



ENSAIOS PARA OBTENÇÃO DAS CURVAS DE DESEMPENHO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Cássio Alves de Oliveira^{*1}, Luciano Coutinho Gomes¹, Vítor Henrique Pereira de Melo¹, Josemar Alves dos Santos Junior^{1,2}, Wanberton Gabriel de Souza¹, Marcos José de Moraes Filho^{1,3}

¹FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

²IFG – Instituto Federal de Goiás (Campus Itumbiara)

³SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

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

Palavras-Chave – Curvas de desempenho, ensaios, motor de indução trifásico, normas técnicas.

TESTS TO OBTAIN THE PERFORMANCE CURVES OF THREE-PHASE INDUCTION MOTORS

Abstract – This paper aims to present a study about the performance curves of three-phase induction motors. The tests were performed on a test bench, which allows analysis of motors until 5 HP. The acquisition and monitoring data such as voltage, current and power are made with precision and reliability, with safety for people and equipment guarantee. The use of a programmable power allows the execution of simulations tests with any operating situations.

Keywords – Performance curves, technical standards, tests, three-phase induction motor.

I. INTRODUÇÃO

Quando os primeiros motores elétricos surgiram, diversos pesquisadores trabalhavam separadamente em busca de um objetivo comum: a criação de um dispositivo que, alimentado por energia elétrica, pudesse gerar energia mecânica. Tantos foram aqueles que contribuíram para a estruturação do motor (como ele é conhecido atualmente) que não há consenso a respeito de um inventor para essa máquina.

*kass-07@hotmail.com

Atualmente, 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 [1].

O motor de indução trifásico (MIT) é considerado o principal equipamento de transformação de energia elétrica em energia mecânica motriz [2] 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 Figura 1 apresenta um motor de indução trifásico.

Figura 1: O motor de indução trifásico.



Os motores de indução trifásicos adotam um simples, mas inteligente e eficiente sistema de conversão eletromecânica de energia. No MIT com rotor em gaiola de esquilo, o qual constitui a vasta maioria das máquinas de indução, o rotor é inacessível. Contatos móveis, tais como o comutador e as escovas das máquinas de corrente contínua ou anéis deslizantes e as escovas nos motores e geradores síncronos não são necessários. Este arranjo eleva consideravelmente a confiabilidade dos motores de indução e elimina o risco de centelhas, permitindo que motores desse tipo sejam utilizados

com segurança em ambientes agressivos, como em áreas contendo atmosfera potencialmente explosiva. Este robusto rotor pode girar em elevadas rotações e suportar grandes sobrecargas mecânicas e elétricas [3].

Os motores elétricos de indução possuem o rendimento influenciado por vários fatores. O superdimensionamento provoca aumento no percentual de perdas em relação ao valor nominal, o que determina uma queda no rendimento [4]. Alinhamento inadequado de eixo e reparos executados de forma incorreta também podem alterar o valor do rendimento [4].

Os parâmetros elétricos e mecânicos das máquinas de indução podem se desviar daqueles contidos nas placas de identificação e nos manuais de fabricantes. Portanto, existe a necessidade de se monitorar esses parâmetros periodicamente e adequar o sistema às especificações da máquina [5].

Motores que já foram rebobinados pelo menos uma vez não possuem mais as características elétricas e mecânicas originais. Tais máquinas podem ter sua eficiência comprometida, vida útil menor e gasto energético excessivo. A realização de ensaios laboratoriais é recomendada para que suas grandezas elétricas e mecânicas sejam verificadas [6].

A necessidade crescente de busca por processos mais econômicos, com utilização racional e eficiente da energia elétrica, tem implicado na realização de estudos detalhados para a otimização dos processos industriais [7]. As indústrias têm se esforçado para otimizar o tempo de operação dos processos produtivos. Dessa forma, a identificação e correção de problemas elétricos e mecânicos associados às máquinas de indução são fundamentais para a elevação dos níveis de confiabilidade do sistema e para o aumento da capacidade operacional.

