

# ANÁLISE DAS CURVAS DE DESEMPENHO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

**Cássio Alves de Oliveira<sup>1</sup> (PG), Luciano Coutinho Gomes<sup>1</sup> (PQ), Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira<sup>1</sup> (PQ), Josemar Alves dos Santos Júnior<sup>1,2</sup> (PQ), Marcos José de Moraes Filho<sup>1,3</sup> (PG), Vítor Henrique Pereira de Melo<sup>1</sup> (EG)**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Uberlândia (UFU); <sup>2</sup>Instituto Federal de Goiás (IFG); <sup>3</sup>Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI).

**Área do Conhecimento: Máquinas Elétricas e Dispositivos de Potência**

## Resumo

*Este trabalho apresenta um estudo a respeito das curvas de desempenho de motores de indução trifásicos. Foram efetuados ensaios em uma plataforma experimental, que permite estudos com motores de até 5 cv. Os dados de aquisição e monitoramento, como tensão, corrente e potência foram adquiridos com precisão e confiabilidade, garantindo a segurança para pessoas e equipamentos. O uso de uma fonte programável possibilita a realização de testes reproduzindo situações operacionais diversificadas.*

**Palavras-chave:** *Curvas de desempenho; motor de indução trifásico; normas técnicas, simulação*

## Introdução

Os motores elétricos são essenciais nos processos industriais, uma vez que movimentam todo tipo de máquinas e equipamentos. Estima-se que, no mundo, existam mais de 300 milhões de motores, que consomem cerca de 7400 Terawatt-hora (TWh), o equivalente a aproximadamente 40% da produção mundial de energia elétrica (Cartilha WEG, 2017).

O motor de indução trifásico (MIT) é considerado o principal equipamento de transformação de energia elétrica em energia mecânica motriz (Godoy et al, 2016) e diversos motivos o tornam uma escolha viável: é uma máquina robusta, de baixo custo, fácil manutenção, elevada eficiência e adaptável a variadas situações de carga.

A utilização de motores eficientes em processos produtivos pode reduzir as perdas de carga, já que menor eficiência leva a custos operacionais mais elevados. Dessa forma, testes precisos e confiáveis de motores são essenciais. Para medir com precisão a eficiência do motor, é necessário calcular as perdas e verificar parâmetros de projeto como, por exemplo, corrente, tensão, potência etc. (Izhar, Ali e Nazir, 2017).

Visando contribuir com a análise do funcionamento do MIT, o Laboratório de Acionamentos Elétricos (LAcE) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) propôs a realização de um trabalho para avaliar o desempenho do motor em uma plataforma experimental que utiliza uma fonte programável, permitindo a aquisição de dados e o monitoramento do funcionamento, objetivando a realização de ensaios estabelecidos em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para a obtenção dos parâmetros do circuito equivalente e das curvas de desempenho da máquina.

A análise das curvas de desempenho do MIT permite observar o comportamento das variáveis elétricas de entrada (corrente e fator de potência) e das variáveis mecânicas de saída (conjugado, potência e velocidade) e a verificação de sua conformidade com os manuais dos fabricantes, quando estes estiverem disponíveis.

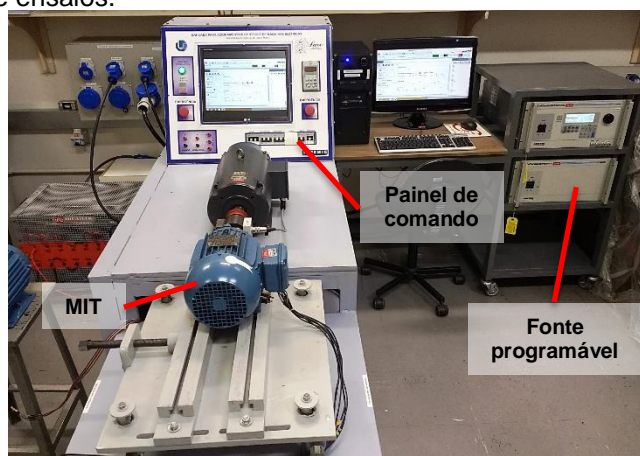
A norma que prescreve ensaios aplicáveis para a determinação das características de desempenho de motores de indução é a NBR 17094-3, intitulada “Máquinas Elétricas Girantes – Parte 3: Motores de indução trifásicos – Métodos de ensaio”.

