

ANÁLISE DOS MOVIMENTOS DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E REGULAMENTAÇÃO APLICADA A MOTORES ELÉTRICOS PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

Prof. Dr. Mario Mollo Neto – mariomollo@gmail.com

Coordenador dos cursos de Graduação em Engenharia Eletrônica e Automação Industrial do Centro Universitário Padre Anchieta – Jundiaí - SP.

RESUMO

A presente pesquisa tem como foco a análise dos resultados obtidos pelos movimentos recentes e as transformações econômicas sociais e institucionais necessárias para a obtenção de melhoria da eficiência energética na produção. O desempenho dos motores elétricos nas indústrias brasileiras pode e vem sendo substantivamente melhorado por meio de inserção de inovações tecnológicas incrementais nestas máquinas elétricas. Essa iniciativa foi realizada pelos fabricantes de motores elétricos com a implementação de um programa nacional de eficiência energética, fortemente apoiada e financiado pelo Governo.

Palavras Chave: Eficiência Energética, Inovação, Motor Elétrico.

ABSTRACT

This research was its focus on the results analysis obtained by recent economic transformations and social institutions that had needed to obtain improved energy efficiency in production. The performance of electric motors in Brazilian industry can and has been substantially improved by inclusion of incremental innovations in these electric machines. This initiative was carried out by manufacturers of electric motors with the implementation of a national program of energy efficiency, strongly supported and funded by the Government.

Keywords: Energy Efficiency, Innovation, Electrical Motor.

INTRODUÇÃO

Esta pesquisa explora os movimentos de inovação tecnológica realizados na fabricação de motores elétricos focalizados na economia de energia. O desperdício de energia por máquinas elétricas de baixo rendimento reflete em transformações econômicas, sociais e institucionais. A melhoria da chamada “eficiência energética” das instalações fabris contribui para a conservação do meio ambiente baseado na preservação de recursos naturais que, no caso do Brasil, são fundamentalmente hídricos devido à matriz de geração de energia ser realizada principalmente por usinas hidroelétricas. A economia de recursos financeiros obtidos com a redução desta modalidade de desperdício poderiam ser canalizados para outras prioridades sociais em que o país é profundamente carente.

Geller (2003) afirma que os padrões de consumo de energia crescem a cada dia e não são sustentáveis. Desta forma, há que se buscar uma maior eficiência energética, que reduziria o crescimento do consumo de energia e diminuiria a demanda de investimento e melhoraria nos serviços de energia para as nações e famílias mais necessitadas.

O setor produtivo, em particular a indústria que requer a energia elétrica para prover os resultados econômicos e sociais almejados, faz uso da energia elétrica que é composta de duas parcelas. Uma parcela da energia que efetivamente produz “Trabalho” e outra parcela que é requerida decorrente das leis da física para criar as condições operativas de diversos equipamentos, também conhecida como energia reativa.

O princípio que fundamenta o funcionamento desses mecanismos é a Segunda Lei da Termodinâmica:

O motor elétrico é considerado uma máquina térmica cíclica. O trabalho realizado (W) por ciclo corresponde a uma parcela da energia da energia total (E_t) que é entregue ao sistema (motor), subtraída da outra parcela de energia dissipada (E_d) (reativa) que o sistema inercialmente consome sob diversas formas, (calor, atrito, deformação, etc).

A 2ª. Lei da Termodinâmica se expressa: $W = E_t - E_d$ (Eq. 1)

Determina-se o rendimento ou a eficiência da máquina térmica (motor) por meio da relação:

$$e = |W|/|E_t| \quad (\text{Eq. 2})$$

Ou,

$$e = (|Et| - |Ed|) / |Et| \quad (\text{Eq. 3})$$

O conhecimento histórico acumulado até hoje não possibilitou reduzir Ed a zero, situação em que se teria uma máquina perfeita com aproveitamento integral da energia que lhe fosse transferida. Entretanto, físicos e engenheiros pesquisam materiais, dispositivos e mecanismos que reduzem a energia reativa (Ed) e com isso reduzem o desperdício de energia. Os avanços e inovações tecnológicas nesse sentido têm sido notáveis.

A energia reativa é inerente aos processos de geração, transporte e consumo de energia elétrica, porém não produz trabalho.

A utilização de equipamentos superdimensionados no setor produtivo, o que costuma ser um caso muito comum na instalação de motores elétricos, possui uma influência direta na geração de energia reativa, uma vez que a energia reativa requerida por uma máquina está fortemente associada a sua construção, e quando ela opera com potência inferior à nominal, a componente reativa permanece associada à capacidade total do equipamento.

Esta condição poderia ser evitada, conforme alerta Castro (2008), pela aquisição de maquinário com potência diretamente integrada à produção efetiva, que reduz os custos de aquisição dos equipamentos de produção e os consequentes acessórios de compensação. No entanto, em face da maior efetividade do setor comercial das empresas vendedoras de equipamentos, o empresário é normalmente convencido a adquirir maquinário com potência muito superior àquela requerida para a sua produção.

As técnicas de marketing induzem o mesmo a acreditar numa rápida expansão dos negócios e assim evitaria a necessária substituição do maquinário produtivo. Essa atitude provoca um superdimensionamento dos equipamentos e, conseqüentemente, das instalações elétricas requeridas para acioná-los. Adicionalmente, esta atitude causa outro custo para a implantação de equipamentos corretivos ou simplesmente para o pagamento das faturas e das multas de faturamento do fornecimento desta energia adicional, desnecessária ou improdutiva, pelo não cumprimento do limite regulatório do fator de potência.

Ao observar o desenvolvimento das inovações tecnológicas no campo da eletricidade, percebe-se que elas demoram a se difundir. Entre os motivos desse descompasso estão a dependência do desenvolvimento de inovações complementares, a

viabilização de novos investimentos e a adequação estrutural de projetos às novas aplicações.

Segundo Tigre (2006), as primeiras descobertas no campo da eletricidade e do magnetismo datam do início do século XIX, quando Ampère e Joseph Henry descobriram que a corrente elétrica era induzida por mudanças no campo eletromagnético.

Tais descobertas estimularam pesquisas científicas em todo o mundo, gerando conhecimentos que logo foram postos em prática. As aplicações do eletromagnetismo apareceram a partir de 1840, com a invenção do telégrafo elétrico. Na década seguinte, surgiu o dínamo, seguido do motor elétrico.

O motor elétrico é um conversor eletromecânico baseado em princípios eletromagnéticos capaz de transformar energia elétrica em energia mecânica de utilização. Resumidamente, formam-se dois ímãs, um no estator, que é a parte fixa do motor, e outro no rotor, que é a parte girante do motor, cuja interação provoca o movimento do conjunto motor.

Foi o engenheiro eletricista russo Michael von Dolivo Dobrowolsky, da empresa AEG, de Berlim, que entrou em 1889 com o pedido de patente de um motor trifásico com rotor de gaiola. O motor apresentado tinha uma potência de 80 Watts, um rendimento aproximado de 80% em relação à potência consumida e um excelente conjugado de partida (WOLFF, 2004).

A máquina de indução que foi desenvolvida por Dobrovolsky, em 1890, é a que mais se assemelha aos motores atuais. Porém anos antes de seu surgimento formal, o motor elétrico já tinha sido estudado, conforme exhibe a Figura 1 (SENS, 1985).

Quando surgiram, os motores elétricos eram grandes, pesados e custavam caro. Ao longo do tempo, ocorreu a redução de custo de fabricação, que o uso de matérias primas, com o uso de menos ferro e cobre, além de melhores materiais e técnicas de construção.

Desde então, os motores elétricos vem sofrendo inúmeras melhorias, evoluindo tecnologicamente ao longo dos anos, de maneira incremental, devido às modificações em seu projeto, variedade de aplicações, construção e fabricação.

O foco desta pesquisa está em avaliar a oportunidade do uso de novos motores de alto rendimento para a redução do consumo de energia elétrica nas indústrias brasileiras, fruto de desenvolvimento tecnológico incremental, levando em conta duas

situações principais: (i) instalação de motores novos; (ii) a substituição de motores já em operação. Na primeira hipótese, é quase sempre viável economicamente usar motores de alto rendimento, pois a diferença de investimento está presente apenas entre os custos dos dois modelos de motores.

