

---

## “SOLUÇÕES DE PROBLEMAS NA OPERAÇÃO INICIAL DE UMA PLANTA PETROQUÍMICA PELA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES”

**Júlio Cezar Magalhães de Souza** - Técnico em Manutenção da Polibrasil Resinas S/A  
**Eng. Remo Alberto Pierri** - Diretor Técnico da Aditeq – Análise e Diagnóstico de Equipamentos Ltda.

---

### I – VISÃO GERAL DA EMPRESA

A Polibrasil é pioneira na fabricação de polipropileno na América Latina. Iniciou as suas atividades em 1978. Atualmente, a empresa é formada pela associação dos grupos Suzano e Basell - a maior produtora de polipropileno e líder mundial dessa tecnologia.

Uma imensa variedade de produtos feitos a partir de polipropileno, o termoplástico que mais cresce em aplicações no mundo, estão em nosso dia-a-dia: desde embalagens até peças automobilísticas, incluindo componentes para aplicações nos setores têxtil, de móveis, de brinquedos, e vários outros.

Obtido através da polimerização do propeno, produto derivado da Nafta petroquímica, o polipropileno **Prolen**<sup>®</sup> da Polibrasil é formado basicamente por 3 grupos de produtos:

- Homopolímeros – obtidos exclusivamente da polimerização do propeno.
- Copolímeros Heterofásicos (HECO) – incorporam certa porcentagem de monômero de etileno, para obter ótima flexibilidade e resistência ao impacto, sendo largamente utilizados na produção de peças automobilísticas, móveis e em aplicações industriais.
- Copolímeros Random (RACO) – incorporam de forma específica algumas cadeias de etileno, que lhes conferem excelentes propriedades óticas (brilho, transparência) aliadas a uma boa resistência e menor temperatura de fusão. São largamente utilizados na produção de utilidades domésticas.

A Polibrasil abastece o mercado brasileiro e mundial por intermédio de 3 unidades:

<b>Unidade</b>	<b>Capacidade anual</b>	<b>Tecnologia</b>
<b>Mauá, SP</b>	300 kton	Spheripol
<b>Duque de Caxias, RJ</b>	240 kton	LippSHAC
<b>Camaçari, BA</b>	125 kton	Slurry
<b>Total:</b>	665 kton	

A nova fábrica da unidade de Mauá emprega a mais moderna tecnologia de produção de polipropileno e é a maior linha de produção do mundo: 300 mil toneladas de produção anuais, através da mais nova versão da tecnologia Slurry-Spheripol, criada e aperfeiçoada pela Basell.

As principais características dessa tecnologia são: o emprego de catalisadores altamente especializados, processos otimizados e ambientalmente limpos e sistemas de garantia de qualidade que incluem avançado sistema de controle, com alto grau de automação e confiabilidade.

## II – HISTÓRICO

As atividades de Manutenção Preditiva na unidade de Mauá foram iniciadas em 1989, por uma equipe terceirizada da Convibri – Controle de Vibrações Industriais S/A, sucedida pela Aditeq – Análise e Diagnóstico de Equipamentos Ltda. A estrutura atual é composta pelos seguintes elementos:

1. Aditeq, responsável pela elaboração, atualização contínua e implantação dos procedimentos de Manutenção Preditiva, pela supervisão geral dos trabalhos e pela análise de problemas não usuais dos equipamentos, através dos seus consultores Remo Alberto Pierri e Paulo Mario Rodrigues da Cunha.
2. Transmotor Equipamentos Elétricos Ltda., responsável pelo fornecimento do instrumental, software e mão de obra operacional para coleta, análise de dados e elaboração dos relatórios sistemáticos.
3. Equipe Interna da Polibrasil, responsável pelo atendimento a emergências e pela programação e acompanhamento das intervenções, com base nos relatórios sistemáticos.

A Manutenção da unidade de Mauá obteve certificação ISO9000, em grande parte graças a procedimentos de planejamento de intervenções baseados em análises preditivas sistemáticas, muito bem consolidados e documentados.

A nova fábrica da unidade de Mauá começou a operar em fevereiro de 2003 e teve que iniciar a produção imediatamente após a desativação da fábrica velha, uma vez que a antiga área de utilidades, mantida para alimentar a nova fábrica, não tinha capacidade para suprir as duas fábricas simultaneamente.

Assim, para garantir um início de operação sem sobressaltos e evitar a descontinuidade de fornecimento foi montado, pelo pessoal de Manutenção Preditiva, um sistema de testes de aceitação por análise de vibrações e temperatura de todos os equipamentos dinâmicos da fábrica nova que pudessem ser acionados individualmente, a medida em que fossem instalados.

Dessa forma foram detectados e imediatamente corrigidos pela empresa montadora todos os defeitos usuais de uma instalação desse porte, como: desalinhamentos, desbalanceamentos, folgas por falta de aperto de componentes ou fixações, etc.

Estes testes foram realizados pelo pessoal da Polibrasil, sob supervisão da Aditeq, enquanto o pessoal terceirizado da Aditeq e da Transmotor realizava as tarefas rotineiras de manutenção preditiva da fábrica velha, para garantir a sua operação até que ela fosse desativada.

Logo após o início de produção da nova fábrica, foi dada partida no seu sistema de Manutenção Preditiva, empregando instrumentos e software de última geração, (coletores 2120 e 2130 e software RBMWare versão 4.81 da CSI) e procedimentos revistos para extrair todo o potencial desse sistema.

Convém ressaltar aqui a rapidez e eficiência conseguida na implantação desse sistema graças ao alto grau de automação do módulo de geração de banco de dados do software RBMWare, aliado a experiência da equipe e a documentação detalhada dos equipamentos supervisionados, fornecida pelos fabricantes e pela empresa projetista da planta.

### III – PRINCIPAIS PROBLEMAS DETECTADOS E SOLUÇÕES ADOTADAS

#### III.1 - Reator R-402 e Compressor C-402

O R-402 (figura 1) é um reator de conversão do tipo Gas Phasor Reactor empregado na produção de copolímeros, operando no sistema de leito fluidizado, com partículas reagentes mantidas em suspensão em um meio gasoso continuamente recirculado. O compressor C-402 (figura 2) é o equipamento responsável pela recirculação dos gases através do Reator R-402.

O sistema opera por bateladas, tipicamente em corridas com duração de dois dias a cada quinzena. Durante as primeiras corridas, ocorreram vários desarmes por vibração elevada do compressor e o reator apresentou movimentos oscilatórios bastante elevados, causando preocupação dos operadores quanto a sua integridade.

Assim, por solicitação da Polibrasil, a Aditeq realizou, no dia 24 de maio de 2003, uma série de medidas e análises de vibrações com objetivo de pesquisar a causa desse problema e avaliar a estabilidade estrutural do reator.

Nessas medições, as vibrações do reator foram captadas através de um acelerômetro instalado nos pontos indicados na figura 01 e as vibrações do compressor C-402 através dos sensores do seu sistema de monitoração permanente, instalados junto aos mancais, a 45° com a vertical. Os sinais de todos esses sensores foram coletados através de um analisador CSI 2120. Os registros desses sinais foram transferidos para um microcomputador, aonde foram armazenados e processados pelo programa CSI - RBMWare.

As vibrações foram medidas, durante a partida da unidade, com o reator operando em controle manual, com nível nominal do leito fluidizado entre 60 e 70%, condição em que ocasionalmente ocorriam desarmes por excesso de vibração.

Na tabelas 1 e 2, são apresentados os níveis e as principais componentes das vibrações captadas nos diversos pontos de medida. Nas figuras 02 a 07 são apresentados os espectros de frequência das medidas realizadas na estrutura do reator e, nas figuras 08 a 13, os espectros de frequência das medições de vibração dos rotores do grupo C-402.

