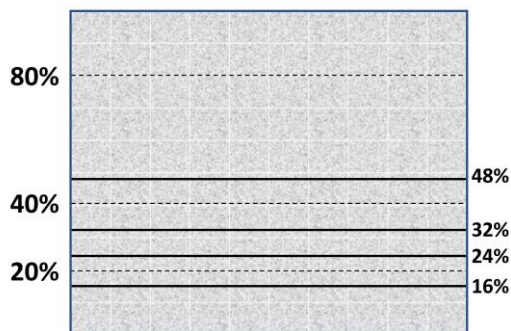


FIGURA I.2 – Verificação da linearidade do controle de ganho do aparelho

Ajuste da indicação em % da altura total da tela	Mudança do controle de dB	Limites da indicação em % da altura total da tela
80%	- 6 dB	32% a 48%
80%	- 12 dB	16% a 24%
40%	+6 dB	64% a 96%
20%	+12 dB	64% a 96%

Tabela I.1 – Variação de ganho e limites aceitáveis

5.3.2 A verificação pode ser feita utilizando-se um gabarito de material plástico transparente, conforme exemplo na Figura I.3, construído para cada modelo de aparelho.



Notas:

- (1) Construir de material plástico transparente.
- (2) Calcular, através do percentual acima citado e da altura da tela do aparelho, a posição correta das faixas de tolerância.

FIGURA I.3 – Exemplo de gabarito para verificação da linearidade do controle de ganho do aparelho.

6. LINEARIDADE HORIZONTAL

6.1 Aparelho deve ter linearidade horizontal dentro de mais ou menos 2% da escala de distância empregada. A verificação pode ser feita, colocando-se como mínimo, 4 ecos na tela do aparelho provenientes de um bloco padrão e verificando-se o posicionamento dos mesmos em relação a faixa de tolerância acima especificada.

7. RESOLUÇÃO

A aparelhagem deve apresentar resolução conforme procedimento a seguir:

7.1 Resolução com cabeçote normal e duplo-cristal

7.1.1 A resolução deve ser verificada, posicionando o cabeçote no bloco V1, conforme indicado na figura I.4; de forma a se obter três ecos provenientes das superfícies refletoras. O cabeçote deve ser movimentado de forma a se obter os ecos com praticamente a mesma amplitude. O cabeçote apresenta boa resolução se os ecos das espessuras d1, d2, d3 apresentarem separação entre si na metade da amplitude total ou em ponto mais baixo (ver figura I.4a).

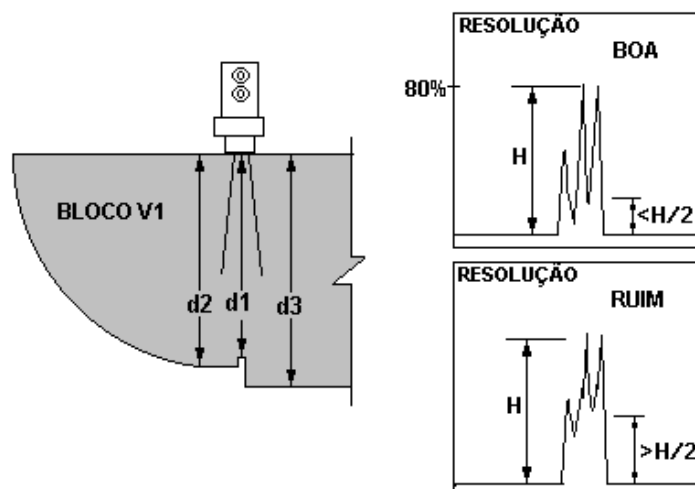


FIGURA I.4a – Resolução com cabeçotes normal e duplo-cristal

7.2 Resolução com cabeçotes angulares.

7.2.1 A resolução deve ser verificada posicionando o cabeçote no bloco mostrado na figura (I.4b) de forma a se obter 2 ecos provenientes de dois raios distintos. O cabeçote deve ser movimentado de forma a se obter os seus ecos com a mesma amplitude.

7.2.2 Cabeçote apresenta boa resolução quando a separação entre os ecos ocorre na metade da amplitude total ou em ponto mais baixo (ver figura 4b).

