Análise de vibrações em Bombas centrifugas

A análise de vibrações utilizada como técnica de Manutenção Preditiva tem condições de diagnosticar e avaliar as condições de conjuntos motor/bomba.

Existem muitas condições nas quais uma bomba pode apresentar problemas, dentre eles destacamos algumas dela onde a análise de vibrações pode ser utilizada como técnica de diagnostico ou técnica de monitoramento Preditivo.

Vazamento de fluido no eixo devido a problemas no selo ou gaxetas.

Lubrificação nível baixo de lubrificante, lubrificante inadequado, deteriorado ou contaminado.

Temperatura excessiva nos mancais ou na bomba.

Ruído anormal devido a problemas nos mancais.

Acoplamento desalinhado ou com desgaste.

Cavitação.

Desbalanceamento do rotor da bomba.

Desbalanceamento do rotor do motor.

Recirculação de fluido.

Vibração excessiva.

Vazamentos na carcaça da bomba

Problemas relacionados ao mecanismo motriz (turbina ou motor)

Tipos de rotores mais usados.

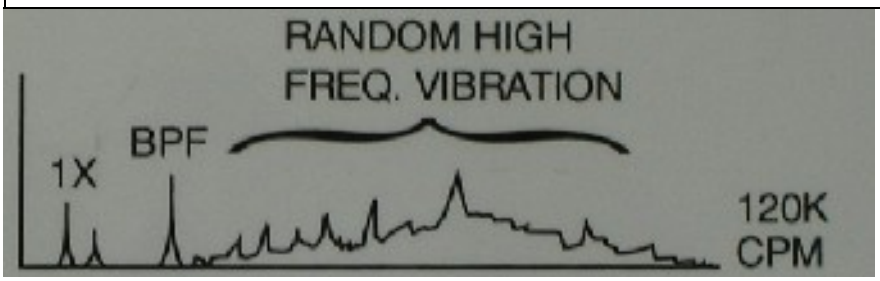
PRINCIPAIS PROBLEMAS EM BOMBAS CENTRIFUGAS.

CAVITAÇÃO

A cavitação ocorre no interior das bombas quando, a pressão do líquido na linha de sucção cai abaixo da pressão de vapor originando bolsas de ar que são arrastadas pelo fluxo. Estas bolhas de ar desaparecem bruscamente condensando-se, quando alcançam zonas de altas pressões em seu caminho através da bomba.

Como esta passagem gasoso-líquido é brusca, o líquido alcança a superfície do rotor em alta velocidade, produzindo ondas de alta pressão em áreas reduzidas. Estas pressões podem ultrapassar a resistência à tração do metal e arrancar progressivamente partículas superficiais do rotor, inutilizando-o com o tempo.

A cavitação provoca ruídos e elevados níveis de vibração características e quanto maior for a bomba, maiores serão estes efeitos. Além de provocar o desgaste progressivo até a deformação irreversível dos rotores e das paredes internas da bomba, simultaneamente a bomba apresentará uma progressiva queda de rendimento. Nas bombas a cavitação geralmente ocorre por altura inadequada da sucção, por velocidades de escoamento excessivas ou por escorvamento incorreto.



Diagnostico de cavitação por meio de análise de vibrações em conjuntos motor bomba.

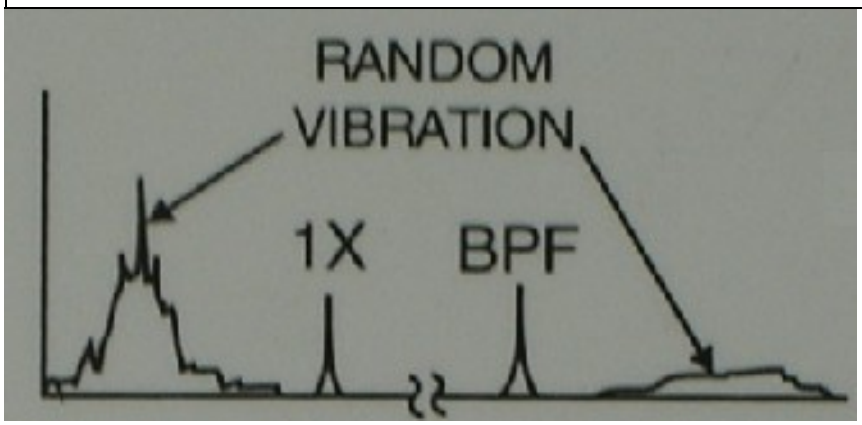
RECIRCULAÇÃO

Quando uma bomba centrifuga opera com baixa vazão inicia-se um fenômeno conhecido recirculação no olho do rotor, geralmente a recirculação inicia-se com vazão entre 60 e 80% da vazão ideal e torna-se mais severa entre 20 e 40%.

