

PTC3421 – Instrumentação Industrial

Nível – Parte II

V2020A

PROF. R. P. MARQUES

Ultrassom

SOM se refere a ondas de pressão, usualmente produzidas pela vibração de algum corpo, viajando em um meio qualquer (usualmente ar ou água, mas também outros fluídos e corpos sólidos) e que são detetáveis pelo ouvido humano.

O ouvido humano é tipicamente capaz de perceber ondas sonoras com frequências de 20Hz até 20kHz.

Ondas de pressão com frequência maior do que 20kHz são denominadas **ondas ultrassônicas** ou **ULTRASSOM**.

A velocidade com que a frente de onda sônica ou ultrassônica se propaga (chamada de **velocidade do som**) depende das propriedades do meio. Se a composição do meio for uniforme essa velocidade é constante.

Ar (seco; 0°C):	340,27 m/s
Ar (seco; 20°C):	343,0 m/s
Água (0°C):	1403 m/s
Água (20°C):	1481 m/s

Ultrassom

Diferentes meios atenuam as ondas em diferentes graus. Ondas de energia similar podem se propagar por dezenas de metros no ar ou por quilômetros sob a água até serem totalmente atenuadas.

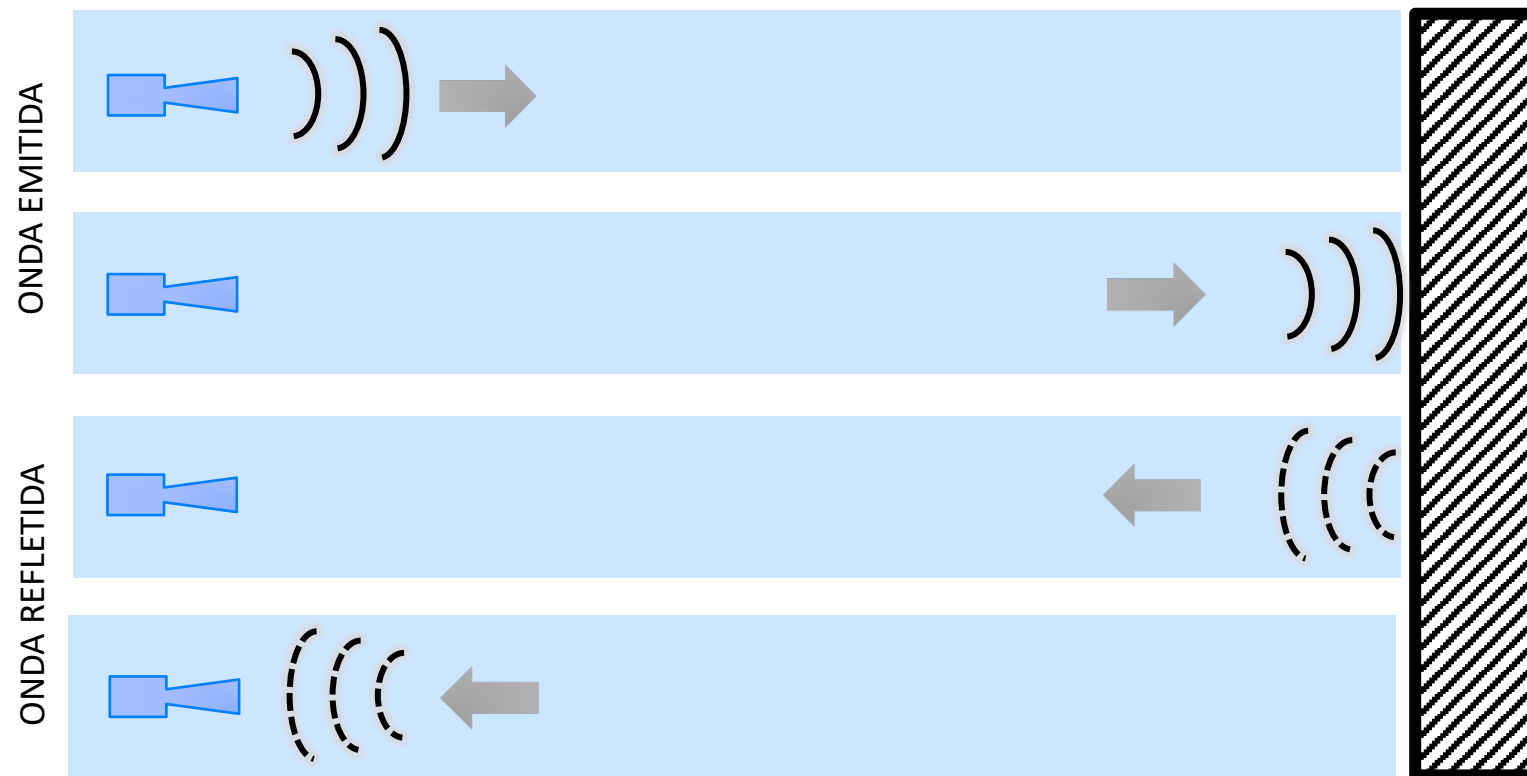
Sensores ultrassônicos normalmente utilizam elementos piezoelétricos tanto para emitir como para coletar sinais.

Um material piezoelétrico quando excitado eletricamente vibra a uma dada frequência. Ao mesmo tempo, vibrações mecânicas num material piezoelétrico geram corrente elétrica.

Em todo caso, instrumentos ultrassônicos são dispositivos bastante sofisticados e são usualmente baseados em tecnologia digital.

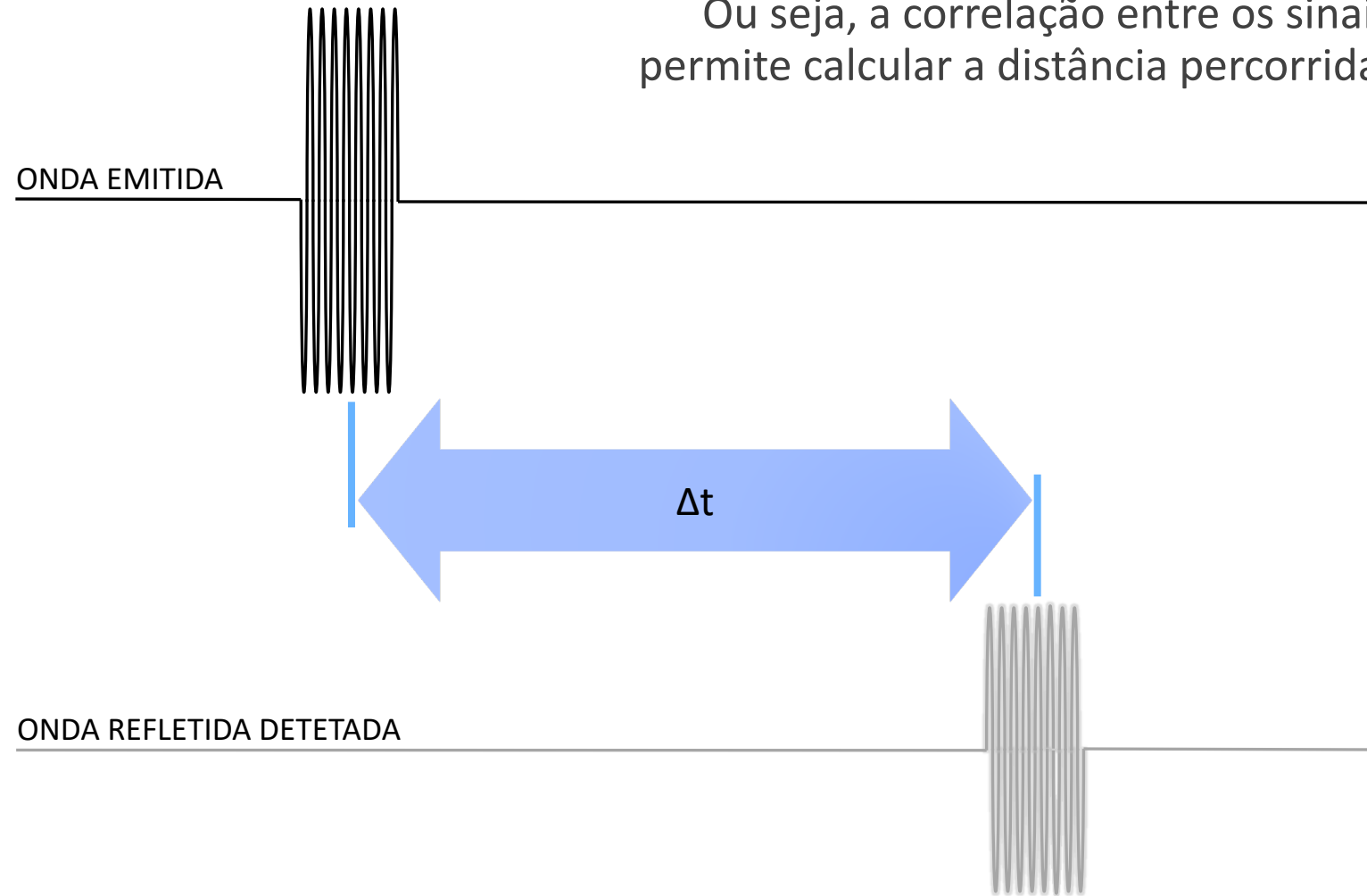
Ultrassom

O princípio no qual se baseia os sensores de ultrassom é emitir um pulso de ondas sonoras em direção a um obstáculo e detetar sua reflexão. O tempo de viagem dividido pela velocidade do som no meio dá a distância percorrida, que é o dobro da distância ao obstáculo.



