

# Norma Portuguesa

---

NP  
EN 583-5  
2005

**Ensaaios não destrutivos**  
**Ensaio por ultrasons**  
**Parte 5: Caracterização e dimensionamento de descontinuidades**

Essais non destructifs  
Contrôle ultrasonore  
Partie 5: Caractérisation et dimensionnement des descontinuités

Non-destructive testing  
Ultrasonic examination  
Part 5: Characterization and sizing of discontinuities

**ICS**  
19.100

**DESCRITORES**

Ensaaios não-destrutivos; ensaios ultrassónicos; sistemas de classificação; descontínuo; defeitos; tamanho; medições dimensionais; medição do tamanho; inspecção

**CORRESPONDÊNCIA**

Versão portuguesa da EN 583-5:2000

**HOMOLOGAÇÃO**

Termo de Homologação N° 61/2005, de 2005-05-30

**ELABORAÇÃO**

CT 138 (ISQ)

**EDIÇÃO**

Julho de 2006

**CÓDIGO DE PREÇO**

X015

© IPQ reprodução proibida

---

Instituto Português da  Qualidade

Rua António Gião, 2  
2829-513 CAPARICA PORTUGAL

Tel. + 351-212 948 100 Fax + 351-212 948 101  
E-mail: ipq@mail.ipq.pt Internet: www.ipq.pt

em branco

ICS: 19.100

**Versão portuguesa**

Ensaaios não destrutivos  
Ensaio por ultrasons

Parte 5: Caracterização e dimensionamento de descontinuidades

Zerstörungsfreie Prüfung  
Ultraschallprüfung  
Teil 5: Beschreibung und  
Größenbestimmung von  
Inhomogenitäten

Essais non destructifs  
Contrôle ultrasonore  
Partie 5: Caractérisation et  
dimensionnement des  
descontinuités

Non-destructive testing  
Ultrasonic examination  
Part 5: Characterization and  
sizing of discontinuities

---

A presente Norma é a versão portuguesa da Norma Europeia EN 583-5:2000, e tem o mesmo estatuto que as versões oficiais. A tradução é da responsabilidade do Instituto Português da Qualidade.

Esta Norma Europeia foi ratificada pelo CEN em 2000-06-30.

Os membros do CEN são obrigados a submeter-se ao Regulamento Interno do CEN/CENELEC que define as condições de adopção desta Norma Europeia, como norma nacional, sem qualquer modificação.

Poderão ser obtidas listas actualizadas e referências bibliográficas relativas às normas nacionais correspondentes junto do Secretariado Central ou de qualquer dos membros do CEN.

A presente Norma Europeia existe nas três versões oficiais (alemão, francês e inglês). Uma versão noutra língua, obtida pela tradução, sob responsabilidade de um membro do CEN, para a sua língua nacional, e notificada ao Secretariado Central, tem o mesmo estatuto que as versões oficiais.

Os membros do CEN são os organismos nacionais de normalização dos seguintes países: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Irlanda, Islândia, Itália, Luxemburgo, Noruega, Países Baixos, Portugal, Reino Unido, Suécia e Suíça.

**CEN**

Comité Européen de Normalização  
Europäisches Komitee für Normung  
Comité Européen de Normalisation  
European Committee for Standardization

**Secretariado Central: rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelas**

---

<b>Índice</b>	<b>Página</b>
<b>Preâmbulo</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Objectivo e campo de aplicação</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Referências normativas</b> .....	<b>8</b>
<b>3 Princípios da caracterização de descontinuidades</b> .....	<b>8</b>
3.1 Generalidades .....	8
3.2 Requisitos da condição de superfície.....	9
<b>4 Técnicas de eco pulsado</b> .....	<b>9</b>
4.1 Generalidades .....	9
4.2 Localização de descontinuidades.....	9
4.3 Orientação da descontinuidade .....	9
4.4 Avaliação de descontinuidades múltiplas .....	10
4.5 Forma da descontinuidade .....	10
4.6 Eco de máxima amplitude .....	11
4.7 Dimensão da descontinuidade .....	11
<b>5. Técnicas de transmissão</b> .....	<b>14</b>
5.1 Generalidades .....	14
5.2 Localização da descontinuidade .....	14
5.3 Avaliação de descontinuidades múltiplas .....	15
5.4 Redução da amplitude do sinal .....	15
5.5 Dimensionamento de descontinuidades.....	15
<b>Anexo A (normativo) Análise de indicações múltiplas</b> .....	<b>19</b>
A.1 Caracterização lateral.....	19
A.2 Caracterização transversal (segundo a espessura) .....	19
A.3 Técnica de sombra .....	19
<b>Anexo B (normativo) Técnicas para classificação da forma da descontinuidade</b> .....	<b>21</b>

---

<b>B.1 Classificação simplificada .....</b>	<b>21</b>
B.2 Classificação detalhada.....	22
Modelo ecodinâmico 1 .....	23
Modelo ecodinâmico 2 .....	23
Modelo ecodinâmico 3 .....	23
Modelo ecodinâmico 4 .....	23
B.3 Combinação de dados .....	24
<b>Anexo C (normativo) Técnica de dimensionamento pela altura do eco .....</b>	<b>32</b>
C.1 Técnica distância-ganho-dimensão (DGS) .....	32
C.2 Técnica da curva de correcção da amplitude-distância (CAD) .....	32
<b>Anexo D (normativo) Técnicas de dimensionamento com movimento da sonda .....</b>	<b>34</b>
D.1 Técnicas do nível fixo de amplitude.....	34
D.2 Técnica da queda de 6 dB.....	34
D.2.1 Princípio .....	34
D.3 Técnica da queda dos 12 ou 20 dB .....	35
D.4 Técnica da queda para o nível de ruído .....	35
D.5 Técnica da localização da extremidade pela queda dos 6 dB .....	36
D.6 Técnica de localização da extremidade pelo eixo do feixe.....	36
D.7 Técnica da localização da extremidade pela queda dos 20 dB .....	37
<b>Anexo E (normativo) Técnica iterativa de dimensionamento.....</b>	<b>46</b>
E.1 Objectivo e campo de aplicação .....	46
E.2 Ensaios com incidência normal .....	46
Situação 1 .....	46
Situação 2 .....	47
E.3 Ensaio realizado com incidência oblíqua.....	47
<b>Anexo F (normativo) Algoritmos para estimar a verdadeira dimensão de uma descontinuidade.....</b>	<b>52</b>

**NP**  
**EN 583-5**  
**2005**

p. 6 de 60

---

F.1 Grandes descontinuidade planares .....	52
F.2 Pequenas descontinuidades planares .....	53
F.3 Descontinuidades planares numa peça cilíndrica .....	55
<b>Anexo G (normativo) Exemplo de técnicas especiais de dimensionamento.....</b>	<b>57</b>
G.1 Técnicas de difracção na extremidades .....	57
G.2 Técnica de focalização por abertura sintética (SAFT).....	58
<b>Anexo ZA (informativo) Secções desta Norma Europeia relativas aos requisitos essenciais ou outras disposições das directivas da EU .....</b>	<b>60</b>

## **Preâmbulo**

A presente Norma Europeia foi elaborada pelo Comité Técnico CEN/TC 138 “Non-destructive testing”, cujo secretariado é assegurado pela AFNOR.

A esta Norma Europeia deve ser atribuído o estatuto de Norma Nacional, seja por publicação de um texto idêntico seja por adopção, o mais tardar em Maio de 2001 e as normas nacionais divergentes devem ser anuladas o mais tardar em Maio de 2001.

Esta Norma Europeia foi elaborada no âmbito dum mandato atribuído ao CEN pela Comissão Europeia e Associação Europeia de Comércio Livre e vem apoiar requisitos essenciais da(s) Directiva(s) da EU.

Para relação com Directiva(s), consultar o anexo ZA, o qual é parte integrante desta norma.

De acordo com Regulamento Interno CEN/CENELEC, a presente Norma deve ser implementada pelos organismos de normalização nacionais dos seguintes países: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França, Grécia, Irlanda, Islândia, Itália, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Portugal, Espanha, e Reino Unido Republica Checa, Suécia, Suíça.

Esta norma é constituída pelas seguintes partes:

- *Part 1: General principles*
- *Part 2: Sensitivity and range setting*
- *Part 3: Transmission technique*
- *Part 4: Examination for imperfections perpendicular to the surface*
- *Part 5: Characterization and sizing of discontinuities*
- *Part 6: Time-of-flight diffraction technique as a method for detection and sizing of imperfections*

## **1 Objectivo e campo de aplicação**

Esta Norma Europeia especifica os princípios gerais e técnicas de caracterização e dimensionamento de descontinuidades previamente detectadas, de forma a assegurar a sua avaliação segundo critérios de aceitação aplicáveis. Em termos gerais é aplicável às descontinuidades nos materiais e aplicações cobertas pela EN 583-1:1998.

## **2 Referências normativas**

A presente Norma inclui, por referência, datada ou não, disposições relativas a outras normas. Estas referências normativas são citadas nos lugares apropriados do texto e as normas são listadas a seguir. Para referências datadas, as emendas ou revisões subsequentes de qualquer destas normas, só se aplicam à presente Norma se nela incorporadas por emenda ou revisão. Para as referências não datadas aplica-se a última edição da norma referida (incluindo as emendas).

EN 583-1:1998	Non-destructive testing – Ultrasonic examination – Part 1: General principles.
prEN 583-2: 2000	Non destructive testing – Part 2:Sensitivity and range setting.
EN 583-3	Non-destructive testing – Ultrasonic examination – Part 3: Transmission technique.
ENV 583-6	Non-destructive testing – Ultrasonic examination – Part 6: Time-of-flight diffraction technique as a method for detection and sizing of imperfections.
EN 1713	Non destructive examination for welds – Ultrasonic examination – Characterization of indications in welds

## **3 Princípios da caracterização de descontinuidades**

### **3.1 Generalidades**

A caracterização de descontinuidades envolve a determinação dos parâmetros necessários à sua avaliação de acordo com um critério de aceitação seleccionado.

A caracterização de descontinuidades poderá incluir:

- a) determinação dos parâmetros básicos (amplitude dos ecos, tempo de percurso);
- b) determinação da sua forma e orientação;
- c) dimensionamento, que poderá tomar a forma de:
  - i) medição de uma ou mais dimensões (ou área/volume), dentro dos limites do método;ou
  - ii) a medição de alguns parâmetros acordados, por exemplo altura do eco, quando seja considerada como representativa da sua dimensão física;
- d) localização, por exemplo, proximidade da superfície ou de outras descontinuidades;
- e) determinação de qualquer outro parâmetro ou característica que possa ser necessária para a completa avaliação;
- f) avaliação da natureza provável, por exemplo, fissura ou inclusão, onde o conhecimento adequado da peça em ensaio e a história de fabrico o torne tal fazível.



Quando o ensaio da peça efectuado de acordo com a EN 583-1:1998 produzir dados suficientes para avaliação da descontinuidade de acordo com um critério de aceitação aplicável, não será necessário a caracterização adicional.

A técnica utilizada para caracterização deve ser especificada em simultâneo com o critério de aceitação aplicável.

### **3.2 Requisitos da condição de superfície**

A condição de superfície e o seu perfil deve ser tal, que permita o dimensionamento das descontinuidades com a exactidão desejada. Em geral, quanto mais lisas e planas, mais precisos serão os resultados.

Na maioria das aplicações é recomendado um acabamento superficial de  $R_a = 6,3\mu\text{m}$  para superfícies maquinadas e  $12,5\mu\text{m}$  para superfícies decapadas. A folga entre a sonda e a superfície não poderá exceder 0,5 mm.

Os requisitos sobre a superfície deverão estar normalmente limitados às áreas onde o dimensionamento será levado a efeito, não sendo em geral necessariamente aplicados às superfícies de sondagem para detecção.

O método de preparação de superfície não deve produzir o surgimento de um alto nível de ruído.

## **4 Técnicas de eco pulsado**

### **4.1 Generalidades**

As características/parâmetros ultrasónicos de uma descontinuidade de mais comum aplicação para avaliação pelas técnicas de eco pulsado estão descritas em 4.2 a 4.7 inclusivé.

As características/parâmetros a serem determinadas devem ser definidas nas normas aplicáveis ou em qualquer documento contratual e devem satisfazer os requisitos da secção 10.1 da EN 583-1:1998.

### **4.2 Localização de descontinuidades**

A localização de uma descontinuidade é definida como a sua posição dentro de uma peça em ensaio, relativamente a um sistema de coordenadas de referência.

Deve ser determinada em relação a um ou mais pontos de referência, a um índice e ângulo de sonda, e às medições da posição da sonda e percurso sonoro no qual é observado o eco máximo.

Dependendo da geometria da peça em ensaio e tipo de descontinuidade, poderá ser necessário confirmar a localização de uma descontinuidade numa outra direcção ou, com um outro ângulo de sonda, para assegurar que o eco não é originado, por exemplo, por uma conversão de modo numa geometria da própria da peça.

### **4.3 Orientação da descontinuidade**

A orientação de uma descontinuidade é definida como a orientação do plano, segundo o qual, a descontinuidade contém o seu maior eixo(s) relativamente a uma referência da peça.

A orientação pode ser determinada por uma reconstrução geométrica similar à descrita para a localização, com a diferença de que é necessário um maior número de ângulos de feixe ou direcções de sondagem.

A orientação poderá também ser determinada pela a observação da direcção de sondagem, ao qual a máxima amplitude é obtida.

Em várias aplicações, a determinação exacta na orientação espacial da descontinuidade não é requerida, sendo somente necessário a determinação da projecção da descontinuidade em um ou mais planos preestabelecidos e/ou secções dentro da peça.

#### **4.4 Avaliação de descontinuidades múltiplas**

O método para distinção entre descontinuidades simples ou múltiplas poderá ser baseado em critérios de avaliação qualitativos ou quantitativos.

A determinação qualitativa consiste na verificação, através da observação de variações das indicações ultrasonoras, onde tais indicações correspondam a uma ou mais descontinuidades separadas. A figura 1, mostra os exemplos típicos de sinais de descontinuidades agrupadas num forjado ou vazado.

Quando o critério de aceitação estiver expresso em termos das dimensões máximas, devem ser efectuadas medições quantitativas preliminares com o objectivo de determinar se as descontinuidades separadas serão avaliadas individualmente, ou colectivamente de acordo com regras preestabelecidas de avaliação do grupo.

Tais regras poderão estar baseadas na concentração de descontinuidades individuais dentro do grupo, expresso em termos do comprimento total acumulado, áreas ou volumes em relação ao comprimento total, ou área ou volume do grupo. Alternativamente, as regras poderão especificar a distância mínima entre as descontinuidades individuais, frequentemente como uma relação das dimensões das descontinuidades adjacentes.

Quando for requerido uma caracterização mais exacta do grupo de indicações, poderá ser feita uma tentativa para determinar onde os ecos se originam de uma série de descontinuidades separadas mas pouco espaçadas, ou de uma única descontinuidade contínua contendo uma série de superfícies reflectoras, recorrendo às técnicas descritas no anexo A.

#### **4.5 Forma da descontinuidade**

##### **4.5.1 Classificação simplificada**

Existe um número limitado de formas básicas de reflectores que poderão ser identificados num ensaio por ultrasons. Em muitos casos a avaliação de acordo com o critério de aceitação somente requer uma classificação relativamente simples, descrita no anexo B, parágrafo B.1. De acordo com esta, as descontinuidades serão classificadas como uma de:

- 1) pontual, isto é, não possui uma extensão significativa em qualquer direcção;
- 2) alongada, isto é, possui uma extensão significativa numa única direcção;
- 3) complexa, isto é, possui uma extensão significativa em mais de uma direcção.

Quando requerido, esta classificação poderá ser subdividida em:

- a) planar, isto é, tendo uma extensão significativa em apenas 2 direcções, e
- b) volúmica, isto é tendo uma extensão significativa em 3 direcções.

Dependendo nos requisitos do critério de aceitação:

- a) critérios de aceitação independentes podem ser aplicados às classificações anteriores, ou
- b) a descontinuidade, independentemente de ser pontual, alongada ou complexa, é projectada em uma ou mais secções pré-estabelecidas e cada projecção é conservativamente tratada como uma descontinuidade planar do tipo fissura.

A classificação simplificada está normalmente limitada às sondas e técnicas especificadas no procedimento de ensaio. As sondas e técnicas adicionais só serão utilizadas após acordo.

#### **4.5.2 Classificação detalhada da forma**

Como o objectivo é o de identificar os tipos das discontinuidades especificadas no critério de aceitação, ou fazer uma correcta avaliação na aplicação, poderá ser necessário proceder a mais avaliações detalhadas da forma da discontinuidade.

No anexo B, parágrafo B.2 apresenta-se um guia dos métodos a serem utilizados para uma classificação mais detalhada. Poderá ser requerido a utilização de sondas e direcções de sondagem adicionais às especificadas no procedimento de ensaio e pode ser também complementado pelo recurso a técnicas especiais descritas nos anexos E, F e G.

A classificação da forma da discontinuidade será limitada à determinação das formas necessárias para a sua correcta avaliação de acordo com um critério de aceitação. A validade de tal classificação deverá ser provada na aplicação específica, por exemplo, materiais e configuração da peça em ensaio, procedimento de ensaio, tipo de equipamento e sondas.

#### **4.6 Eco de máxima amplitude**

A máxima amplitude do eco de uma discontinuidade está relacionada com a dimensão, forma e orientação. É medida por comparação com um nível de referência de acordo com os métodos descritos na prEN 583-2:2000.

Dependendo da aplicação e critério de aceitação, a altura máxima do eco poderá ser:

- a) comparada directamente com um nível de referência que constitui o nível de aceitação;
- b) utilizada para determinar a dimensão equivalente de uma discontinuidade por comparação com um reflector de referência posicionado à mesma distância no material em ensaio ou num bloco de referência com as mesmas propriedades acústicas, como descrito em 4.7.2;
- c) utilizada nas técnicas de dimensionamento que envolvem movimento da sonda e uma determinada queda (ex. 6 dB) abaixo da máxima amplitude, como descrito em 4.7.3.

#### **4.7 Dimensão da discontinuidade**

##### **4.7.1 Generalidades**

O dimensionamento de discontinuidades consiste na determinação de uma ou mais dimensões/áreas projectadas das discontinuidades em direcções ou secções preestabelecidas.

Uma breve descrição destas técnicas encontra-se no anexo F e detalhes adicionais são apresentados na prEN 583-2:2000.

##### **4.7.2 Técnicas do eco de máxima amplitude**

Estas técnicas baseiam-se na comparação da máxima amplitude do eco de uma discontinuidade com a amplitude do eco de um reflector de referência posicionado à mesma distância.

Só são eficazes se:

- a) a forma e orientação da discontinuidade for favorável à reflexão, e daí a necessidade de avaliar a amplitude de vários ângulos e direcções, salvo se a orientação for conhecida;

- b) as dimensões da descontinuidade, perpendiculares ao eixo do feixe, forem inferiores à largura do feixe em uma ou ambas as direcções;
- c) a forma e orientações básicas do reflector de referência for similar às da descontinuidade a ser avaliada.

O reflector de referência poderá ter a forma de disco, ex. um furo de fundo plano ou ser um reflector alongado, ex. um furo lateral ou entalhe.

As descontinuidades sujeitas a dimensionamento poderão ser classificadas numa das seguintes categorias:

- i) descontinuidades cuja área reflectora tem dimensões inferiores à abertura do feixe em todas as direcções;
- ii) descontinuidades cuja área reflectora evidencia uma forma alongada, isto é, têm um comprimento maior do que a largura do feixe e uma dimensão transversal inferior à largura do feixe.

Para descontinuidades correspondentes à categoria i), a área da descontinuidade projectada na secção perpendicular ao eixo do feixe acústico, é assumida e deve ser equivalente à área de um reflector em forma de disco, perpendicular ao eixo do feixe, produzindo um eco máximo da mesma amplitude quando posicionado à mesma distância.

Para descontinuidades correspondendo à categoria ii), os reflectores são geralmente de forma alongada, e transversais ao feixe ultrasónico possuindo um perfil transversal especificado. Tais reflectores poderão ser entalhes com secção rectangular, em U ou em V ou serem furos cilíndricos, etc.

