

# Realizando o ensaio de ultra-som

**N**a aula anterior, você ficou sabendo que o ultra-som é uma onda mecânica que se propaga de uma **fonte emissora** até uma **fonte receptora**, através de um meio físico.

Viu também que a velocidade de propagação depende do meio e do tipo de onda emitido (longitudinal ou transversal). E ficou conhecendo alguns tipos de **transdutores**, que são elementos fundamentais no ensaio, pois têm a função de receber o sinal elétrico do aparelho e converter esse sinal em energia mecânica de vibração, produzindo o ultra-som e vice-versa.

Agora, vamos completar nosso estudo sobre o ensaio imaginando que a pessoa que opera o equipamento na fábrica faltou, e você recebeu a incumbência de analisar por ultra-som um bloco usinado de aço laminado, com dimensões do  $80 \times 80 \times 40$  mm.

O que fazer? Calma! Não entre em pânico... ainda.

Nesta aula, estudaremos alguns assuntos que ajudarão você a se sair bem. Veremos:

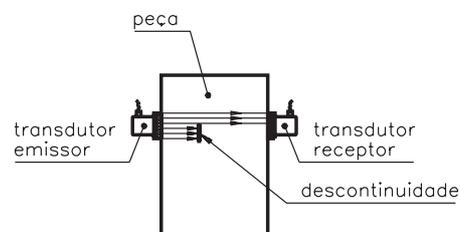
- as técnicas de ensaio com os diversos tipos de transdutores;
- o equipamento de ultra-som;
- o ensaio com transdutores normais;
- o ensaio com transdutores angulares.

## Técnicas de ensaio

Pelo tipo de transdutor utilizado, podemos classificar o ensaio por ultra-som em quatro técnicas: por transparência, por pulso-eco, por duplo cristal e por transdutores angulares.

### Técnica da transparência

Observe a figura ao lado.



## Introdução

## Nossa aula

Não havendo descontinuidades no material, o receptor recebe aproximadamente 100% do sinal emitido.

Havendo descontinuidades, o receptor recebe uma porcentagem inferior ao sinal emitido.

Esta técnica é mais indicada para processos automáticos que envolvem grandes produções.

Ela não é apropriada para processos de medições manuais, por diversas razões:

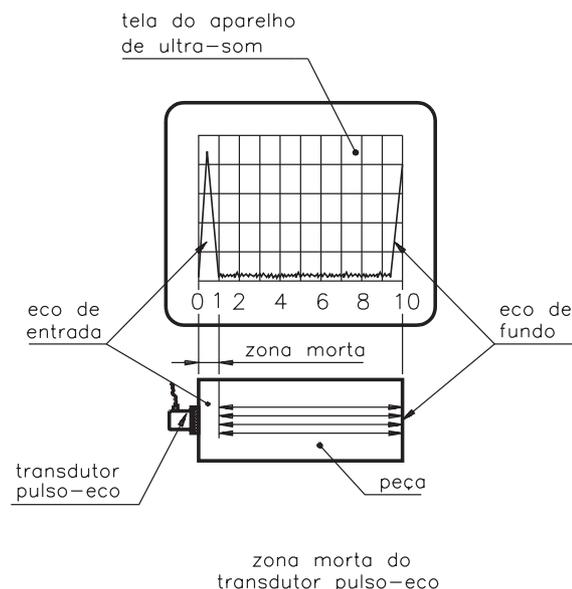
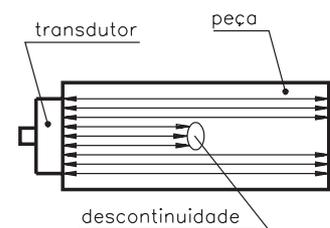
- cansaço em segurar dois cabeçotes;
- a face posterior da peça pode ser inacessível;
- dificuldade de bom acoplamento dos dois lados;
- dificuldade de posicionar corretamente os dois cabeçotes;
- dificuldade em manusear o equipamento e os dois cabeçotes ao mesmo tempo.

### Técnica por pulso-eco:

Nos ensaios por ultra-som em processos manuais, geralmente usamos os transdutores do tipo monocristal, emissor e receptor (pulso-eco), pela facilidade de manuseio e de operação.

