



1. Escopo

- 1.1 Este procedimento define métodos simples e econômicos para teste ou comparação do desempenho de sensores de emissão acústica. Estes métodos permitem ao usuário avaliar um sensor quanto à degradação ou selecionar conjuntos de sensores com desempenho aproximadamente idênticas. Os métodos não têm capacidade de prover uma calibração absoluta do sensor nem asseguram intercomparação de conjuntos de dados entre empresas.

2. Documentos de referência

2.1 Procedimentos:

- PR-048 – Ensaio de Emissão Acústica - Terminologia
- PR-049 – Montagem de sensores piezoelétricos de contato para Emissão Acústica - Procedimento
- PR-053 – Caracterização da Instrumentação de Emissão Acústica - Procedimento

3. Significado e Uso

- 3.1 Os dados de emissão acústica são afetados por várias características da instrumentação. A mais óbvia destas é a sensibilidade do sistema. De todos os parâmetros e componentes que contribuem para a sensibilidade, o sensor de emissão acústica é um dos mais sujeitos a variações. Estas variações podem resultar de danos ou envelhecimento, ou podem ser variações entre sensores nominalmente idênticos. Para detectar tais variações, é desejável se ter um método para medição da resposta de um sensor a uma onda acústica. As razões específicas para se verificar sensores incluem: (1) verificação da estabilidade da sua resposta com o tempo; (2) verificação do sensor quanto à possibilidade de danos decorrentes de acidentes ou uso indevido; (3) comparação de um número de sensores para uso em um sistema multicanal de forma a assegurar que suas respostas são adequadamente iguais; e (4) verificação da resposta após ciclos térmicos ou exposição a ambientes agressivos. É muito importante que as características do sensor sejam sempre medidas com o mesmo comprimento de cabo e impedância assim como com o mesmo pré-amplificador ou um equivalente. Este procedimento apresenta diversos métodos para medição da resposta de sensores. Alguns destes métodos requerem um mínimo de equipamentos especiais.

4. Princípios de aplicação

- 4.1 Os métodos fornecidos neste procedimento destinam-se a medir a resposta de um sensor de emissão acústica a uma onda acústica arbitrária porém reproduzível. Estes métodos de nenhuma forma constituem uma calibração do sensor. A calibração absoluta de um sensor requer um conhecimento completo das características da onda acústica utilizada na excitação do sensor ou um sensor de referência previamente calibrado. Em ambos os casos, tal calibração está fora do escopo deste procedimento.
- 4.2 O requisito fundamental para comparar respostas de sensores é uma fonte de ondas acústicas reproduzíveis. As características da onda não precisam ser conhecidas desde que a onda possa ser reproduzida. As fontes e geometrias fornecidas neste procedimento produzirão primariamente ondas de compressão. Já que os sensores irão responder diferentemente a cada tipo diferente de onda, alterações na resposta a um tipo de onda implicarão em alterações nas respostas a outros tipos de ondas.
- 4.3 Todos estes métodos utilizam um bloco metálico de teste. Tal bloco provê ao sensor uma superfície de montagem adequada e, quando apropriadamente marcada, pode assegurar que a fonte e o sensor estão sempre posicionados idênticamente um em relação ao outro. Um bloco também provê carregamento mecânico do sensor, similar ao que este está sujeito quando em uso. Cuidado deve ser tomado durante o uso destes blocos para minimizar ressonâncias no bloco, de forma que as características do sensor não sejam mascaradas por estas ressonâncias.

4.4 Estes métodos permitem comparação de respostas somente na mesma configuração de teste. Não deve ser tentada a comparação de respostas em diferentes configurações de testes, no mesmo ou em laboratórios separados.

5. Equipamentos

5.1 Os elementos essenciais dos equipamentos para estes métodos são: (1) o sensor de emissão acústica sob teste; (2) um bloco metálico; (3) uma fonte de sinais; e (4) equipamento de medição e registro.

