

# NIDays09

CONFERÊNCIA TECNOLÓGICA SOBRE  
PROJETO GRÁFICO DE SISTEMAS





# Guia prático para aplicações de Som e Vibração

André Oliveira – Engenheiro de Vendas  
Fernando Cassão – Engenheiro de Vendas



# Agenda

- Introdução: Por que medir Som e Vibração?
- Parte 1: Sensores - Som e Vibração
- Parte 2: Condicionamento de Sinal e A/Ds
- Parte 3: Análise e Processamento de Sinal
- Parte 4: Arquitetura de Sistemas e Estudos de Casos

# Por que medir Som & Vibração?

- **P&D** – durante a fase de pesquisa e desenvolvimento de um produto estuda-se os seus ruídos e vibrações para reduzir a vibração ou aprimorar sua acústica afim de aumentar sua vida útil ou para melhor satisfazer os clientes. ex. Eletrodomésticos, Automóveis, Ferramentas.



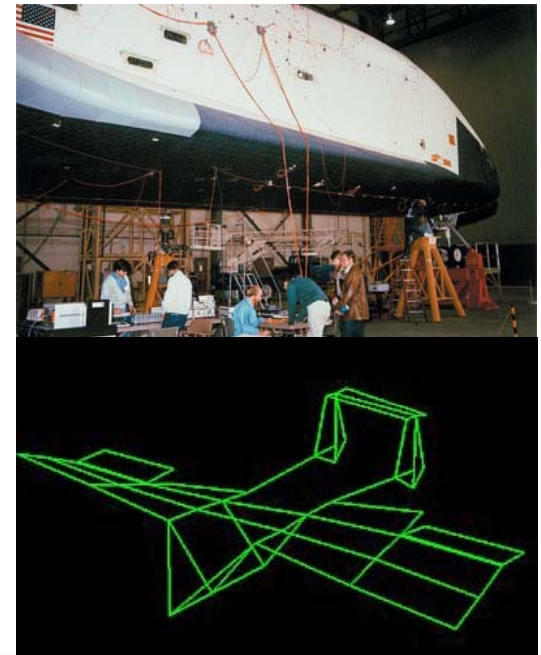
# Por que medir Som & Vibração?

- **Desempenho de Áudio** – qualidade de auto-falantes (doméstico, automotivo, celulares), amplificadores, equalizadores, etc. através de medição de resposta em frequência, análise de distorção, linearidade/ganho e qualidade de som.



# Por que medir Som & Vibração?

- **Testes Estruturais** – medir a resposta à vibração de uma estrutura permite determinar sua integridade, propriedades materiais e modos de vibração.  
ex. Fadiga, Rigidez, Rachaduras.





# Por que medir Som & Vibração?

- **Controle** – detectar a presença ou alteração de ruídos e vibração para tomar ações apropriadas.  
ex., Sistemas de Suspensão Ativa, Supressão de Ruído de Cabine, Controle de Vibração – Shaker.



# Por que medir Som & Vibração?

- **Proteção de Máquinas** – monitoramento de vibração, indicação de alarmes ou parada imediata quando limites são excedidos.



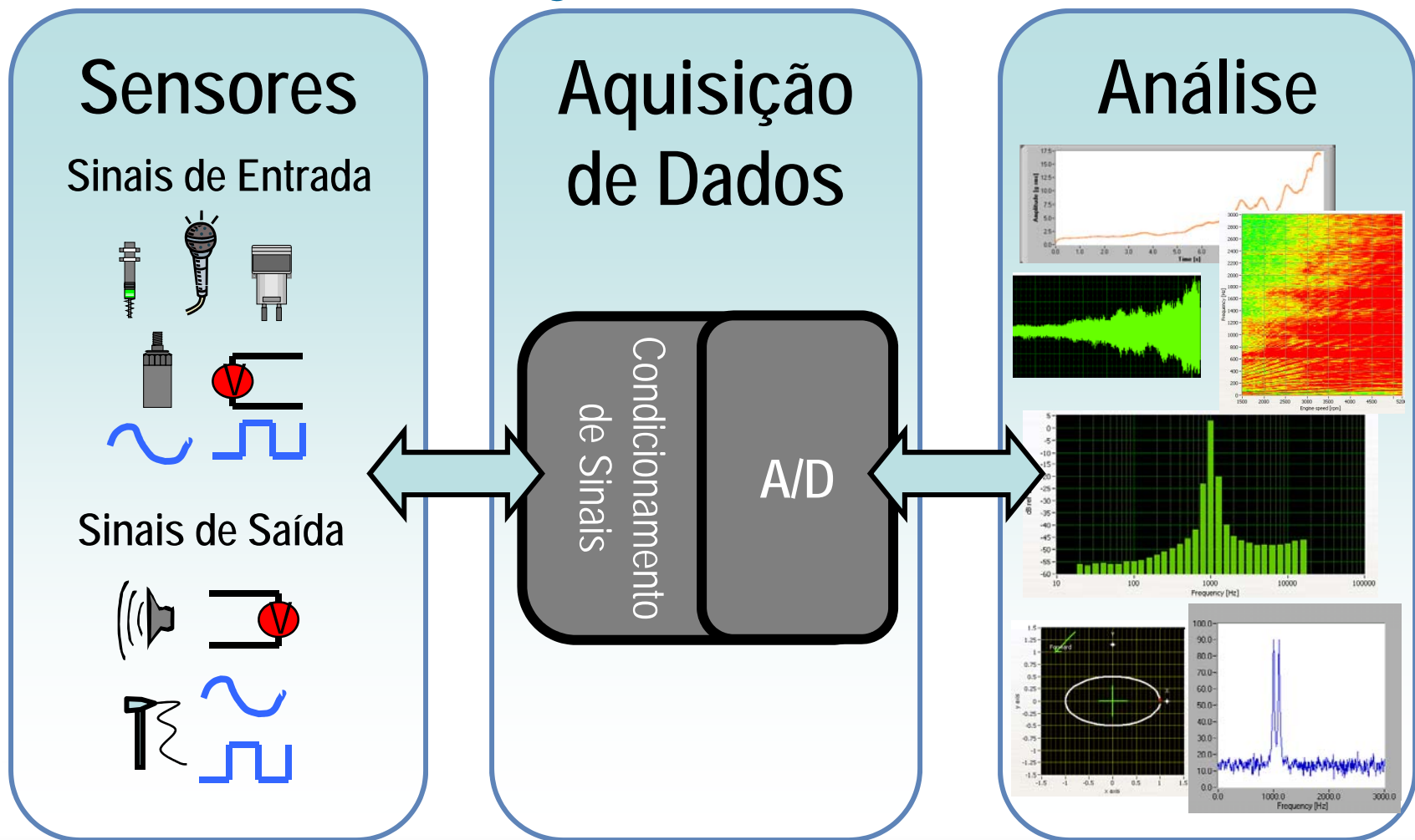


# Por que medir Som & Vibração?

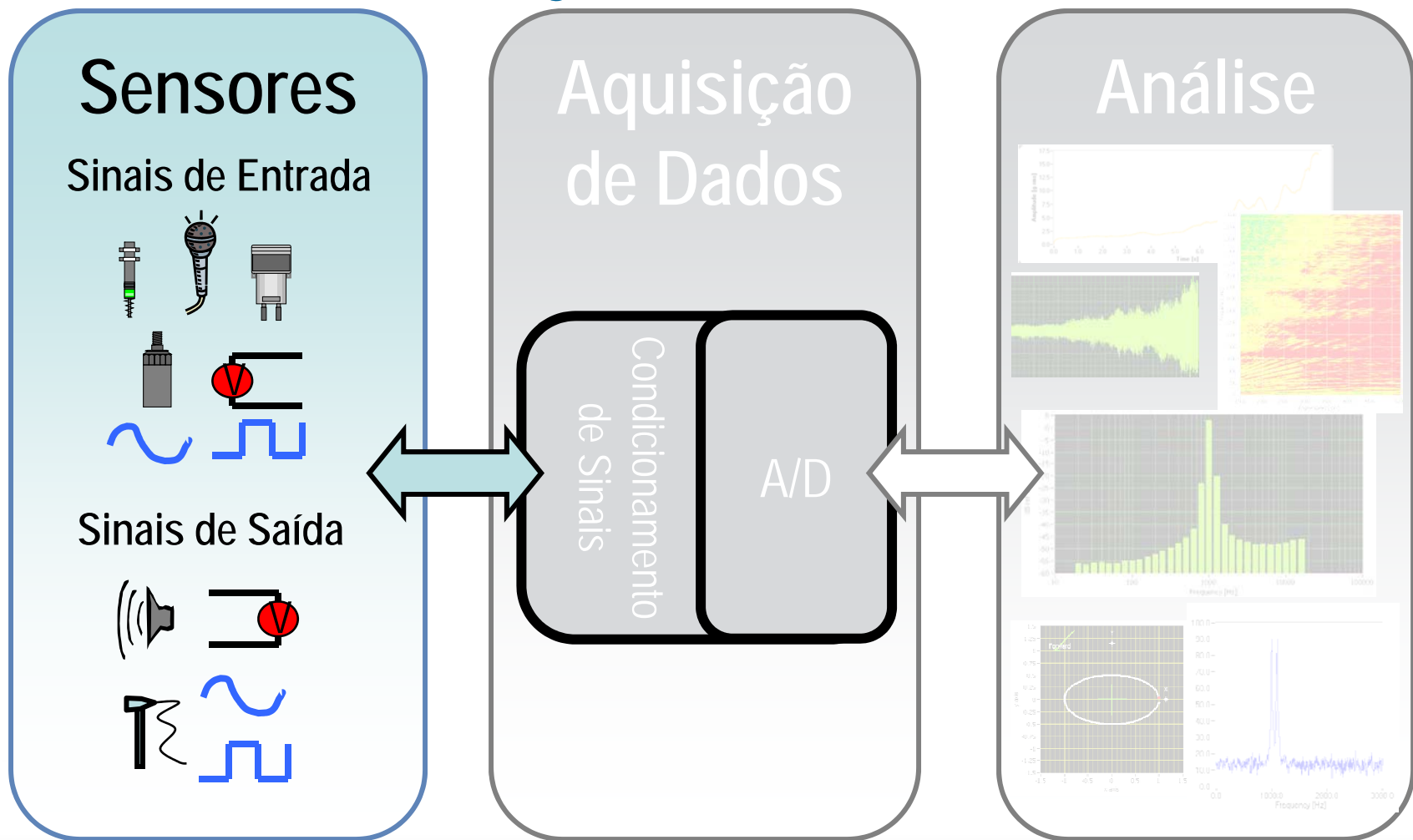
- **Manutenção Preditiva** – análise de tendências e de desempenho de máquinas para determinar o momento exato para manutenção e aumento de disponibilidade.



