

GERENCIAMENTO DE ATIVOS: Técnicas Preditivas para Motores Elétricos

Ederson Carlos Ronda

Graduando em Engenharia Elétrica,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Fabio Castro Soares

Graduando em Engenharia Elétrica,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Pedro Henrique Souza de Jesus

Graduando em Engenharia Elétrica,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

André Hormung de Castilho

Engenheiro Mecânico e de Automação – UCDB
Esp. em Engenharia de Manutenção e Segurança – UCAM
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Cleyton Gabriel Augusto

Bacharel em Engenharia Elétrica – UNESP;
Esp. em Gestão Empresarial – FGV;
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

RESUMO

Os motores de indução trifásicos são máquinas responsáveis pela conversão de energia elétrica em energia mecânica, são amplamente utilizados em ambiente industrial. Esses motores devem passar obrigatoriamente por manutenções regulares. Este trabalho aborda o método de detecção de falhas em motores de indução trifásicos conectados diretamente à rede elétrica (sistema *online*). Esse método é baseado na análise da frequência e seus espectros assim como seus sinais de corrente, temperatura e histórico de falhas, a partir dos mesmos, procurar identificar as falhas antes mesmo de acontecerem.

PALAVRAS-CHAVE: motores de indução; análise de falhas; interface; análise de frequência.

1 INTRODUÇÃO

No período da Revolução Industrial, iniciada no século XIX, ocorreu a implementação da mecanização da indústria, levando assim a necessidade de se controlar e gerar processos de manutenções em máquinas e equipamentos utilizados, mas, tais manutenções não eram processos bem designados e elaborados, o que gerava certas problematizações. A partir da Segunda Guerra os processos para manutenções foram se modernizando, e as técnicas de manutenções foram ganhando mais espaço no cenário industrial (RIBEIRO, 2017).

A gestão de ativos representa mudança cultural no planejamento estratégico das empresas que adicionam a visão dos ativos e do valor que eles são capazes de gerar ao negócio, onde há uma junção com a tradicional visão da empresa.

Os motores elétricos estão presentes em diferentes processos de transmissão mecânica utilizados para geração de produtos economicamente ativos, sendo utilizados tanto a nível doméstico como industrial, e representam 95% dos acionamentos, principalmente por estarem voltados para a energia elétrica (SILVA, 2008; WEG, 2012). Os motores elétricos são elementos que convertem energia elétrica em mecânica. Assim, tais como máquinas elétricas, principalmente os motores de indução, passam por constantes melhorias, a fim de atender às exigências de suas mais distintas aplicações. Nas indústrias, o motor de maior utilização é o de indução trifásica, principalmente por ser robusto, ser de alta confiabilidade, grande eficiência, além de apresentar bons resultados às variações de carga, e também por possuir baixo custo.

A utilização de motores trifásicos por indução nas indústrias consomem aproximadamente 25% de toda energia produzida no país. Por esse motivo, estes ativos precisam de técnicas modernas e eficientes, além de ferramentas precisas que auxiliem na tomada de decisão dos responsáveis por executar essa tarefa (MELLO, 2013).

As pesquisas de identificação de falhas em máquinas elétricas rotativas estão direcionadas para motores elétricos sujeitos a algum tipo de falha, dos quais incluem as falhas no estator, falhas elétricas no rotor (rotor bobinado), falhas mecânicas, falhas de um ou mais componentes de acionamento do sistema. A distribuição de falhas nestes motores segue algumas diferenciações, sendo 69% de falhas em rolamentos, 7% em barra do rotor, 21% em rolamento do estator, e 3% no eixo/acoplamento (ANICETO, 2014; BELLINI et al., 2008; SANTOS; SILVA; SUETAKE, 2012).

Por tais motivos, há a necessidade de se dedicar esforços em desenvolver uma ferramenta para diagnóstico de falhas em motores de indução trifásicos, sendo elas: curto-circuito entre espiras do estator, quebra de barras do rotor e falhas de rolamento, além do monitoramento de alguns parâmetros de qualidade de energia.

