

Automação aplicada aos ensaios para determinação do rendimento de motores elétricos trifásicos de indução

Noara Foiatto¹, Marcus Vinicius Viegas Pinto², Gabriel Nicolini Martins³, Lucas de Araújo Telli⁴, Mauricio Wahast Ávila⁵

¹ LABELO-PUCRS, Porto Alegre, Brasil, noara@puhrs.br

² LABELO-PUCRS, Porto Alegre, Brasil, mviegas@puhrs.br

³ LABELO-PUCRS, Porto Alegre, Brasil, gabriel.martins@puhrs.br

⁴ LABELO-PUCRS, Porto Alegre, Brasil, lucas.telli@puhrs.br

⁵ LABELO-PUCRS, Porto Alegre, Brasil, mauricio.avila@puhrs.br

Resumo: Este trabalho descreve a automação de ensaios aplicados a motores trifásicos de indução para verificação de seu rendimento. Foram empregadas técnicas de comunicação paralela e programação *visual basic*. Como resultados destacam-se a diminuição do tempo requerido para ensaios e a melhora da capacidade de medição, com aprimoramento da metodologia utilizada para mensurar o rendimento operacional de motores.

Palavras chave: Motor, ensaios, conformidade, automação, rendimento.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos dos investimentos setoriais.

A Portaria do INMETRO 488 de dezembro de 2010, aplicada a etiquetagem de motores elétricos de indução rotor gaiola de esquilo, estabelece diretrizes quanto à regulação do comércio desse tipo de produto, seja por iniciativa da indústria nacional ou por interesses estrangeiros. Para esses fins os referidos motores devem atender a um conjunto de ensaios técnicos, que ao final caracterizarão seu rendimento energético.

O PBE aplica-se a diferentes produtos hoje comercializados no País, servindo como um instrumento promocional do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) coordenado pelo Ministério das Minas e Energia e executado pela Eletrobrás. Algumas das empresas envolvidas nos segmentos de produção cobertos pelo PROCEL alteraram seus equipamentos para níveis mais elevados de qualidade quanto à eficiência energética.

Segundo a Eletrobrás em 2009 [13], o selo PROCEL proporcionou uma economia de energia de aproximadamente 5,4 bilhões de kWh (ou 5,4 mil GWh). Isso corresponde a 6% do total de energia gerada pela usina hidrelétrica de Itaipu no mesmo período. Essa economia tende a crescer à medida que novas categorias de equipamentos sejam incluídas no programa. Integram o escopo do programa PBE equipamentos como, ar-condicionado, chuveiros elétricos, refrigeradores, ventiladores, e os motores elétricos trifásicos de indução, que constituem o foco deste trabalho.

2. MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUÇÃO

O funcionamento dos motores de indução tem como princípio a lei da indução eletromagnética. Essa lei da física baseia-se no fenômeno de se obter corrente elétrica em um circuito quando este é submetido em um campo magnético variável.

Segundo [12], Faraday descobriu a lei da indução eletromagnética nos meados de 1831 e Maxwell formulou a lei da eletricidade (conhecida como equações de Maxwell) em torno de 1860. Estes conhecimentos foram fundamentais para a invenção da máquina de indução, a partir dos estudos de Galileu Ferraris (1885) e Nicola Tesla (1886).

Um motor de indução é composto basicamente por duas partes: o estator, que é a parte estática do motor, e rotor, que é a parte móvel. O espaço entre o estator e o rotor é denominado entreferro. O estator do motor de indução trifásico é constituído por um enrolamento trifásico, formado por bobinas defasadas de 120° entre elas, e que são responsáveis pela formação do campo magnético girante [6].

Os rotores gaiola de esquilo possuem a construção do seu enrolamento como sendo barras condutoras encaixadas em suas ranhuras e colocadas em curto circuito por anéis condutores em cada extremidade. No motor de indução a corrente alternada é fornecida diretamente ao estator e o rotor recebe a corrente por indução a partir do estator [4].

O campo girante produzido pelo enrolamento do estator corta os condutores do rotor, desta forma introduzindo tensões elétricas, visto que o enrolamento do motor está curto-circuitado pelos anéis. As tensões elétricas induzidas fazem com que correntes elétricas circulem, as quais reagem com o campo para produzir um torque eletromagnético que resulta em uma ação motora [5].

