

Deteção de desalinhamento, falhas em rolamentos e falhas em rotores de motores de indução através da análise de sinais de corrente elétrica

Felipe Apolinario Schlickmann | felipe.as10@aluno.ifsc.edu.br¹

Julio Cesar Lopes de Oliveira | julio.oliveira@ifsc.edu.br²

Davi Bernardo Silva | davi.bernardo@ifsc.edu.br³

Edital nº 02/2025/PROPPI/PIBIC-AF

Trabalho de Pesquisa

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

Motores elétricos de indução são utilizados em diversas aplicações industriais devido à sua robustez e confiabilidade. Entretanto, é inevitável que, em algum momento, eles possam apresentar falhas possíveis de serem detectadas precocemente com técnicas adequadas, evitando grandes perdas em processos produtivos, por exemplo. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo utilizar a técnica MCSA (*Motor Current Signature Analysis*) para monitorar a saúde de motores elétricos, detectando desalinhamento, falhas em rolamentos e falhas em rotores. Para isso, utilizou-se o sensor de corrente alternada SCT-013-020 para ler dados de corrente de uma das fases de um motor elétrico, enquanto este está operando em diferentes níveis de carga e velocidade fixa. A coleta dos dados é feita a uma taxa de amostragem fixa de 2 kHz via microcontrolador ESP8266, que também os envia para um servidor via protocolo MQTT. Após realizado este experimento, construiu-se gráficos de FFT (*Fast Fourier Transform*), no software Matlab, que permitiram identificar os espectros dos sinais de corrente. Dessa forma, a existência de frequências específicas e harmônicos com magnitudes relevantes permitiram determinar se o motor está operando em condição saudável ou com a presença de alguma das falhas estudadas.

Palavras-chave: corrente; desalinhamento; motor; rolamento; rotor.

Introdução

Motores de indução trifásicos (MITs) são importantes em setores industriais de todo o mundo e, por conta disso, consomem 70% da energia mundial destinada às indústrias (Rohouma *et al.*, 2024). Logo, assim como qualquer máquina, eles podem apresentar falhas inesperadas. Por conta disso, a detecção precoce de falhas em motores que, aparentemente, estão saudáveis, permite que a manutenção preventiva atue e evite longos

¹ Estudante do curso Bacharelado em Engenharia Elétrica do IFSC Câmpus Jaraguá do Sul - Rau.

² Servidor docente do IFSC Câmpus Jaraguá do Sul - Rau.

³ Servidor docente do IFSC Câmpus Jaraguá do Sul - Rau.

períodos de inatividade do motor, caso uma pequena falha, ao longo do tempo, resulte em consequências catastróficas ao motor (Liang; Iwnicki; Ball, 2003).

De acordo com Rohouma *et al.* (2024), 40 a 50% das falhas em motores de indução são causadas por rolamentos, 37% por enrolamentos do estator e 10% em relação às barras de rotores. Desse modo, nos últimos anos, surgiram técnicas que têm sido aplicadas para detecção de falhas em MITs, sendo as principais: monitoramento de vibração, monitoramento de corrente de fase e avaliação de acústica (Liang; Iwnicki; Ball, 2003).

Assim, este trabalho tem o objetivo identificar desalinhamento, falhas em rolamentos e falhas em rotores de motores elétricos, por meio da análise de sinais de corrente elétrica através da técnica MCSA, forçando diferentes condições de cargas ao motor. Para isso, utiliza-se a transformada rápida de Fourier (FFT) executada no *software* Matlab, com dados de corrente provenientes de coletas experimentais realizadas com auxílio da placa microcontroladora NodeMCU ESP8266 e protocolo de comunicação MQTT.

Fundamentação teórica

A Transformada Rápida de Fourier (FFT) é uma ferramenta de análise muito utilizada para converter sinais coletados no domínio do tempo para o domínio da frequência, viabilizando uma análise dos espectros que, aplicada para motores elétricos, permite identificar falhas elétricas e mecânicas (Maciel; Miyamoto, 2025).

O desalinhamento de um motor ocorre devido à montagem inadequada da máquina, estresse térmico que causa distorção, carga assimétrica aplicada e base do motor irregular. Além disso, causa danos ao rotor e ao estator. Este tipo de falha aparece no espectro da corrente como bandas laterais à frequência de alimentação (F_s), a uma distância igual a frequência de rotação do motor (Suriady *et al.*, 2024).

As falhas de rolamento são os elementos mais propensos a falhas, já que estão sujeitos a vibrações, cargas elevadas e ambientes com más condições. Utilizando o espectro da corrente, as falhas no rolamento ocorrem caso a magnitude, na FFT, seja alta nas frequências múltiplas de F_s , com ênfase em $0,5F_s$ e $2F_s$ (Maciel; Miyamoto, 2025).

O rotor é parte fundamental para o correto funcionamento de motores elétricos, entretanto, sofrem com partidas frequentes, sobrecargas e alto tempo de escorregamento.

Segundo Liang, Iwnicki e Ball (2003), uma barra de rotor quebrada apresenta, no espectro da corrente, bandas laterais à, principalmente, F_s e às suas harmônicas.