Quanto às falhas mecânicas em motores de indução que podem ser detectadas pelo monitoramento de componentes específicos no espectro de

frequência da corrente de estator. Assim, um diagnóstico de falhas online desses motores se torna fator decisivo para garantir a segurança de operação e manutenção (OBAID; HABETLER, 2003).

O estudo desenvolvido apresenta experimentos em laboratório de forma a emular as falhas destas máquinas elétricas encontradas em ambiente industrial.

O trabalho consiste em desenvolver um analisador online que realize a transformada de sinal, utilizando método de Fourier no tempo para o domínio da frequência e assim calcular as frequências de falha, além da criação de uma interface entre operação e manutenção. Na análise serão abordadas falhas de estator, de rotor e de rolamento, sendo para rolamentos, falhas de vibração.

1.1 Considerações Sobre Manutenção – Conceito e Objetivos

Cabe salientar algumas informações sobre o processo de manutenção, uma vez que o foco deste artigo está em apresentar informações acerca das manutenções e em como isso interfere nos motores elétricos.

Nas palavras de Monchy (1987, p. 3) “o termo manutenção tem sua origem no vocábulo militar, cujo sentido era manter nas unidades de combate o efetivo e o material num nível constante de aceitação”, já nas palavras de Kardec e Nascif (2009, p. 23-45), onde a manutenção serve para “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados”.

Acompanhando a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua norma TB-116, juntamente com a NBR-5462, de 1994, descreve a manutenção como um processo onde há um conjunto de ações que visam manter a qualidade e a eficiência de um item, restaurando e conservando, utilizando de todas as ações técnicas e administrativas para tal feito (ABNT, 2004).

1.1.1 Tipos de Manutenção

A manutenção apresenta quatro tipos, e distinguem de acordo com os métodos utilizados para intervir nos equipamentos, sistemas e até mesmo instalações. Os tipos de manutenção são corretiva, preventiva, preditiva e detectiva.

A manutenção corretiva é a forma mais antiga de manutenção, tendo como objetivo a correção apenas de uma falha ou de um desempenho que tenha sido

comprometido, sendo dividida em planejada e não planejada. A manutenção corretiva planejada é uma decisão gerencial, tendo como objetivo a modificação de parâmetros, enquanto a manutenção corretiva não planejada não possui um parâmetro, corrigindo as falhas aleatoriamente (KARDEC; NASCIF, 2009).

Quanto à manutenção preventiva, nas palavras de Xenos (1998, p. 24) observa-se que

(...) a frequência de falhas diminui, a disponibilidade dos equipamentos aumenta e também diminuem as interrupções inesperadas da produção. Ou seja, se considerarmos o custo total, em várias situações a manutenção preventiva acaba sendo mais barata que a manutenção corretiva, pelo fato de se ter domínio das paradas dos equipamentos, ao invés de se ficar sujeito às paradas inesperadas por falhas nos equipamentos.

Já quanto à manutenção preditiva, Kardec e Nascif (2009, p. 45) descrevem que

Seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Na realidade, o termo associado à Manutenção Preventiva é o de prever as condições dos equipamentos. Ou seja, a Manutenção Preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo.

Por fim, a manutenção detectiva utiliza especialistas para analisar o sistema, afim de localizar falhas que estejam ocultas e não perceptíveis ao pessoal da manutenção, principalmente em sistemas de proteção, comando e controle (KARDEC; NASCIF, 2009).

1.1.2 Definição de Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva se baseia na prevenção futura da condição do equipamento, fazendo uso de estatísticas, análise de tendências e limiares pré-selecionadas do processo de produção, determinando assim as futuras manutenções a serem feitas (GULATI, 2013).

Para Brown (1999) manutenção preditiva trata-se de uma abordagem no qual há a comparação entre a tendência das medições dos parâmetros físicos analisados (vibração, ruído, temperatura,) com os limites estabelecidos para esses parâmetros, buscando assim detectar, analisar e corrigir problemas com antecedência, evitando que levem à falha dos equipamentos.

A manutenção preditiva tem por finalidade estabelecer os parâmetros a serem determinados em cada máquina ou equipamento, fazendo uso dessas informações para uma análise que direcione as providências a serem tomadas para que defeitos e perdas sejam evitados (NEPOMUCENO, 2014).

