



Medição online de sinais de vibração e temperatura para manutenção preditiva em bomba de GLP

Categoria: Infraestrutura / Inspeção

PARTICIPANTES:



Eduardo Leandro Santos Paschini Borges	eduardo.borges@ultragaz.com.br
Everton Willian de Moraes	ew.moraes@ultragaz.com.br
Victor Valvezan	victor.valvezan@ultragaz.com.br
Luiz Filipe dos Santos Lemes	luiz.filipe@ultragaz.com.br
Esdras Nathan gomes	esdras.gomes@ultragaz.com.br
Hugo dos Reis	hugo.reis@ultragaz.com.br
Daniel Martins pereira	daniel.mpereira@ultragaz.com.br



Reinaldo Rosa

reinaldo.rosa@dynamox.net

SUMÁRIO

1- HISTÓRICO DAS EMPRESAS	4
1.1- Ultragaz	4
1.2- Dynamox	5
2- INTRODUÇÃO.....	6
3- PROBLEMA E OPORTUNIDADE.....	7
4- OBJETIVO	8
5- METODO	9
6- RESULTADOS	13
7- CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
8- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

1. BREVE HISTÓRICO DAS EMPRESAS

1.1 Ultragaz

Ultragaz é pioneira na distribuição de gás liquefeito de petróleo (Gás GLP, também conhecido como gás de cozinha) no Brasil. Operando nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Na Bahia, utilizamos a marca Brasilgás, que se tornou uma das mais importantes da região.



Figura 1: Revenda Ultragaz

Fundada em 1937 pelo imigrante austríaco Ernesto Igel, a Companhia Ultragaz é pioneira na introdução do Gás LP como gás de cozinha no Brasil. Mais de 70 anos depois, os fogões à lenha deixaram de fazer parte da vida das donas-de-casa e o mercado nacional passou a consumir, anualmente, mais de 6 milhões de toneladas do gás que é usado como combustível doméstico por cerca de 90% da população brasileira.

Foram muitas as mudanças nas últimas décadas, mas o pioneirismo continua a ser a marca da Ultragaz, empresa que deu início ao Grupo Ultra (Ultrapar Participações S/A), um dos mais sólidos conglomerados econômicos do País, cujas ações são negociadas, desde 1999, nas bolsas de valores de São Paulo e de Nova York.



Figura 2: Processo produtivo Ultragas



Figura 3: Caminhão de entrega granel Ultragas

A Ultrapar, companhia multi-negócios com atuação em varejo e distribuição especializada, por meio da Ultragas, Ipiranga, e no segmento de armazenagem para granéis líquidos, por meio da Ultracargo, é um dos maiores grupos empresariais brasileiros.

1.2 Dynamox



Figura 4: Sede da Dynamox

Sediada no Brasil, a Dynamox é um fornecedor inovador de soluções de monitoramento online e offline de condição de ativos industriais de alta tecnologia, especialista em desenvolver soluções de monitoramento de vibração e temperatura que atuam em conjunto com equipes de manutenção e confiabilidade em diferentes ramos industriais utilizando exclusivamente variáveis de vibrações (aceleração, velocidade e deslocamento) e de temperatura de contato, com uma técnica não invasiva, o ecossistema DynaPredict engloba hardware e software, sensores sem fio, contando com gateways, plataforma web e app. Além de serviços de tratamento, análise e prognóstico de dados. A Dynamox tem a capacidade de detectar degradações em ativos sujeitos a vibrações vários meses antes de se tornar uma falha catastrófica, com informações objetivas, disponíveis na nuvem fornecida pela Dynamox permitem que os operadores dos ativos industriais otimizem o desempenho e maximizem a vida útil deles. Estamos presentes em mais de 25 países.

2. INTRODUÇÃO

A indústria de gás liquefeito de petróleo (GLP) desempenha um papel crítico no fornecimento de energia e calor a milhões de pessoas em todo o mundo. Segurança, eficiência e confiabilidade são extremamente importantes neste setor, pois erros no processo de enchimento podem ter consequências graves, tanto do ponto de vista de segurança como econômico.