A análise desses dados permitiu estabelecer as seguintes conclusões:

1. Os níveis de vibração do motor são superiores ao limite de aceitação da Norma API 613, porém esse problema deverá ser corrigido pelo fabricante, que se comprometeu a substituir as tampas do motor e balancear o seu rotor.
2. Os maiores níveis de vibração do reator foram observados no flange da tubulação ligada a descarga do compressor (4,8 mm/s rms). Esses níveis de vibração podem ser suportados pela estrutura do reator, porém a longo prazo, podem acarretar danos aos instrumentos e tubulações acoplados ao reator.
3. Os espectros de frequência dessas vibrações revelam que elas ocorrem nas frequências naturais do reator (ao redor de 3,5 Hz), que são excitadas pelas pulsações do fluxo de gás, indicando que essas vibrações serão reduzidas ao se conseguir um fluxo mais estável através do reator e do compressor.

4. Os níveis de vibração medidos no compressor são bastante reduzidos em comparação com o limite de aceitação da Norma API 613. Seus espectros de frequência apresentam uma predominância da componente na frequência de rotação (59,8 Hz), não revelando indícios de problemas mecânicos e não mostrando qualquer correlação com as vibrações provenientes do reator e do motor.

Assim, concluiu-se que os desarmes por vibração ocorridos nas primeiras bateladas foram causados por condições operacionais anormais, mais provavelmente por arraste de particulado pelo gás recirculado, que pode ocorrer de forma eventual com um nível elevado do leito fluidizado (60 a 70 %). Com base nessas conclusões foram feitas as seguintes recomendações:

1. Verificar com o fabricante do compressor qual o máximo tempo de retardo que pode ser ajustado no seu circuito de desarme por vibração, **sem prejuízo da proteção aos demais problemas de funcionamento que possam vir a ocorrer na máquina**. Verificou-se que o tempo de retardo estava ajustado em 01 segundo e que a instrumentação permite também ajustes de 03 e 06 segundos.
2. Verificar a possibilidade de alterações nas condições operacionais de modo a eliminar o risco de arraste de particulado pelo gás recirculado, sem prejuízo da capacidade produtiva do reator.

A primeira hipótese foi totalmente descartada pelo fabricante do compressor, que assegurou que um retardo maior do que 1 segundo poderia ser prejudicial para a segurança da máquina.

A Engenharia de Operação da Polibrasil passou então a definir novas condições que garantissem um nível máximo operacional do leito fluidizado mais baixo, sem prejuízo da capacidade de produção de copolímero ou da sua qualidade. Para isso foi necessário operar com maior pressão e a uma temperatura mais alta e definir condições a montante que tornassem o catalisador mais ativo.

Após a implantação dessas novas condições operacionais, não houve mais ocorrência de desarme por vibrações e essa solução passou a ser adotada por outras plantas semelhantes da Basell no exterior.

### III.2 – Agitador A-301

Essa máquina é na verdade um soprador centrífugo, instalado no topo de um reator e que impulsiona os componente mais densos em direção as paredes do vaso, provocando a sua decantação.

Em 02 de setembro de 2003, foi detectada uma tendência de falha dos rolamentos de guia superior (N 211) e de escora (51110) do Agitador. No relatório correspondente, mostrado na figura 14, pode-se verificar que os níveis de vibração não apresentavam valores elevados e que a detecção do problema só foi possível graças às medidas de envelope digital (PeakVue) – vide gráfico de barras que representa os níveis dos diversos pontos de medida em porcentagem do Nível de Perigo.

As medições realizadas nos dias 02 e 03 de setembro, mostradas na Curva de Tendência desse relatório, indicam que o problema apresentava uma taxa de deterioração muito elevada. Dessa forma, recomendou-se uma parada imediata para substituição dos rolamentos ou do Conjunto, o que ocorreu em 04/09/2003. Tal decisão foi tomada para a preservar os demais componentes do Conjunto e evitar os problemas que a quebra repentina do equipamento ocasionaria para a Produção e para a Manutenção.

A inspeção do conjunto removido revelou defeitos nos dois rolamentos. Uma análise dos demais elementos do conjunto mostrou que a causa raiz do problema foi o excesso de produto impregnado no rotor, o que deu origem a um desbalanceamento dinâmico, provocando um desgaste excessivo da bucha de guia inferior do eixo (cuja folga ultrapassou 1 mm), o que por sua vez acarretou esforços excessivos sobre os rolamentos de guia superior e de escora do conjunto e a sua deterioração prematura (em cerca de três meses de operação).

As figuras 15 a 19 mostram o resultado da inspeção dos diversos componentes do conjunto, que levou a conclusão acima. Mediante essa conclusão, foram tomadas as seguintes Ações Corretivas:

1. Substituição do Rolamento 51110 por um rolamento 51111, com maior resistência aos esforços axiais.
2. Confecção de uma nova Bucha de Guia, em uma liga de Bronze mais resistente, reduzindo o seu desgaste e conseqüentemente a orbitação do eixo e os esforços sobre os rolamentos (vide figura 20).

Porém, passados seis meses, em 17 de março de 2004, esses rolamentos novamente apresentaram sintomas de falha. Desta vez os sintomas apareceram claramente também nas medidas de vibração axial. As figuras 21 e 22 apresentam as curvas de tendência e os espectros dessas medidas e das medidas de PeakVue, com as frequências de defeitos identificadas nos dois casos.

Uma vez informado da necessidade de uma parada, o Setor de Planejamento de Produção solicitou que o equipamento fosse mantido em funcionamento pelo maior prazo possível, pois a retomada das condições de operação adequadas para produção de *Copolímeros Random* é demorada e custosa.

Dessa forma, optou-se pela instalação provisória de um sistema de monitoramento contínuo, SDAV-4, recentemente desenvolvido pela Teknikao visando esse tipo de aplicação. Nesse sistema foram registrados os níveis, formas de onda e espectros de velocidade, aceleração e envelope das vibrações captadas junto ao rolamento de escora, na direção axial. O pessoal de operação foi então instruído a interromper a produção assim que qualquer um das três curvas de tendência fornecidas pelo sistema (velocidade, aceleração e envelope) apresentasse uma variação superior a 30%.

Os registros foram iniciados em 19/03/2004 e em 23/03 os gráficos de tendência de aceleração passaram a apresentar picos esporádicos bastante elevados (figura 23), indicando desprendimento de partes de componentes dos rolamentos. Foi então ordenada a parada da Unidade para substituição do Conjunto A-301 por um conjunto reserva, previamente preparado e testado de modo a reduzir ao máximo o tempo de intervenção.

Nesse Conjunto foram introduzidas as seguintes modificações: usinagem do eixo e da caixa do mancal de guia superior, a fim de alojar mais um rolamento N211, separado do primeiro por anéis espaçadores, visando reduzir os movimentos de orbitação do eixo, que provocam esforços alternados sobre as esferas do rolamento de escora situado na caixa superior.

As vibrações do Agitador estão sendo monitoradas semanalmente até que se comprove a eficácia das modificações introduzidas. Paralelamente a empresa montadora da planta está testando um novo modelo de Agitador especificamente desenvolvido para eliminar esse problema, que também tem ocorrido nas outras plantas semelhantes da Basell no exterior.

#### IV – CONCLUSÕES

Uma nova Planta Petroquímica de projeto recente, ainda não totalmente consolidado e adotando uma nova tecnologia, apresenta um grande potencial de problemas mecânicos e operacionais, que só irão se manifestar durante o período inicial de operação da planta, por maiores que tenham sido os cuidados tomados durante a fase de projeto.

Os dois casos apresentados, colhidos durante a operação inicial da nova planta da Polibrasil, mostram que a disponibilidade de uma equipe de Manutenção Preditiva experiente e devidamente instrumentada pode fornecer um auxílio inestimável para a detecção, o diagnóstico e para a elaboração e testes de soluções desses problemas.

