

## EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

**Fernando Cássio Ribeiro<sup>1</sup>, Rodrigo Augusto Neves<sup>2</sup>, Luiz Roberto Nogueira<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> FEAU / UNIVAP, Estrada do Limoeiro 250, Jacareí-SP

<sup>1</sup>f-cassio@ig.com.br, <sup>2</sup>neva080@ig.com.br, <sup>3</sup>nogueira@univap.com.br

**Resumo-** Este trabalho pretende, a partir de dados coletados em chão-de-fábrica, obtidos para a realização de diagnósticos energéticos, dar a sua contribuição para estimar-se a otimização no uso de motores elétricos de indução trifásico no potencial de conservação de energia elétrica na indústria brasileira. Inicialmente, é discutido a Lei e o potencial de conservação de energia final na indústria, em especial a elétrica e em força motriz. Apresenta-se o motor elétrico de indução trifásico e as diversas questões relativas ao seu uso industrial, para então se apresentarem os dados obtidos e propor substituição de motores Standard por motores de alto rendimento nas indústrias.

**Palavras-chave:** Eficiência energética, Motores Elétricos, Economia de Energia, Motores de Alto Rendimento, Índice de Carregamento.

**Área do Conhecimento:** Engenharia Elétrica

### Introdução

A aprovação da “Lei de Eficiência Energética” (Lei no 10.295 de 17. Out.2001 – BRASIL, 2001), cuja tramitação no Congresso Nacional iniciou em 1990, vem instituir a etiquetagem obrigatória no Brasil, mecanismo de reconhecida eficácia para melhorar o uso eficiente de energia. O primeiro equipamento a ser regulamentado foi o motor elétrico trifásico, através do Decreto 4.508, de 11.Dez.2002. Estima-se que este equipamento pode chegar a consumir 32% da energia elétrica do país (MME, 2001).

A eficiência energética é, hoje, uma questão crucial para a Humanidade – Geller, em seu último livro Energy Revolution, afirma que “as atuais fontes de energia e padrões de uso são insustentáveis. O consumo cada vez maior de combustíveis fósseis causará enorme dano ao meio ambiente, riscos sem precedentes à mudança do clima e esgotará rapidamente as reservas de petróleo”. Não é uma mensagem pessimista, pois logo adiante acrescenta que uma “revolução energética” é possível e desejável. Enfatizando-se uma eficiência energética muito maior e ganhando-se confiança nas energias renováveis, todos os problemas relativos aos atuais padrões de uso de energia e suas tendências podem ser mitigados

Abordamos a análise tecnológica dos motores elétricos usados na indústria, incluindo: características construtivas de funcionamento, as causas de baixa eficiência, como se faz o seu dimensionamento, o que é um motor de alto rendimento, sua aplicação e, finalmente, como se avalia a troca de um motor e como se otimiza

um investimento em motores de alto rendimento em uma fábrica (ALMEIDA, M. A.)

Estimativas têm sido feitas, chegando a apontar uma economia de 4% (PROCEL). Este trabalho pretende, a partir de dados coletados em chão-de-fábrica para a elaboração de diagnósticos energéticos, estimar o impacto do uso de motores atuais (Standard) e verificar que projeções podem ser feitas para o melhoramento no âmbito industrial visando economia de energia elétrica e obviamente redução de custo com este insumo.

### Metodologia

As atividades fabris requerem, em princípio, um motor robusto, de alta confiabilidade, boa eficiência, que reaja bem a variações de carga, com baixo custo. Alguns processos requerem variação de velocidade, com um bom controle. Ademais, algumas áreas, classificadas como áreas perigosas, exigem um equipamento que não provoque centelhas.

O motor que melhor tem se adaptado – e o tem muito bem – a estes serviços é o motor de indução trifásico, com rotor em gaiola de esquilo, de construção bastante robusta, sem partes faiscantes, com rendimento na casa de 90%, exigindo quase nenhuma manutenção, barato, tem poucas desvantagens: não varia a velocidade, operação degradada em baixa carga (baixos rendimento e fator de potência), alta corrente de partida. O maior obstáculo em aplicações foi, até há cerca de vinte anos, a variação de velocidade, quando perdia em muito para o motor de corrente contínua (este, entretanto, é um motor caro, delicado, que exige

muita manutenção e cuidado). A solução veio com o avanço da eletrônica de potência, que produziu os conversores de frequência, equipamentos que convertem a corrente alternada da rede de frequência fixa (no Brasil, 60 Hz) em variável (que pode ir de 6 a 120 Hz). Adicionalmente, esta aplicação pode também servir para economizar energia.