A manutenção reativa, predominante no cenário da indústria de envase de GLP, foca apenas no reparo do equipamento após a ocorrência de uma falha, resultando em paralisações não planejadas e custos significativos. Mesmo a manutenção preventiva baseada no tempo pode não ser o bastante para atingir os níveis necessários de disponibilidade dos ativos. Neste contexto, a implantação da manutenção preditiva revela-se uma ferramenta muito positiva, já que, baseando-se nos conceitos de Indústria 4.0 onde monitora-se o equipamento de forma online, e através do emprego dessas técnicas é possível intervir nos ativos de produção antes da falha, trazendo ganhos significativos de confiabilidade operacional e eficiência, com um custo muito menor do que o associado à intervenções baseadas no tempo. À medida que avançamos em direção a um mundo mais sustentável e eficiente, a manutenção preditiva tornar-se-á um pilar fundamental para satisfazer as crescentes exigências desta importante indústria.

3. PROBLEMA E OPORTUNIDADE

Na Ultragaz, um dos problemas que afetam a disponibilidade das linhas de produção são as frequentes falhas dos ativos de produção. Estas falhas não só perturbam os processos de produção, como também resultam em custos significativos relacionados com reparações de emergência, substituição de peças danificadas e perda de eficiência operacional. A curva PF ou curva de falha potencial é uma ferramenta essencial para analisar a confiabilidade dos ativos e implementar estratégias de manutenção preditiva. Ela é uma representação gráfica da relação entre o tempo e a detecção de possíveis falhas em um dispositivo ou sistema, mostrando dois pontos importantes: o ponto "P" (Potencial), que indica o momento em que um problema começa a se desenvolver, mas ainda não é perceptível, e o ponto "F" (Falha), que representa o momento em que a falha se torna evidente e impacta a operação do equipamento. Podemos notar que conforme o tempo passa, a performance do equipamento cai, e as técnicas de análise preditiva como a detecção por análise de vibração podem avisar sobre essa queda de performance e portanto criar a oportunidade de uma intervenção precoce, diminuindo assim o custo para manter o ativo dentro dos parâmetros de performance esperados.