Segundo [4], a simplicidade e a robustez da construção em gaiola de esquilo representam vantagens entre os tipos de motores de indução, e fazem dele o tipo de motor mais usado, tanto em máquinas pequenas quanto em máquinas de grande porte. A figura 1 mostra o desenho dos componentes elementares de um motor de indução trifásico de fabricação WEG.

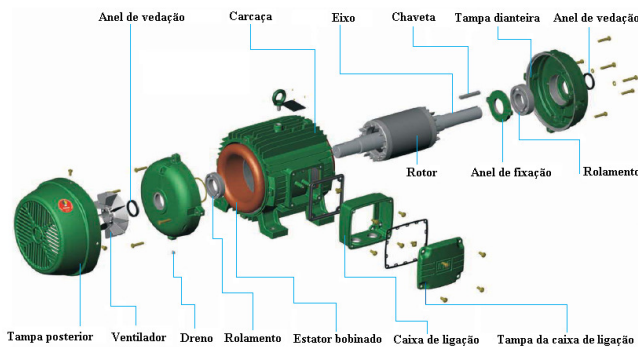


Figura 1. Componentes básicos de um motor trifásico de indução

Fonte: <http://www.weg.net/files/products/WEG-motores-eletricos-baixa-tensao-mercado-brasil-050-catalogo-portugues-br.pdf> [7] Acesso em 10/03/2011

De acordo com a figura 1, o estator é composto pela carcaça, que é a estrutura que sustenta o conjunto de componentes do motor, e o núcleo de chapas, que consiste em chapas de aço magnético. O enrolamento trifásico - três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase de tensão do motor - forma um sistema elétrico ligado a rede trifásica de alimentação do motor, e é o responsável por produzir o campo magnético girante. Ainda na figura 1, verifica-se que o rotor do motor, constitui-se pelo eixo e pelo núcleo de chapas. O eixo transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor.

3. RENDIMENTO ENERGÉTICO

O rendimento nominal de um motor elétrico define a sua eficiência em termos de transformação da energia elétrica de rede em energia mecânica disponível no seu eixo. O valor do rendimento do motor pode ser determinado por meio da razão entre a potência de saída no seu eixo e a potência de entrada.

A potência de saída do motor equivale à diferença entre a potência de entrada e as perdas, que geralmente são em forma de calor. A equação 1 pode ser utilizada para o cálculo do rendimento.

$$\eta = \frac{736 \times P(cv)}{\sqrt{3} \times V \times I \times \cos \theta} \quad (1)$$

Onde:

- η é o rendimento do motor
- $\cos \theta$ é o fator de potência (adim)
- P é a potência mecânica (cv)
- V é a tensão de fase (V)
- I é a corrente de linha (A).

É importante que o motor tenha um alto rendimento por razões como:

- a) um rendimento alto significa perdas baixas e, portanto, um menor aquecimento do motor,
- b) a potência absorvida da rede de alimentação estará próxima da energia mecânica disponível no eixo do motor e, com isso menor será seu consumo, logo tornando-o economicamente vantajoso.

O decreto n.º 4.508, de 11 de dezembro de 2002 [8], tendo em vista o disposto na Lei n.º 10.295, de 17 de outubro de

2001 [9], estabelece a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e o decreto n.º 4.059, de 19 de dezembro de 2001 [10], aprova a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo. Esses requisitos aplicam-se a motores de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil, incluindo tanto os motores comercializados isoladamente quanto os que fazem parte de outros equipamentos [3].

O decreto n.º 4.059 de 2001 [10] especifica que o indicador de eficiência energética a ser utilizado é o rendimento nominal, e ele deve ser determinado nas condições de tensão nominal, frequência nominal e potência de saída nominal no eixo do motor [3]. Em complemento a isso, a portaria interministerial n.º 553, de 08 de dezembro de 2005, que contempla o programa de metas dos motores elétricos de indução trifásicos, estabelece os níveis mínimos de rendimento nominal (Tabela 1).