#### **4.7.3 Técnicas que envolvem o movimento da sonda**

Quando se utiliza uma sonda angular, as dimensões geralmente determinadas são:

- i) dimensão  $l$ , paralela à direcção lateral de sondagem, determinada pelo movimento lateral da sonda (ver Figura. 2):
- ii) dimensão  $h$ , perpendicular à direcção transversal de sondagem, determinado pelo movimento transversal da sonda (ver Figura.2)

Quando se utiliza uma sonda direita, as dimensões geralmente determinadas são  $l_1$  e  $l_2$  em direcções paralelas à superfície de sondagem, pelo movimento da sonda em duas direcções perpendiculares (Figura 3).

As técnicas classificam-se em três categorias:

- 1) técnicas de níveis de amplitude fixa, onde os extremos da descontinuidade se fazem corresponder às posições às quais a altura do eco cai abaixo de um nível de avaliação acordado;
- 2) técnicas onde as extremidade da descontinuidade correspondem às posições onde o eco máximo em qualquer posição da descontinuidade caiu um determinado número acordado de dB. Os bordos da descontinuidade poderão ser localizados no eixo do feixe ou numa extremidade predeterminada do feixe;
- 3) técnicas que visam posicionar os ecos individuais das extremidades da descontinuidade, ou de zonas imediatamente adjacentes às extremidades.

As principais técnicas de dimensionamento que aplicam o movimento da sonda estão descritas no anexo D.

#### **4.7.4 Selecção das técnicas de dimensionamento**

A selecção da(s) técnica(s) de dimensionamento depende da aplicação e do tipo de peça, da dimensão e natureza da descontinuidade.

Aplicam-se as seguintes regras gerais:

- a) as técnicas de máxima amplitude de ecos (ver 4.7.2) poderão ser aplicadas somente se as dimensões a serem medidas forem inferiores à largura do feixe medida a  $-6$  dB;
- b) técnicas de nível de amplitude constante (ver 4.7.3 (1)) poderão ser aplicadas a descontinuidades de qualquer dimensão mas, desde que o parâmetro a ser medido seja um valor arbitrário dependente do nível de amplitude seleccionado. Estas técnicas só se aplicam quando expressamente estabelecido no critério de aceitação;
- c) técnicas baseadas no movimento da sonda com uma queda especificada em dB, relativa à da amplitude máxima de uma determinada descontinuidade (ver 4.7.3 (2)), poderão ser aplicadas somente quando a dimensão medida for maior do que a largura do feixe a uma determinada queda em dB. Se esta condição não for cumprida a dimensão da descontinuidade deve ser assumida como sendo igual à largura do feixe;
- d) técnicas baseadas no posicionamento dos bordos individuais de uma descontinuidade (ver 4.7.3 (3)) só poderão ser aplicadas, quando as indicações ultrasónicas referentes às descontinuidades evidenciarem dois ou mais ecos máximos que possam ser resolvidos;
- e) se a dimensão a ser determinada for medida por mais de uma técnica do parágrafo 4.7.3, o valor medido pela técnica cuja maior confiança e exactidão possa ser demonstrada, deve ser assumido como correcta.

Alternativamente, o maior valor medido deve ser assumido.

#### **4.7.5 Técnicas de dimensionamento recorrendo a sondas focalizadas**

Se se recorrer às sondas focalizadas para o dimensionamento, as técnicas descritas em 4.7.2 e 4.7.3 podem ser aplicadas, desde que a descontinuidade esteja dentro da zona focal do feixe. Em geral, as regras estabelecidas em 4.7.4 também se aplicam a sondas focalizadas.

Quando for requerido uma exactidão superior no dimensionamento, poderá-se utilizar uma técnica alternativa baseada na construção de uma série de imagens C-scan da descontinuidade.

Estas são representadas graficamente por um processo iterativo de quedas de 6 dB, iniciando-se pela correspondente a 6 dB do eco máximo da descontinuidade, seguida de outra onde a evolução da representação correspondendo a uma queda de 6 dB, que seja igual ou inferior a 6 dB da semiabertura do feixe ultrasónico.

Em princípio, esta técnica iterativa pode ser utilizada tanto com sondas focalizadas como com sondas não focalizadas mas, estas últimas estão mais indicadas quando uma alta exactidão for requerida. O Anexo E ilustra esta técnica em detalhe.

#### **4.7.6 Aplicação de algoritmos matemáticos para o dimensionamento**

O principal objectivo das técnicas de dimensionamento ilustradas em 4.7.2. e 4.7.3 é o de comparar a dimensão medida da descontinuidade, com os níveis de aceitação expressos em termos da máxima dimensão permitida (ou áreas/volumes). Quando é requerido uma alta exactidão de forma a melhor estimar a verdadeira dimensão de uma descontinuidade, e apenas os dados obtidos pelas técnicas descritas em 4.7.2 e 4.7.3 estão disponíveis, algoritmos matemáticos poderão ajudar.

O anexo F ilustra em detalhe algoritmos que podem ser utilizados para estimar a dimensão real de descontinuidades, que são maiores ou menores que o diâmetro do feixe ultrasónico.

#### **4.7.7 Técnicas especiais de dimensionamento**

Técnicas especiais são complementares às descritas em 4.7.2 a 4.7.6 e poderão ser utilizadas em aplicações onde mais altos níveis de confiança e exactidão são necessários.

Quando requerido, a confiança e exactidão de uma determinada técnica especial, aplicada para ir ao encontro de um critério de aceitação especificado, terá de ser demonstrada na mesma configuração e tipo de material, utilizando o mesmo procedimento de ensaio e tipo de equipamento e sondas.

A seguinte lista de técnicas especiais não é exaustiva devido ao grande número disponível e ao seu contínuo desenvolvimento. As descritas são as mais vulgarmente aplicadas e o seu uso está suficientemente bem aceite.

a) Técnicas de difracção na extremidade

Estas técnicas poderão ser usadas para a confirmação da natureza planar de descontinuidades (se for este o caso) e para dimensionamento da dimensão transversal ( $h$  da Figura 2) da descontinuidade planar. Estão baseadas na detecção e localização dos ecos difractados pelos bordos das descontinuidades;

b) Técnicas de conversão de modo

Quando aplicáveis estas técnicas poderão ser usadas para detecção e caracterização de descontinuidades planares. Recorrem à conversão de modo para gerar um feixe ultrasónico adicional com um ângulo de reflexão e velocidade diferentes, quando o plano da descontinuidade estiver orientado segundo um ângulo apropriado relativamente ao ângulo incidente. Em alguns casos, estas técnicas poderão ser utilizadas para o dimensionamento mas, requerem a utilização de blocos de referência da peça em ensaio, que contenham reflectores de diferentes dimensões.

c) Outras técnicas especiais

Outros exemplos de técnicas ultrasónicas especiais para o dimensionamento de descontinuidades planares e volúmicas, são:

- holografia acústica;
- tomografia acústica;
- técnicas que usam feixes de ângulo variável;
- técnicas de focalização através da sintetização da abertura de feixe (SAFT); e
- reconstrução de imagens B-scan sectoriais.

O anexo G, parágrafo G.2, descreve o princípio e principais características do SAFT.

## **5. Técnicas de transmissão**

### **5.1 Generalidades**

Os princípios e requisitos gerais da técnica de transmissão estão estabelecidos na EN 583-3.

As parágrafos seguintes descrevem alguns dos parâmetros e características ultrasónicas dos sinais transmitidos a que se poderá recorrer, tanto isoladamente como em combinação, para avaliar uma descontinuidade por esta técnica.

### **5.2 Localização da descontinuidade**

Quando se utiliza sondas direitas, a localização da descontinuidade é definida como as posições na superfície da peça, relativamente a um sistema de coordenadas bidimensionais, na qual se observa a redução máxima da amplitude do sinal transmitido.

Se for praticável dirigir os feixes ultrasónicos através da área em ensaio em duas direcções diferentes, por exemplo recorrendo a pares de sondas angulares, como se ilustra na Figura 4, a localização tridireccional da descontinuidade poderá ser determinada.

### **5.3 Avaliação de descontinuidades múltiplas**

A determinação de que uma descontinuidade é contínua ou intermitente, será levada a efeito em primeiro lugar observando variações da amplitude do sinal quando a sonda é movida sobre a descontinuidade.

Se a amplitude se mantiver sensivelmente constante a descontinuidade poderá ser classificada como contínua e avaliada como tal face ao critério de aceitação.

Caso contrário, se a amplitude do sinal evidenciar máximos e mínimos nítidos a descontinuidade poderá ser classificada como intermitente. Neste caso, é necessário determinar quantitativamente onde a concentração de descontinuidades discretas dentro da área afectada, é suficientemente alta para aplicar as limitações dimensão/área impostas pelo critério de aceitação.

A concentração de descontinuidades dentro das áreas afectadas poderá ser expressa, por exemplo, em termos da relação entre:

- a) dimensões (ou área) das descontinuidades individuais e a distância entre elas;
- b) o comprimento total das descontinuidades num determinado comprimento global; e
- c) a área total de uma descontinuidade individual numa determinada área global.

### **5.4 Redução da amplitude do sinal**

Este parâmetro é tido em consideração sempre, que o sinal da amplitude do sinal cai abaixo do nível de avaliação especificado.

Se o sinal se perder completamente, os limites da zona na superfície de sondagem nas quais esta situação ocorre deverão ser determinados.

Se se verificar apenas uma perda parcial do sinal, a posição na superfície de sondagem correspondente à máxima redução da amplitude, em conjunto com os dB de redução comparativamente ao sinal obtido na zona livre de descontinuidades.

Se a área na superfície de sondagem afectada pela redução de sinal, for inferior à secção do feixe acústico, a dimensão da descontinuidade normal ao feixe poderá ser estimada por correspondente redução da amplitude do eco de um reflector de referência, por exemplo um furo de fundo plano, produzido numa amostra representativa de material livre de descontinuidades (ver 5.5 (a)).

Quando for observada uma redução parcial sensivelmente constante da amplitude do sinal numa zona significativamente maior do que a área do feixe ultrasónico, é provável que a descontinuidade tome a forma, por exemplo, de uma banda de numerosas pequenas descontinuidades, uma área estrutura e de grão anormal, uma camada de material ultrasonicamente semitransparente ou uma descontinuidade sob uma alta tensão de compressão.

### **5.5 Dimensionamento de descontinuidades**

O dimensionamento de uma descontinuidade consiste na determinação de uma ou mais dimensões (ou áreas) correspondente à projecção da descontinuidade na superfície de sondagem. Em particular, as dimensões (ou áreas) assim determinadas, são comparadas com as normas de aceitação aplicáveis, sempre que nestas normas venham expressas em termos das máximas dimensões (ou áreas) admissíveis, com o objectivo de avaliar a aceitação ou rejeição da descontinuidade.

As técnicas de dimensionamento poderão ser classificadas essencialmente em duas categorias:

- a) técnicas baseadas na comparação da redução da amplitude do sinal, relativamente à máxima amplitude de um reflector equivalente. A adopção destas técnicas para dimensionamento está limitada à dimensão (ou área) da zona na superfície de sondagem correspondente onde há redução da amplitude abaixo do nível de avaliação, é inferior à dimensão (ou área) da sonda projectada na superfície de sondagem.

Neste caso, é determinada a perda máxima de amplitude do sinal relativamente à amplitude do sinal numa zona livre de discontinuidades, conjuntamente com o reflector, geralmente um furo de fundo plano perpendicular ao eixo do feixe e localizado a uma determinada profundidade (ex. meia espessura), produzindo a mesma redução na amplitude do sinal transmitido.

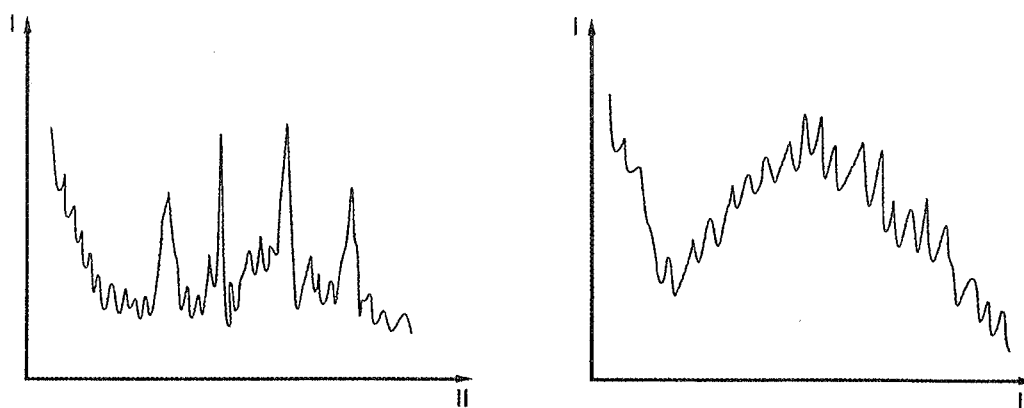
A dimensão (ou área) da discontinuidade, projectada no plano perpendicular ao eixo do feixe, é assumida como sendo o mesmo da dimensão (ou área) do furo de fundo plano.

- b) técnicas baseadas na redução de amplitude do sinal em conjunto com o movimento da sonda. Estas técnicas consistem na determinação da zona na superfície de sondagem correspondente à perda do sinal ou à redução da amplitude relativamente a um dado valor (frequentemente 6 dB) relativamente à amplitude do sinal em zonas livres de discontinuidades.

Outros valores para além dos 6 dB poderão ser utilizados quando especificados pelos documentos de referência, particularmente quando se avalia discontinuidades que são parcialmente transparentes aos ultrasons.

A extensão da zona assim determinada é assumida como sendo a extensão da projecção da discontinuidade na superfície de sondagem.

Uma vez que a técnica de transmissão é de utilização mais frequente para detecção de grandes discontinuidades, onde os requisitos sobre a exactidão do dimensionamento são relativamente baixos, as técnicas descritas em b) são adequadas para a maioria das aplicações. Neste contexto, os dados adquiridos de acordo com a) constituem uma referência que poderá ser utilizada para assegurar a reproductibilidade do ensaio, mais do que uma base para um dimensionamento directo de discontinuidades.



Legenda

I - Amplitude do sinal

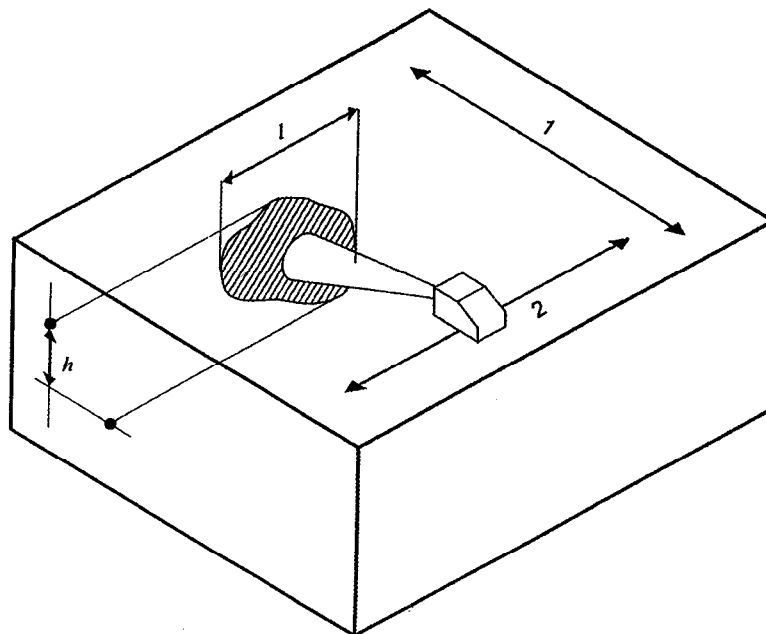
II - Tempo de percurso

a) Grupo de discontinuidades resolvidas

b) Grupo de discontinuidades sem resolução

Figura 1– Exemplos de A-scans correspondentes a discontinuidades agrupadas num forjado ou vazado



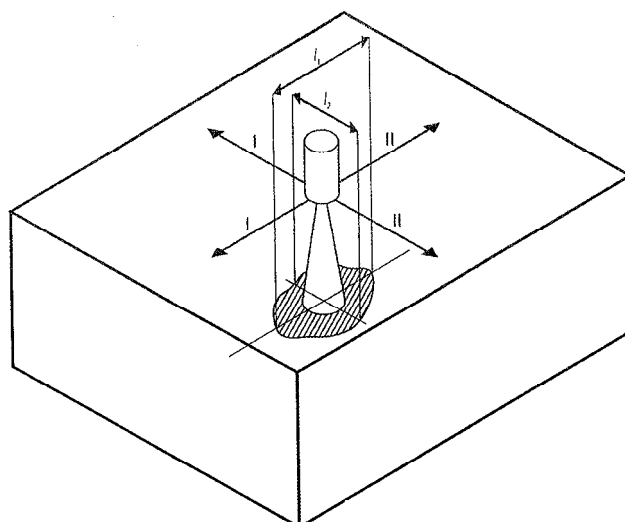


Legenda

1- Movimento transversal

2- Movimento lateral

Figura 2– Parâmetros projectados  $l$  e  $h$  para o dimensionamento convencional de uma descontinuidade com uma sonda angular



Legenda

I- Movimento da sonda

II- Movimento da sonda

Figura 3 – Parâmetros  $l_1$  e  $l_2$  para o dimensionamento convencional de uma descontinuidade com uma sonda direita

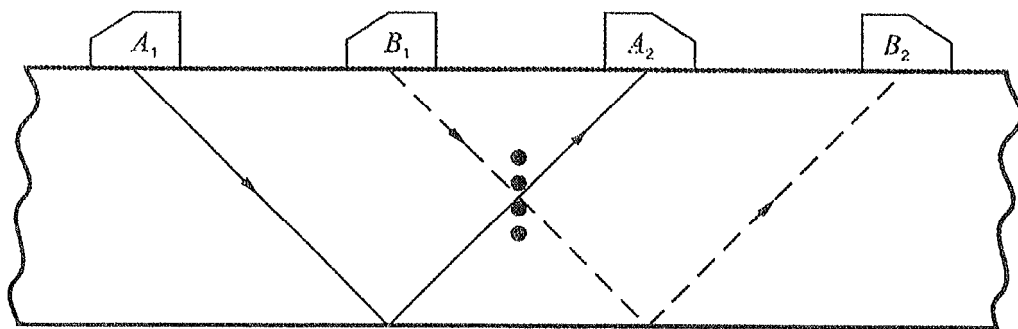


Figura 4 – Localização de descontinuidades pela técnica de transmissão recorrendo a sondas angulares

As descontinuidades localizam-se na intercepção dos dois feixes  $A_1A_2$  e  $B_1B_2$  na qual a redução máxima da amplitude do sinal transmitido é observado.

## **Anexo A**

(normativo)

### **Análise de indicações múltiplas**

Algumas das técnicas que poderão ser utilizadas para distinguir descontinuidades intermitentes de contínuas são descritas seguidamente.

As técnicas A.1 e A.2 são particularmente aplicáveis a soldaduras, mas poderão ser adaptadas a outras aplicações onde o ensaio com sondas angulares seja aplicável. A técnica A.3 é de mais larga aplicação, mas está limitada no que diz respeito à área mínima das descontinuidades que poderá ser avaliada.

#### **A.1 Caracterização lateral**

Para descontinuidades evidenciando uma única indicação A-scan simples e bem definida, a direcção de sondagem, o ângulo do feixe, a dimensão e a frequência da sonda deverão ser seleccionadas para emitirem o feixe mais estreito, que seja praticável à distância da descontinuidade levando a efeito uma cuidadosa sondagem lateral sob condições de acoplamento constante.

Uma queda acentuada na altura dos ecos ao longo do seu comprimento sugere que a descontinuidade é intermitente. Isto deverá ser confirmado com movimentos de rotação e orbital adjacentes às aparentes quebras de continuidade e, observando-se se a altura do eco cai rapidamente e se não aparecem ecos secundários significativos. Qualquer outra resposta sugere que as aparentes quebras são devidas à variação na orientação lateral.

#### **A.2 Caracterização transversal (segundo a espessura)**

Deverão ser efectuadas sondagens transversais cuidadosas ao longo da descontinuidade, a partir de pelo menos duas direcções e a curtos percursos sonoros, sendo anotada a forma da envolvente dos ecos.

Quedas significativas ou quebras completas na envolvente do eco sugerem que a descontinuidade poderá ser intermitente.