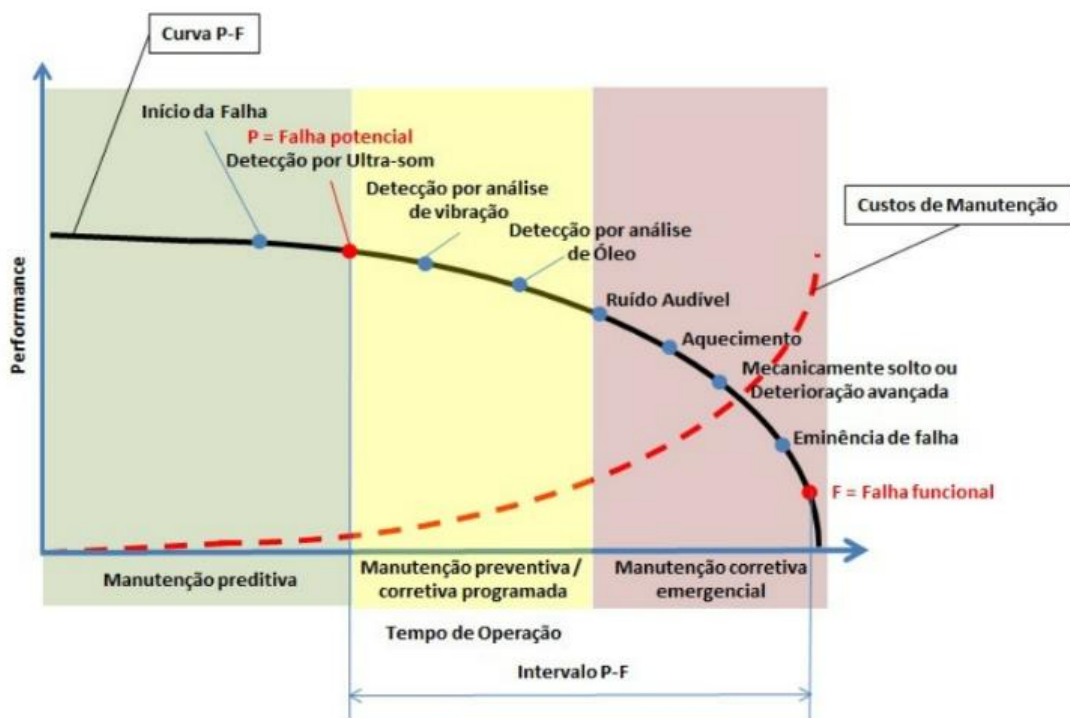


Figura 5: Curva P-F. Fonte: LinkedIn - Ricardo Vilar

Como podemos notar ao estudar a curva P-F, embora a manutenção preventiva baseada no tempo seja essencial em muitas indústrias, não é suficiente para garantir a disponibilidade dos ativos e muitas vezes não é a opção mais rentável. Isso ocorre porque os ativos não se desgastam uniformemente ao longo do tempo, mas variam com o uso e as condições operacionais. Esta abordagem pode resultar em manutenção excessiva e custos elevados e não protege contra falhas inesperadas. Além disso, a manutenção preventiva baseada no tempo não aproveita as oportunidades de otimização proporcionadas pelas tecnologias de monitoramento e análise de dados em tempo real.

Uma solução promissora para mitigar esse problema é a adoção da manutenção preditiva, com foco na análise de vibrações. A tecnologia envolve o monitoramento contínuo de vibrações em máquinas e equipamentos durante a operação normal. Quando a vibração muda de forma anormal, pode indicar desgaste, desalinhamento ou outros problemas iminentes. Isso permite que os trabalhos de manutenção preventiva sejam programados em tempo hábil e reduz a ocorrência de interrupções não planejadas que impactam negativamente a produção, reduzindo o tempo de inatividade não planejada, resultando assim em uma produção mais confiável e consistente, permitindo-nos atender melhor às demandas do mercado.

Outro benefício importante é a economia de custos. Menos avarias significam menos custos com reparações de emergência e substituição de equipamentos danificados, resultando numa poupança significativa de recursos financeiros.

4. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo:

- Utilizar um sistema de medição de vibração e temperatura com coletas automáticas e banco de dados online para detectar falhas potenciais antecipadamente, evitando assim paradas não programadas dos ativos.
- Demonstrar que a coleta automática de dados de vibração e temperatura é mais vantajosa que a coleta pontual utilizando coletor manual.

5. MÉTODO

A base escolhida para receber o projeto piloto de medição de vibração online foi a base de produção de São José dos Campos, uma base com bom nível tecnológico e uma equipe altamente preparada para receber e utilizar essa tecnologia nova.

Para o estudo de caso selecionamos a empresa Dynamox para fornecer os sensores, gateways e software de análise de vibração. O sensor escolhido foi o Dynasensor HF+, um sensor versátil, com certificação para utilização em áreas classificadas e capaz de fazer leituras de vibração e temperatura por até cinco anos antes de ser substituído. Esses sensores podem se comunicar com diretamente com smartphones ou com gateways para internet, que são responsáveis por coletar automaticamente os dados de coleta dos sensores e carregar a plataforma de análise de vibração fornecida pela Dynamox. Para este projeto utilizamos o gateway para internet, garantindo as informações sempre atualizadas na plataforma online de análise de vibração.



Figura 6: Ilustração dos componentes do sistema de coleta e monitoramento de vibração e temperatura. Fonte: Dynamox