O uso de motores eficientes 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. [5].

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 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.

II. NORMAS TÉCNICAS

Segundo a definição internacional, uma norma é um “documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que fornece, para uso comum e repetitivo, regras, diretrizes ou características para atividades

ou seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto”. A esta definição pode-se acrescentar a recomendação de que “convém que as normas sejam baseadas em resultados consolidados da ciência, tecnologia e da experiência acumulada, visando à otimização de benefícios para a comunidade”.

Em outras palavras as normas técnicas fornecem especificações de classe mundial para produtos, serviços e sistemas com o propósito de garantir qualidade, segurança e eficiência. Uma norma é, por princípio, de uso voluntário, mas quase sempre é utilizada por representar o consenso sobre o estado da arte de determinado assunto, obtido entre especialistas das partes interessadas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas é responsável pela elaboração das Normas Brasileiras (ABNT NBR), elaboradas por seus Comitês Brasileiros (ABNT/CB), Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE).

A norma que prescreve ensaios aplicáveis para a determinação das características de desempenho de motores de indução é a NBR 17094, que é dividida em quatro partes:

- Parte 1: Motores de indução trifásicos – Requisitos;
- Parte 2: Motores de indução monofásicos – Requisitos;
- Parte 3: Motores de indução trifásicos – Métodos de ensaio;
- Parte 4: Motores de indução monofásicos – Métodos de ensaios.

Procedimentos e normas devem ser seguidos para garantir o bom funcionamento dos motores e a segurança do pessoal envolvido na operação, evitando possíveis danos pessoais e/ou materiais.

III. O MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

A. Aspectos construtivos

O funcionamento dos motores elétricos está associado à interação de forças de origem eletromagnética entre uma parte fixa, o estator da máquina, e uma parte móvel, chamada de rotor.

O estator de um MIT é estruturado utilizando-se um material ferromagnético laminado e com ranhuras para armazenar o enrolamento. As lâminas são isoladas para minimizar os efeitos das correntes parasitas e o enrolamento é trifásico, formado por três bobinas defasadas, entre si, de 120°.

A parte móvel do motor de indução pode ser do tipo rotor bobinado ou do tipo gaiola de esquilo.

Um rotor bobinado possui um conjunto completo de enrolamentos trifásicos que são similares aos enrolamentos do estator. As terminações das três fases dos enrolamentos são conectadas a anéis deslizantes no eixo do rotor. Os enrolamentos do rotor são colocados em curto-circuito por meio de escovas que se apoiam nos anéis deslizantes. As correntes que circulam no rotor podem ser acessadas por meio das escovas e resistências externas podem ser inseridas no circuito para modificar a característica de conjugado *versus* velocidade do motor [8]. Os motores de indução de rotor bobinado são utilizados apenas em aplicações específicas, pois exigem mais manutenção devido ao desgaste associado às escovas e aos anéis deslizantes, além do fato de serem mais caros.

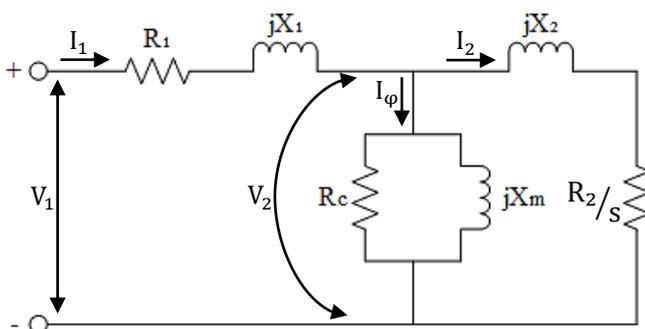
O rotor em gaiola de esquilo contém uma série de barras condutoras que estão encaixadas dentro de ranhuras na superfície do rotor e colocadas em curto-circuito por anéis condutores em ambas as extremidades. É o tipo de rotor mais utilizado na fabricação de máquinas de indução por possuir vantagens notáveis, como a simplicidade e a robustez na sua construção.