5.1.1 Diagramas de bloco de algumas das possíveis configurações experimentais são mostradas na Fig. 1.

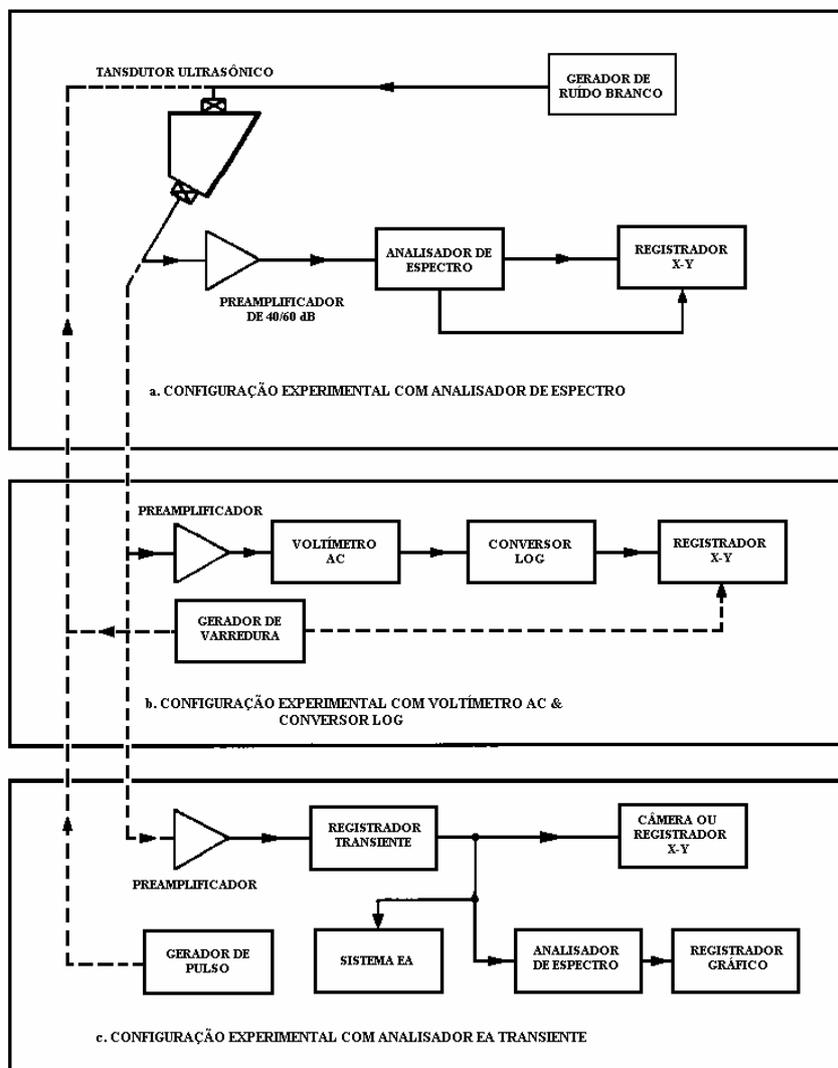
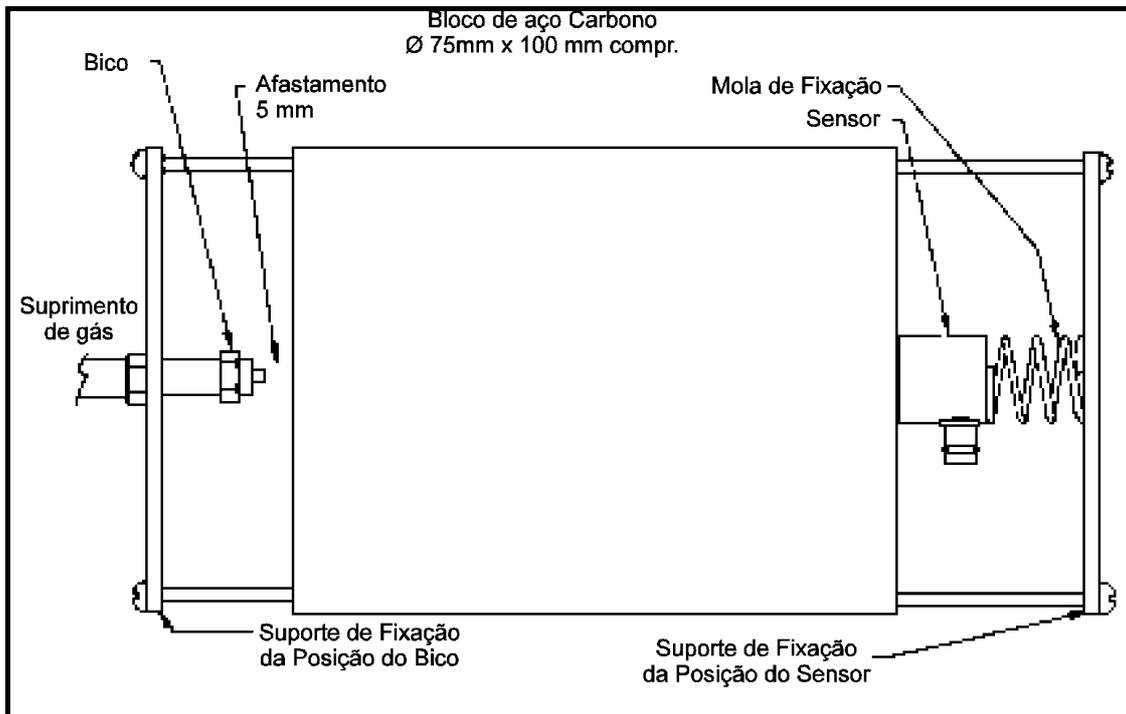