Em constante baixa vazão a recirculação pode torna-se muito danosa causando ruídos e fortes vibrações em baixa freqüência, tanto na bomba como nas tubulações.

Alem dos problemas mecânicos com a recirculação, o fluxo passa por um complexo movimento de vórtice na entrada (olho) e estas altas e localizadas velocidades causam choques parecidos com os da cavitação. Estes problemas também são acompanhados de elevados esforços radiais com deflexão do eixo, provocando vazamento no selo, redução da vida dos rolamentos alem de constantes quebras do eixo.

Como correção para este tipo de problema devem ser levantadas as condições de serviço (vazão, características completas do fluido, dados para o calculo da altura manométrica, sucção, recalque, e MPSH disponível.

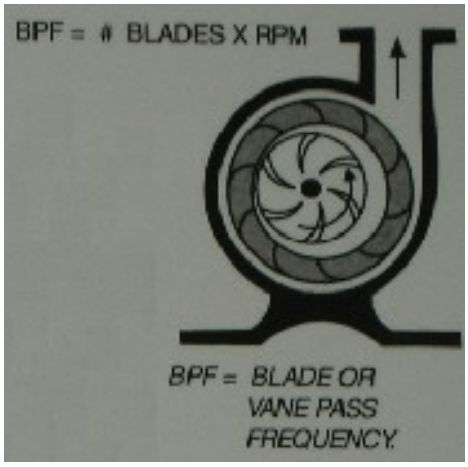


Freqüência característica da 50 a 2000 cpm.

Diagnostico de recirculação por meio de análise de vibrações em conjuntos motor bomba.

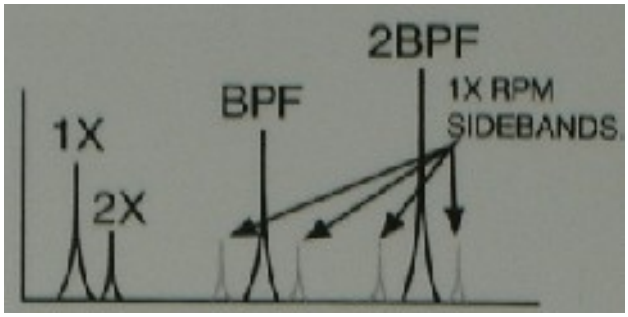
FREQÜÊNCIA DE PASSAGEM DAS PÁS

Freqüência de passagem das pás (BPF) numero de pás ou vãos x rpm.
Esta freqüência é comum em bombas, ventiladores, sopradores e compressores, porem a presença desta freqüência não indica necessariamente um problema.
Porém grandes amplitudes de (BPF) podem gerar harmônicos, que podem coincidir com uma freqüência natural e com isso causar altas amplitudes de vibração.



A maneira mais indicada de detectar este tipo de problema em bombas é a análise de vibrações.

BPF alto pode ser gerado se anel do impulsor estiver posicionado de forma excêntrica em relação ao rotor, obstruções que perturbam o fluxo, etc.
BPF pode estar associado ao projeto da máquina.



Diagnostico da BPF por meio de análise de vibrações em conjuntos motor bomba.

Manutenção Preditiva - Analise de vibrações

Vibração por Rolamentos Gastos ou Fadigados

Agora será abordada a forma mais comum de falha de rolamentos que funcionam em condições normais (carga uniforme e lubrificação razoavelmente dentro das normas) de uso, sem defeito de montagem, o que representa cerca de 88% dos casos.