Especificações técnicas	
Modelo	HF+
Dimensão	39 x 39 x 35 mm
Peso	73 g
Material	LEXAN™
Cor	Azul
Fixação	Colado ou Parafusado
Sinalização visual (LED)	Vermelho / Verde
Acelerômetro	MEMS triaxial
Limite de impacto do acelerômetro	10.000 g em 0,2 ms
Temperatura de operação^{1,2}	-10°C ≤ T ≤ 84°C
Temperatura de operação certificada para uso em atmosfera explosiva	-10°C ≤ T ≤ 79°C
Certificação	
Homologação / Certificação	ANATEL/CE/ACMA/FCC/IC/INMETRO
Grau de Proteção	IP66/IP68/IP69
Atmosfera Explosiva	Ex ma IIB T6 Ga Ex ta IIIC T85 °C Da
Bateria	
Tensão	3 V
Autonomia³	3 a 5 anos
Monitoramento contínuo (Telemetria)	
Intervalo de monitoramento	1 a 60 min
Métricas monitoradas *Em desenvolvimento	Aceleração RMS, Pico* e Pico a Pico*
	Velocidade RMS, Pico* e Pico a Pico*
	Deslocamento RMS, Pico* e Pico a Pico*
	Aceleração Distorção (Skewness)
	Aceleração Curtose*
	Aceleração Fator de crista (FC)*
	Aceleração Fator de crista + (FC+)*
Resolução de temperatura	0,01°C
Bandas de frequência	2 Hz a 13 kHz (configurável)
Perfis de monitoramento⁴	2 perfis
Resposta em frequência (± 3 dB)	7,6 kHz
Faixa de amplitude	Até ±16 g
Memória⁵	51.200 amostras (configurável)
Comunicação e Sistema	
Bluetooth	BLE 5.3 / 2400 – 2483,5 MHz
Alcance⁶	100 m
Potência de saída RF	0,4 dBm
Comunicação com App	Android e Ios
<p><small>1 - É possível realizar o monitoramento de ativos cuja temperatura exceda 84°C, especialmente ativos com características intermitentes e com temperatura ambiente menor que 24 °C. Entretanto, a Dynamox não fornece garantia neste casos. Condição específica para aplicação fora de atmosferas explosivas. 2 - A aplicação em temperaturas abaixo de 0°C gera impacto na autonomia da bateria. Esse efeito se agrava quanto menor a temperatura, estimando-se redução de cerca de 50% de vida útil em aplicações a -20°C. Condição específica para aplicação fora de atmosferas explosivas. 3 - Valor estimado para uma condição padrão de monitoramento com 1 ou 2 coletas espectrais diárias, intervalos de telemetria de 5 à 30 minutos e temperatura de operação entre 20°C e 60°C. 4 - Perfis de monitoramento podem ser entendidos como conjunto configurações de métricas de vibração (em velocidade, aceleração e deslocamento) em uma dada banda de frequência. 5 - Cada métrica de telemetria corresponde a alocação de uma amostra na memória. Na prática, o tempo para preenchimento da memória depende do intervalo de amostra e número de métricas configuradas. Vale lembrar que quando uma coleta de dados é realizada (App ou Gateway), a memória é esvaziada. 6 - Referência em campo aberto. A distância de comunicação Bluetooth pode variar com obstáculos, interferências e dispositivo (celular ou Gateway)</small></p>	

Figura 7: Especificações técnicas sensor HF+. Fonte: Dynamox



Figura 8: sensor HF+ . Fonte: Dynamox

Para o processo de instalação, foram escolhidos os equipamentos que causam maior impacto em caso de parada, associado à compatibilidade com as técnicas de vibração. Dessa maneira, instalamos sensores nas bombas de GLP, compressores de GLP e compressores de ar. Para melhores resultados na análise de vibração, é necessária a medição de vários pontos dos equipamentos, normalmente associados à presença de mancais e rolamentos. Como exemplo para este trabalho, instalamos quatro sensores HF+ no conjunto da bomba de GLP: dois no motor de acionamento e dois na bomba em si, em ambos os casos um sensor sobre o rolamento do lado acoplado (LA) e um sensor sobre o rolamento do lado oposto ao acoplado (LOA). A instalação desse tipo de sensor deve ser sempre feita em áreas firmes do equipamento com boa rigidez mecânica, evitando por exemplo a instalação em tampas removíveis ou aletas.