1.1.3 Técnicas de Análise de Manutenção Preditiva

Segundo Almeida (2000), as fábricas de manufatura e de processo são baseadas, em sua maioria, em equipamentos mecânicos, dessa forma a manutenção preditiva baseada em vibração foi amplamente adotada e usada para a maioria dos programas de gerência de manutenção. No entanto, o autor ressalta que a manutenção preditiva não se limita a apenas uma técnica quanto à capacidade em monitorar todas as máquinas críticas, equipamentos, e sistemas em uma planta industrial. Pois

[...] as técnicas de monitoramento preditivas, ou seja, baseadas em condições, incluem: análise de vibração, ultra-som, ferrografia, tribologia, monitoria de processo, inspeção visual, e outras técnicas de análise não destrutivas. A combinação destas técnicas de monitoramento e de análise oferece os meios de monitoramento direto de todos os equipamentos e sistemas críticos em sua fábrica (ALMEIDA, 2000, p. 1).

As técnicas de manutenção preditiva são aplicadas conforme a necessidade de monitoramento, dessa forma cada técnica faz uso de um meio próprio de acordo com as condições.

As principais técnicas preditivas utilizadas são (i) ensaios não destrutivos (END); (ii) análise de vibrações mecânicas; (iii) termografia (análise de temperatura) e (iv) ferrografia (análise da qualidade do óleo e lubrificantes) (MOURA, 2007).

Os ENDS são técnicas que, ao serem aplicadas, não afetam o equipamento ou causam prejuízo no funcionamento da peça, seja de forma total ou parcial. Possuem como finalidade a medição, detecção propriedades ou verificação de desempenho de materiais metálicos e materiais não metálicos (peças ou componentes acabados ou semiacabados) que compõem os equipamentos ou estruturas metálicas (LIMA, 2008; NEVES, 2009).

A análise de vibrações mecânicas trata-se de uma das técnicas utilizadas para a avaliação de máquinas rotativas (ventiladores, redutores, bombas, turbinas, etc.), em comparação com as demais técnicas, apresenta um melhor custo/benefício. (ALMEIDA; ALMEIDA; GÓZ, 2003).

A termografia trata-se da detecção da distribuição de energia térmica que é emitida pela superfície de um ou vários corpos ou objetos (AZEVEDO; SILVA JUNIOR, 2012).

A ferrografia consiste em uma técnica de monitoramento e diagnósticos das condições dos equipamentos. Tal técnica analisa partículas e propriedades de fluídos e óleos hidráulicos a partir do estudo das partículas sólidas que ficam misturadas com os óleos, determinando: tipos de desgaste, severidade, contaminantes, desempenho do lubrificante etc (BARONI; GOMES, 2011; SENAI, 2000).

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como finalidade aplicar uma ferramenta para gerenciamento de ativos utilizando técnicas e metodologias para monitorar o grau de desvio funcional, com o objetivo de aumentar a confiabilidade desses equipamentos. Através de um analisador *online* para realização de transformada de sinal, utilizando cálculos de Fourier para controle das falhas em motores elétricos, além de uma interface para manutenção e operação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

O desenvolvimento deste estudo tem por finalidade identificar as falhas nos motores elétricos, pode-se dizer que as causas de falhas e perdas de produção em um ambiente industrial pelo ativo de motores elétricos se resumem em duas disciplinas, sendo elas as falhas elétricas e mecânicas (THOMSON, FENGER, 2001), subdivididas em falhas em rolamentos - 41% (Mecânico); falhas em estator - 37% (Elétrico); falhas no rotor - 10% (Mecânico); outros problemas - 12%.

3.1.1 Técnica MCSA

A técnica MCSA trata-se de um método não-invasivo, de fácil implementação, em que é necessária somente a leitura da corrente do estator referente à uma fase de alimentação. Sendo assim, esse método é apropriado para o monitoramento, em tempo real, do motor sob operação em regime permanente.

A análise do sinal da corrente do motor (Motor Current Signature Analysis-MCSA) é a técnica mais utilizada no diagnóstico de barras quebradas em motores de indução. Esse método faz uso da ferramenta de processamento de sinais denominada transformada rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform – FFT*).