Para isso é necessário que essa equipe atue de forma perfeitamente entrosada com os setores de Operação e Engenharia da Planta e que esses setores estejam plenamente conscientes do potencial de análise oferecido pelas tecnologias de Manutenção Preditiva, sabendo a elas recorrer quando necessário.

No caso da Unidade Mauá da Polibrasil isso já se tornou parte da cultura da fábrica. Por falta de tempo não foram aqui relatados outros casos em que a Engenharia de Operação solicitou análises de vibrações para se assegurar que certos procedimentos operacionais não causariam risco a integridade ou a vida útil dos equipamentos. Por exemplo, foi feita uma monitoração contínua durante cerca de 20 dias em duas bombas de circulação de reatores de “loop”, para garantir que nenhuma das condições operacionais empregadas causava cavitação nas bombas.

Por outro lado, enquanto uma vida útil satisfatória não for conseguida, a segurança de detecção de defeitos nos rolamentos do A-301 tem permitido operar esse equipamento até quase o instante da falha, acarretando uma economia de paradas para troca preventiva bastante expressiva.

Em outras plantas semelhantes esses rolamentos têm sido trocados de forma preventiva a cada dois meses. No nosso caso foram feitas somente duas paradas em nove meses. Considerando que cada parada dura cerca de dois dias até a completa recuperação da produção, somente neste caso, a Manutenção Preditiva economizou cerca de 5 dias de produção de produtos de alto valor agregado, o que é capaz de cobrir os seus orçamentos de mão de obra e de instrumental por alguns anos.

Temos aí um exemplo claro de como as Tecnologias Preditivas podem transformar a Manutenção em um centro de lucros para a empresa, lucros esses que podem ser precisamente quantificados em cada caso.

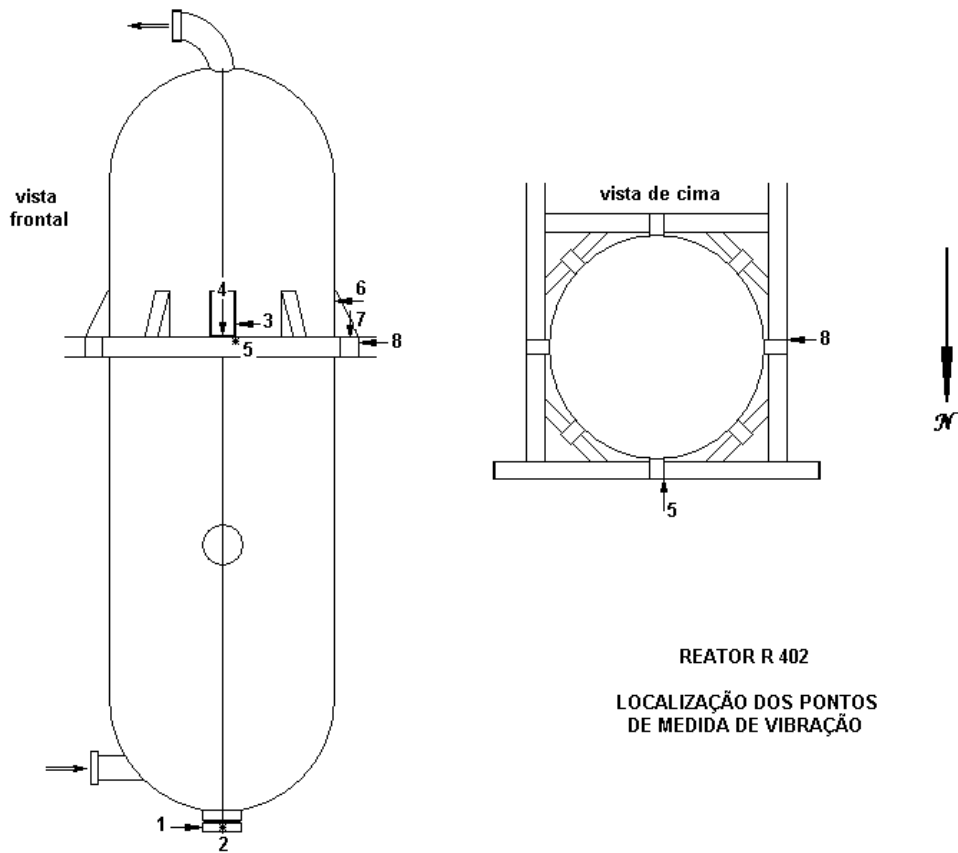
**Tabela 1 – Níveis de Vibração da Estrutura do Reator R-402 - 24 / maio/2003**

Local de Medida	Valor Global Velocidade (mm/s) rms	Principal Componente (Hz)	Amplitude Velocidade (mm/s) rms
Ponto 1 flange de saída direção leste-oeste	4,8	3,2	3,0
Ponto 2 flange de saída direção norte-sul	3,5	4,2	1,8
Ponto 3 pedestal norte direção leste-oeste	0,6	3,4	0,4
Ponto 4 pedestal norte direção vertical	1,4	3,8	1,1
Ponto 5 viga norte direção norte-sul	1,1	3,2	0,8
Ponto 6 pedestal oeste direção leste-oeste	0,9	3,2	0,5
Ponto 7 pedestal oeste direção vertical	2,1	3,6	1,6
Ponto 8 viga oeste direção leste-oeste	0,9	3,6	0,7

**Tabela 2 – Níveis de Vibração dos Rotores do Compressor C-402 - 24 / maio/2003**

Local de Medida	Valor Global Deslocamento ( $\mu\text{m}$ ) pico a pico	Principal Componente (Hz)	Amplitude Deslocamento ( $\mu\text{m}$ ) pico a pico
Ponto 1ED Mancal traseiro do motor lado esquerdo	59,0	59,8	56,8
Ponto 1DD Mancal traseiro do motor lado direito	36,9	59,8	31,5
Ponto 2ED Mancal dianteiro do motor lado esquerdo	76,1	59,8	72,6
Ponto 2DD Mancal dianteiro do motor lado direito	93,9	59,9	83,7
Ponto 4ED Mancal traseiro do compressor lado esquerdo	17,6	59,6	8,5
Ponto 4DD Mancal traseiro do compressor lado direito	21,1	59,9	9,5

(\*) os sensores do mancal dianteiro do compressor estavam inoperantes



- Ponto 1 – Flange de saída do produto – direção leste-oeste
- Ponto 2 – Flange de saída do produto – direção norte-sul
- Ponto 3 – Pedestal norte - direção leste-oeste
- Ponto 4 – Pedestal norte - direção vertical
- Ponto 5 – Viga norte - direção norte-sul
- Ponto 6 – Pedestal oeste - direção leste-oeste
- Ponto 7 – Pedestal oeste - direção vertical
- Ponto 8 – Viga oeste - direção leste-oeste

**Figura 1 – Reator R-402 – Localização dos Pontos de Medida de Vibração**



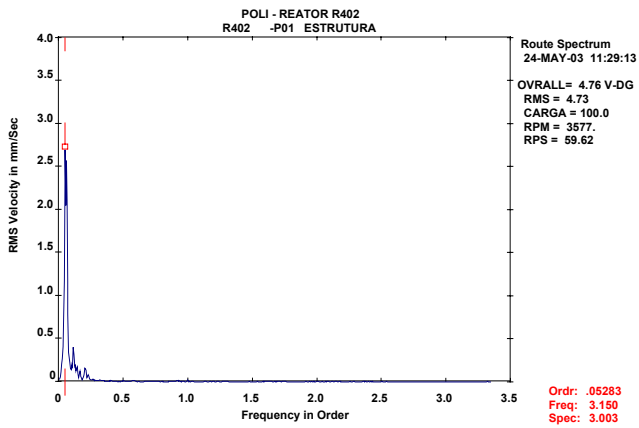


Figura 2 – Espectro de Freqüências – Ponto 1 – Flange de saída do produto – direção leste-oeste

