

CONSERVAÇÃO DE ENERGIA EM MOTORES DE INDUÇÃO EM INDÚSTRIAS

Nelson Wander Beirão Simões

Jaime Antônio Burgoa

Cia Energética de Minas Gerais - CEMIG

Av. Barbacena, 1200 - 15º A2

30161 - Belo Horizonte - MG

João Roberto Cogo

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI

Artigo apresentado no I-SIDEEE - I Seminário Internacional de Distribuição de Energia Elétrica

Belo Horizonte/MG - 11-14/11/1990

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados sobre a utilização e a qualidade dos motores elétricos do parque industrial brasileiro. Baseou-se em pesquisas junto a 900 empresas, predominantemente indústrias onde foram aplicados diagnósticos energéticos e testes e ensaios em laboratório idôneo. Apresenta recomendações para melhoria do uso destas máquinas, bem como a melhoria de sua qualidade.

1 - INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo apresentar os principais resultados do projeto P.6.4.4/06 - DT "AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS MOTORES ELÉTRICOS TRIFÁSICOS", desenvolvido sob a coordenação da CEMIG e executado pela EFEI/FUPAI com os recursos financeiros da ELETROBRÁS/PROCEL. Nele é analisada a performance dos motores mais difundidos na indústria e fabricados em série no Brasil, na faixa de potência de 1 a 100 cv.

Nos testes realizados, verificou-se a possibilidade de redução das perdas nos motores sem o envolvimento de grandes investimentos, através da reavaliação de projetos, do maior controle de qualidade dos materiais utilizados e do processo de fabricação.

Este trabalho objetiva, também, identificar ações que possibilitem a melhoria da performance destas máquinas, bem como recomendações para sua utilização, para que, através de esforços conjuntos de fabricantes, usuários, órgãos de governo, concessionária de energia elétrica e outros envolvidos, sejam viabilizadas ações específicas para conservação de energia.

No estudo e aplicação da Norma ABNT (NBR 5383) e em estudos comparativos desta com normas estrangeiras, constatou-se a necessidade de sua revisão, visando eliminar a possibilidade de diferentes interpretações, torná-la mais clara e de fácil aplicação, viabilizando, inclusive, uma análise comparativa entre motores.

2 - MÉTODOS DE ENSAIO

Os métodos utilizados para determinação das características e parâmetros dos motores foram baseados na Norma ABNT NBR-5383 (1982).

Cabe ressaltar que as medições dos ensaios foram realizadas por um sistema de aquisição de dados acoplados a um microcomputador, evitando erros de leitura e de transposição de dados pelo operador.

3 - ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

3.1 - PERDAS A VAZIO - P_0

As perdas a vazio nos motores menores (3 a 15 cv) apresentam valores que variam entre 6 a 17% da potência nominal. Esta faixa altera-se para os motores de maior porte (>15 cv), situando-se entre 3,4 a 8%. Estas perdas praticamente mantêm-se constantes com a variação da carga no eixo do motor e tornam-se de grande significado, quando comparadas com as perdas totais nominais, atingindo valores entre 31 a 61%, conforme a TABELA nº 1.

As perdas a vazio compõem-se de:

- 1 - Perdas por atrito e ventilação (P_{av}).
- 2 - Perdas joule no enrolamento do estator (P_{jo})
- 3 - Perdas por histerese e Foucault no estator (P_{hf})

Quando o motor opera com o rotor livre, o único conjugado a ser vencido, é aquele devido ao atrito nos mancais e ventilação. Desprezando-se tais efeitos o motor estará girando a uma velocidade praticamente igual a síncrona. Nesta condição, a tensão induzida no rotor é praticamente zero e a corrente absorvida pelo estator será aquela necessária para a produção do campo e para suprir as perdas a vazio.

Assim, nos motores ensaiados, verifica-se uma maior participação das perdas no ferro (histerese e Foucault) nas perdas totais a vazio onde elas representam valores compreendidos entre 50,5 e 81,9%, conforme pode ser observado na TABELA nº 2.

Potência (cv)	Fabricante			
	A	B	C	D
3	42,8	44,7	49,6	50,6
5	53,8	61,3	55,6	54,3
7,5	38,8	55,5	43,8	43,0
10	52,6	54,9	47,8	50,0
15	52,8	41,0	38,3	53,3
20	31,1	-	-	-
25	34,3	-	-	-
30	-	49,6	39,3	39,6
40	-	50,2	-	-
60	-	-	-	42,2
75	36,4	-	-	-
100	-	-	40,7	-

OBS: Os motores de 60(cv) e 100 (cv) dos fabricantes C e D respectivamente não atingiram a potência nominal devido a problemas de vibração excessiva.