A FFT consiste na versão rápida da transformada de Fourier (*Fourier transform – FT*) e possibilita a visualização de um sinal temporal no domínio da frequência para que se possa identificar e acompanhar a evolução de falha, por meio de suas componentes espectrais (GAEID et al., 2011; MATA-CASTREJÓN et al., 2015).

A tradicional técnica de detecção de falhas MCSA baseia-se na decomposição espectral da corrente do estator que irá transmitir a informação da falha, por meio do uso da ferramenta de processamentos de sinais, denominada Transformada Rápida de Fourier. Na presença de barras quebradas há o surgimento de modulações na amplitude da corrente e, devido a isso, ocorre o aparecimento das componentes espectrais de bandas laterais ao redor da componente fundamental. Dessa maneira, por meio do uso da FFT, a MCSA permite a observação dos componentes harmônicos relacionados às frequências de modulação e exibe também a energia associada a cada harmônico, de tal forma que seja possível distinguir pela variação de energia a presença de defeito no sistema.

3.1.2 Falhas Elétricas

As falhas elétricas mais comuns em motores elétricos que podem levar o equipamento a sua parada total e se resume em: baixa isolamento do motor, desbalanceamento entre as fases, curto-circuito entre fases, curto circuito entre espiras, curto circuito entre fase e terra.

3.1.3 Falhas Mecânicas

Para desenvolvimento do trabalho foram estudadas as seguintes falhas mecânicas: rolamentos danificados e mancais, desalinhamento, excentricidade do rotor, quebra de barras do rotor.

3.1.4 Ensaio Dinâmico

A utilização do ambiente de simulação em bancada foi projetada para o estudo com propósito de adquirir, manipular e armazenar dados que possibilita a

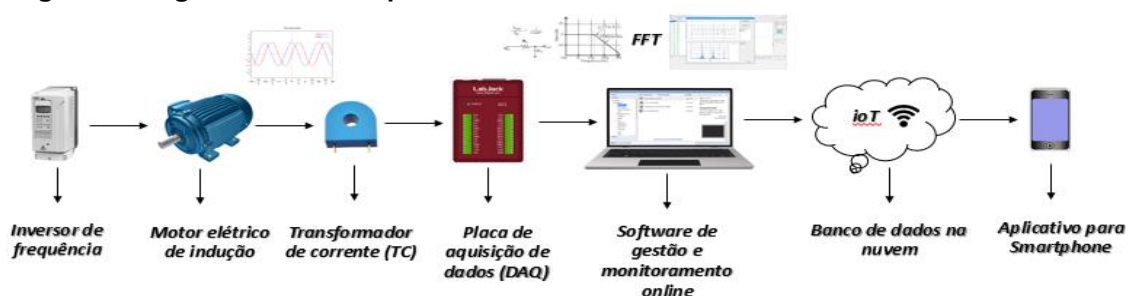
verificação correta do desempenho do equipamento. Para realização desses ensaios práticos com a técnica de análise dinâmica foi desenvolvido na oficina elétrica da empresa Fíbria unidade Três Lagoas uma bancada com giga de testes constituída com os seguintes equipamentos: Motor elétrico de indução WEG 1,8KW / 660V / 1730RPM, inversor de frequência ABB ACS800-01-0011-07, transformador de corrente HWCT-5A/5ma, placa de aquisição de dados LabJack U12, e foi também desenvolvido para o estudo um software para simulação dos resultados em plataforma C# (Visual Studio 2013), que com a biblioteca MathNet foi possível realizar cálculo de transformada de Fourier, convertendo sinais do tempo em função da frequência.

3.1.5 Funcionamento Geral do Sistema

O inversor de frequência foi o equipamento responsável pelo acionamento e controle do motor elétrico de indução, utilizando um TC (transformador de corrente) para capturar os sinais de corrente em tempo real durante o funcionamento do motor elétrico. Esses sinais foram capturados e tratados por uma placa de aquisição de dados DAQ, a qual utilizou internamente filtros anti-aliasing capaz de eliminar as frequências ou ruídos de incertezas.

