



PPE/COPPE/UFRJ

RELATÓRIO FINAL

**Projeto: Avaliação dos Índices de Eficiência Energética
para Motores Trifásicos de Indução**

Cliente: UN/DESA / CLASP

Coordenador: Roberto Schaeffer, D.Sc.

Equipe: Sebastião Ércules Melo de Oliveira, D. Sc.

Agenor Gomes Pinto Garcia, M. Sc.

Tatiana Lauria Vieira da Silva, M. Sc.

Luís Fernando Corrêa Monteiro, M. Sc.

RIO DE JANEIRO – BRASIL

08.setembro.2005

SUMÁRIO

Agradecimentos	4
1 Sumário Executivo	5
1.1 Contexto	5
1.2 Comparação com índices internacionais	6
1.3 Impacto nos fabricantes	6
1.4 Impactos financeiros.....	7
1.5 Extensão dos índices para motores até 500 cv	9
1.6 Conclusões e recomendações	9
2 Visão geral da Análise.....	13
3 Regulação da eficiência em motores elétricos.....	15
3.1 O Mercado de Motores Elétricos no Brasil	15
3.2 Processos de estabelecimento de normas e padrões técnicos no Brasil	16
3.3 A Lei de Eficiência Energética.....	17
3.4 Decreto 4.508/2002	19
3.4.1 Impacto no Mercado Brasileiro	22
3.4.2 Impacto nos fabricantes	25
4 Tecnologias para aumento de rendimento e respectivo impacto nos preços.....	27
4.1 Nova Portaria.....	29
4.1.1 Impacto no Mercado.....	29
5 Comparação com índices internacionais	35
5.1 Canadá e Estados Unidos	36
5.2 China.....	39
5.3 União Européia (e Índia)	41
6 Extensão dos índices a 500 cv	43
7 Procedimentos de teste	45

7.1	Procedimento brasileiro de ensaio.....	45
7.1.1	Confirmação sistemática do rendimento	46
8	Impactos Financeiros	48
8.1	Amostra considerada	48
8.2	Grupos de motores.....	49
8.3	Situação atual.....	50
8.4	Comparações com outras amostras disponíveis	53
8.5	Ponto de vista do usuário.....	54
8.5.1	Cenário 1 – Indústria (Finame).....	58
8.5.2	Cenário 2 – Indústria (capital próprio)	65
8.5.3	Cenário 3 – Setor Comercial	69
8.5.4	Cenário 4 – Setor residencial.....	72
8.6	Ponto de vista do sistema elétrico.....	73
	Referências	75

AGRADECIMENTOS

À UN/DESA a oportunidade de realização deste trabalho.

À CLASP o apoio, coordenação e exaustivo processo de comentários-revisão que fez este trabalho ser um produto da equipe COPPE-CLASP, principalmente Michael McNeil, que além de comentar e sugerir diversas melhoras, coordenou o trabalho de revisão. Além dele, contribuíram também Vestal Tutterow, Christine Egan e Stephanie Campbell, além dos comentários finais de Steve Wiel.

A Raymundo Aragão Neto, o trabalho de coordenação no Brasil e o auxílio para superar as barreiras da língua.

A Reinaldo Shindo, do CEPTEL, as preciosas informações prestadas sobre o trabalho do GT-Motores e os procedimentos de teste que coordena.

À equipe da Weg, pela acolhida calorosa e valiosas informações – Paulo Quintaes, Milton Oscar Castella, Daniel Eidelwein e Anna Maria Gayoso Neves. Da mesma forma, à equipe da Kolbach, ambas na pujante Jaraguá do Sul – Paulo Roberto B. Soares, Martin Klos, Wilson Gessner, Aloísio F. Lescowicz e José Quadros Jr..

Ao CNPq, o apoio à infra-estrutura universitária.

As conclusões são de responsabilidade exclusiva da equipe autora.

1 SUMÁRIO EXECUTIVO

O objetivo deste relatório é avaliar os índices propostos pelo CGIEE para padronização dos motores elétricos trifásicos comercializados no Brasil e seu processo de implantação, em especial os propostos na Nova Portaria do MME, ainda sem número, previstos para vigorar em 3 anos após sua publicação:

- a. Comparar os índices com os praticados internacionalmente;
- b. Verificar a adequação da implementação dos novos índices, incluindo o tempo e as ações prévias necessárias;
- c. Estimar a economia de energia a ser alcançada com o estabelecimento dos novos índices, bem como dos custos envolvidos e sua relação com os benefícios, dos pontos de vista do usuário e do sistema interligado nacional (SIN);
- d. Avaliar a adequação da expansão da faixa de motores cobertos para 500 cv;
- e. Avaliar os avanços tecnológicos em motores de indução, comparar essas tecnologias e seu impacto no projeto e fabricação de motores.

1.1 Contexto

O processo de melhoria dos rendimentos nominais dos motores já vinha sendo praticado no âmbito do PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem, de caráter voluntário, desde 1993, onde todos os fabricantes nacionais compunham o Grupo de Trabalho de Motores (GT – Motores), além do Inmetro, Procel e MME, que estabelecia, por consenso, metas anuais ou bianuais de melhoria dos rendimentos.

O Decreto 4.508/2002 (BRASIL, 2002) regulamentou a aplicação da Lei de Eficiência Energética (Lei no 10.295/2001 – BRASIL, 2001b) para motores elétricos de indução trifásicos, estabelecendo duas tabelas de rendimentos mínimos a serem obedecidos por motores de linha padrão e alto rendimento. Estas tabelas consolidaram os melhores índices já praticados no país, criando assim as condições para que equipamentos menos eficientes aqui comercializados (inclusive compondo equipamentos de fabricação importados) fossem banidos do mercado.

Além disso, a concorrência para obtenção do selo Procel de eficiência energética provoca um esforço dos fabricantes para melhorar o seu produto e obter o selo, visto como diferencial de mercado. Assim, a introdução da Lei, de caráter compulsório, embora tenha trazido uma redução da energia consumida por motores elétricos

(GARCIA, 2003), teve impacto reduzido por ser o coroamento de um processo já velho de dez anos. O passo seguinte na implementação da lei e aumento dos níveis praticados foi o estabelecimento de uma portaria interministerial, ainda não aprovada (neste relatório chamada de “Nova Portaria”), que prevê, para um prazo de 3 anos, a adoção de uma única tabela de rendimentos nominais mínimos (ao contrário do Decreto 4.508 que previa duas tabelas, uma para motores padrão e outra para motores de alto rendimento), iguais aos de alto rendimento do Decreto 4.508.

A análise técnica destes índices propostos inclui: comparação com práticas internacionais, impacto potencial para os fabricantes, impactos financeiros para os consumidores, procedimentos de teste e análise da expansão dos índices para motores até 500 cv.

1.2 Comparação com índices internacionais

Há no mundo dois procedimentos básicos de teste de motores de indução: um, estabelecido pela IEC (International Electrotechnical Commission), que assume valores para as perdas suplementares e outro, pelo IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), que as mede. O método da IEC subestima estas perdas, resultando em valores mais altos de rendimento, ou seja, o IEEE tem um método mais rigoroso. A norma brasileira (NBR-5383) segue o padrão do IEEE, também usado por Canadá e EUA, enquanto União Européia e China adotam o padrão da IEC. Outra diferença que dificulta a comparação é a frequência da rede elétrica, 50 ou 60 Hz.

Foi feita uma comparação com os índices estabelecidos internacionalmente: Canadá e EUA, União Européia, Índia (que adota o padrão da UE) e China. Embora haja diferenças de método de ensaio e em relação à frequência da rede mencionadas, pode-se notar que os índices brasileiros, em especial os para motores de alto rendimento, estão no mesmo patamar dos praticados alhures. No Canadá e EUA, a linha padrão se aproxima da nossa de alto rendimento, havendo uma linha *premium*, com rendimentos ainda maiores. No entanto, as carcaças lá utilizadas são maiores, o que dificulta nossa equiparação com os índices mais elevados.

1.3 Impacto nos fabricantes

Do ponto de vista tecnológico, os avanços que hoje se fazem para melhoria da eficiência dos motores seguem na linha dos melhoramentos adotados para a confecção de motores de alto rendimento: chapas de menor relutância, principalmente com o uso

de ligas de ferro-silício, maior preenchimento das ranhuras utilizando-se mais cobre, maiores condutores no rotor, melhorias no entreferro, cabeças de bobina, ventilação e mancais. Assim, do ponto de vista do fabricante, três considerações merecem importância:

- **Material:** a diferença básica, neste aspecto, dos motores hoje de alto rendimento dos de fabricação padrão é o uso de chapas de ferro-silício, mais caras e com menor disponibilidade no mercado. O ferro tem tido altas de preço relevantes no mercado internacional e seu fornecimento já é hoje um problema para os fabricantes de motores, condição que será agravada com a adoção da Nova Portaria.
- **Processo fabril:** embora já se fabriquem unidades de alto rendimento, em princípio iguais aos motores que irão atender à Nova Portaria, a sua fabricação exclusiva trará modificações profundas no processo fabril, com investimentos de retorno ainda incerto.
- **Motores estrangeiros:** já é notada a presença de motores menos eficientes em equipamentos de produção importados. O INMETRO está apenas iniciando o processo de fiscalização na importação e é preciso que este processo esteja maduro quando da vigência da Nova Portaria, já que o custo dos motores de fabricação nacional aumentará, estimulando a importação de unidades menos eficientes.

1.4 Impactos financeiros

Atualmente, os motores de alto rendimento custam tipicamente 40% a mais que os da linha padrão. Reprogramar toda a produção exclusivamente para motores de alto rendimento, como requer a Nova Portaria, trará por um lado economia de escala, porém por outro exigirá pesados investimentos em novas máquinas e ferramentas. Neste relatório, portanto, adotou-se o procedimento ‘conservador’ de considerar, para os novos motores, o mesmo preço hoje praticado para os motores de alto rendimento, isto é, considerar que o ganho de escala seria anulado pelos investimentos necessários.

A análise, motor-por-motor, da relação custo-benefício da troca dos motores, em média 40% mais caros, sob o ponto de vista do consumidor, mostrou que, apesar de ser vantajosa em geral para motores trabalhando intensivamente e em regime nominal, não o é em alguns casos com regime parcial ou em potências abaixo da nominal, condição

em que operam muitos motores. A análise mostrou que, considerando carga plena e regime intenso, a troca dos motores de 2 e 4 pólos, mais utilizados, é vantajosa, o que nem sempre é verdade para os de 6 e 8 pólos. Entretanto, quando se consideram as situações de carga parcial e regime parcial, algumas trocas passam a não ser vantajosas, em especial para os motores grandes (acima de 100 cv). Em geral, as trocas serão vantajosas para $\frac{3}{4}$ dos motores de 2 e 4 pólos, mesmo em baixa carga e regime parcial. Para os de baixa rotação, as trocas serão vantajosas em alguns casos em regime intenso, porém desvantajosas na sua maioria.

A Tabela 1 mostra que, operando à carga nominal, em mais de 80% dos motores de 2 e 4 pólos (que representam cerca de 90% do mercado) o ganho de rendimento compensa o investimento (o que acontece para todos estes motores trabalhando em regime intenso – 8000 h/ano), situação que cai com meia carga¹. A situação para motores de baixa rotação é menos favorável.

Tabela 1 – Motores com RCB favorável (indústria)

Carregamento	1	0,5	1	0,5
h/ano	8000	8000	4000	4000
2 e 4 pólos	100%	98%	81%	75%
6 e 8 pólos	89%	70%	39%	18%

Fonte: Elaboração própria.

A análise do consumidor médio industrial, considerando a distribuição e uso dos motores, mostrou que a troca dos motores tem uma relação custo-benefício favorável. Para os outros setores analisados, a situação parece similar. Estimou-se uma redução global de 2% no uso da eletricidade por motores. Este valor é significativo, se se considerar a participação dos motores trifásicos de indução no uso de energia elétrica.

Além do setor industrial, estimativas foram feitas para os setores comercial e residencial. Por não haver amostra disponível, a mesma amostra do setor industrial foi utilizada para estes setores. Isto indica, por um lado, que a economia de energia pode ter sido superestimada pois o uso dos motores nestes setores é menos intensa mas, por outro lado, o maior uso de motores menores, onde as economias são maiores, pode compensar este viés. Do ponto de vista financeiro, as maiores taxas de desconto praticadas por estes setores são compensadas, de certa forma, por maiores custos da eletricidade.

¹ Para distribuição do carregamento na amostra considerada, ver a Figura 18, na página 51.

Finalmente, foram avaliados os benefícios sociais pelo custo evitado da geração e distribuição de energia. Do ponto de vista do sistema elétrico, comparando-se os custos da energia economizada com os requeridos para ampliação do sistema, numa mesma base da taxa de desconto praticada pelo setor elétrico, vê-se que há grande vantagem em investir na eficiência dos motores. Como o custo da energia evitada será pago pelos usuários e pelos fabricantes, cabe pensar numa forma de ressarcimento, via financiamento dos investimentos requeridos e incentivos à compra de motores mais eficientes. Neste sentido, propostas que foram feitas na implantação do Novo Modelo do Setor Elétrico de “leilões de eficiência energética” poderiam representar uma alternativa de implantação.

É preciso levar em conta que, apesar dos esforços feitos e de uma relação custo-benefício favorável, o mercado de motores de alto rendimento ainda está na casa dos 10% do total fabricado no Brasil, o que parece indicar a sua não aceitação espontânea pelo mercado. Vale notar que uma grande parte disto deve-se aos motores usados em equipamentos de produção, cujos fabricantes, não comprometidos com o uso da energia que se fará, só consideram o custo inicial. Na verdade, esta é uma falha de mercado que os programas de etiquetagem e padronização, projetados para serem vantajosos em custo para o consumidor, procuram corrigir, proporcionando ganhos de escala na fabricação. Porém, como se comentará adiante, há dúvidas se isto acontecerá com a aplicação da Nova Portaria.

1.5 Extensão dos índices para motores até 500 cv

Os atuais índices cobrem a faixa de 1 a 250 cv. Questiona-se a viabilidade de sua extensão a 500 cv. Estes motores têm rendimento nominal acima de 94% e são demandados por indústrias de maior porte, com melhor estrutura de engenharia. Estas empresas, segundo os fabricantes, são as que mais demandam unidades de alto rendimento. Na falta de amostra de seu uso, acreditamos que o impacto da adoção dos índices de motores de alto rendimento seria reduzido. Ressalva deve ser feita se se constatar, com o maior controle, a entrada no mercado de motores estrangeiros ineficientes nesta faixa de potência.

1.6 Conclusões e recomendações

- **Transformação do Mercado pelos índices propostos** – A adoção dos índices ora propostos representa um passo adiante no desenvolvimento de um processo

que começou há uma década e teve sua consolidação com a obrigatoriedade dos índices pela Lei da Eficiência Energética. Ela excluiria do mercado os motores que não atendem o critério de alto rendimento estipulado pelo Decreto 4.508/2002. Em média, isto representará uma economia de energia da ordem de 2%, o que é significativo considerada a elevada participação destes motores no consumo de energia elétrica nacional.

- **Comparação com os índices internacionais** – Comparando detalhadamente com outras normas internacionais, voluntárias ou obrigatórias, em vários outros países, conclui-se que os índices propostos são próximos aos praticados no mundo, em particular EUA e Canadá, União Européia (classe **eff1**) e China.
- **Impacto nos fabricantes** – atualmente, apenas 10% dos motores produzidos no Brasil são de alto rendimento. Aumentar esta taxa para 100% requer uma forte mudança no processo fabril, incluindo novas máquinas, ferramentas e programação da produção, afetando os produtores, principalmente os menores. Portanto, as economias de escala obtidas com o aumento da produção serão grandemente absorvidas pelos investimentos necessários. A implementação da Nova Portaria deveria ser considerada apenas após ampla análise das conseqüências deste impacto no parque fabril e no preço final ao consumidor.
- **Matéria-prima** – A produção em massa de motores de alto rendimento requererá aumentos significativos na demanda de alguns materiais, em especial chapas de ferro-silício, do qual há apenas um fornecedor no mercado nacional. Além disso, a demanda e preço do ferro têm crescido muito no cenário da economia globalizada. Há estudos sendo feitos para garantir o suprimento deste material e seus resultados devem ser considerados antes da implementação da Nova Portaria, para garantir a viabilidade de fabricação dos novos motores a preços adequados ao consumidor.
- **Motores importados** – O aumento dos índices de eficiência praticados e conseqüente impacto nos preços provavelmente estimulará a importação de produtos mais baratos e menos eficientes, principalmente os motores embarcados em equipamentos. A Lei de Eficiência Energética prevê o mesmo tratamento para estes motores, mas a sua aplicação é muito mais complicada e está apenas no estágio inicial de controle. Recomenda-se que este processo já esteja suficientemente maduro por ocasião da implementação da Nova Portaria.

- **Impacto nos Consumidores Finais** – Analisando os impactos financeiros motor a motor (cada potência e rotação), conclui-se que a substituição dos motores propicia, em geral, uma economia maior que o investimento inicial. No entanto, a viabilidade financeira varia com o padrão de uso e custo da eletricidade, além da potência e polaridade. Em particular, para o consumidor industrial, concluiu-se que a substituição é favorável para quase todos os motores de 2 e 4 pólos com uso intensivo. Para um uso menos intenso, a troca seria benéfica de 75 a 81% dos casos, variando com o carregamento empregado. A substituição é menos vantajosa para os motores de 6 e 8 pólos, embora tenha uma relação custo-benefício favorável na maioria dos casos com uso intenso, porém em menos da metade para uso parcial. Desta forma, recomenda-se buscar um melhor ajuste para os índices destes motores ou excluí-los da abrangência da lei, já que representam uma porção pequena do mercado de motores.
- **Benefícios para a Sociedade** – A viabilidade da aplicação da Nova Portaria foi analisada sob o ponto de vista de benefícios para a sociedade, considerando-se a energia economizada contra o custo para produzi-la, utilizando-se taxas de desconto típicas para o setor elétrico. Esta análise mostrou ser a troca dos motores altamente atrativa financeiramente, além dos benefícios sociais e ambientais que traz. Porém, como os custos serão assumidos pelos consumidores finais em última análise, sugere-se a adoção de uma política de incentivos que possa transferir uma parte do investimento evitado para o setor, por exemplo assumindo uma parte dos custos necessários para adaptação do setor fabril.
- **Extensão dos índices até 500 cv** – Considerou-se o benefício potencial de estender a regulamentação a motores até 500 cv. Em geral, estes motores têm alto valor de rendimento e o seu uso é otimizado, uma vez que sua aplicação principal se dá em indústrias com bom suporte de engenharia. Assim, conclui-se que a extensão dos índices teria provavelmente um impacto reduzido em relação ao já conseguido pelos motores menores. Esta medida justificar-se-ia se, com a fiscalização em implantação para motores importados, fosse constatada a entrada de motores menos eficientes nesta faixa de potência.
- **Outras Medidas para Eficientização** – Note-se que a padronização é apenas uma medida para tornar o uso de motores mais eficiente. Outras medidas podem ser bem mais significativas, como otimizar a máquina acionada ou o sistema em

que ela trabalha (por exemplo, o sistema hidráulico movimentado por bomba), o uso de conversores de frequência (ver o Apêndice C), o dimensionamento correto dos motores ou o balanceamento das fases de alimentação. Os esforços feitos para o incremento destas oportunidades devem ser considerados em paralelo à adoção de índices mais rigorosos.

2 VISÃO GERAL DA ANÁLISE

O objetivo desta análise é prover o MME (Ministério das Minas e Energia) e outras instituições responsáveis pela implementação da Lei de Eficiência Energética com a base técnica para as conclusões e recomendações apresentadas acima. A norma atual estipula dois níveis mínimos de rendimento para motores de 2, 4, 6 e 8 pólos, de 1 a 250 cv. O primeiro, para motores padrão, e o segundo para motores de alto rendimento. Os novos índices considerados elevariam os índices mínimos para os previstos para motores de alto rendimento. Este relatório procura analisar detalhes técnicos em questões que surgem com a elevação destes índices.

A Seção 3 começa com uma visão geral do mercado brasileiro de motores. Em seguida, descreve-se o processo institucional para a regulação da eficiência destes produtos e descreve em detalhes a evolução dos índices mínimos de eficiência energética até o momento, estabelecendo o contexto para análise dos novos índices propostos.