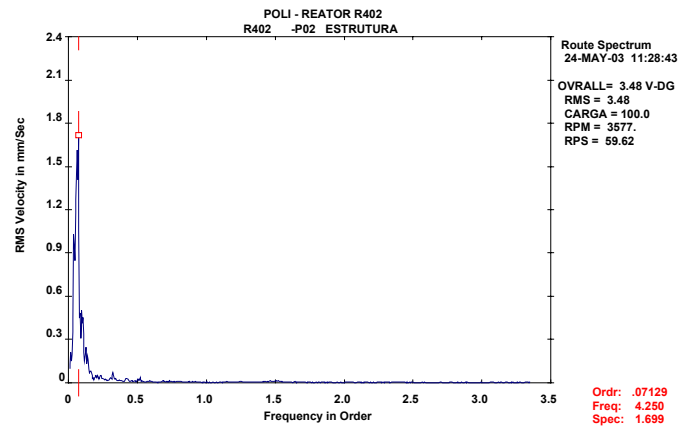


Figura 3 – Espectro de Freqüências – Ponto 2  
Flange de saída do produto – direção norte-sul

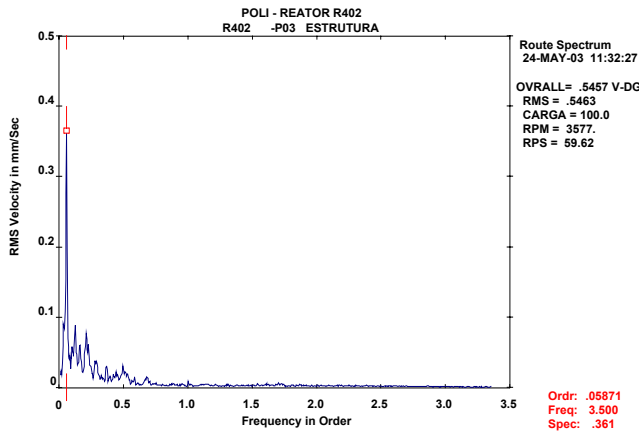


Figura 4 – Espectro de Freqüências – Ponto 3  
Pedestal norte - direção leste-oeste

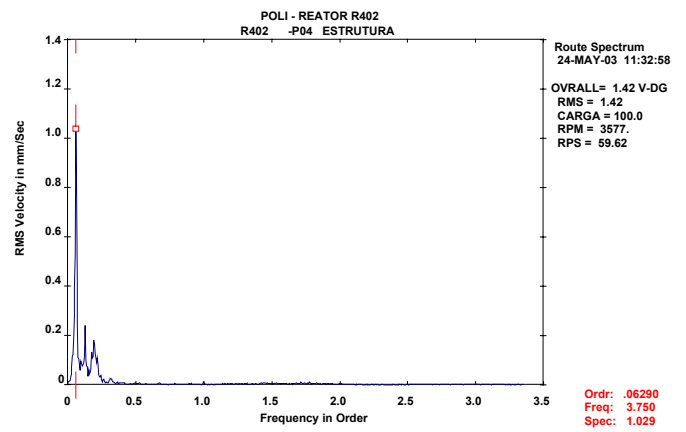


Figura 5 – Espectro de Freqüências – Ponto 4  
Pedestal norte - direção vertical

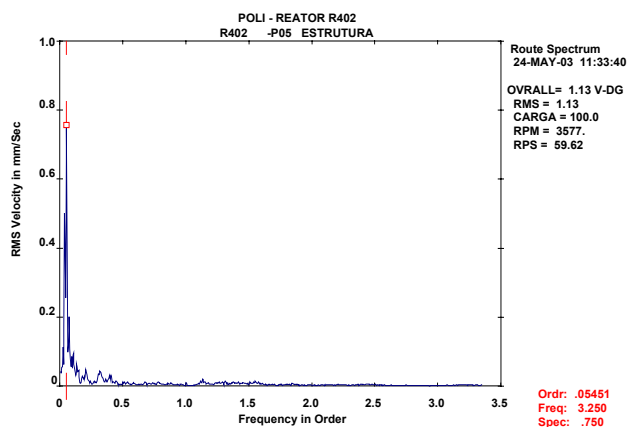


Figura 6 – Espectro de Freqüências – Ponto 5  
Viga norte - direção norte-sul

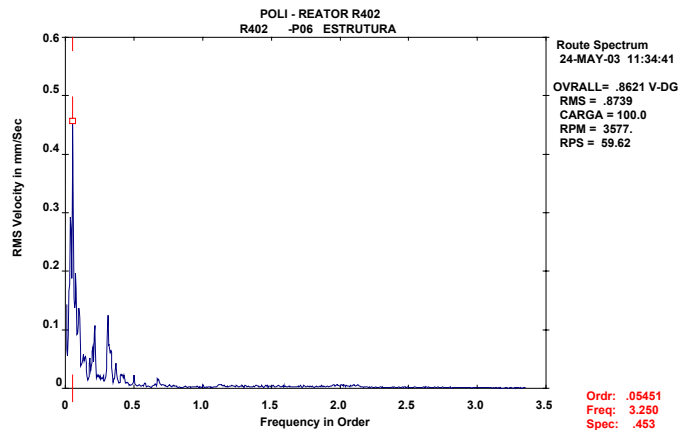


Figura 7 – Espectro de Freqüências – Ponto 6  
Pedestal oeste - direção leste-oeste

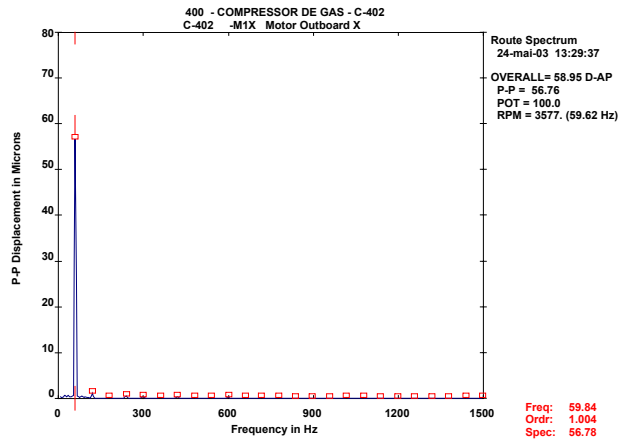


Figura 8 – Espectro de Frequências – Ponto 1ED  
 Mancal traseiro do motor – lado esquerdo

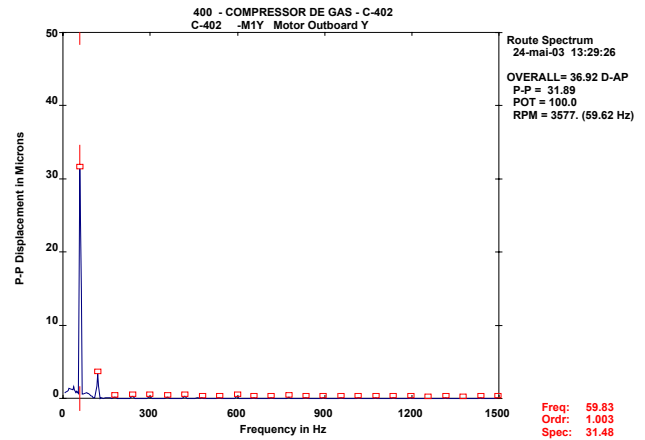


Figura 9 – Espectro de Frequências – Ponto 1DD  
 Mancal traseiro do motor – lado direito