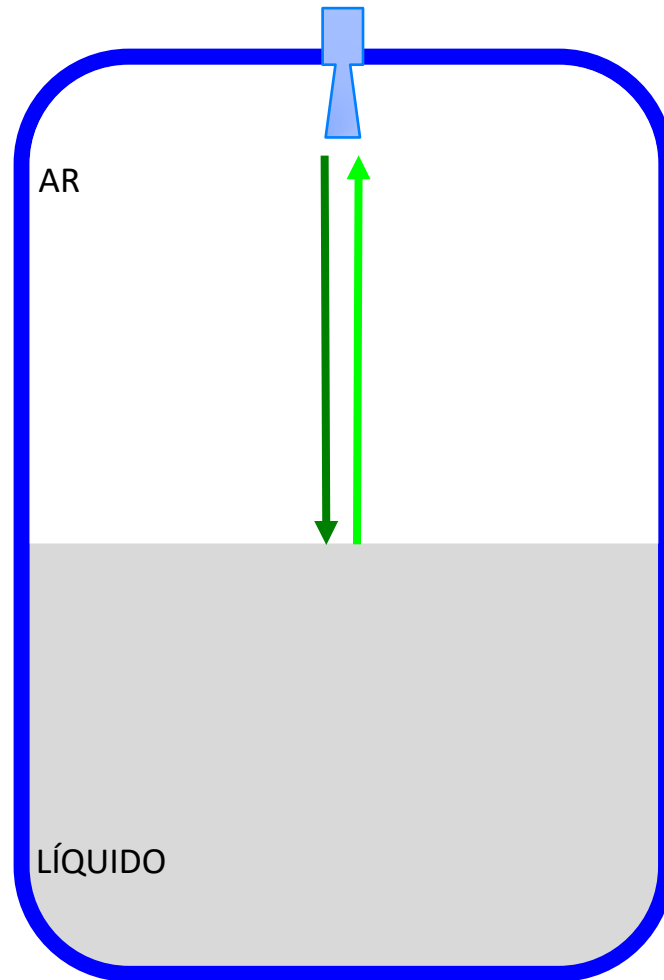
Ultrassom

Ou seja, a correlação entre os sinais permite calcular a distância percorrida.



Ultrassom

Montagem de Topo



O sensor localiza-se no topo e mede a distância até a superfície do líquido.

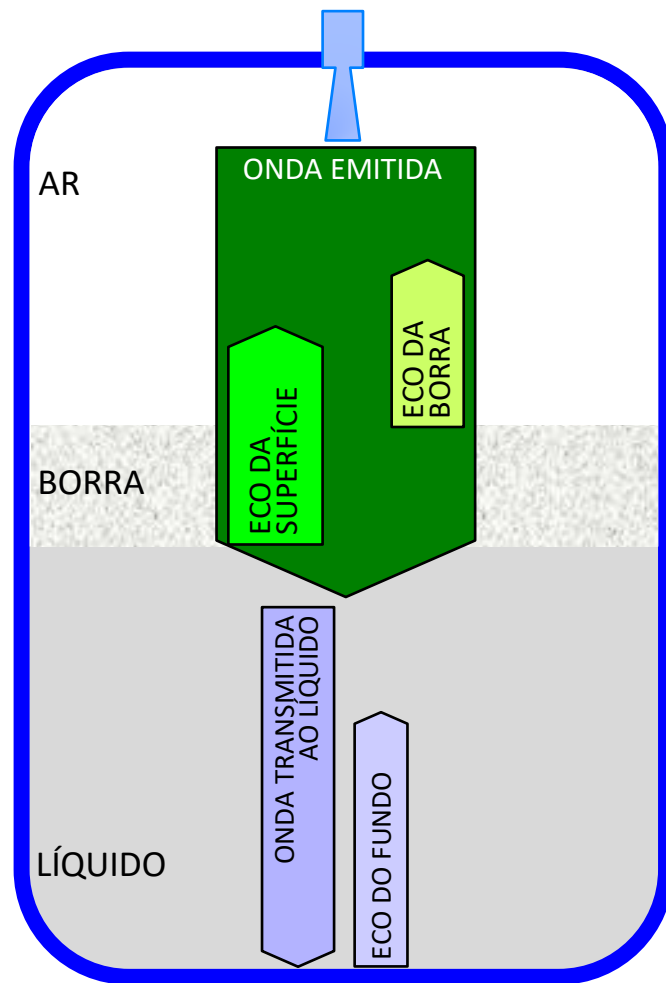
Este arranjo também serve para medir o nível de sólidos.

Uma vantagem deste arranjo é que o sensor não entra em contato com o líquido, o que é conveniente em caso de temperatura elevada ou material corrosivo.

Outra vantagem é que a onda viaja através do ar, com o tempo de viagem independente do líquido.

Ultrassom

Montagem de Topo - Dificuldades



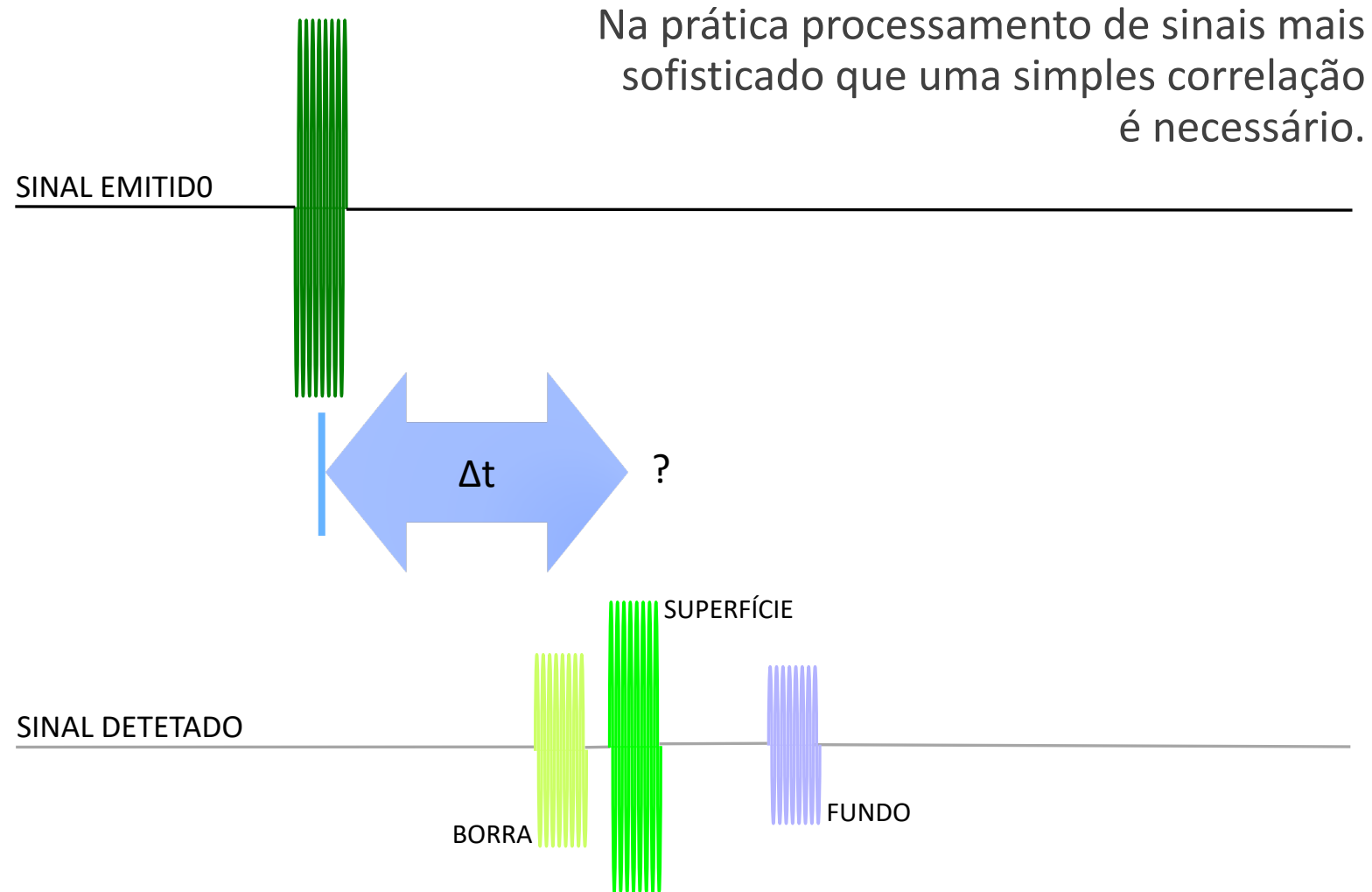
Caso haja borra, espuma ou objetos flutuando na borra, pode haver reflexão parcial em qualquer desses elementos.