Fig.1 - Diagrama de Blocos das Possíveis Configurações Experimentais

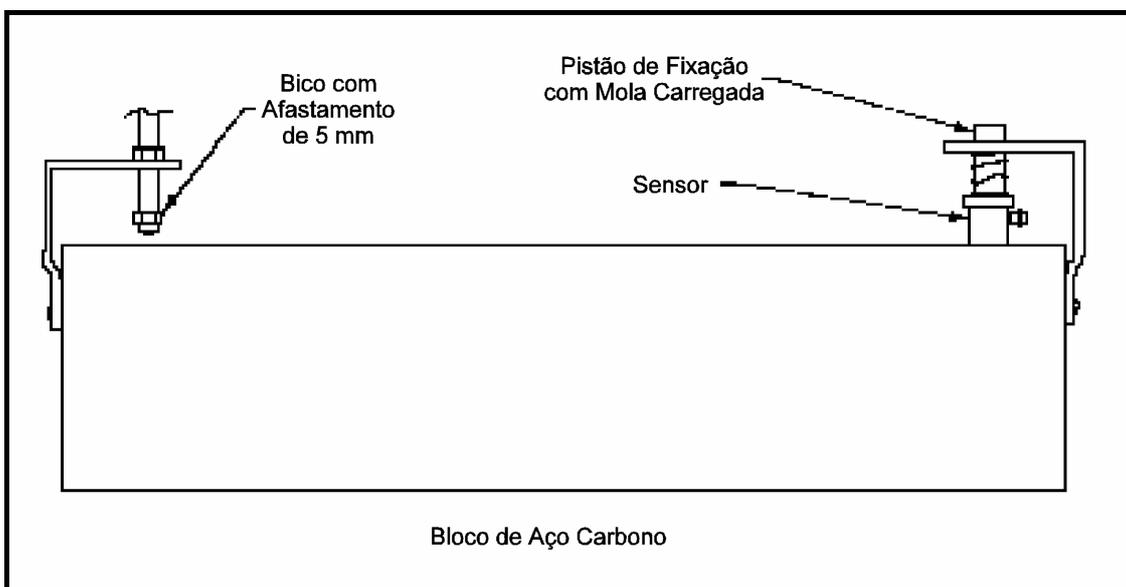
5.2 Blocos metálicos - O projeto do bloco metálico não é crítico. Entretanto, o uso de um bloco “não ressonante” é recomendado para uso com um transdutor ultra-sônico e é requerido quando o transdutor utiliza alguma forma de sinal elétrico coerente. Os materiais preferidos são o alumínio e os aços de baixa liga.