# Componentes de um Sistema de Medição de Som & Vibração

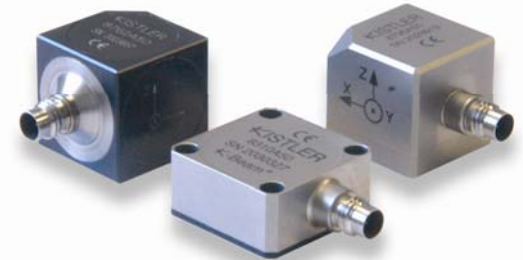


# Componentes de um Sistema de Medição de Som & Vibração



# Acelerômetros

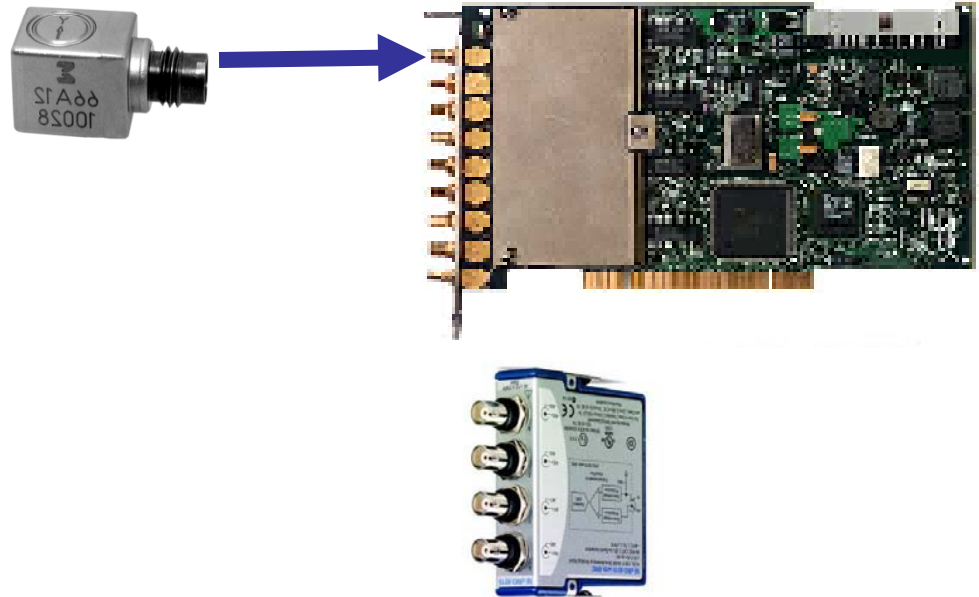
- Medição
  - Aceleração
  - Velocidade e deslocamento (através de integração no tempo)
- Resultado expresso em unidades de  $g$  ou  $m/s^2$ 
  - $1\text{ g} = \text{aceleração na superfície da Terra}$
  - $1\text{ g} = 9.81\text{ m/s}^2$
- Configurações para um único eixo ou triaxial
- Calibração realizada com shaker



# Acelerômetros IEPE

## Conexão direta

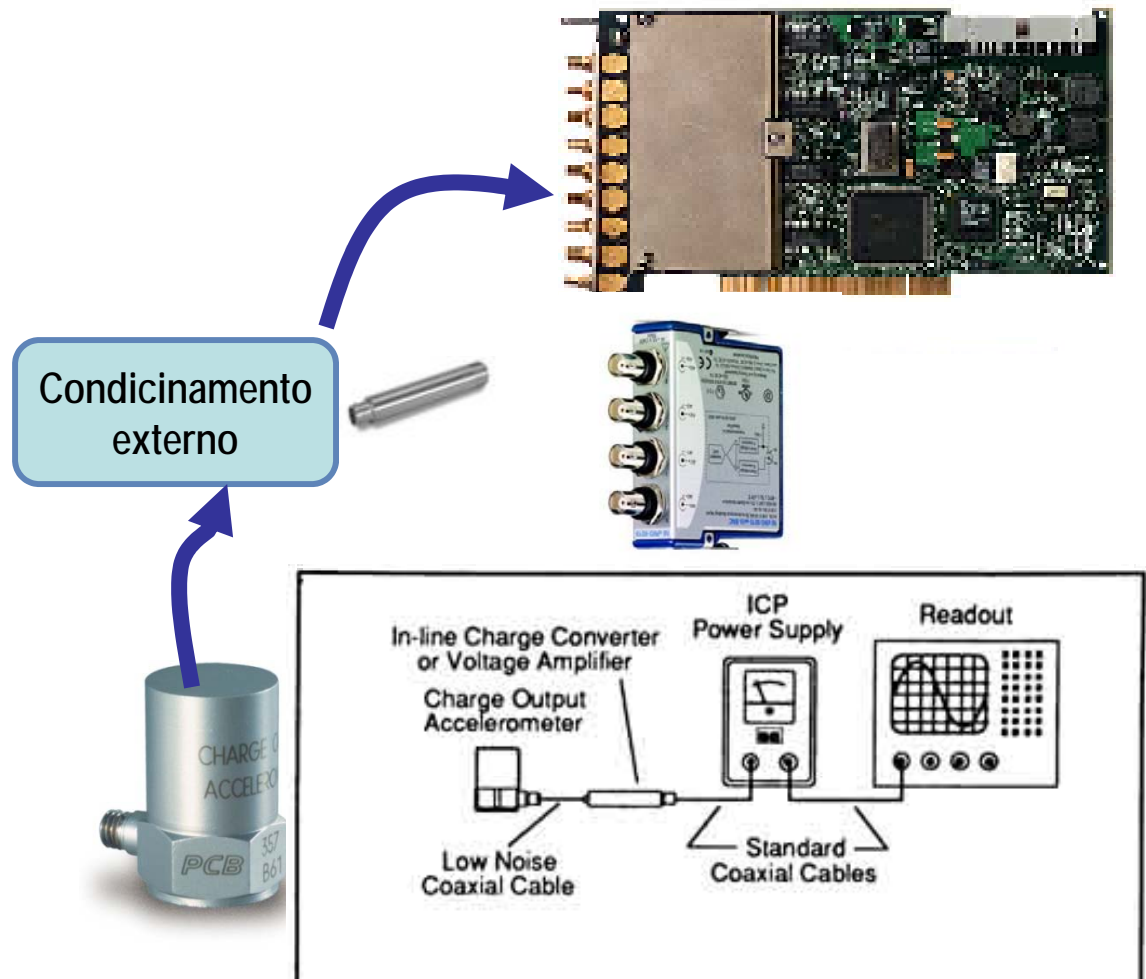
- Vantagens
  - Simples e fácil de usar
  - Construído com microeletrônica
  - Condicionamento de sinal simples, corrente constante (18 to 30 VDC; 2 mA)
- Limitações
  - Temperatura: máx 120°C (alguns 160°C)
  - Sensibilidade fixa





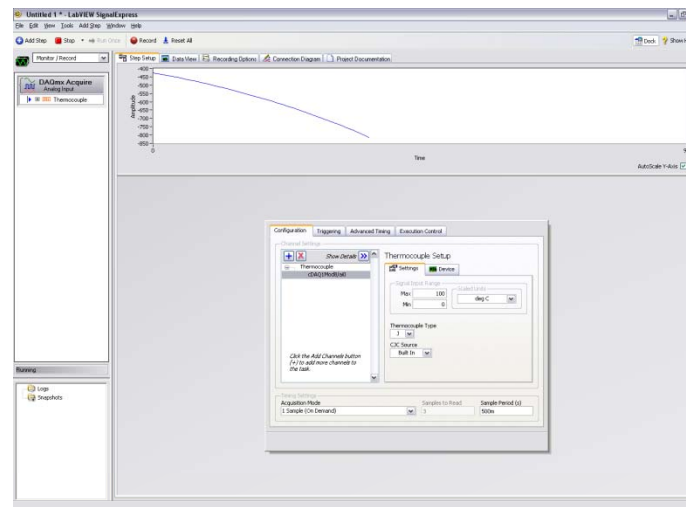
# Acelerômetros de Carga

- Vantagens
  - Temperaturas de até 530°C
  - Sensibilidade Variável
- Limitações
  - Precisa de condicionamento externo
  - Precisa de cabo de baixo ruído
  - Sensível à influências do ambiente



Fonte: PCB, [www.pcb.com](http://www.pcb.com)