Ao mesmo tempo, parte da energia que não é refletida pode se propagar até o fundo e ser refletida de volta.

Além disso pode haver reflexões em outras partes do reservatório ou não uniformidades nos meios (especialmente a borra).

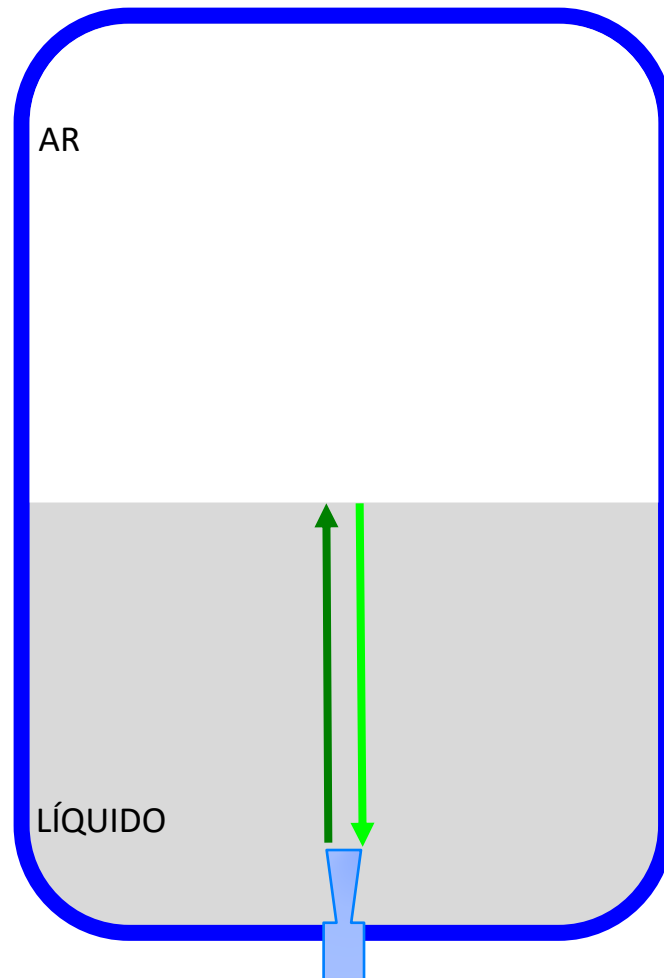
Ultrassom

Montagem de Topo - Dificuldades



Ultrassom

Montagem de Fundo



O sensor localiza-se no fundo e mede efetivamente o nível.

Este arranjo não serve para medir o nível de sólidos.

O problema da borra é bastante mitigado. Outros ecos continuam existindo.

Neste arranjo a onda viaja através do líquido, que tem velocidade do som menos variável com pressão e temperatura do que o ar. Por outro lado materiais corrosivos podem ser um problema.

Ultrassom



Radar

RADAR (RAdio **D**etection **A**nd **R**anging) se refere à emissão de ondas eletromagnéticas e análise de sua reflexão para detetar objetos.

Em instrumentação, os dispositivos do tipo radar operam na faixa de micro-ondas (hoje em dia desde 1GHz a 80GHz). Quando uma onda emitida pelo dispositivo incide sobre um material com constante dielétrica diferente da do meio de emissão, parte da energia é refletida de volta.

Ondas eletromagnéticas se propagam à velocidade da luz no meio:

Vácuo:	299.792.458 m/s	
Ar (aprox.):	299.700.000 m/s	(0,03% mais lenta)
Água (aprox.):	225.070.000 m/s	(25% mais lenta)
Vidro (aprox.):	200.000.000 m/s	(33% mais lenta)

Comparando-se a onda emitida com a onda refletida detetada é possível calcular a distância até o alvo.

Radar

Há dois tipos de técnicas de medida de distância via radar usuais em instrumentação:

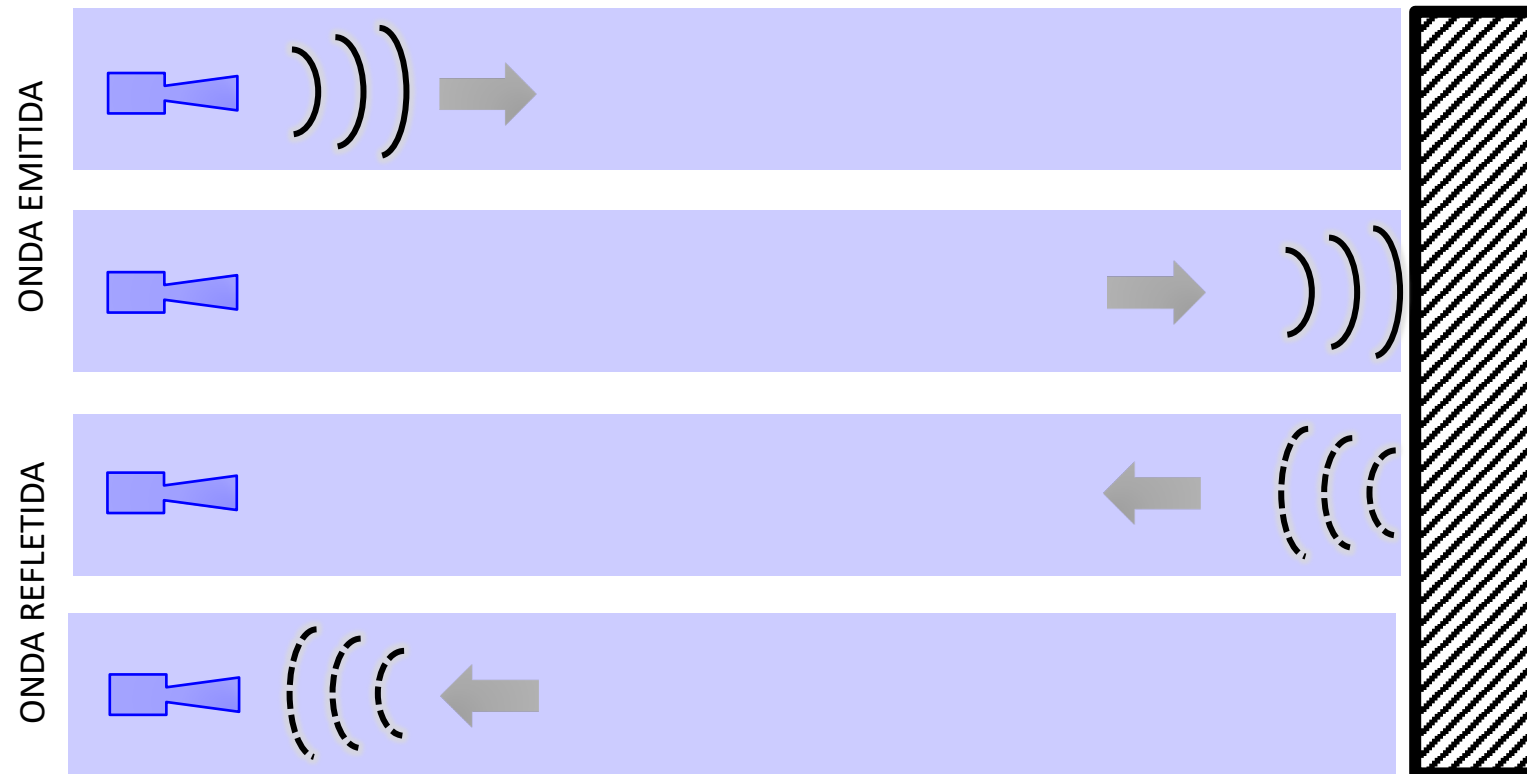
- **Tempo de viagem** (time of flight)
Similar ao utilizado pelos sensores ultrassônicos. Como os tempos envolvidos são muito mais curtos, o processo é mais problemático.
Normalmente o sinal emitido é pulsado.
- **Modulação de frequência**
Compara-se a frequência da onda emitida com a frequência da onda refletida. Comparação de frequência é implementada com relativa facilidade por meios eletrônicos.
Normalmente o sinal emitido é um chilreado (chirp).
Denominados **FMCW** (Frequency **M**odulated **C**ontinuous **W**ave)

Sensores de nível a radar são usualmente implementados no topo dos tanques e medem a distância até a superfície líquida. Nessa configuração também são adequados à medição de nível de sólidos.