Quando o acesso permita, recomenda-se que seja construída uma imagem da sondagem transversal da descontinuidade, representando todos os ecos observados a partir de um número diferente de direcções e ângulos. Quando esta técnica é seleccionada, são necessárias superfícies de sondagens planas e lisas em ambos os lados da descontinuidade além de grande exactidão na representação.

#### **A.3 Técnica de sombra**

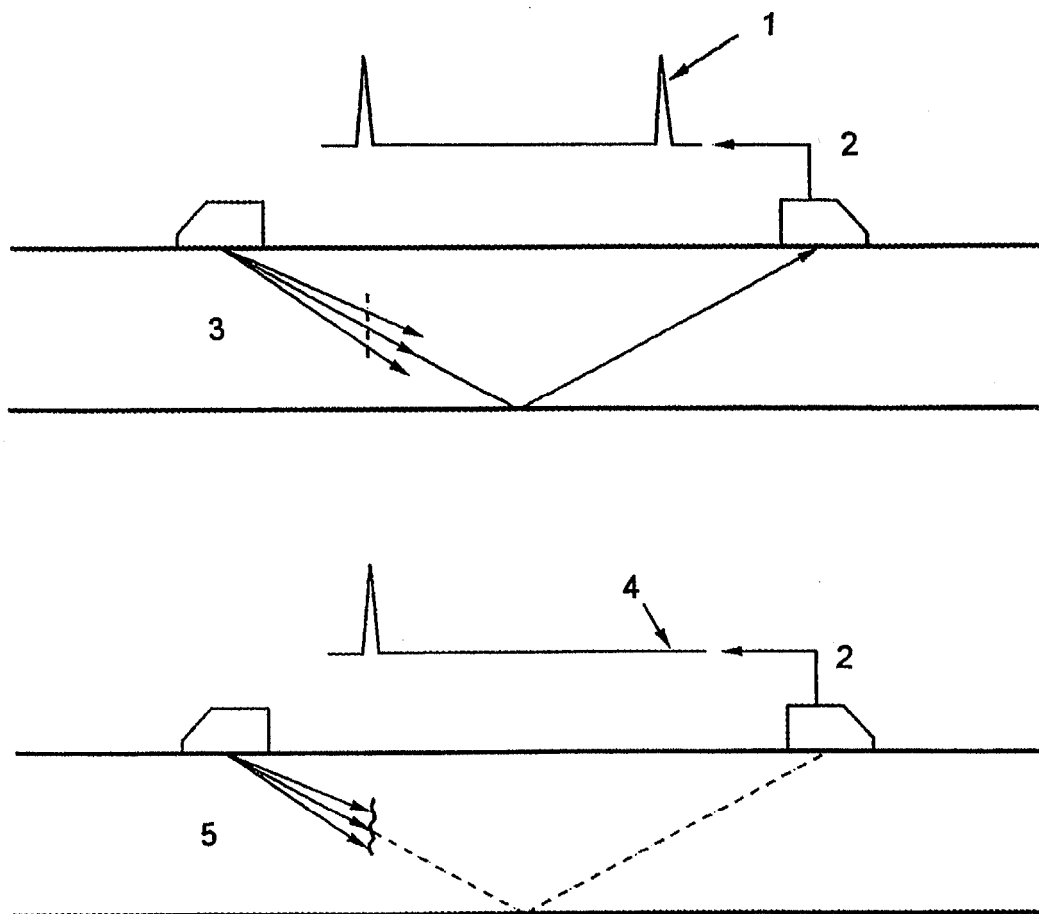
Esta técnica é útil quando as dimensões da descontinuidade, ou grupo de descontinuidades, são aproximadamente iguais à abertura do feixe.

A técnica está ilustrada na Figura A.1, sendo também aplicável a sondas direitas, quer usando sondas de emissão/recepção separadas ou monitorando as variações da amplitude do eco de fundo.

Um forte sinal transmitido através da área afectada é uma evidência positiva da ausência de descontinuidades. A amplitude do sinal transmitido é função da relação área da descontinuidade/área do feixe.

A resolução de todas as técnicas anteriores poderá ser melhorada pelo uso de sondas focalizadas, com um comprimento focal perto do percurso sonoro para a descontinuidade.

Uma vez, que a dimensão transversal de uma descontinuidade é normalmente de importância crítica, deverá ser assumida contínua, salvo, se houver prova conclusiva que é intermitente nessa direcção.



Legenda

- 1 Sinal transmitido
- 2 A-scan
- 3 Descontinuidade intermitente
- 4 Ausência de sinal transmitido
- 5 Descontinuidade contínua

Figura A.1 – Técnica de sombra aplicável na distinção entre descontinuidades contínuas e intermitentes

## **Anexo B**

(normativo)

### **Técnicas para classificação da forma da descontinuidade**

#### **B.1 Classificação simplificada**

##### **B.1.1 Generalidades**

A classificação simplificada da forma da descontinuidade baseia-se na determinação de quando é que a descontinuidade tem uma extensão significativa numa ou mais direcções. No contexto desta norma, o termo “extensão significativa” é definido como a dimensão maior do que a dimensão mínima mensurável, quando se toma em consideração da abertura do feixe e a resolução da sonda à distância do percurso sonoro para a descontinuidade.

No contexto desta norma as formas da descontinuidade são:

- pontual: extensão não significativa em qualquer direcção;
- alongada: extensão significativa em apenas numa direcção;
- grande: extensão significativa em 2 direcções perpendiculares (planar) ou em 3 direcções perpendiculares (volúmica).

Qualquer uma das técnicas seguintes (ver parágrafo B.1.2 e B.1.3) poderá ser utilizada para avaliar quando é, que a descontinuidade tem uma extensão significativa. Ambas envolvem a sondagem em 2 diferentes direcções perpendiculares, utilizando 2 movimentos de sonda (perpendicular e paralela à direcção de sondagem) para cada direcção de sondagem (ver Figura B.1). Um exemplo de um procedimento para caracterização destas descontinuidades em soldaduras está descrito no diagrama da EN 1713.

##### **B.1.2 Técnica de reconstrução**

Para cada movimento de sondagem, é reconstruída a imagem da descontinuidade representando graficamente uma série de indicações nas quais a amplitude do eco excede o nível de avaliação/registo. As dimensões dessas imagens são então comparadas com a dimensão mínima mensurável citada em B.1.1.

##### **B.1.3 Técnica da envolvente**

Para cada movimento de sondagem, é observada a forma da indicação A-scan da descontinuidade e a variação de amplitude de eco com o movimento da sonda. Uma descontinuidade que mostre uma única indicação estreita e nítida que aumenta suavemente até à amplitude máxima antes de cair, suavemente até à linha de base de tempos, é classificada como não tendo extensão significativa.

Todos os outros tipos, ex. picos múltiplos na representação A-scan, ou variações irregulares na amplitude do eco com o movimento da sonda, são consideradas como tendo características de descontinuidades com extensão significativa.

## **B.2 Classificação detalhada**

### **B.2.1 Generalidades**

As técnicas que se descrevem a seguir são aplicáveis quando for requerido uma maior exactidão na determinação da forma e natureza da descontinuidade relativamente ao descrito em B.1.

Neste tipo de avaliação é importante construir uma imagem do tipo e dimensão da descontinuidade que seja consistente com todas as medições efectuadas. Quando se encontrar discrepâncias significativas que não possam ser resolvidas, será registado o tipo de descontinuidade ao qual é aplicado o critério de aceitação mais severo e os valores mais conservadores da dimensão da descontinuidade.

Os tipos e formas básicos de descontinuidades que possivelmente poderão ser distinguidos:

- 1- pontual
  - a) esférica;
  - b) planar;
- 2- alongada
  - a) cilíndrica;
  - b) planar;
- 3- grande
  - a) volúmica;
  - b) planar lisa
  - c) planar rugosa;
- 4- múltipla
  - a) esférica;
  - b) planar.

Esta lista não será interpretada como uma lista de descontinuidades para fins de aceitação, mas apenas uma lista de formas, cuja identificação poderá auxiliar na classificação correcta de tipos de descontinuidades especificados nas normas de aceitação.

Poderão ser utilizadas três técnicas para identificar estas formas e determinar a sua orientação. Estas são baseadas em:

- a) representação ecodinâmica (ver B.2.2);
- b) reflectividade direccional (ver B.2.3);
- c) parâmetros adicionais, ex. localização, orientação, indicações múltiplas (ver 4.2, 4.3 e 4.4).

### **B.2.2 Técnica da representação ecodinâmica**

A representação ecodinâmica de uma descontinuidade é a alteração na forma e amplitude do eco quando um feixe acústico a intercepta.

A representação ecodinâmica é função da forma e dimensão da descontinuidade, da sonda utilizada e da direcção e ângulo de sondagem.

As descontinuidades serão sondadas com cada sonda, em duas direcções perpendiculares, isto é, ao longo e através da descontinuidade, e a representação em cada direcção será registada. Sondagens efectuadas a partir de direcções adicionais e com outras sondas darão informações adicionais.

Respostas de ecos típicos de diferentes descontinuidade estão listados em B.2.1 e esquematizadas nas Figuras B.2 a B.5.

### **Modelo ecodinâmico 1**

A resposta típica de descontinuidade pontual está ilustrada na Figura B.2. Em qualquer posição da sonda, o A-scan mostra um único eco estreito e nítido. À medida que a sonda é movida, o eco aumenta suavemente em amplitude antes de cair suavemente para o nível de ruído.

Em geral, o modelo ecodinâmico 1 é indicativo de uma superfície reflectora única na direcção para a qual o feixe ultrasónico é dirigido. Esta superfície poderá ser curva (isto é, esférica ou cilíndrica) ou, alternativamente poderá ser plana, lisa ou rugosa, mas muito pequena para produzir a resposta com modelo ecodinâmico 2 ou 3.

### **Modelo ecodinâmico 2**

Na Figura B.3 esquematiza-se a resposta de uma descontinuidade lisa e alongada. Para qualquer posição da sonda, o A-scan mostra um único eco estreito e nítido. Quando o feixe ultrasónico se move sobre a descontinuidade o eco sobe suavemente até um determinado nível, mantendo-se nesse nível com flutuações em amplitude menores do que 4 dB, à medida que o feixe se move para fora da descontinuidade, altura em que o eco cai suavemente para o nível de ruído.

O modelo ecodinâmico 2 é indicativo de uma grande superfície reflectora, igual ou superior à largura do feixe medido a 6 dB e orientando-se aproximadamente perpendicular ao eixo do feixe na direcção em que está a ser sondado. Por exemplo, um reflector cilíndrico apresenta o modelo ecodinâmico 1 segundo o seu diâmetro e o modelo ecodinâmico 2 segundo o seu comprimento. Como segundo exemplo, uma descontinuidade do tipo folheamento numa chapa, mostrará o modelo ecodinâmico 2 em ambas as direcções quando sondada com uma sonda direita.

### **Modelo ecodinâmico 3**

A resposta típica de uma grande descontinuidade rugosa está esquematizada nas Figuras B.4.a) e B.4.b). Existem duas variantes deste modelo ecodinâmico, dependentes do ângulo de incidência do eixo do feixe na descontinuidade.

Quando por incidência de um feixe normal ou angular, uma descontinuidade é incidida perpendicularmente, então a Figura B.4.a) é válida. Em qualquer posição o A-scan mostra um único eco irregular. À medida que a sonda se desloca, o eco poderá apresentar flutuações em amplitude grandes ( $>\pm 6$  dB) e aleatórias. As flutuações são causadas pelas diferentes reflexões nas facetas da descontinuidades pela interferência aleatória das ondas dispersas por grupos de facetas.

Quando a descontinuidade for atingida por uma incidência oblíqua, então o “modelo do eco em movimento” da Figura B.4.b) é válido. Em qualquer posição da sonda o A-scan evidencia um extenso trem de sinais (“picos secundários”) dentro de uma envolvente em forma de sino. À medida que a sonda se desloca, cada pico secundário move-se através da envolvente, subindo para os seus próprios máximos para o centro da envolvente e caindo de seguida. O sinal global poderá evidenciar flutuações em amplitude grandes ( $>\pm 6$  dB) e aleatórias.

O modelo ecodinâmico 3 é indicativo de uma descontinuidade irregular ou rugosa contendo um número de facetas reflectoras. Como exemplo, poderá ser uma grande fissura rugosa. Uma importante característica do modelo ecodinâmico 3, é a de cada pico individual atinge a máxima amplitude em sequência, dando origem ao “eco a rolar”.

### **Modelo ecodinâmico 4**

A resposta típica de descontinuidades múltiplas obtida na sondagem com um feixe normal ou angular está esquematizado na Figura B.5. Para qualquer posição da sonda, o A-scan evidencia um ninho de sinais, os quais poderão ou não ser bem resolvidos. À medida que a sonda se move, os sinais sobem e caem de forma

aleatória mas, o sinal de cada elemento separado da descontinuidade, se com suficiente resolução, evidencia o modelo ecodinâmico 1.

O modelo ecodinâmico 4 é indicativo de um ninho de pequenos reflectores aleatoriamente distribuídos e difere do modelo ecodinâmico 3 por não apresentar o efeito “eco a rolar”.

A utilização deste modelo ecodinâmico em combinação com a informação da reflectividade direccional e outros parâmetros é tida em consideração em B.3.

### **B.2.3 Reflectividade direccional**

Este termo é usado para descrever a variação da amplitude do eco de uma descontinuidade relativamente ao ângulo, segundo o qual o feixe incide nela.

Descontinuidades que mostrem amplitudes de ecos relativamente constantes numa larga gama de ângulos de incidência são reconhecidos por terem baixa reflectividade direccional e vice-versa.

A amplitude do eco de uma descontinuidade depende da sua dimensão, orientação e contorno da superfície. Medida a amplitude de diferentes direcções e ângulos (tendo em consideração os efeitos da escala de tempos na amplitude do eco), é possível obter informação acerca destas características. Por exemplo, um defeito que mostre ter uma muito baixa reflectividade direccional terá a tendência ser esférico. Ao contrário, uma descontinuidade com grande reflectividade direccional será um grande reflector liso orientado perpendicularmente ao ângulo do feixe ao qual, a máxima amplitude é observada.

A reflectividade direccional de reflectores planos e pequenos é relativamente baixa e aumenta com a dimensão do reflector, à medida que aquela tende para a largura do feixe. Por exemplo, quando se executa uma sondagem orbital de uma inclusão curta numa soldadura, o comprimento pode ser estimado, anotando a reflectividade direccional na direcção do comprimento.

## **B.3 Combinação de dados**

Descontinuidades metalúrgicas podem ter formas complexas e dar origem a comportamentos complexos dos ecos, quando o feixe passa por eles. Contudo, é possível na maioria dos casos identificar a forma básica a partir das seus modelos ecodinâmicos e reflectividade direccional suplementadas, no caso de grandes descontinuidades, pela localização exacta das facetas individuais ou extremidades das suas superfícies.

No Quadro B.1 sumarizam-se todas as características das respostas típicas de todas os tipos e formas das descontinuidades definidas em B.2.1, combinando os resultados da classificação de acordo com B.2.2 e B.2.3.

A orientação de pequenas descontinuidades planares é, geralmente, determinada pelo registo do ângulo do feixe ao qual o eco máximo é alcançado, quando a orientação é perpendicular ao eixo do feixe.

Quanto maior o número de ângulos, segundo a qual a descontinuidade é examinada, tanto maior será a exactidão. Descontinuidades perpendiculares à superfície da peça e que também abram à superfície ou estejam muito perto dela, geralmente apresentam um eco máximo de ambas as direcções, quando o ângulo de incidência está entre 40° e 50°.

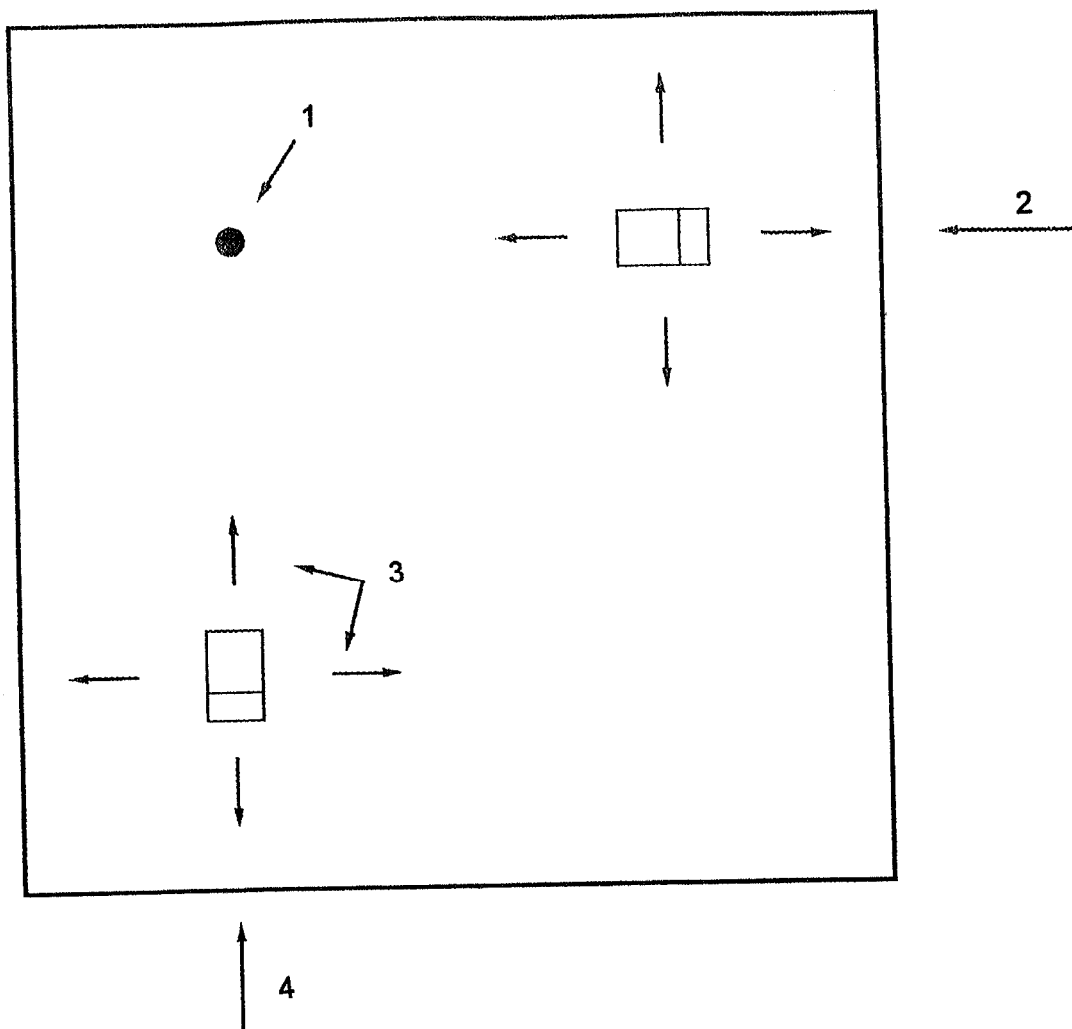


Quadro B.1 – Guia para a classificação detalhada

Forma/Tipo	Modelo ecodinâmico ecodinâmica		Reflectividade direccional	Observações
	Movimento transversal	Movimento lateral		
Pontual esférica	Modelo ecodinâmico 1	Modelo ecodinâmico 1	Muito baixa	Localização pontual
Pontual planar	Modelo ecodinâmico 1	Modelo ecodinâmico 1	Moderada	Somente localização pontual
Alongada cilíndrica	Modelo ecodinâmico 1	Modelo ecodinâmico 2	Muito baixa no plano transversal. Alta no plano lateral*	Localização pontual com o movimento transversal
Alongada planar	Modelo ecodinâmico 1	Modelo ecodinâmico 2	Moderada no plano transversal. Alta no plano lateral*	As extremidades poderão ser localizadas individualmente com o movimento lateral
Grande volúmica	Modelo ecodinâmico 3	Modelo ecodinâmico 2 ou 3	Moderada no plano transversal. Moderada no plano lateral*	Contorno aproximado geralmente possível
Grande planar lisa	Modelo ecodinâmico 2	Modelo ecodinâmico 2	Muito alta	Extremidades poderão ser localizados individualmente
Grande planar rugosa	Modelo ecodinâmico 3	Modelo ecodinâmico 3	Moderada	Localização das facetas individuais e extremidades normalmente possível
Esféricas múltiplas	Modelo ecodinâmico 4	Modelo ecodinâmico 4	Muito baixa	Localização dos bordos do ninho normalmente possível
Múltiplas planares	Modelo ecodinâmico 4	Modelo ecodinâmico 4	Moderada	possível