# Demo: Medição de Acelerômetro



Demo 2

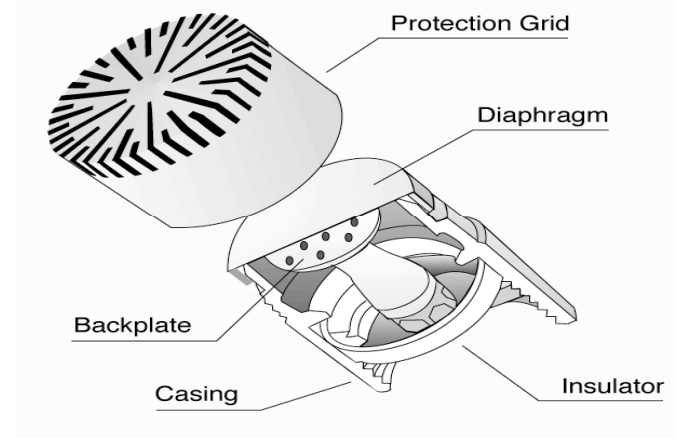
# Microfones



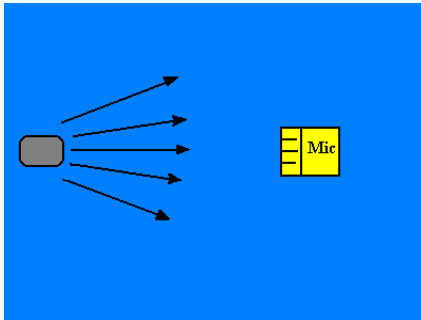
- Medição
  - Pressão sonora (variação em torno da pressão atmosférica)
  - Conversão do nível de pressão sonora (SPL em dBs)  
(via referência dB para 20 uPa)
- Resultado expresso em pascal (Pa)
- Calibração com um ruído de referência

# Tipos de Microfones

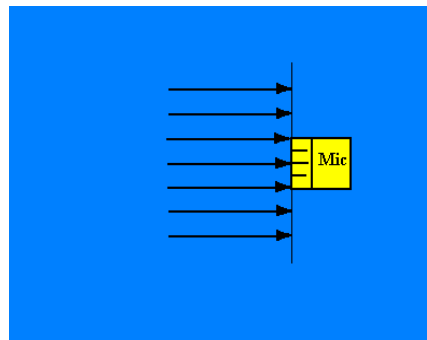
- Pré-polarizado (Electret)
  - Alimentado por corrente constante (2 à 20 mA)
  - Conexão a 2 fios (BNC, microdot)
- Polarizado externamente
  - Alimentado por fontes de até 200 V
  - Conectores 7 pinos LEMO



# Tipos de Microfones

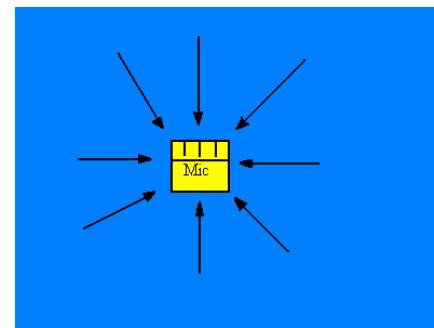


Campo Livre



Campo de Pressão

Microfone de Incidência Aleatória





# Temperatura e Processo

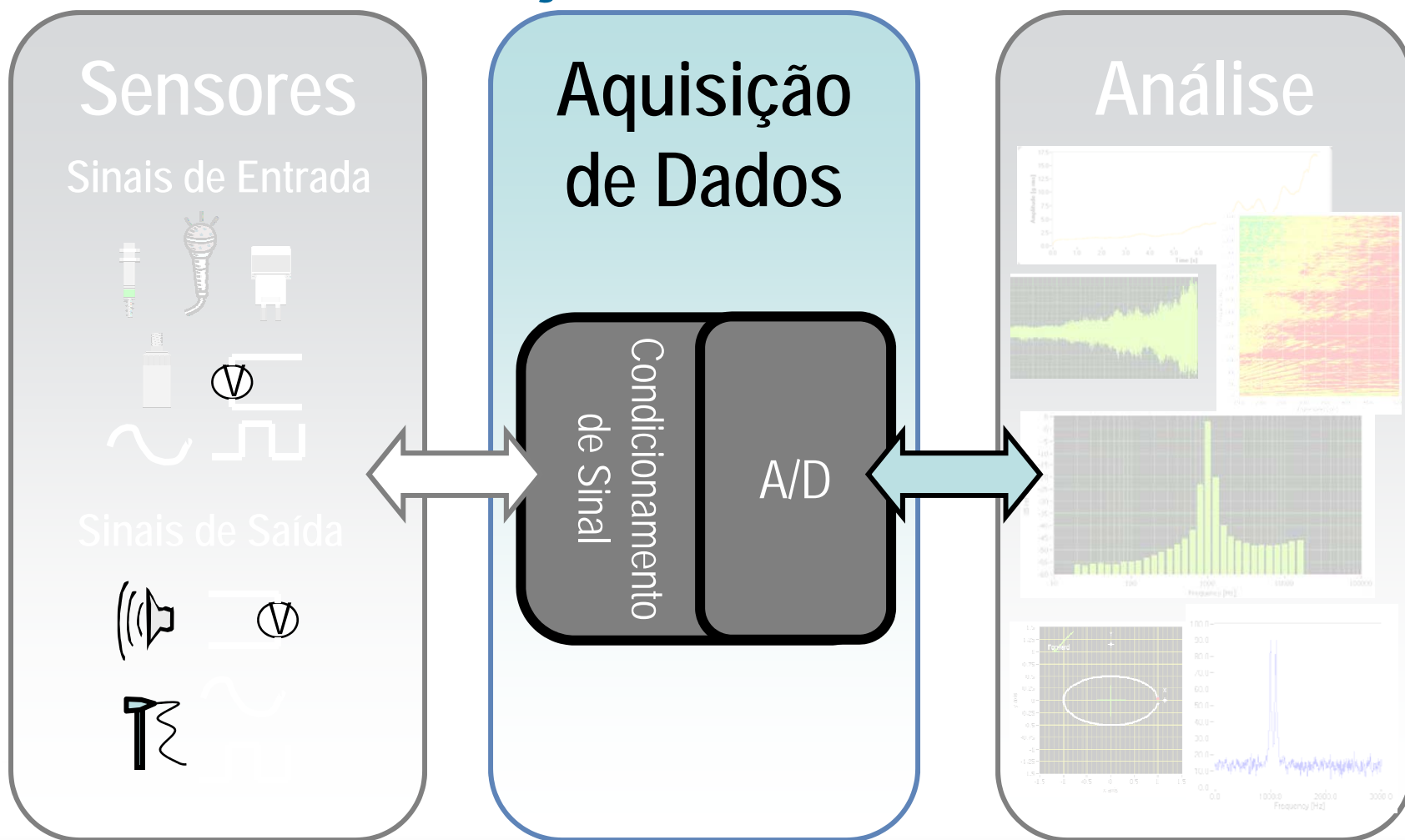
- RTDs
- Termopares
- Sensores Infra-vermelhos (sem contato)
- Variáveis de processo – sensores 4 a 20 mA
- Sensores de Proximidade
- Tacômetros
- Módulos de entrada de termopar/RTD/tensão/0 à 20mA
  - Série C, Compact FieldPoint, Placas DAQ industrial

# Considerações para escolha de transdutores

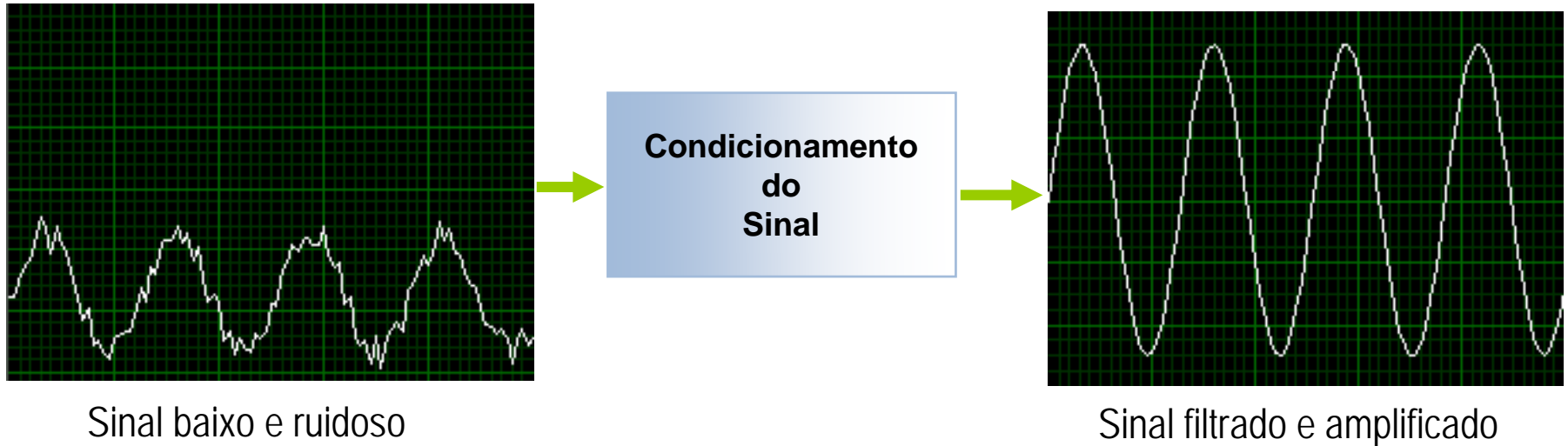
- Qual é o nível de som ou vibração?
- Quais são as frequências máximas e mínimas de interesse?
- Qual é a faixa de temperatura?
- Qual o comprimento do cabo exigido?