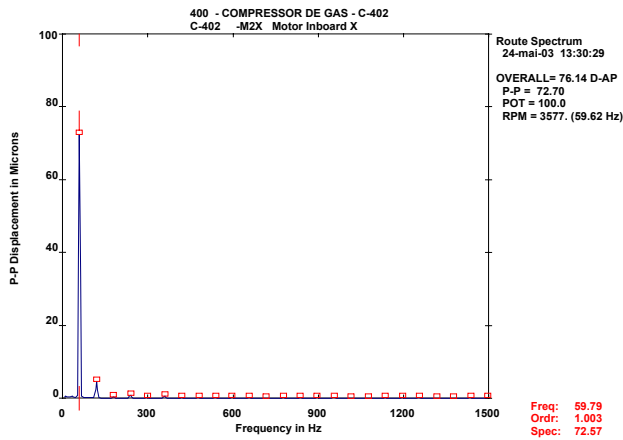


Figura 10 – Espectro de Frequências – Ponto 2ED  
 Mancal dianteiro do motor – lado esquerdo

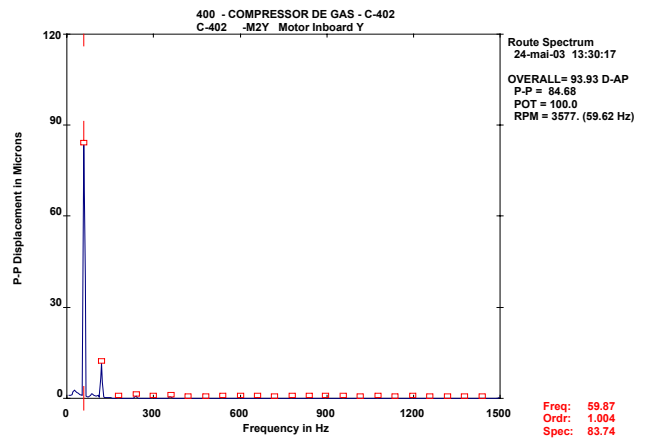


Figura 11 – Espectro de Frequências – Ponto 2DD  
 Mancal dianteiro do motor – lado direito

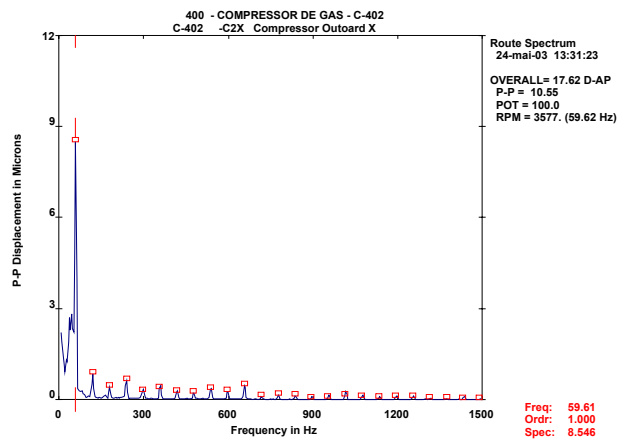


Figura 12 – Espectro de Frequências – Ponto 4ED  
 Mancal traseiro do compressor – lado esquerdo

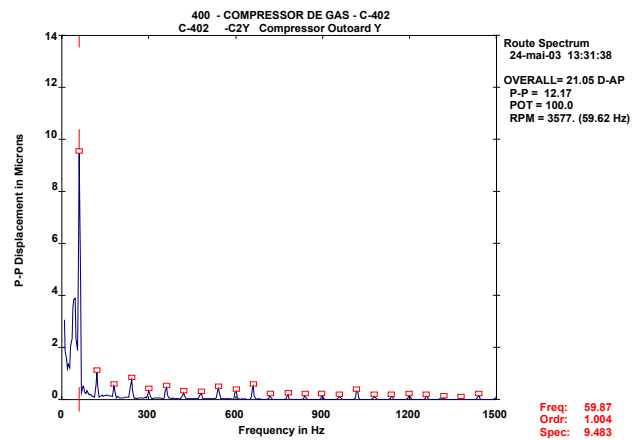


Figura 13 – Espectro de Frequências – Ponto 4DD  
 Mancal traseiro do compressor – lado direito

**ADITEQ** Relatório de Manutenção Preditiva

Data da Coleta: 03/09/03

Equipamento **AGITADOR A-301**

Data do Relatório: 04/09/03

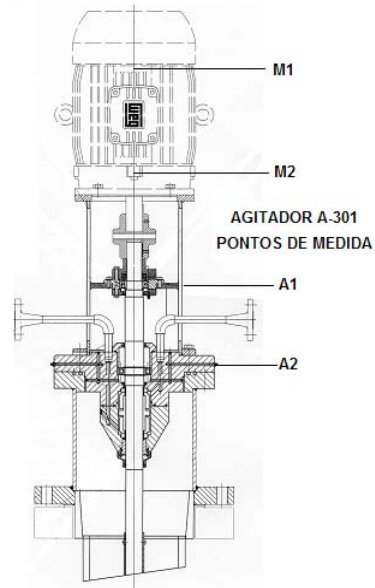
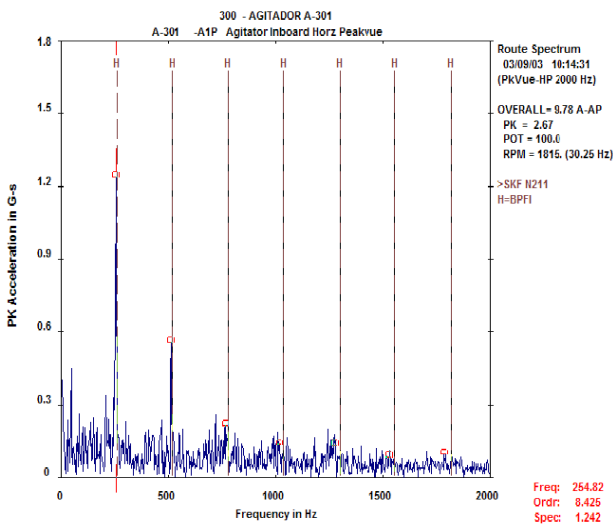
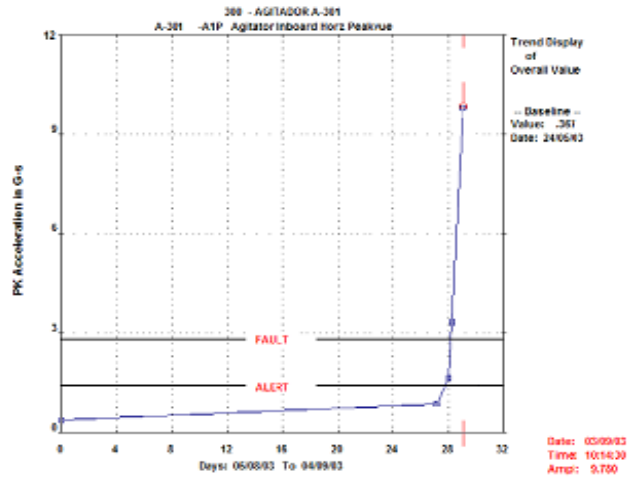
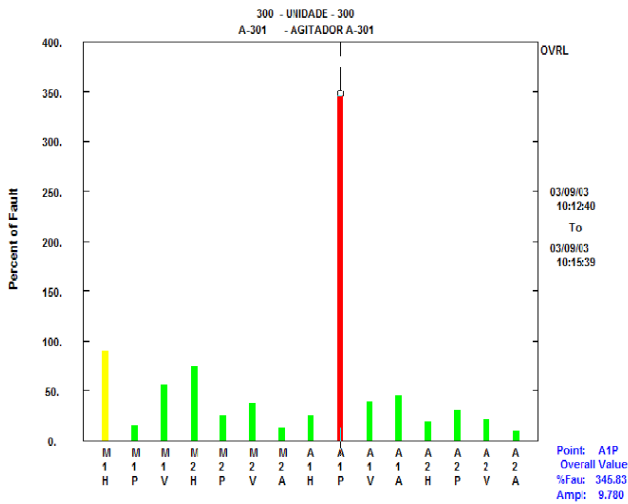
**Diagnóstico:** Características gerais de falha dos rolamentos

**Sintomas:** Aumento brusco do nível de PeakVue no ponto A1 (mancal LA do agitador). Freqüência coincide com as freqüências de falha na pista interna do rolamento N211 e da esfera do rolamento 51110.