Fundamentalmente o rolamento se desgasta por dois motivos:

1. Atrito de rolamento;
2. Fadiga;

O primeiro acontece simplesmente porque o rolamento gira, e o segundo acontece em função da natureza dos materiais metálicos submetidos á força variável (dinâmica) no tempo. Outros fatores como as contaminações e a falta de lubrificação apenas aceleram um dos fatores acima ou até mesmo os dois (por exemplo: contaminação por água ou poeira faz aumentar o atrito, a falta de lubrificação aumenta o atrito e reduz o amortecimento das forças dinâmicas). Devido aos dois fatores acima, especialmente pela fadiga, com o tempo, começam a surgir pequenos furos e rachaduras nas pistas por onde passam as esferas ou rolos. A quantidade e o tamanho desses defeitos indicarão a extensão do desgaste e isso pode ser verificado pela vibração, pois a passagem das esferas ou rolos por esses furos e rachaduras irão produzir freqüências características, e as amplitudes e a distribuição de seus harmônicos irão determinar com relativa precisão e segurança o grau da deterioração do rolamento.

A análise de vibrações é uma das técnicas Preditivas mais utilizadas no diagnostico e monitoramento de rolamentos.

Os passos seguintes descrevem um cenário completo em 4 etapas, desde o aparecimento das primeiras falhas SIGNIFICATIVAS até um instante anterior à falha catastrófica do sistema. Como falha catastrófica entende-se a incapacidade total do rolamento executar suas funções e se manter girando; em outras palavras, quando o rolamento travar ou se desfazer por efeito de aquecimento.

<u>Aparecem os Primeiros Furos ou Rachaduras - 1 Estágio</u>

É definido como início do primeiro estágio de deterioração, o aparecimento das primeiras falhas em uma pista ou elemento rolante que seja possível de ver por algum meio microscópico ou não, eventualmente até à olho nu (uma sombra ou minúsculos pontos). Como nesse estágio as falhas são muito pequenas não há nenhum acréscimo nos níveis de vibração já estabelecidos nas análises de vibrações anteriores, e o espectro de freqüência não apresenta nenhuma alteração visível. Normalmente o Spike Energy nessa fase começa a apresentar uma tendência de alta. Nenhuma característica externa do tipo temperatura ou ruído se altera nessa fase.

<u>Aumenta a Quantidade de Defeitos - 2 Estágio</u>

Com o aumento da quantidade de defeitos (furos e rachaduras), a quantidade de impactos aumenta passando a ressoar o rolamento em suas diversas partes. Como resultado, o nível de Spike Energy aumenta bastante, eventualmente até dobra. Alguma alteração de ruído às vezes acontece, não há na alteração de temperatura. Os níveis globais de velocidade e

aceleração começam a apresentar tendência de alta (a vibração global de deslocamento não é útil para análise de rolamentos).

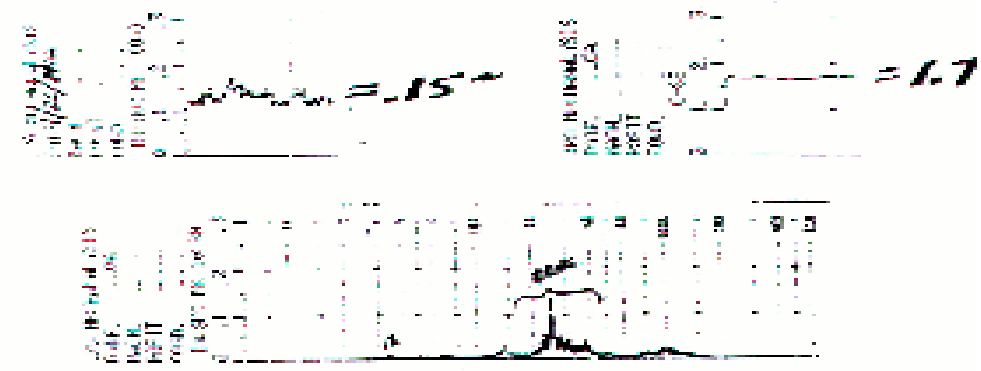
Na análise de vibrações o espectro de velocidade (ou aceleração) começa a apresentar o aparecimento de picos fixos(1 ou 2 no máximo) em freqüência na faixa entre 60.000 cpm e 100.000 cpm. Esses picos não mudam de posição com a variação da rotação, apenas tendem a crescer em amplitude com o aumento da rotação. Esse pico (ou picos) representam a freqüência natural do elemento do rolamento que apresenta as falhas. No final deste estágio esse pico (ou picos) costuma apresentar bandas laterais espaçadas de 1 x rpm ou então, de 1 x freqüência de passagem de algum elemento do rolamento. A amplitude dessa freqüência natural não excede 2,5 mm/s (típico).