B. Circuito equivalente

O motor de indução é chamado de máquina de excitação simples, uma vez que a potência é fornecida apenas ao circuito de estator. Portanto, o circuito equivalente de um MIT pode ser obtido empregando-se a teoria de transformadores e introduzindo as modificações necessárias para considerar o fato de que o circuito do rotor opera em frequência diferente daquela do estator em função da diferença de velocidade entre o rotor e o campo magnético produzido no estator.

Todos os parâmetros do circuito equivalente são expressos por fase, independentemente do tipo de ligação (estrela ou delta), partindo do pressuposto de que o enrolamento é simétrico e a máquina é alimentada com tensões trifásicas equilibradas. A determinação dos valores dos parâmetros do circuito equivalente pode ser feita através de um ensaio em vazio, de um ensaio com rotor bloqueado e das medições das resistências CC dos enrolamentos do estator. O circuito equivalente monofásico de um MIT é mostrado na Figura 2.

Figura 2: Circuito equivalente monofásico de um motor de indução trifásico.



Os parâmetros do circuito da Figura 2 são definidos da seguinte forma:

- R_1 : Resistência efetiva do estator
- X_1 : Reatância de dispersão do estator
- R_c : Resistência de perdas no núcleo
- X_m : Reatância de magnetização
- R_2 : Resistência do rotor
- X_2 : Reatância de dispersão do rotor
- s : escorregamento

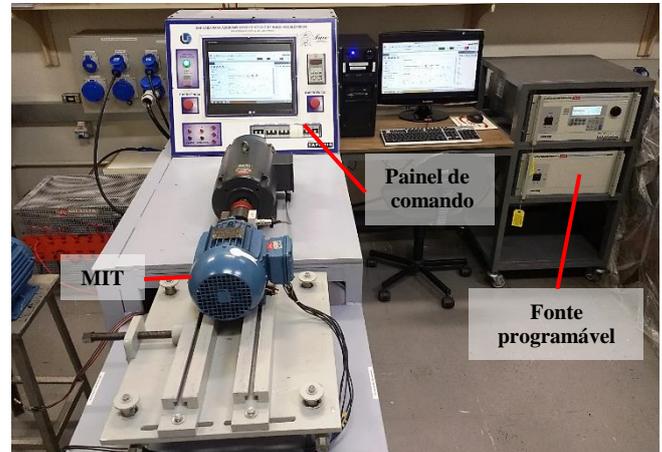
IV. METODOLOGIA UTILIZADA E RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A. A plataforma de ensaios

A plataforma experimental, apresentada na Figura 3, foi desenvolvida de forma a viabilizar a análise do desempenho de motores de indução trifásicos por meio de ensaios diversos. Com a finalidade de facilitar a manipulação de todos os

equipamentos necessários à realização dos trabalhos, 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.

Figura 3: A plataforma de ensaios.



A plataforma conta com uma fonte programável, desenvolvida pela AMETEK Programmable Power, indústria localizada em San Diego, Califórnia. É um equipamento de alta eficiência que fornece uma saída precisa, com baixa distorção. O modelo CSW5550 da marca California Instruments 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.

A programação da fonte pode ser feita através do teclado do painel frontal ou por meio de um *software* específico. Neste último caso, o fabricante fornece duas opções de interface para sistema operacional Windows. A programação via *software* oferece as vantagens do armazenamento das configurações para utilização futura.

Figura 4: Interface de leitura de dados do *software* da fonte programável.