Potência (cv)	Fabricante			
	A	B	C	D
3	59,2	73,6	68,5	78,9
5	67,8	77,7	67,7	75,1
7,5	53,3	79,6	65,0	78,7
10	63,0	77,2	66,1	74,3
15	55,8	79,0	64,8	76,5
20	63,7	-	-	-
25	50,5	-	-	-
30	-	65,4	67,2	75,6
40	-	71,4	-	-
60	-	-	56,8	81,9
75	61,9	-	-	-
100	-	-	76,0	53,4

É grande, também, a influência da corrente a vazio na corrente nominal dos motores, principalmente nos de menor potência, onde elas atingem valores superiores a 50%, devido, provavelmente, à qualidade do aço utilizado na fabricação, conforme pode ser verificado na TABELA nº 3.

Distribuição de perdas em kW (motores de 10 cv)											
Fab	P_{total}	P_{ji}	%	P_{HF}	%	P_{AV}	%	P_{p2}	%	P_s	%
A	1,7096	0,437	25,56	0,566	33,11	0,230	13,45	0,1854	10,84	0,2912	17,03
B	1,2118	0,335	27,62	0,514	42,38	0,080	6,60	0,1809	14,92	0,1029	8,48
C	1,6104	0,368	22,85	0,509	31,61	0,180	11,18	0,1460	9,07	0,4074	25,3
D	1,3171	0,315	23,92	0,489	37,13	0,120	9,11	0,1690	12,83	0,2241	17,01
(%)	40,96	38,73		15,75		187,5		26,99		182,99	

(%)* Representa as maiores variações de perdas entre os motores.

Verifica-se que as perdas por efeito joule, no circuito do estator (P_{ji}) e as por histerese e Foucault são as que mais influenciam as perdas totais.

Potência (cv)	Fabricante			
	A	B	C	D
3	56	54	58	54
5	56	64	50	50
7,5	47	52	43	46
10	50	47	46	41
15	40	45	39	43
20	44	-	-	-
25	36	-	-	-
30	-	44	35	30
40	-	44	-	-
60	-	-	31	31
75	33	-	-	-
100	-	-	35	30

3.1.1 - Fator de Potência a Vazio na Tensão Nominal

Nos motores analisados, os valores obtidos para o fator de potência situaram-se na faixa entre 8,9% a 19,20%.

3.2 - PERDAS COM O MOTOR OPERANDO A PLENA CARGA

Analisando-se individualmente os valores obtidos das perdas para motores de mesma potência e de fabricantes diferentes, verifica-se uma ampla faixa de variação, permitindo concluir que é possível reduzi-las sem incorrer em aumento substancial do custo do motor, uma vez que se usou, nestas comparações, os motores encontrados normalmente no mercado.

Exemplificando, estão apresentados na TABELA nº 4 os valores obtidos para o motor de 10 cv de potência nominal, com a indicação da participação percentual das perdas individuais nas totais, bem como a faixa de variação:

3.2.1 - Perdas por efeito joule no Circuito do Estator (P_{j1})

As resistências ôhmicas dos enrolamentos do estator apresentam diferenças significativas para motores de mesma potência e de fabricante diferentes, atingindo em alguns casos valores superiores a 20%. Estas resistências definem as perdas por efeito joule no circuito do estator e as variações se devem, principalmente, à qualidade e à quantidade de cobre utilizado na fabricação dos motores.

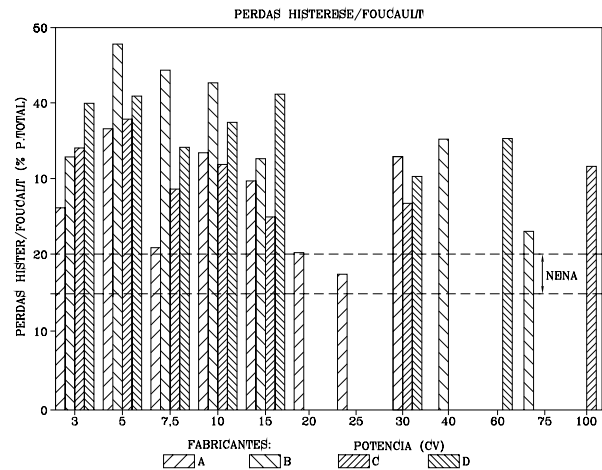
Assim, estas perdas podem ser reduzidas através do melhor dimensionamento e controle de qualidade dos condutores do circuito do estator.