A partir deste ponto a análise de vibrações é muito importante uma vez que o desgaste provoca uma situação sem retorno, o rolamento só tende a piorar, e essa piora é exponencial. Normalmente a vida útil desse rolamento será de 5 a 10% do LH10 (vida estimada, verificar o catálogo do fabricante desse rolamento), ou seja, mais ou menos o equivalente ininterrupto (40 dias de 24 horas). Mas, observe que isso pode variar muito à 100 horas de funcionamento devido as condições de ambiente e operação (n^0 de partidas, carga, rotação e lubrificação).

Nesse ponto a parada da máquina deverá começar a ser programada e os intervalos de medição devem ser reduzidos, de preferência passarem a ser semanais. A lubrificação também deverá ser executada rigorosamente com maior freqüência.

Níveis de gSE esperados:

* c/ 970 - 0,5 a 1,0 gSE c/943 -1,0 a 8 gSE - com base magnética



As freqüências de ressonância normalmente aparecem como uma nuvem entre 20Kcpm 150Kcpm.

<u>Está Ruim - 3 Estágio</u>

Nesse estágio pequenas variações de temperatura podem ser notadas, o ruído começa a se alterar significativamente. Os níveis de vibração em velocidade e aceleração sobem e o Spike Energy se torna errático e elevado com tendência a subir cada vez mais rápido (exponencial).

O espectro de velocidade começa a apresentar vários harmônicos das freqüências de defeitos do rolamento. Nos estágios iniciais dessa fase, a freqüência fundamental do defeito não existe ou tem amplitude insignificante (menor que 0.5 mm/s).

Esses harmônicos não costumam ter altas amplitude mas o número deles costuma ser grande (4 ou 5 harmônicos simultâneos) produzindo um nível total espectral de vibração significativamente alto (de 3 a 5 mm/s ou mais). Essas freqüências de defeito costumam ser:

1. Freqüência de passagem das esferas ou rolos na pista externa (BPFO);
2. Freqüência de passagem das esferas ou rolos na pista interna (BPFI);
3. Freqüência de giro das esferas ou rolos (BSF);
4. Freqüência de rotação da gaiola ou trem de retenção (FTF).

Essas freqüências podem ser calculadas com alguma aproximação pelas fórmulas apresentadas mais adiante, ou então, em tabelas ou programas de computador fornecidos pelo fabricante. Note que os valores tanto da tabela como os calculados são APROXIMADOS, devendo-se levar em conta a precisão do FFT (n^0 de linhas), as diferenças que existem entre vários lotes de rolamento produzidos, condições de carga, lubrificação e ângulos de contato das esferas com as pistas.

Quanto mais precisos forem as informações dimensionais fornecidas para o uso das fórmulas, mais próximas das freqüências reais serão os valores calculados.

De forma prática e geral, seguem algumas dicas:

1. Essas freqüências NÃO são harmônicas exatas da rotação (valores típicos 5,33 x rpm 9,753 x rpm , 0,433 rpm etc.)

2. O BPFO costuma estar na faixa entre 5 e 8 x rpm e costuma ter alta amplitude, tanto no fundamental como nos harmônicos, devido a essa pista estar mais próxima do sensor.

3. O BPFI costuma estar em uma faixa de 8 a 12 x rpm e normalmente é acompanhado por bandas laterais de 1 x rpm (o fundamental e harmônicos). As amplitudes são baixas, mas o nível total na faixa de freqüência que inclui esses harmônicos + bandas, costuma ser muito alto (mais de 90% do nível global).

4. O BSF costuma estar em torno de 3,5 x rpm (faixa de 2,5 a 5 x rpm) raramente aparece. É normal existirem bandas laterais de FTF ou 1 x rpm ou da freqüência de defeito da pista que está mais danificada. É comum aparecer como banda lateral da freqüência natural do rolamento.