Tabela 1. Tabela parcial para os rendimentos nominais mínimos aplicados a motores

Fonte: Adaptado de http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/legislacao/portaria_interministerial/Portaria_MME-MCT-MDIC_no_553-2005.pdf. [8] Acesso em 10/03/2011

Potência		Rendimento (%)			
cv ou hp	kW	Número de pólos			
		2	4	6	8
5	3,7	87,5	87,5	87,5	85,5
6	4,5	88,0	88,5	87,5	85,5
7,5	5,5	88,5	89,5	88,0	85,5
10	7,5	89,5	89,5	88,5	88,5
12,5	9,2	89,5	90,0	88,5	88,5
15	11	90,2	91,0	90,2	88,5

O ensaio utilizado para determinação do rendimento nominal é o dinamométrico com medição indireta das perdas suplementares e medição direta das perdas no estator, no rotor, no núcleo, perdas por atrito e por ventilação [11]. Para isso condições de tensão nominal, frequência nominal e potência de saída nominal no eixo do motor, devem ser atendidas [3].

4. ENSAIOS APLICÁVEIS

A Portaria n.º 488 do INMETRO, de 08 de dezembro de 2010, nova versão da Portaria do INMETRO número 243 de 2009, estabelece os critérios para o programa de avaliação da conformidade para motores elétricos de indução trifásicos rotor gaiola de esquilo com refrigeração a ar, comercializados individualmente ou acoplados em equipamentos e máquinas motrizes. Esses requisitos preconizam ensaios como a determinação da resistência do enrolamento do estator do motor a frio, a elevação de sua temperatura, e o ensaio do motor com e sem carga.

4.1 Determinação da resistência do enrolamento do estator do motor a frio

Consiste na medição da resistência elétrica do enrolamento do motor após seu acondicionamento a uma temperatura ambiente controlada. Essa condição satisfaz o conceito de equilíbrio térmico com o ambiente de ensaio.

4.2 Elevação de temperatura

Com o motor operando com valores de tensão e de frequência nominais, com um freio dinamométrico apropriadamente a ele acoplado, aplica-se o valor de carga nominal. Após isso, aguarda-se o motor entrar em equilíbrio térmico e desliga-se a fonte de alimentação. Neste momento, mede-se a resistência de linha dentro do intervalo de tempo indicado na tabela da portaria de referência.

4.3 Motor com carga

O ensaio de motor com carga é realizado após o ensaio de elevação de temperatura, com tensão e frequência nominais e com o freio dinamométrico acoplado. São aplicados seis pontos de carga (conjugado) ao motor com 150%, 125%, 100%, 75%, 50% e 25% da carga nominal, e para cada um dos seis pontos, são medidos, em ordem decrescente os seguintes parâmetros: tensão de linha (V), corrente de linha (A), potência de entrada (W), velocidade (rpm), e torque (Nm).

4.4 Motor sem carga

Após o ensaio com carga, realiza-se o ensaio de motor sem carga, com o motor desacoplado do freio dinamométrico e com a medição do valor da resistência do enrolamento. Em seguida aplica-se a tensão e frequência nominais ao motor.

Com o motor sem carga, aplicam-se seis valores de tensão com 125%, 100%, 80%, 60%, 40% e 20% da tensão nominal e para cada ponto, são medidos a tensão de linha a ele aplicada (V), a corrente de linha (A), e a potência de entrada (W).

4.5 Determinação de perdas

Além das medições, devem ser calculadas as perdas no núcleo, as perdas por atrito e ventilação, e as perdas Joule no estator e no rotor. Complementarmente deve ser considerada nos cálculos de perdas a correção do freio dinamométrico que objetiva compensar as perdas do acoplamento e atrito dos mancais do freio dinamométrico.

Com a quantificação das perdas e as medições realizadas durante os ensaios, é obtido o valor de rendimento, que é analisado por meio do Índice de Afastamento de Resultado (IAR). Essa análise objetiva comparar valor declarado de rendimento para o motor em sua fabricação com o valor obtido nos ensaios. A tolerância máxima aceita é de $\pm 100\%$ (cem por cento) para o IAR (Índice de Afastamento de Resultado), por unidade ensaiada [3].

5. AUTOMAÇÃO

A automação desenvolvida no LABELO-PUCRS realiza os ensaios propostos pela portaria 488 [3], permitindo acompanhamento dos valores instantâneos das medidas de cada um dos equipamentos utilizados nos ensaios. Para a realização desta automação, foram utilizados os *drivers* para comunicação com placas GPIB (*General Purpose Interface Bus*) fornecidos pela *National Instruments*, bem como a linguagem VBA do MS Excel. A figura 2 ilustra uma das telas do *software* desenvolvido, que recebeu a denominação de AUTOMOT.