\*NOTA: Os planos transversal e lateral são definidos:

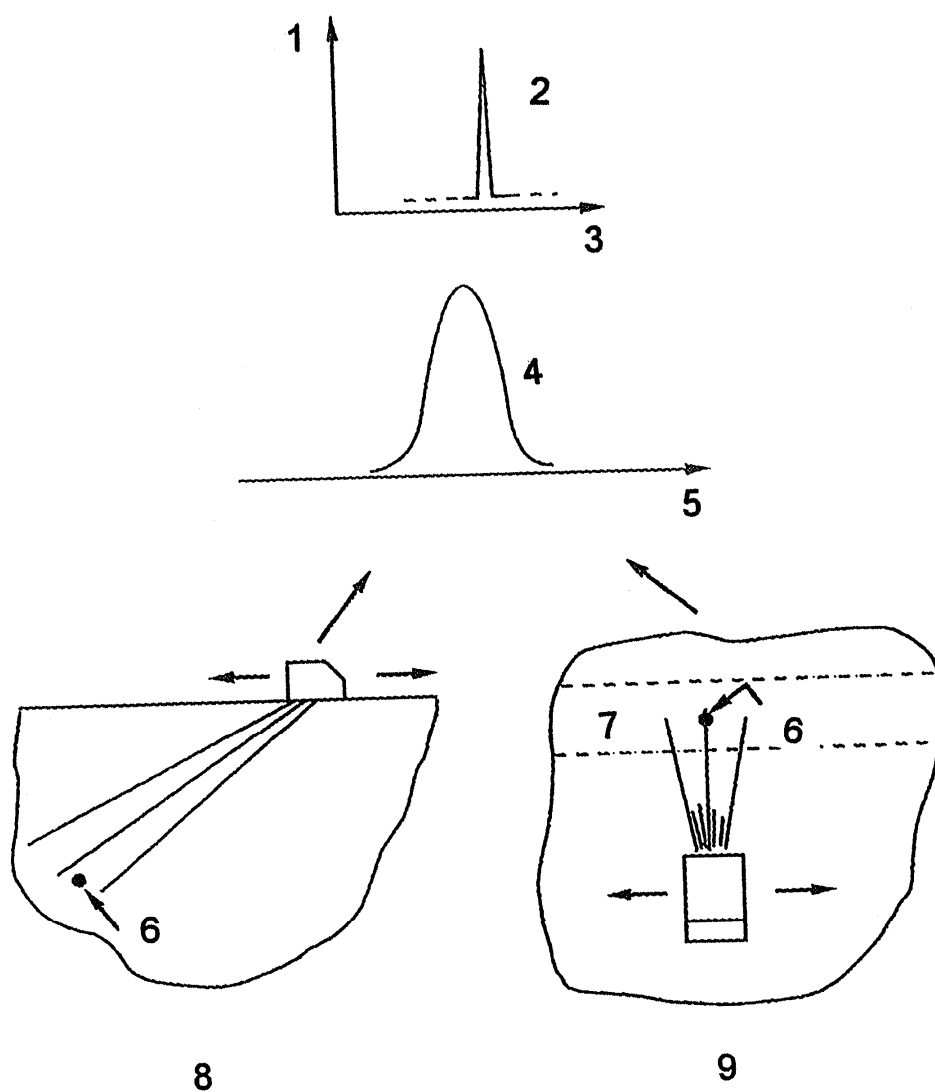
- Plano transversal – perpendicular ao maior eixo da descontinuidade, ou a uma direcção especificada
- Plano lateral – paralelo ao maior eixo da descontinuidade ou perpendicular ao plano transversal.



Legenda

- 1 Descontinuidade
- 2 Direcção de sondagem 1
- 3 Movimento da sonda
- 4 Direcção de sondagem 2

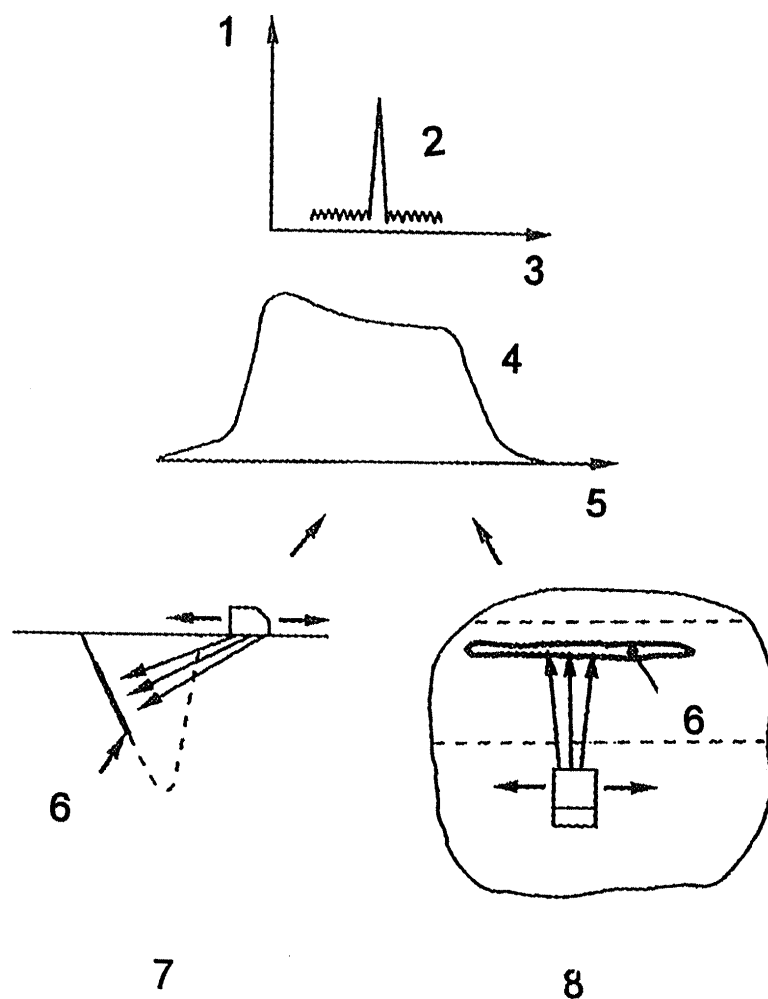
Figura B.1 – Movimento da sonda e direcção de sondagem para a classificação simplificada da forma da descontinuidade quando se utiliza sondas angulares



Legenda

- 1 Amplitude
- 2 A-scan
- 3 Escala
- 4 Variação da amplitude do pico do sinal
- 5 Posição da sonda
- 6 Reflector
- 7 Soldadura
- 8 Ocorrência típica na direcção da espessura
- 9 Ocorrência típica na direcção lateral (comprimento)

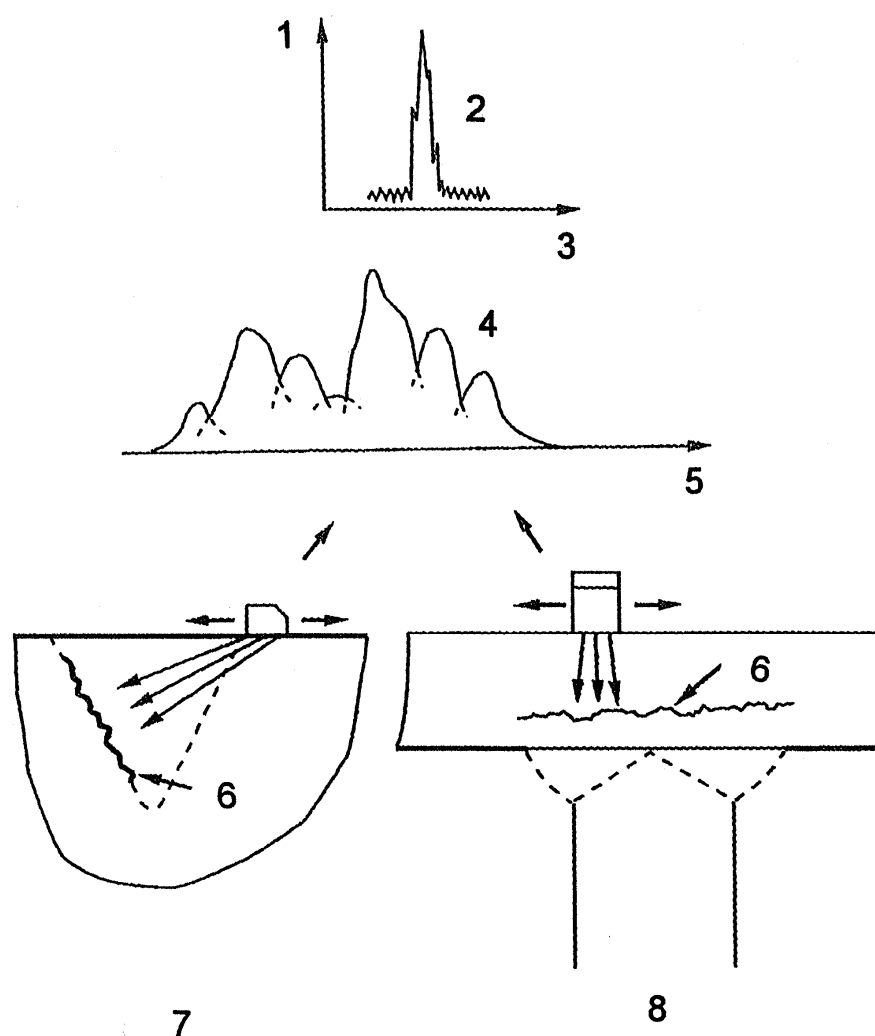
Figura B.2 – Modelo ecodinâmico 1 da resposta ultrasónica



Legenda

- 1 Amplitude
- 2 A-scan
- 3 Escala
- 4 Variação da amplitude do pico do sinal
- 5 Posição da sonda
- 6 Reflector
- 7 Ocorrência típica na direcção da espessura
- 8 Ocorrência típica na direcção lateral (comprimento)

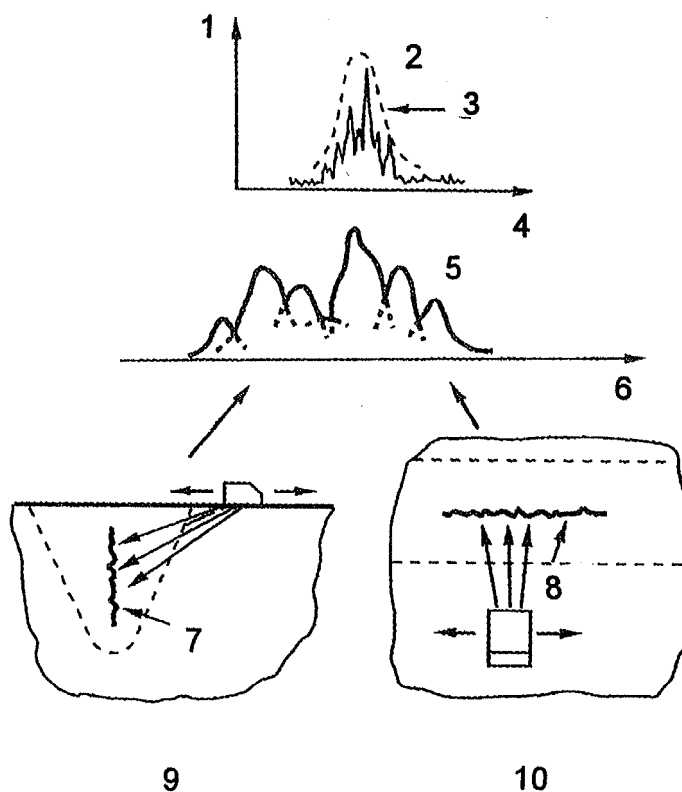
Figura B.3 – Modelo ecodinâmico 2 da resposta ultrasónica



Legenda

- 1 Amplitude
- 2 A-scan
- 3 Escala
- 4 Variação da amplitude do pico do sinal
- 5 Posição da sonda
- 6 Reflector
- 7 Ocorrência típica na direcção da espessura
- 8 Ocorrência típica na direcção lateral (comprimento)

Figura B.4.a) – Modelo ecodinâmico 3 da resposta ultrasónica  
Incidência normal na descontinuidade

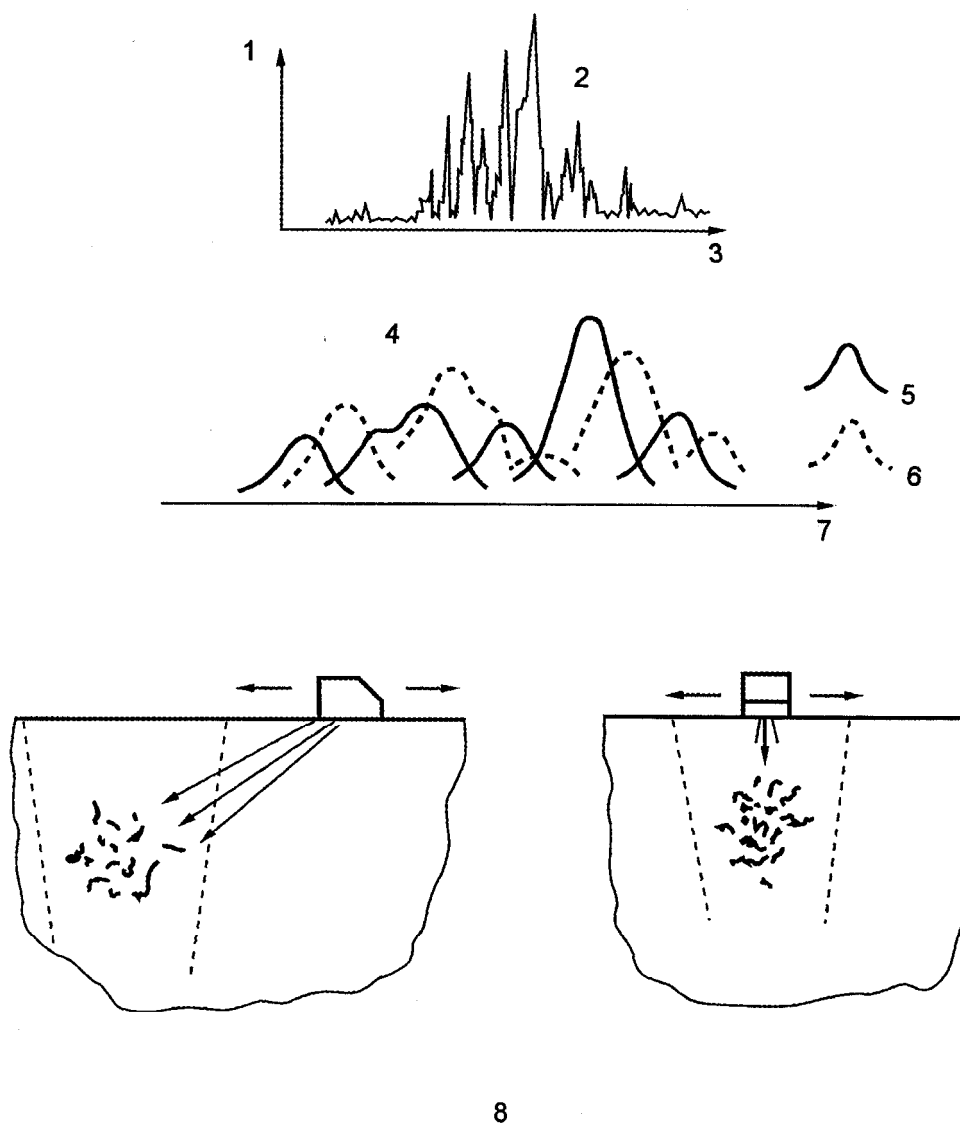


Legenda

- 1 Amplitude
- 2 A-scan
- 3 Envolvente aos ecos
- 4 Escala
- 5 Variação da amplitude do pico do sinal
- 6 Posição da sonda
- 7 Reflector
- 8 Reflector com extensão na direcção da espessura
- 9 Ocorrência típica na direcção da espessura
- 10 Ocorrência típica na direcção lateral (comprimento)

Figura B.4.b) – Modelo ecodinâmico 3 da resposta ultrasónica  
Incidência oblíqua na descontinuidade

Figura B.4– Modelo ecodinâmico 3a e 3b da resposta ultrasónica



Legenda

- 1 Amplitude
- 2 A-scan
- 3 Escala
- 4 Variação da amplitude do pico do sinal
- 5 Ecos a curta distância
- 6 Ecos a longa distância
- 7 Posição da sonda
- 8 Ocorrência típica

Figura B.5– Modelo ecodinâmico 4 da resposta ultrasónica

## **Anexo C**

(normativo)

### **Técnica de dimensionamento pela altura do eco**

#### **C.1 Técnica distância-ganho-dimensão (DGS)**

##### **C.1.1 Princípio**

Nesta técnica a amplitude máxima do eco de uma descontinuidade é expressa em termos do diâmetro equivalente de um disco reflector circular perpendicular ao eixo do feixe e localizado à mesma distância da descontinuidade a ser medida. As curvas DGS mostrando a relação entre a altura do eco, escala e diâmetro do reflector são geralmente determinadas teoricamente para um determinado tipo, diâmetro do transdutor e frequência ultrasónica.

Quando se aplica um diagrama DGS, uma chamada de atenção tem de ser feita, para os efeitos na amplitude dos ecos provocados pelas diferenças de atenuação e perdas por transferência entre a peça em ensaio e o bloco de calibração. Os detalhes de como a técnica é aplicada estão descritos na prEN 583-2:2000.

##### **C.1.2 Aplicações e limitações**

- 1) Quanto menor e mais lisa for a descontinuidade e mais perto da perpendicularidade relativamente ao eixo do feixe, mais exacta será a medida da dimensão equivalente;
- 2) quando se ensaia grandes espessuras, a técnica tem vantagens sobre a técnica CAD pois não carece de grandes blocos de calibração;
- 3) o campo de aplicação estende-se a partir do fim do campo próximo desde que as descontinuidades podem ser distinguíveis do ruído. As seguintes condições devem de ser cumpridas:
  - a) sinal da descontinuidade deve ser maximizado;
  - b) as indicações utilizadas no dimensionamento devem ser distinguíveis do nível de ruído;
  - c) as indicações com origem nas descontinuidades não devem ser sujeitas a interferência de outros ecos, ex. reflexões das faces da peça em ensaio;
- 4) a geometria da peça em ensaio ou uma amostra representativa do material deverá fornecer um eco de fundo que pode ser usado para determinar a atenuação do material e a perda por transferência;
- 5) dado a amplitude do eco de um reflector ser dependente da frequência, somente sondas com largura de banda estreitas deverão ser utilizadas.

#### **C.2 Técnica da curva de correcção da amplitude-distância (CAD)**

##### **C.2.1 Princípio**

Esta técnica baseia-se na obtenção da máxima amplitude do eco de uma descontinuidade em termos do número de dB, que está acima ou abaixo do eco de um reflector de referência localizado à mesma distância. Os reflectores de referência poderão ser furos laterais, furos de fundo plano, ou outras formas, ex. entalhes de secção quadrada ou em V.



A curva CAD, mostrando a relação entre a altura do eco e a distância, é determinada experimentalmente usando a sonda que vai ser utilizada no ensaio. É traçada a partir de uma série de reflectores, maquinados em blocos de calibração de baixa atenuação ou numa amostra representativa do material a ser ensaiado. Se for utilizado o primeiro, dever-se-á formar especial atenção quando se aplica a técnica para diferentes atenuações e perdas por transferência entre a peça em ensaio e o bloco de calibração.

Quando utilizada como técnica de dimensionamento directa, a máxima amplitude dos ecos das descontinuidades é expressa em termos do mesmo diâmetro, largura ou outra dimensão relevante do reflector de referência que dá o eco com a mesma amplitude posicionado à mesma distância. Detalhes adicionais desta técnica estão descritas na prEN 583-2:2000.