No espectro demodulado ou de envelope ou gSE Spectrum, essas freqüências costumam aparecer como picos discretos com alguns eventuais harmônicos. Não importa a amplitude nesse caso. Se aparecerem, o rolamento está condenado à troca.

Notas:

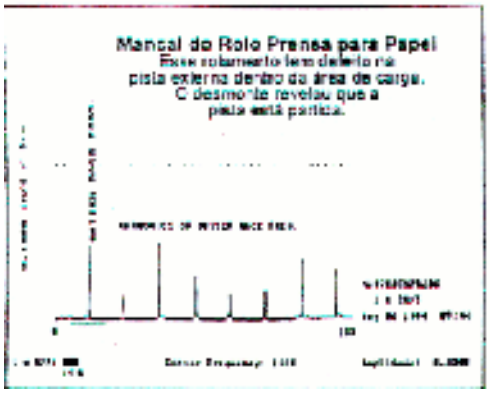
- ✓ Normalmente FTF — 0,35 a 0,45 RPM
- ✓ Se o anel interno é fixo e o anel externo gira, mude o sinal 'menos" para "mais" nas fórmulas do 6SF e do FTF O0 BPFI passa a ser igual a Nb x FTF, ao invés do BPFO. O FTF passa a ser — 0,55 a 0,65 RPPM.
- ✓ Observar que SEMPRE: BPFI + BPFO = Nb

Legenda:
Nb = N^0 de bolas ou rolos
Bd = Diâmetro das esferas ou rolos
Pd = Diâmetro médio da correia de esferas ou rolos (Pitch)

Equações para o cálculo das freqüências fundamentais de defeito em rolamentos.

N210	15	.394	2.968	O	6.50	8.48	.43	3.70
N211	15	.433	3.051	O	6.43	8.56	.43	3.45
PJ212	18	.472	3.476	O	6.92	9.08	.43	3.61
N213	18	.512	3.641	O	6.88	9.11	.43	3.49
N214	16	.512	3.738	O	6.93	9.06	.43	3.66
N215	17	.551	4.035	O	7.34	9.65	.43	3.59
11216	15	.590	4.331	O	6.91	9.08	.43	3.60
11217	16	.620	4.526	O	6.91	9.08	.43	3.60
11218	18	.709	4.921	O	6.84	9.15	.43	3.40
N219	16	.748	5.216	O	6.85	9.14	.43	3.41
N220	16	.781	5.512	O	6.86	9.13	.43	3.43

Mancal do Rolo Prensa para Papel, esse rolamento tem de eixo na pista externa dentro da área de carga.O desmonte revelou que a pista está partida.



Conforme esse estágio progride, todos os valores de amplitudes irão crescer paulatinamente. Eventualmente uma relubrificação fará com que os níveis de amplitude caiam, mas será por pouquíssimo tempo, algumas horas. Os harmônicos das freqüências fundamentais de defeito aumentarão de quantidade e amplitude no espectro. A máquina deverá ser desligada e o rolamento trocado dentro desse terceiro estágio.

Nessa fase faltam em torno de 2% da LHIO, ou seja, aproximadamente 200 horas de funcionamento ininterrupto (8 dias de 24 horas).

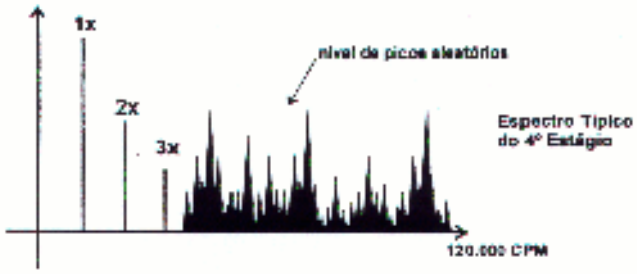
Níveis esperados de gSE:
acelerômetro 970 : 1,5 a 2,0 gSE
acelerômetro 943 : 2,0 a 5.0 gSE

O "Grito "Final - 4º Estágio

Este estágio só deve ser admitido em máquinas se o for por acidente. Isto é, você já encontrou a máquina assim.

É extremamente perigoso operar o equipamento nessas condições, os riscos na segurança do pessoal e os custos de reparo serão altíssimos, podendo até destruir o equipamento.