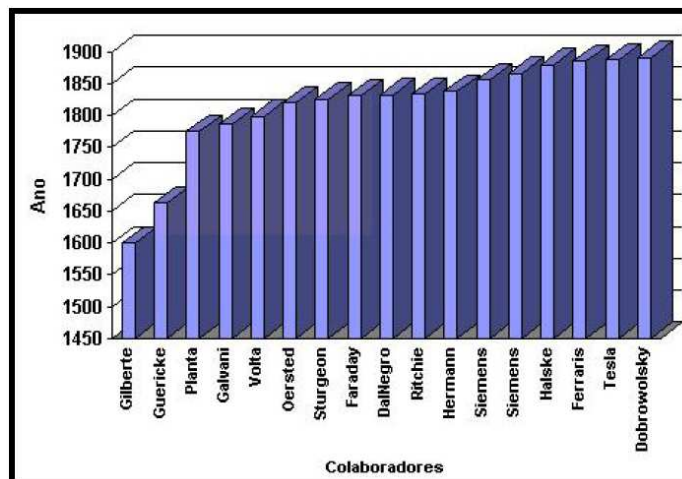


Figura 1. Participantes do desenvolvimento de motores elétricos (SENS, 1985).

Na segunda hipótese, o investimento a ser considerado é não só o custo total do motor de alto rendimento, mas também o custo de colocá-lo em funcionamento: estudo, a compra, frete, eventual adaptação da base e acoplamento, eventual mudança nos circuitos elétricos (relés térmicos e proteções), mão-de-obra para troca e condicionamento. Neste caso é razoável dobrar-se o custo dos motores.

A pesquisa objetiva, ainda, estimar os resultados obtidos com o uso destes motores com a aplicação da Lei de Eficiência Energética no potencial de conservação de energia elétrica na indústria brasileira (Lei no 10.295 de 17.out.2001 – BRASIL, 2001), a regulamentação do uso dos motores elétricos trifásicos, instituída pelo Decreto 4.508, de 11.dez.2002 (BRASIL, 2002) e as determinações indicadas na Portaria Interministerial número 553 MME/MCT/MDIC – Programa de Metas de dezembro de 2005.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Ser energeticamente eficiente, segundo WEG (2008), nada mais é do que conseguir os melhores resultados na relação entre a quantidade de energia consumida, por determinado equipamento ou aparelho, e a quantidade de energia efetivamente utilizada por ele para realizar a tarefa a que se propõe. Este conceito pode ser estendido, inclusive, para edificações e processos.

Empresas de todos os tipos podem buscar a eficiência energética por meio da adoção de tecnologias que otimizem o uso da energia.

A LEI DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

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. A Lei apenas regulamenta a decisão de estabelecer “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País” (BRASIL, 2001).

A lei, portanto, vale para equipamentos nacionais e importados. Programas de Etiquetagem (como o PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem) e Padronização (agora aqui introduzido com a Lei de Eficiência Energética) são técnicas consagradas e hoje adotadas em mais de 25 países (GARCIA, 2003).

Para regulamentar a lei, foi promulgado em 19 de dezembro de 2001 o Decreto 4.059 (BRASIL, 2001), que, para tal tarefa, criou o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE, com a participação dos ministérios MME (minas e energia), MCT (ciência e tecnologia) e MDIC (desenvolvimento, indústria e comércio exterior), as agências ANEEL e ANP, um representante das universidades e um cidadão brasileiro, ambos representantes especialistas em energia.

POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

Não há dúvidas de que existe um bom potencial de redução de energia consumida na indústria brasileira. Geller (2003) afirma que o Brasil “teve algum sucesso em aumentar a eficiência no uso da eletricidade [...], porém muitas indústrias [...] ainda desperdiçam energia por causa de processos industriais ineficientes, equipamentos [...]. Por exemplo, os motores usados no Brasil são ineficientes para os padrões internacionais, assim como sobredimensionados e mal operados em muitos casos”.

Atualmente, a eficiência energética é uma questão crucial para a Humanidade. Geller (2003), 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 (GELLER, 2003).

Um livro que se tornou básico na literatura de eficiência energética no Brasil, resultado de um trabalho que começou em 1983-84 e terminou em 1989-90, tendo sido a primeira edição, em inglês, publicada em 1991, foi “O Uso Eficiente da Eletricidade: Uma Estratégia de Desenvolvimento para o Brasil”, de Howard Geller (1994).

Este livro destaca a eletricidade como “fator chave para impulsionar o desenvolvimento industrial brasileiro”. Aponta, ainda, os problemas para garantir o seu suprimento com taxas de crescimento de consumo elevadas e destaca o uso da eficiência energética como estratégia para reduzir a “taxa de crescimento da eletricidade sem diminuir os bens e serviços oferecidos”.

Neste sentido, dá um panorama das ações possíveis, analisam seus aspectos técnicos e financeiros, barreiras para a implantação, políticas possíveis para derrubar ou mitigar essas barreiras e constrói alguns cenários possíveis de demanda e conservação de energia. Recentemente, o mesmo autor publicou dois trabalhos importantes e também abrangentes, sendo um o livro “*Energy Revolution: Policies for a Sustainable Future*” (Geller, 2003), em cujo capítulo 6 propõe 12 políticas, de âmbito nacional, para a construção de um “Cenário Limpo de Energia” no Brasil.

Segundo WEG (2008), O relatório do Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID mostra que o Brasil pode economizar investimentos de US\$ 21,5 bilhões em geração de energia elétrica, aplicando apenas um terço disso (US\$ 6,7 bilhões) em eficiência energética até 2018.

Ao considerar o panorama de ações possíveis assinaladas por Geller e pelas indicações do relatório do BID, destaca-se o uso de motores mais eficientes. Estes motores são também conhecidos por motores de alto rendimento.

PROCEL

Em 1985-6, houve a redução das capacidades de expansão do setor elétrico por causa das baixas tarifas e juros do mercado internacional. Era preciso economizar eletricidade. Por esta razão, foi então criado o PROCEL - Programa Nacional de

Conservação de Energia Elétrica, cuja ação vai realmente implementar o uso eficiente da energia elétrica no Brasil (GARCIA, 2003).

As atividades do PROCEL são normalmente divididas em duas fases: até 1991 e após 1993 – há uma fase intermediária, em que a sua atuação foi mais apagada, como relata Villa Verde (2000). Na fase inicial, organizou-se a infra-estrutura necessária ao programa de etiquetagem e, realizaram-se diagnósticos energéticos e programas informativos e educacionais.

O PROCEL define como 11% a meta de conservação de energia elétrica no uso final até 2015 “em função do aumento da eficiência energética nos aparelhos elétricos [...] utilizados”. O Plano Decenal 2001-10 (Eletrobras, 2003) mostra resultados mais modestos, como mostra a Tabela 1.

A partir de 1993, o PROCEL foi reestruturado e passou a contar com recursos da RGR – Reserva Global de Reversão, cerca de US\$ 20 milhões para financiar projetos de eficiência energética (GELLER, 1998, apud ALMEIDA, 2001).

Geller (2003) enfatiza a atuação do PROCEL como exemplo de um programa nacional de eficiência energética sucedido apoiado fortemente e financiado pelo Governo em um trabalho de colaboração com o setor privado e outras instituições que objetiva tanto o desenvolvimento tecnológico quanto de mercado. O autor também demonstra a importância e a dificuldade de se manter um programa governamental de eficiência energética a longo prazo.

O PROCEL estendeu a sua área de atuação, chegando aos resultados expressos na Tabela 2. Segundo Ramos (2005), a maior vantagem na aplicação de recursos em programas de eficiência energética ocorre em função desta opção ser mais barata do que a geração de energia nova. O mesmo autor argumenta que investir em tecnologia de eficiência também demanda gastos de capital, porém, o retorno do investimento é mais rápido do que se produzir energia. Isto ocorre devido ao fato de quem produz a energia elétrica é uma empresa ou concessionária, e quem realiza a eficiência da energia é o consumidor, onde ambos possuem prioridades de investimentos diferentes e exigem tempos de retorno diferentes.

É importante lembrar que, como destaca Reis (2000), por meio da implantação de uma política energética abrangente e balanceada, incluindo programas de conservação de energia e eficiência energética, é possível reduzir as emergências e os cortes de energia elétrica evitando desconfortos e problemas para a população.