É possível fazer uma medição precisa quando o transdutor não está emitindo sinal durante a chegada de um eco. Neste caso, as ondas ultra-sônicas têm de ser pulsantes para que o cristal possa receber os ecos de retorno nos intervalos de pulsação.

É fácil entender que, se o pulso emissor bater numa descontinuidade muito próxima da superfície, haverá um eco retornando, antes de terminar a emissão. Neste caso, o sinal da descontinuidade não é percebido.



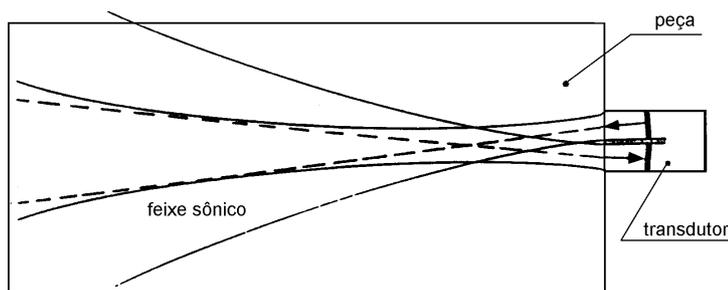
## Fique sabendo ...

**Zona morta** é a área próxima da superfície na qual não se detectam ecos durante o tempo de emissão.

### Técnica do duplo cristal

Para ensaiar peças com pouca espessura, nas quais se espera encontrar descontinuidades próximas à superfície, os transdutores pulso-eco não são adequados, pelos motivos já vistos.

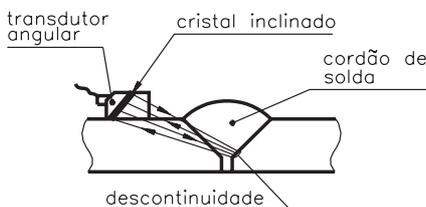
Neste caso, usamos outro tipo de transdutor – o **transmissor e receptor (TR)**, por duplo cristal. A zona morta, neste caso, é menor.



Os transdutores TR são usados freqüentemente para verificar dimensões de materiais e detectar, localizar e avaliar falhas subsuperficiais.

### Técnica com transdutores angulares

Imagine a colocação de qualquer dos transdutores vistos anteriormente sobre um cordão de solda. Não teríamos acoplamento suficiente para o ensaio.



Neste caso, usamos os transdutores angulares, que possibilitam um acoplamento perfeito e a detecção das descontinuidades.

### Equipamento de ensaio por ultra-som

No ensaio, o que nos interessa é medir a intensidade do sinal elétrico de retorno (tensão), recebido pelo transdutor, e o tempo transcorrido entre a emissão do pulso e o retorno do eco.

Imagine que você tenha em mãos uma chapa de aço com 50 mm de espessura e precise medir o tempo que o som leva para percorrer o caminho de ida e volta através dessa espessura.

Sabendo que:

espessura (e) = 0,050 m

velocidade de propagação do som no aço (v) = 5.920 m/s

$$\text{tempo (t)} = 2 \times \frac{e}{v} \Rightarrow t = 2 \times \frac{0,050 \text{ m}}{5.920 \text{ m/s}} \Rightarrow t = 0,0000168 \text{ s ou } t = 16,8 \mu\text{s}$$

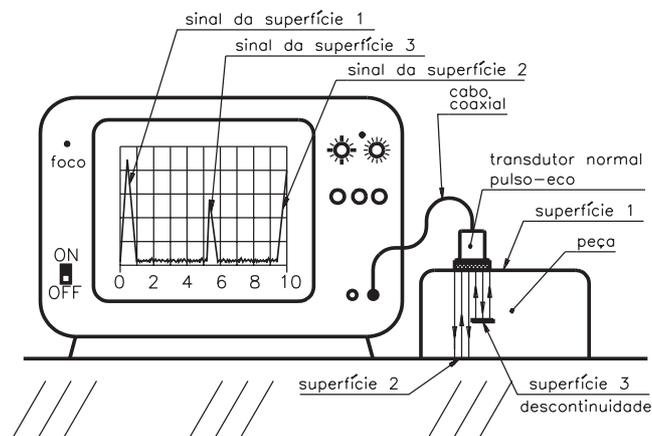
$\mu\text{s}$  = microsegundos

Como você mediria esse tempo tão pequeno?