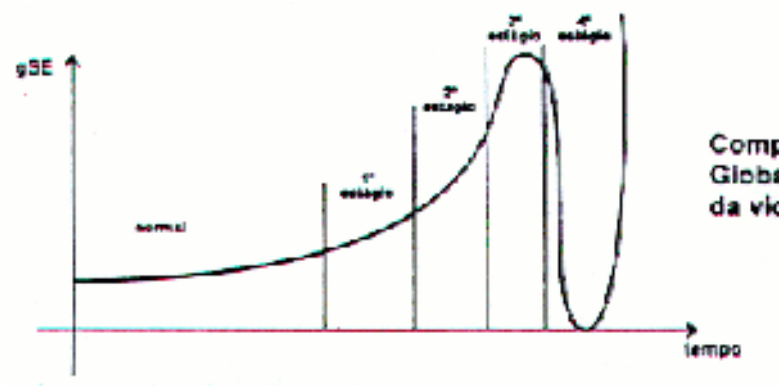
Com o progresso dos defeitos, mais e mais harmônicos e bandas laterais começam a saturar o espectro de velocidade até formar uma região de ruído branco - uma massa de picos de amplitude quase igual - tão juntas que formam um patamar, como na figura abaixo.



O nível global de velocidade continua a subir. Começa a haver um aquecimento pronunciado do mancal) e o ruído é bastante alto.

Durante uma fase nesse estágio o Spike Energy costuma despencar rapidamente para valores extremamente baixos (0,1 ou menos), se mantendo assim por algum tempo, para logo em seguida subir exponencialmente até níveis estratosféricos (> 30 gSE, não importando o sensor) imediatamente antes de uma falha catastrófica.

Nesse estágio não existe forma de garantir ou medir o que resta de vida útil para esse rolamento. Pode se romper qualquer instante como podem rodar por semanas sem nada acontecer.



Comportamento do nível Global de gSE ao longo da vida de um rolamento.

É comum o aparecimento de vários harmônicos da rotação (1 x, 2 x, 3 x rpm), devido ao aumento da folga interna do rolamento

Algumas Recomendações:

* Lubrificação: crie rotinas periódicas e permanentes de lubrificação baseados no histórico de suas máquinas e ambiente de operação. Se sua área tem um ambiente muito severo (alta temperatura, grande umidade, chuvas constantes, insolação direta, contaminação por poeira fina, ou fluídos de alta diluição) os intervalos deverão ser muito pequenos. Desconsidere a recomendação de manual do fabricante.

* Os selos de retenção de caixa de mancal servem apenas para evitar que o lubrificante saia e um determinado grau de contaminação externa não entre. Máquinas que trabalham permanentemente "molhadas" por agentes externos (poeira, água, soda e etc.) deverão ter sua lubrificação verificada semanalmente.

* Desbalanceamento, e especialmente, desalinhamento e erros na montagem são as principais causas de falha prematura do rolamento. Monte suas máquinas com critério, cuidado e as ferramentas adequadas.

* Em máquinas de grande porte e baixa rotação, os mancais são submetidos à grandes cargas, por isso sofrem desgaste localizado na pista fixa. Para aumentar a vida desse rolamento, é praxe girar o anel fixo no seu alojamento de 90º a intervalos regulares de tempo.

* Jamais sobrecarregue um mancal de rolamento com graxa.

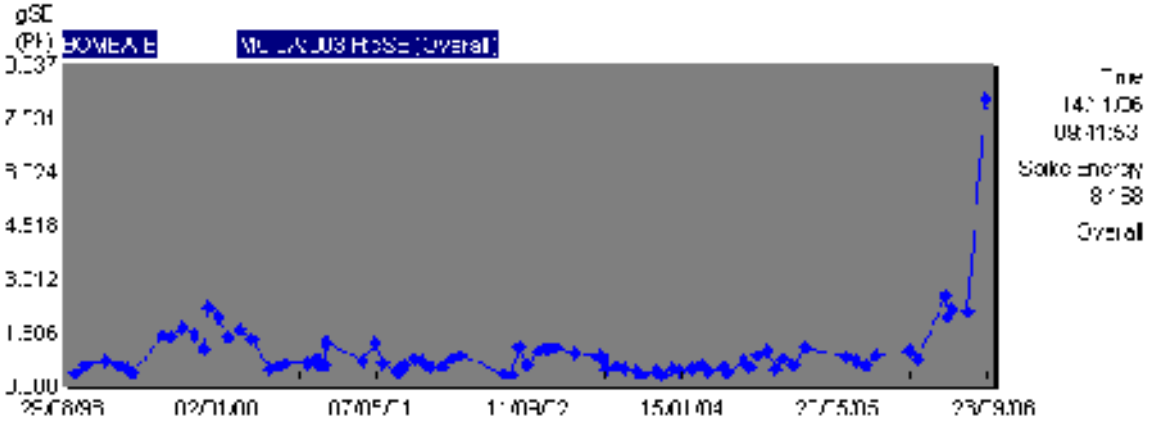
* Não condene um mancal com medições isoladas de gSE, é necessário possuir um histórico de gSE em mãos. Mesmo assim tente relubrificar a posição, se o gSE cair e se manter baixo por mais de 5 horas, o problema era falta de lubrificação.