- 5.2.1 Bloco “não ressonante” cônico - O bloco, mostrado na fig. 2, pode ser usinado a partir de uma barra metálica com 10 cm (4 pol) de diâmetro. Após o faceamento do fundo e o corte cônico, o bloco é fixado com um ângulo de 10° e sua face superior é retificada. As dimensões dadas resultarão em um círculo com aproximadamente 2,5 cm (1 pol) de diâmetro para montagem do sensor. A excitação acústica deverá ser aplicada no centro da face do fundo. A geometria cônica e a ausência de qualquer superfície paralela reduz o número de ressonâncias mecânicas que o bloco pode suportar. Uma outra redução nas possíveis ressonâncias do bloco pode ser alcançada por usinagem grosseira de todas as superfícies exceto aquelas onde o sensor e o excitador são montados e recobrimento destas com uma camada de composto epoxi - metal.
- 5.2.2 Bloco para teste com jato de gás - Dois blocos para teste com jato de gás são mostrados na fig. 3. O bloco mostrado na Fig.3(a) é utilizado para comparações entre superfícies opostas, que produzem primariamente ondas compressivas. Aquele mostrado na Fig 3(b) é para comparações na mesma superfície que produz primariamente ondas superficiais. O bloco “não ressonante” descrito em 5.2.1 pode também ser utilizado com jato de gás de forma a evitar excitação por muitos modos ressonantes. Os blocos na Fig. 3 têm sido utilizados com sucesso mas seu projeto não é crítico. Entretanto, sugere-se que as posições relativas do sensor e do jato sejam mantidas.
- 5.3 Fontes de sinais - Três fontes de sinais são recomendadas: um transdutor ultra-sônico ressonante, um jato de gás e uma fonte produzida pela quebra de um grafite.
- 5.3.1 Transdutor ultra-sônico - Ondas acústicas reprodutíveis podem ser produzidas por um transdutor ultra-sônico permanentemente fixado a um bloco de teste. O transdutor deverá ser dimensionado para prover uma resposta de larga frequência e ter uma frequência central na faixa de 2,25 a 5,0 MHz. O diâmetro do elemento ativo deverá ser ao menos 1,25 cm (0,5 pol) para prover sinal de intensidade mensurável na posição do sensor sob teste. O transdutor ultra-sônico deverá ser avaliado quanto à adequação da sua resposta na região de 50 a 200 kHz antes de ser permanentemente fixado ao bloco de teste.
- 5.3.1.1 Gerador de ruído branco - Um transdutor ultra-sônico estimulado por um gerador de ruído branco produz uma onda acústica que não dispõem de trens de onda coerente de diversos comprimentos de onda a uma dada frequência. Esta ausência de trens de onda coerente reduz grandemente o número e a intensidade da ressonância mecânica excitada em uma estrutura. Assim, um transdutor ultra-sônico estimulado por um gerador de ruído branco pode ser utilizado com um bloco de teste ressonante com lados paralelos. Entretanto, o uso de um bloco “não ressonante” tal como aquele descrito em 5.2.1 é altamente recomendável. O gerador deve ter um espectro de ruído branco cobrindo ao menos a faixa de frequências de 10 kHz a 2 MHz e ser capaz de um nível de saída de 1 V rms.
- 5.3.1.2 - Gerador de varredura - O transdutor ultra-sônico pode ser estimulado por um gerador de varredura em conjunto com um bloco “não ressonante”. Mesmo com este bloco, algumas ressonâncias serão produzidas as quais podem mascarar parcialmente a resposta do sensor sob teste. O gerador de varredura deve ter um máximo de frequência de no mínimo 2 MHz e a velocidade de varredura deve ser compatível com o registrador XY utilizado. É recomendável, que um gerador de varredura seja usado com um voltímetro AC com saída logarítmica.
- 5.3.1.3 Gerador de Pulso - O transdutor ultra-sônico pode ser estimulado por um gerador de pulso. A largura do pulso deve ser pouco menor do que metade do período da frequência central do transdutor ($\approx 0,22 \mu\text{s}$ para um transdutor de 2,25 MHz) ou maior do que o tempo de atenuação do sensor, bloco e transdutor (tipicamente $> 10 \text{ ms}$). A taxa de repetição do pulso deve ser baixa (< 100 pulsos/s) de forma que cada trem de onda acústica seja atenuado antes que o próximo seja excitado.