A Seção 4 apresenta dois aspectos particulares dos impactos que a regulação da eficiência provoca em fabricantes e consumidores, ambos relevantes com o aumento dos índices. O primeiro, os aspectos tecnológicos para se conseguir o aumento de rendimento, e o segundo, o impacto destas medidas nos preços finais para o consumidor. Já que os índices propostos correspondem a motores de alto rendimento já voluntariamente produzidos, as opções tecnológicas e os preços praticados são diretamente relevantes para análise da relação custo-benefício dos novos índices. Por causa dos programas voluntários e obrigatórios levados a curso desde 1993, os fabricantes tiveram incentivos e responsabilidade para aumentar a eficiência de seus produtos. Como resultado, os dados de eficiência e preços estão disponíveis para análise, dada a razoável premissa de que estas técnicas serão usadas para confecção dos novos motores. A metodologia usada para estimar a relação custo-benefício da troca dos motores baseia-se nos custos iniciais com o aumento do preço dos motores e na redução do consumo de energia obtido durante a sua vida útil. Mesmo que se tenha presente que os preços não refletem necessariamente os custos de fabricação, eles dão alguma indicação dos prováveis custos iniciais assumidos pelo consumidor.

As três seções subseqüentes cobrem três aspectos diferentes dos novos índices: comparação dos índices propostos com os praticados internacionalmente, potencial da ampliação dos índices para motores até 500 cv, e os procedimentos de teste usados para

certificação dos motores no Brasil. A comparação com os índices internacionais foi feita coletando-se os índices mais relevantes, voluntários e obrigatórios, adotados no mundo. Os procedimentos de teste brasileiros foram analisados vis-à-vis os padrões reconhecidos internacionalmente. A análise da extensão dos índices para altas potências baseou-se nos padrões de uso de tais motores pelo mercado e nos rendimentos já observados.

A última e mais extensa seção analisa a viabilidade financeira da substituição dos motores que atendem aos atuais critérios pelos que atenderão aos novos índices. A análise da relação custo-benefício considera três importantes perspectivas. Em primeiro lugar, apresenta uma análise ‘motor-por-motor’ do aumento de preço em relação à economia obtida com a redução do consumo de energia, com os dados obtidos junto aos fabricantes, representando o conjunto do mercado. A análise é feita em 4 cenários de custos e 4 padrões de uso. Além disso, considera o impacto total sobre o setor industrial, considerando-se a distribuição de motores existente e sua forma de uso, em termos de carregamento e horas de operação. Esta análise foi baseada em uma amostra de mais de 2000 motores cujos dados foram coletados em chão-de-fábrica (GARCIA, 2003).

Os resultados foram estendidos aos setores comercial e residencial, utilizada a mesma amostra na falta de dados específicos, com a ressalva, portanto, de que os padrões de uso são diferentes. Finalmente, a perspectiva de benefícios mais amplos para a sociedade foram considerados comparando-se a troca por motores de alto rendimento com os custos marginais para aumentar a produção e distribuição de energia elétrica.

3 REGULAÇÃO DA EFICIÊNCIA EM MOTORES ELÉTRICOS

3.1 O Mercado de Motores Elétricos no Brasil

O mercado de fabricação é composto por quatro fábricas brasileiras:

- **Weg** (<http://www.weg.com.br/>): detém cerca de 80% do mercado, principalmente em motores industriais, é líder no setor na América Latina, figura entre os cinco maiores fabricantes do mundo, exporta para mais de 50 países e conta com filiais e assistência técnica nos cinco continentes (Fazendo o Mundo Girar: Weg Motores Ltda. Mercosul Magazine, 2003). Em 2004, fabricou 2 milhões de motores trifásicos industriais, possuindo fábricas, além do Brasil, no México, Argentina, Portugal e China (WEG, 2005). Com sede em Jaraguá do Sul, em Santa Catarina, onde surgiu em 1961, domina o fornecimento de motores de baixa tensão na indústria.
- **Eberle** (<http://www.eberle.com.br/>): com sede em Caxias do Sul – RS, fabrica motores elétricos desde 1939, com participação no mercado na faixa de 10%.
- **Kohlbach** (<http://www.kohlbach.com.br/>): também situada em Jaraguá do Sul – SC, fabrica motores e geradores. A linha de motores trifásicos vai até 150 cv, sendo a ênfase dada a motores até 30 cv, contando com cerca de 8% do mercado de motores trifásicos.
- **SEW** (<http://www.sew.com.br/>): possui unidades montadoras no Brasil, cujos motores, de pequeno porte, são geralmente acoplados a dispositivos de variação de velocidade, como motorreductores e acionamentos eletrônicos.

No entanto, ainda se encontram funcionando motores de fabricação GE, que dominou o mercado até os anos 70s, e outras marcas como Búfalo, Brasil, que não são mais fabricados.

A entrada de motores estrangeiros se dá principalmente através de equipamentos montados, destacando-se os setores de beneficiamento de madeira (móveis etc.) e indústria mecânica. Atualmente, entretanto, o mercado de motores é dominado pelos fabricantes nacionais, que detêm, embora não haja dados precisos, seguramente mais de 90% do mercado.

3.2 Processos de estabelecimento de normas e padrões técnicos no Brasil

Até o advento da “Lei de Eficiência Energética” (que será apresentado no item 3.3), os processos oficiais de certificação de produtos estão enquadrados no âmbito do CONMETRO – Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, órgão colegiado interministerial que exerce a função normativa do sistema brasileiro de metrologia, qualidade industrial e conformidade.

Uma das atividades do CONMETRO é estabelecer normas que suportam a regulamentação técnica, facilitando as atividades comerciais e servindo de base para melhoria de processos e produtos. A área de normalização está sob responsabilidade da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, entidade privada e sem fins lucrativos, que tem autoridade para credenciar outras entidades setoriais para desempenho de atividades de normalização.

Ao INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, exclusivamente, cabe o credenciamento de organizações responsáveis pela avaliação da conformidade de produtos e outros processos na área metrológica.

Desta forma, podemos estabelecer o processo oficial de normalização e regulamentação de produtos da seguinte maneira:

- Uma norma técnica é proposta para discussão no âmbito da ABNT, seguindo um processo de consulta pública, discussões e revisões em um grupo temático específico;
- Uma vez aprovada a norma, esta passa a fazer parte do sistema brasileiro de normalização que, apesar de não possuir “per si” força de lei, é considerada pela legislação brasileira (especialmente após implantação do Código de Defesa do Consumidor – Lei 8070/1990) como referência legal para produtos e serviços.

Todos os processos de avaliação e testes de produtos, em princípio, seguiriam este processo.

No entanto, considerando o envolvimento de múltiplos agentes especificamente na regulamentação baseada em eficiência energética, outras instituições estão aptas a estabelecer normas e procedimentos de teste. O próprio INMETRO estabelece procedimentos de enquadramento de produtos em faixas de eficiência, para efeitos de etiquetagem de produtos.

Com relação aos papéis institucionais, podemos resumir nos seguintes:

- **ABNT:** responsável pelo processo de elaboração e aprovação de normas técnicas no âmbito do SINMETRO, bem como credenciamento de instituições para atividades similares.
- **INMETRO:** responsável pelo credenciamento de organismos para testes e certificação de produtos, no âmbito do SINMETRO, além de participar dos comitês técnicos do CGIEE (a seguir descrito), além de estabelecer normas específicas para teste de produtos e níveis de consumo no âmbito do PBE.
- **PROCEL:** participa em comitês técnicos do CGIEE.
- **CGIEE:** aprova níveis mínimos de eficiência energética ou máximos de consumo, conforme atribuições da “Lei de Eficiência Energética”.

3.3 A Lei de Eficiência Energética

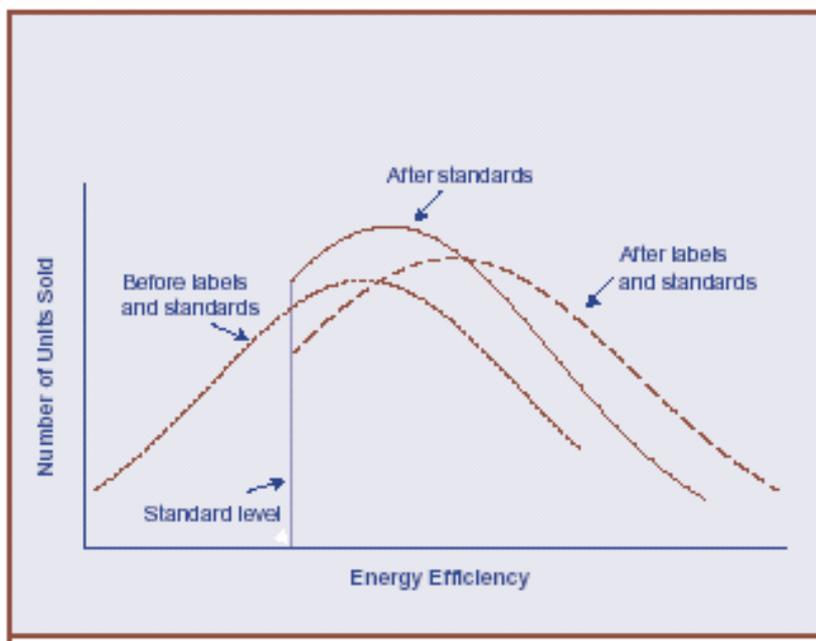
A aprovação da “Lei de Eficiência Energética” (Lei no 10.295 de 17.out.2001 – BRASIL, 2001b), cuja tramitação no Congresso Nacional iniciou em 1990, instituiu o estabelecimento de níveis mínimos de eficiência energética ou máximos de consumo no Brasil, mecanismo de reconhecida eficácia para tornar mais eficiente o uso de energia . O primeiro equipamento a ser regulamentado foi o motor elétrico trifásico, através do Decreto 4.508, de 11.dez.2002 (BRASIL, 2002). Estima-se que este equipamento pode chegar a consumir 32% da energia elétrica do país (MME, 2001, p. 23).

Programas de Etiquetagem (como o PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem² - que visa fornecer ao consumidor informações sobre a eficiência energética do produto) e Padronização (que visa eliminar os produtos ineficientes do mercado, agora aqui introduzido com a Lei de Eficiência Energética) são técnicas consagradas e hoje adotadas em mais de 25 países (CLASP, 2001, p. 16) para aumentar a eficiência energética no uso final.

Conseguem-se melhores resultados com boas combinações de programas voluntários com obrigatórios, como mostra a Figura 1 (CLASP, 2001, p. 10): a norma deve cortar a curva no ramo ascendente da distribuição normal unidades vendidas x eficiência para não prejudicar em muito os fabricantes, já que a idéia é retirar somente

² Vários aspectos do PBE podem ser conhecidos no sítio do Inmetro - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial -, órgão brasileiro de metrologia e qualidade: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe.asp>, responsável pelo programa.

as unidades menos eficientes do mercado³. Assim, os fabricantes atingidos têm que reprojeter os seus equipamentos, deslocando também a curva para a direita; já o processo de conscientização do consumidor, através dos programas de etiquetagem, desloca também a curva para a direita, mais suavemente mas com muito mais esforço. Isoladamente, a experiência mostra que os programas obrigatórios conseguem melhores resultados, já que o consumidor pode comprar um equipamento ineficiente inadvertidamente.



Fonte: CLASP, 2001.

Figura 1 – Impacto dos programas nas vendas

No Brasil, os motores trifásicos integraram o PBE desde 1993. Foi constituído um grupo de trabalho – conhecido como GT Motores – pelos fabricantes, Cepel – responsável pelos testes, Procel⁴ e Inmetro, coordenador do PBE. Segundo os participantes, este grupo sempre agiu de comum acordo, estabelecendo metas cada vez mais desafiadoras, tanto para motores da linha padrão como de alto rendimento, de implementação anual ou bianual, sempre com caráter voluntário. O sucesso de sua atuação motivou a ser o primeiro equipamento a ter índices padronizados, obrigatórios.

³ Embora possa produzir ótimos resultados. A CLASP (2001, p. 12) cita que a média da eletricidade requerida para operar um refrigerador novo nos EUA caiu 74% desde que as primeiras normas foram anunciadas na Califórnia há 25 anos, mesmo considerando que os novos aparelhos possuem muito mais recursos e maior capacidade.

⁴ Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, desenvolvido no âmbito da Eletrobrás.

Como os fabricantes nacionais já praticavam os índices voluntariamente, a vigência da lei trouxe a possibilidade da eliminação de concorrência predatória estrangeira.

3.4 Decreto 4.508/2002

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

O CGIEE elaborou um extenso plano de estudos no final de 2002 (CGIEE, 2002) e inicialmente fez aprovar o Decreto 4.508/2002, que regulamentou a eficiência energética dos “motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo” (BRASIL, 2002, p. 1). Estes motores constituem seguramente mais de 90% da energia motriz produzida por eletricidade na indústria nacional (GARCIA, 2003, p. 13). É usado, também, nos setores residencial, público, comercial e agropecuário, 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.

A fiscalização da implementação das normas estabelecidas no Decreto cabe ao Inmetro (BRASIL, 2002, art. 16).

O Decreto 4.508 estabelece, no Art. 3º, que “o indicador de eficiência energética a ser utilizado é o rendimento nominal” (BRASIL, 2002, p. 8). 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 2. Estes índices já vinham sendo negociados no GT Motores do PBE e foram acordados dois anos antes do início da vigência da Lei.

Tabela 2 – Rendimentos pela Lei da Eficiência Energética

Potência nominal		Padrão				Alto Rendimento			
cv	kW	P2	P4	P6	P8	AR2	AR4	AR6	AR8
1	0,75	77,0	78,0	73,0	66,0	80,0	80,5	80,0	70,0
1,5	1,1	78,5	79,0	75,0	73,5	82,5	81,5	77,0	77,0
2	1,5	81,0	81,5	77,0	77,0	83,5	84,0	83,0	82,5
3	2,2	81,5	83,0	78,5	78,0	85,0	85,0	83,0	84,0
4	3	82,5	83,0	81,0	79,0	85,0	86,0	85,0	84,5

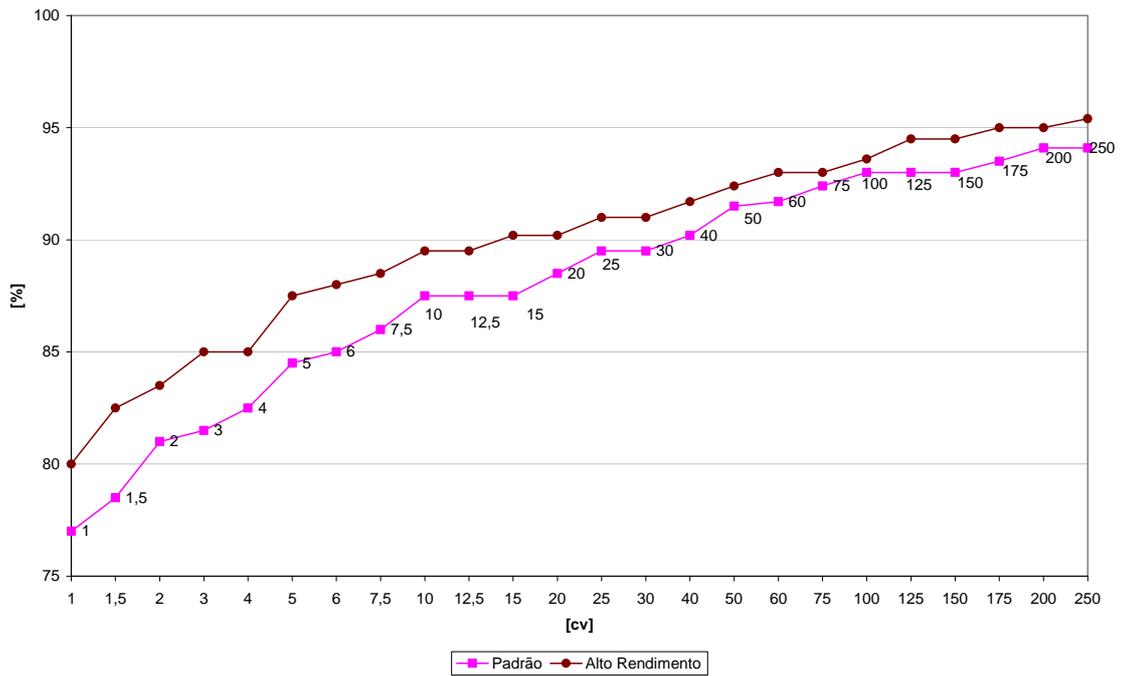
Potência nominal		Padrão				Alto Rendimento			
cv	kW	P2	P4	P6	P8	AR2	AR4	AR6	AR8
5	3,7	84,5	85,0	83,5	80,0	87,5	87,5	87,5	85,5
6	4,5	85,0	85,5	84,0	82,0	88,0	88,5	87,5	85,5
7,5	5,5	86,0	87,0	85,0	84,0	88,5	89,5	88,0	85,5
10	7,5	87,5	87,5	86,0	85,0	89,5	89,5	88,5	88,5
12,5	9,2	87,5	87,5	87,5	86,0	89,5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

Fonte: Decreto 4.508 (BRASIL, 2002).

As colunas na Tabela 2 significam:

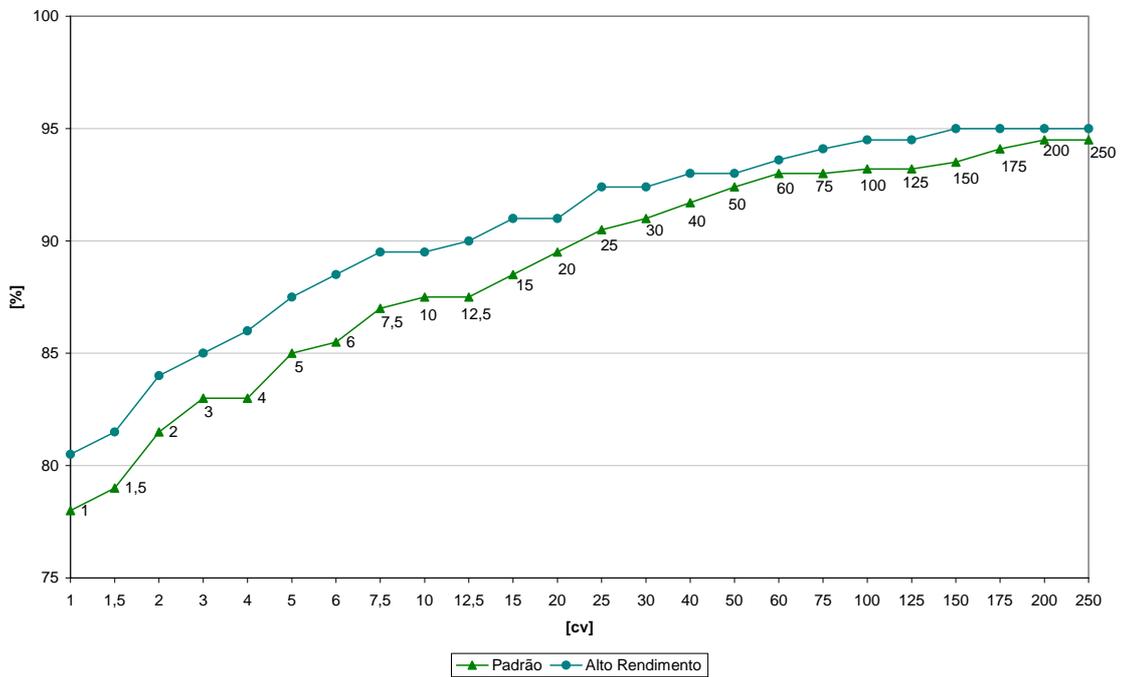
cv e kW	Potência nominal (mecânica, em ambos os casos) dos motores considerados
P2, P4, P6 e P8	Motores padrão com, respectivamente, 2, 4, 6 e 8 pólos
AR2, AR4, AR6 e AR8	Motores de alto rendimento com, respectivamente, 2, 4, 6 e 8 pólos

Os motores de 6 e 8 pólos sem índices especificados são de menor uso. Na amostra considerada neste trabalho (ver item 8.1, na página 48), 76% são de 4 pólos, 12% de 2 pólos, 11% de 6 e apenas 1% de 8 pólos. As Figura 2 e Figura 3 comparam os índices para motores de 2 e 4 pólos (as linhas foram traçadas apenas para melhor visualização). Alguns motores, como os de 50 e 60 cv de 4 pólos, tiveram menos de 1% de acréscimo no rendimento.