Motores de alto rendimento são, portanto, motores com desempenho otimizado sendo de:

- Chapas magnéticas de melhor qualidade: utilizando aço com maior teor de silício, que tem maior suscetibilidade, reduzindo as perdas no ferro.

- Maior volume de cobre: além de reduzir as perdas por efeito Joule no bobinado do estator, faz o motor trabalhar a temperatura mais baixa, aumentando sua vida útil.

- Enrolamentos especiais: reduzem as perdas no estator.

- Núcleos dos rotor e estator tratados termicamente: reduz as perdas suplementares.

- Desenho das ranhuras: permitindo um maior enchimento, facilitando a dissipação de calor.

- Maiores barras e anéis de curto-circuito: diminuem as perdas Joule no rotor.

- Melhor desenho da ventilação: reduzindo as perdas por ventilação.

- Redução do entreferro: melhor projeto do rotor, menos ovalizado, permitindo a redução do entreferro.

Com todas essas melhorias, é natural que o motor de alto rendimento custe mais caro (cerca de 20 a 30%). A sua utilização em lugar de um motor padrão (ou, até mesmo, a troca de um motor em operação), no entanto, pode ser economicamente viável em função do custo de energia economizado ao longo de sua vida útil (o custo da energia elétrica consumida por um motor chegar a mais de 100 vezes o seu preço de aquisição (AMERICO, 2003)).

Considerando que o trabalho estabelece apenas o rendimento nominal dos motores, por potência e polaridade, faz-se necessário avaliar-se primeiramente: Como e quanto operam os motores da indústria? Qual a sua distribuição por potência? Qual o rendimento operacional? Qual o ganho com a troca pelos novos motores? Para responder a estas questões foram feitas coletas de dados em campo e estudo de processo como apresentado.

Analisados motores elétricos de indução trifásico (Standard) que operam vinte e quatro horas por dia, trezentos e sessenta e cinco dias por ano, em regime contínuo de operação. Os motores escolhidos para a análise foram motores a partir de 20 cv, sendo considerado o rendimento de placa dos motores.

Este trabalho está sendo implantado em uma empresa de São José dos Campos, a Monsanto do Brasil que adotou a idéia e com base em seus padrões de desenvolvimento transformou este em um projeto Six Sigma o qual visa redução no consumo de energia elétrica e ganhos financeiros.

Feita uma pesquisa na área produtiva da empresa Monsanto do Brasil e escolhidos os motores que serão o foco da discussão como mostra a tabela a seguir:

Tabela 1 – Motores em estudo

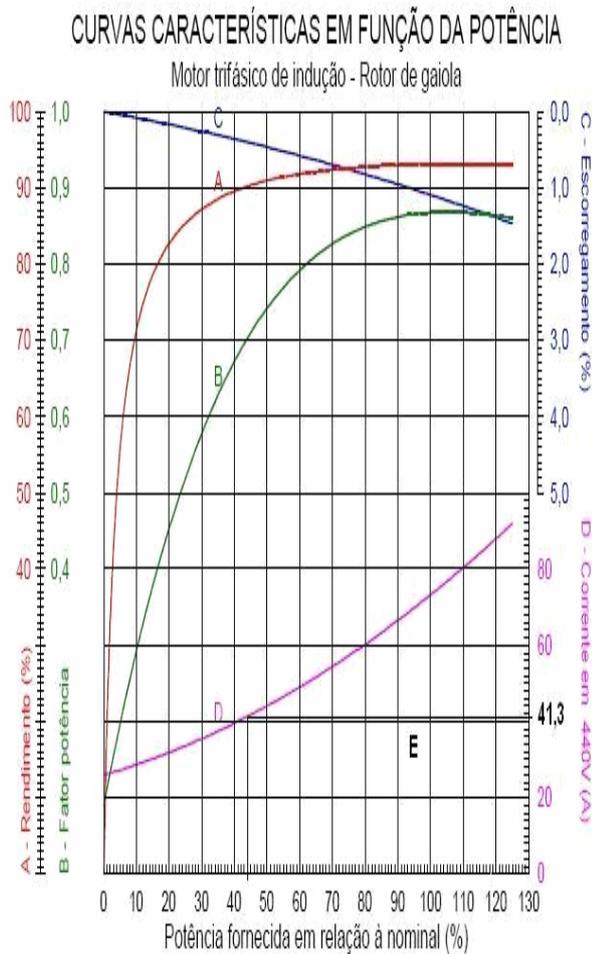
MOTORES AREA UTIL											Corrente Média (R)		
Tag	Local de Instalação	Descrição	Área	Tipo de Carga	Par	n	PN (rev)	IN	Média IR	Índice Carregam. (%)	R	S	T
M102	BOMBA DA TORRE DE RESFRIAMENTO	MOTOR 125CV 4P 445T	UTIL	BOMBA	2	1781	125	150	121,0	81,50%	120	122	121
M101	BOMBA DA TORRE DE RESFRIAMENTO	MOTOR 125CV 4P 445T	UTIL	BOMBA	2	1781	125	150	102,0	64,00%	101	102	103
M103	BOMBA DA TORRE DE RESFRIAMENTO	MOTOR 125CV 4P 445T	UTIL	BOMBA	2	1781	125	150	110,7	72,00%	110	112	110
M104	BOMBA DA TORRE DE RESFRIAMENTO	MOTOR 125CV 4P 445T	UTIL	BOMBA	2	1770	125	140	93,0	58,00%	97	96	99
B4-825	BOMBA TROCADOR DE CALOR T24-600	MOTOR 125 CV	UTIL	BOMBA	2	1780	125	150	122,6	81,50%	121,7	124,2	122
B5-501	VENTILADOR AXIAL	MOTOR 100CV 4P 28030M	UTIL	VENTILADOR	2	1785	100	120	101,0	82,00%	101	101	102
B5-502	VENTILADOR AXIAL	MOTOR 100CV 4P 28030M	UTIL	VENTILADOR	2	1785	100	120	60,0	47,00%	60	60	60
B5-503	VENTILADOR AXIAL	MOTOR 100CV 4P 28030M	UTIL	VENTILADOR	2	1785	100	120	101,0	82,00%	100	102	102
BND-02	BOMBA DO LÍQUIDO COM OXÍGENO REVERSA	MOTOR	UTIL	BOMBA	1	3355	75	67	61,7	94,30%	62,4	60	62,7
B5-551	VENTILADOR DA CALDEIRA	MOTOR 75CV 4P 22530M	UTIL	VENTILADOR	2	1770	75	86,5	66,0	74,00%	65,0	66,1	66,2
B5-553	BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA	MOTOR 75CV 2P 22530M	UTIL	BOMBA	1	3360	75	85	82,7	95,00%	81,2	82,0	82,1
B5-554	BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA	MOTOR 75CV 2P 22530M	UTIL	BOMBA	1	3360	75	85	82,6	95,00%	82,0	82,5	82,4
M108	VENTILADOR AXIAL	MOTOR 60 CV 4P 22530M	UTIL	VENTILADOR	2	1770	60	74	41,0	44,00%	42	41	41
M109	VENTILADOR AXIAL	MOTOR 60 CV 4P 22530M	UTIL	VENTILADOR	2	1770	60	74	33,7	28,00%	33	34	34
B4-440-A	BOMBA DA CAIXA GERAL	MOTOR 60 CV	UTIL	BOMBA	3	1170	60	72	60,0	78,00%	60	59	61
B4-440-B	BOMBA DA CAIXA GERAL	MOTOR 60 CV	UTIL	BOMBA	3	1170	60	72	60,7	78,00%	60	61	61
B301	BOMBA DO TQ DESM	MOTOR 40 CV	UTIL	BOMBA	1	3360	40	48,5	35,6	68,00%	35,6	35,5	35,0
B302	BOMBA DO TQ DESM	MOTOR 40 CV	UTIL	BOMBA	1	3360	40	48,5	31,0	63,00%	30,0	32,2	30,4
B303	BOMBA DO TQ DESM	MOTOR 40 CV	UTIL	BOMBA	1	3360	40	48,5	40,5	80,00%	41,0	39,0	39,0
B4-430	BOMBA DA LAGOA DE RESÍDUO	MOTOR	UTIL	BOMBA	2	1780	30	37	23,0	45,00%	23	22,0	23
B1-635	BOMBA DO TANQUE CLARIFICADOR	MOTOR	UTIL	BOMBA	2	1760	25	30	20,0	58,00%	20	20	21
B4-836	BOMBA DO TANQUE CLARIFICADOR	MOTOR	UTIL	BOMBA	2	1760	25	30	20,0	58,00%	21	20	20

