

INFLUÊNCIA DA EXISTÊNCIA DE HARMÔNICOS NA REDE ELÉTRICA SOBRE OS NÍVEIS DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM MOTORES ELÉTRICOS

Robson da Silva Magalhães

Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia – CIMATEC, Unidade do SENAI DR/BA. Av. Orlando Gomes, nº 1845, Piatã, Salvador-Ba. E-mail: robsonm@cimatec.fieb.org.br.

Antonio Fernando Abreu de Andrade

Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia – CIMATEC, Unidade do SENAI DR/BA. Av. Orlando Gomes, nº 1845, Piatã, Salvador-Ba. E-mail: afaandrade@cimatec.fieb.org.br.

Resumo. *O propósito deste trabalho é, através de um exemplo prático, apresentar a influência da existência de harmônicos na rede elétrica sobre os níveis de vibrações mecânicas em motores elétricos.*

Sabe-se que a presença de tais harmônicos está diretamente ligada à qualidade da energia elétrica da rede e podem ocasionar alterações no comportamento de motores elétricos, sobretudo no que diz respeito as suas oscilações mecânicas.

Tais oscilações acabam afetando as vibrações mecânicas presentes nos equipamentos de uma planta (no nosso caso, um motor elétrico), ocasionando um comportamento característico de determinados defeitos, que não estão ocorrendo na prática. O sinal de vibração passa a trazer informações que dificultam e interferem no diagnóstico.

Para solucionar estas questões são realizadas algumas medidas e testes, que permitem detectar tanto as indicações falsas de falhas inexistentes nesta análise, como também, a causa real da presença de níveis tão elevados de vibrações em um motor elétrico com pouco tempo de uso, completamente alinhado com o eixo da bomba e operando em condições normais de carga.

Palavras-chave: Harmônicos, Vibrações, Manutenção.

1. INTRODUÇÃO

Ultimamente, temos acompanhado e participado de um amplo debate acerca das metodologias aplicadas no controle dos Elementos de Sistemas Produtivos visando a sua operação com confiabilidade e disponibilidade. Nessas metodologias são apresentadas muitas técnicas que variam desde o monitoramento da vibração até a termografia (imagens em infravermelho) visando à predição de falhas desses elementos e controle da sua condição de operação.

A Manutenção Preditiva tem sido reconhecida como uma maneira eficaz de promover uma otimização no Gerenciamento da Manutenção de sistemas eletromecânicos. Em qualquer sistema eletromecânico, cada vez mais se torna imprescindível à garantia e certeza de sua disponibilidade no cumprimento de sua função, portanto, a meta básica de um programa de manutenção preditiva é monitorar tendências que permitem fazer com precisão, previsões antecipadas de falhas. Tais indicações antecipadas possibilitam ao sistema de manutenção oportunidades para:

- Prevenir-se contra os elevados custos de manutenção por falhas inesperadas;
- Prolongar a vida do equipamento para que atinja a sua vida útil;

- Pela previsibilidade do uso de determinado componente, minimizar o estoque de sobressalentes, aproximando-se a um ciclo de aquisição "just in time".

A vibração tem haver com oscilação, movimento repetitivo, que na maioria dos casos provocam danos nas máquinas e estruturas onde ocorrem. Medi-la significa a possibilidade de identificar sua origem e aliviar sua influência. A eficácia do diagnóstico preditivo por análise de vibração depende diretamente da qualidade na execução de cada uma de suas fases: Coleta de dados; interpretação dos dados; avaliação da severidade dos resultados; traçado da curva de tendência; definição do momento coerente para intervenção.

Observando um espectro de vibração obtemos um conjunto de informações que nos permitem diagnosticar, de maneira precisa, possíveis falhas em um dado equipamento. Alguns destes defeitos, como desalinhamento, desbalanceamento, folgas, defeitos em rolamentos, em engrenagens, são identificados observando-se as freqüências de rotação da máquina e seus harmônicos, e as demais freqüências características. (SÜDMERSEN, 1995).