Fonte: Elaboração própria, a partir do Decreto 4.508 (BRASIL, 2002).

Figura 2 – Índices do Decreto 4.508 para 2 pólos



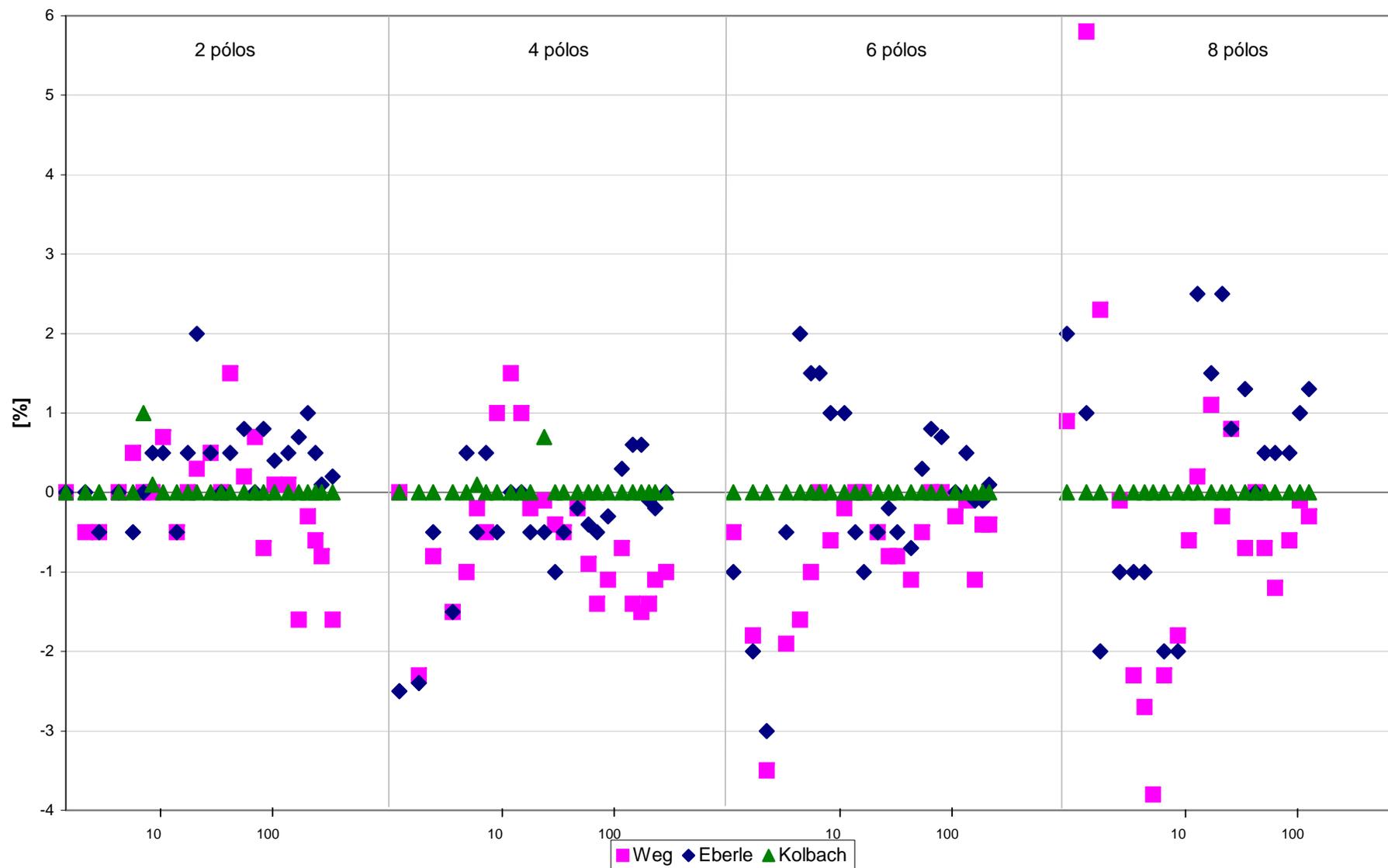
Fonte: Elaboração própria, a partir do Decreto 4.508 (BRASIL, 2002).

Figura 3 - Índices do Decreto 4.508 para 4 pólos

3.4.1 Impacto no Mercado Brasileiro

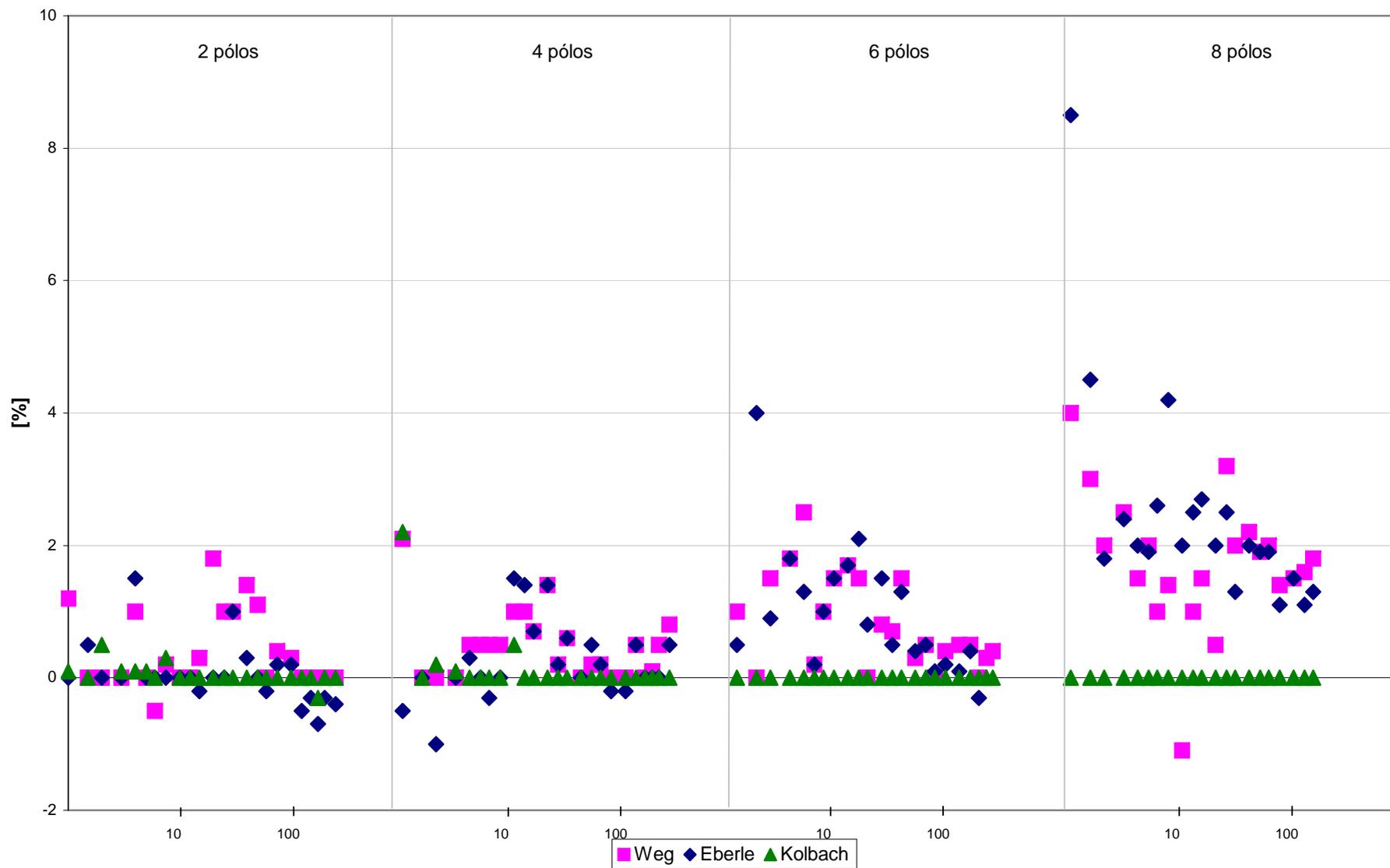
Comparando-se os rendimentos previstos na Lei com os praticados em 2001 (utilizando o banco de dados do BDMotor⁵ (CEPEL, 2003), vê-se que todos os índices já eram praticados por algum fabricante, como mostram as Figura 4 e Figura 5. Nestas figuras, estão representados os índices do Decreto 4.508 subtraídos dos rendimentos nominais dos motores fabricados em 2001. Os números negativos, portanto, mostram os motores que tiveram que sofrer melhorias, enquanto os positivos indicam aquelas unidades que já atendiam à Lei.

⁵ Software desenvolvido pelo Cepel (Centro de Pesquisa de Energia Elétrica, ligado ao sistema Eletrobrás e ao MME) para gerenciamento de motores elétricos de indução.



Fonte: Elaboração própria, a partir de BDMotor (2003) e Decreto 4.508 (BRASIL, 2002).

Figura 4 – Desvios dos motores padrão em relação ao Decreto 4.508



Fonte: Elaboração própria, a partir de BDMotor (2003) e Decreto 4.508 (BRASIL, 2002).

Figura 5 - Desvios dos motores de alto rendimento em relação ao Decreto 4.508

Embora as adequações não tenham sido grandes (19% dos motores sofreram adequação), esta primeira regulamentação representou um importante passo para a introdução da Lei de Eficiência Energética no Brasil (com uma economia de energia de cerca de 1%, segundo Garcia, 2003). Como se pode ver nos gráficos acima, os esforços mais significativos foram feitos pela Weg para os motores padrão, o que, considerando a maior penetração deste fabricante no mercado, representará uma economia na energia consumida por este equipamento no Brasil (GARCIA, 2003, p. 91).

A implementação da Lei não trouxe impacto nas vendas, já que o preço dos motores é muito mais afetado pelo custo dos materiais, em especial os metais – ferro, cobre e alumínio, que têm sofrido aumentos significativos nos últimos anos, segundo os fabricantes (o cobre, por exemplo, passou de 1500 a 3260 US\$/ton nos últimos 18 meses).

A Nova Portaria, ainda sem número, comentada a seguir, representará um segundo e importante passo na efficientização dos motores brasileiros.

3.4.2 Impacto nos fabricantes

Na verdade, como comentado anteriormente, o processo de melhoria dos índices começou no GT Motores do PBE em 1993 e o Decreto 4.508 foi apenas a consolidação deste processo. Para os fabricantes, a grande vantagem da Lei foi a possibilidade da eliminação da concorrência estrangeira com motores menos eficientes.

Segundo depoimento dos fabricantes, houve um grande esforço, principalmente no início, para adequação aos níveis propostos como metas, o que sempre foi feito por consenso no grupo – todos concordam com o funcionamento harmonioso do grupo. Investimentos diversos foram feitos em engenharia, para desenvolvimento e aperfeiçoamento dos motores, máquinas novas para estamparia com os novos formatos de chapas, tratamento das chapas, máquinas de inserção automática das bobinas nas ranhuras, entre outros. Todos alegam que os investimentos não foram repassados aos preços, mas absorvidos por outras melhorias do processo que permitiram reduzir os custos.

As potências menores tiveram maior avanço.

Há também, em paralelo a este processo, uma concorrência para obtenção do Selo Procel⁶, visto como diferencial de mercado - todos o conseguem, em potências e polaridades diversas (PROCEL, 2005). As técnicas disponíveis para aumento de rendimento são comentadas a seguir.

⁶ “Selo Procel é um instrumento promocional do Procel, concedido anualmente, desde 1994, aos equipamentos que apresentam os melhores índices de eficiência energética dentro da sua categoria. Sua finalidade é estimular a fabricação nacional de produtos mais eficientes no item economia de energia, e orientar o consumidor, no ato da compra, a adquirir equipamentos que apresentam melhores níveis de eficiência energética.” (PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, disponível em: <http://www.eletrabras.gov.br/procel/site/seloprocel/apresentacao.asp>, acesso em 26.mar.05).

4 TECNOLOGIAS PARA AUMENTO DE RENDIMENTO E RESPECTIVO IMPACTO NOS PREÇOS

O rendimento, relação da potência de saída pela de entrada, pode ser visto como na Equação 1.

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{elet}} = \frac{P_{mec}}{P_{mec} + P_{perdas}} \dots\dots\dots \text{Equação 1}$$

η	Rendimento	[1]
P_{mec}	Potência mecânica	[kW]
P_{elet}	Potência elétrica	[kW]
P_{perdas}	Perdas	[kW]

Aumentar o rendimento, portanto, significa diminuir as perdas. Em geral, as perdas podem ser reduzidas de 30 a 50% com otimização do projeto e uso de materiais de melhor qualidade. Num motor elétrico trifásico de indução, as perdas são usualmente divididas em perdas fixas, que não variam com a carga no eixo e variáveis, quando o fazem. As perdas fixas são:

- a. **Perdas no ferro (núcleos):** são as perdas devido à circulação do campo magnético – por histerese e correntes parasitas. Dependem da frequência da rede (60 Hz, no Brasil), da densidade do campo (quanto menos ferro, mais denso), da qualidade do aço (o aço silício é mais suscetível ao campo magnético), da espessura e isolamento das chapas. Representam de 15 a 25% do total de perdas, em operação nominal (ELETROBRÁS, 199-, p. 93). Segundo os fabricantes, são 3 tipos de aço usados: SAE 1006/1008, em chapas de 0,6 mm, que exigem tratamento para redução das perdas de 8 a 10 W/kg para 4 W/kg; o tipo “core”, também em 0,6 mm, com perdas de 2,5 a 4 W/kg; e as chapas de ferro-silício, com um único fornecedor nacional, de 0,5 a 0,23 mm, com perdas de 1,3 a 2,5 W/kg, que têm uma curva de saturação mais baixa e exigem maior volume. Além disso, são quase três vezes mais caras (e usadas em motores de alto rendimento).
- b. **Perdas mecânicas:** perdas por atrito, nos mancais, e ventilação. Contribuem com 5 a 15%. Desenvolvimento de ventiladores mais eficientes têm contribuído para redução destas perdas e ainda são objeto de mais pesquisa, segundo os fabricantes. O uso de mancais de baixo atrito e selos também podem reduzir estas perdas.

As perdas variáveis são:

- c. **Perdas no estator:** devidas ao efeito Joule⁷ pela circulação de corrente no enrolamento do estator, significam a maior parcela de perda em condição nominal: 25 a 40%. Dependem da bitola dos condutores e do comprimento das bobinas. Aumentar a bitola dos condutores, melhorar o desenho das ranhuras para comportar maior inserção de cobre, automatizar o processo de inserção têm sido técnicas usadas para reduzir estas perdas.
- d. **Perdas no rotor:** também chamadas de perdas por escorregamento, são largamente dependentes da diferença de velocidade de rotação entre o campo magnético e o rotor. As perdas no rotor podem contribuir de 15 a 25% das perdas totais no motor de indução. Dependem do material (em geral, alumínio para motores em baixa tensão), seção e comprimento das barras. Aumento da quantidade de alumínio utilizado contribui para diminuir estas perdas.
- e. **Perdas suplementares:** são devidas a várias imperfeições na distribuição dos fluxos magnéticos e de corrente, imperfeições no entreferro e irregularidades no fluxo magnético do entreferro. Podem ser reduzidas com um bom projeto do motor, com afastamento das cabeças de bobina do rotor, tratamento térmico do rotor, enrolamento do estator em dupla camada. Representam uma parcela menor nos motores de baixa tensão, 10 a 20%.

A fabricação de um motor de alto rendimento requer a consideração de todas ou a maioria destas perdas. Os fabricantes tipicamente começam aumentando o cobre no estator em 20% e aumentando o tamanho das barras condutoras do rotor. As perdas magnéticas (nos núcleos do estator e rotor) são reduzidas usualmente pelo uso de ferro contendo silício ao invés de aço carbono comum, pelo aumento do tamanho dos núcleos e por uma melhor isolamento interlaminar. Uma atenção especial a detalhes do projeto e fabricação reduz as perdas mecânicas e suplementares. Motores de alto rendimento tipicamente custam 10 a 25% mais do que os da linha padrão – atualmente, no Brasil, no entanto, como se pode ver na Tabela 3 – Aumentos de preço, na página 29, custam em média 40% a mais.

⁷ Efeito Joule é o aquecimento do condutor devido à passagem da corrente: é igual à resistência do condutor vezes o quadrado da corrente.

4.1 Nova Portaria

A Nova Portaria estabeleceu apenas uma tabela de rendimentos, adotando os valores do Decreto 4.508 para os motores de alto rendimento. A nova linha de motores padrão, portanto, passa a ter a eficiência dos antigos motores de alto rendimento. Foi estabelecido um prazo de 3 anos para adaptação à nova estrutura (a partir da publicação da portaria, o que ainda não aconteceu – a data de vigência, em princípio, seria janeiro de 2008).

4.1.1 Impacto no Mercado

Devido aos fortes impactos no processo de fabricação, o que se comentará adiante, não há evidência que haverá economia de escala com a fabricação exclusiva dos atuais motores de alto rendimento. Assim, em primeira aproximação, é de se esperar que os atuais preços sejam mantidos, o que representará um aumento médio de 40% sobre o preço dos motores. A Tabela 3 mostra os aumentos presumidos, como explicado em seguida.

Tabela 3 – Aumentos de preço

Potência nominal (cv)	Pólos			
	2	4	6	8
1	36%	33%	25%	38%
1,5	25%	36%	43%	43%
2	27%	35%	34%	38%
3	24%	41%	46%	28%
4	47%	43%	36%	21%
5	39%	45%	35%	46%
6	34%	29%	35%	22%
7,5	44%	31%	44%	23%
10	36%	38%	44%	45%
12,5	44%	44%	34%	27%
15	43%	51%	31%	28%
20	17%	28%	43%	42%
25	44%	47%	44%	34%
30	42%	30%	35%	43%
40	21%	24%	56%	37%
50	24%	24%	44%	44%
60	32%	34%	48%	43%
75	25%	37%	45%	43%
100	40%	38%	43%	44%
125	36%	34%	43%	3%
150	38%	44%	43%	4%
175	43%	43%	44%	
200	35%	42%	45%	

Potência nominal (cv)	Pólos			
	2	4	6	8
250	45%	44%		

Fonte: Elaboração própria.

Os preços foram obtidos das tabelas de preço Weg e Kohlbach atuais (março.2005), fornecidas pelos próprios fabricantes, conhecidas como “tabelas cheias”. De acordo com o mercado, é dado um desconto que varia de 33 a 50%. Consideramos, portanto, preços no valor de 65% da tabela cheia. Para os motores Eberle, foram considerados os preços do BDMotor, que ficaram na faixa dos outros dois obtidos. Foi feita uma média ponderada, supondo-se a seguinte distribuição de mercado: 80% para Weg, 10% para Kohlbach e 10% para Eberle.

O aumento de rendimento, considerada a mesma participação de mercado, obtida dos dados de motores padrão e alto rendimento no BDMotor para motores fabricados em 2003 está na Tabela 4.

Tabela 4 – Aumento no rendimento

Potência nominal (cv)	Pólos			
	2	4	6	8
1	5,2%	4,0%	7,9%	7,0%
1,5	5,2%	2,6%	3,2%	6,3%
2	3,1%	2,1%	7,3%	5,2%
3	4,3%	2,4%	5,8%	6,2%
4	3,7%	4,1%	6,3%	5,3%
5	2,4%	2,9%	4,1%	3,8%
6	3,5%	3,9%	4,1%	1,8%
7,5	2,4%	2,4%	4,1%	1,8%
10	2,2%	2,5%	2,7%	2,0%
12,5	2,2%	3,0%	1,8%	1,7%
15	2,8%	3,5%	1,0%	1,2%
20	3,0%	2,4%	0,9%	0,4%
25	2,6%	1,8%	1,7%	1,1%
30	1,2%	2,1%	1,6%	0,9%
40	2,8%	1,4%	1,5%	1,0%
50	1,3%	0,8%	1,4%	1,0%
60	1,3%	0,9%	2,0%	0,9%
75	0,6%	1,2%	0,8%	1,3%
100	0,6%	1,4%	1,2%	1,2%
125	1,5%	1,4%	1,2%	0,1%
150	1,2%	1,5%	0,9%	0,1%
175	1,1%	0,9%	0,9%	
200	0,9%	0,9%	0,9%	
250	1,2%	0,9%		

Fonte: Elaboração própria, com dados do BDMotor (CEPEL, 2003) para 2003.