### **C.2.2 Aplicações e limitações**

- 1) O âmbito no qual a técnica poderá ser aplicada depende do tipo de reflector de referência. Quando se usa furos de fundo plano ou outros pequenos reflectores, a técnica só poderá ser utilizada fora do campo próximo. Contudo, quanto se utiliza reflectores de referência alongados, ex. furos laterais, a técnica poderá também ser utilizada no campo próximo;
- 2) o eco da descontinuidade a ser dimensionada terá de ser maximizado;
- 3) a curva CAD terá de ser traçada com a sonda a utilizar no dimensionamento;
- 4) quando se utiliza um bloco de calibração, distinto de uma amostra representativa de material, a geometria da peça em ensaio terá de fornecer um eco de fundo para a determinação da atenuação e perdas de transferência.

## **Anexo D**

### **(normativo)**

## **Técnicas de dimensionamento com movimento da sonda**

### **D.1 Técnicas do nível fixo de amplitude**

#### **D.1.1 Princípio**

Esta técnica mede as dimensões de uma descontinuidade na qual o eco é igual ou maior do que um nível de amplitude acordado. A amplitude poderá estar relacionada com a curva DGS ou poderá situar-se a alguns dB em relação à curva CAD.

Para fazer uma medição procede-se à sondagem da descontinuidade e são anotados a posição da sonda e percurso sonoro, para o qual o eco cai para o nível de avaliação. A posição do bordo da descontinuidade é então determinado traçando o percurso ao longo do eixo do feixe. No exemplo mostrado na Figura D.3 foi usado um nível 6 dB abaixo a curva de calibração CAD.

Alternativamente, a posição do bordo da descontinuidade poderá ser determinado a níveis de 12 ou 20 dB de abertura do feixe, como esquematizado na Figura D.2.

Seja qual for o procedimento utilizado deve ser repetido para posicionamento do bordo oposto da descontinuidade.

#### **D.1.2 Aplicações e limitações**

- 1) A dimensão medida depende da amplitude do nível de avaliação;
- 2) a técnica é simples de aplicar e fornece valores reprodutíveis;
- 3) a técnica poderá ser aplicada a grandes ou pequenos reflectores mas, neste último caso, o comprimento medido está mais relacionado com a largura do feixe, do que com a dimensão real da descontinuidade;
- 4) o nível de avaliação deve ser estabelecido como sendo igual, ou inferior ao nível de amplitude ao qual uma descontinuidade com comprimento infinito é aceitável.

### **D.2 Técnica da queda de 6 dB**

#### **D.2.1 Princípio**

Nesta técnica a amplitude de avaliação é 6 dB abaixo da altura do eco máximo observado em qualquer posição ao longo da descontinuidade, mais do que a um nível constante e predeterminado como o usado na técnica anterior (D.1).

Para levar a efeito uma medição, o eco da descontinuidade é maximizado e sua posição medida, sendo então a sonda deslocada até que a amplitude da indicação caia 6 dB. Anota-se a posição da sonda e o percurso respectivo e o bordo da descontinuidade é localizado ao longo do eixo do feixe. O procedimento é então repetido na extremidade oposta da descontinuidade. A técnica está ilustrada na Figura D.3.

### **D.2.2 Aplicações e limitações**

- 1) Quando a descontinuidade for perpendicular ao eixo do feixe, a sua superfície for lisa e quando a área da sua secção for igual, ou maior do que o feixe, resulta um eco de amplitude sensivelmente constante ao longo da direcção a ser medida, apresentando a técnica de dimensionamento uma exactidão relativamente alta.

Contudo, se a descontinuidade for irregular poderão ocorrer erros significativos:

- 2) a técnica só é aplicável, quando a dimensão da descontinuidade a ser medida for pelo menos igual à largura do feixe medido a 6 dB para o mesmo percurso sonoro.

## **D.3 Técnica da queda dos 12 ou 20 dB**

### **D.3.1 Princípio**

O nível de avaliação é estabelecido a 12 dB ou 20 dB abaixo do eco de máxima amplitude do eco da descontinuidade. Esta técnica também difere dos 6 dB pelo facto, de que o bordo da descontinuidade é posicionado ao longo do bordo do feixe em vez do seu eixo. Para aplicar esta técnica, começa-se por maximizar o eco da descontinuidade, seguindo-se uma sondagem dessa descontinuidade até que a amplitude do eco caia 12 ou 20 dB. A posição da sonda e o percurso do som são anotados e o bordo da descontinuidade posicionado nas linhas de abertura do ângulo traçadas a 12 ou a 20 dB, conforme aplicável (ver Figura D.4). O procedimento é repetido para o bordo oposto.

### **D.3.2 Aplicações e limitações**

- 1) Se a descontinuidade for perpendicular ao eixo do feixe e evidenciar uma amplitude uniforme do eco ao longo da direcção a ser medida, a técnica pode ser aplicada para determinar as dimensões absolutas. Contudo, é importante que as aberturas do feixe tenham sido previamente determinadas, através do uso de um reflector de referência liso e maior do que a abertura do feixe. Se estas condições não forem cumpridas, a técnica não fornece resultados com exactidão e não é recomendável.
- 2) a técnica é potencialmente mais exacta do que a técnica dos 6 dB mas, a necessidade de determinação exacta dos bordos do feixe antes de se efectuar qualquer medição poderá ser origem de fontes de erro no dimensionamento;
- 3) a técnica só é aplicável quando a dimensão da descontinuidade for pelo menos igual à abertura do feixe medido a -12 ou -20 dB à mesma distância da descontinuidade.

## **D.4 Técnica da queda para o nível de ruído**

### **D.4.1. Princípio**

Esta técnica mede as dimensões de uma descontinuidade nos pontos onde o seu eco pode ser medido acima do nível de ruído.

Para aplicar a técnica, procede-se a uma sondagem da descontinuidade, sendo a posição da sonda e o percurso do som anotados, quando a indicação for discernível do ruído. O bordo da descontinuidade é localizada ao longo do eixo do feixe, como se ilustra na Figura D.5.

O procedimento é repetido para determinar a posição do bordo oposto.

#### **D.4.2 Aplicações e limitações**

- 1) Esta técnica não apresenta grande reproductibilidade, dado a dimensão medida decrescer com o aumento do nível de ruído e vice-versa. Contudo, é útil para a determinação da dimensão global da descontinuidade, ou grupo de descontinuidades, especialmente quando o nível de ruído é alto relativamente aos ecos da descontinuidade;
- 2) a técnica fornece uma medida conservativa da dimensão, especialmente quando outras técnicas poderão correr o risco de subdimensionamento de uma descontinuidade particular.
- 3) a técnica é relativamente simples de aplicar e não requer uma amplitude particular para ser posta em prática.

### **D.5 Técnica da localização da extremidade pela queda dos 6 dB**

#### **D.5.1 Princípio**

Esta técnica difere da técnica da queda dos 6 dB, por a amplitude do eco em cada extremidade da descontinuidade ser tomada como um valor de referência, no qual a queda dos 6 dB se baseia.

Para aplicar a técnica a descontinuidade é sondada e é anotada a amplitude do eco mesmo antes da sua rápida queda quando o feixe passa pelo bordo da descontinuidade.

A posição da sonda e o percurso do som são então registados no ponto onde a altura do eco caiu 6 dB em relação ao valor anotado. A posição da linha da descontinuidade é então marcada ao longo do eixo do feixe. O procedimento é repetido para o bordo oposto, trabalhando com o eco máximo imediatamente adjacente a este bordo. Esta técnica está ilustrada na Figura D.6.

#### **D.5.2 Aplicações e limitações**

- 1) A técnica só é aplicável a descontinuidades relativamente lisas, perpendiculares ao eixo do feixe e que não mostrem variações rápidas na amplitude na direcção a ser medida. Nestas condições, a dimensão das descontinuidades apresenta uma exactidão relativamente alta;
- 2) a técnica está mais apta a acomodar variações na amplitude do eco na direcção a ser medida do que a queda de 6 dB relativamente à máxima. Contudo, é mais subjectiva na sua aplicação por não ser sempre fácil ao operador decidir o nível de amplitude do eco no qual a queda de 6 dB se baseará;
- 3) a técnica é somente aplicável quando a dimensão da descontinuidade a ser medida for pelo menos igual à largura do feixe medido a 6 dB no percurso do som para a descontinuidade.

### **D.6 Técnica de localização da extremidade pelo eixo do feixe**

#### **D.6.1 Princípio**

Esta técnica baseia-se no princípio de que quando um pico individual, dentro dos ecos provenientes da descontinuidade, está à máxima amplitude, a face da descontinuidade que dá origem a esse pico está no eixo do feixe. O procedimento é repetido para posicionamento do bordo oposto.

Esta técnica está ilustrada na Figura D.7.

### D.6.2 Aplicações e limitações

- 1) A técnica é capaz de determinar a verdadeira dimensão da descontinuidade com um alto nível de exactidão;
- 2) só é aplicável a descontinuidades com dimensões superiores à gama com poder de resolução da sonda e que evidenciem dois ou mais picos na representação A-scan, ou ao longo da envolvente do eco (ex. modelos ecodinâmicos 3 ou 4. Ver anexo B, parágrafo B.3);
- 3) a aplicação da técnica requer experiência e julgamento na escolha do ângulo de incidência mais adequado e na identificação dos picos correctos dos bordos das descontinuidades. A exactidão da técnica poderá ser reduzida se não houver acesso à sondagem a partir das direcções óptimas.

## D.7 Técnica da localização da extremidade pela queda dos 20 dB

### D.7.1 Princípio

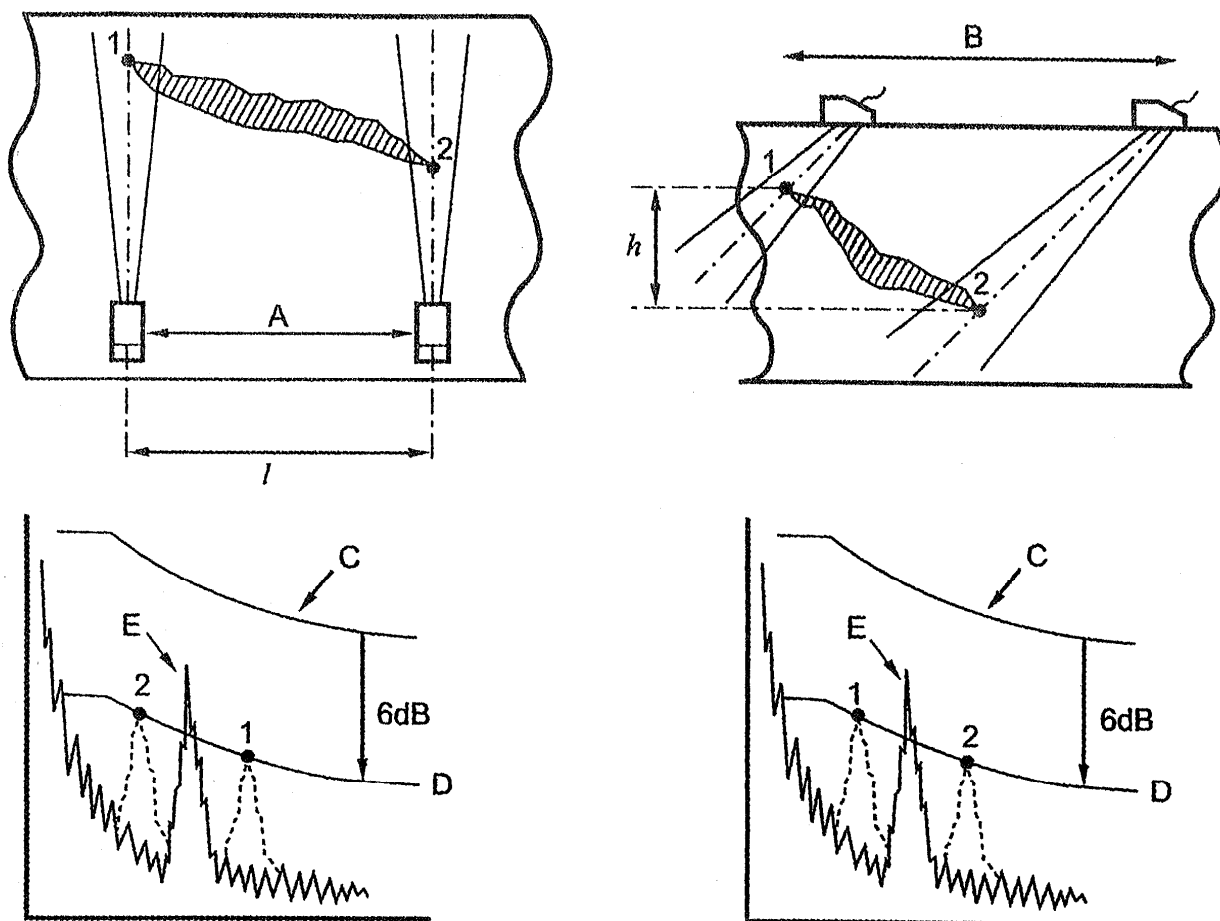
Esta técnica é basicamente similar à técnica de localização da extremidade excepto que nesta se recorre à abertura do feixe mediada a 20 dB para posicionar o bordo da descontinuidade.

Para aplicar a técnica, é identificado o pico individual de entre todos os ecos provenientes da extremidade da descontinuidade ou da última face reflectora adjacente ao bordo. Este pico é então maximizado e o movimento da sonda continuado para além do bordo até que o eco caia 20 dB relativamente ao valor máximo. A posição do bordo é marcado ao longo da abertura do feixe definida a 20 dB previamente determinado

Esta técnica está ilustrada na Figura D.8.

### D.7.2 Aplicações e limitações

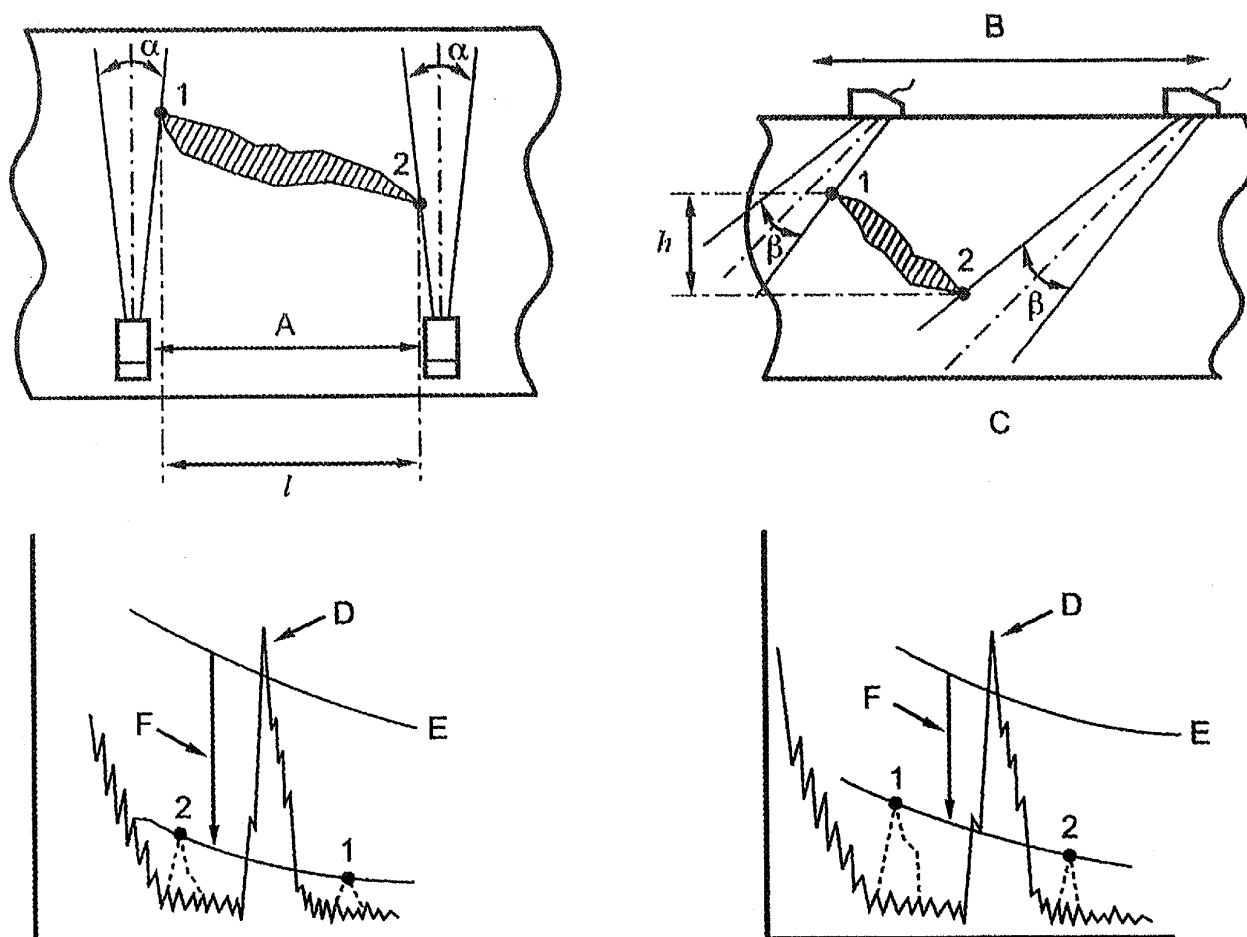
- 1) A técnica é capaz de determinar a dimensão verdadeira da descontinuidade com um alto nível de exactidão;
  - 2) só é aplicável a descontinuidades com dimensões superiores à gama de poder de resolução da sonda e que evidenciem dois ou mais picos no modelo ecodinâmico A-scan ou ao longo da envolvente do eco (ex. modelos ecodinâmicos 3 ou 4. Ver anexo B, parágrafo B.3);
- a abertura do feixe definido a 20 dB terá de ser determinado usando uma série de pequenos reflectores, por exemplo furos laterais de 1,5 ou 3 mm;
- 3) é potencialmente a técnica de maior exactidão no dimensionamento de descontinuidades multifacetadas mas, a necessidade do conhecimento exacto da abertura do feixe antes de se efectuar qualquer medição, é uma possível fonte de erro comparativamente à técnica de localização pelo eixo do feixe;
  - 4) a aplicação da técnica requer experiência e julgamento na escolha do ângulo de incidência mais adequado e na identificação dos picos correctos dos bordos das descontinuidades.