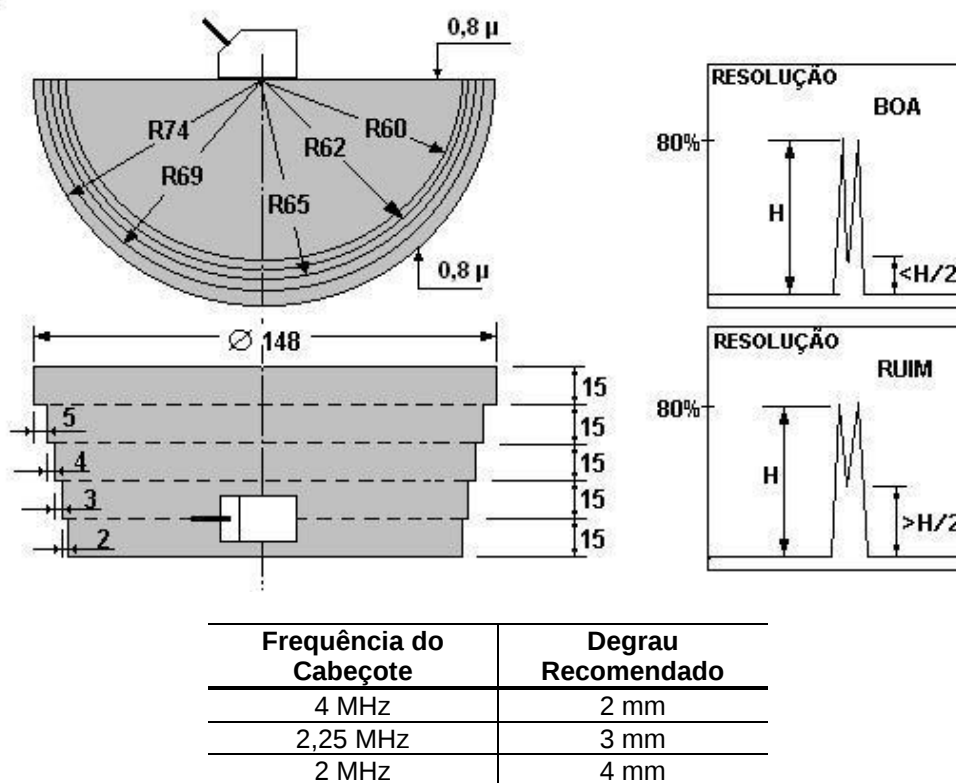


FIGURA I.4b – Verificação resolução para cabeçote angular



8. BLOCOS PADRÃO E DE REFERÊNCIA

8.1 Calibração dos Blocos Padrão.

8.1.1 A integridade, rugosidade superficial e dimensões dos blocos padrão, devem estar de acordo com as respectivas normas específicas (Ex. ISO 2400, ISO 7963).

8.2 Calibração dos blocos de Referência.

8.2.1 Os blocos de referência devem apresentar dimensões dentro das tolerâncias indicadas no procedimento de ensaio.

8.2.2 *Teste de integridade dos blocos.*

Todos os blocos de referência a serem utilizados no ajuste da sensibilidade dos instrumentos de ultrassom devem ter sua integridade comprovada por meio de ultrassom, com cabeçote duplo-cristal, com a finalidade de comprovar a inexistência de descontinuidades tais como: porosidade, segregação, dupla-laminação; que possam prejudicar ou falsear as calibrações a serem realizadas. Áreas que apresentam indicação cuja amplitude seja maior que o eco de fundo remanescente devem ser descartadas.

☐ APROVADO	☐ REPROVADO	☐ NEC
NOME:		NÚMERO:
MODALIDADE:	ASSINATURA:	
EMPRESA:	DATA:	VISTO:



ULTRASOM - SOLDA
PROCEDIMENTO DE END
PR-011

Manual: **S-US**
Página: **33 de 36**
Revisão: **14 (Mai/2025)**

**ANEXO III – FORMULÁRIO PARA LOCALIZAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES NA SEÇÃO
TRANSVERSAL DA SOLDA**



RELATÓRIO DE ENSAIO

--

CROQUI

RELATÓRIO N.º	_____
FOLHA:	_____ de _____

--

NOME:		NÚMERO:	
ASSINATURA:			
EMPRESA:	DATA:	VISTO:	



ULTRASOM - SOLDA
PROCEDIMENTO DE END
PR-011

Manual: S-US

Página: 34 de 36

Revisão: 14 (Mai/2025)