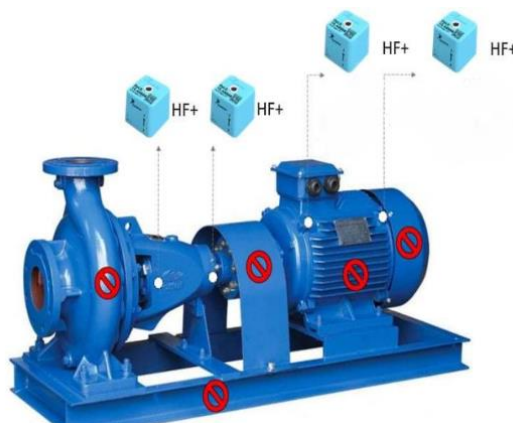


Figura 9: exemplo de locais de instalação do sensor de vibração. Fonte: Dynamox



Figura 10: Sensores instalados em conjunto de motor e bomba de GLP

A plataforma de análise de vibração *Dynapredict* disponibiliza o histórico de todas as medidas de cada sensor, organizadas através de uma árvore de ativos. A plataforma também disponibiliza a possibilidade de cadastro de alarmes para níveis globais de vibração para sensores individuais. Além disso, o recurso mais poderoso da plataforma é a análise espectral, cujos gráficos apresentam os dados nos domínios de aceleração, velocidade e deslocamento. A comparação entre espectrais é possível, permitindo a escolha de uma referencial. Um banco de rolamentos com mais de 70 mil modelos cadastrados é disponibilizado. Na análise espectral é possível utilizar outras ferramentas como espectros no domínio da frequência e forma de onda, envelope com diversas faixas de filtro, Filtros passa-alta, passa-baixa e passa-banda, Cursores e harmônicos diversos, além de escala logarítmica para destacar frequências em baixa rotação.

Dessa maneira, a plataforma apresenta todos os recursos necessários para um analista de vibração trabalhar os dados e encontrar as falhas potenciais nos equipamentos em tempo hábil. Na figura abaixo podemos ver por exemplo os níveis globais nos domínios da velocidade e da aceleração, bem como as linhas horizontais amarelas e vermelhas indicando os níveis de alarme configurados para aquele sensor, com amarelo sendo um alarme de primeiro nível (atenção) e vermelho o segundo nível (crítico).