Com o *software* desenvolvido para testes, configuramos as taxas de amostragem assim como os tempos de captura dos sinais tratados via comunicação USB para o ambiente C#, no qual pudemos ler esses sinais e realizar as análises necessárias, utilizando biblioteca específica para conversão no domínio da frequência (transformada de Fourier) e plotados via gráfico. Os valores foram enviados para nuvem, utilizando servidor web com SQL, construído via WCF do Visual Studio, podendo ser visualizados por qualquer dispositivo móvel, conforme representado pela Figura 1.

Figura 1. Diagrama funcional para a análise dinâmica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.1.6 Métodos Práticos de Simulação

Para a simulação dos testes e estudos abordados, foram realizados 3 tipos diferentes de ensaios, a saber, (i) teste 1 (acionamento direto com frequência nominal da rede em 60 HZ; (ii) teste 2 (acionamento via inversor de frequência à 25 HZ e teste 3 (acionamento direto à 60 HZ com simulação de barras quebradas).

Foi realizado 3 furos de 6 mm no rotor conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2. Barras quebradas do rotor.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A frequência de escorregamento do motor, que é utilizada para calcular falhas de barras foi definida através da equação (1).

$$S = \frac{(VS-VA)}{VA} \quad (1)$$

Sendo:

S: Frequência de escorregamento,

VS: Velocidade Síncrona,

VA: Velocidade Assíncrona

As frequências de falhas de barras do rotor foram definidas pela equação (2).

$$fc = f \cdot (1 \pm 2s) \quad (2)$$

Sendo:

fc= Frequência de falha

f = Frequência nominal

s = Escorregamento

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

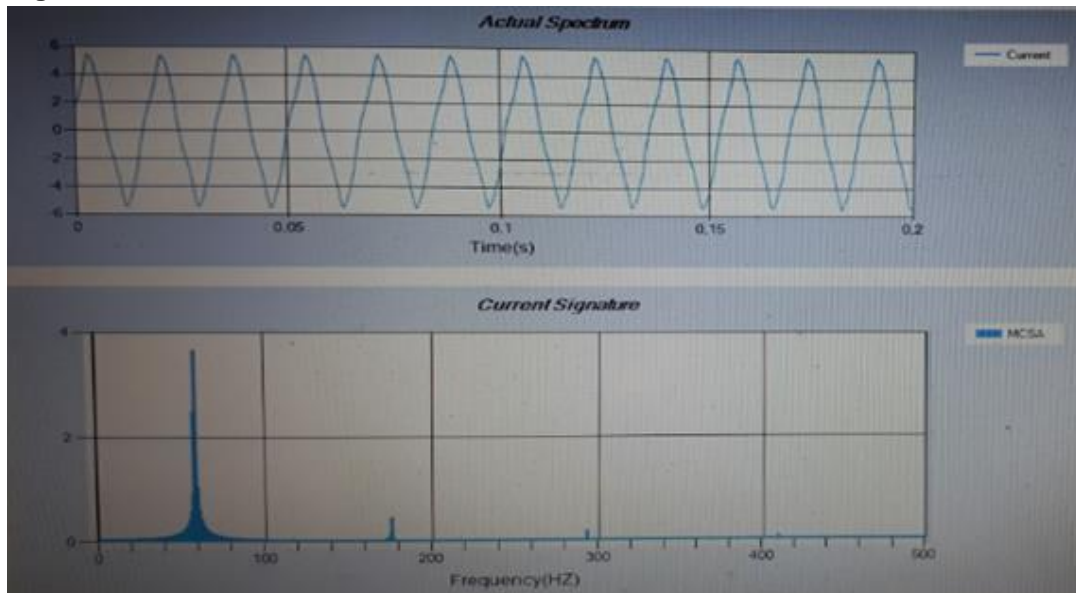
Foram apresentados nesse capítulo os principais resultados obtidos a partir da utilização das ferramentas para diagnóstico de falhas, utilizando o método MCSA.

4.1. Resultados dos Testes Realizados

4.1.1 Teste 1

Senóide de corrente em partida direta, e sinal transformado pela FFT (Figura 3). Frequência fundamental da rede 60 HZ com a presença da 3ª harmônica.

Figura 3. Partida direta.