3.2.2 - Perdas por histerese e Foucault (Phf)

A norma National Electrical Manufacturers Association - NEMA, através da publicação nº MG 10-1983, indica alguns valores percentuais de variações das perdas e os fatores que podem influenciá-las, conforme a TABELA nº 5.

Especificação das Perdas	% em Relação às Perdas Totais	Fatores que Influenciam nestas Perdas
Perdas no Estator	35 a 40	Dimensão dos condutores do estator
Perdas no Rotor	15 a 20	Dimensão dos condutores do rotor
Perdas no Ferro	15 a 20	Tipo e quantidade de material magnético
Perdas por Atrito e Ventilação	5 a 10	Seleção/Projeto de mancais e ventiladores
Perdas por Dispersão	10 a 15	Métodos de projeto e fabricação

Comparando-se estas faixas de variações com os valores obtidos nos ensaios, verifica-se que, em todos os motores ensaiados, as perdas por histerese e Foucault (Phf) são significativamente superiores conforme pode ser observado no diagrama nº 1. Este fato indica que se pode melhorar, significativamente, a performance desta máquinas com a utilização de aço de melhor qualidade na fabricação dos motores.



3.3 - RENDIMENTO

Na norma ABNT-NBR-5383, constam diversos métodos para determinação do rendimento que podem ser divididos em dois grupos principais:

1 - Métodos diretos

- Ensaio através de freio mecânico;
- Ensaio através de dinamômetros;
- Ensaio com máquina calibrada;
- Ensaio de oposição elétrica e mecânica.

2 - Métodos indiretos

- Determinação das perdas separadamente para sua adição;
- Determinação das perdas totais;
- Circuito equivalente
- Diagrama circular Tipo L.

Nos métodos diretos, o rendimento é calculado através de medições das potências elétrica e mecânica e nos métodos indiretos, ele é obtido através do cálculo das perdas normalmente a partir da medição dos parâmetros do motor nos ensaios de rotor livre e bloqueado. O método utilizado neste projeto, foi direto e intitulado "Ensaio através de Dinamômetros".

Ensaio em motores desenvolvidos por especialistas no assunto como Nailen, Cummings (1982 e 1983), Andreas (1982) e pelo Centro de Pesquisas da ELETROBRÁS - CEPEL comprovam que o rendimento, calculado por métodos diferentes de uma mesma norma ou métodos similares de normas diferentes, pode apresentar resultados discrepantes para um mesmo motor.

Estes fatos foram comprovados, também, nos ensaios realizados neste trabalho, onde se verificam diferenças significativas nos valores medidos com os especificados pelos fabricantes em catálogos. Assim sendo, torna-se necessária a revisão da norma ABNT NBR 5383, com o estabelecimento de critérios mais consistentes para expressar o rendimento de um motor. Isto certamente possibilitará uma maior competitividade no mercado, resultando em máquinas com melhores padrões de qualidade.

O catálogo não é o meio mais adequado para indicar o rendimento de um motor. Na fabricação, ele está sujeito a variações de material e de processos de produção que causam diferenças nos rendimentos de motor para motor de um mesmo projeto.

Além disso, os fabricantes que não atualizam seus catálogos com frequência, podem levar, por exemplo, o usuário a adquirir motores com parâmetros diferentes daqueles ali especificados. Assim, é recomendável que o valor de rendimento seja inserido na placa de identificação do motor, fornecendo ao usuário também estes parâmetro para escolha e não somente o preço do motor.

Nos ensaios desenvolvidos, verificou-se uma grande variação dos valores do rendimento nominal para motores de mesma potência e de fabricantes diferentes, conforme exemplificado na TABELA nº 6.

TABELA 6. Rendimento Nominal

Potência a (cv)	Fabricante (nº)				Variação %
	A	B	C	D	
3	73,30	77,40	74,30	76,55	5,6
5	81,97	81,50	80,90	81,30	1,3

solicitação mecânica admissível pelas barras do motor não seja ultrapassada.