Nota-se que os aumentos de preço são maiores para os motores grandes, onde há menor ganho de rendimento. Uma boa maneira de se analisar estas variações é através do cálculo da elasticidade preço-rendimento.

A elasticidade pode ser utilizada como uma medida que mostra o quão sensível é o custo do motor frente a uma variação no seu rendimento. Pode ser definida pela variação percentual no custo dividida pela variação percentual no rendimento. Uma das vantagens da utilização da medição em variações em termos percentuais é que mantém a definição de elasticidade livre de unidades monetárias ou físicas.

A elasticidade pode ser calculada através da Equação 2:

$$\varepsilon = \frac{\frac{\Delta C}{C}}{\frac{\Delta \eta}{\eta}} \dots\dots\dots \text{Equação 2}$$

ΔC	Variação de custo	[R\$]
C	Custo	[R\$]
$\Delta \eta$	Variação do rendimento	[%]
η	Rendimento	[%]

Neste estudo, a impossibilidade de utilizar o custo de produção do motor levou a substituição dessa variável pelo preço final de mercado. Neste caso, a elasticidade estaria expressando o impacto no preço final do motor em relação a um aumento percentual em seu rendimento. Não é correto atribuir-se somente à variação de rendimento as mudanças nos preços, já que estes podem refletir variações na oferta e na demanda, estratégias mercadológicas, outras variações de custo, inclusive impostos, etc. Os resultados encontrados são, portanto, uma aproximação dos valores reais, mesmo assim possuem grande valor, pois estimam os ganhos para a sociedade da implantação de programas de eficiência energética – Tabela 5.

Tabela 5 – Elasticidade preço-rendimento

Potência nominal (cv)	Pólos			
	2	4	6	8
1	6,95	8,16	3,17	5,39
1,5	4,92	13,43	13,34	6,87
2	8,44	16,52	4,64	7,22
3	5,47	16,85	7,96	4,46
5	12,86	10,59	5,64	4,02
7,5	16,33	15,45	8,51	12,13
10	9,87	7,37	8,45	11,69

Potência nominal (cv)	Pólos			
	2	4	6	8
15	18,37	13,10	10,90	12,89
20	16,44	15,34	16,31	22,88
25	19,75	14,77	18,44	16,27
30	15,05	14,45	31,63	24,11
40	5,52	11,92	45,03	115,01
50	16,98	25,37	25,87	30,46
60	33,62	14,72	21,93	45,17
75	7,70	17,01	38,19	38,22
100	18,34	28,31	30,85	44,96
125	23,78	36,99	24,21	46,73
150	39,93	31,37	57,70	33,74
200	65,43	28,07	36,42	37,08
250	23,61	24,27	35,00	24,80

Fonte: Elaboração própria.

Foi feita uma comparação com os dados de motores do mercado americano, disponíveis no software do Departamento de Energia dos EUA (Motor Master International, US DOE, 2004), para motores de mesmo tipo, com graus de eficiência diversos (motores NEMA 60 Hz, tipo totalmente fechado com ventilação externa, eficiências 1 e 2) – com os resultados da Tabela 6 (dados não disponíveis para motores de 8 pólos).

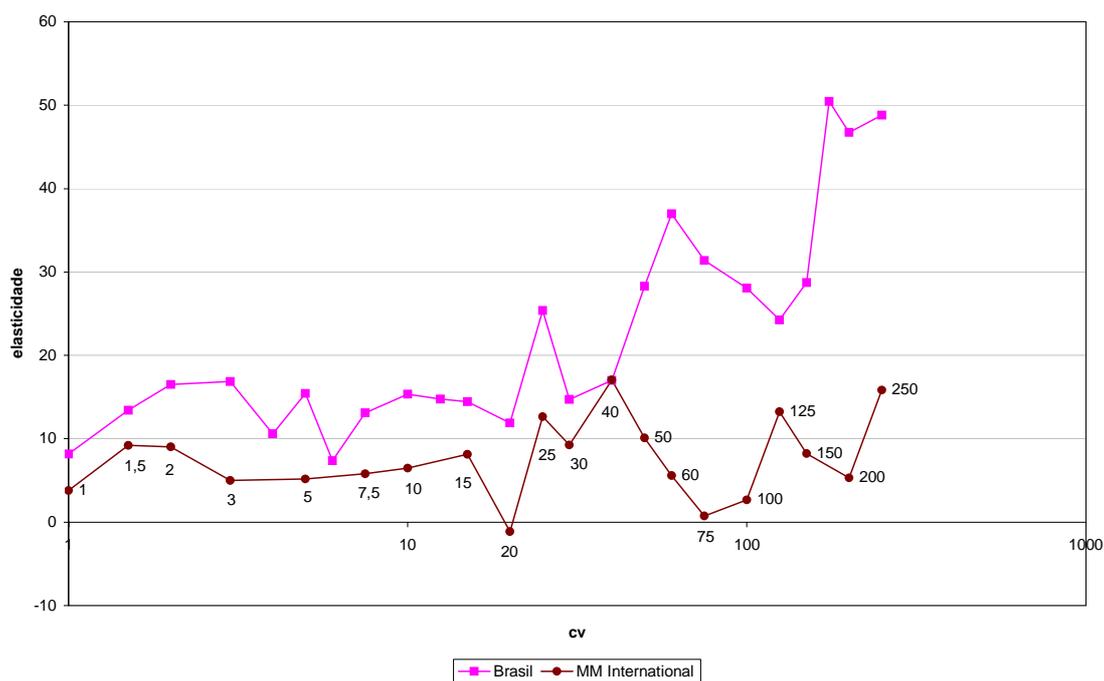
Tabela 6 – Elasticidade preço-rendimento motores MMInt

Potência nominal (hp)	Pólos		
	2	4	6
1	2,63	3,81	7,18
1,5	7,69	9,19	10,16
2	7,77	9,03	2,29
3	6,06	4,99	12,22
5	10,00	5,20	8,15
7,5	10,09	5,82	-3,04
10	7,46	6,47	8,79
15	10,08	8,16	7,96
20	8,43	-1,12	7,10
25	6,27	12,67	11,06
30	10,09	9,27	5,12
40	10,83	17,06	14,54
50	10,84	10,10	8,91
60	11,57	5,60	4,41
75	8,53	0,73	7,48
100	5,79	2,68	16,84
125	4,49	13,24	13,13
150	3,99	8,22	8,64
200	12,41	5,30	17,29

Potência nominal (hp)	Pólos		
	2	4	6
250	22,34	15,84	38,61

Fonte: Elaboração própria, baseado nos dados do Motor Master International. (US DOE, 2004).

As elasticidades são bem menores, o que seria de se esperar, tendo em vista as profundas modificações implantadas nos motores de alto rendimento, descritas no início da Seção 4. A Figura 6 visualiza as diferenças (para motores de 4 pólos, como exemplo) que são mais expressivas para os motores grandes.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 6 – Elasticidades preço-rendimento

Em geral, as elasticidades são menores, embora, em geral, correspondendo a menores variações de rendimento, como mostra a Figura 7.

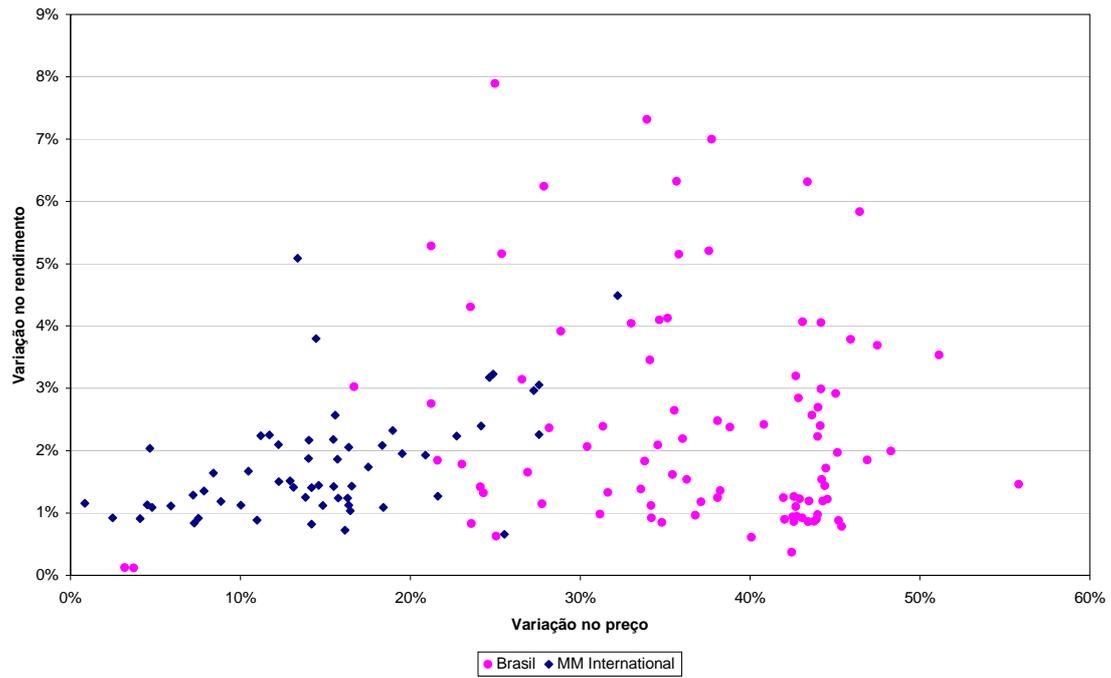


Figura 7 – Δ rendimento x Δ preço

5 COMPARAÇÃO COM ÍNDICES INTERNACIONAIS

Segundo a pesquisa feita pela APEC-ESIS (2003), as comparações entre os níveis estabelecidos nas diversas “economias⁸” têm três fatores complicadores: a frequência da rede (50 ou 60 Hz), os procedimentos de teste e a diferença entre índices estabelecidos para média ponderada ou requisitos mínimos de rendimento. Apesar disto, chama a atenção para a coincidência dos índices em boa proporção o que significa, apesar do estudo não conter aspectos econômicos da adoção de tal ou qual índice, que economias de escala devem ser obtidas a partir da adoção destes índices.

Pela frequência de alimentação, é de se esperar que os motores projetados para 50 Hz operem nesta frequência com rendimento bem próximo aos seus similares projetados para 60 Hz e assim funcionando. Motores pequenos em 50 Hz, menores que 7,5 cv, no entanto, devem ter rendimento pouco menor que seus congêneres em 60 Hz⁹.

Segundo os autores, há dois procedimentos básicos de teste de desempenho: os baseados na IEC 34-2 e os na IEEE 112 (incluídos na proposta de norma IEC 61972), onde se incluem os brasileiros. A diferença básica está na consideração das perdas suplementares: a IEC usa valores assumidos para estas perdas – 0,5% das perdas a plena carga, enquanto que o IEEE as mede (há outras normas, como a japonesa, que nem as consideram). Há normas da Austrália e Nova Zelândia que contemplam as duas situações, servindo, assim, de parâmetro para comparações.

As diferenças nos rendimentos estabelecidos podem ser significativas, especialmente em motores pequenos. Por exemplo, um motor entre 1 e 20 cv terá seu rendimento nominal cerca de 2% menor pelo método do IEEE do que pela IEC. A diferença cai a cerca de 0,5% acima de 125 cv. A União Européia está em processo de adoção da norma IEC 61972, o que deverá ocorrer brevemente, a qual dá aos fabricantes a opção de estabelecer o rendimento nominal por um método direto semelhante ao do IEEE 112 ou estimar a eficiência usando estimativas bem maiores (para motores pequenos) para as perdas suplementares.

⁸ Os autores preferem usar o termo “economia” e não países, por haver hoje mercados que englobam vários países e, por outro lado, outros que se limitam a partes de um país.

⁹ Os motores em 50 Hz são maiores porque têm mais ferro, o que implica em bobinas mais longas. Em pequenos motores, as perdas no enrolamento do estator são preponderantes, tornando-os menos eficientes.

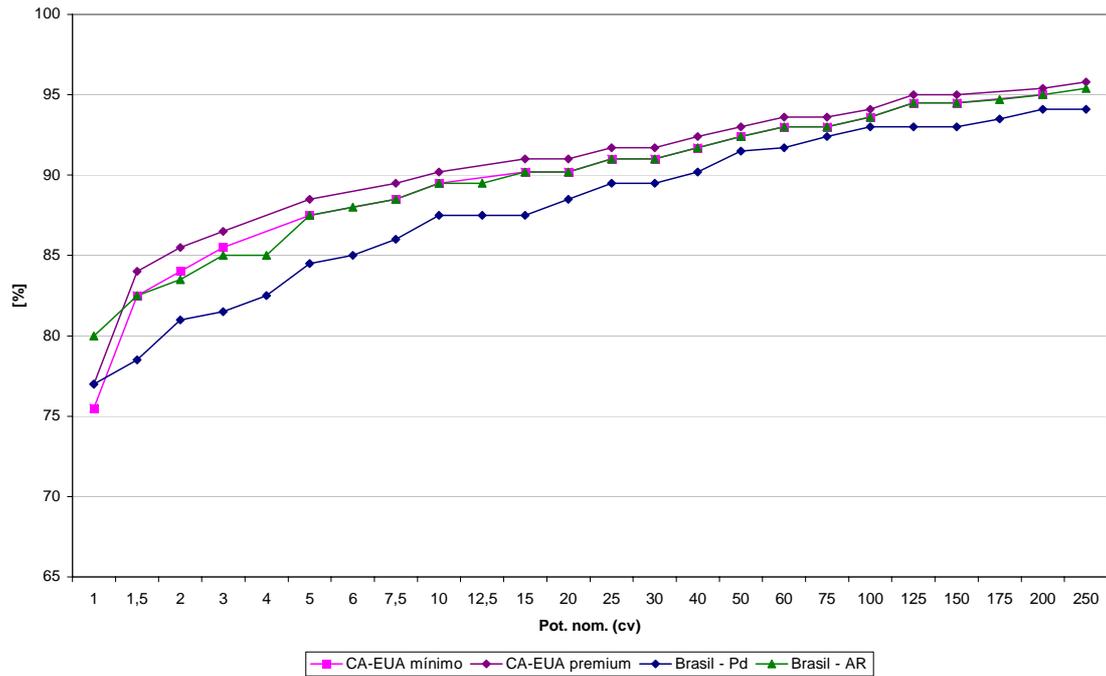
A terceira dificuldade reside na concepção do índice mínimo: se absoluto, todas as unidades devem estar acima dele; se médio, algumas unidades ficarão abaixo. Os índices mínimos neste último caso são, portanto, maiores. A NEMA¹⁰ estabelece, por exemplo, uma correspondência entre eficiência nominal (média) e mínima (NADEL et al., 2002, p. 52).

5.1 Canadá e Estados Unidos

Ambos os países têm um mesmo nível mínimo de eficiência nominal a plena carga para motores (separado para motores abertos e fechados – o Decreto 4.508 refere-se apenas a motores fechados), variando de 1 a 200 hp (e não cv), 2 a 6 pólos, aqui chamada de nível padrão. A NEMA estabeleceu uma classe “*premium*” com níveis nominais e mínimos de eficiência para motores fechados e abertos, de 2 a 6 pólos, que inclui potências até 500 cv. A classe *premium* é de adesão voluntária e não foi referendada pelo governo dos EUA. Comparamos, portanto, os níveis nominais para motores fechados com os índices da Nova Portaria.

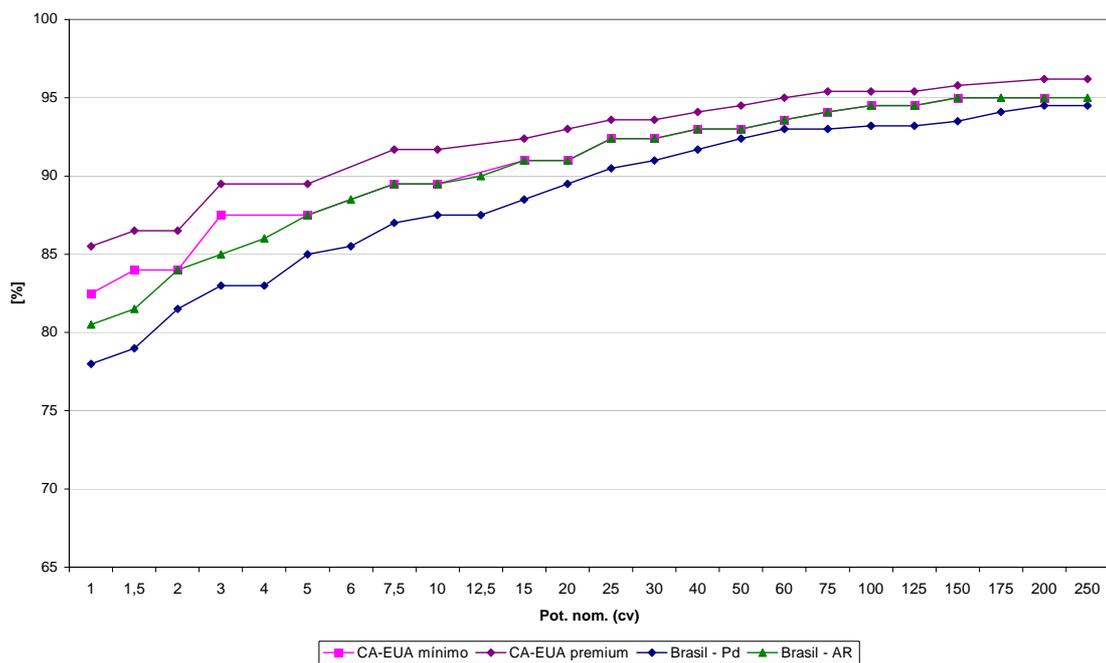
Os resultados estão nas Figura 8, Figura 9 e Figura 10, respectivamente para 2, 4 e 6 pólos. Os índices são basicamente os mesmos que os motores padrão, à exceção de motores pequenos, especialmente de 6 pólos. Nas figuras, embora sem significado físico, os pontos foram unidos por linhas para melhor visualização da comparação.

¹⁰ National Electrical Manufacturers Association, associação comercial americana, envolvida no desenvolvimento de normas.



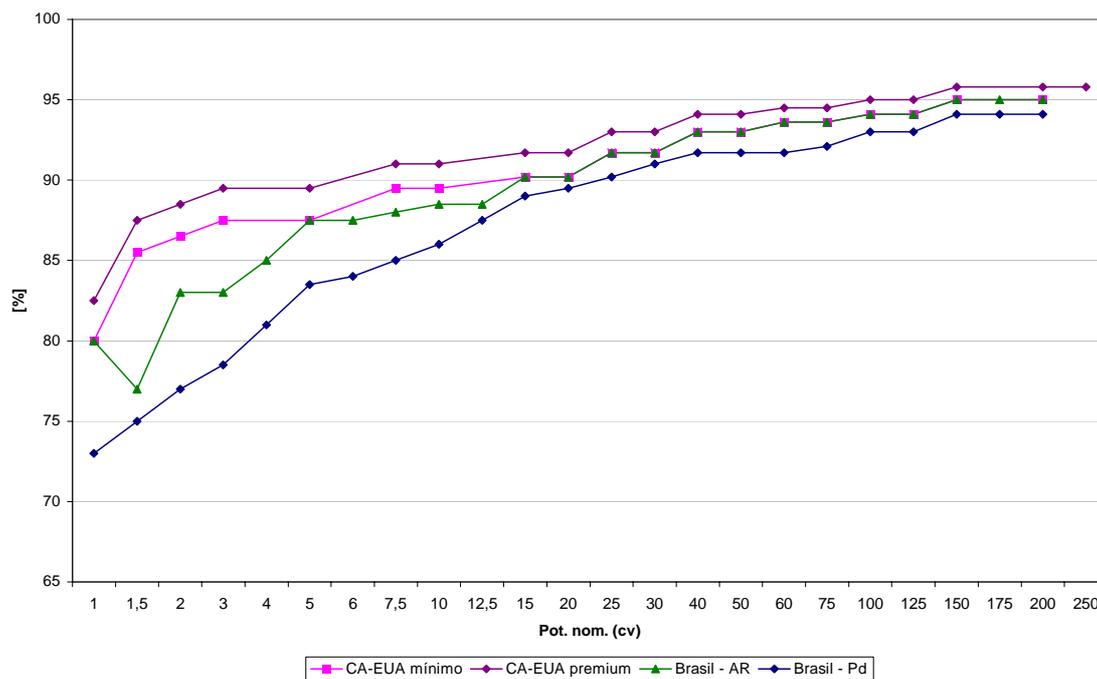
Fonte: Elaboração própria, baseado em APEC-ESIS (2003) e BRASIL (2002).