* Meça o gSE regularmente, sempre na mesma posição no mancal. Quanto mais dados de gSE tiver em mãos, mais cedo será detectado um possível problema.

Análise de vibrações - Problemas causados por desgaste dos rolamentos em bombas centrifugas.

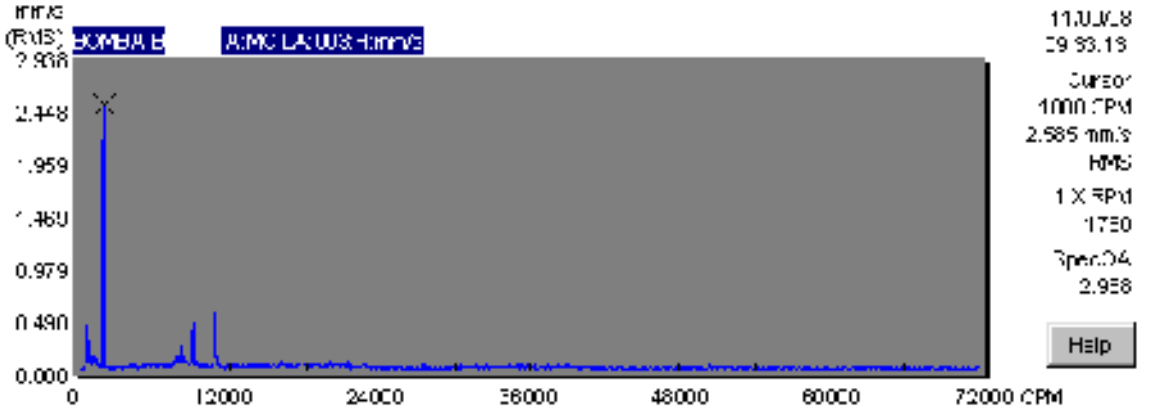
Varias técnicas Preditivas de análise de vibrações pode ser empregadas na detecção de problemas relacionados com o desgaste dos mancais de rolamentos.

Na curva de tendência abaixo podemos observar a evolução em gSE, o que indica o agravamento das condições do rolamento da bomba ao longo do tempo.

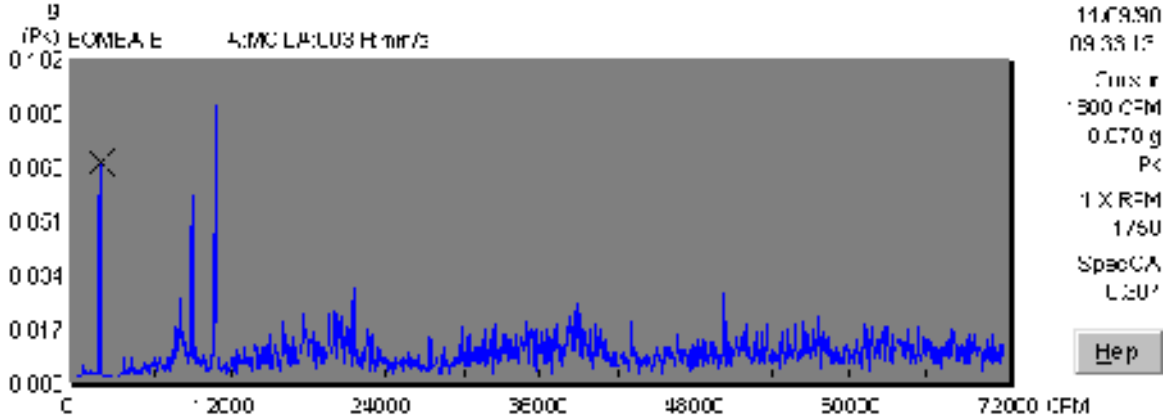


Espectros na primeira coleta de dados em 11/09/1998.
Máquina em boas condições, sem problemas nos rolamentos.