Radar

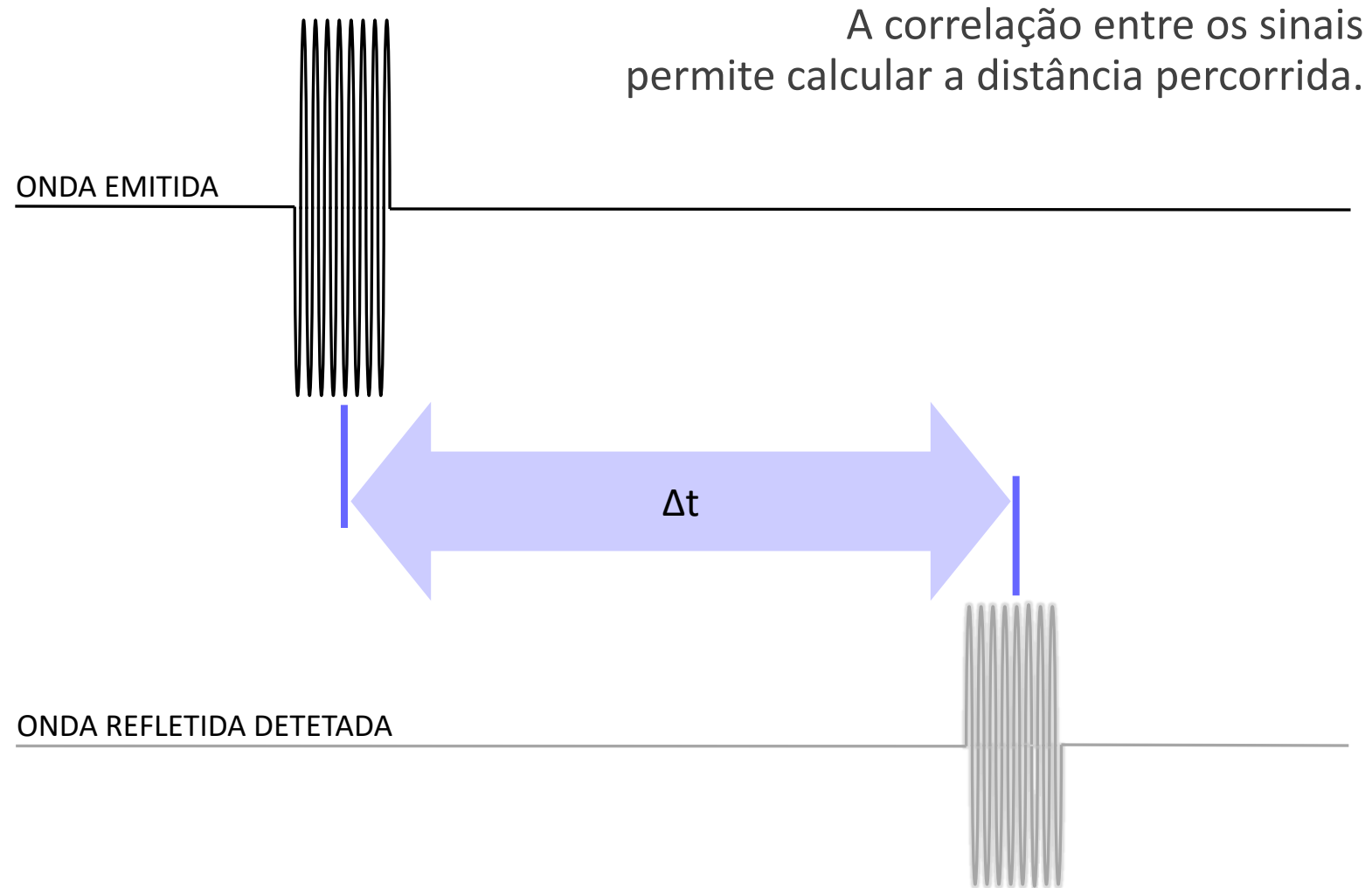
Tempo de Viagem

O princípio é similar ao utilizado nos sensores ultrassônicos. Notem que para uma distância de 10m no ar, o tempo de viagem é de 66,7ns (comparem com um tempo de 58,3ms de uma onda sonora).