Ao analisarmos um caso prático que ilustra como um diagnóstico preditivo pode ser influenciado por variantes não previstas na coleta de dados, observamos que a presença de harmônicos na rede elétrica, causam alterações na forma do espectro de vibração em motores elétricos, contribuindo para mascarar o diagnóstico dos defeitos e exigindo uma criteriosa interpretação dos dados coletados, para identificação da real fonte de excitação.

A qualidade de energia elétrica pode ser entendida como a ausência relativa de variações da tensão de alimentação. O grupo referente a oscilações de tensão compreende os distúrbios tipo: Impulso, Oscilações Transitórias, Variações no Valor Eficaz (de curta ou longa duração), Desequilíbrio de Tensão e Distorções na Forma de Onda. Estas, por sua vez, representam desvios em regime da forma de onda, em relação à onda teórica puramente senoidal, causado basicamente por conversores trifásicos que proporcionam curto-circuito momentâneo entre fases; Interferência Eletromagnética: ruído de alta freqüência presente na tensão devido à circulação dos componentes harmônicos oriundos dos conversores comutados que operam em alta freqüência, e que podem interferir na operação adequada de outros equipamentos conectados à mesma rede (por exemplo: Motores Elétricos). Em muitas plantas industriais a presença de tais componentes elétricos ocasiona a diminuição desta qualidade de energia, ou seja, provoca oscilações de freqüência de rede que influenciam severamente na amplitude das vibrações mecânicas presentes em motores elétricos, contribuindo para diminuir sua vida útil e aumentar os níveis globais de vibrações que são transmitidas para os demais equipamentos, como bombas, compressores, etc. (MAGALHÃES, 2003).

A seguir apresentaremos os resultados da análise realizada em um motor elétrico, ilustrando como um diagnóstico preditivo pode ser influenciado por variantes não previstas na coleta de dados. Essas variantes, que nesse caso específico foram os harmônicos na rede elétrica, só puderam ser identificadas em uma criteriosa interpretação dos dados coletados.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Coleta de Dados

Na escolha dos pontos para coleta do sinal de vibração devemos levar em consideração a abrangência do diagnóstico requerido e o fato de termos, ou não, padrões de referência, como por exemplo: "medidas anteriormente realizadas no equipamento".

O caso aqui apresentado se refere a um diagnóstico realizado em um motor elétrico que apresentava elevado nível de vibração, que era transmitido para uma bomba centrífuga e para sua tubulação de saída. Nesse caso, foram considerados como fatos relevantes:

- O motor era novo (menos de um ano de uso);
- O motor aciona uma bomba centrífuga e o conjunto foi, originalmente, montado no campo com a base fornecida pelo fabricante, sem alteração do alinhamento original.

- Os primeiros sintomas da elevada vibração foi surgimento de trincas em tomadas de manômetros (tubulação de descarga da bomba).
- Com o agravamento da vibração, foram substituídos os rolamentos do motor e da bomba. Ocasião em que foi feito novo alinhamento. Essas ações não abaixaram os níveis de vibração.
- O conjunto gira a 3530 rpm – nominal (58,83 Hz), muito próximo a freqüência da rede (60 Hz).
- A empresa, proprietária do conjunto rotativo, indicou-nos esse equipamento como crítico ao processo, podendo influenciar na qualidade do produto final.

Para esse equipamento, a escolha da localização dos pontos de coleta do sinal de vibração levou em consideração aspectos como:

- Facilidade de fixação do sensor.
- Proximidade de fontes de excitação das freqüências características (Rolamentos, alinhamento, desbalanceamento, etc).
- Condições de acesso ao ponto.

Os pontos escolhidos estão ilustrados na Fig. (1).