Legenda

- A Movimento lateral
- B Movimento transversal
- C Curva de calibração
- D Nível de avaliação
- E Eco máximo

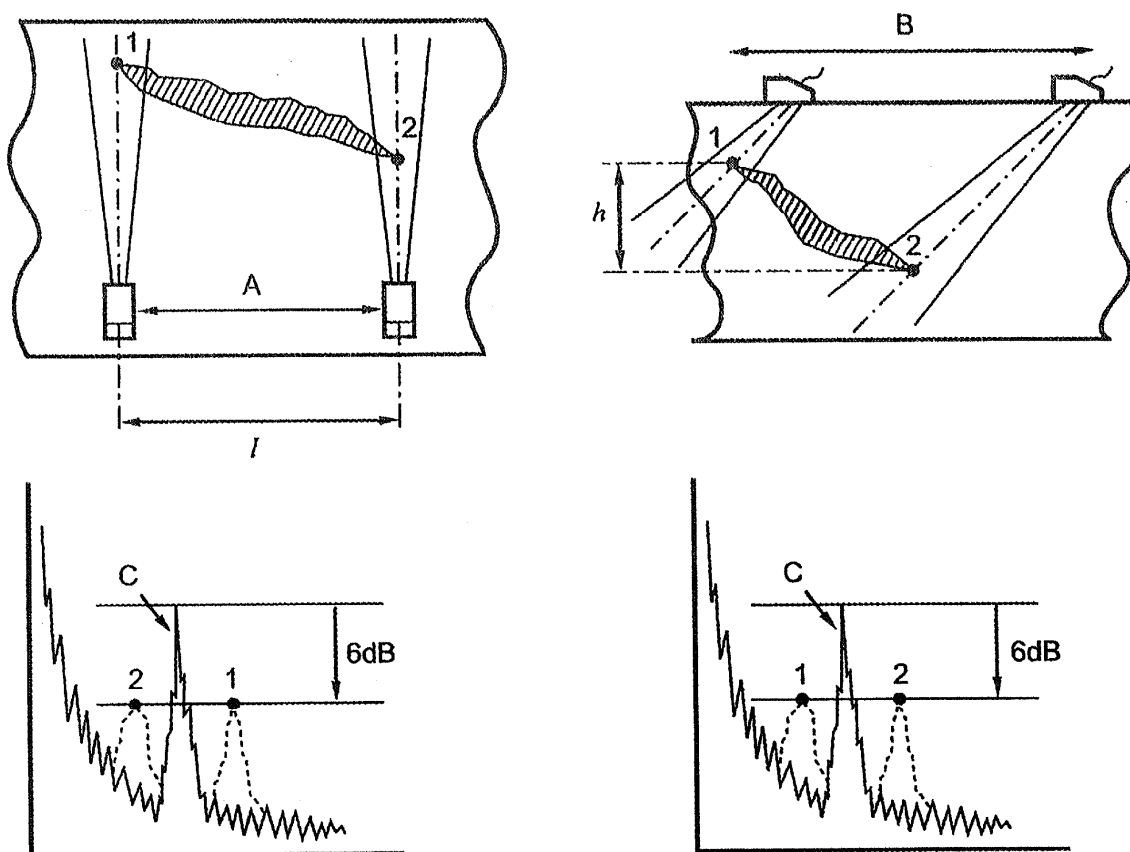
Figura D.1 – Técnica do nível fixo de amplitude utilizando o eixo do feixe



Legenda

- A Movimento lateral
- B Movimento transversal
- C  $\alpha, \beta$  = largura do feixe a 12 dB (para a queda dos 12 dB)  
ou largura do feixe a 20 dB (para a queda dos 20 dB)
- D Eco máximo
- E Curva de calibração
- F 12 (ou 20) dB

Figura D.2 – Técnica do nível fixo de amplitude utilizando a abertura do feixe

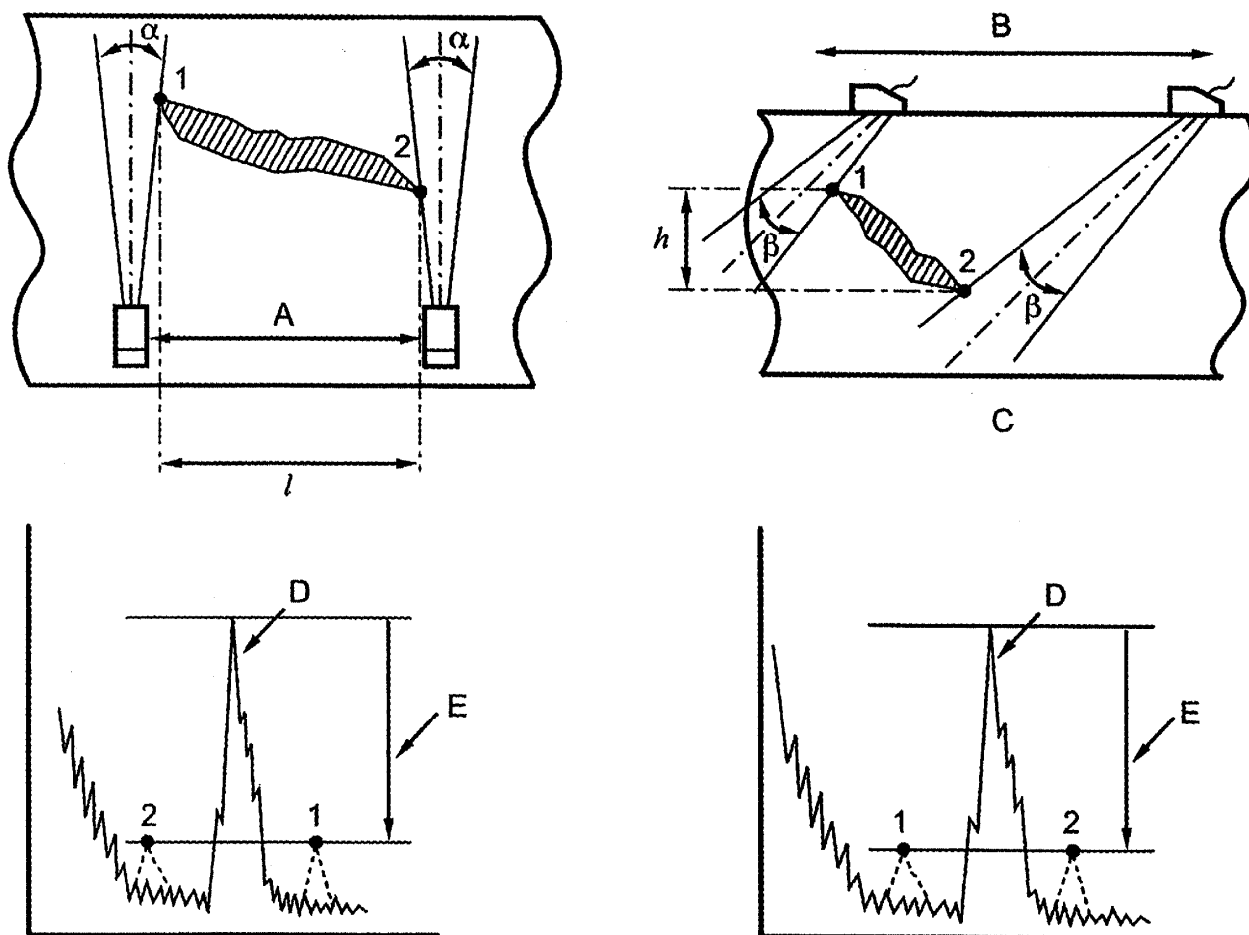


Legenda

- A Movimento lateral
- B Movimento transversal
- C Eco máximo

Figura D.3 – Técnica da queda dos 6 dB

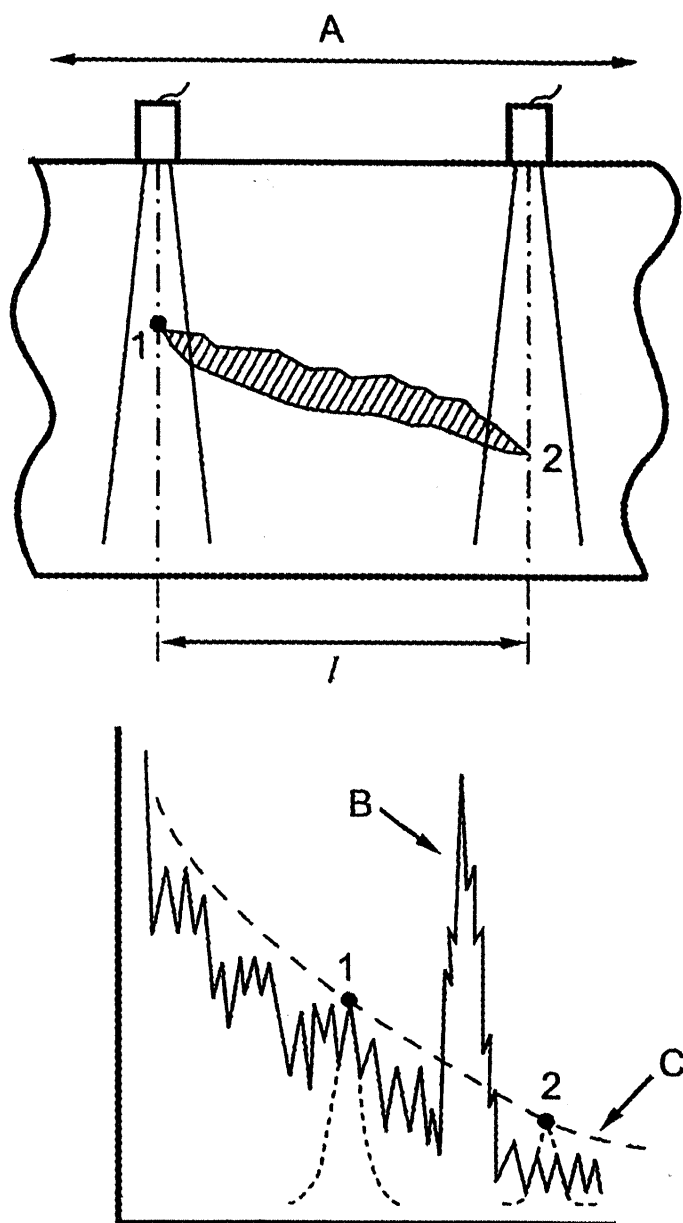




Legenda

- A Movimento lateral
- B Movimento transversal
- C  $\alpha, \beta$  = largura do feixe a 12 dB (para a queda dos 12 dB)  
ou largura do feixe a 20 dB (para a queda dos 20 dB)
- D Eco máximo
- E 12 (ou 20) dB

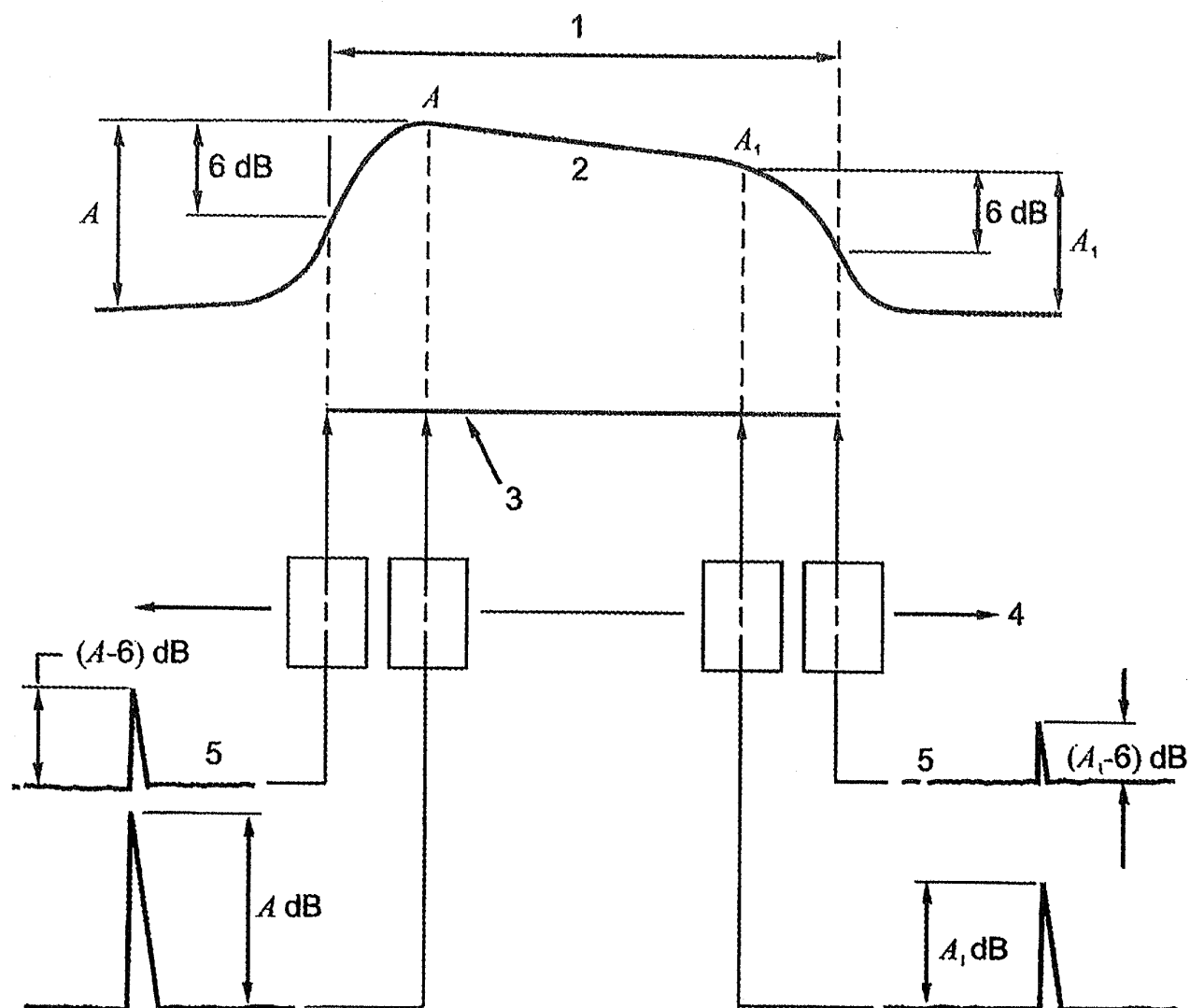
Figura D.4 – Técnica da queda dos 12 ou 20 dB



Legenda

- A Movimento da sonda
- B Eco máximo
- C Nível de ruído

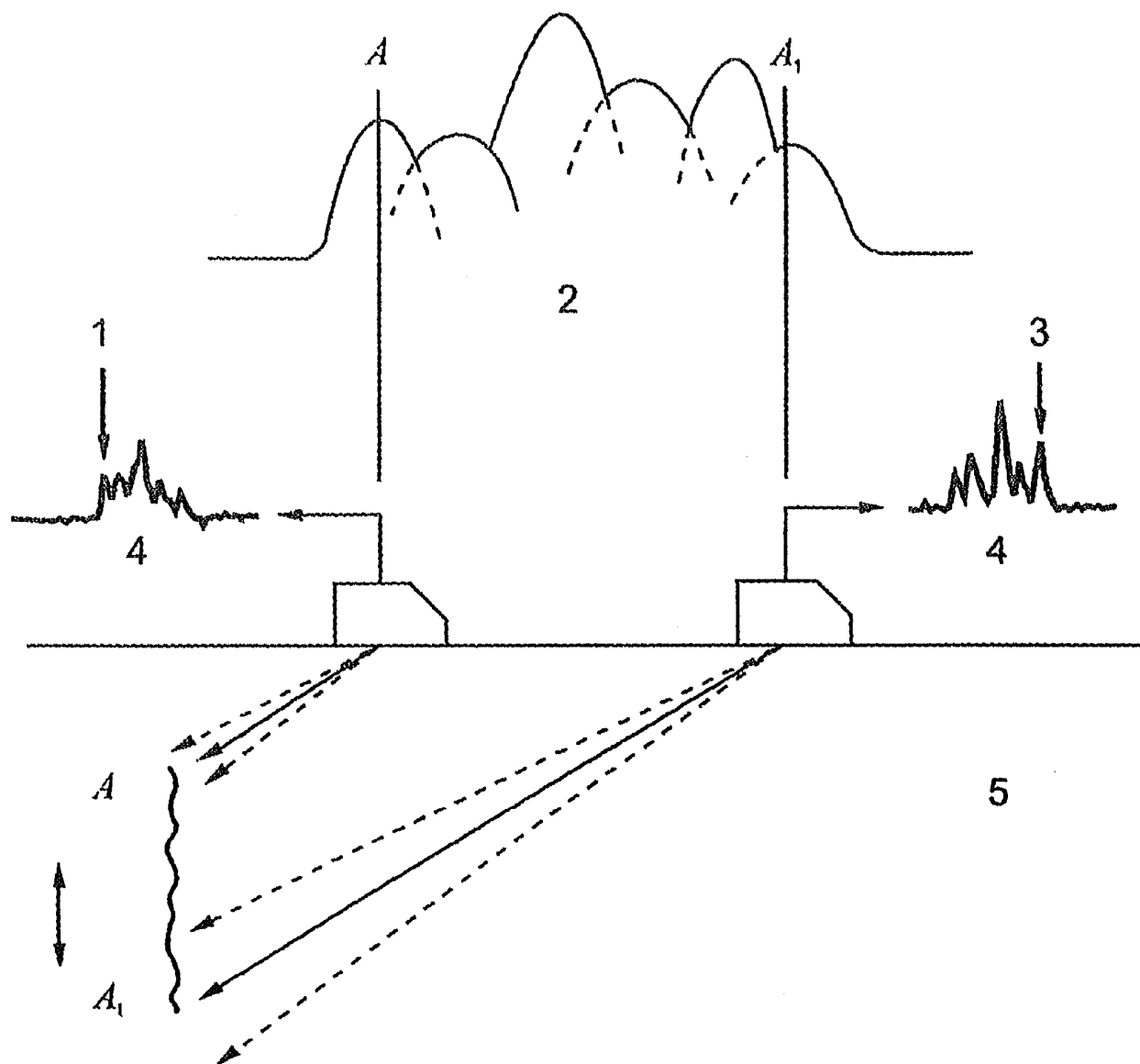
Figura D.5 – Técnica da queda para o nível de ruído (ilustrada para uma sonda direita)



Legenda

- 1 Comprimento medido do reflector
- 2 Variação na amplitude do pico do sinal
- 3 Reflector
- 4 Direcção do movimento da sonda
- 5 A-scan

Figura D.6 – Técnica da localização da extremidade pela queda de 6 dB

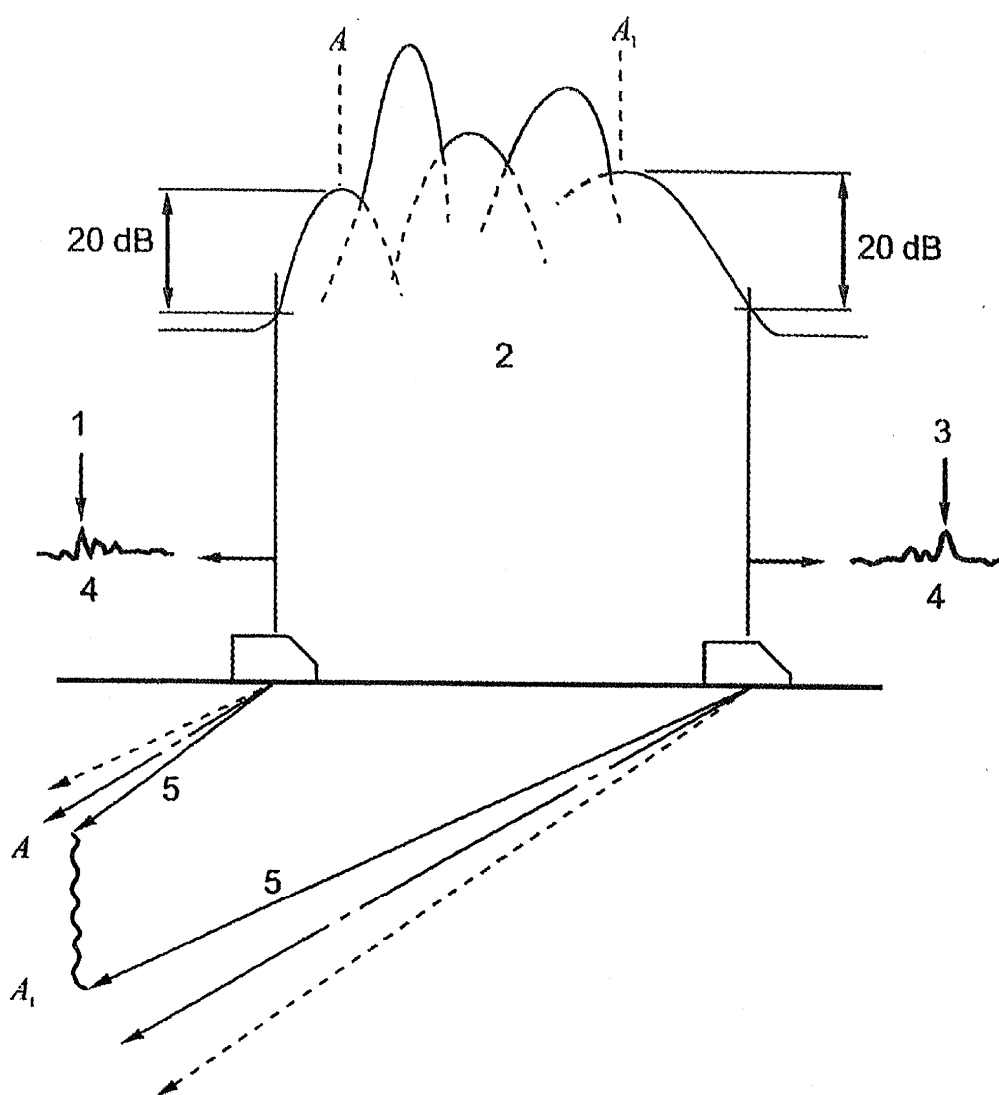


Legenda

- 1 Eco  $A$  à máxima amplitude
- 2 Variação de amplitude do pico do sinal
- 3 Eco  $A_1$  à máxima amplitude
- 4 A-scan
- 5 Eco  $A$  será o primeiro a aparecer quando se move a sonda para trás  
Eco  $A_1$  será o primeiro a aparecer quando se move a sonda para a frente

NOTA: Os bordos das discontinuidades  $A$  e  $A_1$  são marcados no eixo do feixe quando os seus ecos individuais estão à máxima amplitude.