- 5.4 Equipamento de medição e registro - A saída do sensor sob teste deve ser amplificada antes que possa ser medida. Após a medição, os resultados devem ser armazenados numa forma que permita uma fácil comparação tanto com um outro sensor quanto com o mesmo sensor em um outro momento.
- 5.4.1 Pré-amplificador - O pré-amplificador, junto com o cabo coaxial do sensor a ser pré-amplificado, provê uma carga elétrica ao sensor, amplifica a saída e filtra freqüências indesejáveis. A carga elétrica no sensor pode distorcer a resposta de baixa freqüência de um sensor com capacitância inerente baixa. Para prevenir a ocorrência disto, é recomendável que sejam utilizados cabos curtos (<2 m) e que a componente resistiva da impedância de entrada do pré-amplificador seja 20 k Ω ou maior. O ganho do pré-amplificador deve ser fixado. Ganhos de 40 a 60 dB são adequados para a maioria dos sensores. A banda de resposta do pré-amplificador deve ser de pelo menos 20 a 1200 kHz. É recomendável que um pré-amplificador seja separado para ser usado exclusivamente na configuração de teste. Entretanto, às vezes pode ser apropriado testar um sensor com o pré-amplificador designado para isto em um experimento.
- 5.4.2 Analisador de espectro - Um instrumento de grande utilidade para testar a resposta de sensores é o analisador de espectro. O analisador de espectro pode ser utilizado com sinais de emissão acústica gerados por transdutores ultra-sônicos estimulados tanto por geradores de ruído branco quanto por geradores "Tracking Sweep", por fontes de jato de gás ou por sinais acústicos produzidos por qualquer fonte, que tenham sido capturados em um registrador transiente e rerepresentados no analisador de espectro. Um analisador de espectro adequado deve ser capaz de apresentar um espectro cobrindo a faixa de freqüências de 20 kHz a 1,2 MHz. A amplitude deve ser apresentada em uma escala logarítmica cobrindo uma faixa de pelo menos 50 dB de forma a apresentar a totalidade da faixa dinâmica do sensor. O espectro pode ser registrado fotograficamente a partir de um osciloscópio. Entretanto, a saída mais usual é um registro XY do espectro, como mostrado na Fig. 5.
- 5.4.3 Voltímetros - Um voltímetro AC pode ser utilizado para medir as saídas do sensor produzidas por sinais gerados por um transdutor ultra-sônico estimulado por um gerador de varredura. A resposta do voltímetro deve ser plana na faixa de freqüências de 10 kHz a 2 MHz. É desejável que o voltímetro tenha uma saída logarítmica ou seja capaz de comandar um conversor logarítmico. A saída do voltímetro ou conversor é registrada em um registrador XY como função da freqüência.
- 5.4.3.1 A limitada faixa dinâmica de um voltímetro rms torna-o menos desejável do que um voltímetro AC médio, quando utilizado com um gerador de varredura. Entretanto, uma estimativa grosseira da desempenho de um sensor pode ser obtida pela utilização de um voltímetro rms ou AC para medir a saída de um sensor estimulado por uma fonte de banda larga tal como um gerador de ruído branco ou um jato de gás.
- 5.4.4 Sistema de emissão acústica - Um sensor pode ser caracterizado pelo uso de um sistema de emissão acústica e uma fonte impulsiva tal qual uma quebra de um grafite ou um transdutor ultra-sônico estimulado por um gerador de pulso. A contagem da emissão acústica de um pulso único deve ser medida em três ajustes de ganhos diferentes, espaçados de pelo menos 20 dB e com o menor ganho tal que o sinal seja detectável só superficialmente. Deve ser tomada, a cada nível de ganho, uma média da contagem de pelo menos 10 pulsos. Os dados registrados serão a média da contagem, o ganho ajustado e todos as outras configurações significantes do sistema de emissão acústica.