Segundo o Informativo Eletrobrás do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - ELETROBRÁS (2009), as ações do Selo Procel de Economia de Energia foram responsáveis por 94,7% dos 3,93 bilhões de kWh economizados ao longo do ano de 2007 pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, cabendo a economia restante ao Procel Educação (3,4%), ao Reluz (1,7%), ao Prêmio Procel e ao Procel GEM (0,1% cada). A performance total equivale a aproximadamente 1% do consumo de energia elétrica no Brasil no período, correspondendo ao fornecimento anual de uma usina hidrelétrica com capacidade instalada de 942 MW.

Tabela 1. Metas do Procel.

Ano	Conservação [GWh/ano]	Mercado 1 [GWh/ano]	*
2000	8.591	333.500	2,6%
2001	10.587	350.600	3,0%
2002	12.783	367.815	3,5%
2003	15.199	385.875	3,9%
2004	17.856	404.823	4,4%
2005	20.780	424.700	4,9%
2006	21.819	445.169	4,9%
2007	22.910	466.625	4,9%
2008	24.055	489.116	4,9%
2009	25.258	512.690	4,9%
2010	26.521	537.400	4,9%

Fonte: COMITÊ COORDENADOR DO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS - CCPE. Plano Decenal de Expansão 2001-10. Cap. 2 – Mercado de Energia Elétrica, p. 40 e 41.

O PROCEL é reconhecidamente um dos programas governamentais que apresenta melhores resultados, e projeta fechar 2008 com investimentos em torno de R\$ 40 milhões, estimando um resultado global da ordem de 4,1 bilhões de kWh economizados em 2008. Os dados globais do programa também falam por si.

Os resultados acumulados desde 1985 – quando o PROCEL foi criado – representam uma economia total estimada em 28,5 bilhões de kWh. Essa energia

acumulada corresponde ao consumo de aproximadamente 16 milhões de residências durante um ano.

Tabela 2. Resultados do Procel (2a fase).

Resultados no período	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Investimentos aprovados (R\$ milhões) *	10	30	50	122	50	40	26
Energia economizada/geração adicional (GWh/ano)	344	572	1.970	1.758	1.909	1.862	2.300
Redução de demanda na ponta (MW)	70	103	293	976	532	418	640
Usina equivalente (MW)**	80	135	430	415	440	420	530
Investimento evitado (R\$ milhões)	160	270	860	830	880	840	1.060

*** Não incluindo os custos com pessoal da Eletrobrás/Procel e incluindo os recursos da RGR**

**** Obtidas a partir da energia economizada e geração adicional, considerando um fator de capacidade típico de 56% para usinas hidrelétricas e considerando 15% de perdas médias na Transmissão e Distribuição para a parcela de conservação de energia. Fonte: PROCEL**

As ações do Selo PROCEL de Economia de Energia foram responsáveis por 94,7% dos 3,93 bilhões de kWh economizados ao longo do ano de 2007 pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, cabendo a economia restante ao PROCEL Educação (3,4%), ao Reluz (1,7%), ao Prêmio PROCEL e ao PROCEL GEM (0,1% cada).

A performance total equivale a aproximadamente 1% do consumo de energia elétrica no Brasil no período, correspondendo ao fornecimento anual de uma usina hidrelétrica com capacidade instalada de 942 MW.

Os dados globais do programa também são significativos. Os resultados acumulados desde 1985 – quando o PROCEL foi criado – representam uma economia total estimada em 28,5 bilhões de kWh. (PROCEL, 2009).

O PROCEL gerou regulamento Específico que tem como objetivo regular as relações entre o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Inmetro e/ou OCC, na qualidade de órgão certificador, e os fabricantes interessados na utilização da ETIQUETA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA - ENCE em suas linhas de produção, especificamente, Motores Elétricos de Indução Trifásicos.

O Regulamento Específico do PROCEL é constituído de parâmetros de orientação entre as partes e deverá ser anexado ao Contrato de Autorização para Uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia firmado entre as mesmas ao fim da fase de Controle para a Etiquetagem.

A Etiquetagem de Motores Elétricos de Indução Trifásicos, dentro dos parâmetros definidos neste Regulamento Específico, faz parte do cronograma anual acordado com os fabricantes, permitindo alcançar o objetivo precípua de uma etiqueta informativa como a ENCE, que é a comparabilidade entre todos os produtos comercializados de uma linha de produtos, em cada ano, de forma a situar o consumidor nas diversas faixas de rendimento e fator de potência disponível.

EVOLUÇÃO DOS MOTORES ELÉTRICOS

Segundo Castro (2008), desde seu descobrimento o motor elétrico passou por inúmeras alterações e para que atendessem às necessidades que surgiram ao longo dos anos foram desenvolvidos vários tipos de motores elétricos. Atualmente, estes motores são divididos em 3 grupos conforme as características da rede de alimentação no aspecto de frequência: Corrente Alternada - C.A.; Corrente Contínua - C.C. e Universal)

A Figura 2 apresenta a evolução dos motores elétricos. Nesta figura, é possível notar a redução de massa que os motores elétricos vêm sofrendo ao longo dos anos. Isto ocorre devido ao desenvolvimento de novos isolantes elétricos, materiais com melhores propriedades magnéticas e sistemas de ventilação mais eficientes (ELETROBRÁS, 2003).

O estudo da evolução dos projetos dos motores produzidos nos países industrializados a partir do final da década de 40 até o início dos anos 70 revela uma gradativa e significativa redução no tamanho e peso destes equipamentos conforme

visualizado na Figura 2. Esta redução de tamanho e peso em contrapartida ocorreram em detrimento do rendimento. Este fato pode ser explicado pela maior importância dada ao custo inicial do motor em relação ao seu custo de operação, tendo em vista o alto nível da oferta e o relativo baixo custo da eletricidade que caracterizaram este período.

Esta compactação dos motores foi conseguida graças, principalmente, ao surgimento de novos materiais isolantes capazes de suportar temperaturas duas ou mais vezes superiores e com melhores características dielétricas que aqueles utilizados até então.

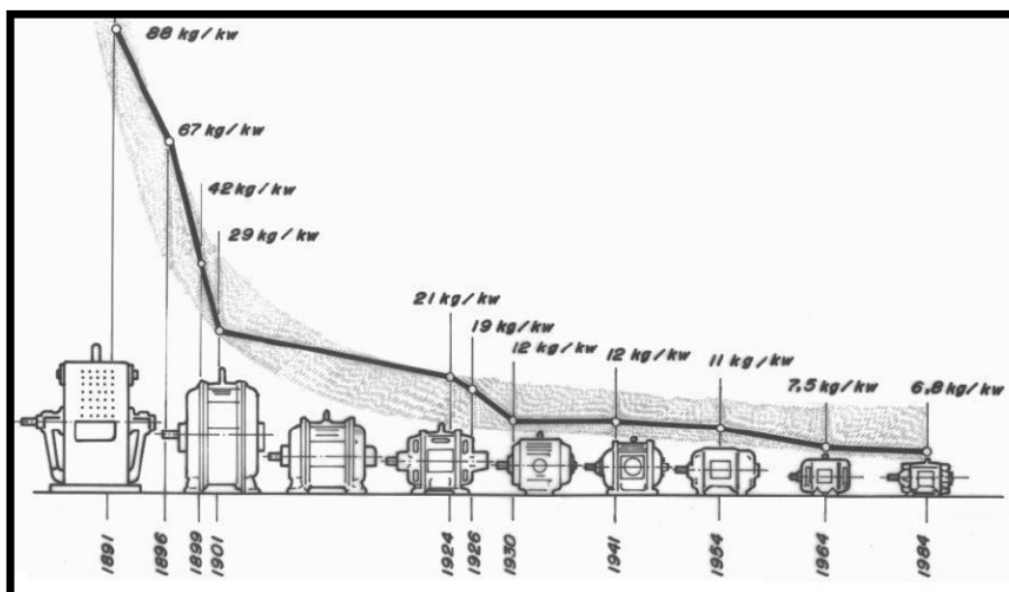


Figura 2. Evolução dos motores elétricos (ELETROBRÁS, 2003).

A consequência imediata foi a possibilidade de operação dos motores em temperaturas mais elevadas, admitindo-se, então, nos projetos, um maior nível de perdas internas com a diminuição dos volumes de ferro e cobre empregados na fabricação (HERSZTERG, 1996).