<input checked="" type="checkbox"/> VOLTAGE (VRMS)	<input checked="" type="checkbox"/> CURRENT (ARMS)
0A 0B 0C 127 127 127	0A 0B 0C 4.31 4.43 4.31
<input checked="" type="checkbox"/> PHASE (°)	<input checked="" type="checkbox"/> POWER (KW)
0A 0B 0C 0 240.3 120.5	0A 0B 0C 0.08 0.08 0.07
<input checked="" type="checkbox"/> APPT.POWER (KVA)	<input checked="" type="checkbox"/> POWER FACTOR
0A 0B 0C 0.547 0.563 0.547	0A 0B 0C 0.15 0.14 0.13
<input checked="" type="checkbox"/> PEAK CURRENT (A)	<input checked="" type="checkbox"/> CREST FACTOR
0A 0B 0C 6.1 6.35 6.12	0A 0B 0C 1.41 1.43 1.42
<input checked="" type="checkbox"/> FREQUENCY	LINE TO LINE VOLTAGES
60	VAC(L-L) VAB(L-L) VBC(L-L) 219,97 219,97 219,97

A leitura de dados é mostrada no *display* do painel frontal da fonte programável e também por meio da tela do *software*.

Além disso, a fonte dispõe também de opções para armazenar os dados de leitura em arquivo de texto com possibilidade de configuração do intervalo de tempo para atualização desses dados, à medida em que os ensaios vão sendo realizados. A Figura 4 apresenta a tela de leitura de dados do *software* da fonte programável.

Na plataforma de ensaios, o motor de indução trifásico será acionado através da fonte programável. As principais características do MIT sob ensaio são apresentadas na Tabela I.

Tabela I: Principais características do MIT sob ensaio.

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

B. Ensaio para determinação da resistência do enrolamento do estator

Os valores de resistência de enrolamento podem fornecer indicações sobre a existência de espiras em curto-circuito e/ou conexões e contatos em más condições. É importante que se faça o acompanhamento desses valores ao longo do tempo de funcionamento e a sua comparação com os valores de fábrica, quando disponíveis, sempre referidos à mesma temperatura.

Os métodos recomendados na NBR 17094-3:2018 para a medição da resistência ôhmica dos enrolamentos são o do ohmímetro de precisão, o da tensão e corrente (queda de tensão) e o da ponte (de *Wheatstone* ou de Kelvin).

O procedimento de medição pelo método da tensão e corrente, escolhido para este ensaio, implica em aplicar uma tensão CC aos terminais do enrolamento, de forma que a corrente que circule não seja superior a 15% do valor nominal do enrolamento, considerando o tempo máximo de 1 minuto, para evitar a elevação de temperatura durante o ensaio. Posteriormente, são efetuadas as leituras de corrente e tensão e, através da lei de Ohm, a resistência é calculada. Devem ser efetuadas entre três e cinco leituras para este ensaio, adotando-se a média aritmética obtida. A temperatura no início e no final do ensaio também deve ser registrada.

A medida de resistência do estator deve ser corrigida para a temperatura ambiente (geralmente 25°C). A correção é efetuada através da equação:

$$R_b = R_a \cdot \frac{t_2 + k}{t_1 + k} \quad (1)$$

Onde:

R_b – Resistência do enrolamento, corrigida para uma temperatura especificada (t_2).

t_2 – Temperatura especificada para correção do valor da resistência.

R_a – Resistência do enrolamento obtida no ensaio, à temperatura t_1 .

t_1 – Temperatura do enrolamento por ocasião da medição da resistência.

k – Igual a 234,5 para cobre eletrolítico com 100% de condutividade.

No ensaio realizado, o valor da média aritmética da resistência do estator do MIT em estudo, corrigido para a temperatura ambiente de 25°C foi de 2,175 Ω.

C. Ensaio com rotor bloqueado

O ensaio com rotor bloqueado fornece informações sobre a resistência do rotor e sobre as reatâncias de dispersão. Nesse ensaio, a velocidade do motor é nula e o escorregamento tende à unidade.