Há diversos sensores de corrente que podem ser aplicados para diagnóstico de corrente alternada. Entre eles, se destacam os transformadores de corrente (TCs), muito comuns na indústria, pois permitem a medição de altas correntes, além de serem não invasivos (Maciel; Miyamoto, 2025).

O NodeMCU ESP8266 é uma placa microcontroladora de baixo custo com elementos que a tornam útil em sistemas de Internet das Coisas (IoT), como um módulo Wi-Fi que permite comunicação em redes (Make-it.ca, 2017). Já o protocolo MQTT, em uma rede, é capaz de realizar a conexão entre dois dispositivos, em que um deles envia dados a partir de sensores e o outro lê esses dados por meio de outros dispositivos conectados na mesma rede Wi-Fi (Sprotte; Silva; Melo, 2024).

Procedimentos metodológicos

Primeiramente, foi proposto a realização de um experimento em que um motor de indução trifásico é colocado em operação em quatro condições de carga: 0%, 50%, 100% e 150%. Ao decorrer do experimento, são coletados dados de corrente elétrica de uma das fases do motor para cada condição mencionada, mantendo a velocidade constante.

Para realizar a coleta dos dados, o sensor de corrente utilizado foi o SCT-013-020, que é do tipo transformador de corrente e possui uma escala adequada com o experimento proposto, 0 – 20 A. Assim, montou-se um circuito em *protoboard* para integração do sensor com o microcontrolador, além de desenvolver o código de programação necessário para a coleta dos dados, através do sensor, e o envio dos dados para um servidor, através do protocolo MQTT. Este código também mantém fixa a taxa de amostragem em 2 kHz, suficiente para a necessidade do projeto. Além disso, desenvolveu-se um segundo código capaz de se comunicar com o servidor e salvar os dados em um arquivo no formato .csv para, posteriormente, desenvolver um gráfico de FFT para cada condição de carga no *software* Matlab.

Com a finalização dessas etapas, o experimento proposto foi executado em laboratório utilizando um MIT que possui suas especificações mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados do motor de indução trifásico

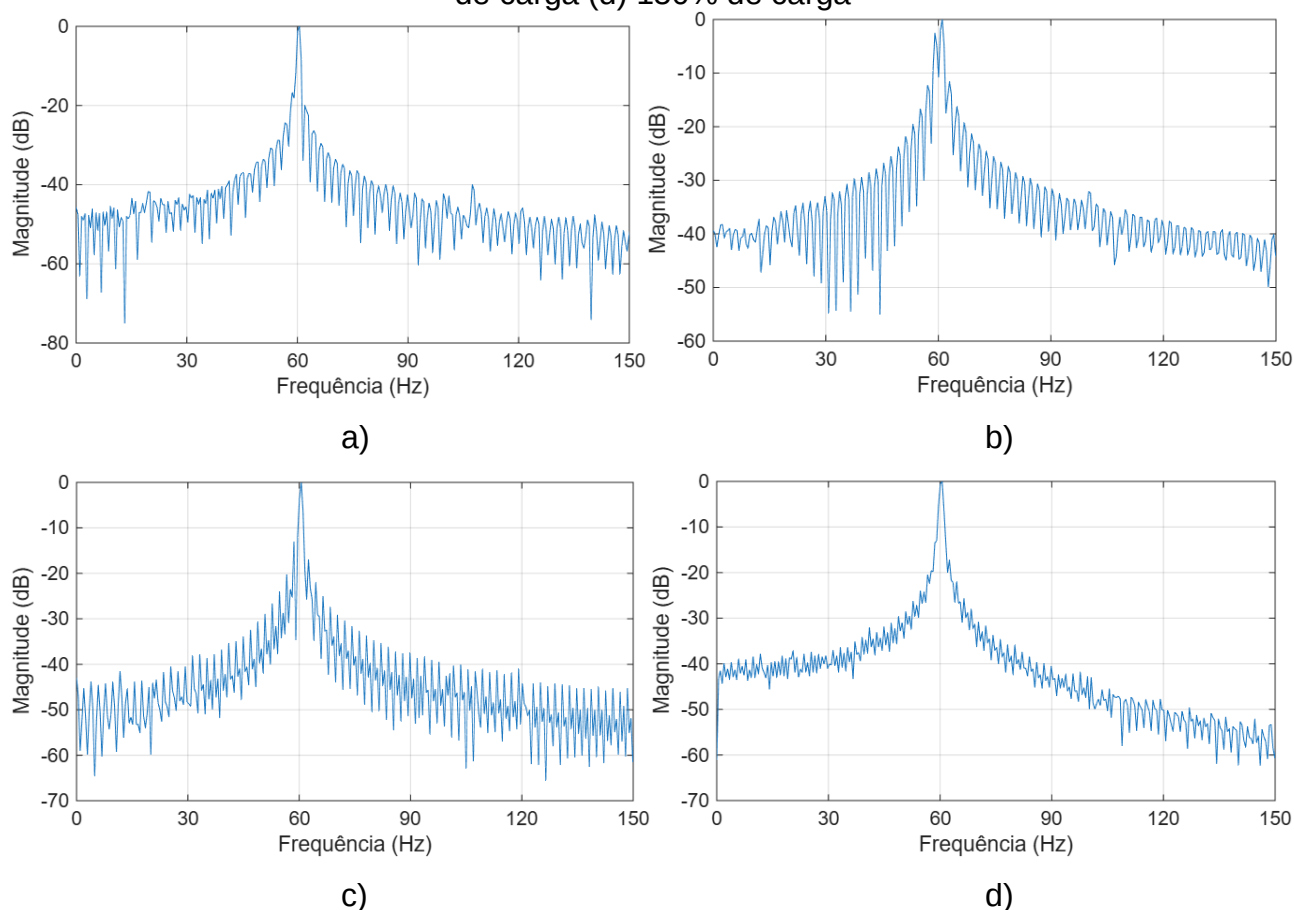
Frequência	Velocidade	Tensão	Corrente	Torque nominal
60 Hz	1700 RPM	220/380 V	4,31/2,50 A	6,18 N.m