Este conceito de mudança tecnológica é destacado por Tigre (2006) como uma inovação incremental que, de acordo com o conceito schumpeteriano de inovação está diretamente orientado na melhoria da competitividade e, como descrito no manual de Oslo, é baseada no aperfeiçoamento tecnológico (OSLO MANUAL, 1997).

Ainda segundo Tigre (2006), as mudanças tecnológicas são usualmente diferenciadas por seu grau de inovação e pela extensão das mudanças em relação ao que havia antes. A gama de inovações observadas na atividade econômica é classificada por Freeman da seguinte forma, segundo seus impactos:

“O nível mais elementar e gradual de mudanças tecnológicas é representado pelas *inovações incrementais*. Elas abrangem melhorias feitas no *design* ou na qualidade dos produtos, aperfeiçoamentos em *layout* e processos, novos arranjos logísticos e organizacionais e novas práticas de suprimentos e vendas.

As inovações incrementais ocorrem de forma contínua em qualquer indústria, embora possam variar conforme o setor ou país em função da pressão da demanda, fatores socioculturais, oportunidades e trajetórias tecnológicas. Elas não derivam necessariamente de atividades de P&D, sendo mais comumente resultantes do processo de aprendizado interno e da capacitação acumulada.

A mudança tecnológica é considerada *radical* quando rompe as trajetórias existentes, inaugurando uma nova rota tecnológica. “A inovação radical geralmente é fruto de P&D e tem um caráter descontínuo no tempo e nos setores.”

Segundo estas características, descritas pelo autor, e constantes do manual de OSLO, determina-se que os dispositivos com as características semelhantes às do motor elétrico se enquadram na modalidade de inovação incremental com características de “*desenvolvimento tecnológico de um produto previamente existente cujo desempenho foi substancialmente aprimorado através da utilização de novas matérias-primas ou componentes e subsistemas de maior rendimento*”.

Porém, a construção dos motores com menos ferro e menos cobre significam maior densidade de fluxo magnético e elétrico e, portanto, maiores perdas.

As perdas tradicionalmente encontradas nos motores elétricos são apresentadas na Figura 3.

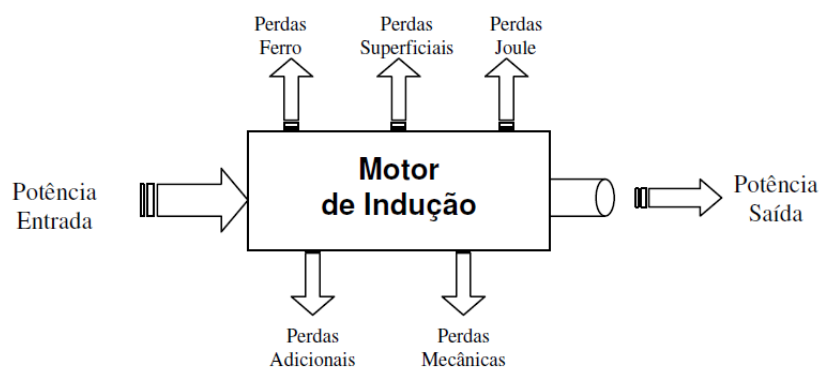


Figura 3. Perdas no motor elétrico de indução. Fonte (CASTRO, 2008).

Conforme Andreas (1992), durante o período de 1960 a 1975 os motores elétricos principalmente de 1 a 250 HP eram projetados para terem o menor custo

possível. Devido aos constantes aumentos no custo da energia elétrica a partir de 1972 surgiu a necessidade de melhorar o rendimento dos motores elétricos.

No ano de 1974, foi introduzida a primeira grande linha de montagem de motores eficientes (FELLOW, 1994).

Em 1977, a NEMA – *National Electrical Manufacturers Association* estabeleceu um programa de etiquetagem para os tipos mais comuns de motores, de 1 a 125 HP. Antes do programa, a eficiência nominal de um motor e a eficiência mínima eram anotadas na placa de identificação da máquina. A estratégia do programa de etiquetagem foi promover um padrão de medida da performance de um motor para comparação com motores de diferentes fabricantes (SANTOS, 2005).

Um ponto fraco do programa foi o número baixo de compras baseadas na placa de identificação do motor, pois a maioria delas eram feitas com base nos catálogos de fabricantes. Para solucionar este problema, em 1997, uma lei exigiu uma listagem da eficiência nominal dos motores em catálogos.

Segundo McCoy (1990), em 1989 a NEMA desenvolveu uma definição padrão para o motor de Alto Rendimento, ao qual tinha como objetivo auxiliar o usuário na comparação dos motores eficientes foi incluído uma tabela com os valores mínimos de rendimentos exigidos a 100% de carga.

Conforme Bartos (2001), os Estados Unidos, com o objetivo de colocar a eficiência energética na legislação como parte de questões mais vastas a conservação de energia, promulgou em 1992 a “*Energy Policy and Conservation Act (EPAAct)*” que se tornou efetiva em 1997. O alvo deste programa foi os motores elétricos utilizados na indústria. O EPAAct foi um regulamento inovador ao motor de eficiência padrão. Essencialmente, ele abrangia os motores trifásicos de 1 a 200 HP, com 2, 4 e 6 pólos, para aplicações gerais ODP (aberto, à prova de gotejamento) e TEFC (totalmente fechados com ventilação). Também contemplava os motores IEC importados para os EUA.

Em 2003, a NEMA publicou as tabelas 12-12 e 12-13 em que estabelece os valores mínimos de rendimentos aos motores classificados como Premium (ou eficiência melhorada), esta tabela abrangeu os motores de indução trifásico gaiola de esquilo (MITRGE) de 1 a 500 HP, 2, 4 e 6 pólos TEFC e ODP.

Os valores de rendimento estabelecidos por esta norma aos motores *Premium* e *High Efficiency* podem ser visualizados na Figura 4, onde se observa a superioridade do motor NEMA Premium.

Conforme Hertzterg (1996), o desenvolvimento tecnológico do motor elétrico no Brasil aconteceu de maneira semelhante à verificada nos países industrializados, no que diz respeito as dimensões, peso e rendimento. Deve ser destacada, porém, uma importante mudança de direcionamento dos projetos, ocorrida a partir de meados da década de 70, e que deve forte influência nas dimensões e características operacionais dos motores de indução trifásicos aqui produzidos. Esta mudança foi determinada pela incorporação às normas brasileiras (ABNT) dos critérios sugeridos pelas normas IEC européias; até então as normas brasileiras eram baseadas nas normas americanas – NEMA.

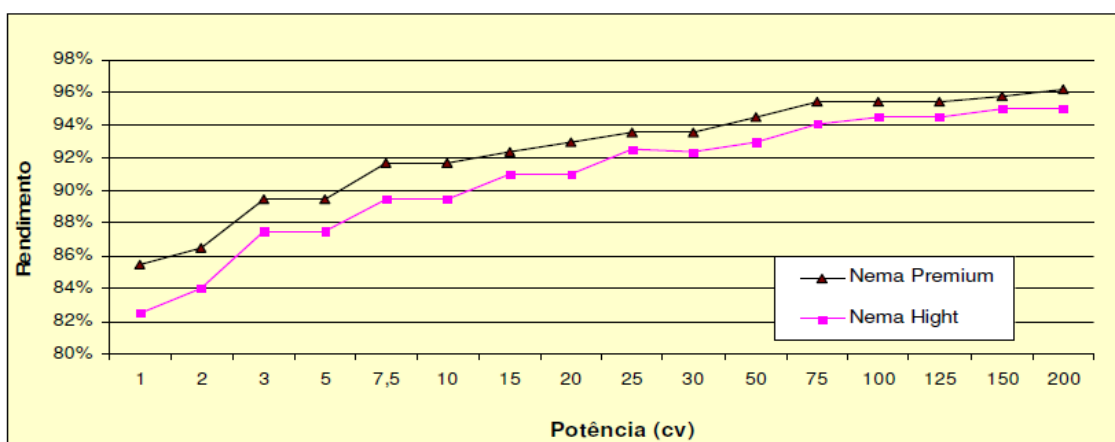


Figura 4. Comparação do rendimento dos motores americanos TEFC - 4 pólos conforme Norma NEMA. Fonte: Elaborado a partir dos dados obtidos em NEMA, 2003.