3.8 - INFLUÊNCIA DE VARIAÇÃO DA TENSÃO NO COMPORTAMENTO DO MOTOR

A síntese dos resultados comparativos dos motores operando com tensões acima e abaixo da nominal com relação à operação na tensão nominal, encontram-se a seguir:

3.8.1 - Operação do Motor com Tensão acima da Nominal

Na TABELA nº 7 foram analisados, para 1,10 Un, 31 motores na condição a vazio e 28 com carga nominal. Nas condições de carga abaixo da nominal, foram analisados 21 motores em 46 posições de carregamento.

Condição de Carga	Parâmetros Analisados	+ 1,10 UN	Variação (%)	Frequência *
A Vazio	Perdas	Aumentam	13,48 a 66,25	100%
	Corrente	Aumenta	20,18 a 52,14	100%
	Fator Pot.	Diminui	0,64 a 18,52	87%
Abaixo da Nominal	Rendimento	Diminui	0,42 a 21,05	96%
	Corrente	Aumenta	0,37 a 36,41	96%
	Fator Pot.	Diminui	7,34 a 24,88	100%
Nominal	Rendimento	Diminui	0,13 a 4,41	78%
	Corrente	Diminui	0,39 a 6,25	68%
	Fator Pot.	Diminui	3,60 a 10,59	100%

* Percentual de motores que sofreram variação dos parâmetros quando foi variada a tensão de alimentação para valores superiores à nominal.

Como pode ser observado, a elevação da tensão prejudica sensivelmente o comportamento dos motores.

Na condição a vazio e com carga abaixo da nominal, verificou-se aumento significativo das perdas e da corrente de alimentação. Em alguns motores, a elevação de tensão provavelmente levou os motores para a região de saturação, provocando aumento da relutância do circuito magnético e redução de reatância de magnetização, resultando em aumentos significativos da corrente e das perdas joule no circuito do estator consequentemente nas perdas totais.

Na condição de operação com plena carga, o efeito da elevação de tensão é também prejudicial, porém em menor proporção do que nas operações a vazio e com carga inferior à nominal.

3.8.2 - Operação de Motor com Tensão Abaixo da Nominal

Na TABELA nº 8, foi analisado o mesmo de motores número do item 3.8.1 para 0,90 Un.

Condição de Carga	Parâmetros Analisados	- 110 UN	Variação (%)	Frequência *
A Vazio	Perdas	Diminuem	12,20 a 34,00	100%
	Corrente	Diminui	11,83 a 28,05	100%
	Fator Pot.	Aumentam	0,72 a 19,17	90%
Abaixo da Nominal	Rendimento	Aumenta	0,29 a 10,52	83%
	Corrente	Diminui	0,50 a 15,54	70%
	Fator Pot.	Aumenta	4,81 a 25,38	93%
Nominal	Rendimento	Diminui	0,13 a 9,20	93%
	Corrente	Aumenta	3,25 a 16,46	100%
	Fator Pot.	Aumenta	0,58 a 7,99	100%

Na operação a plena carga, a corrente e as perdas aumentaram. A redução de tensão com a manutenção da potência acionada faz com que a corrente de alimentação aumente, visto que a potência elétrica de alimentação deve ser maior que a potência mecânica no eixo. Com o aumento da corrente de alimentação aumentam também as perdas por efeito joule no estator com uma consequente redução no rendimento.

Na operação a vazio e com carregamento abaixo da nominal, as perdas e a corrente, na maioria dos motores, diminuíram devido à redução sensível das perdas no ferro que representam uma grande parcela das perdas totais.

Esses resultados levam a crer que o funcionamento de um motor com tensão e carregamento abaixo do nominal é benéfico sob o aspecto de conservação de energia. Ressalta-se, no entanto, que o conjugado desenvolvido por um motor varia aproximadamente com o quadro da tensão. Assim, uma redução de tensão em 10% acarretará uma redução do conjugado em 21% o que pode ocasionar sérios problemas nos motores que partem com carga.

3.9 - INFLUÊNCIA DO DESEQUILÍBRIO DE TENSÕES NO COMPORTAMENTO DO MOTOR

De um modo geral, nos motores ensaiados, a influência deste desequilíbrio de tensões (5 e 10%) afetou, de forma significativa, o rendimento da maioria dos motores, executando-se 2 (dois), em que o rendimento diminuiu em 7,97 e 7,12% na condição de carga nominal.