O equipamento que realiza tais medidas no ensaio por ultra-som é um tipo de **osciloscópio**. Os sinais elétricos recebidos do transdutor são tratados eletronicamente no aparelho e mostrados numa tela, a partir da qual o técnico em ultra-som interpreta os resultados.

Na tela, vemos na vertical a intensidade do sinal elétrico de saída do eco e de retorno e, na horizontal, o intervalo entre a emissão e a recepção do pulso.

Além de operar como osciloscópio, efetuando medições (fonte receptora), o aparelho possui também uma fonte emissora de sinais elétricos, para gerar o ultra-som através dos transdutores.



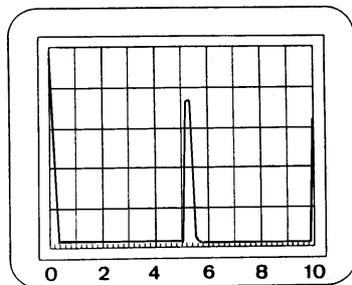
esquema básico da resposta obtida no ensaio de ultra-som

Na prática, o valor numérico dessas medidas propriamente ditas não nos interessa, pois trabalhamos por meio de comparações. Comparamos as alturas e as distâncias entre os pulsos na tela com outros conhecidos, ajustados previamente na calibração do equipamento. Vejamos o que isso significa.

Tomemos novamente o exemplo da chapa de aço com 50 mm de espessura. O procedimento para acerto da escala da tela consiste em ajustar as 10 divisões horizontais da tela, a partir de um padrão confeccionado do mesmo tipo de material a ser ensaiado.

Neste caso, usaremos um bloco de aço, que apresenta uma das suas dimensões equivalente a 100 mm. Portanto, cada divisão da tela terá 10 mm ( $100 \text{ mm} / 10 \text{ divisões} = 10 \text{ mm por divisão}$ ).

Logo, o valor do tempo ( $16,8 \mu\text{s}$ ) não nos interessa, mas sim que este tempo é relativo a 50 mm de peça, isto é, a distância entre o pulso de saída e o de retorno na tela, corresponde a 50 mm.



tela com escala de 10 divisões

Sendo nossa escala de 0 a 100 mm, o pulso de resposta da parede oposta da chapa - **eco de fundo** - aparecerá na tela na quinta divisão. Como a espessura cabe duas vezes na tela ajustada para 100 mm, aparecerá mais um pulso na décima divisão.

Essa é a metodologia utilizada para o ajuste da escala.

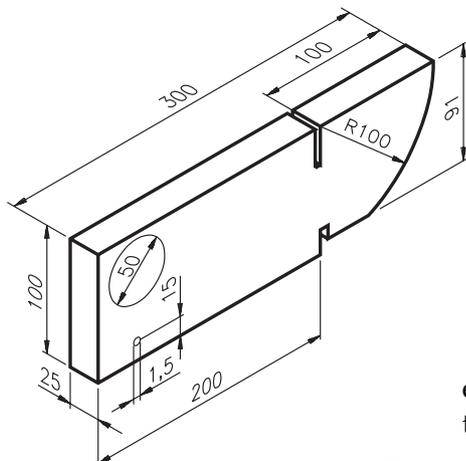
Observe que os pulsos, embora sejam da mesma superfície refletora, diminuem de tamanho. Essa atenuação é causada pela distância que o som percorre no material, ou seja, quanto maior a distância percorrida dentro da peça, menor a intensidade do sinal de retorno, devido aos desvios e absorção do ultra-som pelo material.

## O ensaio propriamente dito

Você já se sente capaz de efetuar o ensaio no bloco de aço?

A primeira coisa a fazer é escolher a técnica de ensaio.

Por tratar-se de uma única peça plana (bom acoplamento), de dimensões consideráveis, você pode optar pela **técnica pulso-eco** com o **transdutor normal**.



bloco de calibração V1

Como a velocidade de propagação do ultra-som é diferente para cada material, necessitamos de um padrão para calibrar o equipamento, isto é, para ajustar os pulsos de resposta na tela do aparelho.