A adoção da normalização européia teve como conseqüências a diminuição dos custos de produção, o aumento dos conjugados e correntes de partida e a diminuição do rendimento da máquina. Outro fato importante relacionado aos projetos foi a adoção de materiais isolantes da classe “B”, até hoje em dia predominantes.

Segundo Schaeffer et al. (2005) a partir de 1990 os dois maiores fabricantes nacionais de motores trifásicos seriados – WEG Motores S.A e EBERLE S.A – lançaram, efetivamente, no mercado interno suas linhas de motores de Alto Rendimento; em média 35 a 50 % mais caras que as suas respectivas linhas “Standard”.

Em 17 de outubro de 1997, houve a aprovação da “Lei de Eficiência Energética” (Lei nº 10.295), cuja tramitação no Congresso Nacional iniciou em 1990, instituindo os níveis mínimos de eficiência energética ou máximos de consumo no Brasil, mecanismo de reconhecida eficácia para tornar mais eficiente o uso de energia.

O primeiro equipamento a ser regulamentado foi o motor elétrico de indução trifásico, rotor gaiola de esquilo, por meio do Decreto 4.508, de 11 de dezembro de 2002 (BRASIL, 2002).

O Decreto 4.508 estabelece, no Art. 3º, que “o indicador de eficiência energética a ser utilizado é o rendimento nominal” (BRASIL, 2002). Foram estabelecidas duas tabelas de rendimentos nominais mínimos, uma para os motores padrão e outra para os motores de Alto Rendimento, estes valores podem observados na figura 5.

A preocupação com eficiência energética levou os fabricantes a propor motores com maior custo de fabricação, mas com menor custo do ciclo de vida útil (custo de aquisição e custo de operação), os chamados *motores de alto rendimento*.

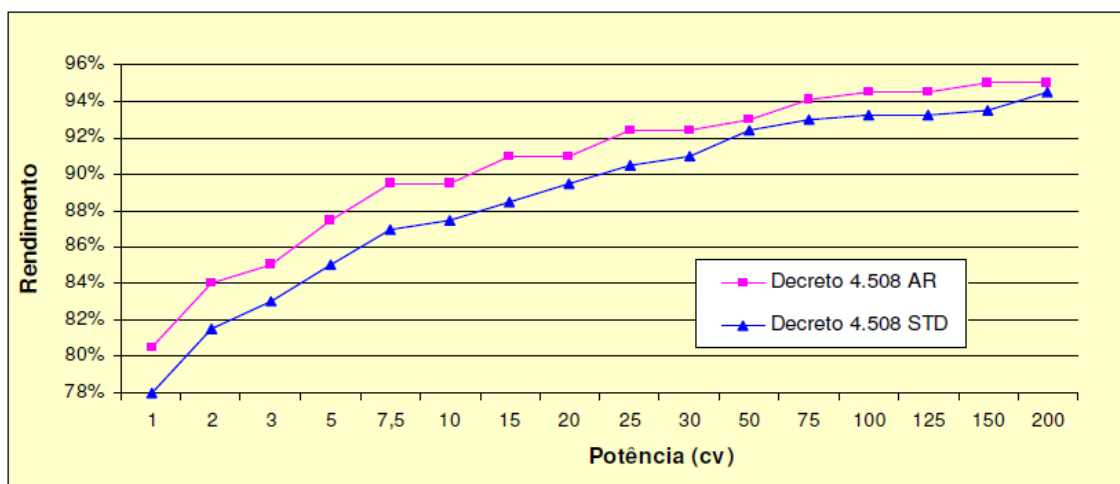


Figura 5. Rendimento dos motores nacionais TEFC - 4 pólos conforme Decreto 4.508. Fonte: dados obtidos no decreto 4.508 (BRASIL, 2002).

Estima-se, de acordo com os dados fornecidos por Garcia (2003), que os motores elétricos na indústria brasileira consomem 82.217 GWh/ano, o que equivale a 60% da eletricidade consumida no setor secundário e 27% do consumo brasileiro (vale lembrar que motores são usados também nos outros setores, o que eleva a sua participação).

Em relação à energia total, consomem 2.924 ktep/ano (tonelada equivalente de petróleo), significando 5% da indústria e 1,7% do total da energia consumida no país.

A Figura 6 apresenta a série histórica do BEN – Balanço Energético Nacional referente a toda a energia elétrica gerada no país por diversas fontes, obtido do Ministério das Minas e Energia (BEN, 2008), e a potência consumida pelos motores elétricos instalados em valores equivalentes em tonelada equivalente de petróleo (Ktep).

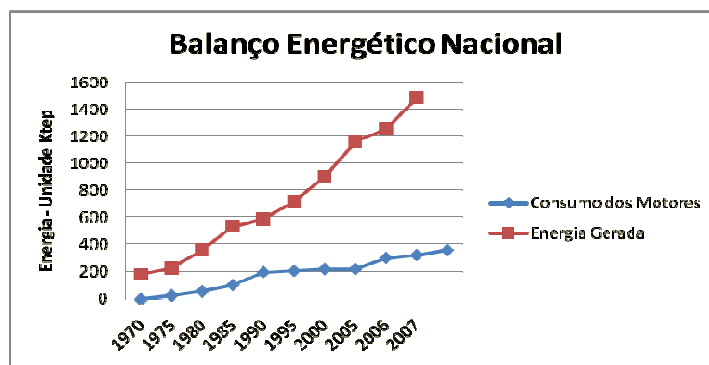


Figura 6. Balanço Energético Nacional - série 1970 a 2007 (BEN, 2008).

OS MOTORES ELÉTRICOS NA INDÚSTRIA

As atividades fabris requerem, a 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.

Há máquinas que existem em praticamente qualquer tipo de indústria: bombas para movimentação de líquidos, compressores e ventiladores para gases. Fábricas de alimentos e bebidas possuem muitas máquinas operatrizes, que movimentam e executam operações com latas, garrafas e outros objetos – são geralmente motores pequenos, algumas vezes de construção específica para sua tarefa. A indústria têxtil também possui máquinas dedicadas, tanto para fiação como tecelagem, de tecnologia secular.

Os setores de cimento, papel, celulose e química têm grande número de bombas, compressores e ventiladores, assim como grandes esteiras transportadoras, moinhos, agitadores, peneiras. Nestas indústrias, há muitos motores grandes, mas com boa incidência de motores pequenos para os serviços auxiliares.

A indústria de cerâmicas possui grandes misturadores, sopradores e muitas esteiras transportadoras. Mineração, siderurgia e fabricação de metais em geral, além das bombas, compressores e ventiladores, têm também moinhos, transportadores em grande quantidade e máquinas específicas para atividades de laminação, como por exemplo para puxar, dobrar e cortar (GARCIA, 2003).

O motor que melhor se adapta 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, com poucas desvantagens: não varia a velocidade, operação degradada em baixa carga (baixos rendimento e fator de potência), alta corrente de partida (AMERICO, 2003).

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 (AMERICO, 2003; FILIPPO FILHO, 2002).

O motor de indução, trifásico, rotor em gaiola de esquilo, responde por 75% dos motores existentes no Brasil (AMERICO, 2003).

Na indústria, devido à utilização de motores de maior porte (dos 25% restantes, grande número se constitui de motores menores que 1 cv, monofásicos, com aplicação em equipamentos residenciais como geladeira, ar-condicionado, máquina de lavar, ventiladores, etc.) este número é seguramente maior, razão para nos atermos a ele.

No motor trifásico, a distribuição das bobinas das três fases no estator, defasadas de 120 graus, faz com que a soma dos campos magnéticos provocados por cada uma delas seja um campo uniforme e girante (Figura 7).

