

## **ACOMPANHAMENTO PREDITIVO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICO ACIONADOS POR INVERSORES DE FREQUÊNCIA**

JOSEMAR DE SOUZA MOREIRA<sup>1\*</sup>, MAYKON HENRIQUE SALES<sup>2</sup>,  
PEDRO RAJÃO DE FARIA<sup>3</sup>, JORGE NEI BRITO<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Aluno Engenharia Elétrica, UFSJ, São João del Rei-MG. Fone: (32) 9107-8513, js\_moreira99@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Aluno Engenharia Mecânica, UFSJ, São João del Rei-MG. Fone: (85) 9420-9141, maykonhs@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Aluno Engenharia Mecânica, UFSJ, São João del Rei-MG. Fone: (31) 9770-0823, pedro\_rajao@hotmail.com

<sup>4</sup> Pós-Doutor em Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas-SP. Fone: (32) 9981-2419, britone@ufsj.edu.br

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015  
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

**RESUMO:** Neste trabalho, apresenta-se uma contribuição à manutenção preditiva de motores elétricos utilizando um sistema composto por um aparelho portátil, associado a um software dedicado ao gerenciamento de dados, o equipamento Baker Explorer 3000 torna possível a análise de motores fornecendo informações como nível de tensão, desequilíbrio de tensão, fator de potência, potência consumida, torque, harmônicos, nível de corrente entre outras. Durante os testes foram simuladas cargas sobre o eixo do motor em 50%, 70%, 90%, 100% e 110%. O motor também foi submetido às condições de subtensão, sobretensão, desequilíbrio de fase e distorções harmônicas provenientes do inversor de frequência. A análise em tempo real sobre condições de funcionamento, possibilita a manutenção planejada e eficiente, aumentando a confiabilidade e disponibilidade de motores elétricos presentes nas indústrias.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inversores de frequência, Motores de Indução, Potência Ativa, Corrente.

### **PREDICTIVE MONITORING OF THREE-PHASE INDUCTION MOTORS DRIVEN BY FREQUENCY INVERTERS**

**ABSTRACT:** In this paper, we present a contribution to predictive maintenance of electric motors using a system composed of a portable device, associated with a dedicated software for managing data, Baker Explorer 3000 equipment makes possible the analysis engine providing information such as voltage level, voltage unbalance, power factor, power consumption, torque, harmonics, power level and so on. During the tests were simulated loads on the motor shaft by 50%, 70%, 90%, 100% and 110%. The engine also underwent the undervoltage, overvoltage, phase unbalance and harmonic distortion from the frequency inverter. Real-time analysis of operating conditions, enables planned maintenance and efficient, increasing the reliability and availability of electric motors present in industries.

**KEYWORDS:** Frequency inverters, Induction Motors, Active Power, Current.

### **INTRODUÇÃO**

O motor de indução trifásico é o tipo de máquina elétrica mais difundido e utilizado nas indústrias e que tem despertado interesse de vários pesquisadores da equipe do Gep\_LASID (Grupo de Estudos e Pesquisas do Laboratório de Sistemas Dinâmicos) com destaque para os trabalhos publicados por Brito (2002); Lamim Filho (2003) e Lamim Filho (2007) e Lamim Filho *et al.* (2007). Isto se deve principalmente à sua robustez, rendimento aceitável e baixo custo. Ainda com advento de sistemas de controle de velocidade e torque aplicados a este tipo de motor, é comum sua utilização em processos críticos ou de grande importância para a planta, área antes dominada por motores de corrente contínua, Silva (2008).

Motivado pela importância do acompanhamento preditivo de motores elétricos, principalmente no que se refere aos acionados por inversores de frequência, uma nova técnica de monitoramento é proposta neste trabalho. Trata-se de um sistema composto por um aparelho portátil, o equipamento Baker Explorer 3000, associado a um software dedicado ao gerenciamento de dados em conformidade com os padrões IEEE (2007). Justifica-se a escolha deste equipamento pela sua eficiência em análises que permitem o monitoramento *on line* de todos os parâmetros elétricos requeridos proporcionando um estudo eficiente dos defeitos incipientes.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os testes foram desenvolvidos em uma bancada (Figura 1), do Laboratório de Sistemas Dinâmicos (LASID) da Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ) onde foram analisados nível de tensão, desequilíbrio de tensão, fator de potência, potência consumida, torque, nível de corrente, desequilíbrio de corrente e distorção harmônica. A bancada é composta por um motor de indução trifásico [1], WEG, 2 CV, 1750 rpm, 220V, 60 Hz, 4 polos, categoria N, 5,98 A, rendimento 84,2%. Para a alimentação do sistema foi utilizado o Varivolt trifásico [2] e o inversor de frequência WEG CFW 09 [3]. O sistema de carga é composto por um motor CC funcionando como gerador de corrente contínua [4] MOTRON M610-VIRB-2K, 0,5 CV, 2000 rpm, alimentado por um gerador monofásico CC ligado aos terminais de campo, dessa forma a carga foi aplicada através do ajuste da corrente de campo do gerador CC. Os terminais de armadura foram ligados a um banco de resistores [5].