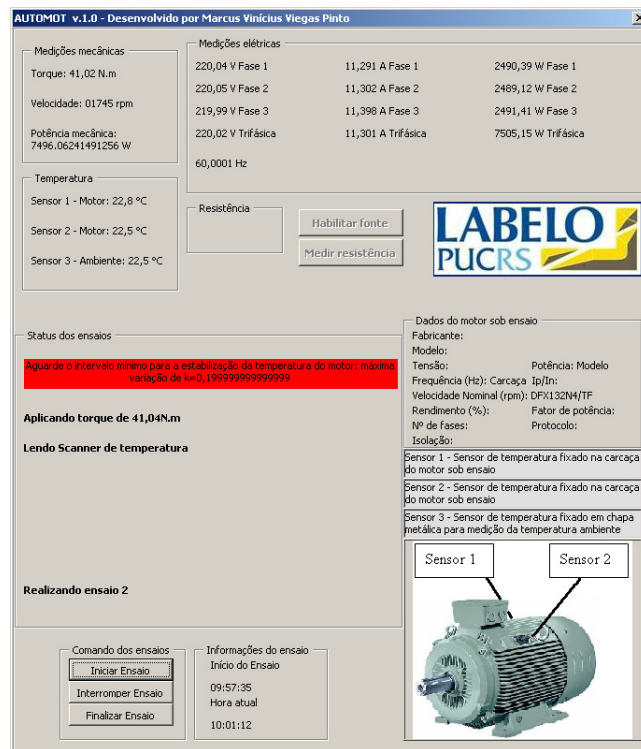


Figura 2. Uma das telas do *software* AUTOMOT desenvolvido

Cada equipamento padrão a ser utilizado nos ensaios é configurado pelo *software* AUTOMOT de acordo com as características do motor a ser ensaiado, segundo a linguagem de programação SCPI (*Standard Commands for Programmable Instrumentation*). Após isso, é realizado o controle do valor de corrente de partida dos motores, com a configuração da fonte de alimentação, que gera valores de tensão em passos, partindo o motor com tensão reduzida e sem carga, para evitar qualquer tipo de dano a ele e à fonte.

Por conta da característica de impactos mecânicos e dos níveis de potência requeridos pelos ensaios realizados, parâmetros de segurança foram observados durante todo o planejamento da automação. Um exemplo disso é a medida de resistência do enrolamento do motor, que é realizada somente após a detecção da sua parada e após o desligamento da fonte de alimentação. Informações de rastreabilidade das medições e das condições dos ensaios são registradas durante todo o processo. As medidas são realizadas de forma direta, e os valores obtidos por meio de cálculos são computados para cada sequência de medições realizadas. São utilizados três canais de um *scanner* de temperatura, dinamômetros, wattímetro, controlador do dinamômetro, transformadores de corrente para motores de

maior potência e fonte de alimentação. Todos os equipamentos utilizados possuem interface de comunicação padrão IEEE-488.2 e são controlados pelo AUTOMOT.

5.1 Ensaio determinação da resistência do enrolamento do estator a frio

Para o ensaio de determinação da resistência do enrolamento do estator a frio faz-se necessária a utilização de um medidor de temperatura e de um medidor de resistência. O ensaio consiste em realizar a medida de resistência do enrolamento do motor à temperatura ambiente. Para isso o critério a ser atendido requer que a diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura da carcaça do motor não seja maior do que um grau Celsius. O AUTOMOT informa ao usuário as posições na carcaça do motor onde os dois sensores de temperatura devem ser fixados. A monitoração entre as temperaturas indicadas pelos dois sensores fixados no motor e a temperatura do sensor no ambiente onde está sendo realizado o ensaio é realizada em tempo real e informada ao usuário. Atendidas as condições de temperatura, são realizados os registros. Para esse ensaio, a monitoração das temperaturas é feita a cada segundo, bem como a atualização da tela e das indicações para o usuário. Esta monitoração pode ser visualizada em forma de gráfico (figura 3), que apresenta os valores de temperatura de cada sensor durante o último minuto.