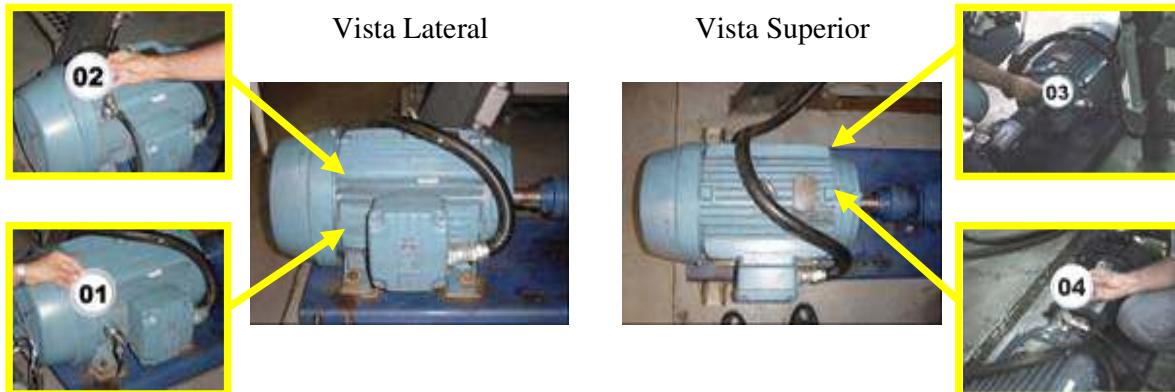


Figura 1. Localização dos pontos de coleta de dados.

Com o objetivo de melhor retratarmos as condições dos componentes desse equipamento monitorado, tomamos duas medidas em cada ponto, utilizando para tanto um coletor de dados e dois acelerômetros de base magnética com uma sensibilidade de 100 mV/g (+/- 5%) e uma faixa de freqüência de 1 Hz – 12 kHz.

- Uma medida do sinal no tempo e espectro para baixas freqüências: “zoom”.
- Uma medida do sinal no tempo e espectro para freqüências superiores.

2.2. Interpretação dos Dados

Com a observação do sinal de vibração no espectro de freqüências, apresentado na Fig. (2) em escala logarítmica, encontrou-se a ocorrência de muitos harmônicos da rotação nominal do equipamento. Essa característica é um forte indicativo da existência de:

- Folgas mecânicas com pequeno desalinhamento, e/ou;
- Problemas elétricos no motor (em função da freqüência da rede, 60 Hz, estar muito próxima à freqüência de rotação do motor, 58,83 Hz, os harmônicos observados no

espectro não seriam harmônicos causados por desalinhamento com folgas, mas sim consequência de um desequilíbrio no campo magnético do motor).

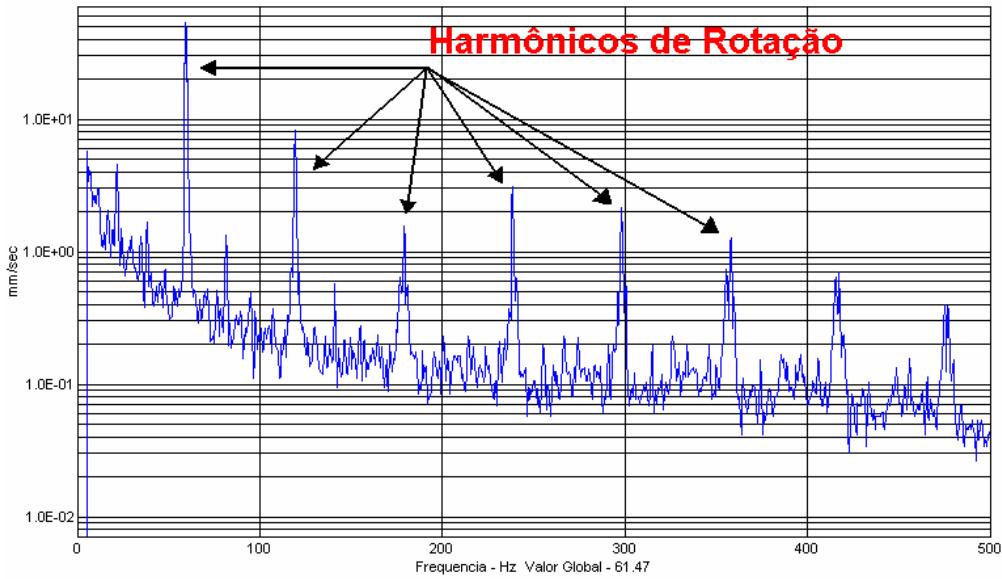


Figura 2. Espectro ponto 04 (vertical do motor).