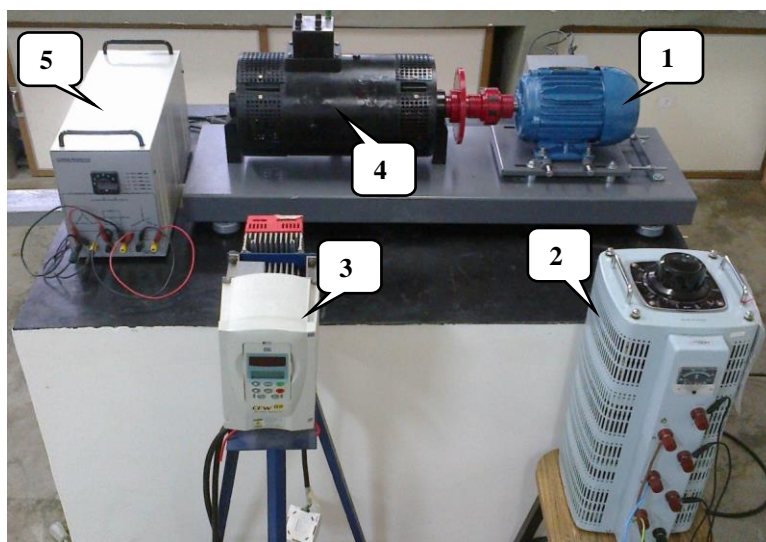


Figura 1. Bancada de Testes do Laboratório de Sistemas Dinâmicos. Fonte: Autor.

As análises do motor de indução trifásico foram feitas utilizando alicates amperímetro e conectores tipo jacaré, ambos os sensores integram o equipamento Baker Explorer 3000, Figura 2.



Figura 2. Equipamento Baker Explorer 3000. Fonte: Baker (2013).

Antes dos testes foram verificadas possíveis folgas mecânicas (base do motor) além do balanceamento dinâmico e alinhamento a laser. O inversor de frequência foi parametrizado inserindo-se os dados de placa do motor e selecionando o controle escalar V/F 60 HZ.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, tem-se os dados obtidos através do Baker Explorer 3000 relacionando nível de tensão, equilíbrio de tensão, fator de potência, potência consumida, torque, nível de corrente, desequilíbrio de corrente e distorção harmônica dos diferentes níveis de carga.

Tabela 1. Análise com diferentes Níveis de Carga.

Dados	Percentual de Carga				
	50%	70%	90%	100%	110%
Carga no Eixo do Motor					
Nível de Tensão (V)	218,27	218,49	214,35	213,64	213,46
Desequilíbrio de Tensão (%)	1,26	1,4	1,28	1,34	1,09
Fp (P.U)	0,63	0,71	0,79	0,81	0,83
Potência (W)	740	1030	1320	1470	1620
Torque (N.m)	3,95	5,57	7,16	8	8,84
Nível de Corrente (A)	3,59	4,08	4,82	5,25	5,7
Desequilíbrio de Corrente (%)	0,88	0,93	0,97	0,95	0,95
THD (%)	2,22	2,25	2,3	2,34	2,37

Na Tabela 2, tem-se os dados obtidos ao simular as condições de subtensão e sobretensão. Na Tabela 3, tem-se os dados obtidos ao simular desequilíbrios de fase.

Tabela 2. Análises de Subtensão e sobretensão.

Dados	Subtensão		Sobretensão	
	7%	13%	6%	10%
Nível de Tensão (V)	204,9	191,16	233,78	242,76
Desequilíbrio de Tensão (%)	1,22	1,57	1,33	1,25
Fp (P.U)	0,83	0,85	0,76	0,72
Potência (W)	1470	1470	1480	1480
Torque (N.m)	7,99	8	8	7,98
Nível de Corrente (A)	5,36	5,63	5,15	5,18
Desequilíbrio de Corrente (%)	1,19	1,15	0,85	0,76
THD (%)	2,32	2,38	2,29	2,34

Tabela 3. Análises de Desequilíbrio de Tensão.