MOTORES AREA BFC													
B227	BOMBA DE ÁGUA COMPOSTA	MOTOR 100 CV 4 P 0000 2	BFC	BOMBA	2	1785	100	121	85,0	68,00%	84	87,0	85,5
B120	BOMBA DE ÁGUA QUENTE	MOTOR 75 CV 4 P 0000 225	BFC	BOMBA	2	1770	75	86,5	59,2	63,00%	59,5	59,2	59

Os motores apresentados na tabela 1 foram estudados em campo e com auxílio de um instrumento de medição Fluke, medidas as três fases de corrente elétrica (R, S, T). Utilizando-se como dados de entrada as médias aritméticas das correntes lidas em cada uma das fases em regime contínuo de operação foram traçados os gráficos buscando o índice de carregamento dos motores, pela curva característica de corrente. Como exemplo segue a curva característica de um motor de 60 cv, média das correntes nas fases R, S, T sendo 41,3 A, obtendo pela curva de corrente um índice de carregamento de 44 %.

Gráfico 1- Curva característica de desempenho de um motor trifásico



11-109	Site WEG (Nominal)	Tabela (real)
Potência (cv)	60	60
Pólos	4	4
Frequência (Hz)	60	60
Tensão (V)	440	440
Carcaça	225 S/M	225 S/M
RPM	1780	1794
In (A)	73	41,3
Fc (corrente)	44,0%	

Segundo WEG (1998) quando o regime de trabalho for contínuo, deve-se especificar o motor para operar entre 75% e 100% da potência nominal, o que corresponde à faixa de melhor rendimento. No dimensionamento de motores elétricos deve-se considerar o torque de partida da carga e o regime de funcionamento (número de partidas por hora), haja visto que, em algumas situações, é necessário o uso de motores de maior potência para suprir as características da carga.

Desta forma conforme a tabela 1 foram identificados os motores que estão com índice de carregamento abaixo de 70% e considerado operação contínua desprezando partidas, sendo estes os motores que ter-se-á maior retorno financeiro.

Para todos os motores da tabela 1 foram traçados gráficos como o gráfico 1 para verificar o índice de carregamento. Conforme apresentado os motores que tiveram índice de carregamento abaixo de 70% (em destaque na tabela 1) serão propostos a sua substituição por motores de alto rendimento visto que a economia de energia elétrica é visível e também rentável.

Após pesquisa em campo para levantamento dos dados dos motores e com auxílio do site da Weg foi possível calcular a economia em kwh/ano e também em R\$/ano comparando motores Standard e motores de alto rendimento como segue:

Tabela 2- Cálculo retorno financeiro.

Retorno de Investimento ( Motor Standard / Motor Alto Rendimento Plus )									
Economia:				Economia (R\$/ano):					
524.214,18 kWh/ano				R\$ 57.663,56					
Descrição	cv	Pólos	Qtde	Eco (kWh/ano)	Eco (R\$/ano)				
	300	4	1	250.190,13	27.520,91				
	125	4	1	99.804,33	10.978,48				
	100	4	1	76.973,83	8.467,12				
	60	4	1	43.135,88	4.744,95				
	40	4	1	26.397,23	2.903,70				
	25	4	1	15.563,44	1.711,98				
	20	4	1	12.149,94	1.336,43				
Motor Standard									
Descrição	cv	Pólos	Qtde	Rend%	Estado	Cons kWh/h	h/dia	dias/ano	Cons kWh/ano
	300	4	1	85	Para troca (Funcionando)	259,76	24	365	2.275.538,82
	125	4	1	85	Para troca (Funcionando)	108,24	24	365	948.141,18
	100	4	1	85	Para troca (Funcionando)	86,59	24	365	758.512,94
	60	4	1	85	Para troca (Funcionando)	51,95	24	365	455.107,76
	40	4	1	85	Para troca (Funcionando)	34,64	24	365	303.405,18
	25	4	1	85	Para troca (Funcionando)	21,65	24	365	189.628,24
	20	4	1	85	Para troca (Funcionando)	17,32	24	365	151.702,59
Motor Alto Rendimento Plus									
Descrição	cv	Pólos	Qtde	Rend%	Estado	Cons kWh/h	h/dia	dias/ano	Cons kWh/ano
	300	4	1	95,5	Motor Novo	231,20	24	365	2.025.348,69
	125	4	1	95	Motor Novo	96,84	24	365	848.336,84
	100	4	1	94,6	Motor Novo	77,80	24	365	681.539,11
	60	4	1	93,9	Motor Novo	47,03	24	365	411.571,88
	40	4	1	93,1	Motor Novo	31,62	24	365	277.007,95
	25	4	1	92,6	Motor Novo	19,87	24	365	174.064,79
	20	4	1	92,4	Motor Novo	15,93	24	365	139.553,25