Para a realização desse ensaio, o rotor do MIT é travado e tensões trifásicas equilibradas são aplicadas aos terminais do estator. Se o interesse for nas características nominais de funcionamento, o ensaio deverá ser executado com tensão reduzida, da qual resulta aproximadamente a corrente nominal. Em alguns casos, mede-se também o conjugado de rotor bloqueado [9].

Para determinar as reatâncias de dispersão e a resistência do rotor do circuito equivalente da Figura 2, são utilizadas as seguintes equações:

$$Z_{bl} = \frac{V_{bl}}{I_{bl}} \quad (2)$$

$$R_2 = Z_{bl} \cdot \cos \varphi_{bl} - R_1 \quad (3)$$

$$X_{bl} = Z_{bl} \cdot \sin \varphi_{bl} \quad (4)$$

$$X_{bl} = X_1 + X_2 \quad (5)$$

Onde:

Z_{bl} – Impedância com rotor bloqueado.

V_{bl} – Tensão com rotor bloqueado.

I_{bl} – Corrente com rotor bloqueado.

R_2 – Resistência do rotor na temperatura do ensaio com rotor bloqueado.

R_1 – Resistência dos enrolamentos do estator na temperatura do ensaio com rotor bloqueado.

$\cos \varphi_{bl}$ – Fator de potência com rotor bloqueado.

X_{bl} – Reatância com rotor bloqueado.

O cálculo das reatâncias de dispersão X_1 e X_2 serão efetuados a partir da Equação 5, pois não é possível realizar uma medida através da qual esses valores possam ser determinados de forma única. Felizmente, o desempenho do motor é pouco afetado pelo modo de distribuição da reatância de dispersão total entre o estator e o rotor [9]. A NBR 17094-3:2018 recomenda a distribuição mostrada na Tabela II para as categorias determinadas. Se a categoria do motor for desconhecida, costuma-se assumir que X_1 e X_2 são iguais [9].

Tabela II: Distribuição de reatâncias de dispersão em motores de indução.

Fração (X_1/X_2)	Categoria
0,78	D e motores de rotor bobinado
0,68	N
0,58	H

D. Ensaio em vazio

O ensaio em vazio de um motor de indução trifásico fornece informações em relação à corrente de magnetização e

às perdas em vazio. Esse ensaio é executado sem carga acoplada ao eixo e, geralmente, sob frequência nominal e com tensões polifásicas equilibradas aplicadas aos terminais do estator.

No ensaio em vazio, a leitura da corrente em vazio e do fator de potência permite conhecer os parâmetros do ramo magnetizante do circuito equivalente do MIT mostrado na Figura 2.

A tensão sobre o ramo magnetizante e as correntes que circulam por R_c e X_m (I_c e I_m), respectivamente, podem ser determinadas a partir das equações a seguir, onde I_0 e $\cos \varphi_0$ representam, respectivamente, a corrente a vazio e o fator de potência em vazio.

$$V_2 = V_1 - \left(\sqrt{R_1^2 + X_1^2} \right) \cdot I_0 \quad (6)$$

$$I_c = I_0 \cdot \cos \varphi_0 \quad (7)$$

$$I_m = I_0 \cdot \sin \varphi_0 \quad (8)$$

Obtendo os valores das correntes I_c e I_m e a tensão sobre o ramo magnetizante, basta aplicar a Lei de Ohm para determinar os parâmetros R_c e X_m .

E. Análise das curvas de desempenho

A Tabela III apresenta os valores dos parâmetros do circuito equivalente da Figura 2, calculados utilizando as equações 1 a 8 e utilizando os dados dos ensaios realizados de acordo com as recomendações constantes na NBR 17094-3:2018.

Tabela III: Valores dos parâmetros do circuito equivalente do MIT.

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

Considerando a tensão de alimentação fixa, é possível efetuar simulações computacionais, inserindo os parâmetros do circuito equivalente como dados de entrada, além do número de polos da máquina, para obter as curvas de desempenho do motor de indução.

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.