Dados	Desequilíbrio de Tensão		
	9,5%	98,6%	97%
Carga no eixo do Motor			
Nível de Tensão (V)	223,61	220,03	213,66
Desequilíbrio de Tensão (%)	2,59	3	5,94
Fp (P.U)	0,15	0,79	0,79
Potência (W)	140	1450	1430
Torque (N.m)	0,74	7,92	7,82
Nível de Corrente (A)	2,84	5,21	5,36
Desequilíbrio de Corrente (%)	10,64	13,16	30,78
THD (%)	1,6	1,65	2,03

Ao observar os dados das simulações com diferentes cargas na condição normal, notou-se que as subtensões estavam dentro dos limites aceitáveis, chegando a 3% na condição de sobrecarga. Os valores de distorção harmônica total THD, desequilíbrio de tensão e desequilíbrio de corrente também estavam dentro dos limites aceitáveis não ultrapassando 5% no desequilíbrio de tensão.

Observou-se que na condição de plena carga, a leitura de corrente do motor é de 5,24 A ao invés de 5,98 A como informado na placa. A assistência técnica da WEG afirma que uma variação de até 5% da corrente é aceitável o que leva a afirmar que neste caso, o motor está se comportando de forma melhor que o esperado. O mesmo foi observado no fator de potência, que por ser maior que o dado de placa, indica que o motor está consumindo mais potência ativa.

Na condição de sobrecarga em 110% houve um pequeno aumento no fator de potência e os dados apresentados estão dentro dos limites, visto que o fator de serviço do motor é de 1.15.

Ao simular subtensões de 7% e 13% com carga nominal, observou-se um aumento de corrente significativo na segunda análise, onde o nível de tensão está abaixo do determinado pela norma NBR 17094:2013. Já para as sobretensões de 6% e 10% notou-se uma redução do fator de potência.

Com o desequilíbrio de tensão ficou claramente comprovado a eficiência do Baker Explorer 3000 em alertar quanto aos limites estabelecidos para o bom funcionamento do motor.

## CONCLUSÕES

Analisando os dados encontrados nesta pesquisa, pode-se concluir que as distorções harmônicas causadas pelo uso do inversor de frequência mantiveram-se dentro dos padrões aceitáveis para todas as condições de funcionamento.

Os valores de corrente do motor para a condição de funcionamento à plena carga foram menores que o valor nominal de placa. Isso implica dizer que o motor apresentou um desempenho melhor que o esperado. Além disso, os valores de fator de potência encontrados nos testes são maiores que o valor informado em placa.

De posse destas informações, aconselha-se não usar a corrente nominal informada em placa como parâmetro para afirmar que um motor está trabalhando à plena carga. Para isto, é necessário um estudo apurado com o auxílio de instrumentos que permitam determinar o valor real da carga no eixo do motor.

O uso da tecnologia Baker Explorer pode melhorar o plano de manutenção preditiva em plantas industriais, evitando paradas não planejadas, garantindo menores perdas na produção e aumentando a confiabilidade dos motores.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 17094: Máquinas Elétricas Girantes- Motores de Indução - Parte 1: Trifásicos. Novembro de 2013.
- Baker, I. C., 2013. User's Manual EXP3000/EXP3000R. Baker Instrument Company. Avenue Suite 100 Fort Collins, CO 80525.
- Brito , Jorge Nei, "Development of a Hybrid Neural/Expert System to Diagnose Faults in Induction Motors", Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 214 p. Tese (Doutorado), 2002.
- Lamim Filho, Paulo C. M., "On-line Monitoring of Three-phase Induction Motors", Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 140 p. Tese (Doutorado), 2007.
- Lamim Filho, Paulo C. M., "Predictive Accompaniment of Three-phase Induction Motors by Magnetic Flux Analysis", Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 105 p. Dissertação (Mestrado), 2003.
- Lamim, P.C.M.; Pederiva, R.; Brito, J.N. "Detection of Stator Winding Faults in Induction Machines Using an Internal Flux Sensor".
- IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives, 2007. SDEMPED 2007.
- Silva, J. G. B., 2008. Aplicação da Análise de Componentes Principais (PCA) no Diagnóstico de Defeitos em Rolamentos através da Assinatura Elétrica de Motores de Indução. Universidade Federal de Itajubá. Tese (Doutorado).