Radar

Tempo de Viagem



Radar

Tempo de Viagem - Resumo

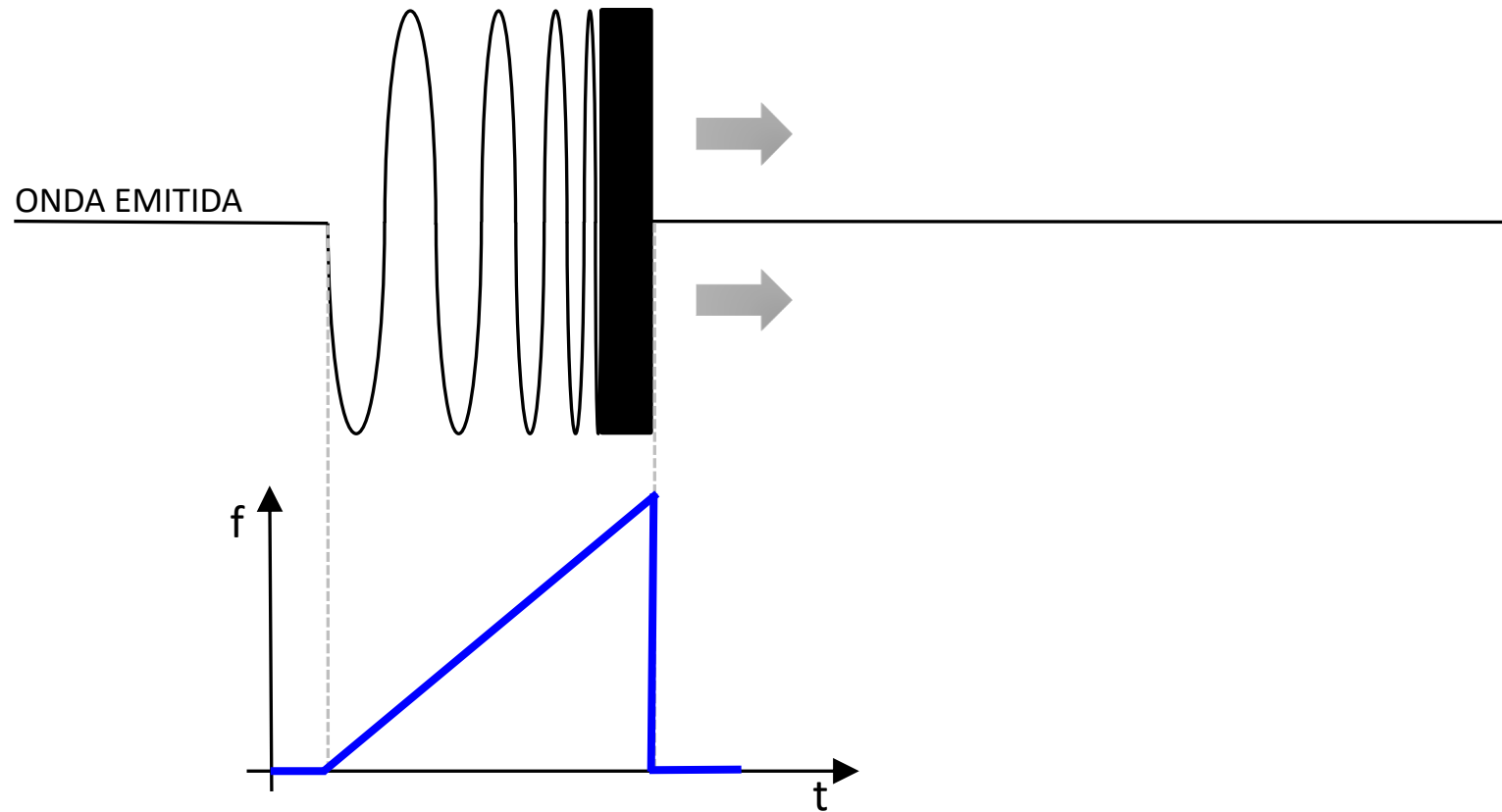


Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=iwVBUo11UAU>

Radar

Modulação de Frequência

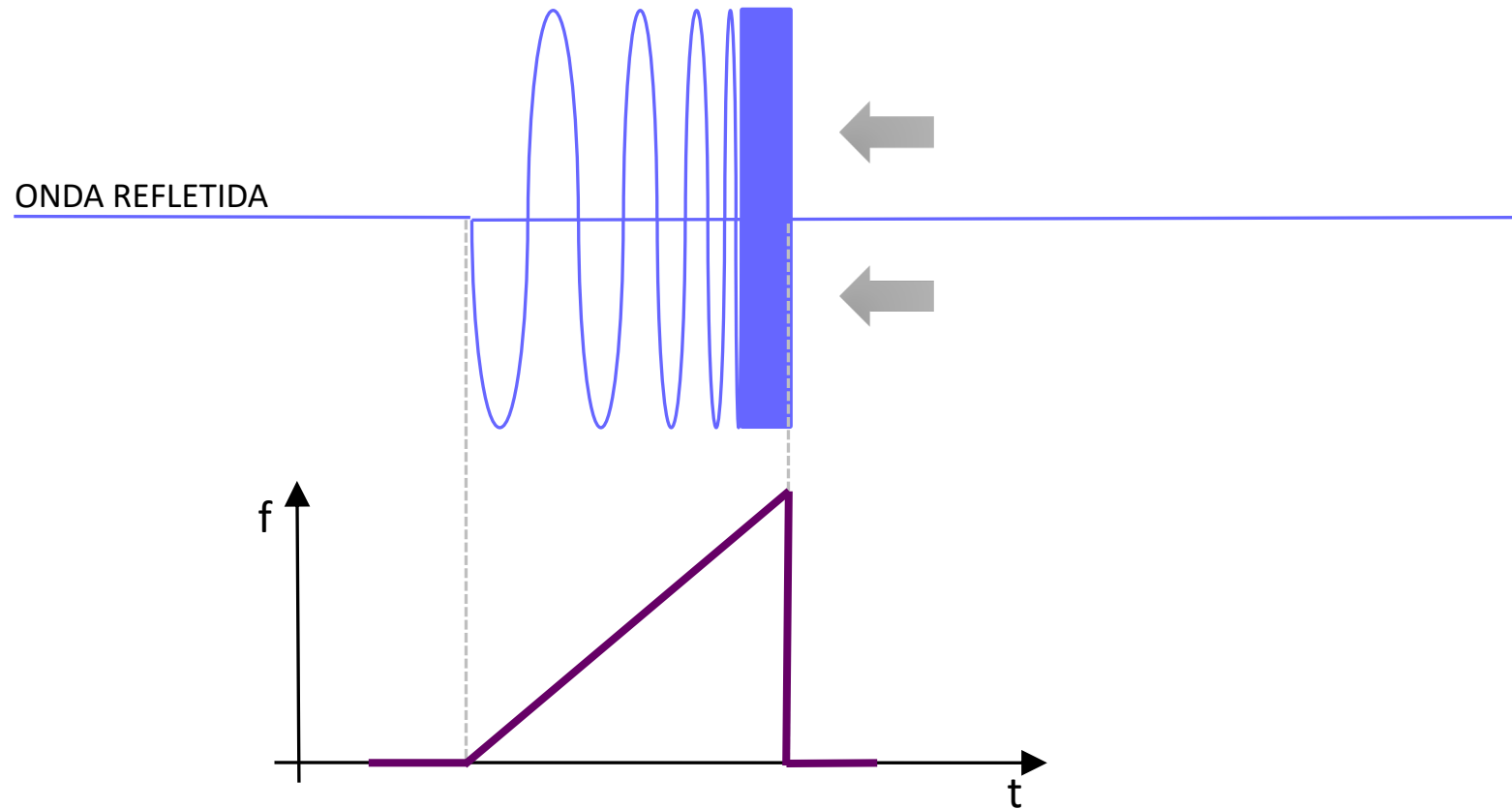
O dispositivo realiza uma varredura de frequência, emitindo um sinal chilreado (chirp) de frequência linearmente crescente.



Radar

Modulação de Frequência

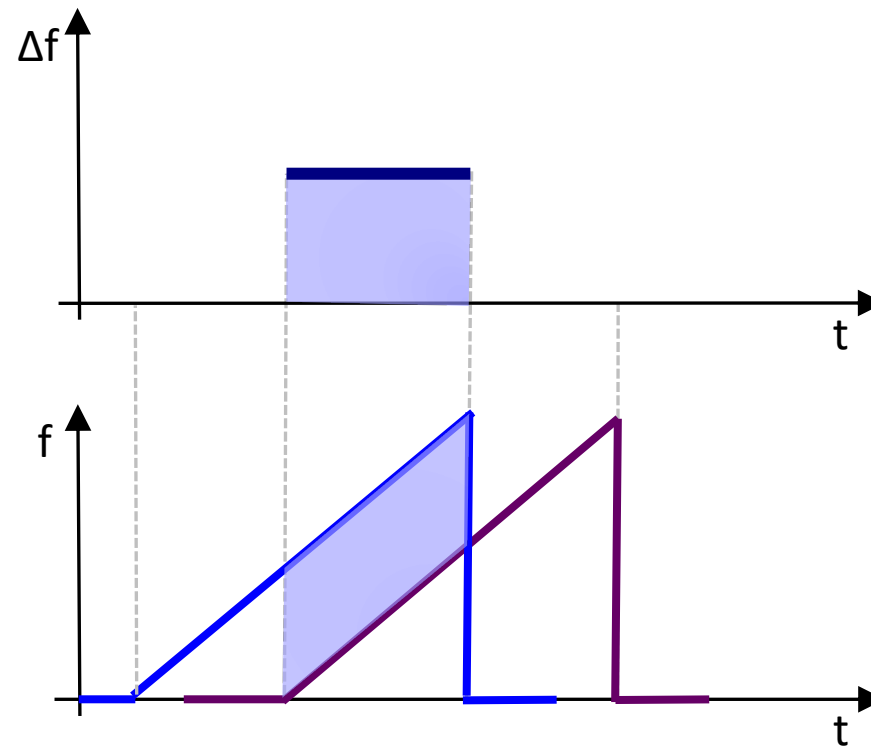
A onda refletida tem um atraso em relação à onda emitida igual ao tempo percorrido dividido pela velocidade da luz no meio.



Radar

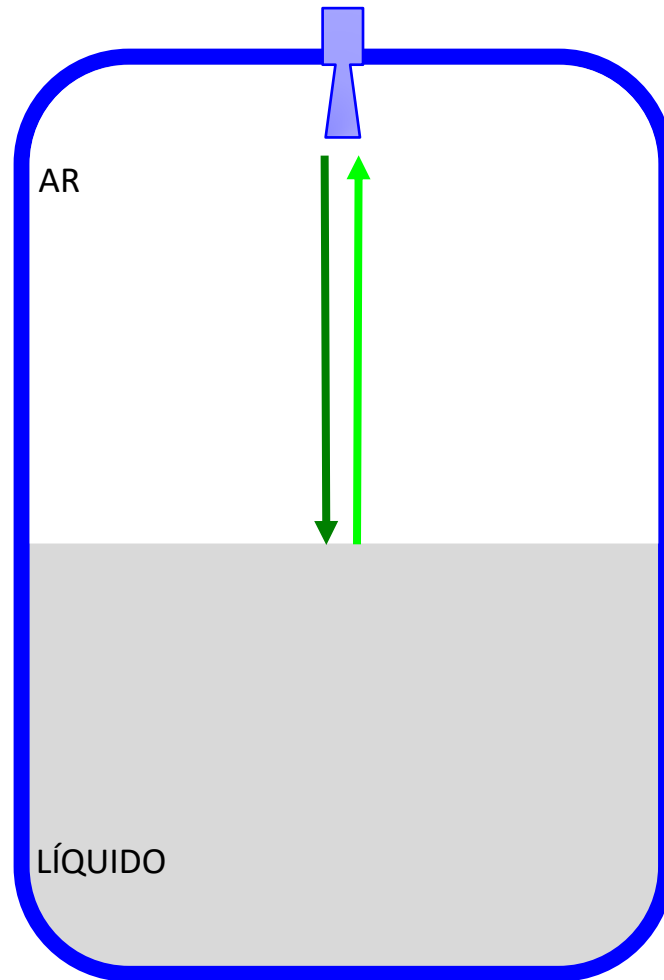
Modulação de Frequência

Esse atraso é proporcional à diferença de frequências entre as ondas emitida e refletida.



Radar

Montagem



O sensor é normalmente montado no topo do reservatório e mede a distância (no ar) até a superfície do líquido.

Este arranjo também serve para medir o nível de sólidos.

Como a velocidade da luz no ar é praticamente independente de condições como temperatura ou pressão, e como a reflexão é pouco afetada pela composição ou estado do líquido, é possível atingir grande precisão sob condições variadas com sensores a radar.