Figura 8 – Comparação com EUA/Canadá – 2 pólos



Fonte: Elaboração própria, baseado em APEC-ESIS (2003) e BRASIL (2002).

Figura 9 - Comparação com EUA/Canadá – 4 pólos



Fonte: Elaboração própria, baseado em APEC-ESIS (2003) e BRASIL (2002).

Figura 10 - Comparação com EUA/Canadá – 6 pólos

Além do rendimento nominal, os motores brasileiros têm uma curva com formato diferente dos norte-americanos, onde a parte “plana” da curva de rendimento x carregamento é mais acentuada e se inicia em 60%, sendo o rendimento máximo, muitas vezes, atingido a 75% da carga (ao contrário dos nacionais, que o fazem sempre a 100%). A Figura 11 mostra uma comparação entre as médias de rendimentos entre os motores disponíveis nos softwares Motor Master International (10 motores) e BD Motor (19 motores) para motores de 20 cv, 4 pólos¹¹. Este fato tem importância capital na consideração do rendimento operacional, que ocorre via de regra abaixo da situação nominal.

¹¹ Os fabricantes brasileiros não publicam estimativas de rendimento para 25% da carga.

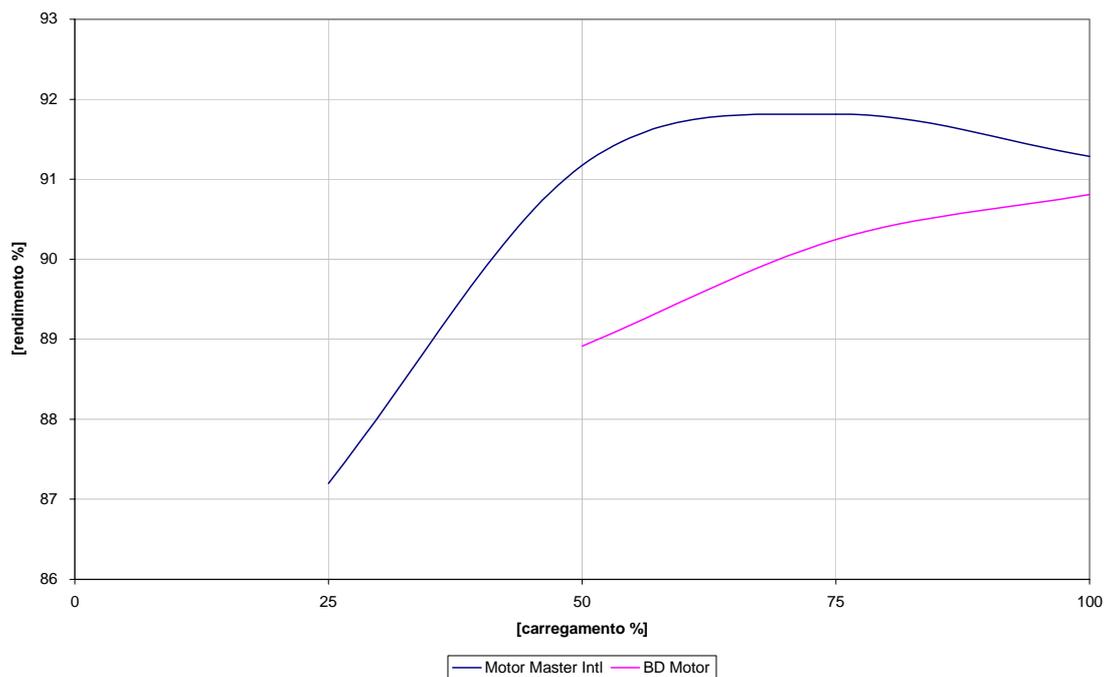


Figura 11 – Rendimento médio motores 20 cv, 4 pólos

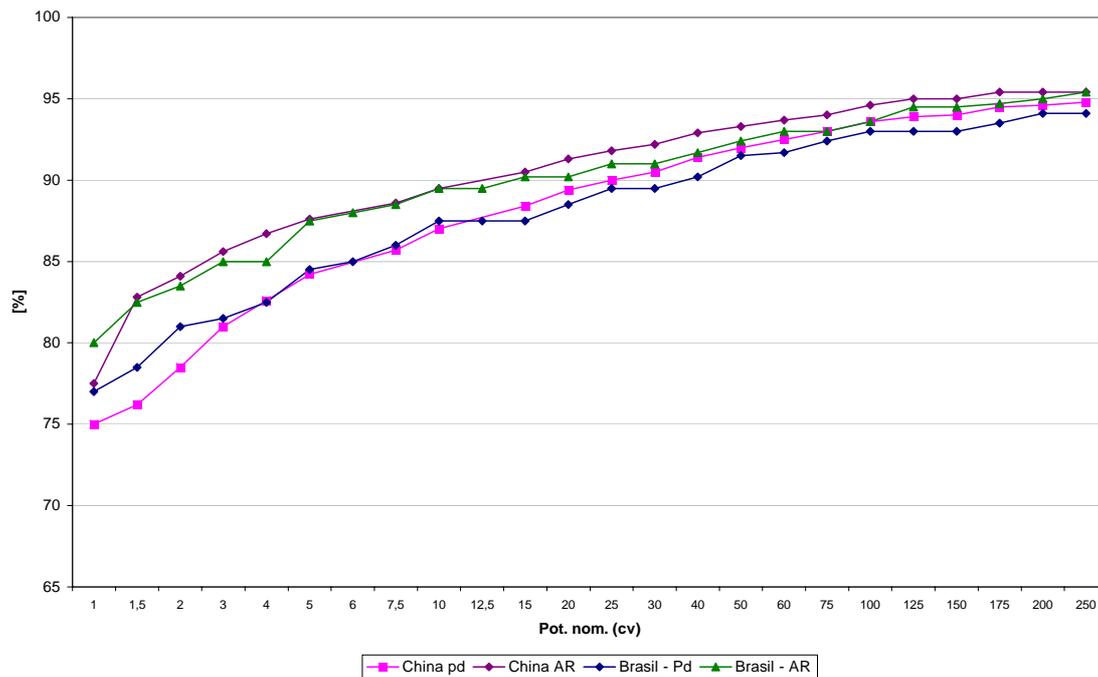
Fonte: Elaboração própria, a partir de DOE (2004) e CEPEL (2003).

A situação ideal, portanto, seria que a norma considerasse também os valores a 50% da carga.

5.2 China

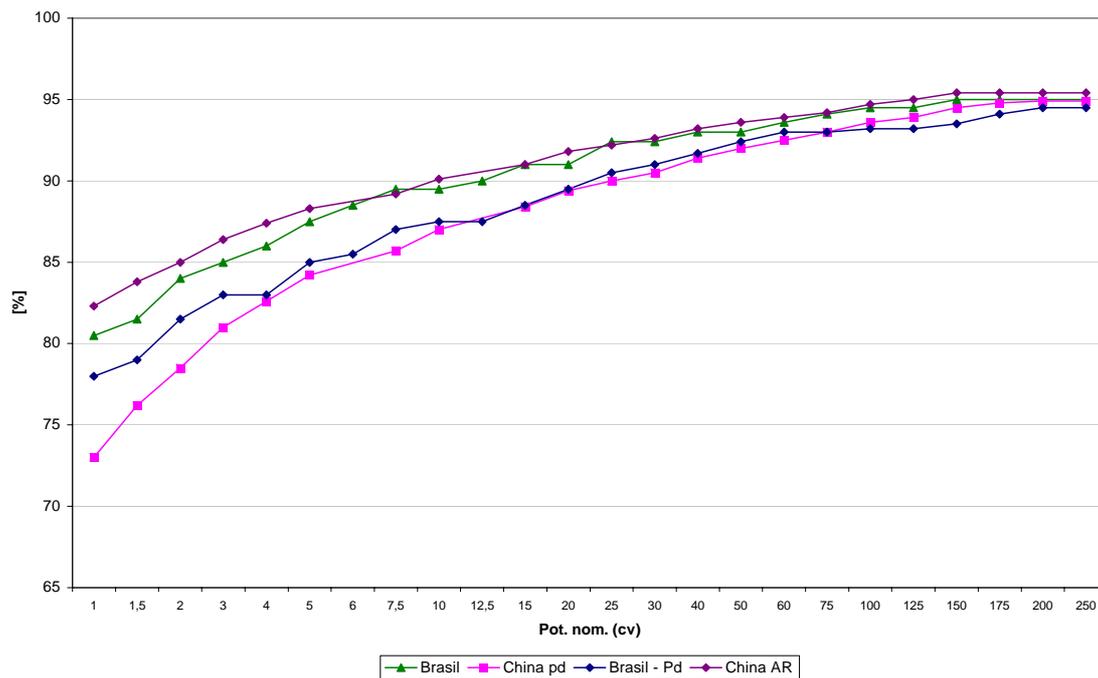
A China tem índices obrigatórios para motores padrão e voluntários para motores de alto rendimento, de 0,75 a 350 cv (0,55 a 315 kW), de 2 a 6 pólos. O método de ensaio é similar ao da IEC, entretanto a norma chinesa exige uma estimativa mais rigorosa para as perdas suplementares – de 2,5% para os menores motores até 1,3% para os motores acima de 250 cv.

Os índices da Nova Portaria são, em geral, um pouco inferiores aos motores de alto rendimento chineses, a menos que se leve em consideração o método de teste .



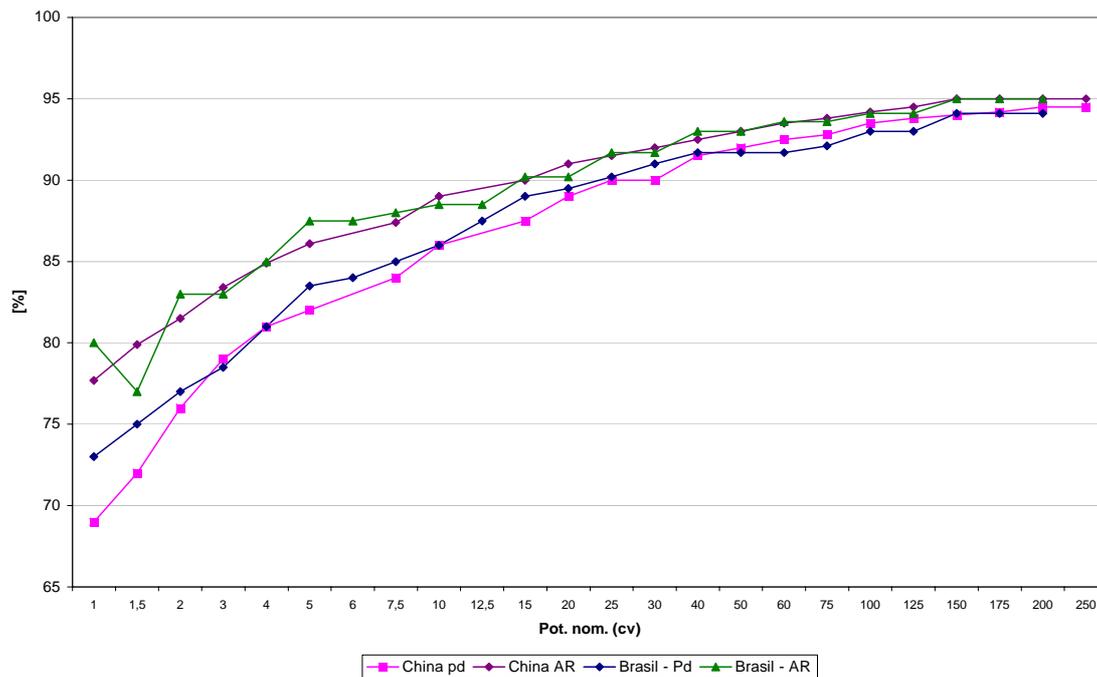
Fonte: Elaboração própria, baseado em APEC-ESIS (2003) e BRASIL (2002).

Figura 12 - Comparação com China – 2 pólos



Fonte: Elaboração própria, baseado em APEC-ESIS (2003) e BRASIL (2002).

Figura 13 - Comparação com China – 4 pólos

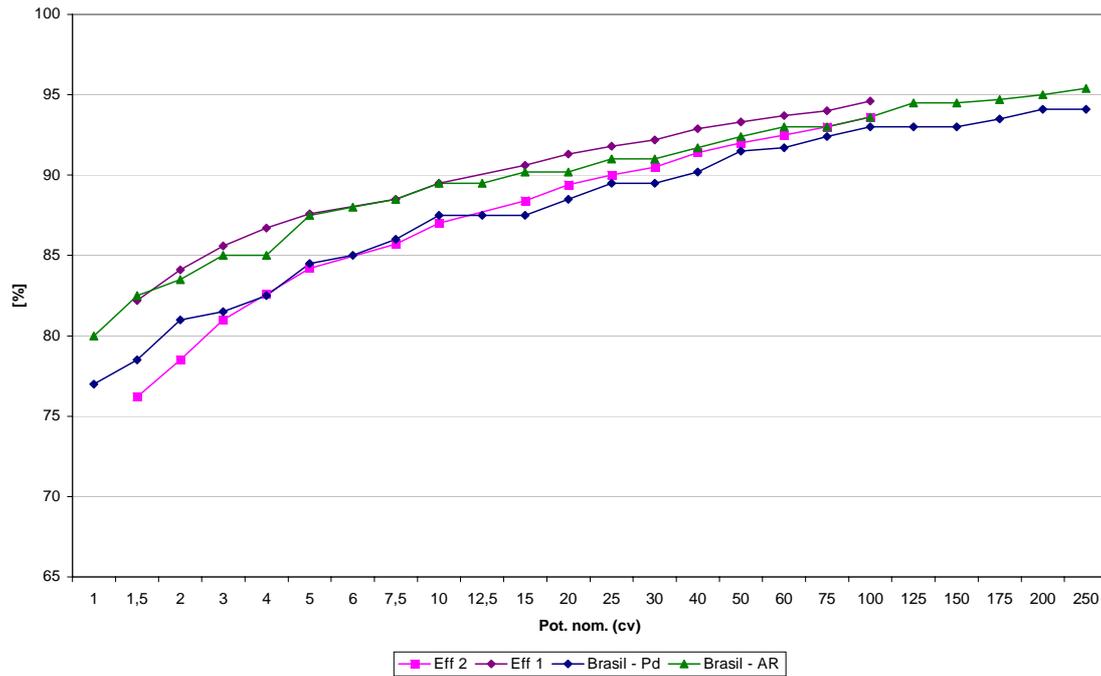


Fonte: Elaboração própria, baseado em APEC-ESIS (2003) e BRASIL (2002).

Figura 14 - Comparação com China – 6 pólos

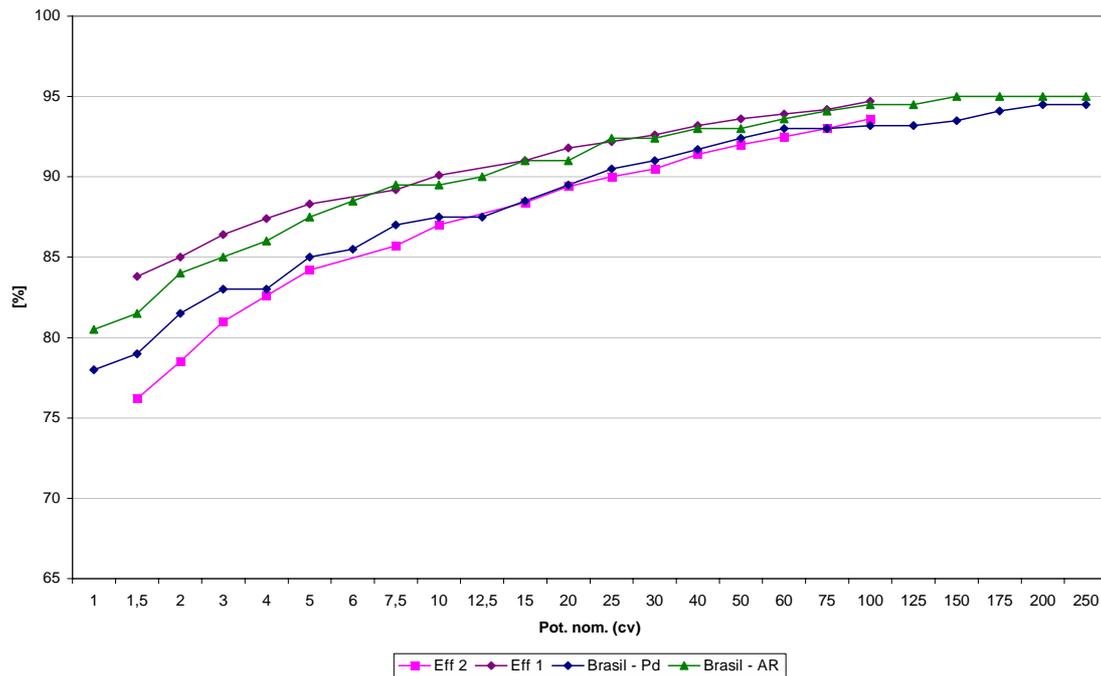
5.3 União Européia (e Índia)

A UE tem 3 classes de eficiência, de adesão voluntária, chamadas de “eff 1” (mais eficiente), “eff 2” e “eff 3”, para motores de 2 e 4 pólos, de 1,5 a 100 cv (1,1 a 75 kW). A tensão de alimentação é em 50 Hz e os motores são testados segundo a IEC. A Índia também segue este padrão. Se considerarmos a diferença de métodos de teste, os nossos índices são equivalentes aos **Eff 1**.



Fonte: Elaboração própria, baseado em APEC-ESIS (2003) e BRASIL (2002).

Figura 15 - Comparação com Europa – 2 pólos



Fonte: Elaboração própria, baseado em APEC-ESIS (2003) e BRASIL (2002).

Figura 16 - Comparação com Europa – 4 pólos

6 EXTENSÃO DOS ÍNDICES A 500 CV

Os rendimentos praticados nesta faixa de potência (300 a 500 cv) são acima de 94%, em algumas unidades acima de 95%. Os usuários são indústrias de médio e grande porte, que têm, em geral, uma estrutura de engenharia capaz de avaliar o impacto de um baixo rendimento em motores deste porte. Segundo os fabricantes, o mercado de motores de alto rendimento vem de grandes indústrias com melhor suporte de engenharia, mesmo que paguem uma tarifa de energia elétrica mais barata. Estas considerações levam a crer que o impacto da adoção de índices mínimos de eficiência energética para motores nesta faixa de potência teria um impacto reduzido.

A única ressalva deve ser feita se, com o controle no processo de importação de equipamentos que está sendo implementado pelo INMETRO, for detectada a ocorrência significativa de motores de tal porte.

Somente a Weg fabrica motores de alto rendimento nesta faixa de potência (a Kohlbach não os fabrica mesmo na linha padrão), porém não dispomos de sua tabela de preços acima de 250 cv. Os ganhos de energia para adoção dos índices de alto rendimento, para motores funcionando com carregamento nominal ($\gamma = 1$), estão na Tabela 7.

Tabela 7 – Ganhos de energia para motores > 250 cv e $\gamma = 1$

Potência nominal (cv)	Número de pólos			
	2	4	6	8
300	1,0%	0,5%	0,9%	1,4%
350	0,8%	0,9%	0,6%	0,6%
400		0,6%	0,8%	
450		0,7%	1,0%	
500		0,8%		

Fonte: Elaboração própria.

Para a meia carga ($\gamma = 0,5$, Tabela 8), alguns ganhos são menores e outros maiores – note-se que motores deste porte apresentam, em geral, altos carregamentos, além de funcionamento intenso.