Este efeito deve ter sido minimizado devido às diferentes impedâncias das três fases do motor que, através do desequilíbrio de tensões, causaram compensações.

3.10 - SOBRE DIMENSIONAMENTO DE MOTOR

A análise de uma instalação elétrica, visando a economia de energia, deve ser feita levando-se em conta os motores elétricos e todos os parâmetros envolvidos como o perfil da tensão de alimentação, corrente, fator de potência e outros.

Assim, embora o motor seja uma máquina importante, ele não deve ser analisado isoladamente, pois

o efeito de um baixo rendimento não refletirá apenas nele, mas em todo o sistema elétrico com os seus respectivos custos.

Quando o motor opera com carga inferior à nominal, significa que as perdas no rotor acompanham, de forma aproximadamente proporcional, a redução de potência mecânica fornecida à carga. No entanto, o mesmo não ocorre com as perdas por efeito joule nos enrolamentos do estator e as por histerese e Foucault, resultando em queda de rendimento.

Ressalta-se, todavia, que nem sempre se têm benefícios em termos de rendimento, ao substituir o motor sobredimensionado cujos projetos e curvas características de rendimento apresentam o valor máximo para uma potência inferior à nominal, por outro melhor dimensionado. A vantagem da substituição está no fato da corrente absorvida por este motor ser menor do que aquela correspondente ao motor sobredimensionado, reduzindo as perdas nos circuitos alimentadores. Isto ocorre por que a corrente de alimentação não se reduz na mesma proporção, devido à parcela correspondente à corrente a vazio que independe da variação da carga acionada.

A avaliação do efeito do sobredimensionamento foi feita através da comparação dos valores obtidos nos ensaios, para um motor operando com baixa condição de carga, com outros do mesmo fabricante operando nas potências nominais equivalentes, ou seja, um motor de 15 cv operando com 3 cv na ponta do eixo, foi comparado a outro de 3 cv operando a plena carga.

Exemplificando, estão apresentados, na TABELA 9, os resultados da avaliação de um motor, com as seguintes características:

- 15 cv, fabricante A, operando com 10; 7,5%; 5 e 3 cv, na ponta do eixo nas tensões de 100, 110 e 90% da nominal.

Motor	P _{eixo} (cv)	I(A)	n%	cos ψ	Tensão
		22,38	68,09	0,345	110% U _n
	3	18,47	67,47	0,414	100% U _n
		16,48	69,35	0,469	90% U _n
		24,30	75,65	0,475	110% U _n
	5	20,72	79,75	0,578	100% U _n
		19,23	81,41	0,661	90% U _n
		27,14	80,55	0,600	110% U _n
15 cv	7,5	25,13	83,81	0,703	100% U _n
		24,09	85,13	0,781	90% U _n
		30,58	82,95	0,0691	110% U _n
	10	29,25	84,47	0,779	100% U _n
		30,13	85,11	0,834	90% U _n
		39,22	84,50	0,794	110% U _n
	15	40,49	84,01	0,849	100% U _n
		44,17	83,23	0,873	90% U _n

- Os motores de 3; 5; 7,5; e 10 cv do mesmo fabricante, operando a plena carga e com tensões de 100, 110 e 90% da nominal, apresentam os resultados na TABELA nº 10.

Motor	P _{eixo} (cv)	I(A)	n%	cos ψ	Tensão
3 cv	3	9,36	74,91	0,742	110% U _n
		9,84	73,30	0,804	100% U _n
		11,46	66,56	0,848	90% U _n
5 cv	5	15,97	80,00	0,686	110% U _n
		15,40	81,97	0,763	100% U _n
		15,90	81,77	0,824	90% U _n
7,5 cv	7,5	21,78	79,82	0,755	110% U _n
		21,09	83,50	0,822	100% U _n
		22,45	82,93	0,872	90% U _n
10 cv	10	29,89	80,80	0,725	110% U _n
		30,04	21,13	0,791	100% U _n
		32,29	80,37	0,827	90% U _n

- Os resultados comparativos em porcentagem estão apresentados nas TABELAS 11, 12 e 13. Os sinais positivo e negativo significam aumento ou redução dos parâmetros analisados (corrente, rendimento e fator de potência):