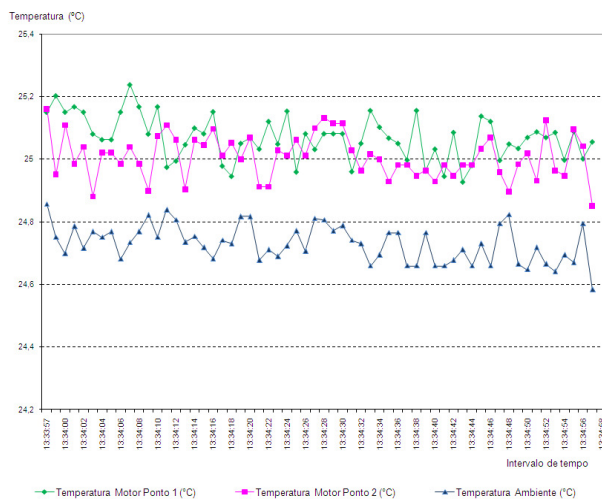


Figura 3. Ilustração de um gráfico de estabilização de temperatura

Estabilizadas as temperaturas, tem-se o resultado do ensaio determinado pelo AUTOMOT por meio de aquisições de no mínimo 10 leituras de resistência realizadas pelo medidor padrão. As leituras são registradas em uma planilha desenvolvida no MS Excel que aplica os cálculos estatísticos para análise da dispersão dos dados e para validação desse ensaio.

5.2 Ensaio de elevação de temperatura

Para o ensaio de elevação de temperatura, o motor é submetido à tensão nominal, e à carga nominal, sendo monitorada a diferença entre as temperaturas indicadas pelos dois sensores fixados no motor e a temperatura do sensor no ambiente, que não deve exceder dois graus Celsius durante a última uma hora de operação do motor nas condições

supracitadas. A monitoração da temperatura é indicada em tempo real ao usuário. O AUTOMOT comanda a fonte que alimenta o motor, o dinamômetro, o wattímetro e os medidores de temperatura e de resistência, controlando a queda da tensão de alimentação do motor e o conseqüente dano decorrente do bloqueio do rotor (figura 4).

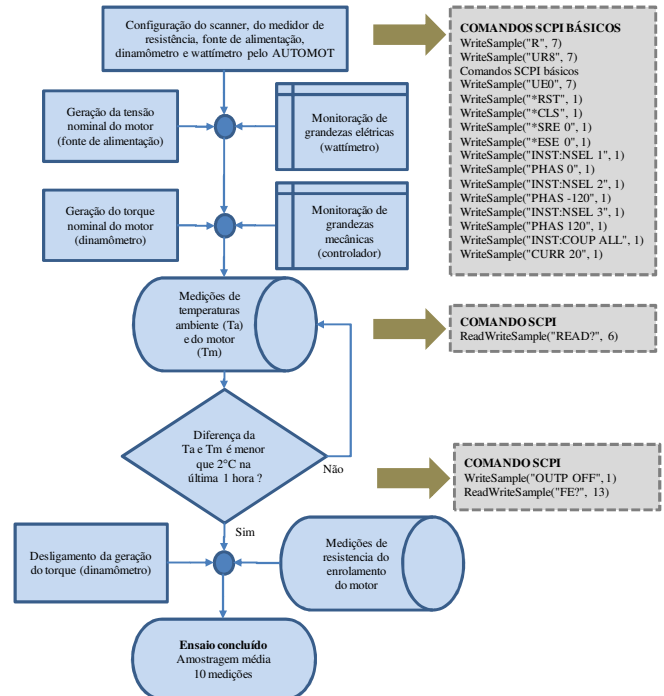


Figura 4. Fluxograma parcial para ensaio de elevação de temperatura programado no AUTOMOT

A atualização dos valores lidos no barramento GPIB decorrente dos equipamentos padrões ocorre a cada cinco segundos, e a gravação dos valores de temperatura ocorre a cada um minuto, juntamente com uma ferramenta gráfica para visualização da variação de temperatura durante a última uma hora.