Figura D.7 – Técnica de localização da extremidade pelo eixo do feixe



### Legenda

- 1 Eco A a 20 dB abaixo da máxima amplitude
- 2 Variação de amplitude do pico do sinal
- 3 Eco A<sub>1</sub> a 20 dB abaixo da máxima amplitude
- 4 A-scan
- 5 Abertura medida a 20 dB

NOTA: Os bordos das discontinuidades A e A<sub>1</sub> são marcados nas aberturas do feixe a 20 dB

Figura D.8 – Técnica de localização da extremidade pela queda de 20 dB

## **Anexo E**

(normativo)

### **Técnica iterativa de dimensionamento**

#### **E.1 Objectivo e campo de aplicação**

Este anexo descreve a técnica, que recorre a sondas focalizadas, para avaliação por ultrasons das dimensões de um reflector com um grau relativamente alto de exactidão às dimensões de um reflector. É aplicável em ensaios realizados com incidência normal utilizando sondas direitas ou incidência oblíqua utilizando sondas angulares.

#### **E.2 Ensaios com incidência normal**

##### **E.2.1 Princípio**

As dimensões e formas dos reflectores são avaliadas através de uma série de imagens C-scan traçadas a níveis de -6dB, -12 dB, -18 dB, etc. em relação ao eco máximo do reflector.

Os níveis poderão ser estabelecidos de várias formas, por exemplo, marcando diferentes níveis no écran do equipamento ou, como descrito abaixo, por sucessivos aumentos de 6 dB no ganho do equipamento.

O afastamento e velocidade de sondagem devem ser estabelecidos em relação à dimensão efectiva do feixe acústico e à exactidão requerida.

##### **E.2.2 Ajustamento do ganho**

O ganho do equipamento é inicialmente ajustado de tal forma que a amplitude máxima do eco do reflector a ser medida atinja um nível de referência  $N$ , entre 20 % e 80 % da altura total do écran.

##### **E.2.3 Procedimento**

Um método possível de traçar o reflector é descrito a seguir:

O ganho é aumento em 6 dB acima do nível de referência  $N$ , até um novo valor  $N_1$  e a área total do reflector é sondada nas direcções  $x$  e  $y$ . Os resultados da sondagem são marcados, manualmente ou automaticamente, anotando as posições do eixo do transdutor num plano de coordenadas rectangulares quando a amplitude do eco atinge o nível de referência  $N_1$ . O procedimento de marcação é repetido depois de o ganho ter sido acrescido de 6 dB adicionais para um valor  $N_2$ . As marcações  $N_1$  e  $N_2$  são então avaliadas uma em relação à outra e ao perfil do feixe considerado a 6 dB. As seguintes situações poderão ser observadas:

##### **Situação 1**

Ao nível de ganho  $N_1$ , a marcação reproduz a secção do feixe da sonda (ver Figura E.1.a)). Neste caso, tanto:

- a) o reflector é menor ou igual, à secção do feixe considerado a 6 dB; ou
- b) a zona reflectora da descontinuidade a um dado nível  $N_1$ , é menor do que a secção do feixe considerado a 6 dB.

A marcação ao nível  $N_2$  permite estas duas possibilidades a serem resolvidas, aplica-se a hipótese a), desde que o aumento na dimensão à volta da periferia da marcação entre  $N_1$  e  $N_2$  não seja maior do que a semiabertura do feixe a 6 dB.

Nesta situação se o aumento da dimensão à volta da periferia, ao nível  $N_2$ , for maior do que a semiabertura a 6 dB, indica que zonas reflectoras adicionais foram reveladas, as quais contribuíram para as novas imagens traçadas. Neste caso, o reflector terá de ser considerado segundo a situação 2 (b) seguinte.

### Situação 2

Ao nível do ganho  $N_1$ , a dimensão marcada do reflector excede o perfil do feixe a 6 dB. Neste caso aplica-se a) ou b):

- se o aumento em dimensão à volta da periferia aos níveis  $N_1$  e  $N_2$ , não forem maiores do que a semiabertura considerada a 6 dB. Neste caso, a dimensão do reflector no plano considerado é assumido ser dado pela marcação ao ganho  $N_1$  (ver Figura E.1.b));
- aparecem zonas reflectoras adicionais, quando a marcação é levada a efeito ao nível de ganho  $N_2$ . Se esta situação ocorrer, deverão ser consideradas novas marcações depois de se aumentar o ganho em incrementos de 6 dB. A dimensão do reflector é então assumida pela imagem marcada a um nível de ganho 6 dB inferior ao aumento em dimensão em volta da periferia da imagem, cessa de exceder a semiabertura do feixe a 6 dB (ver Figuras E.1.b) e E.1.c)).

A operação global poderá ser representada pelo fluxograma da Figura E.3.

### E.3 Ensaio realizado com incidência oblíqua

O procedimento básico é similar ao descrito anteriormente. Difere do ensaio realizado com incidência perpendicular no facto de que o transdutor é movido apenas num plano (isto é, paralelo à superfície da peça em ensaio), a imagem traçada é a observada pelo transdutor (isto é, um plano perpendicular ao eixo do feixe ultrasónico). Devido a isto, a imagem traçada apresenta-se distorcida numa direcção (aquela do plano definida pelo eixo do feixe) e normal à superfície de sondagem.

A avaliação das dimensões no ensaio com incidência oblíqua segue as mesmas regras do ensaio com incidência perpendicular naquilo no que diz respeito ao procedimento de marcação. Contudo, a dimensão relevante deve ser multiplicada por  $\cos \alpha$ , onde  $\alpha$  é o ângulo de sonda, de forma a determinar a dimensão do reflector perpendicular ao eixo do feixe (ver Figuras E.2.a) e E.2.b)).

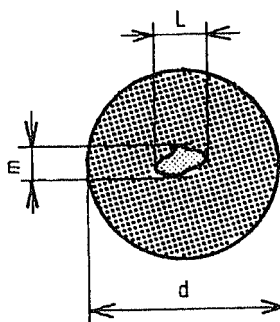
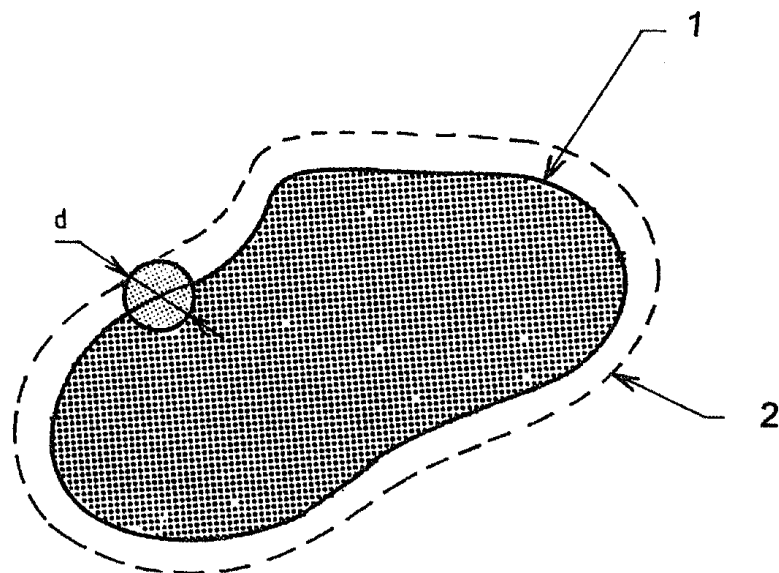


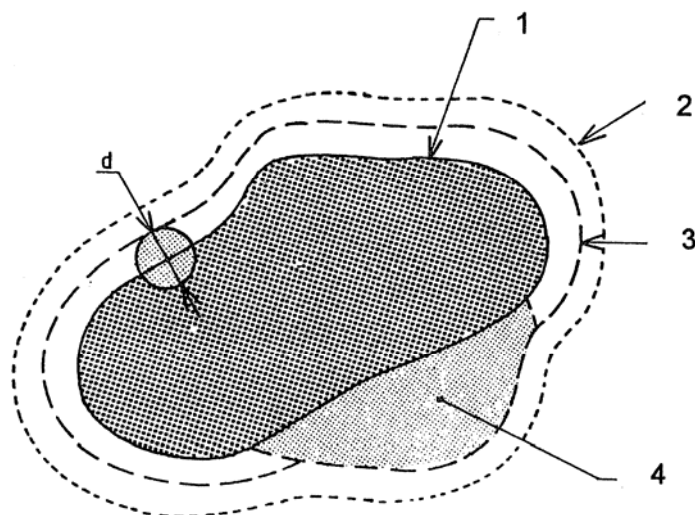
Figura E.1.a) – Descontinuidade menor do que a secção  $d$  do feixe ultrasónico útil



Legenda

- 1 Imagem ao nível  $N_1$
- 2 Imagem ao nível  $N_2$

Figura E.1.b) – Descontinuidade maior do que  $d$



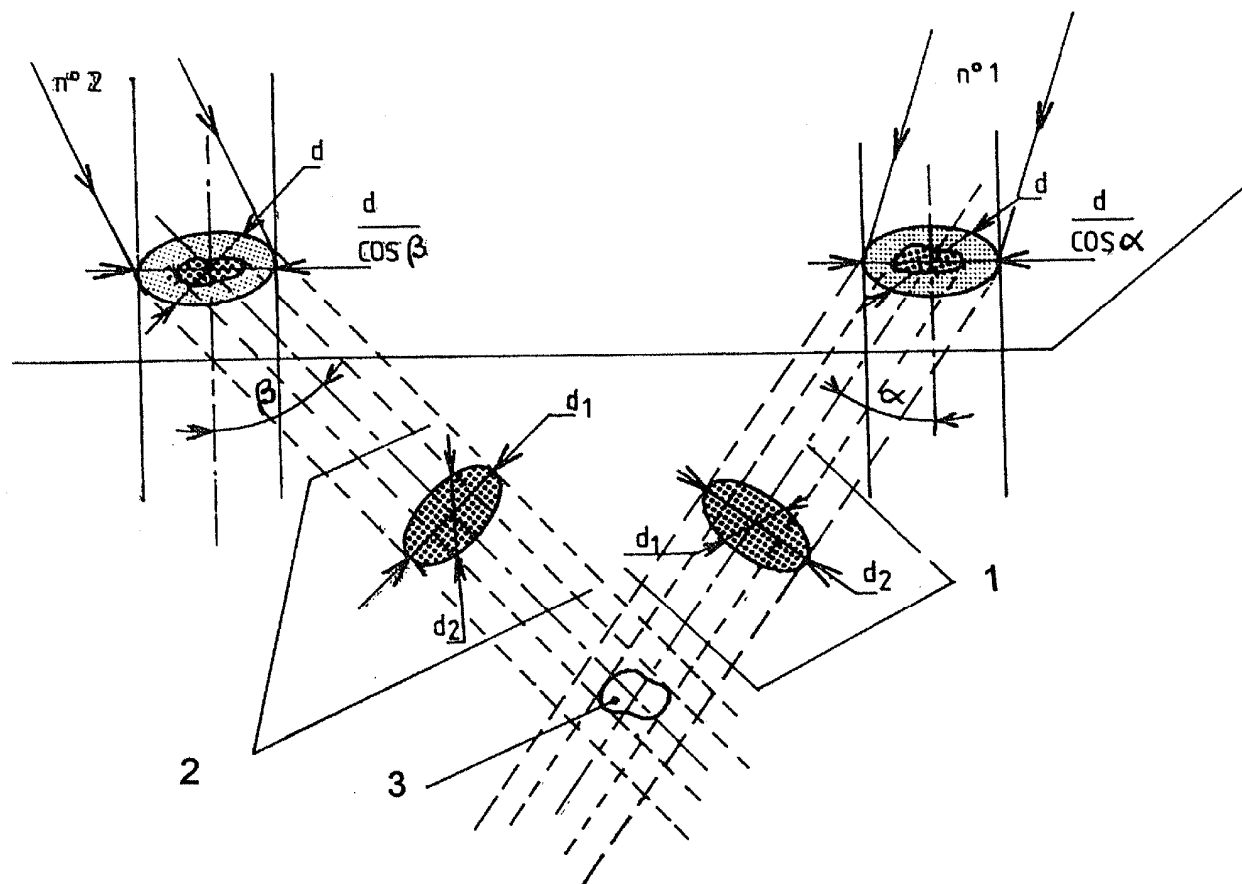
Legenda

- 1 Imagem ao nível  $N_1$
- 2 Imagem ao nível  $N_2$
- 3 Imagem ao nível  $N_3$
- 4 Zona reflectora renovada

Figura E.1.c) – Aparência da zona reflectora renovada

Figura E.1 – Ensaio realizado com ondas longitudinais perpendiculares

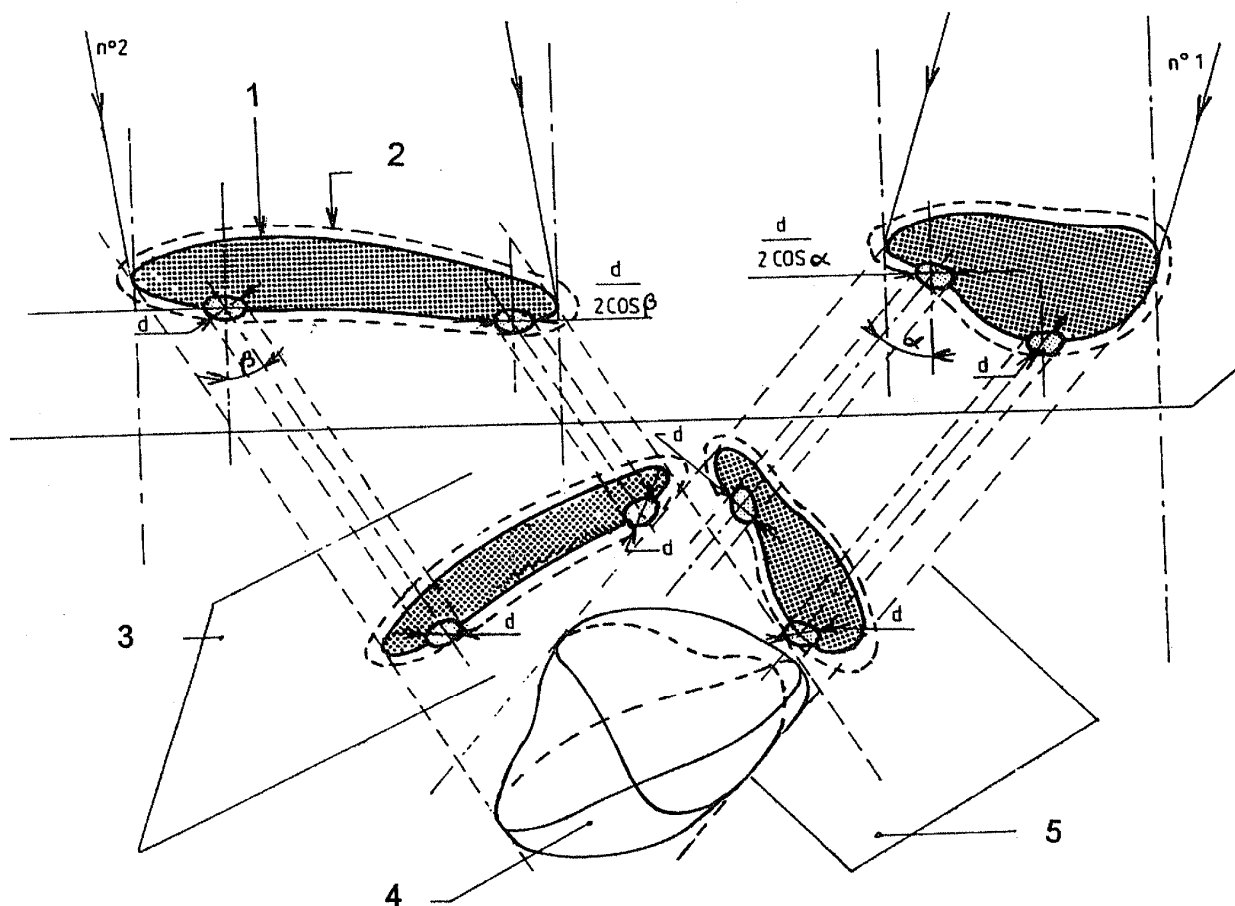




Legenda

- 1 Plano da secção do 1º feixe
- 2 Plano da secção do 2º Feixe
- 3 Descontinuidade

Figura E.2a) – Descontinuidade menor do que  $d$



Legenda

- 1 Nível  $N_i$
- 2 Nível  $N_{i+1}$
- 3 plano da secção do 2º feixe
- 4 Descontinuidade
- 5 Plano da secção do 1º feixe

Figura E.2b) – Descontinuidade maior do que  $d$

Figura E.2 – Ensaio realizado com incidência oblíqua de ondas transversais ou longitudinais

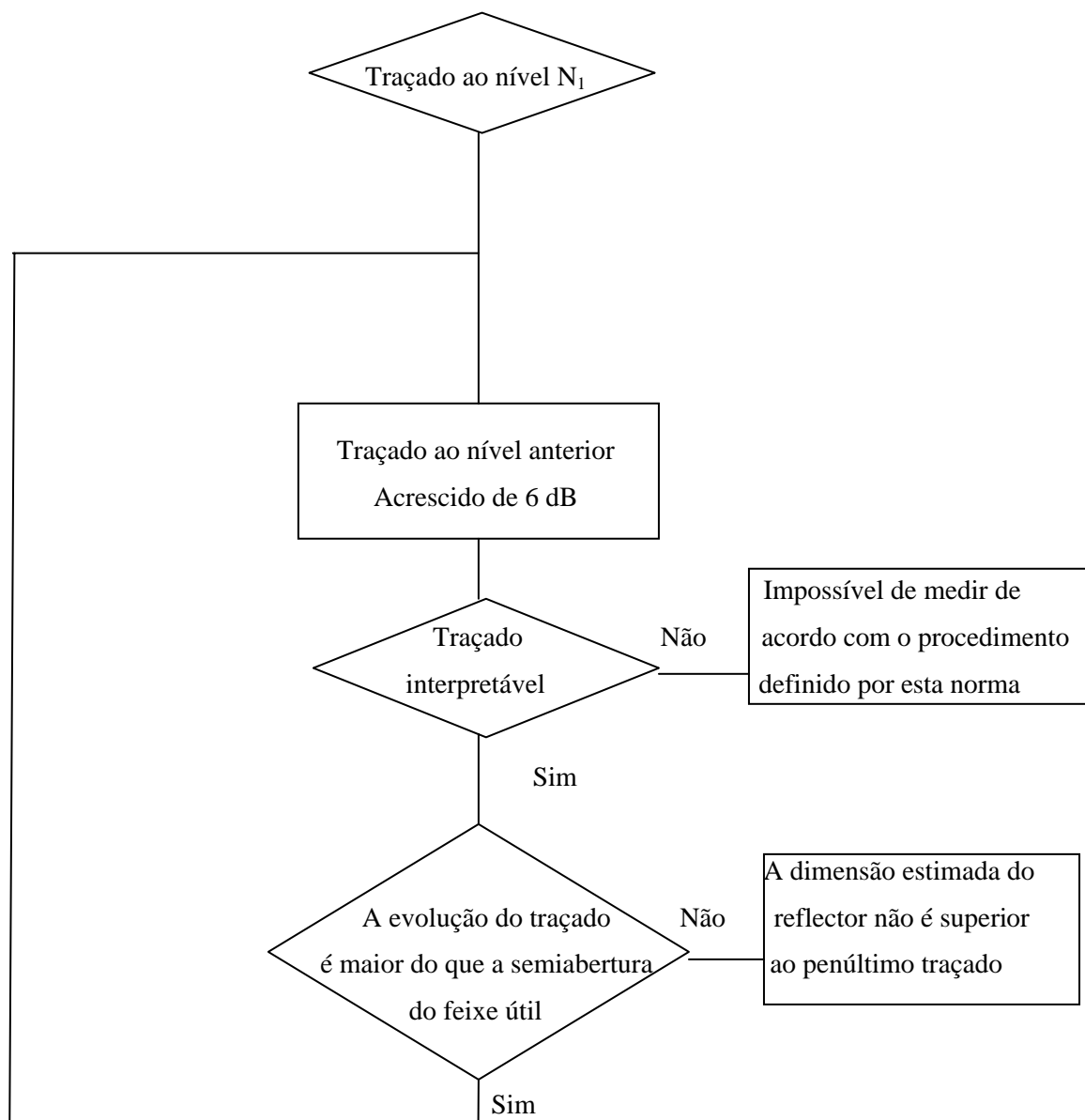


Figura E.3 – Representação esquematizada da operação global

## **Anexo F**

(normativo)