# Componentes de um Sistema de Medição de Som e Vibração



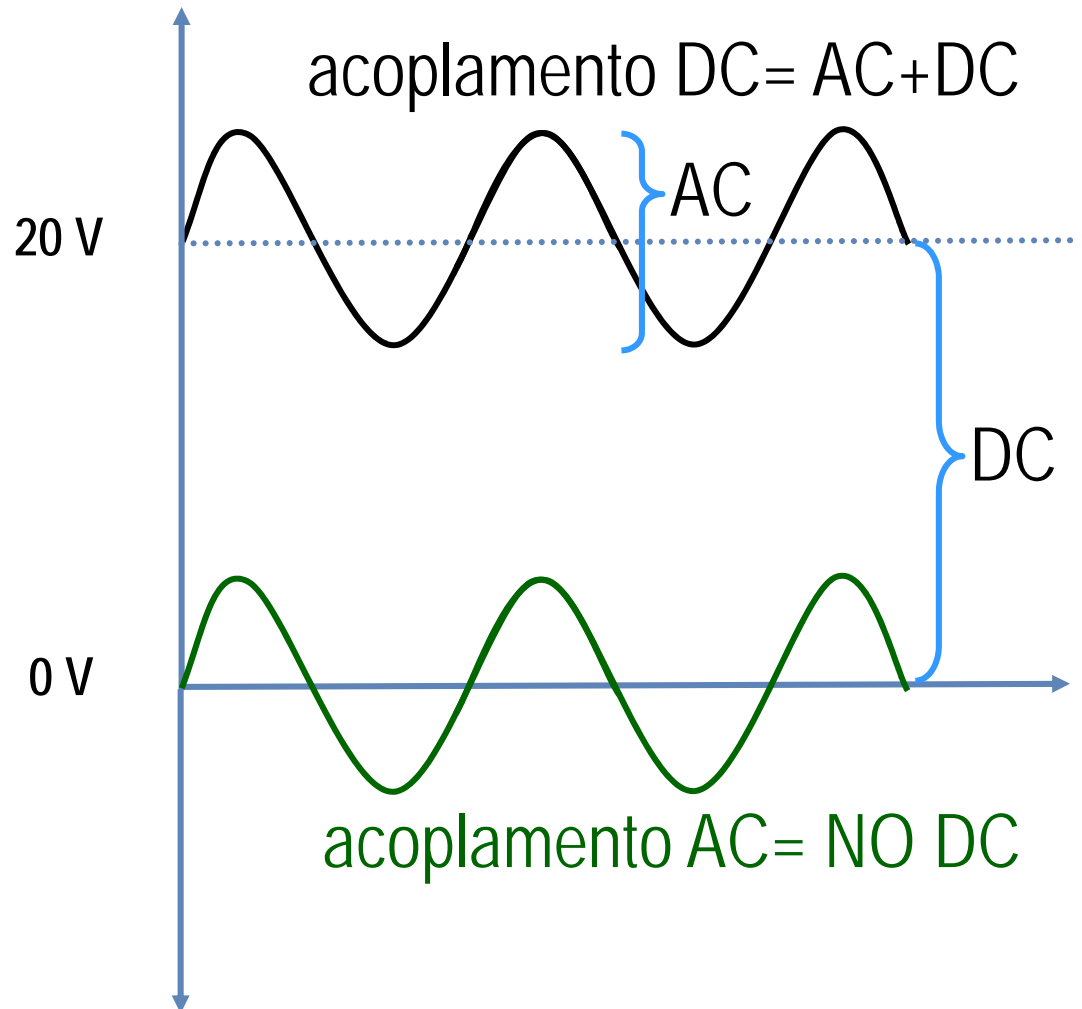
# Por que condicionar um sinal?



- Melhorar sinais para aumenta a qualidade da medição
- Alimentar ou excitar sensores
- Ler informação dos Sensores – TEDS
- Segurança para o sistema e usuário

# Acoplamento AC/DC e Condicionamento IEPE

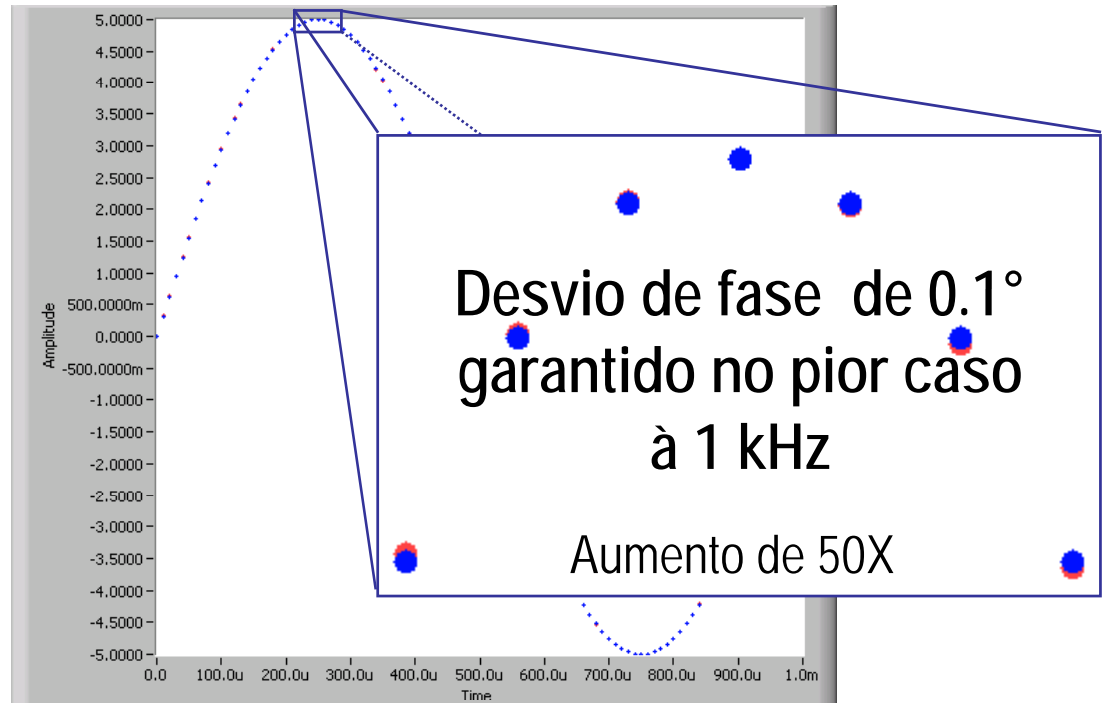
- Acoplamento DC e AC
  - Acoplamento AC = AC
  - Acoplamento DC = AC+DC
- IEPE = Integrated Electronics Piezo Electric
  - Amplificador de carga e amplificador de tensão integrados





# Sistemas Multi-ADC

- **Amostragem Simultânea:** A conversão A/D é realizada ao mesmo tempo em 2 a 5.000 canais
- Não há distorção entre canais para garantir a mesma fase
- Requerido para:
  - Intensidade de som
  - Resposta em Frequência
  - Dinâmica de Estruturas
  - Análise de ordem
  - Holografia Acústica



# ADC de 24 Bits Delta-Sigma

- Resolução = núm. de bits do ADC usados para representar o sinal
  - Determina quantos níveis diferentes de tensão podem ser medidos:

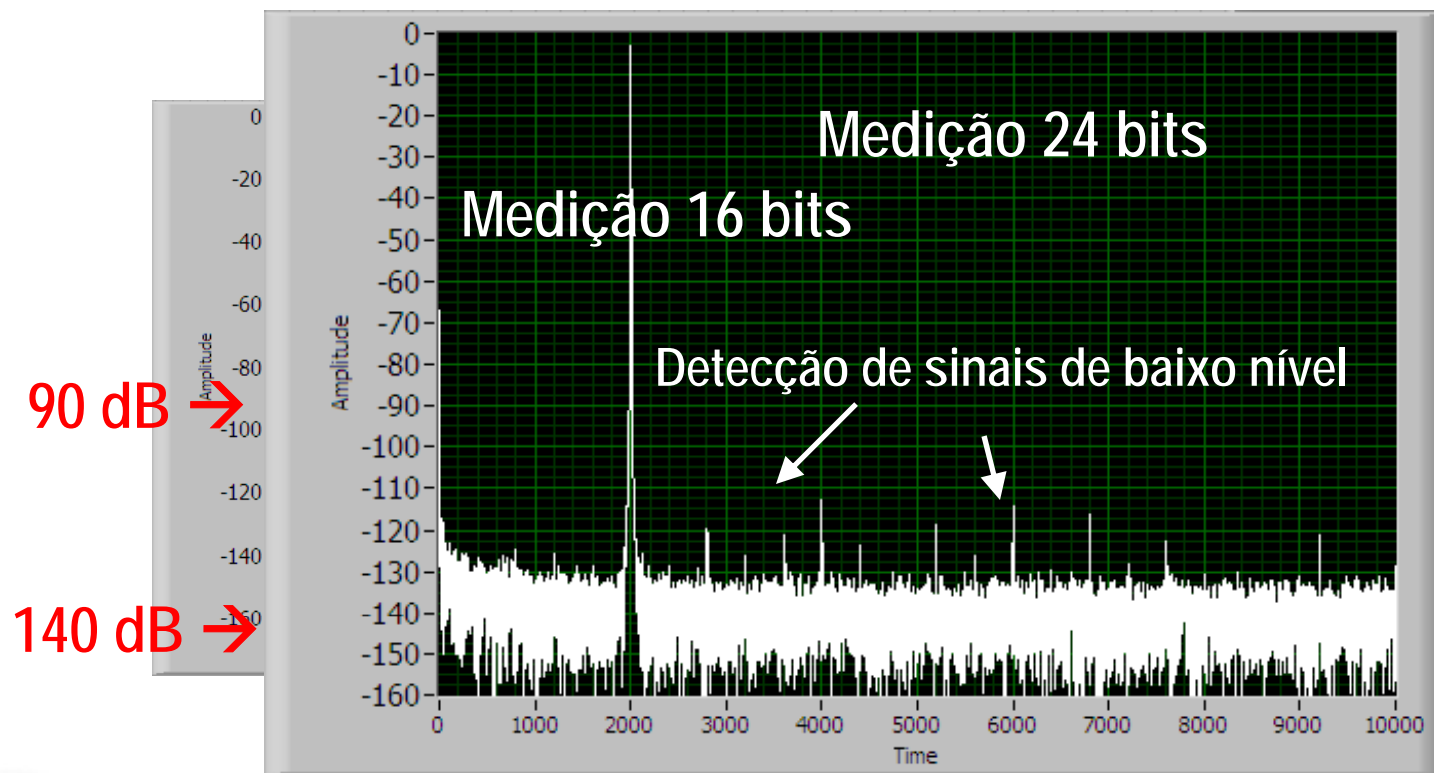
$$\text{Número de níveis} = 2^{\text{resolução}} = 2^{16} = 65.536 \text{ níveis}$$