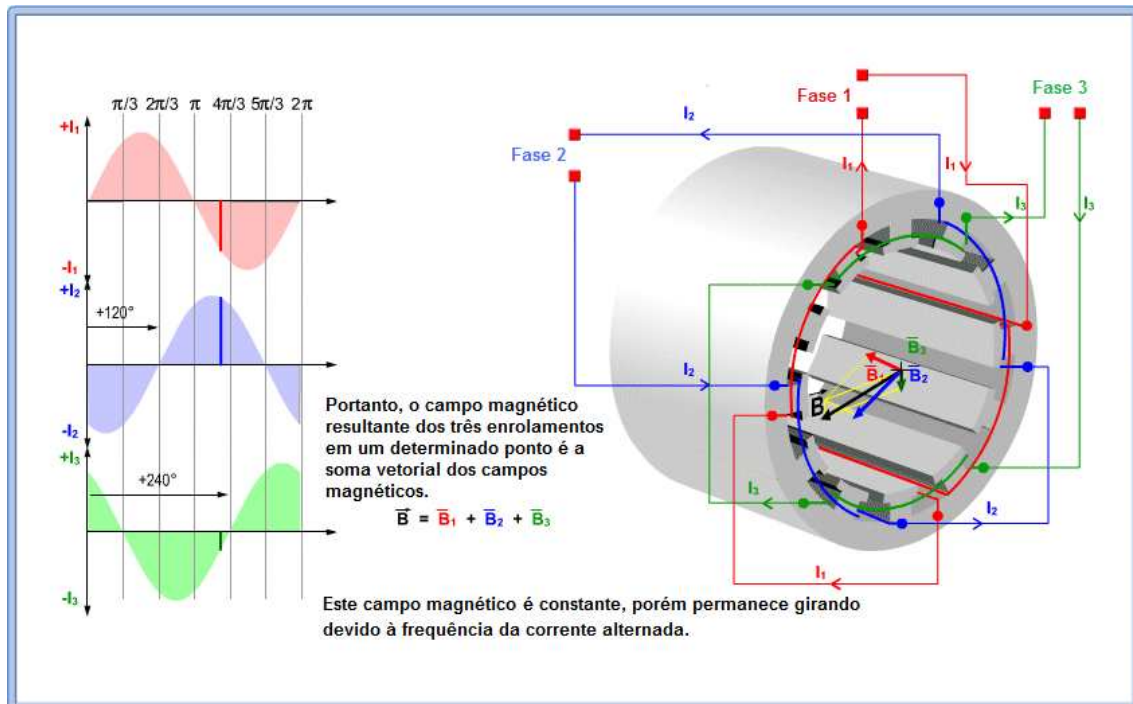


Figura 7. Campo magnético resultante de três enrolamentos (ALMEIDA, 2009).

Este campo circula nos núcleos magnéticos do estator e do rotor, provocando nas barras do rotor uma circulação de corrente. Esta corrente rotórica gera, por sua vez, um campo magnético que tende a opor-se ao movimento que o gerou (Lei de Lenz, como explica Kosow (1982)), de pólos opostos ao do estator.

O resultado é que o campo do estator arrasta o rotor girando, entretanto, sempre a uma velocidade maior do que esteja o rotor escorrega em relação ao campo girante, ou seja, a velocidade sofre um ligeiro decréscimo quando o motor passa de um funcionamento em vazio (sem carga) para um funcionamento em carga máxima.

O escorregamento é uma propriedade importante dos motores elétricos de gaiola e, pode ser obtido pela expressão a seguir:

$$S = (V_g - V) / V_g \quad (\text{Eq. 4})$$

onde,

S = escorregamento;

V_g = Velocidade do campo girante;

V = Velocidade do rotor.

Quando uma carga é colocada no eixo do motor, o rotor reduz a sua velocidade, aumentando o escorregamento.

Segue-se uma sucessão de eventos: o aumento da velocidade com que o campo magnético corta as barras do rotor – aumenta a corrente do rotor – aumenta o campo magnético gerado pelo rotor – diminui o campo magnético total – aumenta a corrente no estator – aumenta a potência elétrica fornecida ao motor.

O motor, portanto, se auto-regula para atender à carga no eixo: se aumentar a carga, diminui a rotação, aumenta a corrente do motor e aumenta a potência elétrica fornecida.

MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

A definição de motor de alto rendimento surgiu em 1989, nos Estados Unidos, por meio da publicação da Tabela 12.6B, integrante da Norma MG1, da NEMA (1998). No Brasil, a última emenda da NBR 7094 (2000) da ABNT, definiu novos valores de rendimento, semelhantes à norma norte-americana citada acima.

Estudos mostram que, quando comparados aos motores padrão, o motor de alto rendimento pode apresentar um rendimento superior a ordem de 2 a 6% (Figura 8 e 9), sendo este aumento devido à menor quantidade de perdas, para a mesma potência mecânica (MOREIRA et al, 1998).

Porém, deve-se salientar que não existe vantagem nenhuma em adquirir um motor de alto rendimento e acoplá-lo a um equipamento ineficiente que trabalhe sobredimensionado.

Isto acaba provocando maiores gastos com energia, tendência muito comum, propositalmente ou por desconhecimento, sob a alegação de que manter uma potência reserva poderia aumentar a confiabilidade do acionamento (KREUTZFELD, 1988).

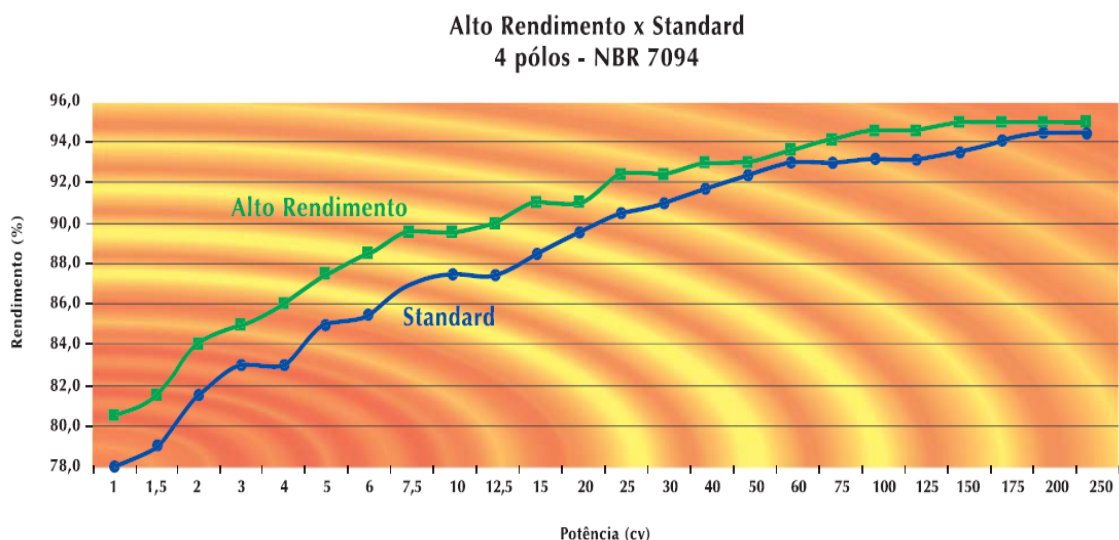


Figura 8. Comparativo entre motores convencionais e motores de alto rendimento - Adaptado de NBR 7094.

À época do primeiro estudo de Geller, no final da década de 80, os motores de alto rendimento tinham sido lançados há pouco tempo.

Os cálculos realizados indicavam um potencial de economia de 3% da eletricidade consumida no setor industrial, com uma suposição que os motores trifásicos abaixo de 200 cv seriam responsáveis por 80% do consumo do setor (o que parece razoável já que, apesar de muito consumirem, os motores acima de 100 cv representam 1,1% do total de motores trifásicos de indução vendidos no Brasil). Em 2003, o autor menciona a economia de 2 a 8%, dependendo do tamanho do motor, apenas com o estabelecimento de padrão de eficiência.

Conforme Eletrobrás (2001), os motores de Alto Rendimento representam uma boa alternativa, embora não sejam a solução definitiva para todos os problemas energéticos relacionados ao motor de indução, por serem tão susceptíveis a fatores exógenos (condição do alimentador, método de partida, ambiente de trabalho) como os motores de projeto padronizado.



Figura 9. Comparação entre o motor AR e o motor Standard. Fonte: Adaptada pelo autor de CASTRO (2006).

A REGULAMENTAÇÃO DE MOTORES

Um ano após a sua constituição legal, o CGIEE fez aprovar o Decreto 4.508/2002, que regulamentou a eficiência energética dos “motores elétricos trifásicos de indução com rotor gaiola de esquilo” (BRASIL, 2002).