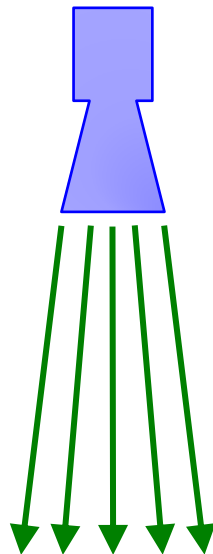
Radar

Antenas

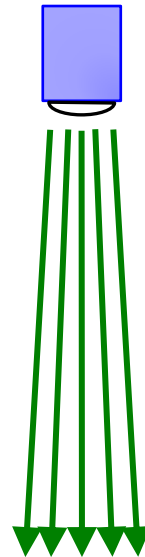
Os seguintes tipos de antenas são usuais em instrumentação:

- **Antenas parabólicas**
Maiores e com melhor focalização, são adequadas para maiores distâncias.
- **Antenas cônicas** (cornetas)
Menores e mais práticas.
- **Antenas lenticulares**
Ainda menores, mais adequadas para alta frequência (na faixa de 80GHz)

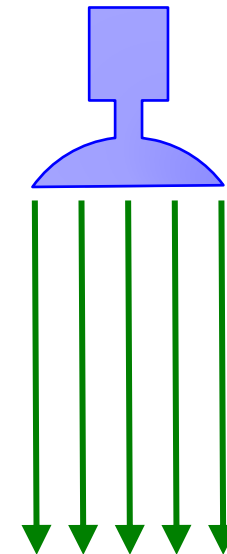
ANTENA CÔNICA



ANTENA LENTICULAR



ANTENA PARABÓLICA



Radar



Radar

Limitações

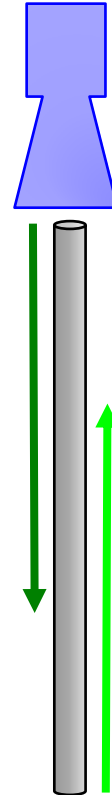
Caso a constante dielétrica do líquido seja muito próxima à do ar, apenas uma parcela muito pequena da energia é refletida.

material	condições	cte. diel.	
Vácuo		1	(referência)
Ar	(1 atm)	1,00059	
	(100 atm)	1,0548	
Teflon		2 – 2,8	(diversas composições)
Água	(20°C)	80,103	
	(80°C)	61,027	
	(vapor)	1,00	(diversas condições)
Azeite de Oliva		3,1	
Gasolina	(20°C)	2,0	
Querosene	(20°C)	1,8	

Radar

Limitações

Nesses casos (hidrocarbonetos, óleos vegetais, etc.) pode-se utilizar uma guia de onda para focalizar mais a energia e aumentar o rendimento e a resolução do sistema.



Radar

Proteção

Teflon é um material praticamente transparente ao radar (cte. dielétrica entre 2 e 2,8). Além disso ele é resistente ao ataque de diversas substâncias.

Frequentemente é empregado para encapsular as antenas.



Radar

Frequência

1GHz	Adequado para aplicações que envolvam borra ou espuma. Maior sensibilidade para materiais com baixa constante dielétrica.
> 1GHz	Maior focalização; feixe mais estreito.
>> 1GHz	Ainda maior focalização; feixe ainda mais estreito; Requer antenas menores. Maior alcance.
80GHz	Maior precisão e resolução; Maior alcance; Melhor separação de ecos espúrios; Pode medir distâncias bem menores.

OBS: A refletividade dos materiais varia com a frequência. Algumas frequências são mais adequadas a certos materiais que outras.

Radar

Frequência - Resumo



Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=ydJYsOaOe3I>

Ultrassom vs Radar

Vantagens comuns a ambos:

- Sem contato com o líquido;
- Servem também para sólidos;
- Excelente precisão;

ULTRASSOM:

- Custo:** bem mais baixo do que os sensores a radar;
- Dimensões:** bem menores do que os sensores a radar;
- Diversidade de materiais:** não têm dificuldades na medição de líquidos de cte. dielétrica baixa;

RADAR:

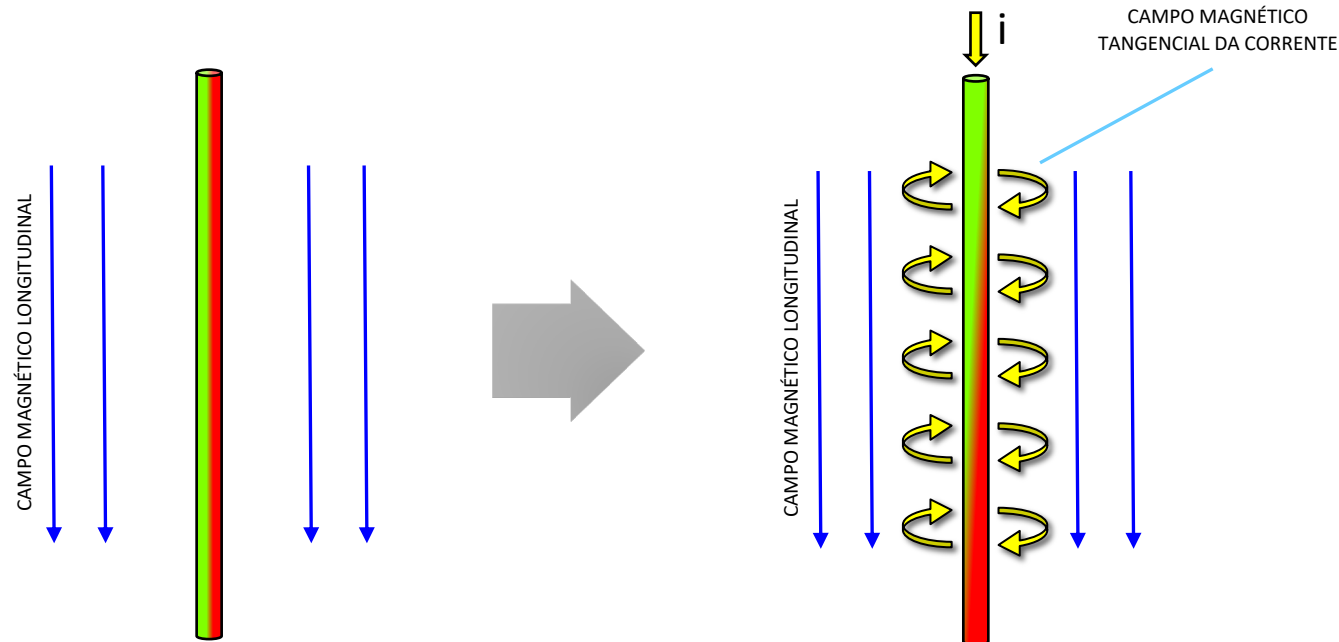
- Alcance:** bem maior que o dos sensores ultrassônicos;
- Ambiente:** pode operar no vácuo e em diferentes atmosferas, incluindo vapor;
- Estabilidade:** menos sensível a variações de pressão e temperatura;
- Versatilidade:** mais opções de frequência para diferentes aplicações.

Magnetoestrição

EFEITO WIEDEMANN

Descoberto por Gustav Wiedemann (1858).

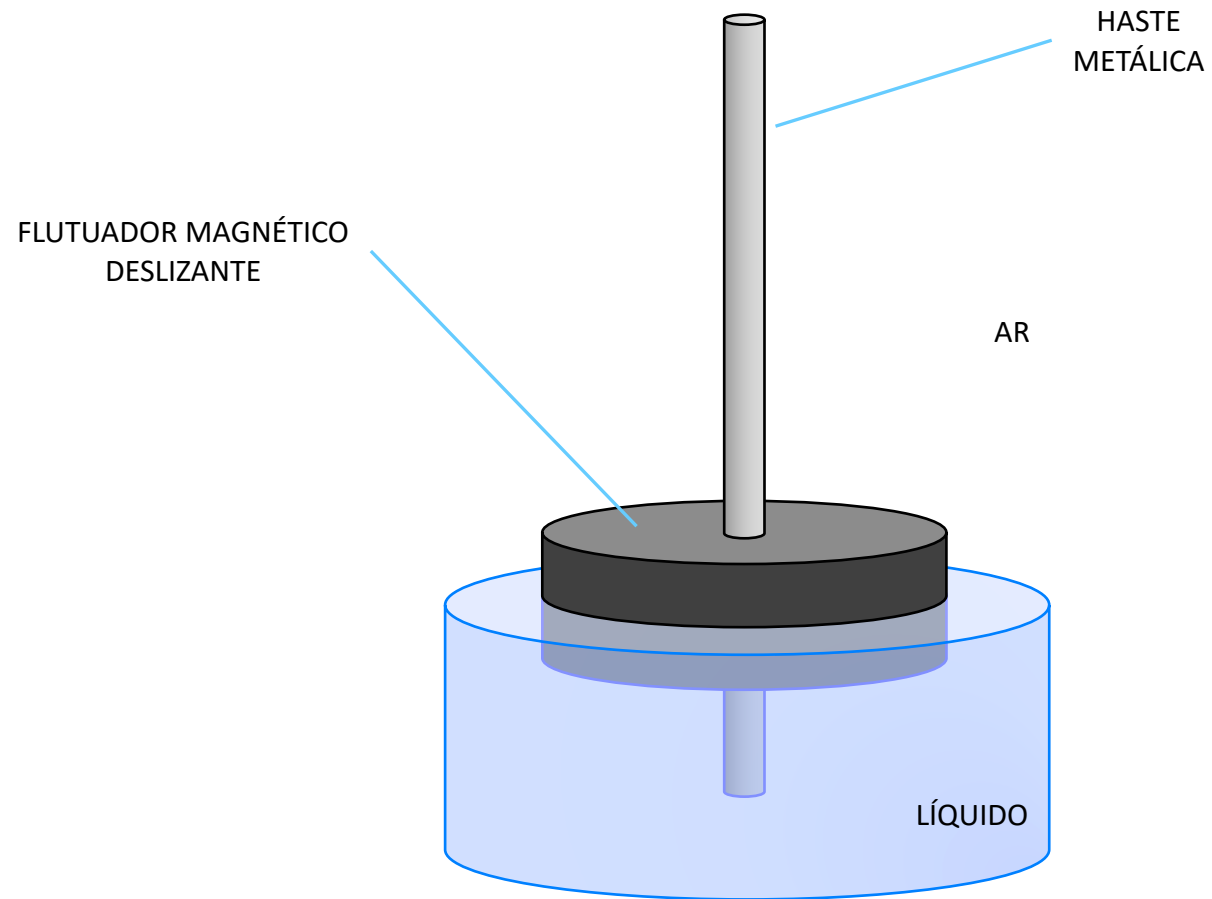
O efeito consiste na torção de uma haste ferromagnética sujeita a um campo magnético longitudinal quando é aplicada uma corrente longitudinal à haste.