- Largura de Código = é a menor variação detectável do sinal
  - Quanto menor a Largura de Código mais preciso é o sistema

$$\begin{aligned} \text{Largura de Código} &= \frac{\text{faixa}}{\text{amplificação} * 2^{\text{resolução}}} = \frac{20 \text{ V}}{1 * 2^{16}} = 305 \text{ } \mu\text{V} && \text{ADC 16 bits} \\ &= \frac{20 \text{ V}}{1 * 2^{24}} = 1.19 \text{ } \mu\text{V} && \text{ADC 24 bits} \end{aligned}$$

# Efeito da Resolução do ADC

Você pode detectar componentes fortes e fracas ao mesmo tempo em um sinal quando utiliza um conversor de A/D de alta resolução.

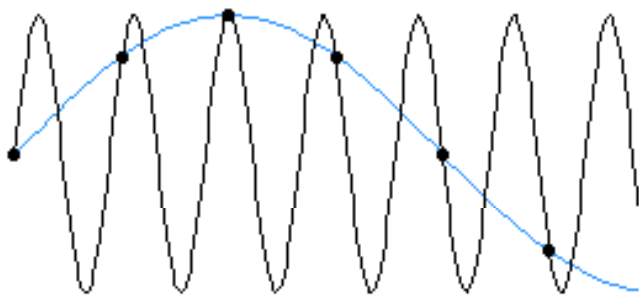


# Aliasing

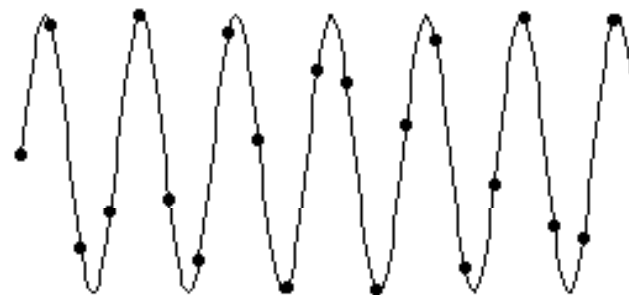
- Teorema de Amostragem de Nyquist-Shannon
  - A máxima frequência (frequência de Nyquist:  $f_N$ ) que pode ser analisada é:

$$f_N = f_s/2$$

$f_s$ : frequência de amostragem



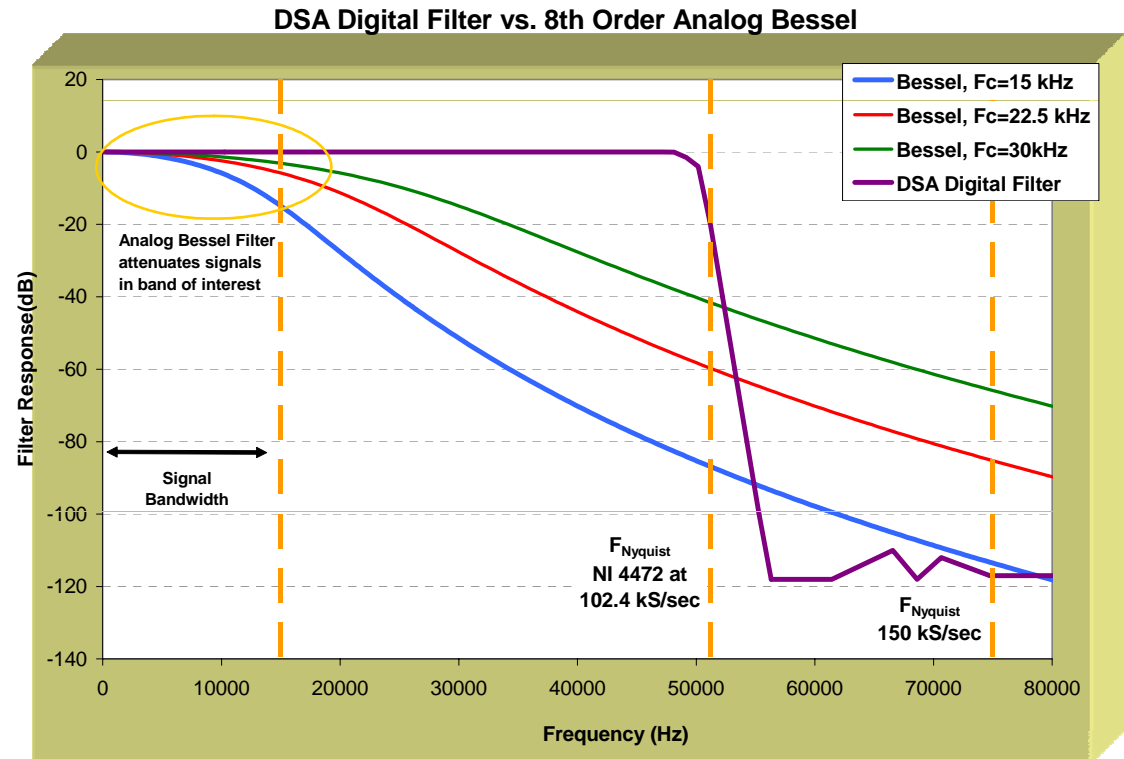
Amostragem Incorreta



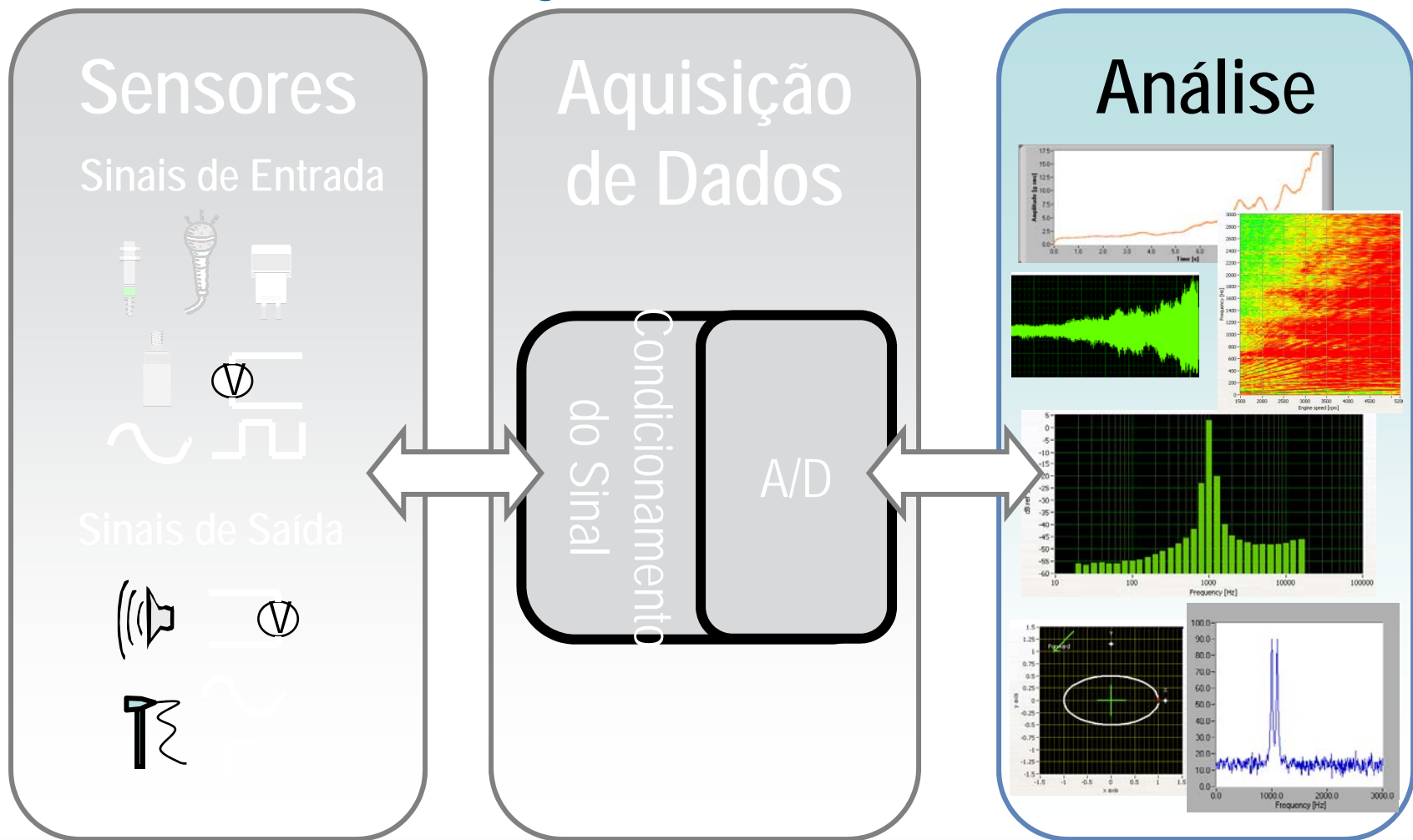
Amostragem Correta

# Filtros Antialiasing nos ADCs

- Remove componentes de frequência maiores que a taxa de Nyquist
- Precisa ser feito antes do sinal ser digitalizado
- Combinação de filtros analógicos e digitais
- Características de bons filtros:
  - Resposta em frequência plana
  - Boa rejeição de *alias* em alta frequência
  - Faixa de transição reduzida