Esse formato de espectro foi encontrado em todos os pontos medidos.

Para a determinação confiável da causa fundamental para esses níveis de vibração, observamos outras características, como:

2.2.1. A Forma do Espectro na Medida Axial

A observação do espectro do sinal de vibração, no ponto axial do motor, Fig (3), nos mostra valores globais superiores aos encontrados nos pontos radiais (pontos 03 e 04 do motor - lado do acionamento).

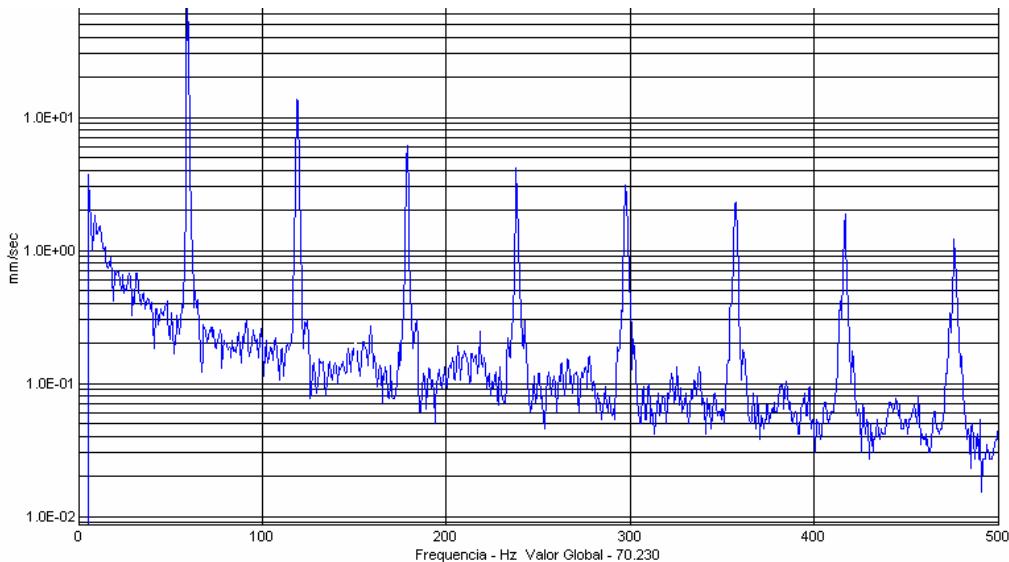


Figura 3. Espectro medida axial do motor elétrico.

O espectro também apresenta o mesmo formato, mostrado anteriormente na Fig. (2), confirmando a indicação de folgas mecânicas com pequeno desalinhamento e/ou problemas elétricos no motor.

2.2.2. Características da Órbita

Também observamos as características dos formatos das órbitas formadas pelos pares de pontos (01 x 02) e (03 x 04).

Conforme observamos na Fig. (4) e Fig. (5), o surgimento de órbitas elípticas também é característica de desalinhamento ou de problemas elétricos no motor (especificamente nesse caso, aonde o motor gira a uma freqüência muito próxima da freqüência da rede).(MAGALHÃES, 2003).

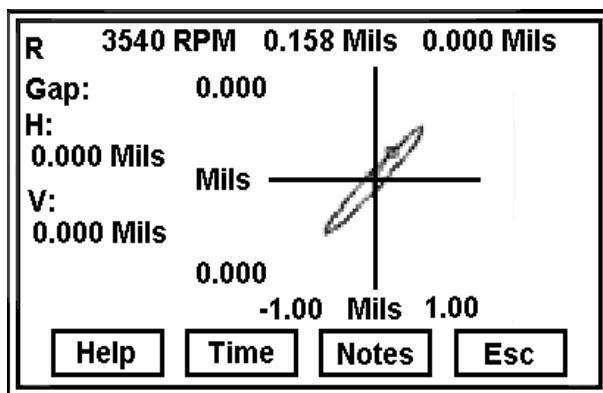


Figura 04.
Órbita pontos 01 e 02 (Motor LNA)