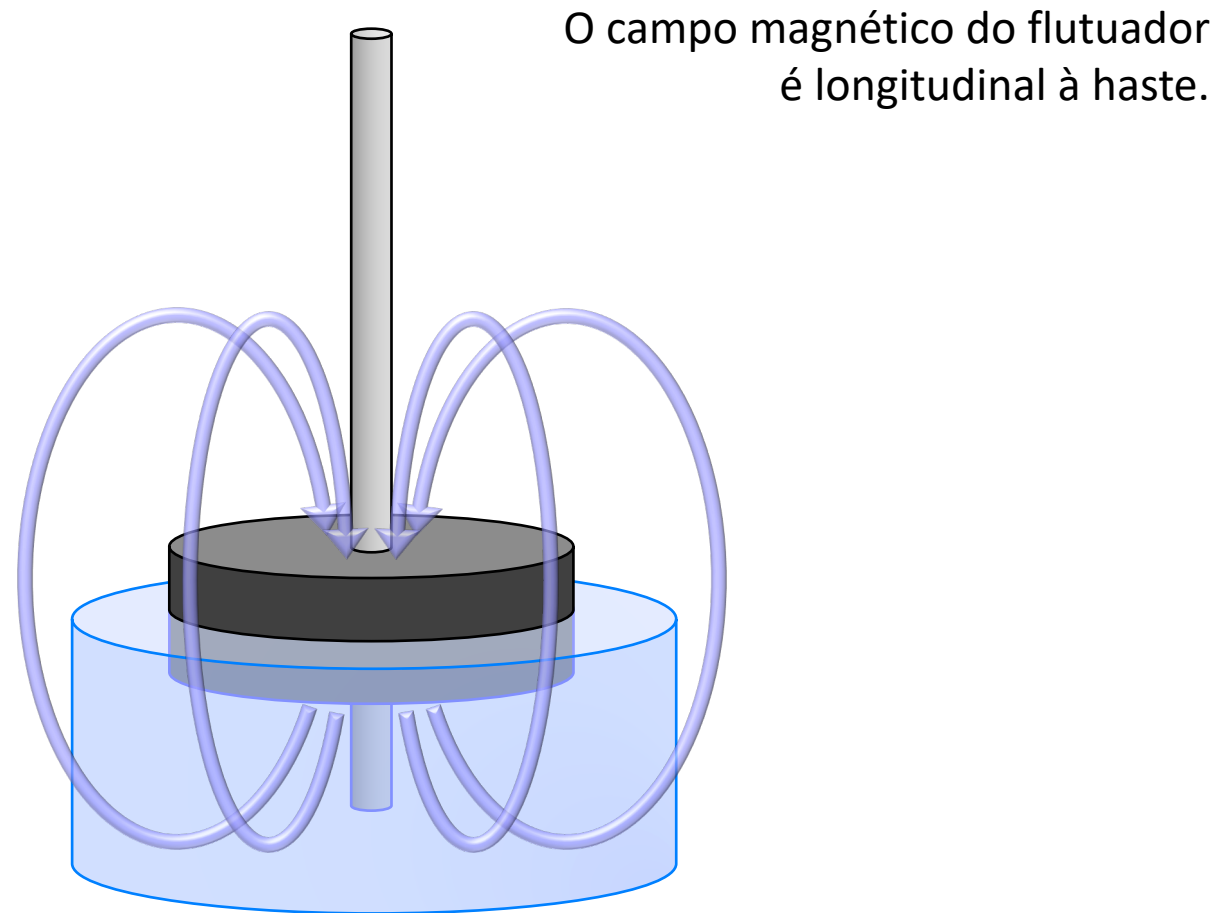
Magnetoestrição

Sensores magnetoestritivos possuem uma haste vertical, que opera como guia de onda, mergulhada num líquido e um flutuador magnético que desliza pela haste. Um pulso de corrente (denominado **pulso de interrogação**) é aplicado à haste. O flutuador gera um torque torsional localizado que se propaga ao longo da haste na velocidade do som do material. O tempo de viagem do pulso determina a distância até o flutuador.

Magnetoestricção

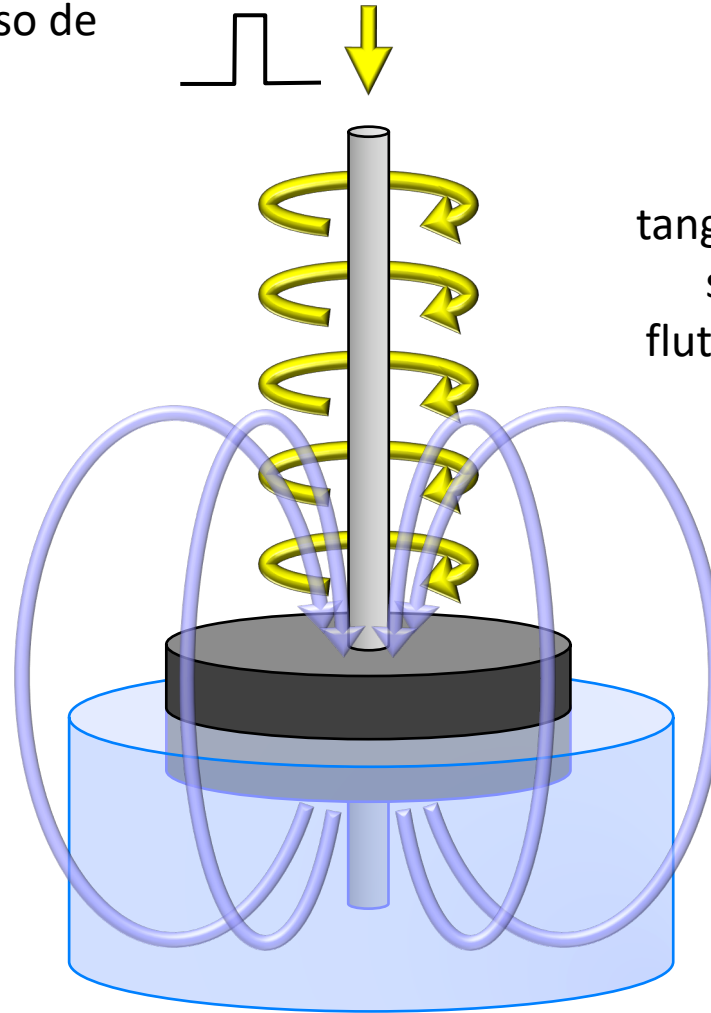


Magnetoestrição



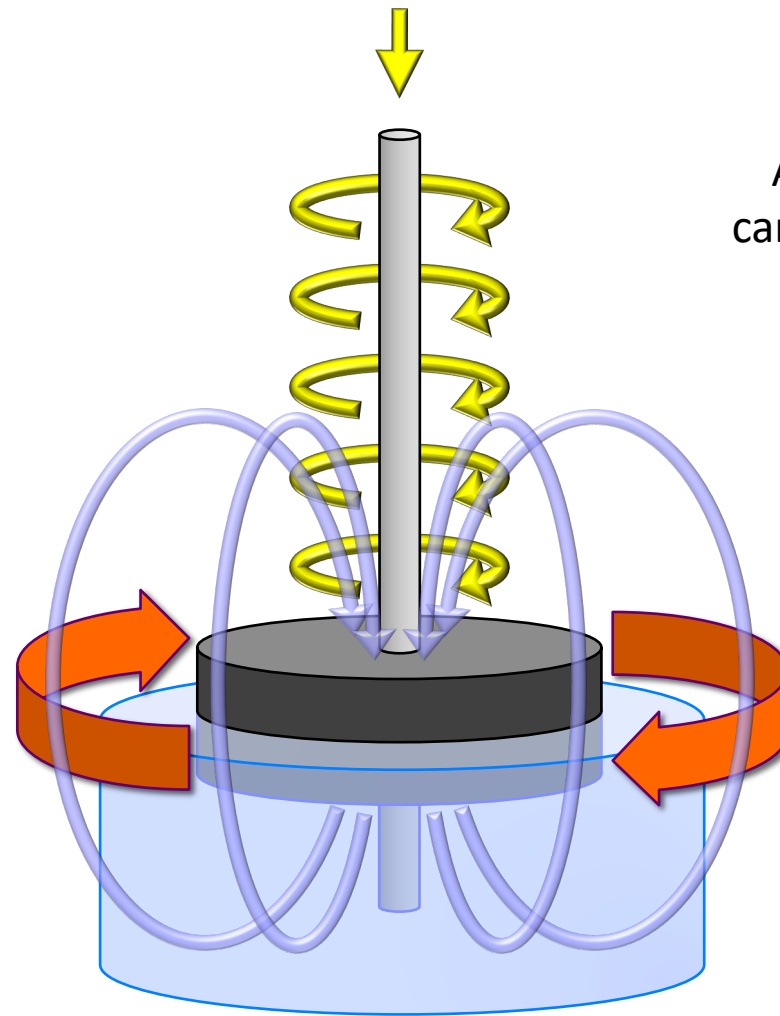
Magnetoestrição

Aplica-se um pulso de corrente à haste.