Para os valores apresentados na tabela 2 foram seguidos os alguns critérios, sendo estes exigidos pela empresa onde o projeto está sendo implantado. Sendo bastante conservadora e não abusando em dados teóricos foi utilizado para os cálculos rendimento dos motores estudados em

85 %, sendo este um dado que altera e em muito os valores em questão.

Segundo teoria e experiência de fabricantes de motores, Weg em consultoria na empresa, após dez anos de funcionamento os motores perdem 10% de seu rendimento, motores com índice de carregamento abaixo de 70% perdem 10% de rendimento e quando há rebobinamento de motores a perda atinge 5%.

O cálculo financeiro é outro dado que também pode variar e alterar os resultados. Este dado irá variar de acordo com o contrato de fornecimento de energia elétrica que a empresa tem com a concessionária de energia elétrica local. Para o estudo em questão foi utilizado 0,11 R\$/kwh.

## Resultados

Com este estudo foi possível verificar dois itens muito importantes no campo fabril: sobredimensionamento e rendimento dos motores. Após as instalações e com o passar do tempo as mudanças ocorrem nas áreas e muitas vezes senão sempre, os motores não são verificados e acabam ficando sobredimensionados para tal atividade, isto faz com que seu rendimento caia consideravelmente.

Desta forma o estudo realizado apresentou melhorias não só na comparação financeira visando a troca dos motores Standard por motores de alto rendimento mas também uma adequação dos motores conforme a carga solicitada.

## Conclusão

Este trabalho foi elaborado com dados reais medidos em campo, sendo visivelmente mostrado a possibilidade de economia de energia elétrica apenas com adequação de carga correta dos motores.

Não é proposta a troca imediata dos motores em operação visto que haveria um custo considerável na aquisição de motores de alto rendimento, mas sim a troca gradativa dos motores Standard por motores de alto rendimento em função de fim de vida útil, queima e substituições que se fizerem necessárias visto que comprovadamente o retorno financeiro é viável além de auxiliar na redução no consumo de energia elétrica uma vez que este insumo está cada vez mais escasso.

Baseando nos dados estudados é possível afirmar que uma revolução energética pode e deve acontecer nas indústrias bastando apenas incentivo e estudos em campo, pois o retorno financeiro é atrativo e certo.

## Discussão

Conforme já foi dito utilizamos para este estudo o rendimento dos motores em apenas 85 % conforme os cálculos da tabela 1, conforme exigência da empresa onde o projeto está sendo implantado. Todos os autores e consultores no ramo utilizam para estes cálculos no mínimo 70 % no rendimento dos motores. Desta forma conforme apresentado neste trabalho pode-se esperar uma economia de energia e financeiro bem maior o que torna este estudo mais atrativo às empresas.

## Agradecimentos

Agradecemos a empresa Monsanto do Brasil que nos auxiliou com equipamentos e suporte técnico na elaboração deste estudo em suas dependências.

Agradecemos também ao professor Luis Roberto Nogueira que nos auxiliou, orientando em todas as fases de elaboração deste.

## Referências

- ALMEIDA, M. A. O Potencial de Redução do Consumo de Energia Elétrica em Sistemas Eletromecânicos: Análise de Alternativas para seu Melhor Aproveitamento. Tese (Doutorado em Planejamento Energético). 2001.
- AMERICO, M. Sistemas Motrizes: Eficiência Energética e Técnicas de Acionamento. Apresentações em PowerPoint em curso Cepel/Sebrae-RJ/UFF. Niterói-RJ, 2003
- GELLER, H. S. O Uso Eficiente da Eletricidade: uma Estratégia de Desenvolvimento para o Brasil. Rio de Janeiro: INEE, 1994.
- Ministério de Minas e energia, Internet site adress: <http://www.mme.gov.br> acessado em: 20.Abr.2007.
- PROCEL, Internet site adress: <http://www.eletrobras.gov.br/procel/1.htm> acessado em: 19.Abr.2007.
- WEG, Motores Elétricos. Disponível em: <http://www.weg.com.br>. Acesso em 15 jun. 2007.