# Componentes de um Sistema de Medição de Som e Vibração



# Análise de Som e Vibração

- Medidas no domínio do tempo
  - Níveis de som e vibração
- Medidas no domínio da frequência
  - Espectro de Potência
  - Análise de harmônicas e oitavas
  - Resposta em Frequência/*swept sine*
  - Análise de Som– Distorção
- Análise de Domínio de Ordem



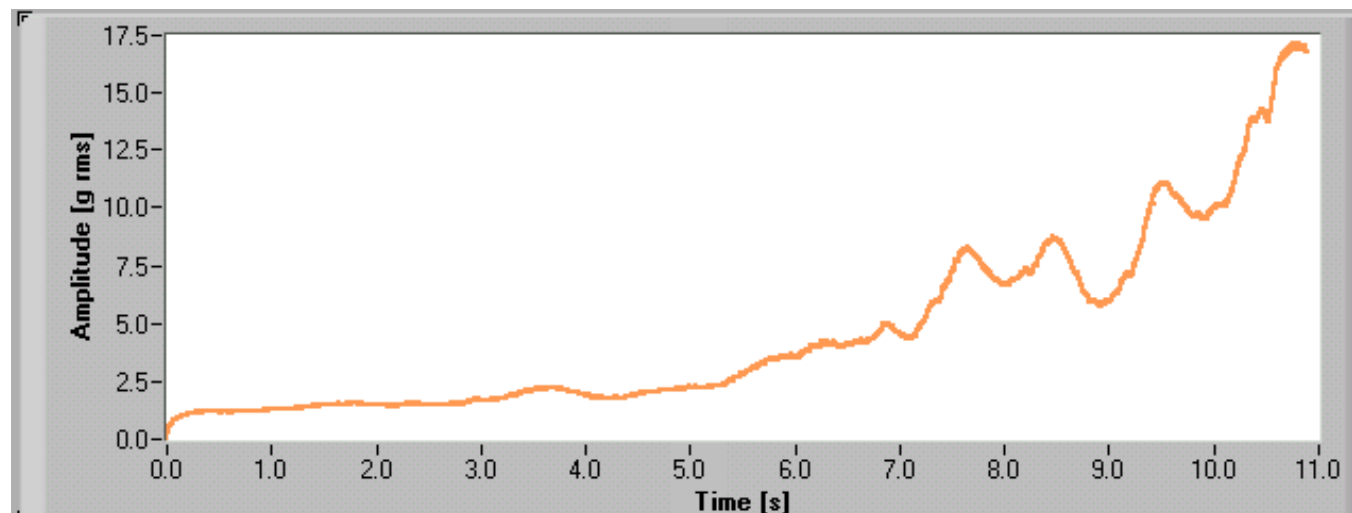
# Medição de Nível

## Nível de Pressão Sonora

- Escala Logarítmica (dB)
- Referência 20 uPa
- Weighting: A, B, C

## Nível de Vibração

- g rms, g pico
- Referência 1  $\mu$ g
- Integração: velocidade e deslocamento

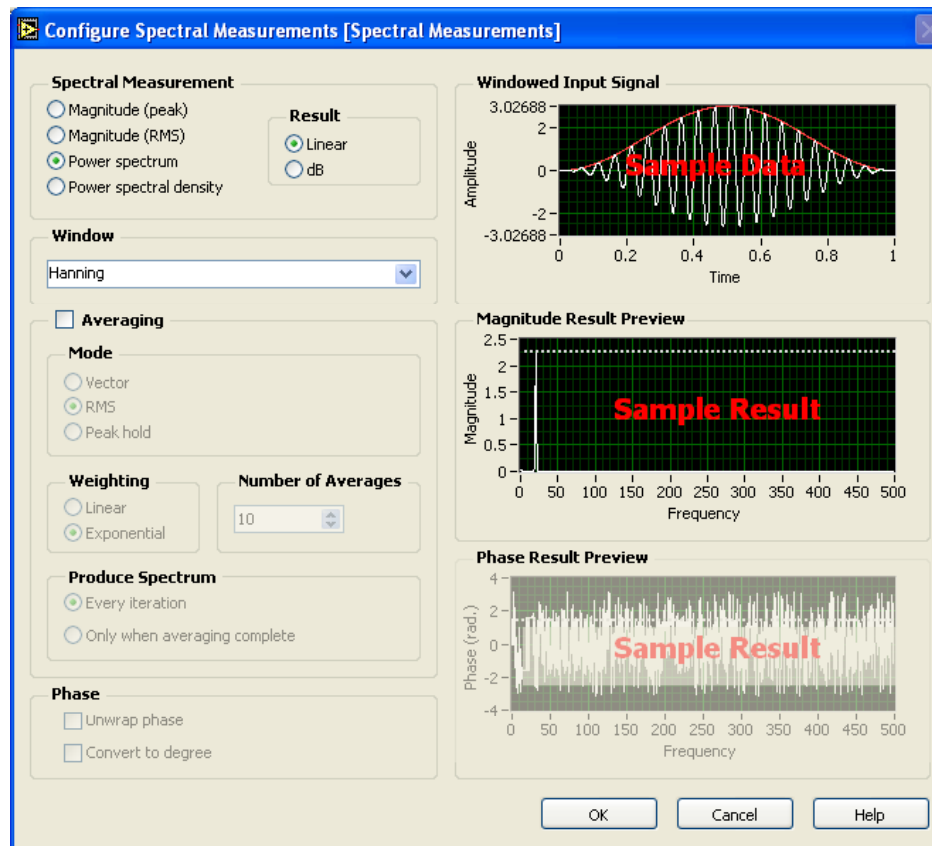


# SPL

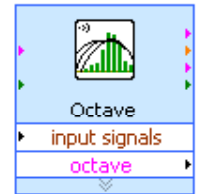


Pressão Sonora (Pa)	Nível Sonoro (dB)	Comparação
0.00002	0	Limiar de Audição
0.02	60	Escritório
0.2	80	Mercado
1	94	Caminhão
2	100	Furadeira Pneumática
20	120	Decolagem de Avião
200	140	Limiar de Dor

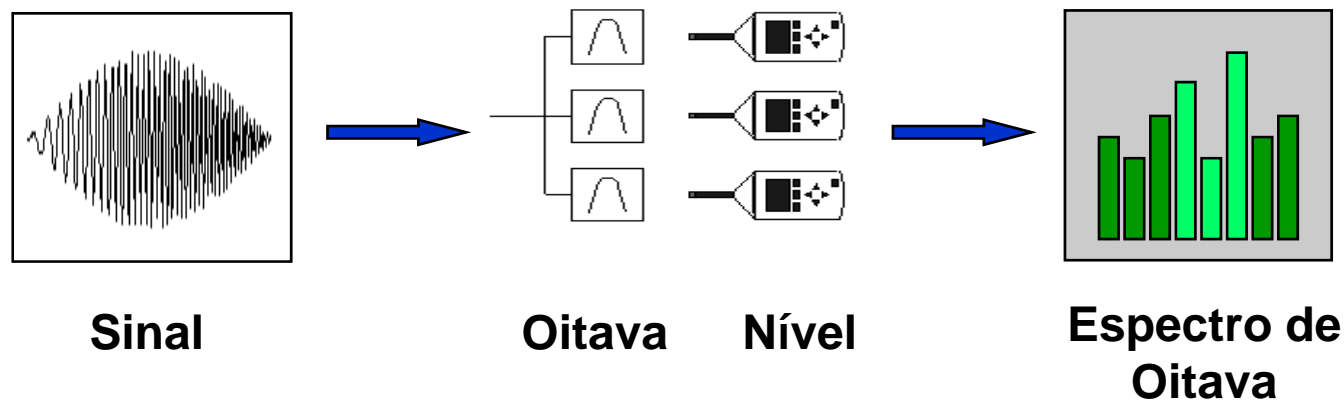
# Demo – Nível de Pressão Sonora



# Análise de Oitava



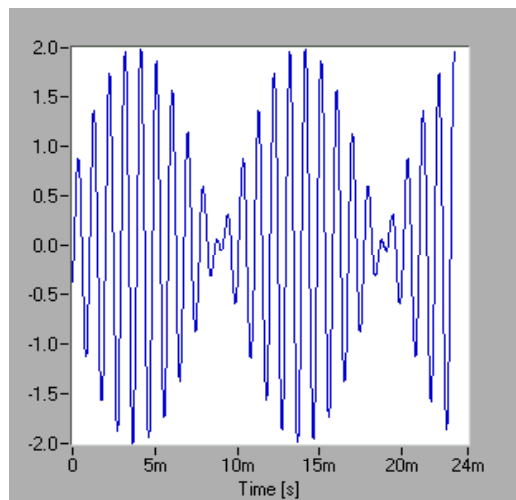
- Utilizado quando se deseja saber a “sensação” no ouvido humano
  - Escala de amplitude em dB
  - Escala de frequência logarítmica
- Implementação: Banco de filtros passa-banda seguido de medidas de níveis