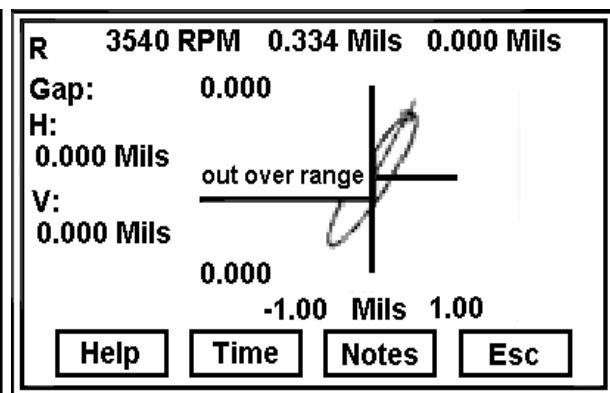


Figura 05.
Órbita pontos 03 e 04 (Motor LA)

2.3. Consolidação do Diagnóstico

Todas as observações, até aqui realizadas, são características típicas das duas possibilidades de diagnóstico apresentadas. Para evidenciarmos a causa fundamental da vibração desse equipamento entre folgas mecânicas com pequeno desalinhamento e problemas elétricos no motor, realizamos dois testes padrões:

- Medida do alinhamento do conjunto.
- Avaliação da mudança do espectro com desligamento do motor desacoplado (em vazio).

2.3.1. Alinhamento

Na medida da condição de alinhamento desse conjunto, encontramos o alinhamento angular (Vertical) fora da faixa de tolerância (que para essa rotação é de 0.05 mm). Ver Fig. (6).

De uma maneira geral, o desalinhamento encontrado não seria suficiente para ocasionar os altos níveis de vibração observados nesse equipamento. Portanto, esse alinhamento foi considerado bom, mas decidimos realinhar o conjunto, mesmo porque nós iríamos desacoplar o motor para realização do próximo teste.