ANEXO IV – FORMULÁRIO PARA LOCALIZAÇÃO LONGITUDINAL DAS DESCONTINUIDADES



RELATÓRIO DE ENSAIO

--

MAPEAMENTO LONGITUDINAL

RELATÓRIO N.º

FOLHA: de

SEM ESCALA

0	250	500	750	1000	1250
50	300	550	800	1050	1300
100	350	600	850	1100	1350
150	400	650	900	1150	1400
200	450	700	950	1200	1450
250	500	750	1000	1250	1500

NOME:		NÚMERO:	
ASSINATURA:			
EMPRESA:	DATA:	VISTO:	

ANEXO V – EXEMPLO DE DETALHAMENTO DE DIMENSIONAMENTO DE DESCONTINUIDADES

Nos registros de inspeção em serviço as descontinuidades devem ser localizadas e dimensionadas quanto ao comprimento, altura e espaçamento conforme os exemplos a seguir:

Nomenclatura:

a = altura de descontinuidade aberta à superfície ou $\frac{1}{2}$ altura de descontinuidade interna;

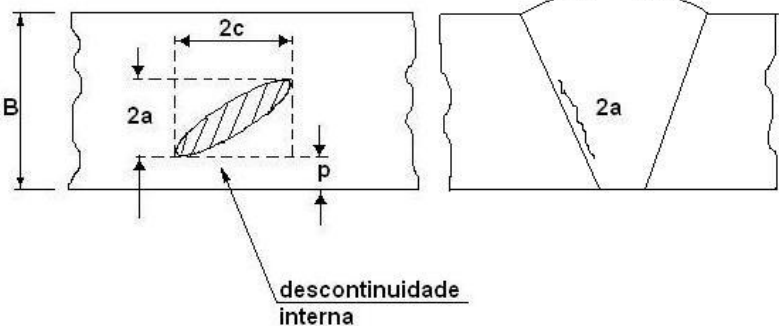
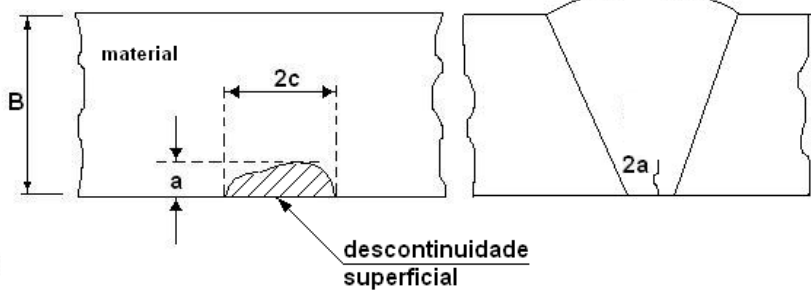
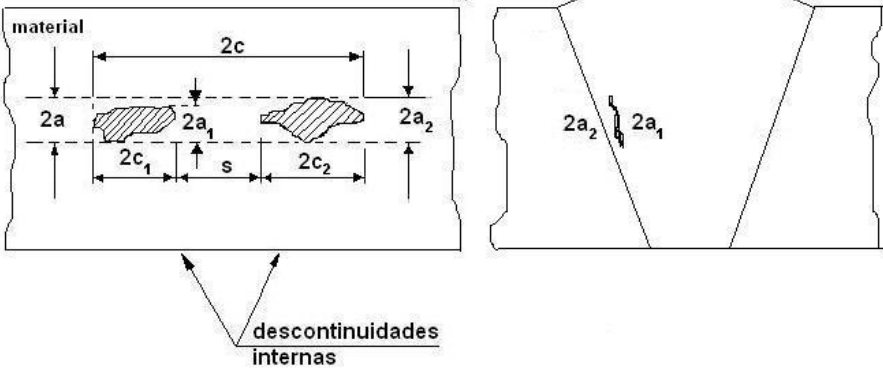
2a = altura de descontinuidade interna;

2c = comprimento da descontinuidade;

p = ligamento = distância da superfície (interna ou externa) até a extremidade superior ou inferior da descontinuidade;

s = separação entre descontinuidades adjacentes;

B = espessura da peça ou da solda

01	
02	
03	

04	descontinuidades internas
05	descontinuidade interna e descontinuidade superficial
06	descontinuidades internas
07	descontinuidade interna e descontinuidade superficial

Nota: As figuras 03,04 e 05 representam descontinuidades que estão no mesmo plano (coplanares), as figuras 06 e 07 são descontinuidades não coplanares, ou seja, estão em planos diferentes.