Ao detectar o equilíbrio térmico durante a última uma hora, o sistema automaticamente desliga a alimentação, e a carga por meio do dinamômetro. Detectada a parada do motor, é realizada a medição de resistência do seu enrolamento, em um intervalo de tempo que deve ser menor do que trinta segundos após o desligamento da alimentação. Esse intervalo de tempo é definido de acordo com a potência nominal dos motores [3]. Complementarmente são registradas informações como a maior diferença de temperatura entre o ambiente e a carcaça do motor durante a última uma hora, ou os valores aplicados e medidos de tensão, corrente, frequência, torque, rotação, temperatura, e resistência.

5.3 Ensaio em carga

Para o ensaio em carga, o motor deve ser submetido à tensão nominal, e a cargas a partir de 150% da carga nominal, passando pelos pontos de 125%, 100%, 75%, 50%, 25% e 0% de carga nominal, sendo este último utilizado para correção do dinamômetro. O sistema automatizado aplica tensão nominal, também em passos como no ensaio de elevação de temperatura, sendo neste ensaio monitorada e

registrada a potência elétrica, a potência mecânica, a rotação, a corrente, a tensão, e a frequência, para as três fases do motor. Essas medidas são realizadas de forma simultânea, e o AUTOMOT regula os diferentes valores de torque para cada um dos valores de carga citados, monitorando o desempenho do motor, para obter seu rendimento médio nominal. Este item de ensaio revela uma das grandes vantagens da automação proporcionada pelo sistema proposto, pois envolve a leitura e registro de uma série de valores de diferentes grandezas, com cerca de onze medidas diferentes que devem ser realizadas simultaneamente. Para tal a seqüência de comandos abaixo envolve ilustra parcialmente o barramento GPIB para o controle de seis endereços (figura 5).

Number	Description	Status	iberr	ibcnd	Time
150	ibfind(GPIB0)	0x0168	0	0x0000	15:43:55.549
151	ibdev(0, 6, 0 (0x0), T10s (13), 1, 0x0000)	0x0100	0	0x0000	15:43:55.549
152	ibsc(GPIB0)	0x0160	0	0x0000	15:43:55.549
153	ibsr(GPIB0, 1)	0x0160	1	0x0000	15:43:55.565
154	ibwr(UD3, "CONF:TEMP TC,...", 29 (0x1D))	0x0100	0	0x001D	15:43:55.565
155	ibon(GPIB0, 0)	0x0100	0	0x0000	15:43:55.565
156	ibon(UD3, 0)	0x0100	0	0x0000	15:43:55.565
157	ibfind(GPIB0)	0x0168	0	0x0000	15:43:55.565
158	ibdev(0, 6, 0 (0x0), T10s (13), 1, 0x0000)	0x0100	0	0x0000	15:43:55.580
159	ibsc(GPIB0)	0x0160	0	0x0000	15:43:55.580
160	ibsr(GPIB0, 1)	0x0160	1	0x0000	15:43:55.580
161	ibwr(UD3, "TEMP:NPLC 2, ...", 27 (0x1B))	0x0100	0	0x001B	15:43:55.580

Figura 5. Tela parcial referente à monitoração do barramento GPIB gerenciado pelo AUTOMOT

Realizadas as medidas referenciadas, o sistema desliga a alimentação e a aplicação de carga, e realiza nova medição de resistência, também com a limitação de tempo imposta pela normativa legal, e o sistema informa ao usuário o término desta etapa, para que se passe ao ensaio a vazio. Neste caso, o número de parâmetros acionados por meio do barramento GPIB revelam sua vantagem em termos de comunicação paralela.

5.4 Ensaio a vazio

Para o ensaio em vazio, o motor deve estar desacoplado do dinamômetro, e são aplicados ao motor valores de tensão equivalentes a 125%, 100%, 80%, 60%, 40% e 20% da tensão nominal. Para cada um desses valores, é monitorada a tensão, a corrente, a potência elétrica, e a frequência. Estas medidas, e a medida do ensaio em carga de 0% da carga nominal com o motor acoplado ao dinamômetro permitem a realização da correção do freio dinâmico. Após a realização dessas medidas para cada uma das tensões requeridas por [2] e [3], o sistema deve desligar a alimentação e o motor deve ser parado, quando então, são novamente realizadas as medidas de resistência do enrolamento do motor, em um intervalo de tempo de no máximo trinta segundos.