Fonte: elaborada pelos autores.

Resultados e discussões

Com a finalização da etapa experimental do trabalho, desenvolveu-se um código para o *software* Matlab capaz de gerar gráficos de FFT com os dados de corrente coletados. A Figura 1 apresenta os espectros de corrente por fase para cada condição de carga. O pico característico em todos os espectros na frequência de 60 Hz é devido à frequência de alimentação do motor, que foi mantida em 60 Hz (frequência da rede).

Figura 1 – Espectro da corrente por fase com: (a) 0% de carga (b) 50% de carga (c) 100% de carga (d) 150% de carga



Fonte: elaborada pelos autores.

Para o experimento proposto, o desalinhamento deve provocar o surgimento de bandas laterais, ou seja, frequências com altas magnitudes em 30 Hz e 90 Hz (Suriady *et al.*, 2024). Já para a falha de rolamento, devem surgir picos em 30 Hz e 120 Hz (Maciel; Miyamoto, 2025). Por fim, para a falha de rotor, deve haver bandas laterais muito próximas a frequência de alimentação entre 50 e 70 Hz (Liang; Iwnicki; Ball, 2003). Ademais, cargas mais altas tornam as falhas mais visíveis, pois acentuam a magnitude das frequências que a representam no espectro.

Dessa forma, a análise espectral permitiu verificar que o motor utilizado opera em condição saudável, sem apresentar desalinhamento, falhas de rolamento e falhas de rotor, já que, ao analisar os gráficos, nenhum pico anormal foi detectado nas frequências citadas anteriormente, principalmente quando o motor opera com 150% de carga.

Considerações finais

Após concluída a análise dos sinais de corrente elétrica coletados, através do espectro construído por meio de FFT, foi alcançado o objetivo de detectar desalinhamento, falhas em rolamentos e falhas em rotores de motores de indução trifásicos, por meio do método MCSA. A metodologia utilizada e os resultados obtidos são capazes de identificar um motor saudável em operação com diferentes condições de carga.

A ausência de falhas identificáveis no espectro de corrente é devida ao fato de ter sido utilizado um motor de laboratório que, dificilmente, apresentará algum problema. Em atividades futuras, as falhas analisadas podem ser provocadas propositalmente ao motor e, dessa forma, executar-se novamente o experimento. Logo, isso possibilitará realizar um comparativo entre o motor saudável e o motor com falha.

Este trabalho contribuiu de forma relevante para a investigação do tema abordado, viabilizando o andamento do projeto em direção à identificação de falhas em motores através da análise de espectro.

Referência ao fomento recebido



O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio do Edital nº 02/2025/PROPP/PIBIC-AF - PIJGW4319-2025.

Referências

LIANG, Bo; IWNICKI, Simon; BALL, Andrew David. Asymmetrical stator and rotor faulty detection using vibration, phase current and transiente speed analysis. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 17, p. 857-869, 2003.

MACIEL, Luis; MIYAMOTO, Renato. Análise de sinais de corrente elétrica para o diagnóstico de falhas em rolamentos de motores de indução. **Conhecimento Interativo**, v. 19, p. 97-124, 2025.

MAKE-IT.CA. **NodeMCU ESP8266 Detailed Review**. 2017. Disponível em: <https://www.make-it.ca/nodemcu-details-specifications/>. Acesso em: 23/04/2026.

ROHOUMA, Wesam *et al.* **A Machine Learning Framework for Bearing Fault Detection in Three-Phase Induction Motors**, p 1-5. 2024.

SPROTTE, Matheus Willian; SILVA, Pablo Dutra da; MELO, Alexandre Altair de. **Desenvolvimento de uma API REST para automatizar a integração entre banco de dados e interfaces para múltiplos projetos IoT**. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Elétrica – Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul – Rau, 2024.

SURYADI, Dedi *et al.* Development of A Low-Cost Analyzer for Misalignment Identification Based on Vibration and Current Analysis. **Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)**, v. 6, p. 499-507, 2024.