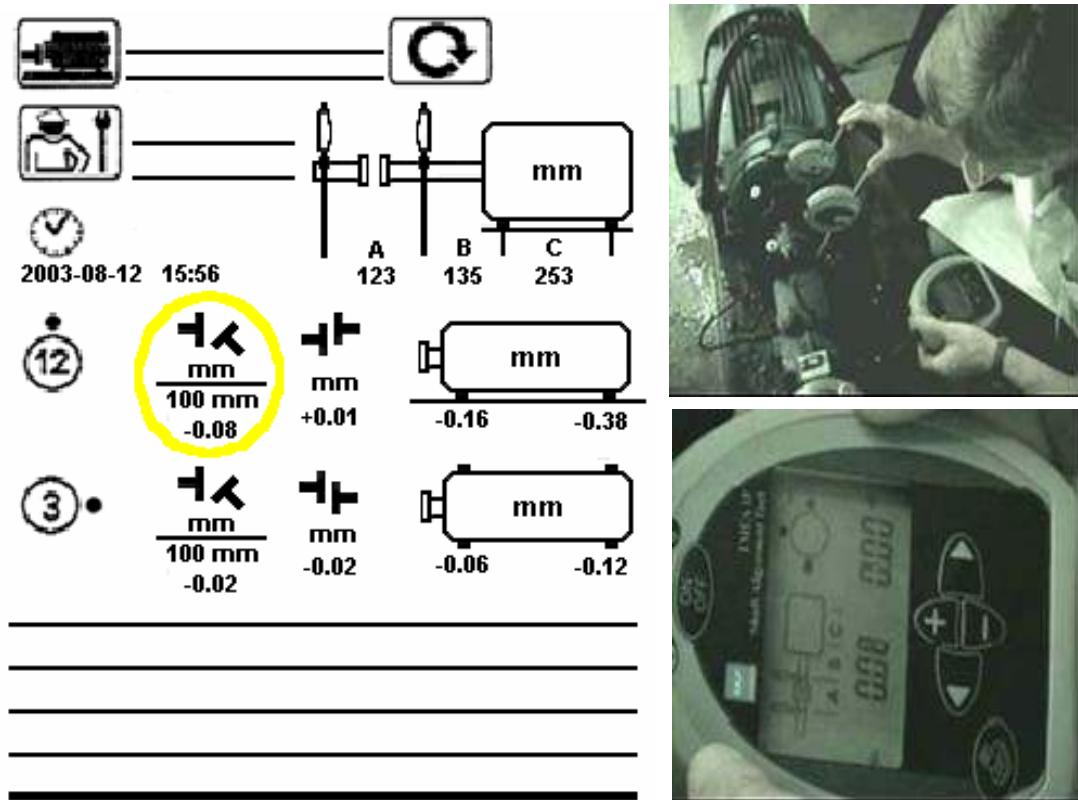


Figura 6. Resultados da medida da condição de alinhamento.

2.3.2. Mudança do Espectro com o Desligamento do Motor.

Após desacoplar o motor da bomba, foi instalado um acelerômetro na radial (Horizontal) do motor, no lado acionamento (LA), conforme indicado na Fig. (07).

Partiu-se o motor em vazio, realizando-se uma medida contínua do espectro (sinal de vibração) observando-se até o quinto harmônico de rotação. Alcançada a rotação nominal do motor, desligou-se o mesmo e observamos a mudança do espectro.

As alterações do espectro, após o desligamento do motor, podem ser analisadas nos quatro quadros apresentados na Fig. (09). Nesses quadros, com o desligamento do motor, percebemos a queda imediata da amplitude dos harmônicos de rede e uma redução gradativa da freqüência de rotação da máquina. Essa característica evidencia um problema elétrico no motor como a principal fonte dos altos níveis de vibração desse conjunto. (GÓZ, 2003).



Figura 07
Montagem do Acelerômetro

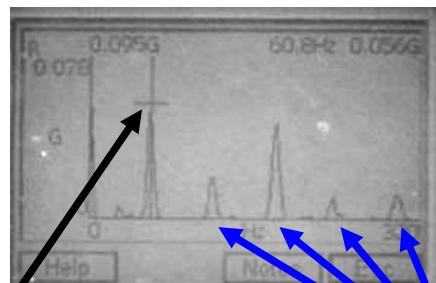


Figura 08
Medida Contínua

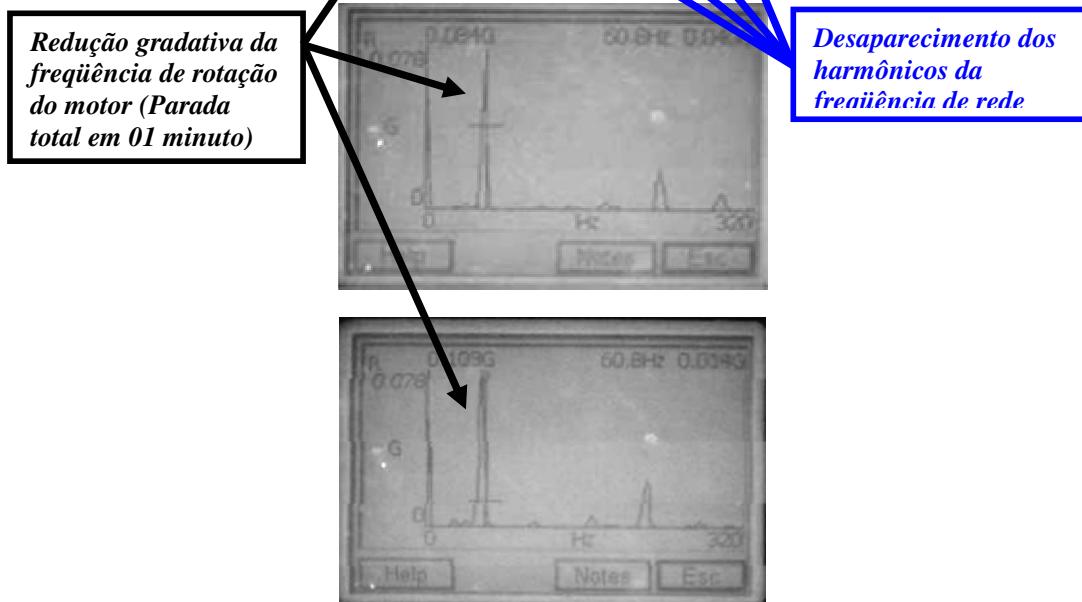


Figura 09. Alteração do espectro – Figuras obtidas a partir de uma filmagem do teste de desligamento do motor elétrico.