Neste caso, usamos o bloco-padrão **V1**, em aço, o mesmo material da peça. Este bloco traz marcações para facilitar o ajuste.

## Calibração

A calibração é efetuada para atender aos critérios de aceitação preestabelecidos pela engenharia da fábrica. Afinal, nem toda descontinuidade representa um defeito, lembra-se?

No caso do bloco de aço que vamos analisar, vamos imaginar que o critério de aceitação determinado é: serão considerados defeitos as descontinuidades com diâmetros superiores a 1,5 mm.

### Ajuste da escala (distância)

Iniciamos a calibração ligando o aparelho e conectando o cabo coaxial ao transdutor escolhido e ao aparelho.

Selecionamos a função para operação com transdutor monocristal pulso-eco.

Os aparelhos de ultra-som possuem escalas de medição para ajuste da tela, ou seja, ajuste do tempo de resposta para jogar o pulso na tela.

Exemplo de escalas que um aparelho pode possuir:

- 0 a 50 mm
- 0 a 100 mm
- 0 a 200 mm
- 0 a 500 mm
- 0 a 1.000 mm

Para ensaiarmos a peça em questão ( $80 \times 80 \times 40$  mm), podemos selecionar a escala de 0 a 100 mm. Se a tela possuir 10 divisões, cada divisão da tela terá 10 mm (fator de escala K).

O fator K é conhecido a partir das seguintes relações

$$K = \text{escala} / \text{divisão da tela}$$

$$K = 100 / 10$$

$$K = 10 \text{ mm}$$

O passo seguinte é acoplar o transdutor sobre o bloco-padrão na espessura de 25 mm.

Deverão aparecer na tela 4 pulsos, pois na escala de 0 a 100 mm cabe 4 vezes a espessura de 25 mm.

Número de pulsos = escala de profundidade / espessura de calibração

$$\text{Número de pulsos} = 100 / 25$$

$$\text{Número de pulsos} = 4$$

Para conseguir melhor precisão da escala, devemos ajustar os pulsos nas seguintes localizações da tela:

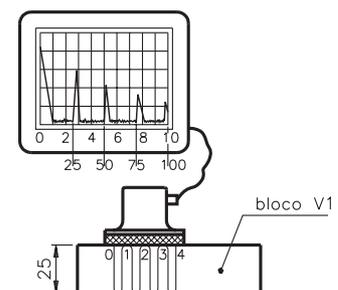
$$1^\circ \text{ pulso} = 25 \text{ mm} / K \rightarrow \text{posição na tela} = 2,5$$

$$2^\circ \text{ pulso} = 50 \text{ mm} / K \rightarrow \text{posição na tela} = 5,0$$

$$3^\circ \text{ pulso} = 75 \text{ mm} / K \rightarrow \text{posição na tela} = 7,5$$

$$4^\circ \text{ pulso} = 100 \text{ mm} / K \rightarrow \text{posição na tela} = 10$$

A escala para peças de aço de até 100 mm está pronta e calibrada.



seqüências de ecos de fundo, em 25mm de espessura

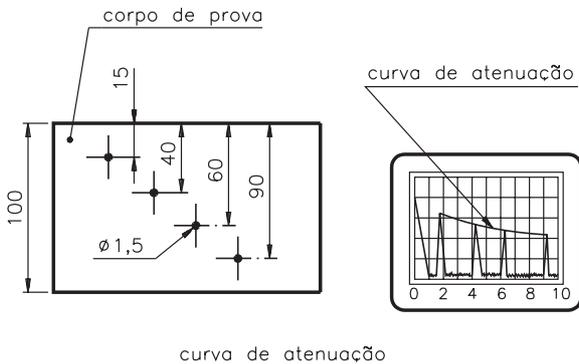
## Ajuste da sensibilidade de resposta

É nesta etapa que ajustamos a sensibilidade do aparelho para detectar as descontinuidades preestabelecidas como defeitos.

Vimos que o sinal de retorno é atenuado em função da distância da descontinuidade à superfície.

Portanto, necessitamos elaborar uma curva de atenuação de sinal para nos orientarmos.