Com os dados necessários para os cálculos de rendimento e de fator de potência, os resultados são validados de acordo com as recomendações de [2] e [3], pelo método do IAR. Se todos os resultados forem procedentes o AUTOMOT emite o relatório do ensaio, de acordo com os requisitos da NBR ISO/IEC 17025.

6. ANÁLISE DE DISPERSÃO DAS MEDIÇÕES

Para determinação do IAR para valores de rendimentos (η) maiores ou iguais a 0,851 é utilizada a equação (2), e para valores de rendimentos (η) menores que 0,851 é utilizada a equação (3).

$$IAR = \frac{(valor\ declarado - valor\ obtido) \times 100}{0,2 \times (1 - valor\ declarado)} \quad (2)$$

$$IAR = \frac{(valor\ declarado - valor\ obtido) \times 100}{0,15 \times (1 - valor\ declarado)} \quad (3)$$

Onde:

- valor obtido é o resultado encontrado para os ensaios realizados;

- valor declarado é o valor informado pelo fabricante ou fornecedor do motor.

Com base nas equações para determinação do IAR de um motor, e as tolerâncias aplicadas, a estimativa da incerteza de medição foi foco do AUTOMOT. Para determinação da incerteza de medição dos ensaios realizados, foram seguidas as orientações de [3]. Com a automação realizada foi possível a estimativa da componente tipo A associada às medições realizadas, de forma significativa, e sem erros de digitação ou de interpretação de leituras.

Segundo [1] a incerteza de medição compreende componentes provenientes de efeitos sistemáticos. Com base nas estimativas de incerteza calculadas a partir do AUTOMOT identificou-se a oportunidade de melhorias a serem aplicadas ao equacionamento matemático dos ensaios da Portaria 488 [3]. Isso decorre de fatores como a extrapolação de valores de perdas joule a zero, e seu impacto no sistema de medição.

7. RESULTADOS

Como resultado desse trabalho, com o desenvolvimento do AUTOMOT, destaca-se o estabelecimento de uma melhor capacidade de medição a ser aplicada para determinação do valor de rendimento de motores. A figura 6 apresenta de forma simplificada a carta de rastreabilidade utilizada como base para o equacionamento matemático para determinação da capacidade de medição do rendimento de motores, por meio da aplicação do AUTOMOT.

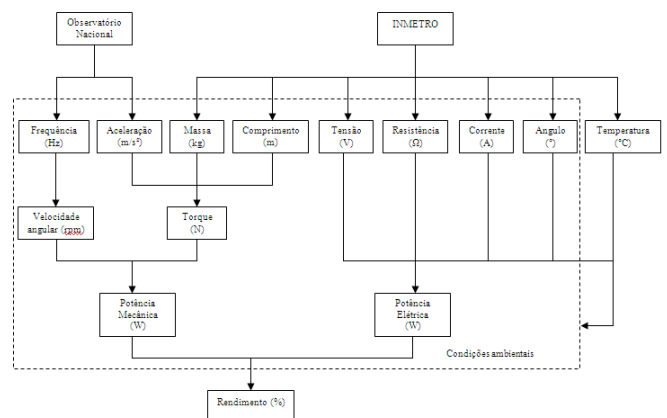


Figura 6. Carta de rastreabilidade aplicada para determinação do rendimento de motores por meio do uso do AUTOMOT

A estruturação dada pela figura 4 associada ao equacionamento matemático dos ensaios reflete em diferentes capacidades de medição para avaliação da conformidade de motores. Tais capacidades de medição foram estimadas segundo a sistemática de ensaios aplicada pelo AUTOMOT, e são representadas por meio da tabela 2.

Tabela 2. Tabela de incertezas para rendimento teórico de 0,9 e para 100% de carga

Motor de 2 pólos (até 2,0 cv)	$\pm 1,2$ %
Motor de 4 pólos (até 1,0 cv)	$\pm 1,0$ %
Motor de 6 pólos (até 0,7 cv)	$\pm 1,3$ %
Motor de 8 pólos (até 0,5 cv)	$\pm 1,4$ %
Motor de 2 pólos (até 7,5 cv)	$\pm 0,82$ %
Motor de 4 pólos (até 4,0 cv)	$\pm 1,2$ %
Motor de 6 pólos (até 3,0 cv)	$\pm 1,3$ %
Motor de 8 pólos (até 2,0 cv)	$\pm 0,97$ %
Motor de 2 pólos (até 15,0 cv)	$\pm 0,92$ %
Motor de 4 pólos (até 9,0 cv)	$\pm 0,87$ %
Motor de 6 pólos (até 5,0 cv)	$\pm 1,0$ %
Motor de 8 pólos (até 4,0 cv)	$\pm 1,0$ %