Tendo a mudança do espectro, no desligamento do motor, confirmado o diagnóstico de problemas elétricos, recomendamos a substituição do motor, uma vez que havia disponibilidade de motor sobressalente.

Como a substituição do motor não foi imediata, o conjunto foi acoplado, realinhado e disponibilizado, até o momento oportuno para troca do motor.

3. IDENTIFICAÇÃO DA PRESENÇA DE HARMÔNICOS DE REDE

Após a troca do motor, foi realizada nova coleta do sinal de vibração. Conseguimos uma redução em 30 % dos níveis globais de vibração, mesmo assim, os níveis encontrados ainda eram inadmissíveis (segundo os limites estabelecidos na norma ISO 10816-1).

Também constatamos que o perfil do espectro, mesmo com o novo motor instalado, não havia se alterado (ainda observávamos a presença de harmônicos da rotação, que desapareciam quando o motor era desligado). Isso evidencia (por exclusão da influência do desalinhamento e do problema elétrico no motor, já que estávamos com um motor novo) um problema de qualidade de energia na rede (presença de harmônicos de 60 Hz, com altas amplitudes). Essa causa provável, não foi avaliada anteriormente por trata-se de um modo de falha de pequena probabilidade, com ação mais abrangente (muitos efeitos deveriam ser observados em diversos pontos) e de maior gravidade.

Como não tínhamos disponibilidade imediata de instrumentos para avaliação da taxa de harmônicos na rede, para uma confirmação da existência de harmônicos no trafo de alimentação desse motor, realizamos medições com um motor de prova em excelente estado, e obtivemos os resultados apresentados a seguir.

3.1. Medida Realizada em Laboratório

Em condições controladas (em laboratório), ligamos o motor de prova e realizamos uma medida de vibração, onde foi observado o nível global de vibração e o espectro. No espectro obtido com esta medida, observou-se apenas o primeiro e segundo harmônico de rotação Fig. (10).

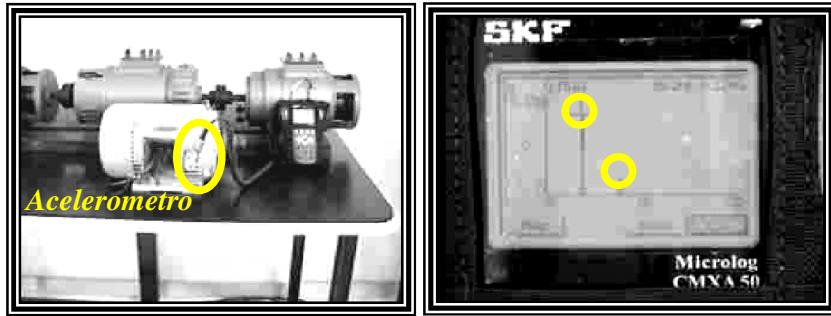


Figura 10. Motor de Prova no laboratório

3.2. Medida realizada no Campo

Ligamos o motor de prova ao mesmo ponto (em campo) utilizado pelo equipamento. Fizemos a medida dos níveis globais de vibração e do espectro.

Os níveis globais aqui encontrados foram quatro vezes maiores do que os encontrados na medida de laboratório. No espectro, passamos a observar até ao quarto harmônico da rotação, em escala linear Fig. (11).



Figura 11. Motor de Prova no Campo

Comparando-se os formatos dos espectros de vibração, nas duas medidas realizadas usando-se o mesmo motor de prova, notamos clara presença de muitos harmônicos, com expressiva amplitude, na medida realizada no campo. Isso confirma a existência de problemas com a qualidade de energia na rede.