- Conforme os padrões ANSI e IEC

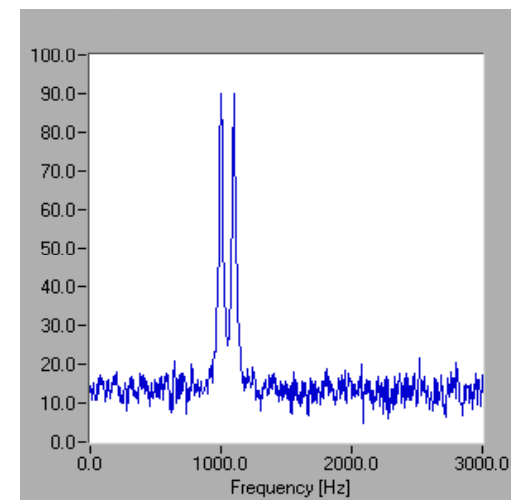

# Análise de Frequência

- A Transformada Rápida de Fourier (FFT) converte o sinal no domínio do tempo em sinal no domínio da frequência.



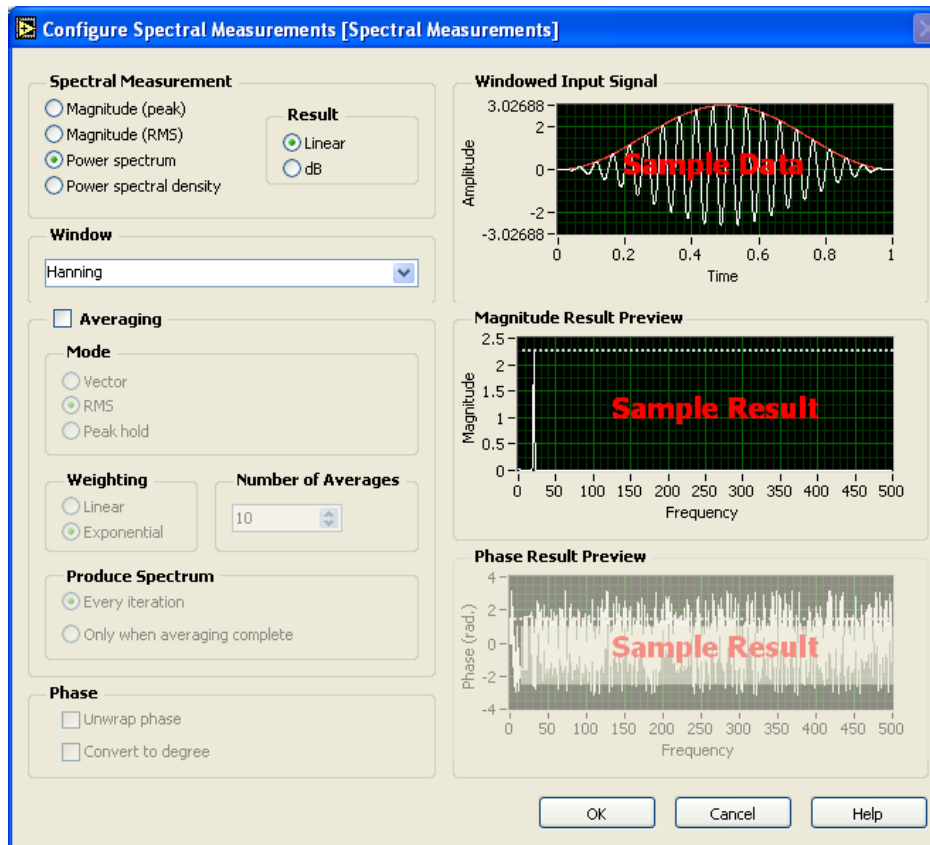
**Sinal no Domínio do Tempo**

**FFT**



**Espectro**

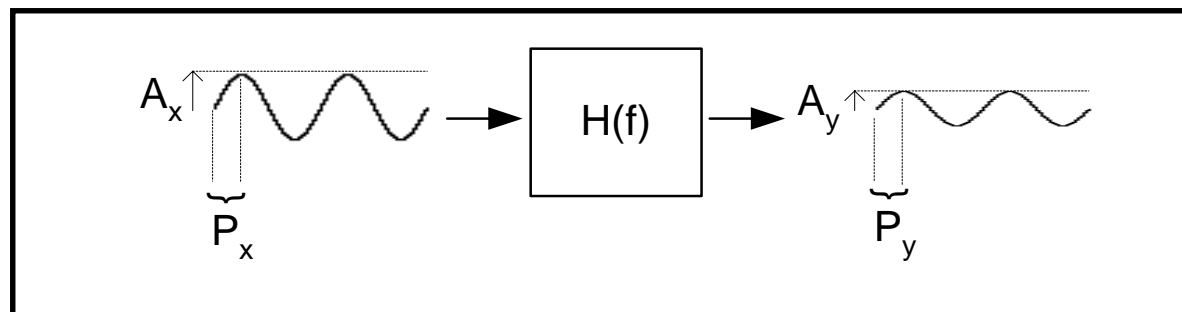
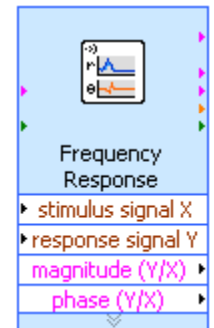
# Demo – Análise de Frequência



# Resposta em frequência

## Resposta ao Estímulo

- A Função de Resposta em Frequência (FRF) caracteriza a UUT
- A FRF compara a amplitude e a fase do estímulo e da resposta em várias frequências





# Tipos de Estímulos

## Banda Larga

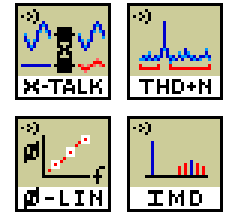
(baseado em FFT)

- A excitação inclui todas as frequências de uma vez
- Tempo menor de teste
- Exemplos
  - Ruído Branco
  - Chirp
  - Ruído Rosa
  - Martelo de Impacto

## Discreto

- Apenas uma frequência por vez para excitação
- Mais tempo de teste geralmente (permite média e ajustes)
- Pode ser usado para medir distorção dependente da frequência
- Exemplos
  - Tom simples
  - Ondas Multi-tons
  - Varredura de onda ou degrau de frequência

# Análise de Áudio



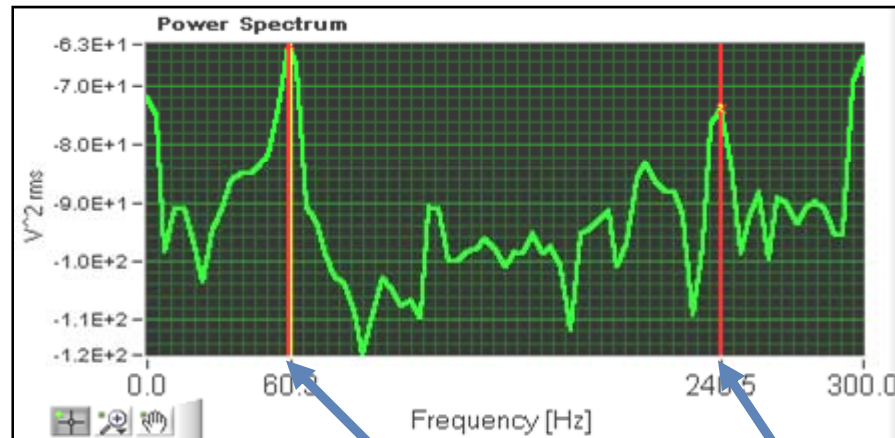
- Distorção (Não linear)
  - THD, THD + Ruído, SINAD: Medida com um sinal puro (fundamental)
    - THD-Distorção Harmônica Total= Distorção/fundamental
    - SINAD = sinal/(ruído + distorção)  
Sinal = fundamental + ruído + distorção
  - IMD (distorção intermodulação): excitação dual-tone
- Cross talk
- ganho/fase

# O que é análise de Ordem?

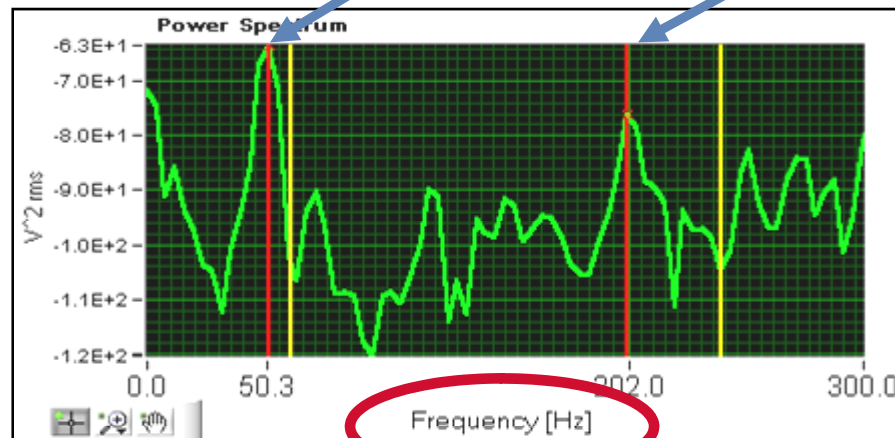
- Muitas componentes de ruído e sinais de vibração estão diretamente relacionadas a velocidade de operação (máquinas rotativas).
  - Desbalanceamento, desalinhamento, engrenagens, defeitos em rolamentos, folga de acoplamento
- A análise de ordem normaliza as medidas com a velocidade de rotação para separar melhor as componentes dos sinais.