Motor	P _{eixo} (cv)	I%	n%	cos ψ	Motor
15 cv	3	+139,10	-9,10	-53,50	3 cv
	5	+52,16	-5,44	-30,76	5 cv
	7,5	+24,61	+0,92	-20,53	7,5 cv
	10	+2,31	+2,66	-4,69	10 cv

Motor	P _{eixo} (cv)	I(%)	n%	cos ψ	Motor
15 cv	3	+87,70	-7,95	-48,51	3 cv
	5	+34,55	-2,71	-24,25	5 cv
	7,5	+19,16	-0,37	-14,48	7,5 cv
	10	-2,63	+4,12	-1,52	10 cv

Motor	P _{eixo} (cv)	I(%)	n%	cos ψ	Motor
15 cv	3	+43,81	+4,19	-44,69	3 cv
	5	+20,94	-0,44	-19,78	5 cv
	7,5	+7,31	+2,65	-10,44	7,5 cv
	10	-6,69	+5,90	-0,85	10 cv

Observa-se que um motor de 15 cv operando na tensão nominal e com uma carga de 3 cv na ponta do eixo, apresenta uma corrente 87,7% superior e um rendimento 7,95% inferior ao de um motor de 3 cv operando a plena carga.

Ressalta-se que, além da queda acentuada do rendimento, as perdas por efeito Joule nos cabos de alimentação, para o caso anteriormente citado, são 252% maiores, porque variam com o quadrado da corrente.

Por outro lado, nesta mesma tensão, a substituição de um motor de 15 cv por um de 10 cv resulta em perda de energia, tendo a vista que o motor mesmo sobredimensionado (15 cv) apresenta uma corrente inferior e um rendimento superior ao do outro (10 cv) a plena carga, no caso do fabricante em análise.

Estas duas situações alertam novamente sobre a necessidade de uma análise criteriosa que leve em conta todos os parâmetros envolvidos (técnicos e econômicos), quando se tratar da substituição de motores sobredimensionados.

4 - CONSIDERAÇÕES E SÍNTESES DOS RESULTADOS OBTIDOS

Existem muitos métodos de teste em motores para determinar seus rendimentos. Nos Estados Unidos, a prática comum para motores de 1 a 125 (HP), e o teste do motor contra absorção de carga, chamado dinamômetro, com a medição cuidadosa da potência de entrada e de saída, para determinar as perdas correspondentes e conseqüentemente o rendimento. Este método é especificado na norma IEEE-112-Método B e a metodologia para determinar o rendimento nominal está

definida na norma NEMA. A prática usual na Europa e Japão é diferente e permite fazer testes sem carga que, combinados com certas suposições, são usados para calcular o rendimento.

Estas práticas são mais rápidas e de menor custo que a IEEE 112, mas são também menos precisas, devido às suposições requeridas. No caso dos métodos europeus e japoneses, a resultante do rendimento nominal será provavelmente mais que o desempenho real.

A norma ABNT de especificação e testes de motores apresenta fórmulas que devem ser revistas e a exposição das metodologias não é clara quanto à realização dos ensaios. São 8 (oito) os métodos para determinação do rendimento sendo 4 (quatro) diretos (mais precisos) e 4 (quatro) indiretos (menos precisos) que, se utilizados em um mesmo motor, podem resultar em valores com significativas diferenças. Por outro lado, alguns fabricantes não indicam em seu catálogo qual o método que foi utilizado na determinação dos parâmetros do seu motor. As conseqüências recaem sobre o usuário, que, sem maiores informações, adquire o motor influenciado apenas pelo fator preço, sem levar em consideração aspectos de eficiência energética e de durabilidade. Esta indefinição quanto ao método impossibilita também a comparação entre motores de mesma potência e de fabricante diferentes, pois um motor de boa qualidade pode apresentar o mesmo valor de rendimento que um de má qualidade, simplesmente, porque os métodos de ensaio utilizados não são os mesmos.

Conforme já foi descrito neste relatório, estão apresentados diversos itens que mencionam a influência da qualidade dos materiais nas perdas dos motores. Tomando como base apenas os motores na faixa de 3 a 15 cv, os resultados dos testes mostram que o rendimento dos motores varia de 73,3 até 86,5%, com as perdas representando valores compreendidos entre 36,43 e 15,61% respectivamente, das potências nominais dos motores. Devido a esta ampla faixa de variação de rendimento e analisando-se cada uma das perdas separadamente, fabricante por fabricante, nota-se que é possível reduzi-las individualmente, aproveitando as melhores características existentes em cada um deles.