A primeira característica estudada é a de conjugado *versus* velocidade, apresentada na Figura 5. 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 6 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 5, o que faz todo o sentido, uma vez que essas variáveis não se relacionam por meio de uma constante.

Figura 5: Curva característica de conjugado *versus* velocidade.

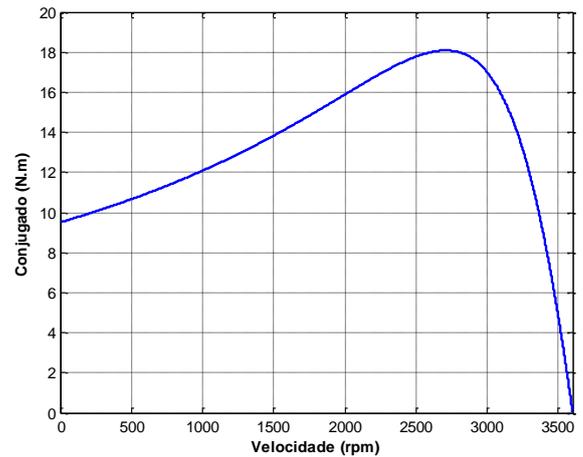
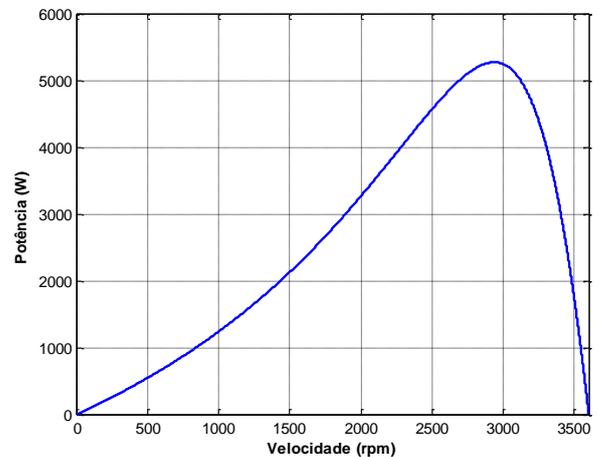
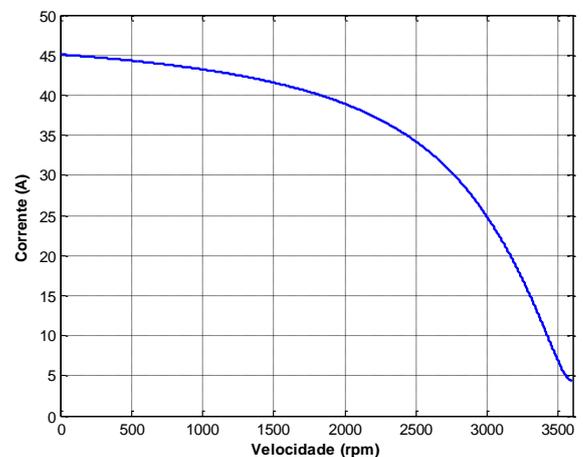


Figura 6: Curva característica de potência *versus* velocidade.



A curva de corrente em função da velocidade é mostrada na Figura 7. 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.

Figura 7: Curva de corrente *versus* velocidade.

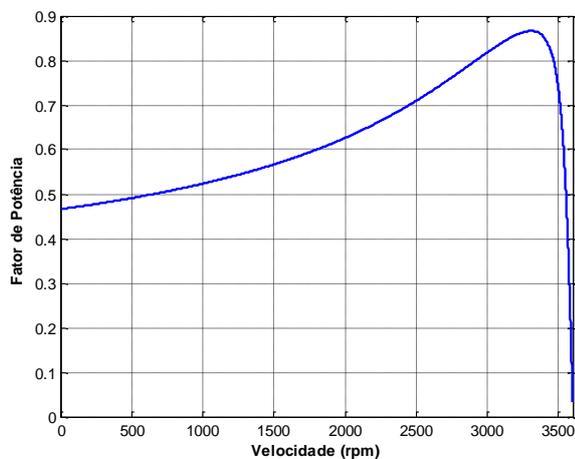


É importante ressaltar que a carga mecânica não exerce influência sobre o valor da corrente de partida. A influência da carga é sobre o tempo de duração da corrente de partida, sendo este tempo tanto maior quanto mais “pesada” for a carga para o motor.