Para isso, podemos tomar como referência um corpo de prova conhecido, em aço, com furos propositalmente efetuados com 1,5 mm de diâmetro que é a referência, em nosso exemplo, em distâncias crescentes da superfície.

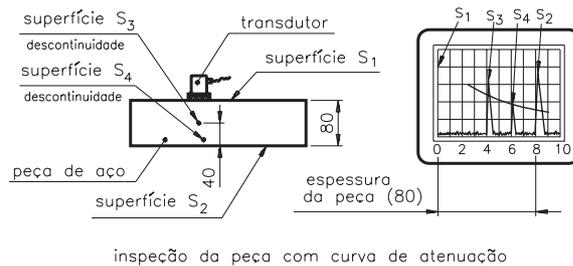


Traçamos então a curva de atenuação do sinal em função da espessura da peça, de modo a termos uma intensidade de sinal suficiente mesmo para os furos localizados próximo à face inferior da peça.

Pronto. Agora é só adaptar a curva sobre a tela do aparelho e inspecionar o bloco de aço.

## Localizando as descontinuidades

Agora sim, você já pode acoplar o transdutor sobre a peça, como mostra a figura seguinte.



inspeção da peça com curva de atenuação

Depois, é só movimentar lentamente o transdutor sobre toda a superfície a ser ensaiada, efetuando uma varredura na peça. Essa varredura deve ser feita pelo menos em duas superfícies da peça, pois dependendo da posição da descontinuidade (topo, transversal ou longitudinal) o sinal será maior ou menor.

Qualquer pulso que apareça entre 0 e 8 na tela, acima da curva de atenuação, como no exemplo -  $S_3$ , será interpretado como defeito pelo operador. Os que ficarem abaixo, como  $S_4$ , serão apenas descontinuidades.

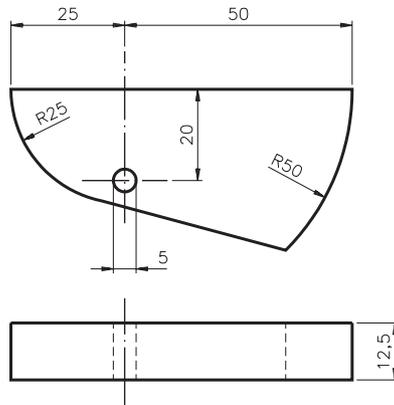
Há situações em que o ensaio com transdutores normais não é possível. É o caso de uma chapa de aço soldada.

A inspeção do cordão de solda é praticamente impossível com os cabeçotes normais já vistos. Por isso, devemos usar cabeçotes angulares, que enviam pulsos em determinados ângulos com a superfície do material, como por exemplo  $35^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $80^\circ$  etc.

## Ensaio com transdutor angular

O processo inicial de calibração é semelhante ao realizado para os transdutores normais. Como exemplo, usaremos a escala 0 a 100 mm, com  $K = 10$  mm e transdutor de  $60^\circ$ .

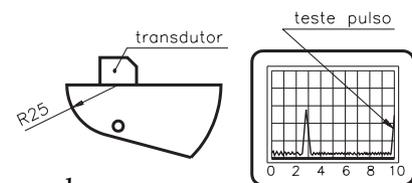
### Calibração



Ajustando o aparelho, na tela aparecerão os pulsos:  
 $2,5 \text{ divisões} \times K = 25 \text{ mm}$   
 $10 \text{ divisões} \times K = 100 \text{ mm}$

Para essa finalidade, dois blocos-padrão podem ser utilizados: V1 ou V2. Usaremos, neste caso, o bloco V2.

O primeiro procedimento consiste em acoplar o transdutor sobre o bloco-padrão V2, focando o raio de 25 mm.