Outro resultado a ser destacado por meio do uso do AUTOMOT consiste na diminuição do tempo médio requerido para ensaiar um motor, de 16 horas para 6 horas, em medições de bancada. Isso impacta diretamente nos parâmetros gerenciais do laboratório, uma vez que envolvem fatores como seus custos operacionais.

8. CONCLUSÃO

Em alguns países a busca por melhores índices energéticos é um desafio constante, visto a preocupação global pela sustentabilidade das fontes de energia. Documentos normativos são recursos criados pelo Governo Brasileiro para subsidiar esta prerrogativa, ainda que de maneira regulatória. Em acordo a isso, o investimento em tecnologias que permitam o aprimoramento para mensurar o desempenho energético de produtos foi um dos objetivos alcançados por este trabalho.

Uma vantagem que merece destaque frente à automação desenvolvida é a sistematização dos ensaios requeridos pela Portaria 488, que envolve o controle de pelo menos de 14 mensurandos, de forma a minimizar e conhecer seus efeitos de variabilidade. Isso proporciona possibilidades de melhorias ao processo, as quais serão objeto de futuro trabalho, quanto à identificação de parâmetros que impactam no aprimoramento da capacidade de medição associada aos ensaios.

9. AGRADECIMENTOS

O apoio técnico da equipe do CEPTEL/ELETRÓBRÁS foi fundamental para o sucesso desse trabalho, em especial a Wagner de Almeida Duboc, Marcus Vinicius Barros Lopes e Marcos Antonio Gomes da Silva. Merece destaque também a parceria com o INMETRO, representado por Vladimir Rodrigues de Lima. A partir das contribuições desses parceiros a automação descrita neste artigo foi incentivada e realizada pela equipe do LABELO-PUCRS. Um forte e cordial agradecimento a todos.

REFERÊNCIAS

- [1] Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2008). 1ª Edição Brasileira. Rio de Janeiro, 2009. 78 p.
- [2] *Requisitos de avaliação da conformidade para motores elétricos de indução trifásicos rotor gaiola de esquilo*. Portaria INMETRO nº 243, de 04 de setembro de 2009.
- [3] *Requisitos de avaliação da conformidade para motores elétricos de indução trifásicos rotor gaiola de esquilo*. Portaria INMETRO nº 488, de 08 de dezembro de 2010.
- [4] FITZGERALD, A. E. KINGSLEY, C. Jr.; STEPHEN D. U. *Máquinas Elétricas*. 6ª edição. Editora McGraw-Hill, 2003.
- [5] DEL TORO, V. *Fundamentos de máquinas elétricas*. Editora LTC. Rio de Janeiro, RJ. 1999.
- [6] CARVALHO, G. *Máquinas Elétricas, Teoria e Ensaio*. Segunda edição. Editora Érica, 2007.
- [7] <http://www.weg.net/files/products/WEG-motores-eletricos-baixa-tensao-mercado-brasil-050-catalogo-portugues-br.pdf>. Acesso em 10/03/2011.
- [8] Decreto nº 4.508 de 11 de dezembro de 2002. Disponível em http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/legislacao/portaria_interministerial/Portaria_MM E-MCT-MDIC_no_553-2005.pdf. Acessado em 14/03/2011.
- [9] Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Disponível em http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/legislacao/portaria_interministerial/Portaria_MME-MCT-MDI C_no_553-2005.pdf. Acessado em 14/03/2011.
- [10] Decreto n.º 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Disponível em http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/legislacao/portaria_interministerial/Portaria_MM E-MCT-MDIC_no_553-2005.pdf. Acessado em 14/03/2011.
- [11] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5383-1 Máquinas Elétricas Girantes Parte 1: Motores de Indução Trifásicos – Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.
- [12] BOLDEA, I; NASAR, S. A. *The induction Machine Handbook*. Editora CRC, 2002.
- [13] <http://www.eletrabras.com/elb/procel>. Acesso em 10/03/2011.