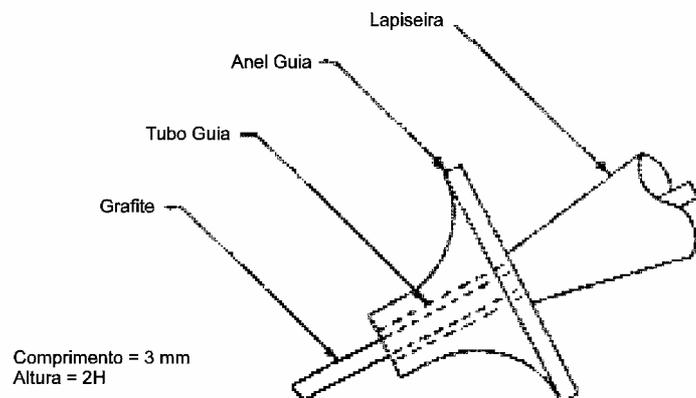
(a) Superfície Oposta da Configuração para Comparação



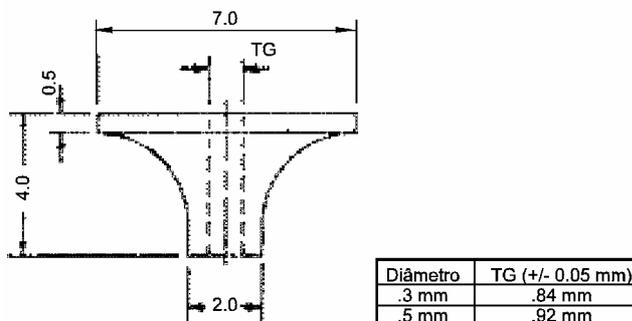
(b) Mesma Superfície para Teste Comparativo

Fig.3 - Bloco de Teste com Jato de Gás

- 5.4.5 Registradores transientes e osciloscópios de armazenamento - A forma da onda gerada por um sensor em resposta a um pulso único ou a uma quebra de grafite pode ser medida e armazenada por um registrador transiente, um osciloscópio digital, ou algum outro osciloscópio de armazenamento. Esta forma de onda pode ser registrada tanto fotograficamente ou, se disponível, em um registrador XY. As taxas de digitalização devem ser de ao menos 10 amostras pelo período da frequência mais elevada na forma da onda. Taxas mais baixas resultarão em distorção do formato da onda. Quando comparando formas de onda, deve ser dada ênfase nos poucos ciclos iniciais e nas características das altas amplitudes. Pequenas variações na forma da onda são sempre produzidas por leves mudanças no acoplamento ou posição do sensor sob teste.



a. Quebra da Ponta de Grafite



ANEL GUIA
Teflon
Dimensões em mm
Tolerância ± 0.1 mm

b. Sapata Nielsen

Fig.4 - Anel Guia para Fonte Impulsiva

6. Procedimento

- 6.1 Colocar o sensor sob teste no bloco de teste sempre nas mesmas posições ou em posições tão idênticas quanto possível. Usar forças idênticas para prender o sensor e o bloco juntos. Um acoplante com baixa viscosidade, e em espessura fina, é desejável para assegurar reprodutibilidade. Para todas as configurações, tomar várias medidas antes que os dados finais sejam registrados, para assegurar reprodutibilidade. Durante as medições iniciais, observar a saída do pré-amplificador em um osciloscópio para ver se os sinais não estão sendo cortados por excesso de sinais do pré-amplificador. Estabelecer procedimentos escritos e segui-los para assegurar reprodutibilidade por longos períodos de tempo.

7. Interpretação de resultados

- 7.1 A reprodutibilidade de resultados em curto prazo, cobrindo ações tais como remoção e remontagem do sensor, deve ser melhor do que 3 dB se o teste é conduzido em condições normais de trabalho. A reprodutibilidade de longo prazo do sistema de teste deve ser checada periodicamente pelo uso de um sensor de referência não exposto aos riscos de danos ambientais. Variações na resposta do sensor maiores do que 4 dB indicam dano ou degradação, e a causa da discrepância deve ser investigada posteriormente. Enquanto não existir critérios definidos para limites de aceitação de degradação do sensor, um sensor cuja sensibilidade tenha falhado por mais do que 6 dB deve ser considerado impróprio para os próximos serviços em medições de emissão acústica.