### Material e Métodos

A plataforma experimental (Figura 1) foi desenvolvida de forma a viabilizar a análise do desempenho de motores de indução trifásicos por meio de ensaios diversos. Toda a planta foi acomodada em uma bancada que conta com os principais dispositivos de proteção contra eventuais falhas que possam ocorrer durante a realização dos ensaios.

A plataforma conta com uma fonte programável, um equipamento de alta eficiência que fornece uma saída precisa, com baixa distorção e que permite conexão em paralelo com até oito módulos do mesmo modelo para aumentar a potência de saída. O dispositivo possui ainda as interfaces remotas GPIB, RS232 e USB.

**Figura 1** – A plataforma de ensaios.



**Fonte:** Autoria própria.

Na plataforma de ensaios, o motor de indução trifásico será acionado através da fonte programável. Os ensaios efetuados (de acordo com a norma NBR 17094-3) foram:

- Ensaio para determinação da resistência de enrolamento do estator;
- Ensaio com rotor bloqueado;
- Ensaio em vazio.

As principais características do MIT sob ensaio são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Principais características do MIT sob ensaio.

Motor de indução trifásico – Rotor em gaiola	
<b>Fabricante</b>	WEG
<b>Potência de saída</b>	2,2 (3,0) kW (cv)
<b>Tensão (<math>\Delta/Y</math>)</b>	220 / 380 V
<b>Corrente (<math>\Delta/Y</math>)</b>	8,39 / 4,86 A
<b>Frequência</b>	60 Hz
<b>Velocidade mecânica</b>	3450 rpm – 2 polos
<b>Rendimento</b>	81,9%
<b>Fator de potência</b>	0,84
<b>Categoria</b>	N

**Fonte:** Autoria própria.

## Resultados e Discussão

Os ensaios realizados permitem a obtenção dos parâmetros do circuito equivalente do MIT, cujos valores podem ser utilizados em simulações computacionais para fornecer as curvas de desempenho. A Tabela 2 apresenta os valores dos parâmetros do circuito equivalente do MIT.

**Tabela 2** – Valores dos parâmetros do circuito equivalente do MIT.

$R_1$	$X_1$	$R_c$	$X_m$	$R_2$	$X_2$
2,175 $\Omega$	3,106 $\Omega$	597,048 $\Omega$	84,504 $\Omega$	1,963 $\Omega$	4,568 $\Omega$

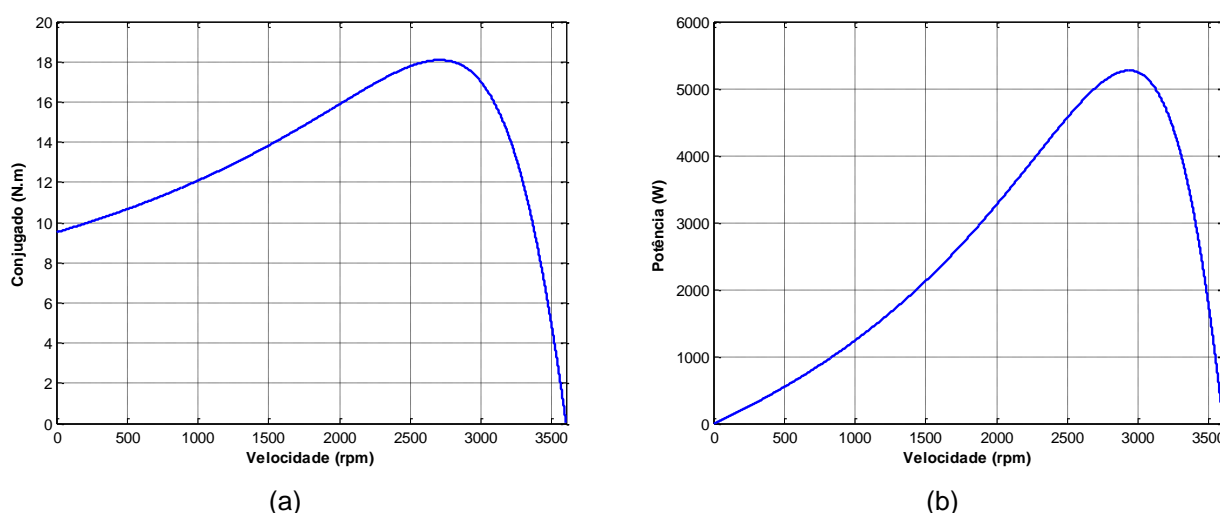
Fonte: Autoria própria.