É usado, também, nos setores residenciais, público, comercial e agro-pecuário, em aplicações como bombas, sistemas de ventilação, refrigeração e ar condicionado e máquinas diversas, chegando a representar um consumo de quase um terço da energia elétrica do país (GARCIA, 2003).

O Decreto 4.508 estabelece, no Art. 3o, que “o indicador de eficiência energética a ser utilizado é o rendimento nominal” (BRASIL, 2002).

Foram estabelecidas duas tabelas de rendimentos nominais mínimos, uma para os motores padrão e outra para os motores de alto rendimento, que reproduzimos na Tabela 1.

As colunas na Tabela 1 significam:

cv e kW - Potência nominal (mecânica, em ambos os casos) dos motores considerados;

P2, P4, P6 e P8 - Motores padrão com, respectivamente, 2, 4, 6 e 8 pólos;

AR2, AR4, AR6 e AR8 - Motores de alto rendimento com, respectivamente, 2, 4, 6 e 8 pólos.

Tabela 1. Rendimentos pela Lei da Eficiência Energética.

Potência nominal		Padrão				Alto Rendimento			
cv	kW	P2	P4	P6	P8	AR2	AR4	AR6	AR8
1	0,75	72,7	76,0	72,5	65,1	80,9	80,6	79,4	75,0
1,5	1,1	75,7	72,7	73,2	67,7	83,1	79,5	79,2	80,5
2	1,5	76,1	77,6	73,5	74,7	84,3	84,0	84,0	84,1
3	2,2	81,5	79,3	76,6	78,1	85,1	84,8	84,7	86,2
4	3	84,0	82,7	79,4	81,3	86,5	86,2	87,0	86,5
5	3,7	83,2	84,6	82,5	82,7	87,5	88,0	87,5	86,2
6	4,5	84,3	84,2	84,0	83,6	87,5	88,0	88,2	88,1
7,5	5,5	85,2	88,0	84,4	84,5	88,7	90,0	89,3	89,7
10	7,5	86,5	85,2	85,8	83,8	90,2	91,5	90,1	88,7
12,5	9,2	87,5	87,7	87,3	86,6	90,5	90,9	90,5	91,0
15	11	89,4	88,3	88,3	87,3	91,0	91,7	90,2	91,4
20	15	91,0	89,8	89,0	87,4	93,0	92,4	90,6	91,9
25	18,5	90,5	90,1	89,4	88,8	93,0	92,6	92,1	92,7
30	22	91,0	91,0	90,2	89,4	93,0	93,0	93,2	93,0
40	30	91,0	91,0	90,6	90,9	93,1	93,0	93,3	93,0
50	37	92,2	91,7	91,2	91,0	93,2	93,0	93,2	93,6
60	45	91,0	91,7	91,7	91,7	93,4	93,6	93,6	94,1
75	55	92,5	91,9	92,1	92,7	93,4	93,8	94,0	94,4
100	75	93,1	92,5	92,7	92,6	93,9	94,3	94,6	94,5
125	90	91,4	91,8	92,9	92,6	94,5	94,4	94,6	95,2
150	110	92,7	92,0	93,0	92,8	94,5	95,0	94,7	95,4
175	132	92,9	92,7	93,7		95,0	95,1	95,3	
200	150	93,3	93,4	93,7		95,0	95,3	95,4	
250	185	92,5	93,5			95,4	95,0		

Fonte: Decreto 4.508 (BRASIL, 2002).

O ESTADO DA ARTE NO DESENVOLVIMENTO DOS MOTORES ELÉTRICOS NO BRASIL

Segundo afirma Kugler (2009), a indústria brasileira volta a ter destaque no mercado internacional devido ao lançamento recente da linha de motores elétricos W22, baseada numa tecnologia que vem causando impacto no mercado de máquinas elétricas. O produto, que resultou do aperfeiçoamento de outra linha de motores, foi desenvolvido pela empresa Weg, situada em Jaraguá do Sul, no nordeste de Santa Catarina.

Três motivos fazem da linha de motores W22 um grande destaque no setor. O autor diz que:

“O maior mérito é garantir ótimo rendimento e, ao mesmo tempo, ser bem mais silencioso que os motores convencionais. Além disso, os novos equipamentos têm vida útil muito maior, por aquecerem menos e serem mais resistentes.”

O departamento de P&D da Weg desenvolveu um sistema de resfriamento com uma concepção mais aerodinâmica. Para isso, aperfeiçoaram o ventilador e as tampas defletoras – estruturas que, além de proteger o ventilador, servem para direcionar o fluxo de ar sobre o equipamento.

Desse modo foi possível direcionar o ar de maneira mais proveitosa, reduzindo significativamente a quantidade de ruído produzido pelo sistema. O design desses componentes – peças chave para o melhoramento eletroacústico do sistema – foi concebido por meio de simulações computacionais de dinâmica dos fluidos. Com o auxílio desse método, foi possível obter um escoamento mais uniforme do ar sobre a carcaça.

Esse escoamento está diretamente relacionado com a capacidade de resfriamento do motor. De forma simplificada, pode-se dizer que, quanto maior a velocidade do ar sobre a carcaça, maior a quantidade de calor removido. Isso otimizou o desempenho térmico do sistema.

Outro parâmetro que marca a evolução tecnológica dos motores W22 é a diminuição do ruído. Em alguns casos, obteve-se um decréscimo da ordem de seis decibéis no nível de pressão sonora. Isso significa que, devido ao comportamento logarítmico da escala de ruído, são necessários quatro motores da linha W22 para produzir o mesmo nível de ruído gerado por apenas um motor da linha anterior.

Como normalmente é o grau de aquecimento que determina o tempo de vida útil dos motores elétricos, esse aperfeiçoamento relativo ao fluxo de ar nos novos motores é responsável pelo aumento de sua vida útil.

Os motores da linha W22 já são comercializados em mais de 100 países e cerca de 40% da produção da Weg destina-se à exportação. E além do Brasil, a empresa é líder de mercado na África do Sul, Nova Zelândia e Argentina e encontra-se entre os principais líderes em mercados mais exigentes, como o norte-americano, o europeu, o canadense e o australiano.

Para que o desenvolvimento dessas novas tecnologias fosse possível, as parcerias entre a empresa e universidades foram de vital importância.

A Weg mantém convênios com diversas universidades, tanto no Brasil quanto no exterior. Alguns exemplos são os convênios com as universidades de Hannover (Alemanha), de Glasgow (Escócia) e do Texas (Estados Unidos).

No Brasil, a equipe de P&D está sempre em contato com a Universidade Federal de Minas Gerais, a Universidade de São Paulo, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e, especialmente, a Universidade Federal de Santa Catarina.

Atualmente, as pesquisas da empresa são apoiadas por um Comitê Científico e Tecnológico formado por professores pesquisadores das universidades citadas, que se reúnem todos os anos para discutir as últimas novidades sobre máquinas elétricas e acionamentos eletrônicos.

CONCLUSÕES

A análise dos dados disponíveis em bibliografia pertinente e a projeção feita para o conjunto da indústria brasileira permitem concluir que a Lei de Eficiência Energética já mostra importantes resultados e ainda trará uma importante contribuição para o uso mais eficiente da energia em motores com o passar dos anos.

Os motores da nossa indústria têm baixo carregamento. Deve ser estudada a hipótese de se adequar todos os motores às cargas acionadas. Isto exigiria um investimento em estudo de engenharia para o dimensionamento correto dos motores e um investimento para a troca das unidades sobredimensionadas, com eventuais adaptações mecânicas e elétricas.

Embora não se tenha uma avaliação precisa do potencial já explorado da eficiência de motores, há sinais de que muito já foi feito, entretanto ainda resta um bom potencial a ser explorado.

A adoção de algumas políticas públicas favoreceria a exploração do potencial de conservação de energia em motores. Entre estas as sugeridas por Geller et al. (2003), em recente trabalho, parecem adequadas ao incentivo de uso de motores de alto rendimento:

- o estabelecimento de metas de aumento de eficiência energética para indústrias, que adeririam voluntariamente ao programa em troca de facilidades na compra de energia, especialmente em condições de escassez e redução de impostos para compra de equipamentos eficientes;
- o aumento do percentual de faturamento das distribuidoras de energia elétrica obrigatório para aplicação em eficiência energética. O fundo seria gerido parte pelas próprias distribuidoras e parte pelos organismos estatais, podendo estimular o desenvolvimento de um mercado sustentável de eficiência energética, inclusive com aumento dos prazos requeridos para o retorno de capital.