### Localizando as descontinuidades

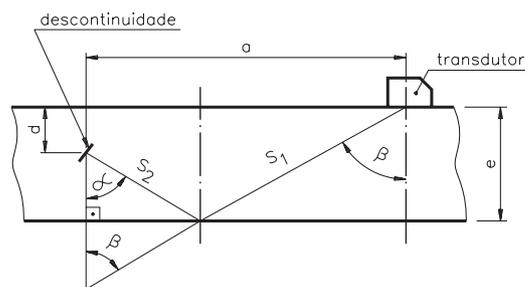
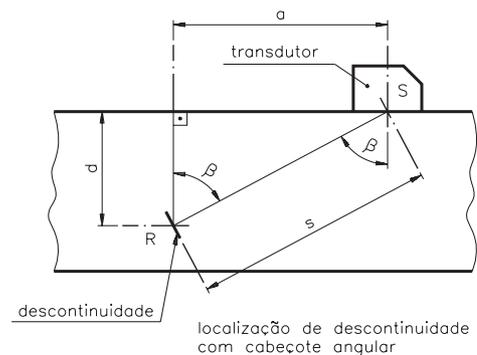
Após os ajustes necessários no equipamento, é só inspecionar a peça.

Na tela aparecerá a distância  $S$  entre o cabeçote e a descontinuidade. A localização é conseguida por meio da trigonometria, aplicando-se as relações para o triângulo retângulo.

No exemplo,  $\beta = 60^\circ$ .

$$a = \text{sen } 60^\circ \times S$$

$$d = \text{cos } 60^\circ \times S$$



localização de descontinuidade - onda refletida

Caso a onda ultra-sônica seja refletida antes de atingir a descontinuidade, adotamos outra forma de cálculo.

$$S = S_1 + S_2$$

$$a = S \cdot \text{sen } 60^\circ$$

$$d = 2e - S \cdot \text{cos } 60^\circ$$

Depois, é só efetuar a varredura lentamente, ao longo de todo o cordão de solda.

Apostamos que, com estas informações, você se sairia bem ao realizar a inspeção da peça solicitada, em substituição ao operador que faltou.

Mas, para ficar realmente “afiado”, resolva os exercícios a seguir.

## Exercícios

### Exercício 1

As técnicas de ensaio por ultra-som são denominadas .....,  
..... e .....

### Exercício 2

Para ensaiar peças de espessura pequena, nas quais se pretenda encontrar descontinuidades próximas à superfície, a técnica mais recomendada é por .....

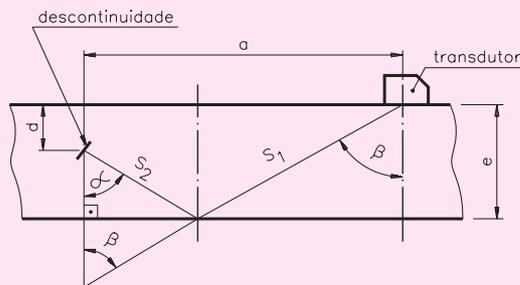
### Exercício 3

Assinale **V** se a afirmação for verdadeira ou **F**, se for falsa:

- a) ( ) os transdutores convertem os sinais elétricos emitidos pelo aparelho em ondas ultra-sônicas e vice-versa;
- b) ( ) um tipo de osciloscópio é utilizado para medir a intensidade do sinal elétrico e o tempo de retorno dos ecos;
- c) ( ) os transdutores normais são ideais para análise de cordões de solda;
- d) ( ) o ideal é utilizarmos um bloco V1 confeccionado em aço, para calibrarmos o equipamento para análise de aço, alumínio, cobre e outros materiais.

### Exercício 4

Localize a descontinuidade para calibração em escala 0-100 mm.



$$\begin{aligned}\beta &= 60^\circ \\ S_1 &= 30 \text{ mm} \\ S_2 &= 16 \text{ mm} \\ e &= 15 \text{ mm}\end{aligned}$$

- a) ( )  $a = 23,0 \text{ mm}$  e  $d = 9,8 \text{ mm}$ ;
- b) ( )  $a = 39,8 \text{ mm}$  e  $d = 7,0 \text{ mm}$ ;
- c) ( )  $a = 7,0 \text{ mm}$  e  $d = 39,8 \text{ mm}$ ;
- d) ( )  $a = 25,9 \text{ mm}$  e  $d = 15,0 \text{ mm}$ .

### Exercício 5

Calcule o fator de escala K para tela com 10 divisões e escala de 0 a 200 mm.

- a) ( ) 2 mm;
- b) ( ) 10 mm;
- c) ( ) 15 mm;
- d) ( ) 20 mm.