As reduções seriam possíveis nos seguintes pontos:

- A participação das perdas no ferro nas perdas totais que atingem valores de 47,64%, podem ser reduzidas para valores em torno de 30%;
- As perdas por efeito Joule representando valores que chegam a alcançar até 35,33%, podem ser reduzidas para valores da ordem de 25% do total;
- As perdas por atrito e ventilação representando valores que atingem 19,53%, podem ser reduzidas para valores em torno de 5%;
- As perdas por efeito Joule no rotor apresentando valores que atingem até 25%, podem ser reduzidas para valores em torno e 15%.

Isto significa que, utilizando-se a tecnologia já disponível no Brasil, é possível reduzir as perdas totais

para valores compreendidos entre 29,20 a 15,61% da potência nominal dos motores de 3 a 15 (cv), diminuindo o desperdício de energia entre 24 e 21%. Assim, o rendimento destes motores que, nos piores casos, se situa entre 73,3 a 84,01%, pode se elevar para a faixa entre 77,4 a 86,5% pelo menos, sem o envolvimento de grandes investimentos.

A alimentação com tensão acima ou abaixo da nominal influencia significativamente o comportamento dos motores, conforme a seguir:

- Na operação do motor a plena carga, a variação da tensão em apenas 10% (acima e abaixo) normalmente resulta em queda do rendimento;
- Na operação com tensão e carregamento inferiores ao nominal, o rendimento, na maioria dos motores, eleva-se e a corrente de alimentação é inferior ao valor obtido para o motor operando a plena carga;
- Na operação com tensão superior e carregamento inferior ao nominal, ocorre o contrário, havendo queda acentuada do rendimento e elevação da corrente.

O sobredimensionamento de motores para a carga acionada é um item que merece atenção especial, principalmente quando analisado sobre o ponto de vista de substituição por outro de potência adequada. Neste caso, uma vez identificado o sobredimensionamento, o reflexo não será localizado somente nele, mas em todo sistema elétrico com os seus respectivos custos.

A substituição de motores, em que os projetos e curvas características de rendimento apresentam o seu valor máximo para uma potência inferior à nominal, por um melhor dimensionado pode não resultar em benefícios em termos de melhoria da eficiência. A vantagem, no entanto, pode estar no fato da corrente absorvida por estes motores ser menor do que aquela correspondente ao motor sobre dimensionado, reduzindo as perdas nos circuitos alimentadores.

5 - RECOMENDAÇÕES

Com base na análise dos resultados obtidos neste projeto, foi possível identificar algumas medidas orientativas que poderão possibilitar a melhoria da performance dos motores.

a - NORMAS

- Revisar a Norma ABNT (NBR-5383-1982) de teste e especificação de motores de forma a eliminar distorções e ambigüidades e orientar de modo claro e seguro os procedimentos para execução dos ensaios, apresentando, inclusive, um exemplo de aplicação prática (como é feito pela C.S.A. Canadian Standarts Association).
- Definir claramente um método único de ensaio para determinação do rendimento e especificação dos motores pelos fabricantes. Recomenda-se o método do “Dinamômetros com Segregação de Perdas”, utilizando-se dinamômetros ou transdutores de torque com medição direta de todas as perdas.

- Determinar a inclusão dos valores do rendimento, fator de potência e corrente a vazio na placa de identificação dos motores.
- Realizar revisões periódicas nas Normas de teste, visando acompanhar a evolução tecnológica dos motores, equipamentos de medições mais modernos e novas metodologias de testes que surjam no mercado.
- Estabelecer valores mínimos e/ou faixa de valores para determinados parâmetros, para os motores brasileiros utilizados no País.
- Ampliar o fórum para discussão das normas de forma a envolver cada vez mais técnicos e entidades que tenham interesse e possam contribuir para a melhoria da performance dos motores.

b - FABRICANTES

- Procurar utilizar materiais mais uniformes, com qualidade e quantidade, na fabricação dos motores, principalmente no que se refere ao aço e cobre;
- Realizar revisões nos projetos, visando otimizar as curvas características de rendimento e fator de potência.
- Atualizar periodicamente os dados de catálogos de forma a refletir o mais próximo possível a realidade.

c - CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA ELÉTRICA

- Fornecer energia elétrica com tensões equilibradas e nos níveis adequados, tendo em vista os efeitos que a variação de tensão acarreta nos motores.

d - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - PROCEL

- Intermediar a negociação entre as entidades envolvidas para implantação das medidas recomendadas;
- Viabilizar juntamente com o Instituto Nacional de Metrologia - INMETRO o lançamento de um projeto de etiquetagem de motores de âmbito nacional, para certificação de conformidade com a norma. Recomenda-se esta providência para motores com potências até 100 cv.
- Viabilizar o credenciamento pelo INMETRO de laboratórios idôneos para realizar e apresentar os resultados dos ensaios previstos na norma. Estes laboratórios devem ser aferidos por um deles que será considerado padrão;
- Atuar junto aos fabricantes de máquinas e usuários, no sentido de evitar o sobredimensionamento de motores;
- Promover campanhas publicitárias e elaborar manuais e roteiros para sensibilizar e orientar os fabricantes de máquinas e os usuários quanto à melhor especificação e utilização dos motores, bem como estimular o uso de motores de maior rendimento.

6 - BIBLIOGRAFIA

- [1] - Almeida, A.T.L.; “Especificação de Motores de Indução Trifásica Controlados pela Variação Combinada do Valor Eficaz da Tensão do Estator e da Resistência do Rotor” - Dissertação de Mestrado,

- Escola Federal de Engenharia de Itajubá -
Fevereiro/1986.
- [2] - ANSI - C50 41 - 1977.
 - [3] - IEC - Pub. 34-2 - 1972.
 - [4] - Almeida, A.T.L.; Sá, J.S; Abreu, J.P.G. -
“Determinação das Perdas de um Motor de Indução
Trifásico com Velocidade Controlada pela Variação
Combinada da Tensão do Estator e da Resistência
Rotórica” - Anais do 6º Congresso Brasileiro de
Automática, Belo Horizonte, 1986, pp. 464-469.
 - [5] - Wagner, C.F.; Evans, R.D. - “Symmetrical
Components” - McGraw Hill Book Co. Inc., New
York, 1983.
 - [6] - Nema Standard - MG1 - 14.34.
 - [7] - Willians, S.E. - “Operation of 3-phase Induction
Motors on Unbalance Voltages” - AIEE Trans.
 - [8] - Ruppert, Fº E.; Arango, H.; Sá, J.S. - “Obtenção dos
Parâmetros do Circuito Equivalente de Motores de
Indução Trifásicos Através de Dados de Fabricantes”
- Anais do IV Seminário Interno, EFEI, 1988.
 - [9] - Andreas, J.C. - “Energy Efficient Electric Motors -
Selections and Applications” - New York - Marcel
Dekker, Inc. - 1982.
 - [10] - Zeygberkg, S.; Sokolov, E. - “Verlustermittlung in
Stromrichtergespeiten Asynchronomotor” - ETZ -
Ausg. A90, 612-1969.
 - [11] - Rossmair, V. - “Der Temperaturverlauf in Einem
Stab Stromverdraengungskaefig Laenfermotor in
Abhaengigkeit vom Ort um Zeit Waehrend des
Hochlaufes” - Archiv fuer Elektrotechnik - 1938.
 - [12] - Sá Jocélio S.; “Contribuição à Análise de Motores
de Indução Trifásicos com Rotor do Tipo Gaiola” -
Tese de Doutorado, UNICAMP - 1989.
 - [13] - Heiles, Franz - “AnlauferWaermung von
Kaefigwicklungen und Zulaessig Schalthaeufigkeit”
- ETZ Elektrotechnische Ze itschrift - 1962.
 - [14] - Schuisky, W. - “Temperaturverteilug in Hochstab
von Induktionsmotorenlaeufern beim Aulauflauf” -
Elektrotechnk und Mascchinembau” - 1953.
 - [15] - Fitzgerald, A.E.; Jr Charles K.; Kusko, Alexander
“Máquinas Elétricas”, Editora McGraw-Hill do
Brasil Ltda. - 1977.
 - [16] - Kostenko, M.P.; Piotrovski, L.M., “Máquinas
Elétricas” - Editorial MIR Moscou - 1937.
 - [17] - NBR 5383/1982 - “Máquinas Elétricas Girantes -
Máquinas de Indução - Determinação das
Características”.
 - [18] - NBR 7094/1981 - “Máquinas Elétricas Girantes -
Motores de Indução”.