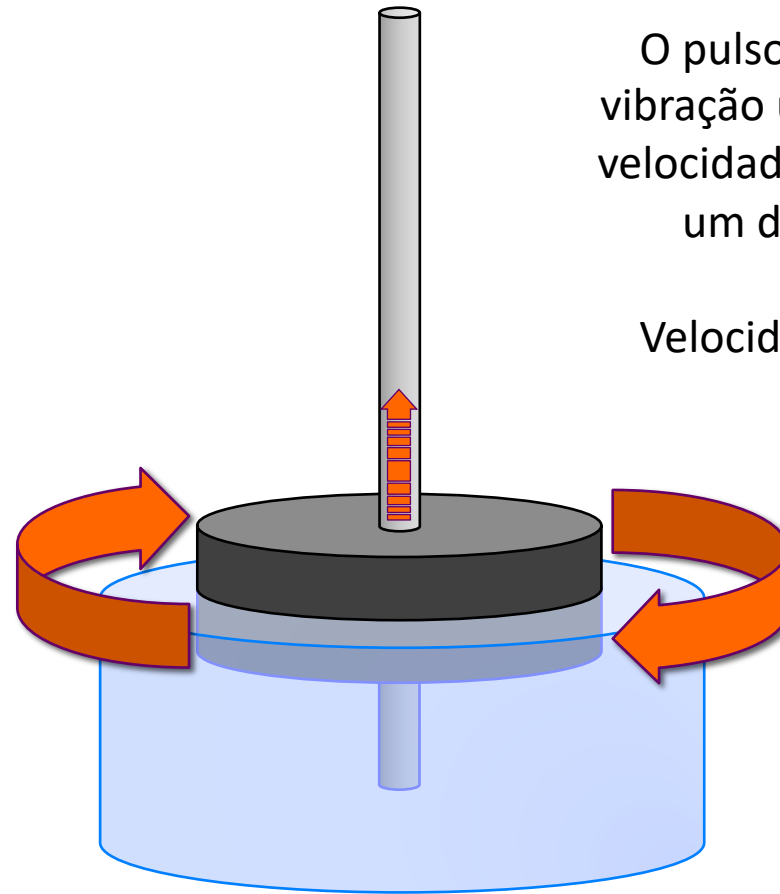
O campo magnético tangencial associado propaga-se instantaneamente até o flutuador, onde há um campo longitudinal localizado.

Magnetoestrição



A interação entre os dois campos causa um pulso de torque na posição do flutuador magnético

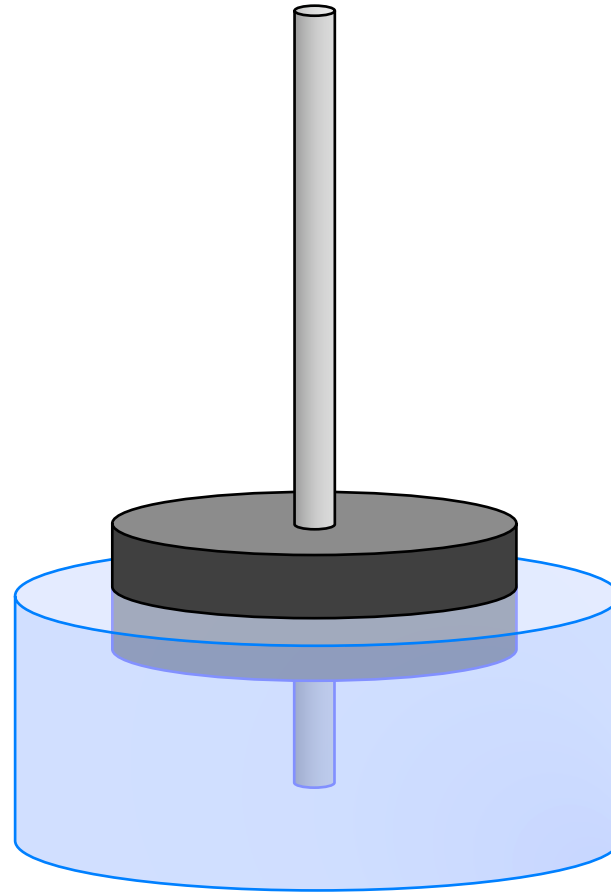
Magnetoestrição



O pulso de torque provoca uma vibração ultrassônica que viaja na velocidade do som pelo metal até um detetor no topo da haste.

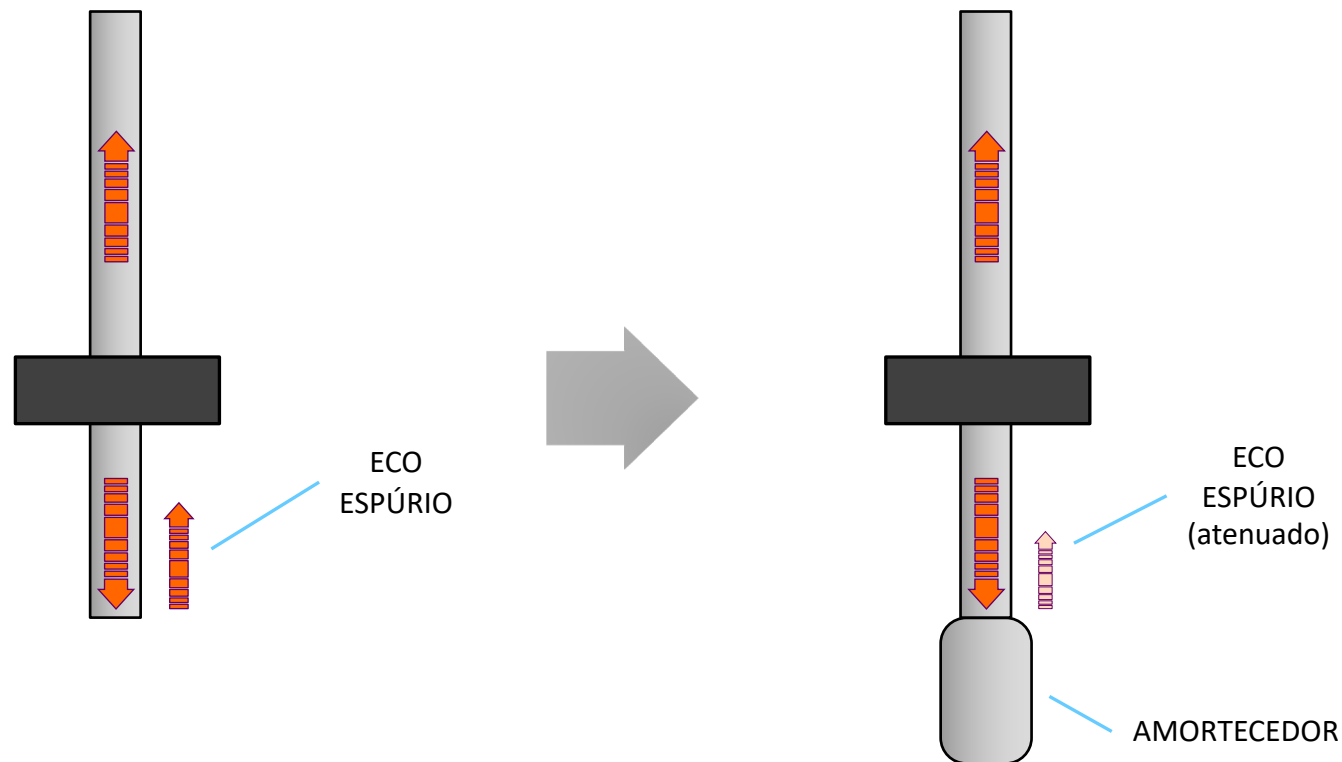
Velocidade do som no aço inox:
5800 m/s

Magnetoestrição



Magnetoestrição

O pulso ultrassônico também viaja no outro sentido até a extremidade inferior da haste. Para evitar reflexões um amortecedor é instalado na base.



Magnetoestrição

- VANTAGENS:
- A medida independe da composição do fluído;
 - A medida é pouco afetada por variações de temperatura ou pressão;
 - A precisão é bastante elevada (da ordem de mm);
 - O custo é relativamente baixo.

Magnetoestricção