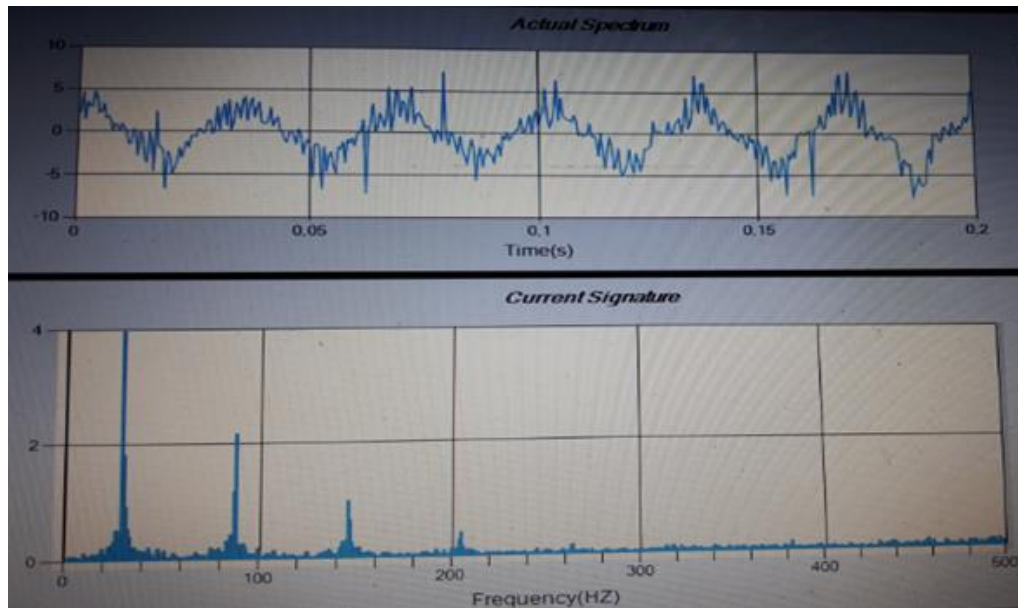


Fonte: Elaborado pelos autores.

4.1.2 Teste 2

Referência aplicada em 25 HZ (Figura 4). Forma de onda da corrente gerada pelo inversor de frequência no domínio do tempo, seguindo do espectro no domínio da frequência após a aplicação da FFT, com fundamental de 25 Hz (referência ajustada pelo inversor). A mesma harmônica de 3ª ordem já vista na figura 3 apresentada no teste 1 continuou no sistema, mas também surgiu uma nova harmônica de 5ª ordem que foi originada pelo chaveamento dos IGBT's do inversor de frequência, assim como outra de 7ª ordem praticamente desprezível.

Figura 4. Acionamento por inversor de frequência à 25 Hz.



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

4.1.3 Teste 3

Simulação de falha no rotor (Figura 5). Foram realizados ajustes de taxa de amostragem e resolução. Como resultado, foi identificado o surgimento de frequências de bandas laterais a fundamental.

Figura 5. Partida direta com barras quebradas.