GÁS: AR EXTRA SECO, 200 kPa
BICO: Ø 0,25 mm, difuso
BLOCO: 305 mm x 76 mm x 50 mm AÇO CARBONO
SENSOR E JATO NA MESMA SUPERFÍCIE (50 x 305 mm), SEPARAÇÃO 200 mm

EQUIPAMENTO DE EA: PREAMP.: GANHO + 40 dB
AMP: GANHO + 21 dB
FILTRO: 100 - 400 kHz, FAIXA PASSANTE

ANALISADOR DE ESPECTRO: FREQUÊNCIA CENTRAL: 250 kHz, LARGURA DA FAIXA: 3 kHz
SCAN/DIV: 50 kHz, TEMPO DE SCAN: 25/DIV
ATEN. DE ENTRADA: 0 dB, LOG REF.: 0 dB, 10 dB /DIVISÃO
FILTRO DE VÍDEO: 10 Hz

(DOIS TRAÇOS A CADA ENTRADA SUPERPOSTA)

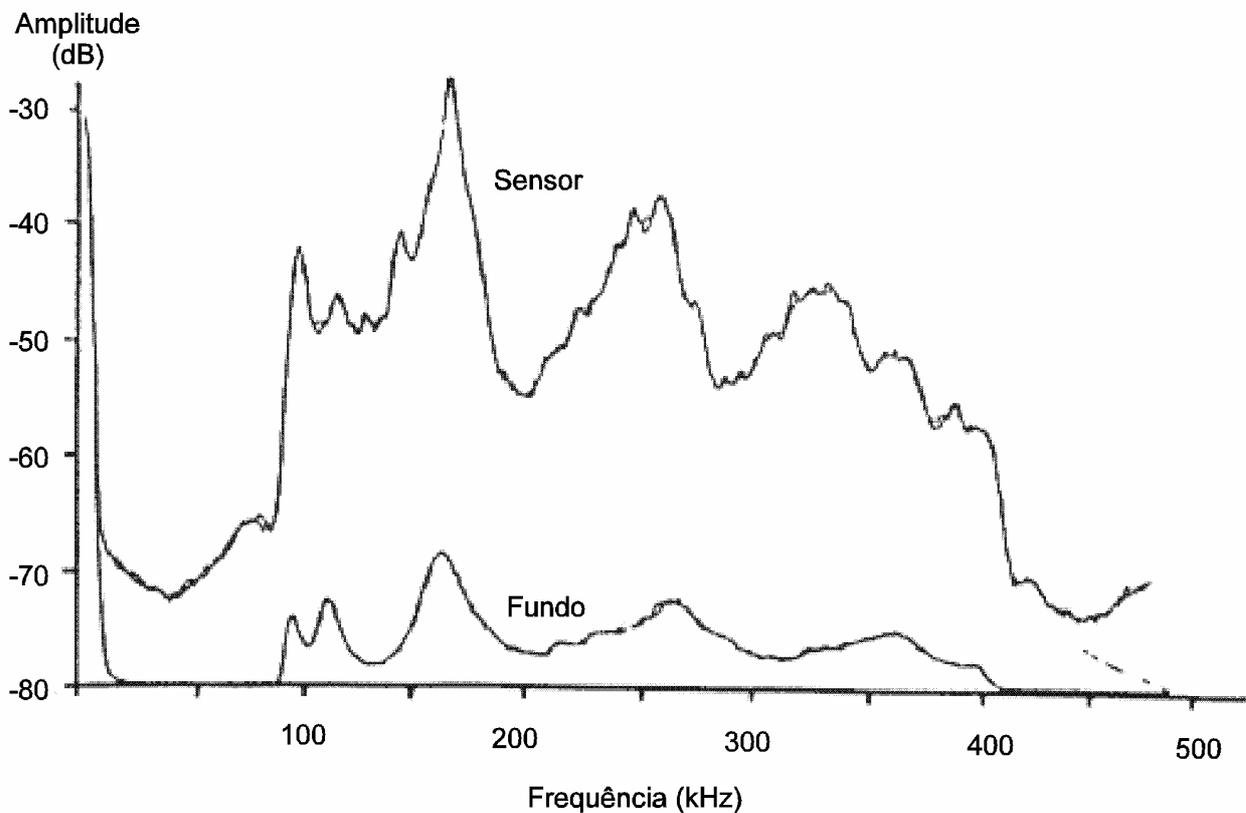


Fig.5 - Exemplo de um Registro XY de um Analisador de Espectro (Sensor 150 kHz)