Análise de vibrações - Espectro em velocidade de vibrações mm/s RMS



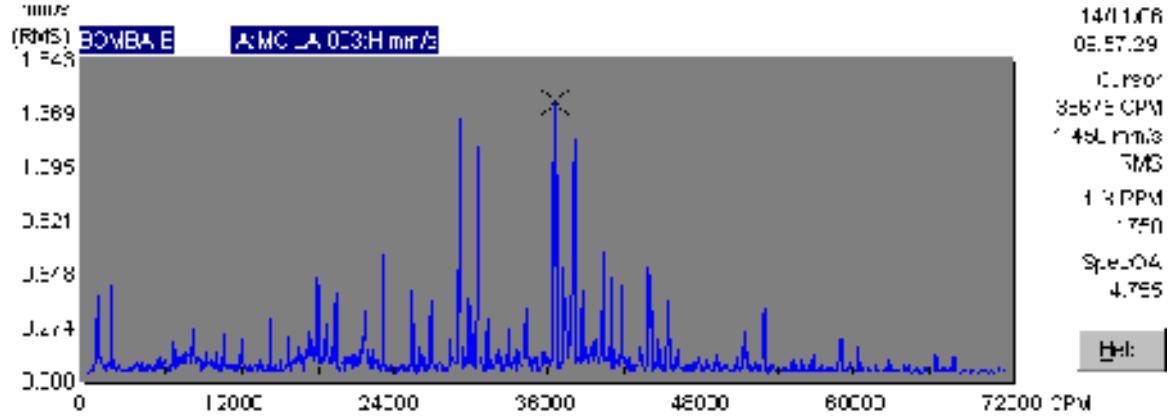
Análise de vibrações - Espectro em aceleração g PK

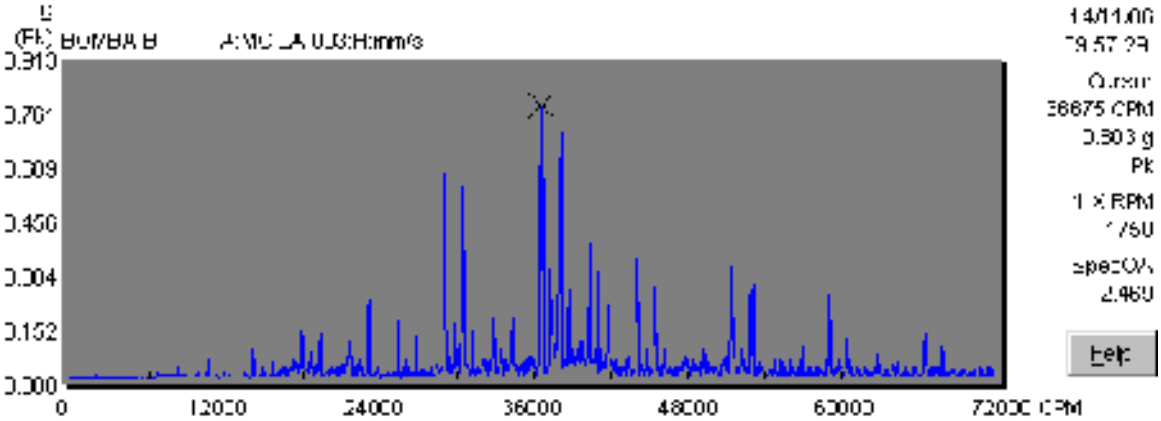


Espectros em 14/11/2006.

Máquina com problemas de desgaste dos rolamentos.

Análise de vibrações - Espectro em velocidade de vibrações mm/s RMS.



Análise de vibrações - Espectro em aceleração g PK

Analise de vibrações em bombas centrifugas