A característica do fator de potência é apresentada na Figura 8. 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.

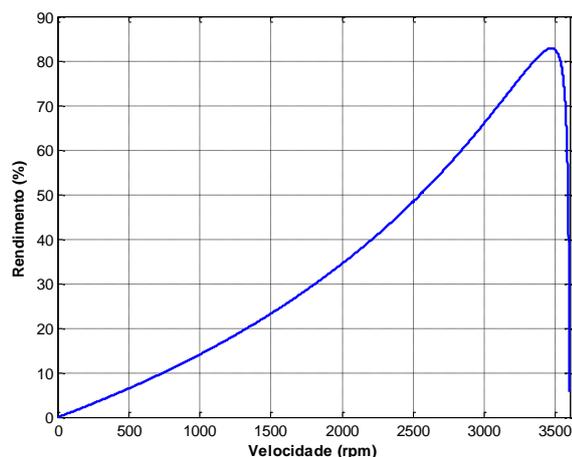
Baixos valores de fator de potência podem ocorrer também quando o motor é superdimensionado. Nesse caso, a potência da carga mecânica é bem menor do que o valor da potência nominal do MIT e, portanto, o motor trabalha mais próximo da velocidade síncrona.

Figura 8: Curva de fator de potência *versus* velocidade.



A última curva mostrada é a do rendimento, na Figura 9. 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 9: Curva de rendimento *versus* velocidade.



V. 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.

A plataforma experimental implementada contribui de forma continuada para ensaios com motores de indução trifásicos com potência de até 5 cv.

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.

REFERÊNCIAS

- [1] Cartilha WEG (2017). *Gestão Eficiente da Energia Elétrica: Motores Elétricos, Inversores de Frequência e Geração Solar*. Acedido em 07 de Abril de 2018, em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cartilha-weg-uso-eficiente-da-energia-eletrica-50030292-catalogo-portugues-br.pdf>.
- [2] W. F. Godoy, I. N. Silva, A. Goedel, R. H. C. Palácios and T. D. Lopes, “Application of intelligent tools to detect and classify broken rotor bars in three-phase induction motors fed by an inverter”, *IET Electric Power Applications*, vol. 10, no. 5, pp. 430-439, June 2016.
- [3] R. Bulgarelli, *Proteção Térmica de Motores de Indução Trifásicos Industriais*, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- [4] V. P. Silva, *Análise Comparativa do Desempenho do Motor de Indução Trifásico de Alto Rendimento e Linha Padrão em Condições de Alimentação Ideal e não Ideal*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2012.
- [5] T. Izhar, M. Ali and A. Nazir, “Development of a Motor Test Bench to Measure Electrical/Mechanical Parameters”, *2017 International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE)*, November 2017.
- [6] P. H. O. Rezende e D. Bispo, “Análise Econômica em Motores de Indução Trifásicos”, *Revista Horizonte Científico*, vol. 9, no. 1, Maio 2015.
- [7] S. F. Silva, *Identificação de Torque de Carga em Motores de Indução usando Abordagem Baseada em Sistemas Fuzzy*, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2007.
- [8] S. J. Chapman, *Fundamentos de Máquinas Elétricas*, AMGH Editora Ltda., 5ª Edição, Porto Alegre, 2013.
- [9] S. D. Umans, *Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley*, AMGH Editora Ltda., 7ª Edição, Porto Alegre, 2014.
- [10] Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). *Máquinas Elétricas Girantes – Parte 3: Motores de Indução Trifásicos – Métodos de Ensaio*.