As simulações foram efetuadas por meio do software MATLAB®, uma ferramenta muito útil para análise de dados, elaboração de algoritmos, criação de modelos matemáticos, entre outras aplicações. Entre os dados de entrada, estão a tensão de alimentação, os parâmetros do circuito equivalente e o número de polos da máquina. O algoritmo elaborado possui um *loop* para que as curvas características sejam mostradas em função do aumento da velocidade.

A primeira característica estudada é a de conjugado *versus* velocidade, apresentada na Figura 2a. É possível verificar na curva os valores do conjugado de partida e do conjugado máximo. Um conjugado de partida acima do nominal indica que o motor tem condições de partir com carga acoplada. A relação entre o conjugado máximo e o nominal indica o quanto aproximadamente pode ser retirado do motor, além da potência nominal, em aplicações de curto espaço de tempo.

A Figura 2b apresenta a curva de potência *versus* velocidade. É possível verificar que a velocidade na qual ocorre a potência máxima é diferente daquela onde ocorre o conjugado máximo na Figura 2a, o que faz todo o sentido, uma vez que essas variáveis não se relacionam por meio de uma constante.

**Figura 2** – Curvas características do MIT: (a) Conjugado; (b) Potência.



Fonte: Autoria própria.

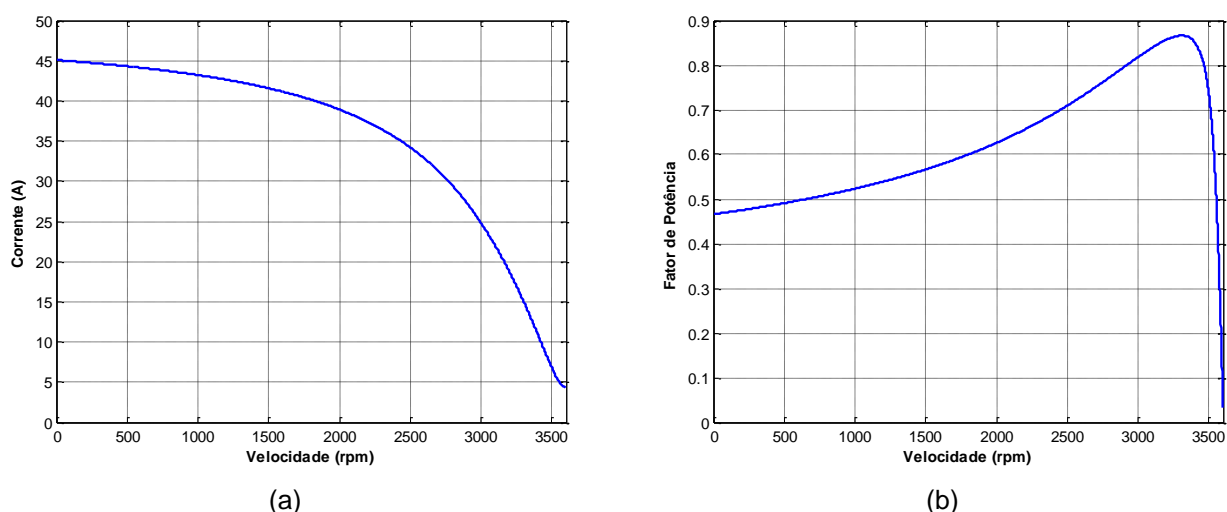
A curva de corrente em função da velocidade é mostrada na Figura 3a. O alto valor da corrente de partida e a demora em sua redução é uma característica notável em motores de indução trifásicos. Tempos de partida relativamente elevados e partidas frequentes tem como consequência aumento de perdas por efeito Joule, além de elevação de temperatura.