**Ações Corretivas:**

**Prioridade:** Intervenção Imediata

- > Substituir os Rolamentos de Escora e de Guia Superior



Ordem de Serviço:

Data: / /

Responsável:

Comentários:

**Figura 14 – Relatório notificando falha do rolamento do Agitador A-301**

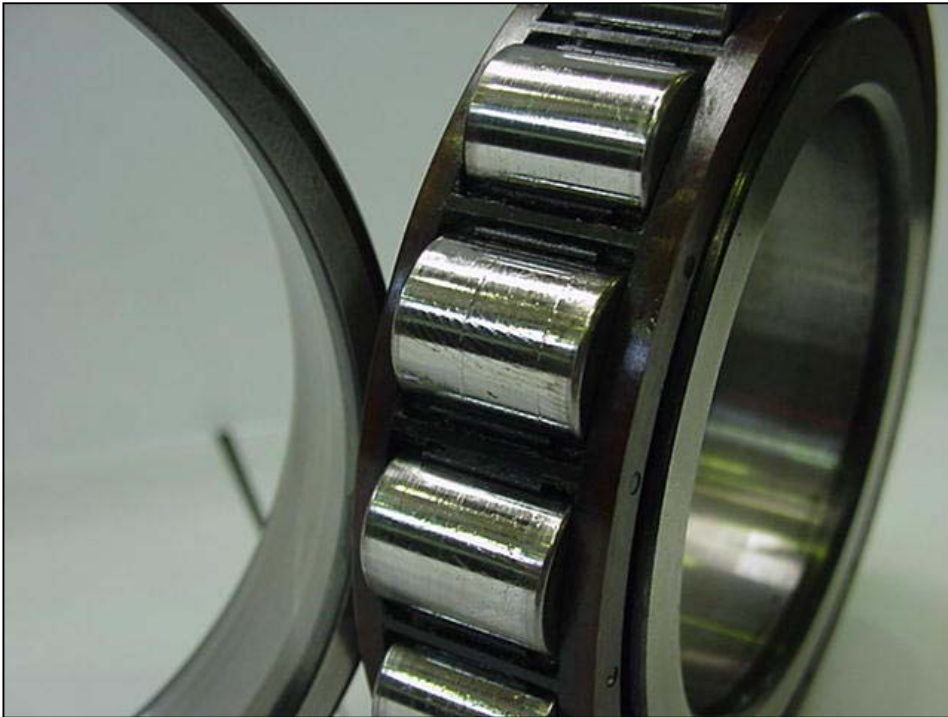


Fig. 15

Mostra a falha no rolo do Rolamento de Guia Superior N 211, confirmando o diagnóstico feito através da Análise de Vibração



Fig. 16

Mostra a falha na esfera, gaiola e na pista do Rolamento de Escora 51110, confirmando o diagnóstico feito através da Análise de Vibração

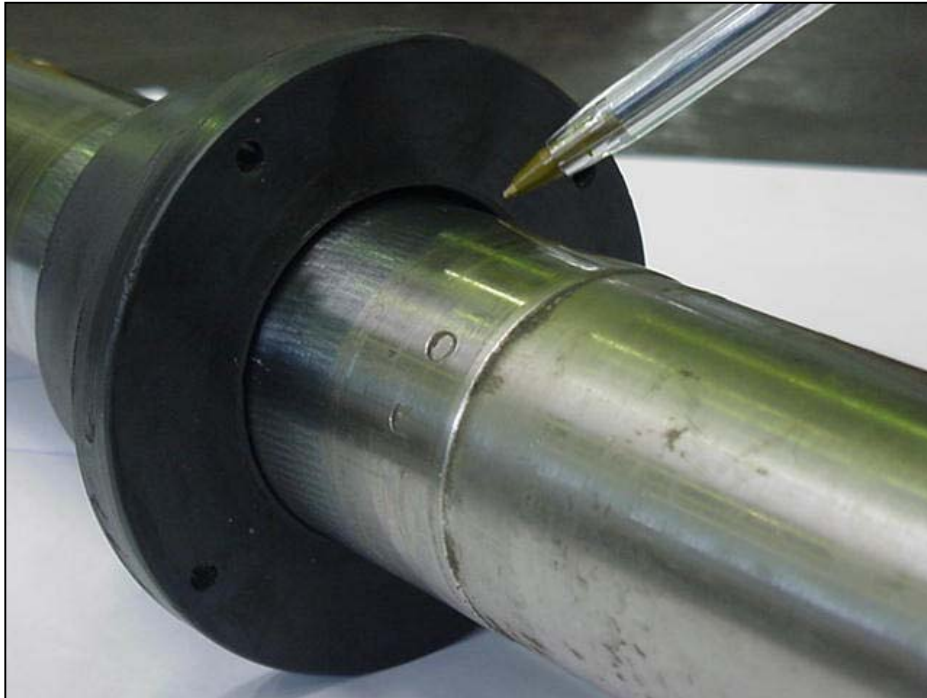


Fig. 17

Mostra a folga excessiva entre a Bucha de Guia Inferior e o Eixo

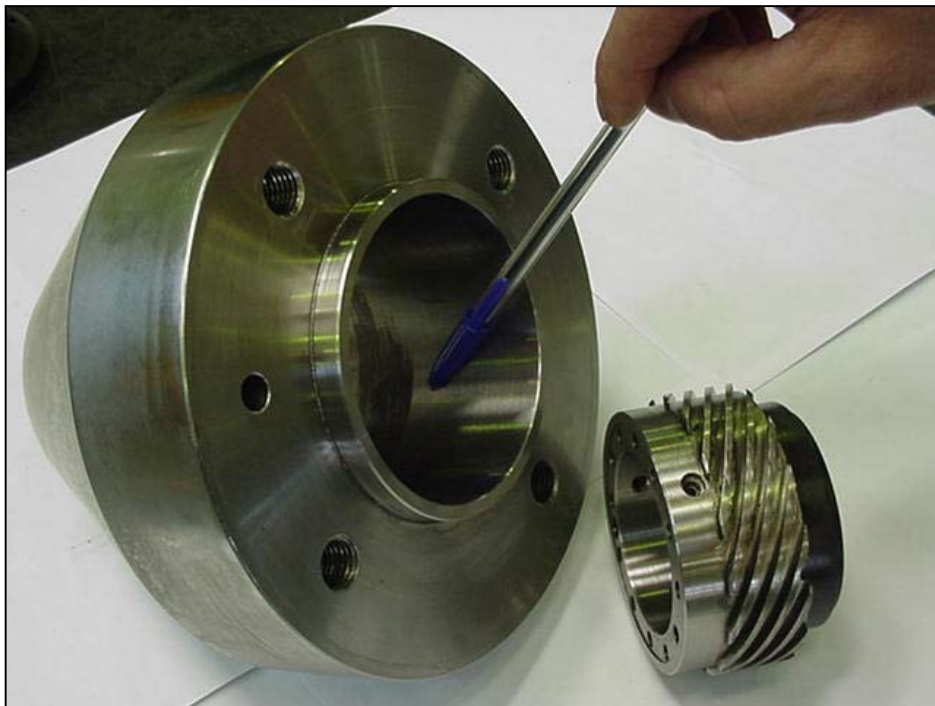


Fig 18

Mostra que já ocorria raspagem na Caixa de Selagem devido a orbitação excessiva do Eixo, causada pelo desgaste da Bucha de Guia Inferior.