4. CONCLUSÃO

Através desta análise evidenciaram-se os cuidados que devem ser tomados quando da presença de harmônicos influenciando o nível de vibração. Uma cuidadosa análise dos resultados deve ser realizada a fim de se evitar interpretações errôneas do espectro de vibração, mascarando assim a solução real para um dado problema.

Neste caso a falta de qualidade da energia elétrica fornecida ao um motor elétrico devido à presença de harmônicos da tensão de alimentação elevou o nível de vibrações do motor, como ficou demonstrado nos testes. O motor elétrico sob análise encontrava-se em uma rede que alimentava também linhas de produção que possuíam alguns conversores trifásicos, que proporcionam curto-circuito momentâneo entre fases colaborando para o surgimento dos harmônicos, como também foi observado ruído de alta freqüência presente na tensão, devido à circulação dos componentes harmônicos oriundos dos conversores comutados que operam em alta freqüência, e que podem interferir na operação adequada de outros equipamentos conectados à mesma rede, como já havíamos comentado anteriormente.

Foi recomendada uma extensa avaliação da qualidade de energia na rede, em todo o sistema de distribuição de energia dessa planta. A presença de inversores de freqüência e de um grande motor de corrente contínua no mesmo trafo do equipamento analisado, certamente estavam gerando harmônicas pares e impares na freqüência da rede, comprometendo a qualidade de energia nesse trafo.

A presença destes harmônicos acaba afetando as vibrações mecânicas presentes nos equipamentos da planta, aumentando sensivelmente suas amplitudes e ocasionando comportamentos característicos de determinados defeitos, que não estão ocorrendo na prática. O sinal de vibração passa a trazer informações que dificultam e/ou interferem no diagnóstico, o que comprometerá a confiabilidade dos sistemas mecânicos atingidos por tais oscilações.

5. REFERÊNCIAS

MAGALHÃES, Robson da Silva, “Relatório Técnico de Análise de Vibrações”, SENAI/CIMATEC – Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia, Salvador-Ba, 2003.

SÜDMERSEN, U. “Condition Monitoring by Vibration Analysis”. University of Hannover, November, 1995.

GÓZ, Ricardo Damião Sales. “Análise de Motores Elétricos por Medidas de Vibrações e Análise de Corrente”. Apostila Técnica – FUPAI, Itajubá-MG, 2003.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

INFLUENCE OF THE EXISTENCE OF HARMONIC IN THE ELECTRIC NET ON THE LEVELS OF MECHANICAL VIBRATIONS IN ELECTRIC ENGINES

Robson da Silva Magalhães

Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia – CIMATEC, Unidade do SENAI DR/BA. Av. Orlando Gomes, nº 1845, Piatã, Salvador-Ba. E-mail: robsonm@cimatec.fieb.org.br.

Antonio Fernando Abreu de Andrade

Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia – CIMATEC, Unidade do SENAI DR/BA. Av. Orlando Gomes, nº 1845, Piatã, Salvador-Ba. E-mail: afaandrade@cimatec.fieb.org.br.

***Abstract.** The intention of this work is, through a practical example, present the influence of the harmonic existence of in the electric net on the levels of mechanical vibrations in electric engines. The presence of such harmonic interferes directly on the quality of the electric energy of the net and may cause alterations in the behavior of electric engines, over all in respect of the oscillations. Such oscillations affects the mechanical vibrations that exist in the equipment of the plant (in our case, an electric engine), causing characteristic behaviors of some defects, that is not occurring in the practical cases. The vibration signal starts to bring information that make it difficult and intervene with the diagnosis. To solve these questions some measures and tests had been carried through, allowing us in such a way to detect the false indications of possible imperfections in this analysis (misalignment or problems with the electric engine), as also, to detect the real cause of the presence of levels so raised of vibrations in an electric engine with little time of use, completely lined up with the axle of the bomb and operating in normal load conditions.*

***Keywords:** Harmonic, Vibration, Maintenance.*