Tabela 8 – Ganhos de energia para motores > 250 cv e $\gamma = 0,5$

Potência nominal (cv)	Número de pólos			
	2	4	6	8
300	1,1%	0,0%	1,1%	1,1%
350	0,8%	1,4%	1,1%	1,9%
400		0,6%	0,6%	
450		0,4%	0,6%	
500		0,1%		

Fonte: Elaboração própria.

7 PROCEDIMENTOS DE TESTE

7.1 Procedimento brasileiro de ensaio

A determinação do rendimento não é uma avaliação simples para motores elétricos. Um motor elétrico é um sistema dinâmico, rotativo, geralmente sob carga. Os ensaios devem ser feitos após a estabilização da temperatura do motor, o que demanda tempo e cuidado. Mesmo assim, as leituras das tensão, corrente, potência e velocidade de rotação não ficam totalmente estáveis.

A determinação do rendimento nos ensaios brasileiros é feita segundo a norma brasileira NBR 5383/1:1999 (ABNT, 1999), pelo método 2: ensaio dinamométrico com medição indireta das perdas suplementares e medição direta das perdas no estator (I^2R), no rotor (I^2R), no núcleo e por atrito e ventilação (ABNT, 1999, p. 35).

Este método é semelhante ao método descrito na IEEE – 112:1991 – método B, com a diferença da temperatura do enrolamento ser avaliada não por termopares embutidos, mas por medição da resistência do enrolamento (variação do método 2, item 15.4.2 da NBR-5383) – a temperatura do enrolamento é utilizada para correção das resistências no cálculo das perdas I^2R .

O rendimento é determinado através da Equação 3.

$$\eta = \frac{P_{entrada} - P_{perdas}}{P_{entrada}} \dots\dots\dots \text{Equação 3}$$

No ensaio, são medidas as potências de entrada e saída, determinando-se a *perda aparente*, resultado da subtração das duas. A perda suplementar é então calculada subtraindo-se da perda aparente as demais perdas, obtidas por medição direta: perdas I^2R do estator e rotor, perda no núcleo e perda por atrito e ventilação. A perda suplementar é então corrigida, ajustando-se, por regressão linear, as perdas obtidas nos diversos ensaios em carga de 25, 50, 75, 100, 125 e 150% da carga nominal contra o quadrado do conjugado em cada situação (o fator de correlação deve ser maior que 0,9, podendo um ponto ser desprezado). O objetivo deste procedimento é aumentar a exatidão, supondo-se que o verdadeiro valor das perdas suplementares deve ser mais próximo do valor calculado por esta análise que o obtido pela diferença obtida nos testes. O valor obtido na regressão para 100% de carga é o adotado como perda suplementar e utilizado no cálculo do rendimento.

O ensaio é feito na seguinte ordem: ensaio de elevação de temperatura com carga nominal para estabelecer a temperatura para a qual as perdas do estator e rotor irão ser corrigidas; ensaio em carga em 4 pontos, aproximadamente em 25%, 50%, 75% e carga nominal e 2 pontos em sobrecarga não acima de 150% (geralmente usam-se 125% e 150%); ensaio a vazio (ABNT, 1999, p. 36).

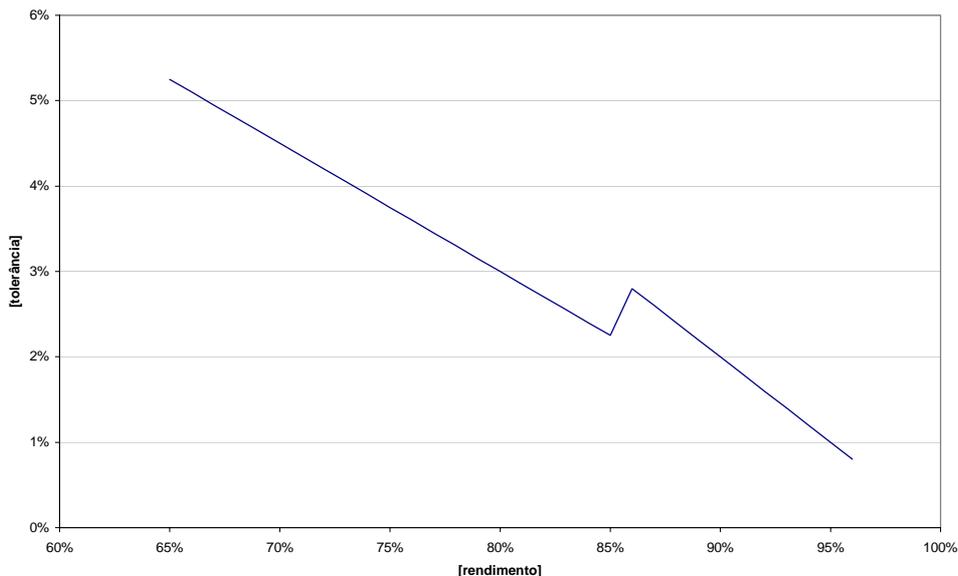
7.1.1 Confirmação sistemática do rendimento

Segundo Reinaldo Shindo, responsável do Cepel pelos testes dos motores¹², os procedimentos de confirmação do rendimento declarado seguem a sistematização do PBE para motores, funcionando desde 1993. No primeiro semestre da vigência do plano de metas, revisados a cada quatro anos, são enviados para teste motores representando 25% das potências disponíveis para 2 pólos, 50% para 4 pólos, 15% para 6 pólos e 10% para 8 pólos (um motor para cada potência). Nos semestres seguintes, estes números mudam para 15% para 2 pólos, 25% para 4 pólos, 1 unidade para 6 e uma para 8 pólos. Os rendimentos são então medidos e os resultados são aceitos se ficarem dentro da tolerância estabelecida na NBR 7094:

Faixa	Tolerância
$\eta < 0,851$	0,15 (1 - η)
$\eta \geq 0,851$	0,2 (1 - η)

Estes valores podem ser visualizados na Figura 17.

¹² Informação verbal, em reunião no dia 11.mar.2005.



Fonte: Elaboração própria, a partir de NBR-7094.

Figura 17 – Tolerâncias para o rendimento – NBR 7094

Caso um determinado motor não apresente o valor mínimo de rendimento requerido, são requisitadas mais duas unidades daquela potência para testes e o novo resultado final será a média das três unidades ensaiadas.

Para melhorar a qualidade dos motores, o Cepel calcula ainda o IAR: índice de afastamento do resultado, segundo a Equação 4:

$$IAR = \frac{\eta_{dec} - \eta_{ensaio}}{tol} \% \dots\dots\dots \text{Equação 4}$$

O IAR, portanto, varia de -100 a +100%, quando o rendimento está no menor valor admissível. Os fabricantes têm se empenhado em reduzir o IAR.

Segundo a Weg, que exporta para vários países, a quantidade de motores ensaiada fora do Brasil é bem menor que a nossa. Quando os testes para aprovação internacional são feitos na fábrica, a maior preocupação dos certificadores é a aceitação do laboratório da fábrica, onde são feitos os ensaios com presença de inspetores, e não a quantidade de motores testada.

8 IMPACTOS FINANCEIROS

O problema para estimar-se o consumo de energia elétrica usada por motores é que não depende só das unidades em funcionamento, mas do uso que delas se faz – **como** operam (com que carregamento, o que, além da potência demandada, muda também o rendimento) e **quanto** operam (horas/ano). Por isso, alguma estimativa da distribuição destas variáveis tem que ser feita.

8.1 Amostra considerada

Considerou-se a amostra de motores disponível em Garcia (2003) de 2.119 motores em 18 fábricas. Os dados foram obtidos quando da realização de diagnóstico energético para análise da viabilidade da aplicação de motores de alto rendimento – foram feitas medidas pontuais de corrente ou potência dos motores. Para cada motor, têm-se os seguintes dados:

Fábrica	Referência à fábrica onde está instalado o motor, segundo a Tabela 9
pólos	Número de pólos do motor
cv	Potência nominal do motor
Ipu	Corrente medida, em relação à nominal do motor- ou
kW	Potência elétrica medida
h/a	Número de horas estimadas de operação por ano do motor

O carregamento de cada motor será estimado pelos valores de corrente ou potência medidos, conforme a metodologia descrita no Apêndice A.

As fábricas têm as seguintes características:

Tabela 9 – Características das fábricas

Fábrica	Setor*	Estado	Nº motores	Potência média [cv]	Consumo anual [GWh]
A	Ferro gusa e aço	RJ	270	84	108
B	Papel e celulose	BA	132	30	17
C	Alimentos e bebidas	RJ	339	6	6
D	Química	SP	25	26	2
E	Papel e celulose	PR	292	28	27
F	Química	PR	91	36	9
G	Têxtil	RJ	17	31	2
H	Têxtil	SP	98	7	2
I	Outros	SP	99	31	6
J	Outros	SP	55	11	2
K	Têxtil	SP	21	13	1
L	Têxtil	SP	89	32	9
M	Ferro ligas	SP	73	58	14
N	Têxtil	SP	335	13	14
O	Outros	SP	67	80	24

Fábrica	Setor*	Estado	Nº motores	Potência média [cv]	Consumo anual [GWh]
P	Outros	SP	13	14	0
Q	Outros	SP	53	30	5
R	Outros	SP	50	29	6
Total			2.119	31	254

Conforme classificação do BEN (MME, 2002).

Fonte: GARCIA (2003, p. 78-79).

8.2 Grupos de motores

Para fins de estudo, os motores foram agrupados segundo a Tabela 10, seguindo o critério adotado pela ABINEE, que disponibilizou o número de motores vendidos nos últimos anos no Brasil.

Tabela 10 – Venda de motores elétricos trifásicos no Brasil

Em milhares	Até 1 cv	Acima de 1 cv até 10 cv	Acima de 10 cv até 40 cv	Acima de 40 cv até 100 cv	Acima de 100 cv até 300 cv	Acima de 300 cv	Total
Ano							
1991	256	465	55	9	3	0,2	789
1992	228	422	58	11	4	0,2	722
1993	236	446	59	11	4	0,3	757
1994	328	538	78	15	5	0,4	964
1995	443	717	99	19	7	1	1.286
1996	357	601	88	18	7	1	1.071
1997	396	712	113	23	10	1	1.255
1998	336	705	133	26	11	1	1.211
1999	355	676	115	22	9	1	1.178
2000	450	770	132	26	10	1	1.390
2001	433	761	133	28	11	1	1.368
2002	403	758	137	28	12	1	1.340
Total	4.222	7.570	1.200	236	94	9	13.330
	32%	57%	9%	1,8%	0,7%	0,1%	100%

Fonte: ABINEE (2003).

Comparativamente, Nadel et al. (2003, p. 195 apud U. S. Census Bureau, 1989, 1998b) citam os motores vendidos nos EUA.

Tabela 11 – Vendas no mercado americano

Em milhares	Até 5 cv	Acima de 5 cv até 20 cv	Acima de 20 cv até 50 cv	Acima de 50 cv até 100 cv	Acima de 100 cv até 200 cv	Acima de 200 cv até 500 cv	Acima de 500 cv	Total
1989	987	493	146	59	38	8,6	2,6	1.733
1997	1.232	516	175	64	36	18,4	6,1	2.047
	59%	27%	8%	3%	1,9%	0,7%	0,2%	100%

Fonte: Nadel et al. (2003).

A distribuição é bem próxima da brasileira, com quase 90% de motores pequenos, cerca de 10% numa faixa intermediária e o restante de motores grandes (a americana é ligeiramente mais enviesada para motores maiores).

8.3 Situação atual

Aplicando-se a metodologia descrita no Apêndice A e utilizando-se os dados dos motores Weg¹³ de 1997, disponíveis no BDMotor (2003), chega-se à Tabela 12.

Tabela 12 – Situação atual - amostra

	Motores	[cv nom.]	[h/ano]	[kW]	[MWh /ano]	[cv oper.]	[carreg.]	[rend.]
Até 1 cv	204	1,0	5.144	0,7	4,0	0,68	0,68	0,67
Acima de 1 cv até 10 cv	812	5,4	5.257	2,7	14,5	3,0	0,55	0,80
Acima de 10 cv até 40 cv	564	23,8	5.980	12,1	72,5	14,5	0,61	0,88
Acima de 40 cv até 100 cv	427	69,0	7.145	39,2	280,1	48,4	0,70	0,91
Acima de 100 cv até 300 cv	112	165,2	7.478	97,7	730,3	121,6	0,74	0,92
Total	2.119	31	5.936	17,4	120,3	21,2	0,68	0,90

Fonte: Garcia (2003).

Na Tabela 12 as colunas significam:

Motores	Número de unidades em cada grupo
cv nom.	Potência média nominal em cv
h/ano	Horas/ano média de operação
kW	Potência média demandada por motor
MWh/a	Energia média anual
cv oper.	Potência mecânica média
carreg.	Carregamento médio
rend.	Rendimento médio

O carregamento médio é baixo, já que a faixa ótima de operação está entre 75 e 100% da potência nominal (GARCIA, 2003, p. 53). A média dos carregamentos ficou em 0,61, com a distribuição mostrada na Figura 18. Um terço dos motores está sobredimensionado, com carregamento abaixo de 50%; outro terço possivelmente também operando a baixa carga, entre 50 e 75%, e apenas um terço parece estar corretamente dimensionado.

¹³ Fabricante que domina 75% do mercado, com presença ainda maior na indústria (GARCIA, 2003, p. 13-14).

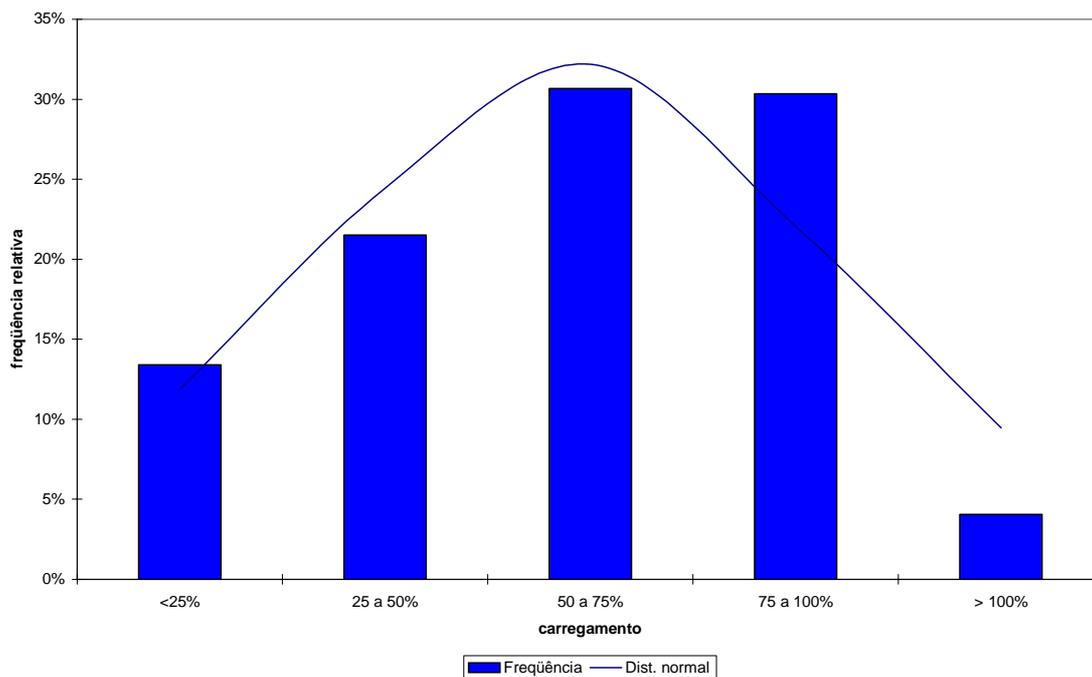


Figura 18 – Distribuição dos carregamentos

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 19 mostra a distribuição dos rendimentos. Um terço, com rendimento abaixo de 80%, tem seguramente boa oportunidade de uso mais eficiente.

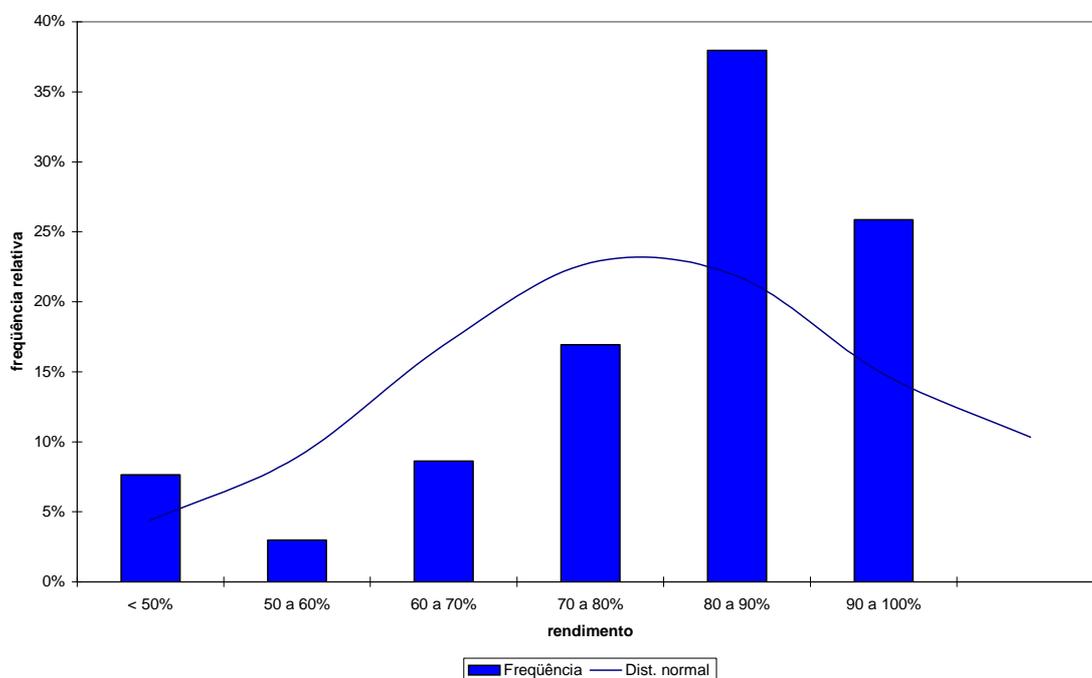


Figura 19 – Distribuição dos rendimentos

Fonte: Elaboração própria.

Se se aplicarem os resultados da Tabela 12 às unidades vendidas da Tabela 10¹⁴, a energia consumida será muito maior do que a presumida para motores trifásicos no Brasil¹⁵, como mostra a Tabela 13.

Tabela 13 – Energia usada por motores no Brasil

	Amostra		População	
	Motores	MWh/a	Motores	TWh/ano
Até 1 cv	204	4,0	4.221.566	17,0
Acima de 1 cv até 10 cv	812	14,5	7.569.770	109,9
Acima de 10 cv até 40 cv	564	72,5	1.199.655	86,9
Acima de 40 cv até 100 cv	427	280,1	236.128	66,1
Acima de 100 cv até 300 cv	112	730,3	93.674	68,4
Sub-total	2.119	120,3	13.320.793	348,4
Acima de 300 cv	0	1.112,9	8.760	9,7
Total	2.119	120,27	13.329.553	358,1

Fonte: Elaboração própria.

Isto pode ser atribuído aos seguintes fatos:

- Os dados podem incluir motores incorporados em equipamentos vendidos ao exterior.
- Motores utilizados na indústria são maiores que a média do país e têm uso mais intensivo, tanto em carregamento quanto em horas de operação.
- As estimativas de horas de funcionamento foram feitas, em algumas situações, para um diagnóstico preliminar de substituição por motores de alto rendimento, e devem estar superestimadas. Assim, em algumas situações, só foram considerados os motores maiores e de maior chance de substituição.
- Motores pequenos devem ter uma vida útil média menor que 12 anos, por já ser usual, em algumas indústrias, a prática de não se rebobinar unidades pequenas.
- Indústrias que requerem alta confiabilidade costumam usar dois equipamentos, um operando em *stand-by*, para a mesma função.
- O índice de 32% da eletricidade para motores trifásicos de indução (MME, 2001, p. 23) pode estar subestimado, como se comenta no item 8.4.

¹⁴ Assumindo-se uma vida útil média de 12 anos para os motores.

¹⁵ Estima-se que este equipamento pode chegar a consumir 32% da energia elétrica do país (MME, 2001, p. 23). Aplicando-se à energia elétrica consumida em 2002 (MME, 2003) chega-se a 111 TWh/ano.