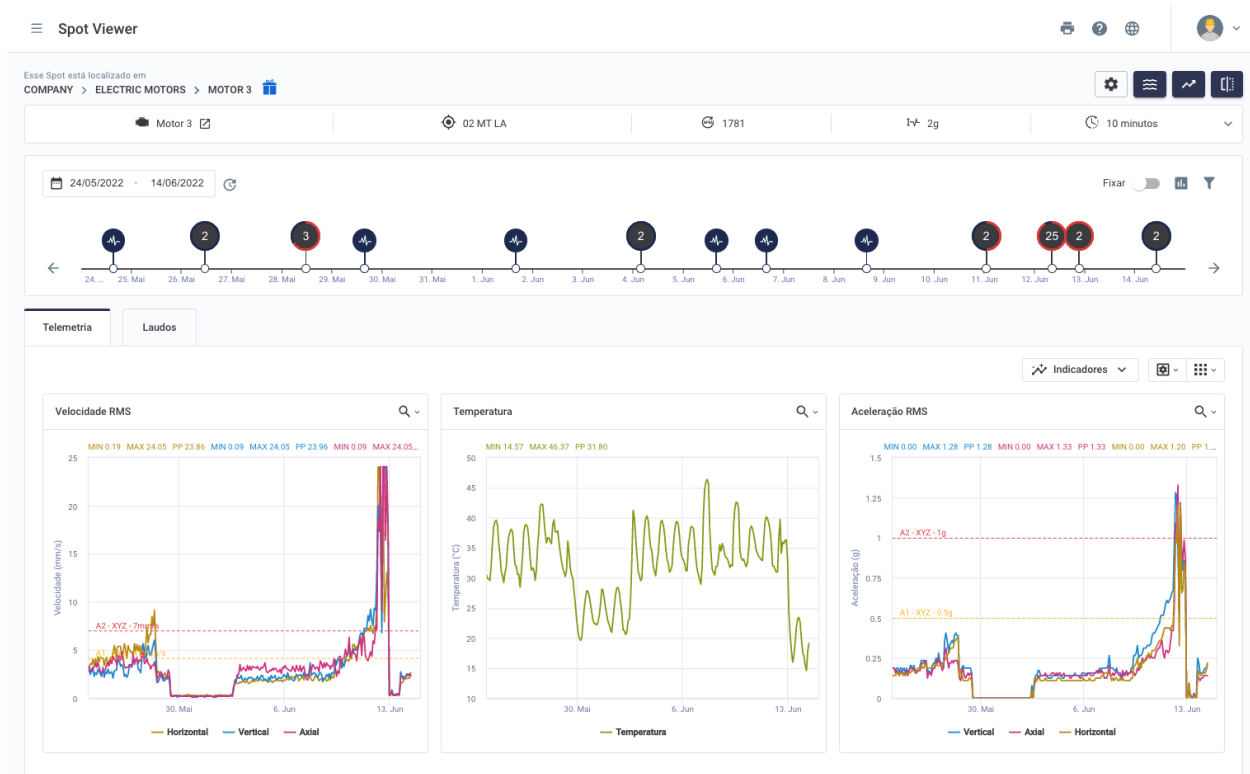


Figura 11: Exemplo de visualização do dados na plataforma Dynapredict. Fonte: Dynamox

6. RESULTADOS

Para este trabalho consideraremos como exemplo apenas a bomba de GLP da base de São José dos Campos. Após a configuração dos níveis de alarme, obtivemos os seguintes níveis globais de vibração para a bomba entre os dias 11 e 15 de Setembro:

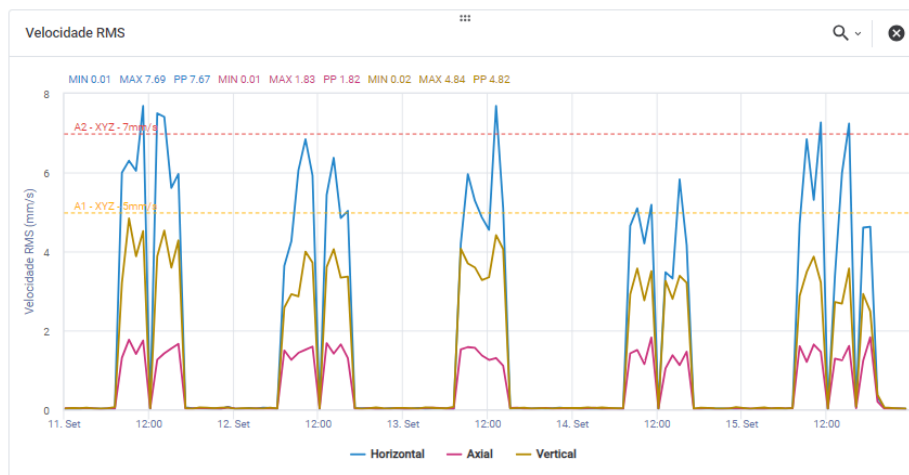


Figura 12: Níveis globais de vibração em velocidade RMS (mm/s) do lado acoplado da bomba de GLP antes da intervenção

Podemos notar que o nível de vibração no eixo horizontal trabalhou todo o período acima do nível de alarme 1 (amarelo) de 5 mm/s, inclusive ultrapassando em vários momentos o nível 2 de alarme (vermelho) de 7 mm/s. Frente a essa condição, foi aberto o espectro de vibração do equipamento para uma análise mais profunda das possíveis causas dessa vibração excessiva.