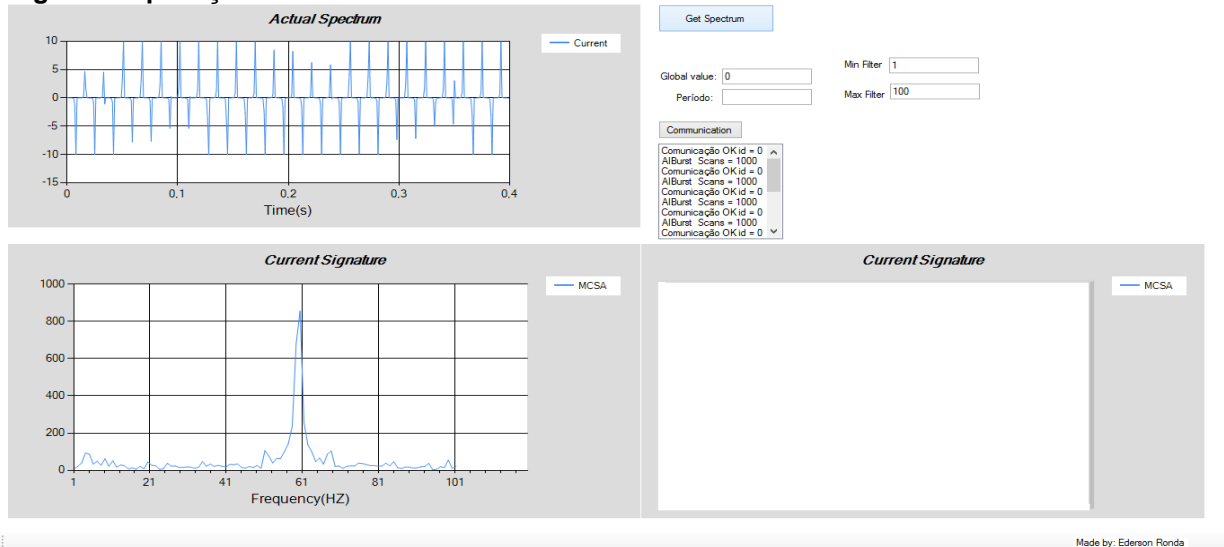


Fonte: Elaborado pelos autores.

Foi configurada no *software*, a aplicação de filtros para melhor visualização (Figura 6). Aplicado filtro de 1 à 100 Hz no sinal de amostragem da corrente. Os

picos indicados ficaram bem próximos às frequências de falha do rotor, que foi calculada conforme a equação (2).

Figura 6. Aplicação de filtro.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 Resumo dos Resultados

Foram comprovados pela técnica MCSA (ensaios dinâmicos) os problemas de falhas de rotor por barras quebradas, que foram identificados através dos picos de bandas laterais conforme os cálculos apresentados.

Os testes iniciais realizados sem defeito no motor ocorreram conforme o esperado, ou seja, não foi possível visualizar qualquer defeito no ativo.

Destacamos também que os picos de bandas laterais para falhas de barras de rotor foram encontrados em faixas exatas de medição, tornando eficaz o desenvolvimento da ferramenta e o estudo aplicado.

Os resultados obtidos foram satisfatórios e com clareza nas medições do motor, o cálculo de transformada utilizado (FFT) garante a cobertura de falhas até 1000 Hz, pois é o limite máximo de coleta de dados da placa de aquisição utilizada.

5 CONCLUSÃO

Através dos resultados analisados foi possível evidenciar a capacidade da técnica MCSA (análise dinâmica) e simular defeitos como: Falhas de barras quebradas em motores de indução trifásico.

A primeira análise de barras quebradas não foi possível devido ao tipo de TC utilizado, onde não apresentou as frequências de bandas laterais. Para atingir o resultado com maior clareza nos gráficos alguns ajustes foram necessários como taxa de amostragem, número de amostras e resolução do sinal.

Em todos os casos os estudos realizados foram capazes de comprovar os defeitos, mostrando a eficiência das técnicas de análise na detecção do defeito abordado, assim como o sistema desenvolvido e aplicado para o estudo.

Através disso, compreende-se que há a necessidade de planejamento e implantações de sistemas que facilitem as detecções de falhas em sistemas de motores elétricos, manter processos de controle e de manutenções afim de correções e melhorias garante um melhor aproveitamento dos motores elétricos, garantindo bons retornos, principalmente quanto à qualidade do processo gerando pela utilização do motor e de seus componentes.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. T. Manutenção Preditiva: benefícios e lucratividade. Artigo disponível no site do Instituto de Vibração MTA. p. 1, 2000. Disponível em: <<http://www.mtaev.com.br/download/mnt2.pdf>>. Acesso em: mai. 2018.

ALMEIDA, F. R. V.; ALMEIDA, M. T.; GÓZ, R. D. S. Análise de Vibrações I – medidas e diagnósticos. Itajubá: Fupai, 2003.

ANICETO, B. C. M. Uma ferramenta para diagnóstico de falhas em motores elétricos. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5462: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. TB-116. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

AZEVEDO, L. C. S.; SILVA JUNIOR, A. M. G. Uso da Termografia na Manutenção Preditiva. Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. 2, n. 1, p. 155-158, 2012. Disponível em: <<file:///C:/Users/Windows/Downloads/2409-5833-2-PB.pdf>>. Acesso em: mai. 2018.