8.4 Comparações com outras amostras disponíveis

Nadel et al. (2003), utilizando os dados de venda para 1989 da Tabela 11 e estimando outros dados através de outros estudos, compuseram o perfil de uso de eletricidade por motores elétricos trifásicos de indução nos EUA como na Tabela 14 (base 1997).

Tabela 14 – Perfil de uso da eletricidade por motores americanos

	Até 5 cv	Acima de 5 cv até 20 cv	Acima de 20 cv até 50 cv	Acima de 50 cv até 100 cv	Acima de 100 cv até 200 cv	Acima de 200 cv até 500 cv	Acima de 500 cv	Total
Estoque	16.774	9.367	3.208	1.646	1.059	251	76	32.381
	52%	29%	10%	5,1%	3,3%	0,8%	0,2%	100%
cv médio	2,1	11,9	32,5	65,0	135,0	300,0	1.200,0	20,6
carregamento	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
rendimento	80,2%	86,8%	90,3%	92,5%	94,3%	95,0%	96,0%	95,4%
h/a	2.745	3.391	4.067	5.329	5.200	6.132	7.311	
TWh/a	44	162	175	230	294	181	259	1.346
	3%	12%	13%	17%	22%	13%	19%	100%

Fonte: Nadel et al. (2003, p. 197).

Esta energia, somada à processada por motores monofásicos, síncronos e de corrente contínua, representa 59% do consumo final nos EUA. É de se notar, comparativamente à Tabela 10, que o consumo americano é, em ordem de grandeza, dez vezes superior ao brasileiro (se considerarmos 32% da eletricidade consumida por motores trifásicos, teríamos, para 2003, 109 TWh) para um estoque apenas três vezes maior (e para um volume de vendas nem duas vezes superior – ver as Tabela 10 e Tabela 11). É possível, talvez, que os dados de venda brasileiros incluam os motores montados em equipamentos que são depois exportados.

APEC-ESIS (2003, p. 26) cita um estudo do Professor Walters, baseado em outro estudo para a União Européia por Almeida e Fonseca, que considera as seguintes horas de funcionamento por potência (presumindo um carregamento de 75% em todos os casos).

Tabela 15 – Horas/ano de funcionamento (APEC-ESIS, 2003)

Potência nominal	Horas/ano
1 a 10 cv	1820
Acima de 10 a 100 cv	2830
Acima de 100	3080

Como se vê, há falta de uma boa base de dados, mesmo em nível internacional. Nadel et al. (2003, p. 193) comentam que “consideravelmente (...) menos se sabe acerca

do estoque, desempenho, e uso dos motores que sobre qualquer outra maior categoria de equipamentos de uso de energia”.

8.5 Ponto de vista do usuário

Assim, considerando os motores fabricados em 2003, e supondo que os novos motores tenham as características dos de alto rendimento fabricados naquele ano, é possível fazer-se uma previsão do impacto dos novos índices, inclusive econômico, da Nova Portaria.

Cada usuário verá a economia obtida e o investimento necessário (preço a maior dos novos motores) de acordo com sua própria distribuição de motores utilizados e uso que deles faz. Procura-se aqui, além de analisar o uso motor-por-motor, avaliar a expectativa de um “usuário médio”, segundo os setores considerados.

Como no item 4.1, supôs-se a troca, ao fim da vida útil, de um motor padrão 2003 por outro de alto rendimento, ponderando-se os resultados pela participação no mercado mencionada na Tabela 17 (página 58).

A dificuldade em estimar-se o ganho em motores é que é dependente do funcionamento – carregamento e horas/ano de operação. Neste item, procurou-se analisar motor por motor, independentemente da quantidade em funcionamento de cada um e de como são usados no campo – analisamos, portanto, todos os motores da Tabela 2 – Rendimentos pela Lei da Eficiência Energética (92 unidades), de 3 fabricantes – Weg, Kohlbach e Eberle, supondo carregamentos nominal e à meia carga ($\gamma = 1$ e $\gamma = 0,5$) e 8.000 e 4.000 horas/ano de funcionamento. Pretende-se que estas situações indiquem, de certa forma, limites de regime de funcionamento, que, na verdade, se distribuem segundo a descrição feita no item 8.3.

Para cada caso, foram calculados os rendimentos operacionais dos motores antigo e novo, as potências demandadas, os ganhos de potência, energia e financeiro, e calculada a relação custo-benefício do investimento, através da Equação 5.

$$RCB = \frac{Pr_{AR} - Pr_{Pd}}{P_{nom} \cdot \gamma \cdot 0,736 \cdot \left(\frac{1}{\eta_{Pd}} - \frac{1}{\eta_{AR}} \right) \cdot h \cdot \frac{C_{ee}}{1000} \cdot \frac{(1+td)^{vu} - 1}{td \cdot (1+td)^{vu}}} \dots\dots\dots \text{Equação 5}$$

RCB	Relação custo-benefício	[1]
Pr_{Pd}	Preço do motor padrão	[R\$]
Pr_{AR}	Preço do motor de alto rendimento	[R\$]

P_{nom}	Potência nominal	[cv]
γ	Carregamento	[1]
$0,736$	Conversão cv – kW	[kW/cv]
η_{Pd}	Rendimento do motor padrão para o carregamento considerado	[1]
η_{AR}	Rendimento do motor AR para o carregamento considerado	[1]
h	Horas de funcionamento por ano	[h]
C_{ee}	Custo da energia elétrica	[R\$/MWh]
td	Taxa de desconto	[%]
vu	Vida útil	[anos]

Algumas premissas foram necessárias:

- **Preços:** trabalhamos com as tabelas de preço Weg e Kohlbach atuais (março.2005), fornecidas pelos próprios fabricantes, conhecidas como “tabelas cheias”. De acordo com o mercado, é dado um desconto que varia de 33 a 50%. Consideramos, portanto, preços no valor de 65% da tabela cheia. Para os motores Eberle, foram considerados os preços do BDMotor, que ficaram na faixa dos outros dois obtidos.
- **Vida útil:** suposta função da potência do motor, como o fazem De Almeida e Fonseca (1996, apud APEC-ESIS, 2003, p. 26): - 12, 15 e 20 anos para motores até 10, 100 e acima de 100 cv respectivamente. Muitas indústrias estão adotando a prática de não rebobinar motores pequenos, o que reduz ainda mais a sua vida útil.
- **Rendimento:** o rendimento operacional para cada valor de carregamento foi estimado segundo a metodologia descrita no Apêndice A.
- **Taxa de desconto:** variável de difícil estimação, depende do maior ou menor valor que se dá à disponibilidade do dinheiro no presente. Os próprios fabricantes admitem que o mercado trabalha com uma expectativa de retorno simples variando entre 1,5 e 3 anos. Consideramos 4 cenários, como na Tabela 16.

Tabela 16 – Cenários para cálculo da economia

Cenário	1	2	3	4
Consumidor	Industrial	Industrial	Comercial	Residencial
Capital	Finame	Próprio	Próprio	Próprio
Taxa de desconto	17%	24%	33%	46%
R\$/MWh	126,10	126,10	229,17	321,01

Fonte: Elaboração própria.

Neste passo, fazem-se necessárias algumas considerações sobre esta importante variável.

Os mecanismos de tomada de decisão das empresas brasileiras e que envolvem rentabilidade financeira são mais complexos do que aparentam. A implementação de projetos energéticos e específicos de eficiência energética, principalmente os que primam pela troca de equipamentos, conectam-se aos aspectos de natureza técnica, econômico-financeira ou estratégica da empresa. Estes aspectos são importantes pois delineiam o futuro da empresa. O passado é um indicador que permite identificar tendências, mas a decisão de investimento deve se basear principalmente nas expectativas de resultados futuros.

No Brasil, analisar a rentabilidade futura de um projeto através de apenas um indicador financeiro e isolado pode induzir ao erro. Não existem números únicos, a maioria dos indicadores financeiros apenas fornecem boas informações se forem bem analisados e comparados com outras alternativas de investimento semelhantes. Para avaliar o retorno esperado de uma ação é necessário sua comparação com outras ações de seu setor, ou com a média de mercado, ou com outros ativos que tenham nível de risco semelhante. Neste trabalho, no qual em um dos pontos abordados procura-se avaliar o ponto de vista do usuário de motores frente ao mercado de motores com diversos rendimentos, a taxa de desconto contribui imensamente para os resultados encontrados na análise de decisão de investimento do consumidor.

Para se determinar o tempo de retorno de um investimento em motores o analista estima qual o atual valor econômico do equipamento e seu fluxo de caixa esperado, para a vida útil do equipamento. Este fluxo de caixa – neste caso quanto o motor de maior rendimento deve gerar de economia no futuro – é avaliado por um número significativo de anos. Este tipo de estudo exige que o analista tenha na mão uma série de outros parâmetros além dos utilizados nos cálculos da matemática financeira. Para citar os principais, é preciso que o analista conheça ou consiga estimar: vendas, preços, participação no mercado, atuação da concorrência, comportamento dos custos, necessidades de capital de giro, investimentos em ativo fixo, nível de crescimento. Estes e outros fatores vão permitir chegar ao fluxo de caixa da empresa, o que se espera gerar com o investimento em determinado período. A partir daí é preciso trazer estes valores, que estão distribuídos ao longo de anos, a valor presente.

Algumas empresas utilizam o *pay-back* simples para cálculo do tempo de retorno do investimento, ou seja, não trazem o fluxo de caixa a valor presente a partir de uma taxa de desconto. Acredita-se que a utilização do *pay-back* simples pode trazer resultados inconsistentes.

A taxa de desconto é um referencial especial da taxa de juros. É necessário definir uma taxa de juros que possa representar corretamente o valor do dinheiro no tempo. E para definir esta taxa de juros, o analista precisa se aproximar o máximo do cenário econômico de seu segmento de mercado e de seu país, precisa também conhecer o risco da empresa específica. A taxa de desconto é proporcional ao risco que a empresa traz para o investidor. Quanto maior o risco, maior esta taxa de desconto. Assim sendo, o investidor brasileiro baliza o rendimento esperado de um projeto diante da complexidade e da magnitude dos indicadores financeiros existentes no mercado interno, o que pode traduzir-se para o País na aplicação de altas taxas de desconto.

A taxa de juros do mercado exerce grande influência nos valores estimados para a taxa de desconto. Dentre os fatores que podem interferir na determinação da taxa de juros citam-se: risco e incerteza, inflação, duração do projeto ou horizonte de planejamento, preferência por liquidez, produtividade do capital e a posição particular do investidor.

A dificuldade de estimativa das taxas de desconto para este estudo reside na inexistência e não convergência de informações quanto à própria taxa de desconto utilizada no mercado de motores, a estimativa de risco previsto pelas empresas e a complexidade do quadro macroeconômico brasileiro. Desta forma, optou-se por utilizar taxas médias do mercado brasileiro e do setor elétrico para o cálculo da relação custo-benefício do ponto de vista do usuário e para a comparação com os investimentos para ampliação do sistema elétrico.

- **Custo da eletricidade:** consideramos as tarifas médias (R\$/MWh) de 2004 (ANEEL, 2004): indústria – 126,10; comércio – 229,17 e residencial – 263,23 (neste setor, considerado um ICMS não repassável de 18%, aumentando a tarifa vista pelo consumidor para R\$321,01/MWh).
- **Mercado:** foram consideradas as seguintes participações no mercado:

Tabela 17 – Participação no mercado considerada

Fabricante	Eberle	Kohlbach	Weg
Participação	10%	10%	80%

8.5.1 Cenário 1 – Indústria (Finame)

8.5.1.1 Descrição do cenário

Para a indústria, considerou-se a troca dos motores em duas situações: a primeira, ao se fazer uma ampliação de capacidade, quando normalmente se busca empréstimo no banco brasileiro de desenvolvimento, o BNDES¹⁶.

O BNDES financia a aquisição isolada de máquinas e equipamentos através de um programa de financiamento, o FINAME. As taxas aplicadas pelo FINAME são, de modo geral, menores do que as taxas aplicadas no mercado financeiro, obtidas em bancos comerciais.

A composição da taxa de juros decorrente do FINAME é a seguinte: Custo Financeiro + Remuneração do BNDES + Remuneração da Instituição Financeira Credenciada.

- **Custo Financeiro**

A base do custo financeiro é a taxa de juros de longo prazo – TJLP. A evolução da TJLP nos últimos está na Tabela 18.

Tabela 18 - Evolução da TJLP (a.a.%)

Período	2003	2004	2005
Janeiro a março	11,0	10,0	9,75
Abril a junho	12,0	9,75	9,75
Julho a setembro	12,0	9,75	
Outubro a dezembro	11,0	9,75	

Fonte: IBGE, 2005

- **Remuneração do BNDES**

- Pessoas físicas: 1% ao ano;
- Micro, pequenas e médias empresas: 1% ao ano;

¹⁶ O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, ex-autarquia federal criada pela Lei nº 1.628, de 20 de junho de 1952, foi enquadrado como uma empresa pública federal, com personalidade jurídica de direito privado e patrimônio próprio, pela Lei nº 5.662, de 21 de junho de 1971. O BNDES é um órgão vinculado ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e tem como objetivo apoiar empreendimentos que contribuam para o desenvolvimento do país. Desta ação resultam a melhoria da competitividade da economia brasileira e a elevação da qualidade de vida da sua população (www.bndes.gov.br).

- Grandes empresas: de 2,5% a 4% ao ano
- Administração pública direta: 2,5% ao ano.
- Remuneração da Instituição Financeira Credenciada

Negociada entre a instituição financeira credenciada e o cliente; nas operações garantidas pelo Fundo de Garantia para Promoção da Competitividade - FGPC (Fundo de Aval) até 4% a.a.

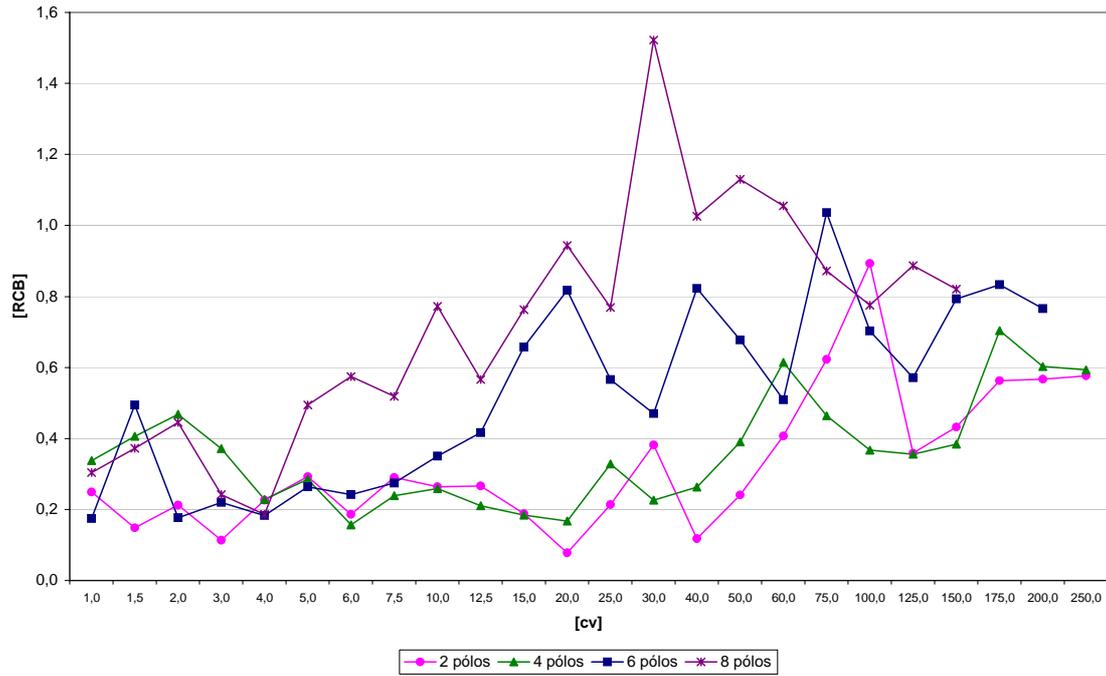
Desta forma a taxa de juros alcançaria valores na ordem de 16,75% para pequenas empresas e em torno de 20% para grandes empresas, dependendo da análise financeira efetuada pelo BNDES.

Outra opção encontrada pelo investidor é realizar um investimento através de um banco comercial, no qual as exigências burocráticas podem ser menores, no entanto o custo do capital torna-se maior. Empréstimos realizados no sistema leasing ou no CDC, (Crédito Direto ao Consumidor) apresentam taxas entre 1,87% a.m. e 2,24% a.m., o que representam valores anuais em torno de 22,4% e 26,88. O financiamento tem prazo de 36 ou 48 meses. A análise de crédito baseia-se principalmente no faturamento da empresa, no qual o banco avalia o potencial de endividamento da empresa e verifica o risco do investimento para cada empresa especificamente .

Ressalta-se que a taxa de juros serve como um referencial para o investidor, no momento em que decidir sua taxa de rentabilidade serão levadas em consideração outras variáveis.

8.5.1.2 Análise motor por motor

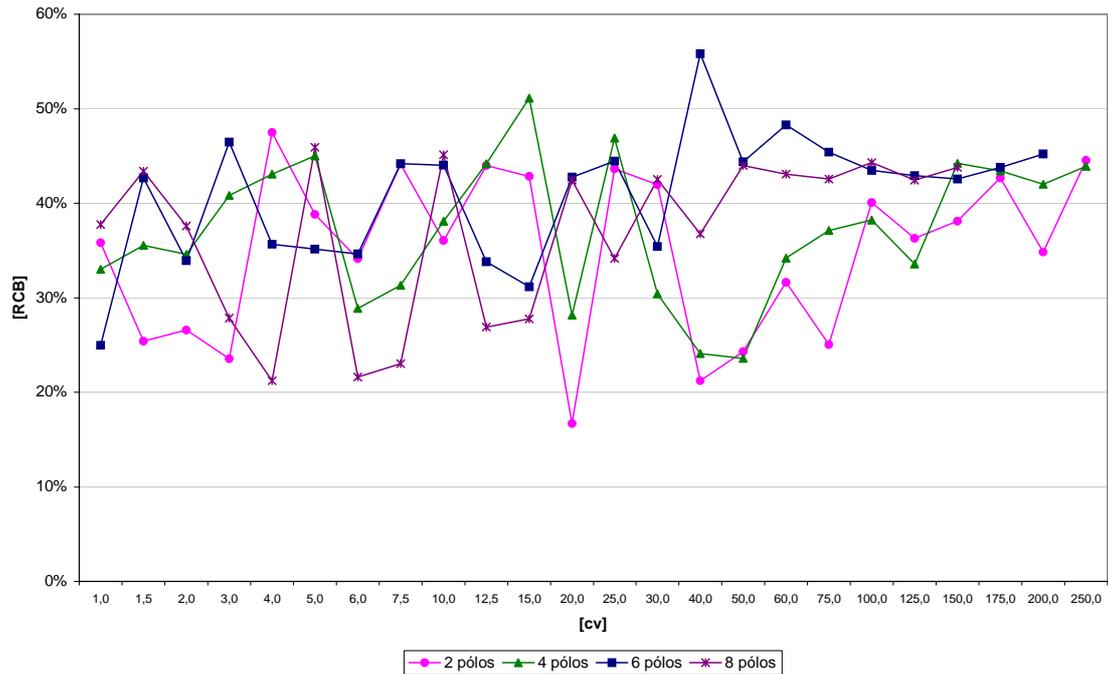
Quando considerada carga nominal e funcionamento intenso (8.000 h/ano de operação), quase todos os motores apresentaram relação custo-benefício favorável (menor do que 1), como mostra a Figura 20, à exceção de alguns motores de 6 e 8 pólos (velocidades menos utilizadas).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 20 – RCB para $\gamma = 1$ e 8000 h/ano

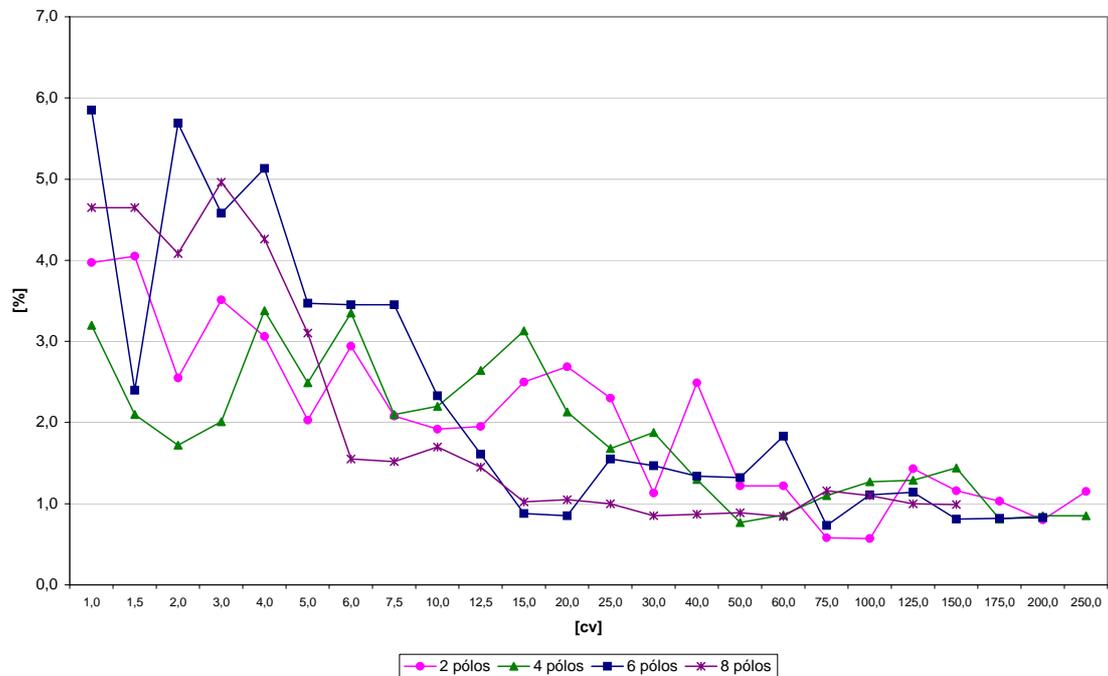
As variações de preços ficaram em torno de 40%, não variando muito com a potência, como mostra a Figura 21. Entretanto, nota-se uma variação grande de preço em alguns motores (por exemplo, 5 cv, 8 pólos) em relação a potências vizinhas, sem explicação em correspondente ganho de rendimento.