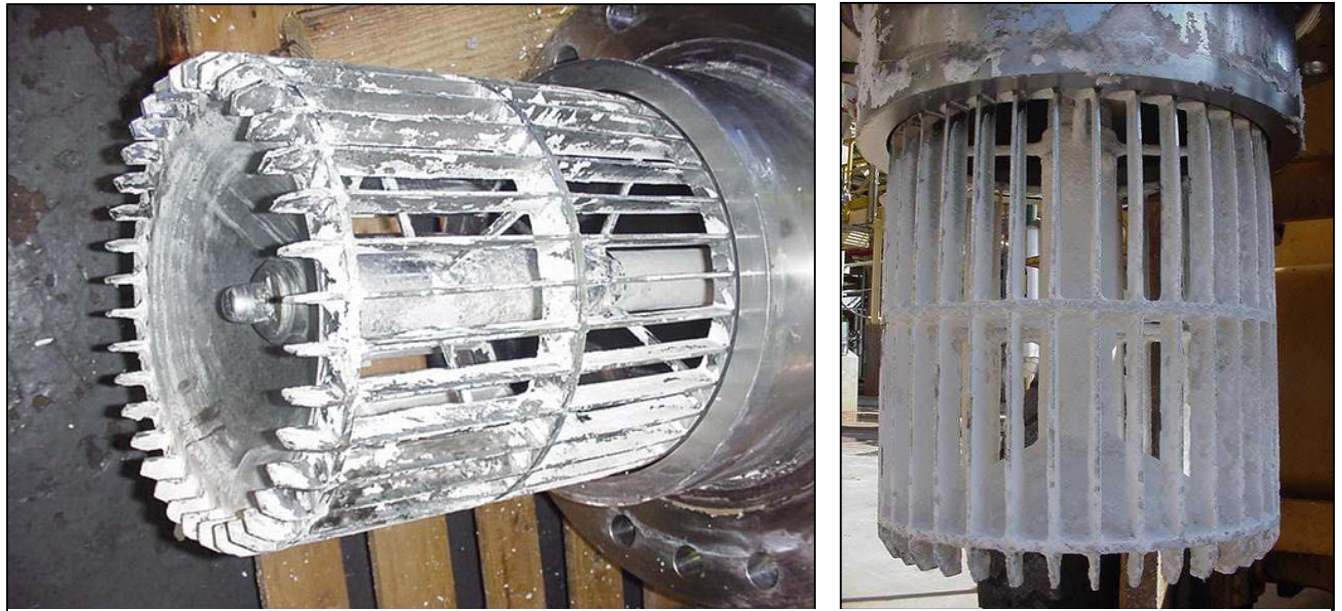
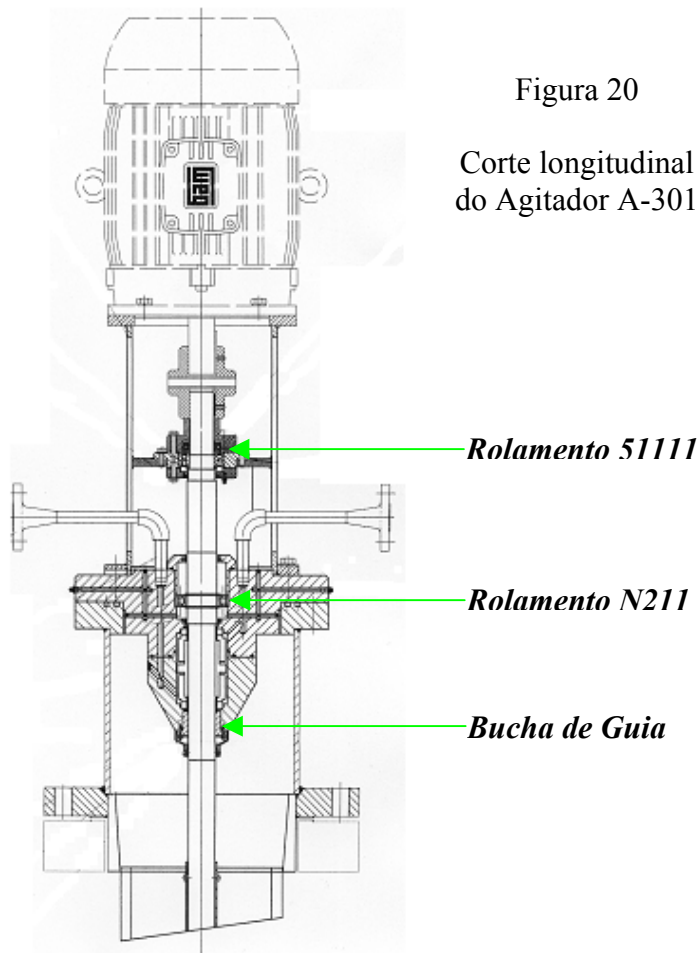


Fig 19 – Mostra o produto impregnado no Rotor e o estado do mesmo após o Hidrojateamento