BARONI, T. D'A.; GOMES, G. F. A Ferrografia como técnica de manutenção preditiva. 2011. Disponível em

<<http://www.tecem.com.br/site/downloads/artigos/baroni.pdf>>. Acesso em: mai. 2018.

BELLINI, A.; FILIPPETTI, F.; TASSONI, C.; CAPOLINO, G.-A. Advances in diagnostic techniques for induction machines. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, nº 12, p. 4109- 4126, 2008.

BROWN, M. Applying the Predictive Approach. 1999. Disponível em: <http://www.newstandardinstitute.com/catalog_articles.cfm>. Acesso em: mai. 2018.

FERREIRA, L. A. Estratégias de Manutenção e Análise de Riscos Industriais. 1º Encontro Luso-Brasileiro de Manutenção, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.

GAEID, K. S., PING, H. W., KHALID, M.; SALIH, A. L. Fault Diagnosis of Induction Motor Using MCSA and FFT. Electrical and Electronic Engineering, v. 1, n. 2, p. 85-92, 2011.

GULATI, R. Maintenance and Reliability. Best Practices, 2ª ed., New York: Industrial Press, 2013.

KARDEC, A.; NASCIF J. Manutenção: função estratégica. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, p. 23-45, 2009.

LIMA, A. J. Introdução aos Ensaios não Destrutivos. 2008. Disponível em: <file:///C:/Users/Windows/Downloads/Intro_to_NDTportugues_impresao.pdf>. Acesso em: mai. 2018.

MATA-CASTREJÓN, P.V., VILLEGAS-ORTEGA, A., ASIAIN-OLIVARES, T. I., RUIZ-VEJA, D. Evaluation of Progressive Deterioration of a Squirrel-Cage Rotor, with a Condition Monitoring System that Implements the SideBand Methodology. IEEE International Autumm Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC), 4-6 Nov. 2015.

MONCHY, F. A Função Manutenção. São Paulo: Durban, p. 3, 1987.

MOURA, C. R. O. Metodologia de Avaliação Integrada do Sistema de Gestão de Manutenção Baseado na NBR ISO 9001: 2000 e PNQ 2005. Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

NEPOMUCENO, L. X. Técnicas de Manutenção Preditiva. São Paulo: Edgard Blücher, 2014.

NEVES, M. D. Ensaios Não Destrutivos: uma visão geral. Revista Parafuso, ago./set. 2009.

OBAID, R.; HABETLER, T. Current-Based Algorithm For Mechanical Fault Detection In Induction Motors With Arbitrary Load Conditions. 38th IAS Annual Meeting In Industry Applications Conference. vol. 2, pp. 1347-1351, Out. 2003.

RIBEIRO, D. A. Análise de vibração em motores elétricos com mouse óptico. Mestrado em Engenharia de Sistema de Automação pela Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2017.

SANTOS, F. M. da C.; SILVA, I. N. da.; SUETAKE, M. Sobre a aplicação de sistemas inteligentes para diagnóstico de falhas em máquinas de indução – uma visão geral. Revista Controle & Automação, vol. 23, n. 5, set. out. 2012.

SENAI. Manutenção. Módulos Especiais – Mecânica, São Paulo, 2000. Disponível em: <<http://bmalbert.yolasite.com/resources/Manuten%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: mai. 2018.

SILVA, J. G. B. Aplicação da Análise de Componentes Principais (PCA) no Diagnóstico de Defeitos em Rolamentos Através da Assinatura Elétrica de Motores de Indução, Itajubá, 2008.

THOMSON, W. T.; FENGER, M. Current signature analysis to detect induction motor faults. IEEE Industry Applications Magazine, 7: 26-34, July/August, 2001.

WANG, L.; GAO, R. X., Condition Monitoring and Control for Intelligent Manufacturing, Springer, 2006.

WEG. Motores Elétricos: guia de especificação. 2012.

XENOS, H. G. Gerenciando a Manutenção Produtiva. 1ª edição. Rio de Janeiro: INDG, p. 24, 1998.