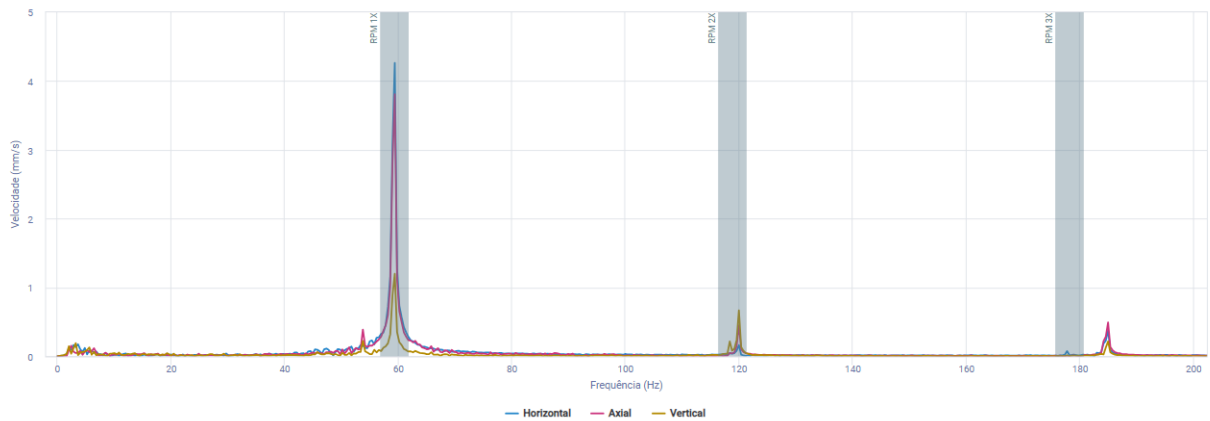


Figura 13: Espectro de vibração motor da bomba de GLP, lado acoplado. Fonte: Plataforma Dynapredict

Na figura acima, as áreas destacadas em cinza representam a rotação do motor e seus primeiros harmônicos. Dessa maneira, analisando o espectro temos uma componente na direção axial e outra na direção horizontal com amplitudes altas em 1x a rotação do equipamento, seguido de outra componente presente em 2x a rotação do equipamento (segundo harmônico), e uma terceira componente próxima à 3x a rotação do equipamento (terceiro harmônico). Considerando os materiais de referência de análise de vibração, essa forma de espectro é característica de um desalinhamento angular no acoplamento entre o motor e bomba de GLP, conforme podemos observar na ilustração abaixo:

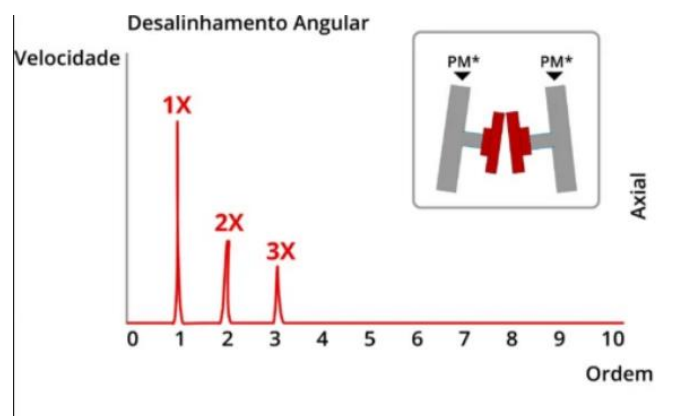


Figura 14: Espectro típico de desalinhamento angular. Fonte: Dynamox

Dada esse diagnóstico, a equipe local seguiu com o alinhamento do equipamento. Na tabela abaixo encontram-se os valores registrados na leitura final do alinhamento. Todos os valores estão dentro das referências e orientações para o equipamento. O equipamento utilizado para realizar o trabalho foi o alinhador a laser ALIGNEO da PRUFTECHNIK.

Motor Tag3005 / Bomba Tag3009		Alinhamento a Laser	
Alinhamento entre Eixos		Antes (mm)	Depois (mm)
Vertical	Angular	0,99	- 0,05
	Paralelo	0,03	- 0,07
Horizontal	Angular	0,43	0,00
	Paralelo	0,17	- 0,03

Figura 15: Resultados do alinhamento. Fonte: Autor

O alinhamento atingido não foi perfeito devido à limitações da estrutura de fixação do equipamento. Apesar disso, notamos claramente que houve uma melhora significativa dos valores de alinhamento. A intervenção de alinhamento foi executada no dia 18/09/2023, e podemos notar a diferença nos níveis globais de vibração do equipamento conforme a figura abaixo:

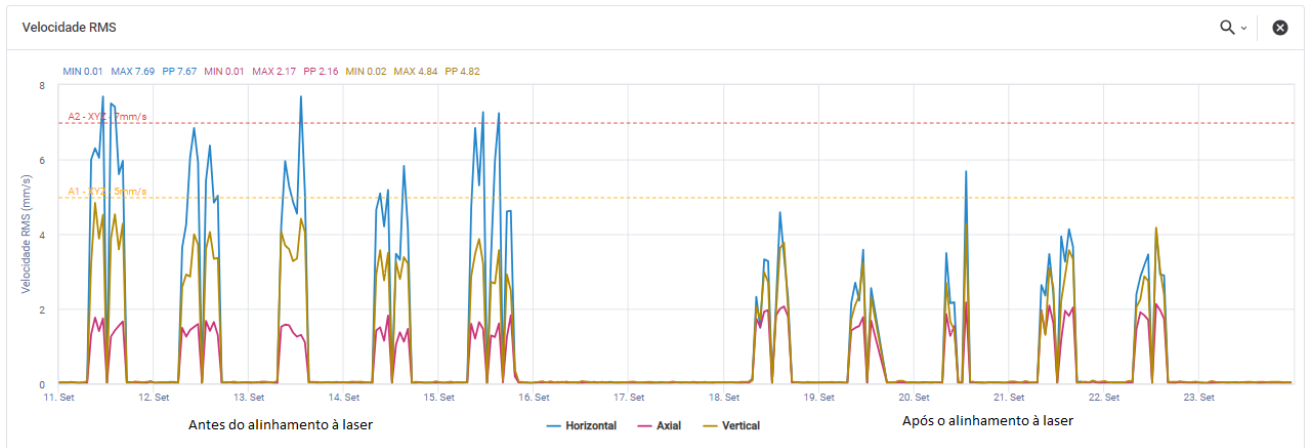


Figura 16: Níveis globais de vibração do lado acoplado da bomba de GLP antes e depois da intervenção de alinhamento. fonte: Plataforma Dynapredict.

Após a intervenção, os níveis globais de vibração do lado acoplado da bomba de GLP ficaram abaixo dos níveis de alarme, com uma diferença expressiva em relação ao cenário antes do alinhamento. Vale destacar que uma manutenção corretiva emergencial nesse modelo de bomba de GLP (KSB Multi-Tec 65/3) tem um custo estimado de R\$35.000,00 em representante homologados, sem levarmos em conta a perda de disponibilidade da linha de produção em caso de falha desse ativo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou a importância da análise de vibrações em tempo real como ferramenta essencial na manutenção de ativos críticos. Um estudo de caso de uma bomba de gás liquefeito de petróleo (GLP) com um acoplamento que apresentava desalinhamento angular foi utilizado para demonstrar como um sistema de monitoramento contínuo pode beneficiar significativamente a eficiência operacional e a confiabilidade da planta.

Este sistema permite o diagnóstico precoce de falhas potenciais, permitindo assim que as equipes de manutenção intervenham antes que as falhas se tornem críticas, evitando paradas não planejadas, reduzindo custos e garantindo a disponibilidade dos equipamentos. Isto destaca a importância de uma abordagem de manutenção proativa, onde prevenir erros é tão importante quanto corrigi-los, poupando assim não só recursos financeiros, mas também contribuindo para operações mais sustentáveis e confiáveis. Destacamos que para tirar o máximo proveito desta tecnologia, é essencial ter processos eficazes em vigor para análise de dados, manutenção preditiva e planejamento de intervenções.

À medida que avançamos, a capacidade de monitorar ativos de forma contínua e proativa se torna uma vantagem competitiva fundamental. Portanto, implementar um sistema de monitoramento como o analisado neste trabalho é uma decisão estratégica que coloca sua empresa no caminho da excelência operacional e da otimização de recursos.

8. REFERÊNCIAS

Rausand, M., & Vatn, J. (2004). Reliability-centered maintenance. John Wiley & Sons.

Moubray, J. (1997). Reliability-centered maintenance. Industrial Press Inc.

Mobley, R. K. (2002). An introduction to predictive maintenance (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

Duffuaa, S. O., & Raouf, A. (2003). Preventive maintenance. In Handbook of Maintenance Management and Engineering (pp. 295-330). Springer.

Ramesh Gulati; **Maintenance & Reliability Best Practices**; Industrial Press Inc, 2009.

Sifonte, Jesús R. ; Reyes-Picknell, James V.; **Reliability Centered Maintenance – Reengineered**; CRC Press Taylor & Francis Group, LLC, 2017.

Vilar, Ricardo. Curva P-F: Entenda como funciona e previna falhas funcionais dos ativos através das técnicas de manutenção preditiva. LinkedIn, [URL: <https://www.linkedin.com/pulse/curva-p-f-entenda-como-funciona-e-previna-falhas-funcionais-vilar/?originalSubdomain=pt>]. Acessado em 21/09/2023.