# Espectro de Potência

Rotação:  
60 Hz  
(3.600 RPM)

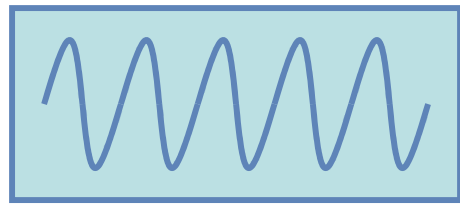


Rotação:  
50 Hz  
(3.000 RPM)



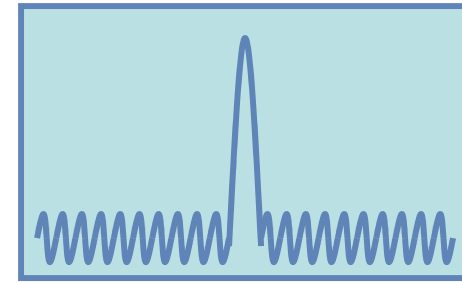
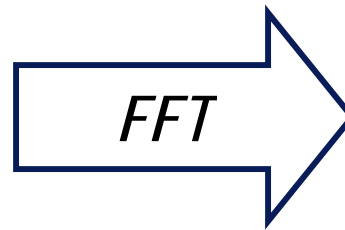
Frequências  
que compõem  
o sinal se  
deslocam com  
a variação de  
velocidade

# Entendo a Análise de Ordem



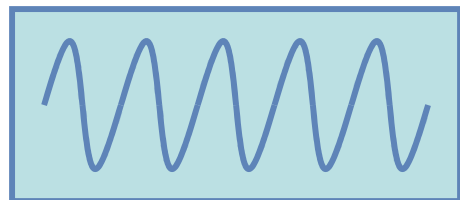
sec

Domínio do Tempo



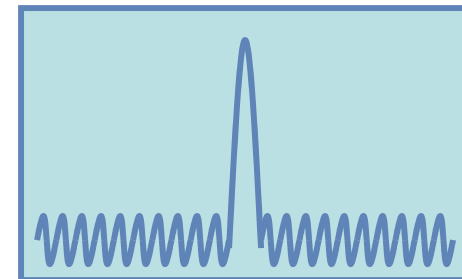
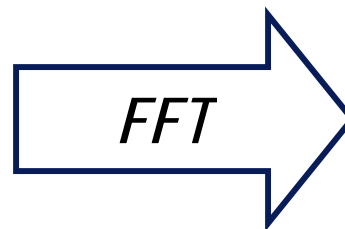
Hz

Domínio da Frequência



deg

Domínio Angular



order

Domínio da Ordem

# Espectro de Ordem

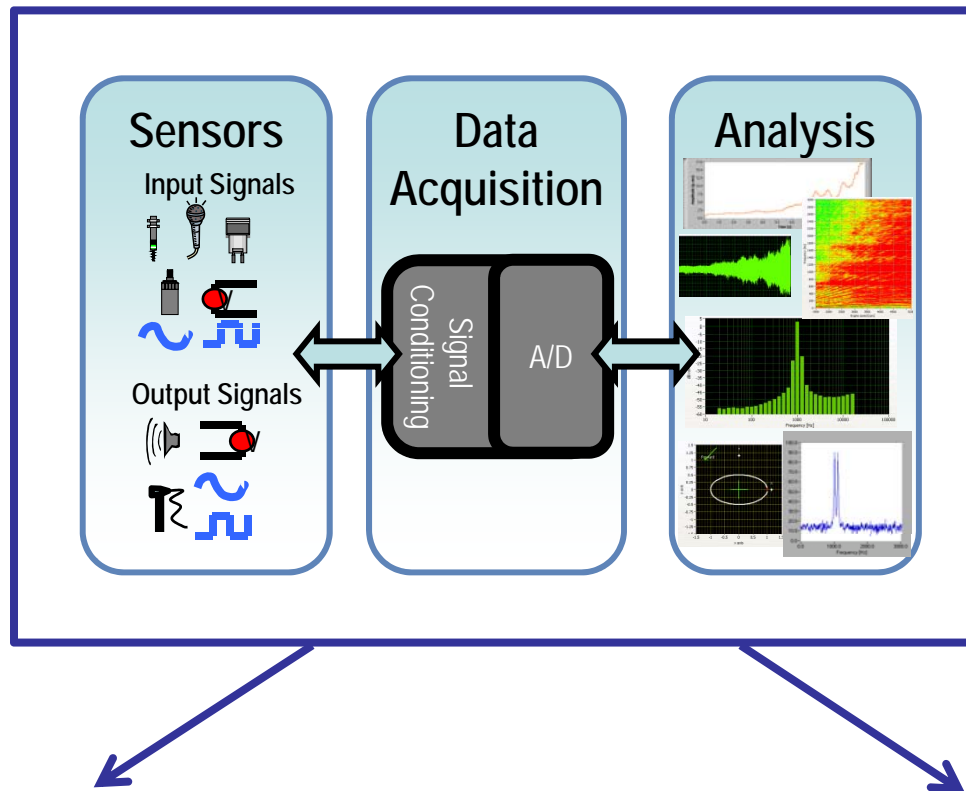
Rotação:  
60 Hz  
(3.600 RPM)



Rotação:  
50 Hz  
(3.000 RPM)



Componentes  
se mantêm  
fixas com a  
variação da  
velocidade



Arquiteturas

Estudos de Casos

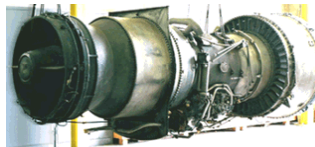


# Soluções NI para Aplicações de Som e Vibração

## Testes de P&D



## Teste Produção



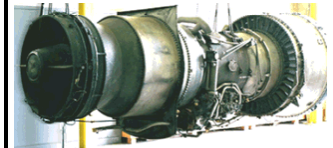
## Serviços, DataLogging



## Monitoramento Online

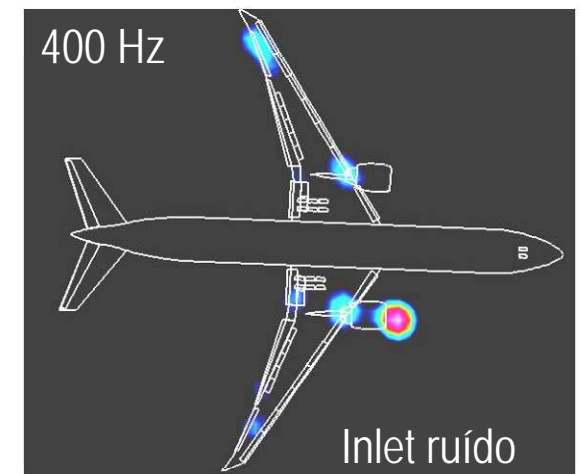
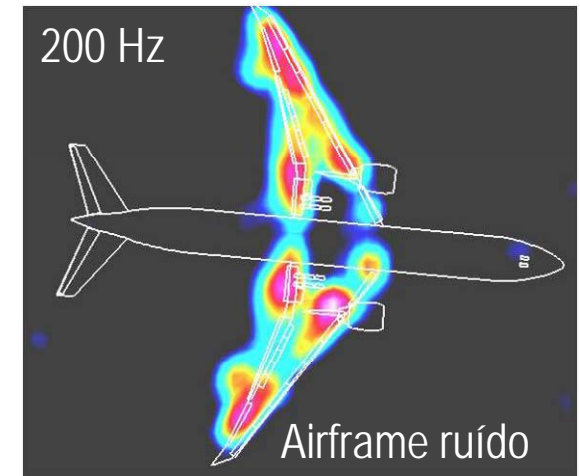


## Proteção



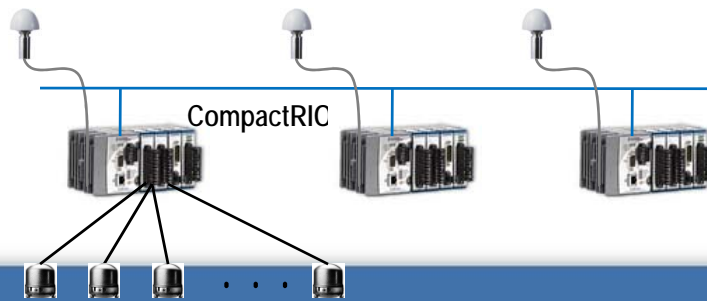
# Estudo de Caso – Elevada Quantidade de Canais

*Boeing: Array de Microfones de 448 Canais*



# Jogos Olímpicos de Pequim – Monitoramento Sísmico e Pesquisa

- Monitorar continuamente a atividade sísmica no Estádio Nacional de Pequim e o Centro Aquático
  - Validação do modelo estrutural
  - Monitorar eventos de trigger
  - Notificação por e-mail
- NI LabVIEW e CompactRIO sincronizados via GPS



ni.com

Kinometrics Seismic Sensors

**CGM**  
ENGINEERING, INC.

**NATIONAL  
INSTRUMENTS™**

# Perguntas?





# Obrigado!

Não esqueça de preencher a avaliação.

Para mais informações acesse [ni.com](http://ni.com) ou  
ligue para (11) 3149-3149