Este trabalho também abordou que a adequação de carga de motores existentes superdimensionados, ou seja, sua troca por outros motores de menor potência normalmente é vantajosa para ambos os casos, e traz vários benefícios às empresas, tais como:

- Menor consumo de energia ativa (kWh);
- Aumento no fator de potência da instalação, ou seja, menor requisição de energia reativa (kVARh);
- Redução nos custos futuros com a manutenção, tanto dos motores como de seus equipamentos elétricos e mecânicos utilizados para seu funcionamento (rolamentos, contadores, relè térmico, disjuntor motor, etc.);
- Redução nos riscos de problemas com distorções harmônicas, uma vez que, a correção do fator de potência com capacitores, aumenta o risco de ressonância na instalação.

O trabalho motiva os usuários a racionalizar o uso de energia elétrica, identificar oportunidades de ganhos financeiros, ambientais e comprovar as vantagens na escolha da linha de motor entre os principais fabricantes nacionais.

Ao mesmo tempo, abordamos o desenvolvimento baseado em P&D para a melhoria dos motores elétricos, fruto de desenvolvimento tecnológico incremental.

Neste sentido, as mudanças tecnológicas são usualmente diferenciadas por seu grau de inovação e pela extensão das mudanças em relação ao que havia antes e, que, coloca o país em posição privilegiada frente aos concorrentes internacionais no atendimento à melhoria da eficiência dos motores elétricos para a racionalização do uso industrial de energia elétrica, redução de emissões e redução significativa do ruído ambiente das instalações (TIGRE, 2006).

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. 447 p. Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

ALMEIDA, A.A. Campos Girantes. Disponível em <<http://maquinas-utfpr.blogspot.com/2007/08/campos-girantes-2.html>> Acesso em: 25/7/2009.

AMERICO, M. Sistemas Motrizes: Eficiência Energética e Técnicas de Acionamento. Apresentações em PowerPoint em curso Cepel/Sebrae-RJ/UFF. Niterói-RJ, 2003.

ANDREAS, John C. Energy efficient electric motors: selection and application. New York 2ªEd.,1992. 272p.

BARTOS, Frank. J. Efficient Motors Can Ease Energy Crunch, Control Engineering, 5/1/2001. Disponível em: <<http://www.controleng.com/article/CA73845.html>> Acesso em 27 fev. 2008.

BEN. Balanço Energético Nacional. Ministério de Minas e Energia. 2008. Disponível em <http://www.mme.gov.br> Acesso em: 31 de maio de 2009.

BRASIL-a. Decreto 4.059 de 19. dez.01. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 20.dez.2001. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 24.abr.2003.

BRASIL-b. Decreto 4.508 de 11.dez.02. Dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil, e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 12.dez.2002. Disponível em: <http://www.energiabrasil.gov.br/decretos/decreto4508.pdf>. Acesso em 24.abr.2003.

BRASIL-c. Lei 10.295, de 17.out.01 – “Lei de Eficiência Energética”. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 18.out.2001. Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 24.abr.2003.

CASTRO, Renato Archanjo. Análise de Viabilidade de Troca de Motores Elétricos Superdimensionados e a Influência da Energia Reativa, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp, 2008. 120 p. Dissertação (Mestrado).

ELETROBRÁS. Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos. Itajubá, MG: Editora da EFEI 2ª Ed., 2001. 467p.

ELETROBRÁS. Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos. 2.ed. Itajubá: UNIFEI, 2003.

ELETROBRÁS. Informativo Eletrobrás do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Ano XX - Número 81 - Fevereiro de 2009.

FELLOW, Austin H. B. An Update on Ac Induction Motor Efficiency, IEEE paper no. PID 94-20, pp. 1362-1372, 1994.

FILIPPO FILHO, G. Motor de Indução. São Paulo: Érica, 2000.

GARCIA, A.G.P. Impacto Da Lei De Eficiência Energética Para Motores Elétricos No Potencial De Conservação De Energia Na Indústria. Dissertação de Mestrado, programas de pós-graduação de engenharia da universidade federal do rio de janeiro. UFRJ. RJ, 2003.

GELLER, H. S.: O Uso Eficiente da Eletricidade: uma Estratégia de Desenvolvimento para o Brasil. Rio de Janeiro: INEE, 1994.

GELLER, H. S. *Energy Revolution: Policies for a Sustainable Future*. Washington: Island Press, 2003.

GELLER, H. S. et al. *Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil*. *Energy Policy*. 2003. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 10.set.2003.

GELLER, H. S. et al. *The efficient use of electricity in Brazil: progress and opportunities*. *Energy Policy*, vol. 26, no 11, p. 859-872, 1998. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 10.set.2003.

HERSZTERG, Ivan. O Uso do Motor Elétrico na Indústria: Perspectivas de Conservação de Energia, Rio de Janeiro, RJ – Brasil, 1996, 175p.

KOSOW, I. L. Máquinas Elétricas e Transformadores. 4.ed. Tradução de Felipe Daillo e Percy Soares. Porto Alegre: Globo, 1982. 2 v.

KREUTZFELD, S. Motores de Alto Rendimento: uma economia viável? *Revista Eletricidade Moderna*, São Paulo, p. 30-37, out. 1998.

KUGLER, Henrique. Maquinas da Pesada. *Revista Ciência Hoje*, SBPC, vol. 44, número 259, p. 54-55, 2009.

MCCOY, G. A.; Litman, T.; Douglass, J. G. *Energy-Efficient Electric Motor Selection Handbook*, 1990, 50p.

MOREIRA, J.F., SOARES, G.A., TABOSA, R.P., SHINDA, R.. *Guia Operacional de Motores Elétricos*. Rio de Janeiro, RJ, 1988. P.92-101.

NBR 7094: Máquinas elétricas girantes – Motores de Indução – Especificação. ABNT. Rio de Janeiro, 1996. 50p.

NBR 7094: Máquinas elétricas girantes – Motores de Indução – Especificação. ABNT. Rio de Janeiro, 2000. 5p.

NEMA – *NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. MG1: Motors and Generators. Parte 30. 1998.*

NEMA. Product Scope and Nominal Efficiency Levels, 2003. Disponível em: <<http://www.nema.org/stds/complimentary-docs/upload/MG1premium.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2008.

OSLO MANUAL. *A proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data.* OEDC: *Statistical Office of the European Communities*, 1997.

RAMOS, M.C.E.S. Implementação de motores de alto rendimento em uma indústria de alimentos: Estudo de caso. Dissertação de Mestrado, Programa Interunidades de Pós-Graduação em energia. USP, SP. 2003.

REIS, L.B. Geração de Energia Elétrica. A geração de energia elétrica e o desenvolvimento sustentável. São Paulo: Zapt, 2000. P. 19-23.

SANTOS, André L. Avaliação do Potencial de Conservação de Energia em Motores Elétricos no Brasil – Universidade Federal de Itajubá, 2005, 110p.

SCHEAFER, Roberto; Oliveira, Sebastião E. M.; Garcia, Agenor G. P.; Silva, Tatiana L. V.; Monteiro, Luís F. C. Avaliação dos Índices de Eficiência Energética para Motores Trifásicos de Indução, Relatório Final, Rio de Janeiro: PPE/COPPE/UFRJ, 2005, 80p.

SENS, M.R. Avanços Tecnológicos nos Motores Elétricos. Revista Eletricidade Moderna, São Paulo, p. 23-27, abr. 1985.

TIGRE, Paulo B. Gestão da Inovação: A Economia da Tecnologia no Brasil. 2. Ed. Rio de Janeiro – RJ. 2006.

VILLA VERDE, V. S. A Conservação de Energia Elétrica no Novo Modelo Institucional do Setor Elétrico Brasileiro. 2000. 99 p. Tese (Mestrado em Planejamento Energético) – Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

WEG, Motores Elétricos: WEG Em Revista, Nº 55 - Nov./Dez. Jaraguá do Sul: 2008. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Media-Center/WEG-em-Revista>> Acesso 20 jun. 2009.

WOLFF, Joca. O Motor Elétrico: Uma história de energia, inteligência e trabalho. 1ª Ed., Rio de Janeiro: Editora UNERJ, 2004. 84p.