É importante ressaltar que a carga mecânica não exerce influência sobre o valor da corrente de partida. A influência da carga é sobre o tempo de duração da corrente de partida, sendo este tempo tanto maior quanto mais “pesada” for a carga para o motor.

A característica do fator de potência é apresentada na Figura 3b. Na partida, o fator de potência é baixo, porém ele aumenta com a velocidade e, nas proximidades da velocidade síncrona (motor em vazio), o seu valor é extremamente baixo.

Baixos valores de fator de potência podem ocorrer também quando o motor é superdimensionado. Nesse caso, a potência da carga mecânica é bem menor do que o valor da potência nominal do MIT e, portanto, o motor trabalha mais próximo da velocidade síncrona.

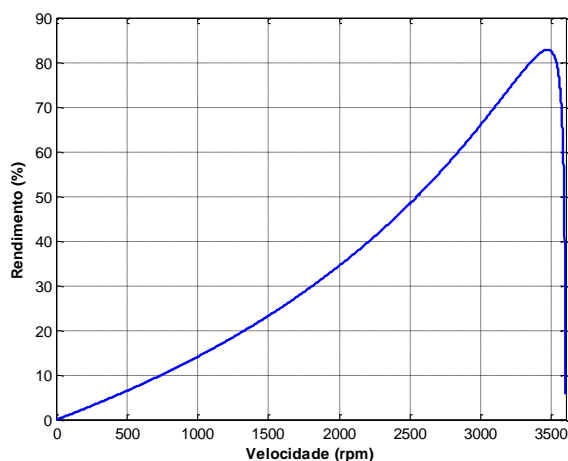
**Figura 3** – Curvas características do MIT: (a) Corrente; (b) Fator de potência.



Fonte: Autoria própria.

A última curva mostrada é a do rendimento, na Figura 4. O valor máximo do rendimento ocorre próximo da velocidade nominal, porém pode ser que essa faixa se estenda desde a velocidade nominal até aquela associada a 75% da plena carga.

**Figura 4** – Curvas características do MIT: Rendimento



Fonte: Autoria própria.

## Conclusões

O cumprimento das recomendações contidas nas normas técnicas do segmento de máquinas elétricas garante qualidade, segurança e eficiência para os diversos sistemas. O consenso sobre a utilização das normas assegura o bom funcionamento dos motores e a segurança de pessoas e equipamentos, buscando minimizar ou evitar possíveis avarias.

O estudo das curvas de desempenho dos motores de indução trifásicos permite o entendimento das condições de funcionamento da máquina, possibilitando que seja efetuada a análise completa da sua performance.

A plataforma experimental desenvolvida pode ser utilizada para ensaios de motores novos, rebobinados ou ainda os que já estão sendo utilizados por algum tempo nas instalações industriais. A garantia de motores eficientes em processos industriais reduz significativamente as perdas de carga e contribui para minimizar os custos operacionais, uma vez que a correta seleção do motor elétrico para determinada aplicação é fator determinante no custo de sua operação.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia pelo apoio, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo permanente incentivo à pesquisa.

## Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 17094-3: Máquinas Elétricas Girantes – Parte 3: Motores de Indução Trifásicos – Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

Cartilha WEG. Gestão Eficiente da Energia Elétrica: Motores Elétricos, Inversores de Frequência e Geração Solar. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cartilha-weg-uso-eficiente-da-energia-eletrica-50030292-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 07 de abril de 2018.

Godoy, W. F.; Silva, I. N.; Goedel, A.; Palácios, R. H. C.; Lopes, T. D. Application of intelligent tools to detect and classify broken rotor bars in three-phase induction motors fed by an inverter. In: IET Electric Power Applications, 2016, p. 430-439.

Izhar, T.; Ali, M.; Nazir, A. Development of a Motor Test Bench to Measure Electrical/Mechanical Parameters. In: 2017 International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE), 2017, Paquistão.