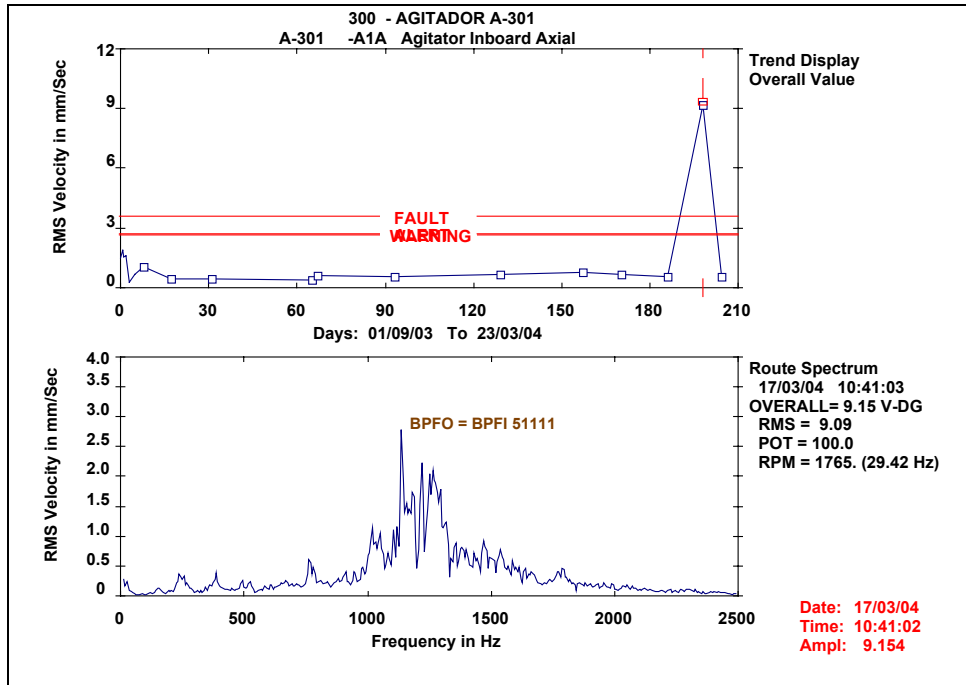


Figura 21 – Agitador A-301 – Vibrações axiais do mancal superior – 17/03/2004

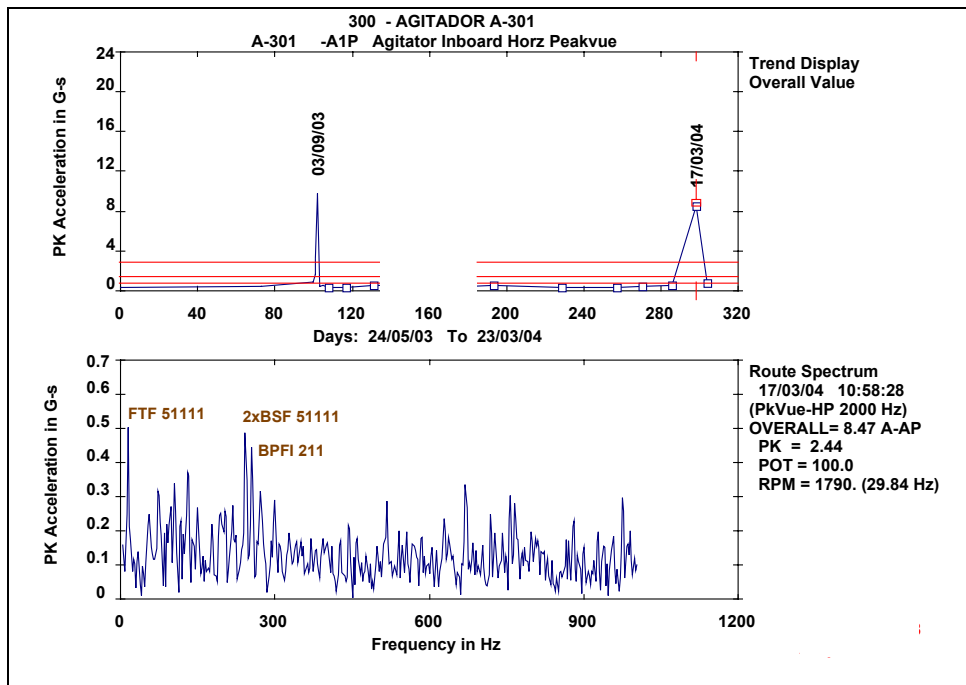


Figura 22 – Agitador A-301 – Medição de PeakVue – 17/03/2004

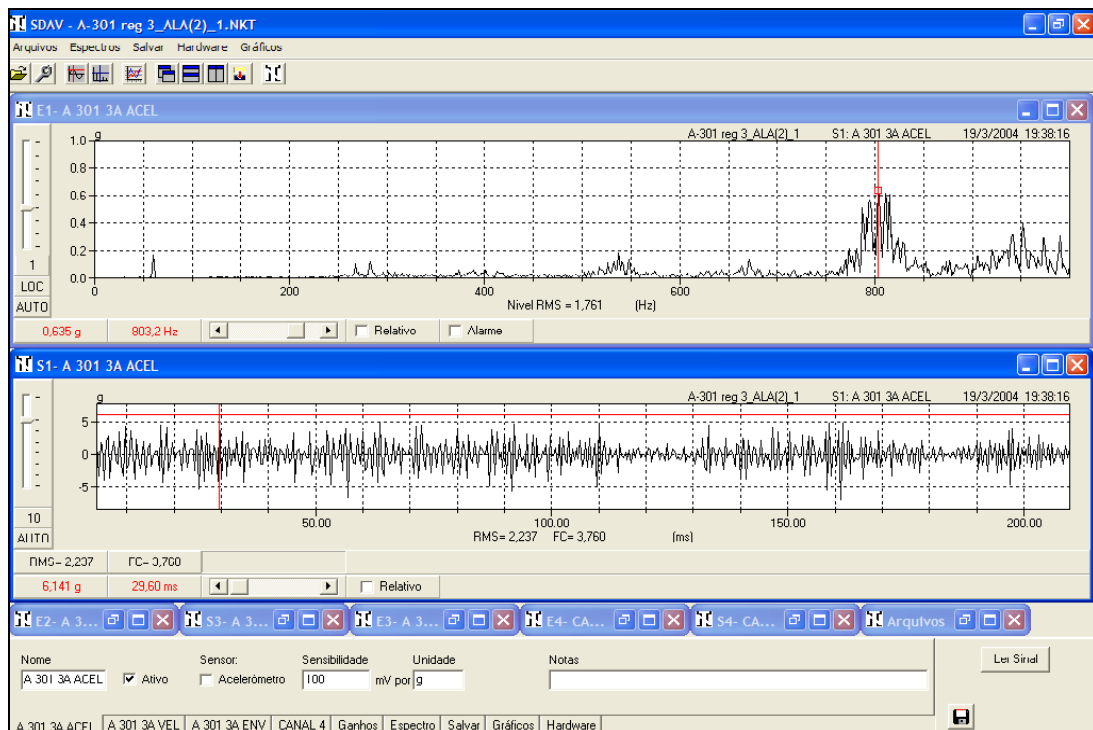
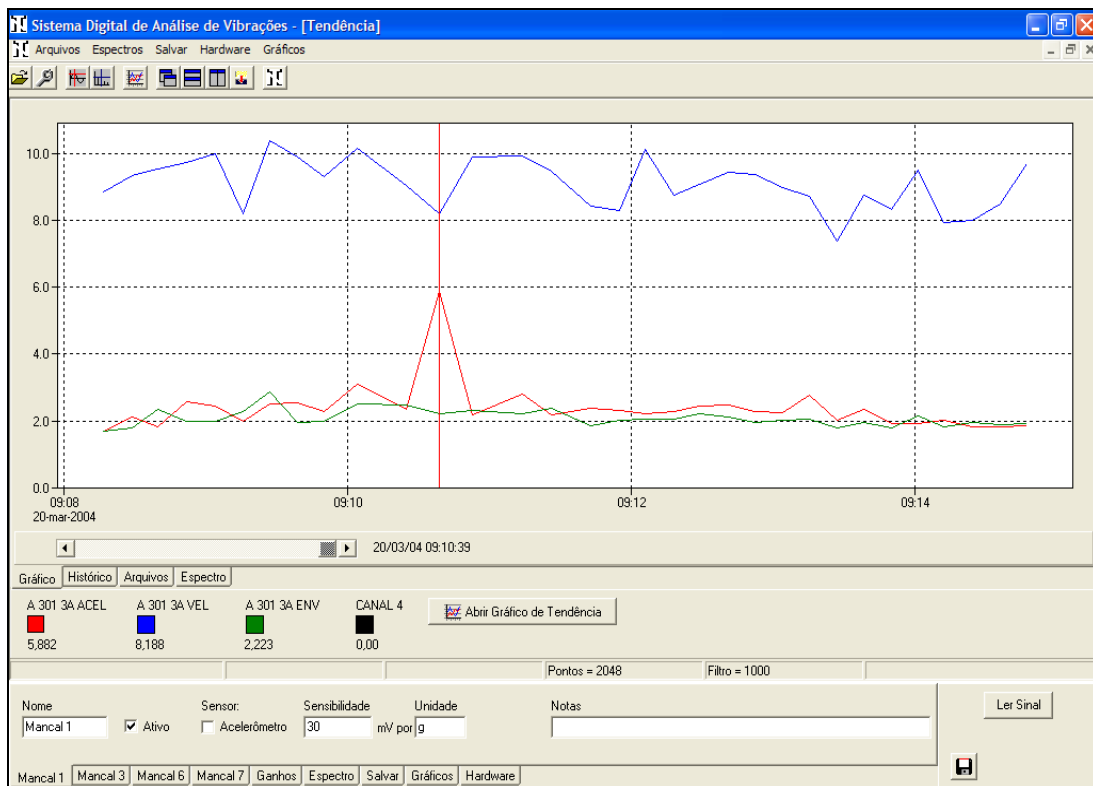


Figura 22 – Agitador A-301 – Monitoração Contínua do Mancal Axial