### **Algoritmos para estimar a verdadeira dimensão de uma descontinuidade**

#### **F.1 Grandes descontinuidade planares**

A dimensão de uma descontinuidade maior do que o diâmetro do feixe acústico e paralelo à superfície de sondagem deve ser determinada por (ver Figura F.1):

$$L = \Delta L \tag{F1}$$

válida para

$$s \geq N \quad ; \quad L > D_F$$

onde

D é o diâmetro do transdutor;

N =  $0,25D^2/\lambda$  campo próximo em mm;

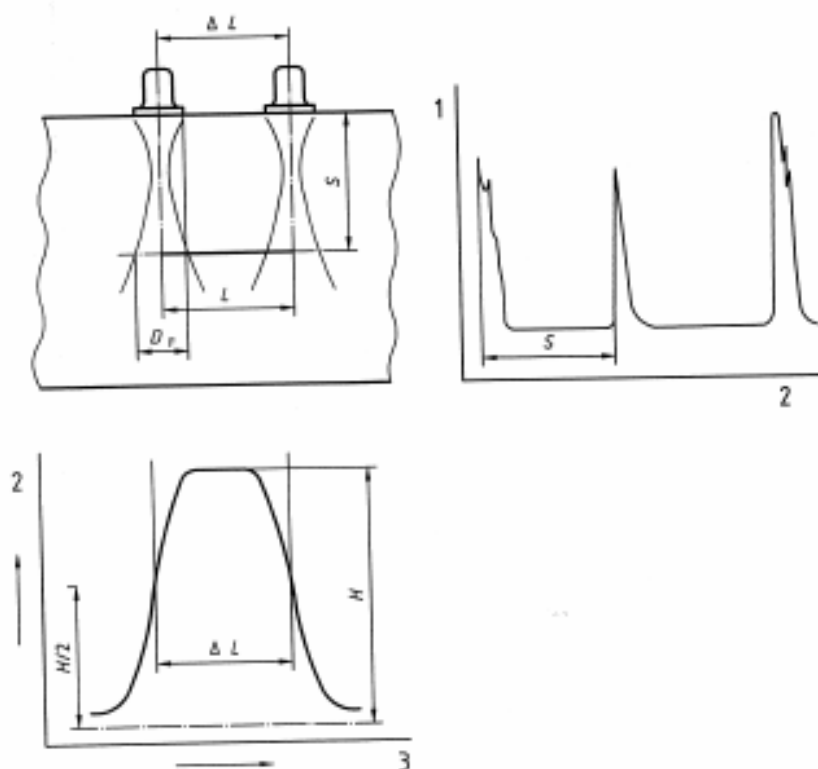
$D_F = \lambda s/d$  diâmetro do feixe acústico à distância  $s$ ;

$\lambda$  comprimento de onda em milímetros;

s percurso sonoro em milímetros;

L verdadeiro comprimento da descontinuidade;

$\Delta L$  comprimento medido a 6 dB.



#### Legenda

- 1 A-scan
- 2 Amplitude do sinal
- 3 Posição da sonda

Figura F.1 – Dimensionamento de uma grande descontinuidade paralela à superfície de sondagem

## F.2 Pequenas descontinuidades planares

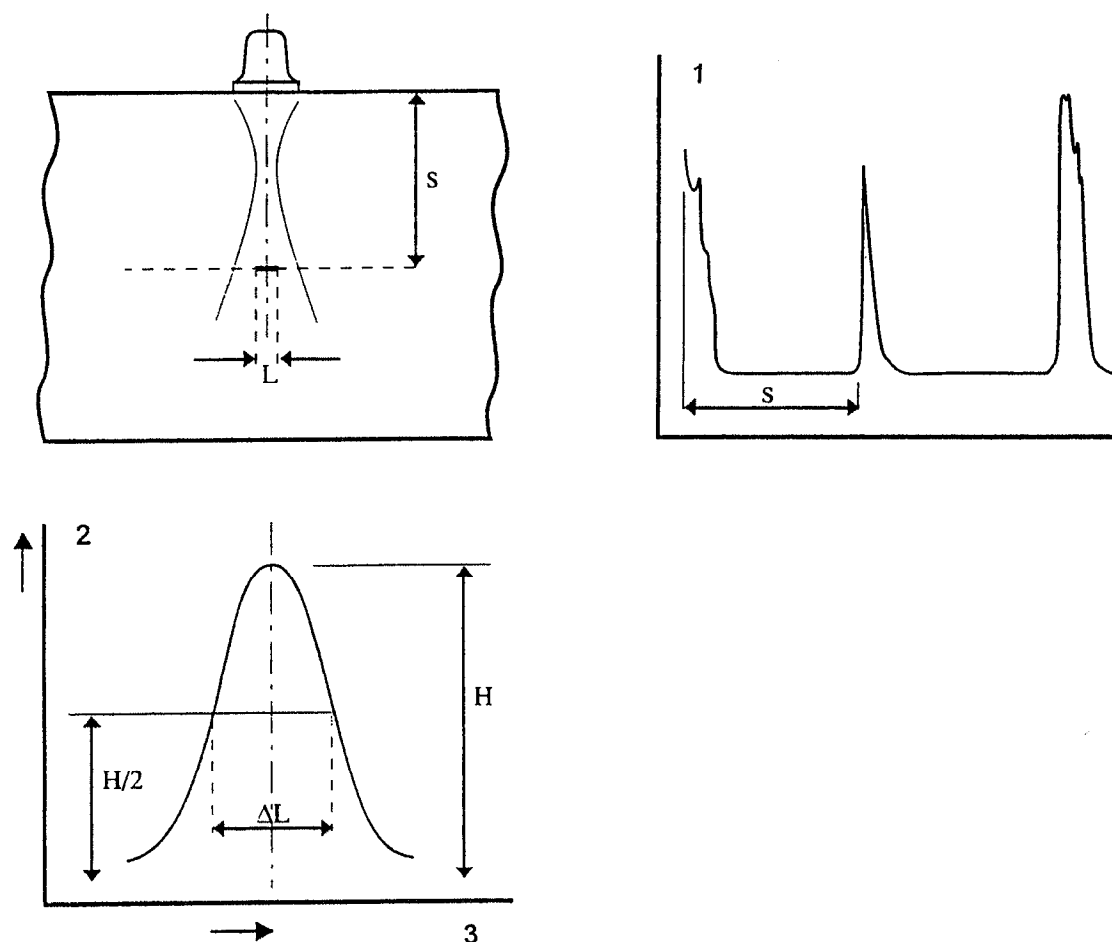
A dimensão de uma descontinuidade planar menor do que o diâmetro do feixe e paralela à superfície de sondagem será determinada por (ver Figura F.2):

$$L = \sqrt{\left[ \left( \frac{1,03 \times s \times \lambda}{\Delta L \times D_{eff}} \right)^2 - 1 \right] \frac{(D_{eff})^2}{2,13}} \quad (F.2)$$

válida para:

$$s \geq 4N \text{ e } L \geq 2\lambda$$

$$D_{eff} = 2\sqrt{\lambda_{eff} \times N_{eff}} \quad (F.3)$$



Legenda

1 A-scan

2 Amplitude do sinal

3 Posição da sonda

Figura F.2 – Dimensionamento de uma pequena descontinuidade paralela à superfície de sondagem

Esta medição será efectuada com duas sondas com diferentes campo próximo e com uma relação de pelo menos 2:1.

- EXEMPLO 1 Sonda 1 ( $f_1$ ;  $D_1$ )  
Sonda 2.1 ( $f_{2,1}= 2f_1$ ;  $D_{2,1}= D_1$ )
- EXEMPLO 2 Sonda 1 ( $f_1$ ;  $D_1$ )  
Sonda 2.2 ( $f_{2,2}= f_1$ ;  $D_{2,2}=1,5 D_1$ )

onde

$f$  é a frequência

$D$  é o diâmetro da sonda

Para o par de sondas escolhido, os seguintes valores têm de ser anotados:

Sonda 1

$\Delta L_1$  comprimento medido utilizando a técnica da queda dos 6dB;

$L_1$  comprimento calculado a partir da expressão (F.2).

Sonda 2

$\Delta L_2$  comprimento medido utilizando a técnica da queda dos 6dB;

$L_2$  comprimento calculado a partir da expressão (F.2).

Se dois dos quatro valores forem iguais, esse valor é considerado ser a verdadeira dimensão da descontinuidade.

Se a verdadeira dimensão da descontinuidade for inferior a 2 comprimentos de onda, o reflector tem de ser considerado como pontual, de forma circular, com um diâmetro que poderá ser calculado a partir da amplitude do eco (por exemplo, usando a técnica DGS).

### F.3 Descontinuidades planares numa peça cilíndrica

No caso de descontinuidades planares a dimensão efectiva (comprimento e largura) poderá ser determinada com o método descrito em F.1 e F.2 (ver Figura F.3).

Se o comprimento efectivo de uma descontinuidade for maior do que o diâmetro do feixe acústico, a largura ( $W$ ) da descontinuidade pode ser calculada a partir da expressão:

$$W = \frac{1,11(d_{DSR})^2}{\sqrt{s \times \lambda}} \quad (F.4)$$

onde

$d_{DSR}$  é o diâmetro de um reflector circular correspondente à mesma altura do eco;

$s$  é o percurso sonoro

$\lambda$  é o comprimento de onda

Para reflectores curtos (em comparação com o diâmetro do feixe acústico) poderá ser utilizada uma expressão aproximada:

$$W = \frac{(d_{DSR})^2}{L} \quad (F.5)$$

onde

L é o comprimento axial determinada pelo método F.1 ou F.2.

NOTA: Devido à rugosidade das descontinuidades planares reais, a largura calculada a partir da amplitude do eco poderá ser inferior à determinada na base na ecodinâmica descrita em F.2.

$$W = \frac{0,32\lambda}{\sin\left(\frac{\Delta W \times 180}{s \times \pi}\right)} \quad (\text{F.6})$$

Para determinação da dimensão da descontinuidade na direcção axial pode ser utilizado um dos métodos descritos em F.1 ou F.2.

A equação (F.6) é válida se:

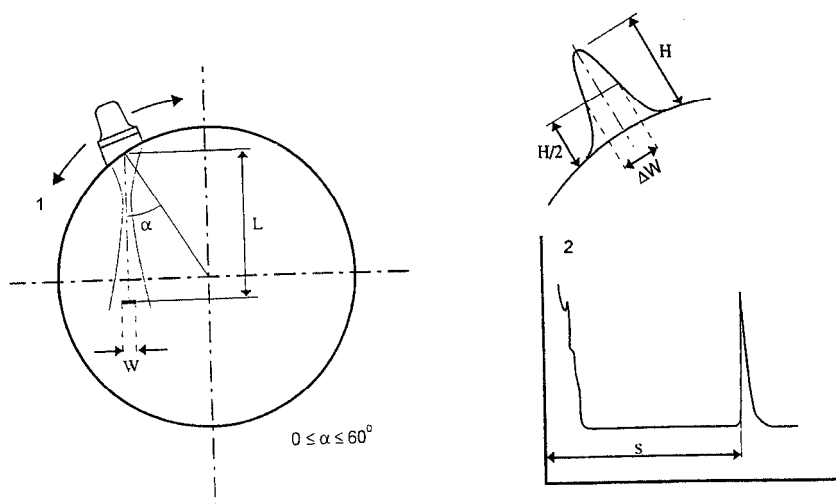
$$s \geq 3N$$

$$W > \lambda$$

onde

W é a largura efectiva da descontinuidade

$\Delta W$  é a largura determinada com a técnica de queda dos 6 dB



#### Legenda

- 1 Calço
- 2 A-scan

Figura F.3 – Dimensionamento de uma descontinuidade a partir de uma superfície cilíndrica



## Anexo G (normativo)

### Exemplo de técnicas especiais de dimensionamento

#### G.1 Técnicas de difracção na extremidades

##### a) Técnica do percurso difractado (TOFD)

Esta técnica, na forma mais simples, está ilustrada na Figura G.1. Para mais detalhes sobre esta técnica ver ENV 583-6. A sonda utilizada é geralmente angular de ondas longitudinais com uma grande abertura de feixe. Desde que a distância entre sondas ( $2s$ ) seja mantida constante, serão obtidos adicionalmente aos ecos difractados dois ecos de referência, um atribuído à transmissão directa entre as duas sondas (onda lateral) e, a outra, devido à reflexão na parede oposta. No caso mais simples em que a descontinuidade está equidistante das sondas, a profundidade da extremidade superior poderá ser calculada a partir de:

$$T = \frac{2\sqrt{d^2 + s^2}}{v} \quad (\text{G.1})$$

onde

$T$  é o tempo de percurso que impulso demora desde o emissor até ao receptor via extremidade da descontinuidade;

$2s$  é a distância entre sondas;

$d$  é a profundidade da extremidade medida a partir da superfície de sondagem;

$v$  é a velocidade do som.

Um cálculo similar é utilizado para determinar a profundidade da extremidade inferior.

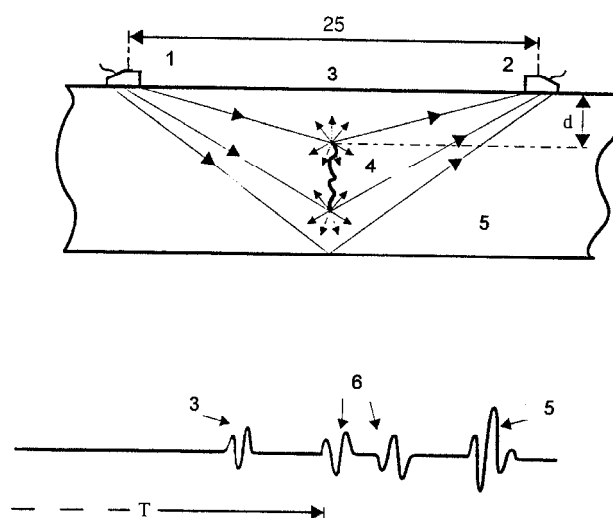
Desde que o tempo necessário para que o impulso difractado vá de uma sonda para outra pode ser medido com exactidão, obtém-se uma muito alta precisão no dimensionamento, particularmente para grandes descontinuidades, comparativamente às técnicas que se baseiam na amplitude dos ecos. Contudo, de forma a interpretar os dados TOFD, é preferível apresentar os sinais na forma B-scan.

##### b) Exemplo de técnica de difracção na extremidade com uma única sonda

A figura G.2 mostra o caso de dimensionamento de fissuras transversais ao eixo do feixe, abertas à superfície.

Neste caso a calibração pode ser levada a efeito em blocos contendo entalhes de secção rectangular, com diferentes alturas, orientadas perpendicularmente ao eixo do feixe.

Numa representação A-scan, a dimensão  $h$  da fissura é determinada por comparação na posição mútua dos dois ecos da fissura com a posição mútua de ecos análogos, produzidos pelos entalhes dos blocos de calibração.



#### Legenda

- 1 Emissor
- 2 Receptor
- 3 Onda lateral
- 4 Fissura
- 5 Eco de fundo
- 6 Ondas difractadas

Figura G.1 – Arranjo das sondas e eco típico na representação R.F. para a técnica TOFD

## G.2 Técnica de focalização por abertura sintética (SAFT)

O SAFT é um método de simulação de uma grande sonda focalizada através do processamento informático de toda a informação distância/amplitude, obtida numa sondagem de uma descontinuidade com um feixe não-focalizado corrente. Apresenta a vantagem sobre a sonda focalizada convencional de possuir uma profundidade focal variável.

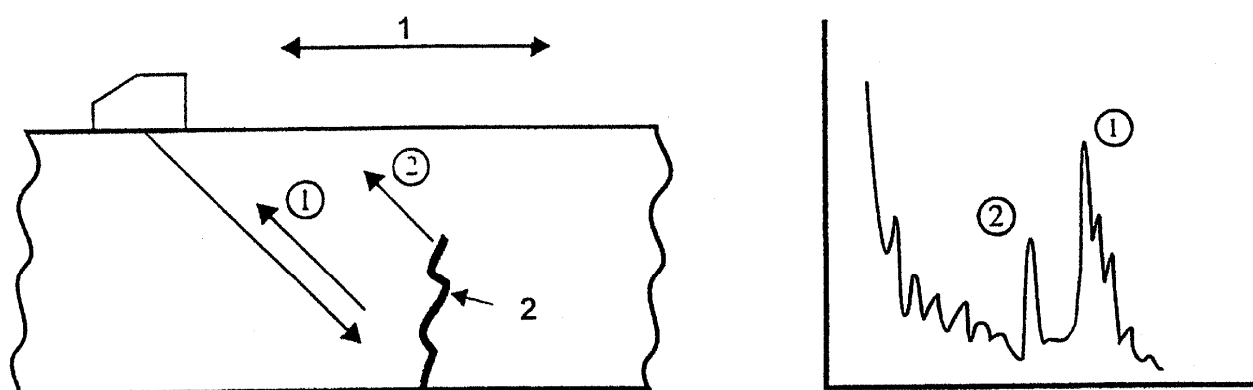
O princípio básico desta técnica é o seguinte:

Quando se sonda uma descontinuidade, observa-se um primeiro sinal, quando a descontinuidade intercepta a extremidade do feixe. Prosseguindo a sondagem, o sinal aumenta em amplitude até um máximo ao longo do eixo do feixe e seguidamente diminui até se anular na extremidade oposta do feixe. Adicionalmente a esta variação de amplitude o percurso sonoro também varia; no caso de uma sonda direita o percurso sonoro será mínimo quando estiver no eixo do feixe. Corrigindo electronicamente estas variações na gama de largura do feixe é possível sobrepor um grande número de sinais separados da descontinuidade. Este processamento,

que é levado a efeito em sinais digitalizados, aumenta drasticamente a relação sinal/ruído, desde que os sinais do ruído sejam aleatoriamente sobrepostos enquanto os sinais da descontinuidade sejam preferencialmente sobrepostos.

A sobreposição óptima dos sinais só ocorrerá se as correcções do percurso sonoro forem baseadas na verdadeira posição da descontinuidade. Correcções baseadas numa falsa posição resultarão na soma de sinais sobrepostos muito reduzida. A técnica é muito sensível a este efeito e, por efectuar um número de sobreposições, baseadas na suposição das posições da descontinuidade e por registar que a sobreposição se efectua à máxima amplitude é possível uma medida muito precisa da posição da descontinuidade.

Esta técnica é particularmente útil quando utilizada para localizar fontes de sinais de difracção das extremidades da descontinuidades planares, uma vez que estes sinais são frequentemente muito pequenos e poderão ser encobertos pelo ruído quando se utilizam técnicas convencionais de dimensionamento.



#### Legenda

- 1 eco da raiz da fissura
- 2 sinal difractado da extremidade
- 3 fissura

Figura G.2 – Técnica da difracção na extremidade  
Exemplo de fissura transversal aberta à superfície oposta à de sondagem

**Anexo ZA**  
(informativo)

**Secções desta Norma Europeia relativas aos requisitos essenciais ou outras disposições das directivas da EU**

Esta Norma Europeia foi elaborada no âmbito dum mandato atribuído ao CEN pela Comissão Europeia e pela Associação Europeia do Comércio Livre suportando requisitos essenciais da Directiva da EU:

Directiva 97/23/EC do Parlamento Europeu e do Conselho de 29 de Maio 1997, relativa às exigências da legislação dos Estados-Membros relativas aos recipientes sob pressão.

A conformidade com os ensaios descritos nesta Norma conferem, ao fabricante de equipamentos sob pressão, um meio de demonstrar que o equipamento está em conformidade com os seguintes Requisitos Essenciais ou disposições da Directiva respectiva.

Quadro ZA.1 – Correspondência entre esta Norma Europeia e a Directiva 97/23/EEC

<b>Secções e sub-secções desta Norma Europeia</b>	<b>Requisitos essenciais ou disposições da Directiva 97/23/EC</b>	<b>Observações</b>
Todas as secções	Anexo I, sub-secção 3.1 Procedimentos de fabrico Anexo I, sub-secção 3.2.1 Inspeção final	Avaliação de soldaduras