Fonte: Elaboração própria

Figura 21 – Variação de preço %

Os ganhos de rendimento, em oposição, foram menores para motores maiores, o que explica as RCBs crescentes com a potência – ver Figura 22.

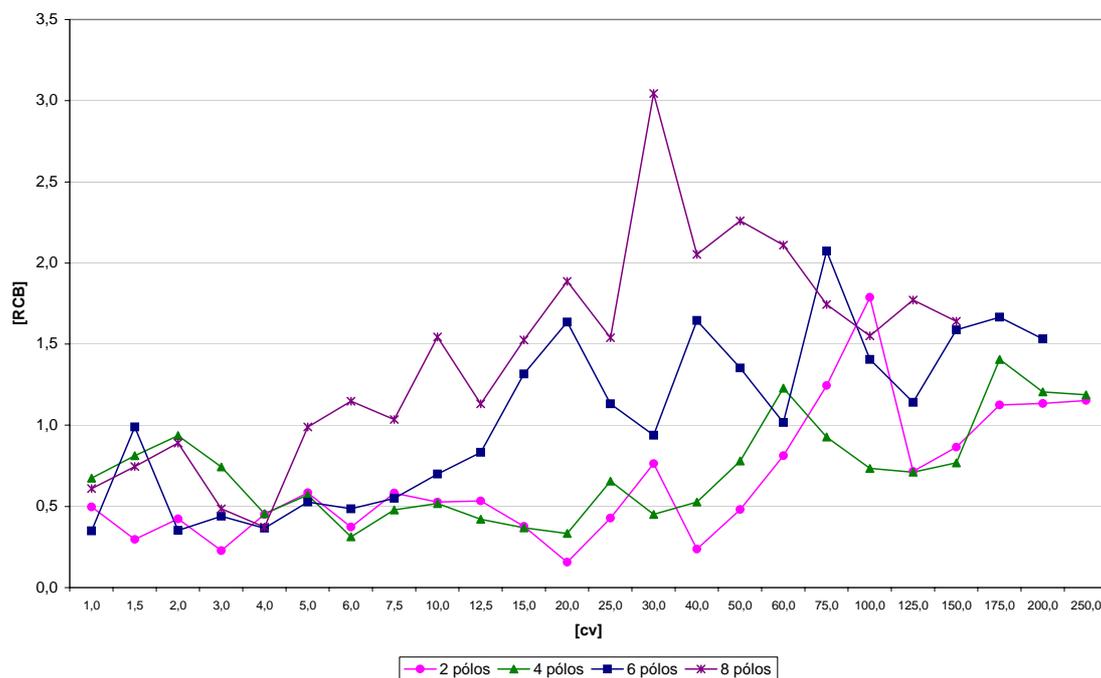


Fonte: Elaboração própria

Figura 22 – Ganhos % de rendimento nominal

A Figura 23 mostra a situação para carregamento unitário e funcionamento parcial (4.000 h/ano). As RCBs em pequenas potências e para 2 e 4 pólos apresentaram melhor

resultado. Em alta potência, a situação não é tão favorável. Para os motores de baixa rotação muitos casos não são favoráveis.

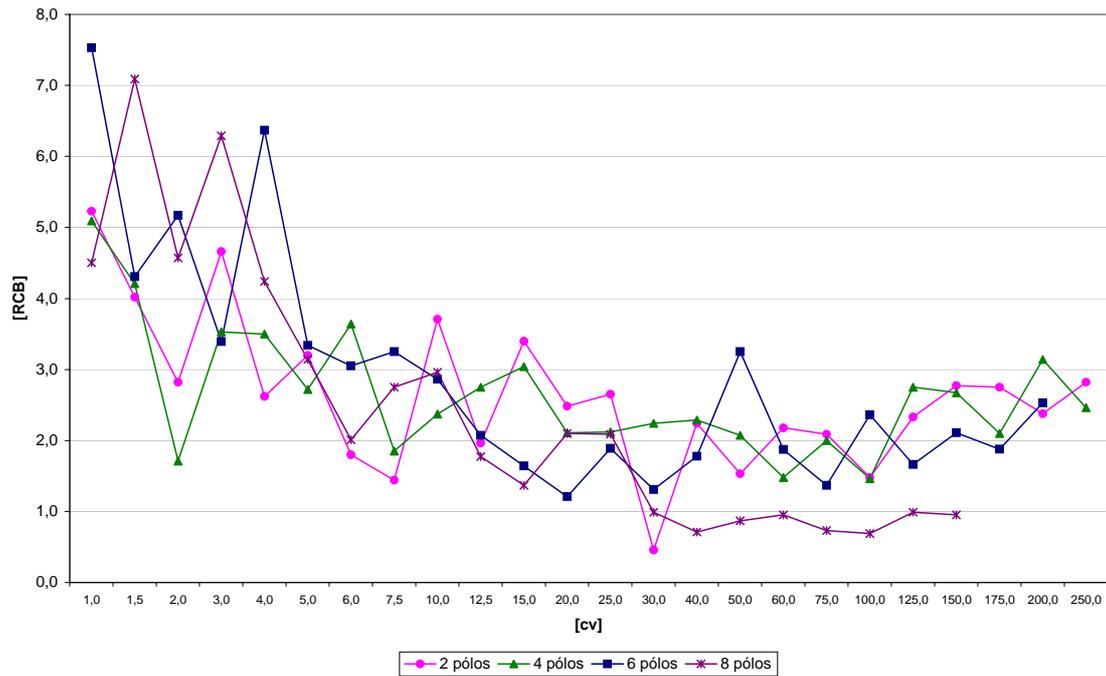


Fonte: Elaboração própria.

Figura 23 - RCB para $\gamma = 1$ e 4000 h/ano

As curvas (carregamentos 1 e 0,5) têm a mesma forma, porém a de meia carga é deslocada para cima. Assim, alguns motores de potência média e alta já não são atrativos para a troca. Os motores de 6 e 8 pólos (menos usados) são os menos atrativos. Já os de 2 e 4 pólos oscilam em torno do limite de atratividade em potências altas.

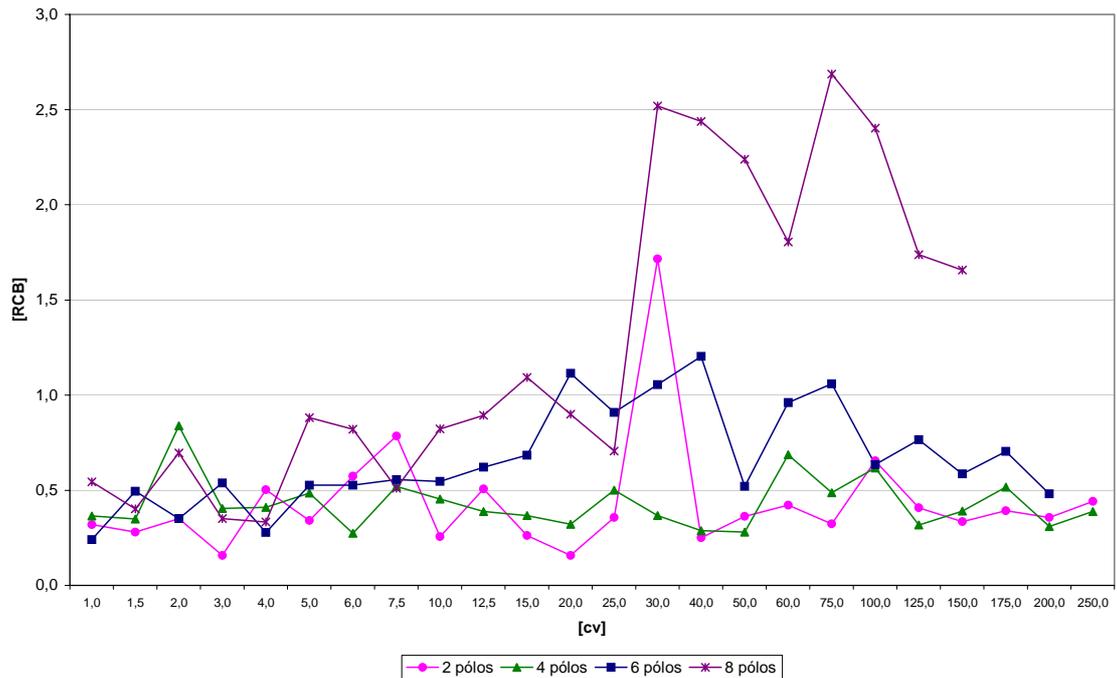
A situação piora quando se usam carregamentos mais baixos, embora os ganhos de rendimento sejam, em geral, maiores, como mostra a Figura 24.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 24 – Ganhos de rendimento para $\gamma = 0,5$

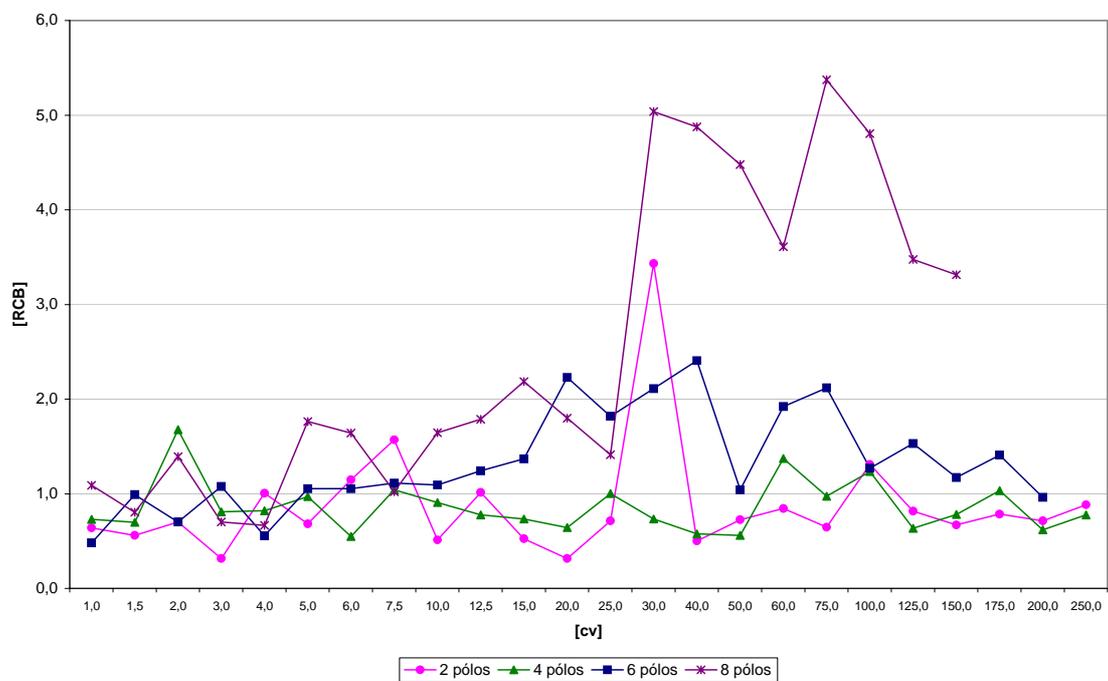
A Figura 25 mostra como se comportam os motores que operam a meia carga, em regime intenso de operação (8000 h/ano). Os motores de 2 e 4 pólos têm troca viável, à uma única exceção. Os de 6 e 8 pólos apresentam várias situações desfavoráveis, mormente em alta potência.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 25 - RCB para $\gamma = 0,5$ e 8000 h/ano

Finalmente, nota-se que mesmo alguns dos motores de 4 pólos encontram-se já fora do limite de aceitabilidade para carregamento 0,5 e 4.000 h/ano de operação – Figura 26.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 26 - RCB para $\gamma = 0,5$ e 4000 h/ano

As tabelas do Apêndice B resumem os valores de relação custo-benefício encontrados. Para os motores de 6 e 8 pólos são poucas as oportunidades. Para os de 2 e 4 pólos, fora da condição nominal a situação não é favorável em muitos casos, principalmente em regime parcial. Vale notar que, para os motores que trabalham abaixo da carga nominal, a curva rendimento x carregamento é tão ou mais importante que o rendimento nominal, o que faz a situação a meia carga ser tão diferente da situação à carga nominal.

8.5.1.3 Análise do “consumidor médio”

A análise por grupo de motores apresentou os ganhos mostrados na Tabela 19.

Tabela 19 – Ganhos com a Nova Portaria – indústria (Finame)

	cv nom.	h/ano	kW	MWh/ ano	rend.	Econo mia	Investi m.	Ganho	RCB	R\$/ MWh
Até 10 cv	4,5	5.234	0,1	0,4	2,5%	228	146	81	0,6	81
Acima de 10 cv até 40 cv	23,8	5.980	0,3	1,5	2,0%	1.037	530	507	0,5	64
Acima de 40 cv até 100 cv	69,0	7.145	0,6	4,0	1,3%	2.710	1.531	1.179	0,6	71
Acima de 100 cv até 300 cv	165,2	7.478	1,6	12,2	1,6%	8.688	4.398	4.290	0,5	64
Média	31,1	5.936	0,3	2,0	1,6%	1.390	752	638	0,5	69

Fonte: Elaboração própria.

A relação custo-benefício ficou bem abaixo do limite de aceitabilidade, sendo portanto a troca viável com empréstimo via Finame.

8.5.2 Cenário 2 – Indústria (capital próprio)

8.5.2.1 Descrição do cenário

A reposição normal de motores, entretanto, se faz com capital próprio da empresa, em geral. A taxa de desconto dos setores, além de diversa entre os diversos setores, é um segredo bem guardado. Como estimativa, usou-se uma taxa de juros ligeiramente acima da praticada por um banco comercial para financiamento para capital de giro, 22,75%, como indicado na Figura 27.

Juros (% a.a.)		Var dia	Juros Futuros		07/abr	08/abr	
CDI	19,22%	0,00	DI-MAI (vcto. 01/05/05)	19,28%	19,31%		
Swap Pré x DI (1 mês)	19,35%	0,04	DI-JUL (vcto. 01/07/05)	19,44%	19,54%		
CDB 30 dias	19,22%	0,10	DI-OUT (vcto. 01/10/05)	19,48%	19,64%		
CDB 62 dias	19,35%	0,14	DI-JAN (vcto. 03/01/06)	19,34%	19,53%		
Capital de Giro	22,75%	-1,05	Bradies		PU	Spread	% dia
ACC (% a. m.)	3,73%	0,31	C-Bond	99,64	364	-0,05%	
Hot Money (% a.m.)	2,51%	-0,01	EI	100,13	93	0,41%	
Desconto Duplicata (% a.m.)	1,95%	0,06	Par Brasil	90,50	224	-0,34%	
Bolsas		% dia	Internacional		Var. dia		
IBOVESPA	25.885	-1,61%	US T-Bond 30 anos (%)	4,76%	-0,63%		
Dow Jones (pontos)	10.461	-0,81%	lene/US\$	108,26	0,34%		
NASDAQ (pontos)	1.999	-0,96%	US\$/Euro	1,2931	0,57%		
Câmbio		% dia	Câmbio Futuro		Valor	Desv. proj.	
Comercial	2,586	-0,39%	Mai (P/últ dia Abr)	2,607	-2,22%		
			Jun (P/últ dia Mai)	2,635	1,07%		
Turismo	2,710	0,74%	Jul (P/últ dia Jun)	2,670	1,33%		

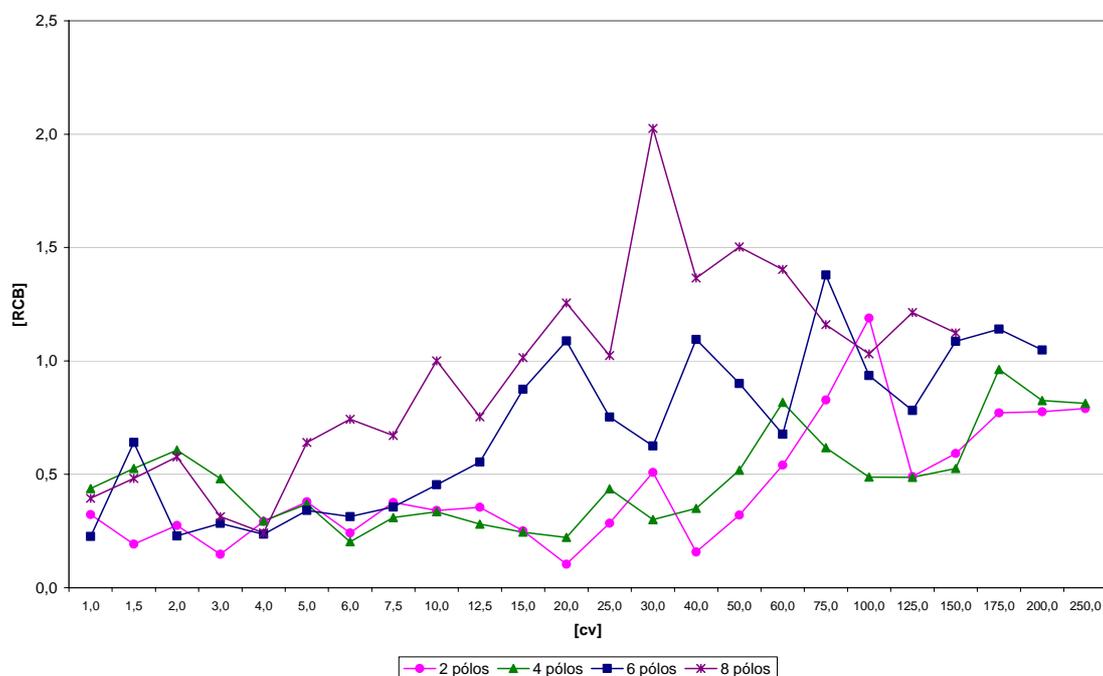
OBS: Todas as cotações são referentes ao dia 08/04/2005.

Fonte: Banco Itaú (Disponível em <http://www.itaub.com.br>, Acesso em 9.abr.2005) – Análise diária.

Figura 27 – Taxas de juro em 8.abril.2005

8.5.2.2 Análise motor por motor

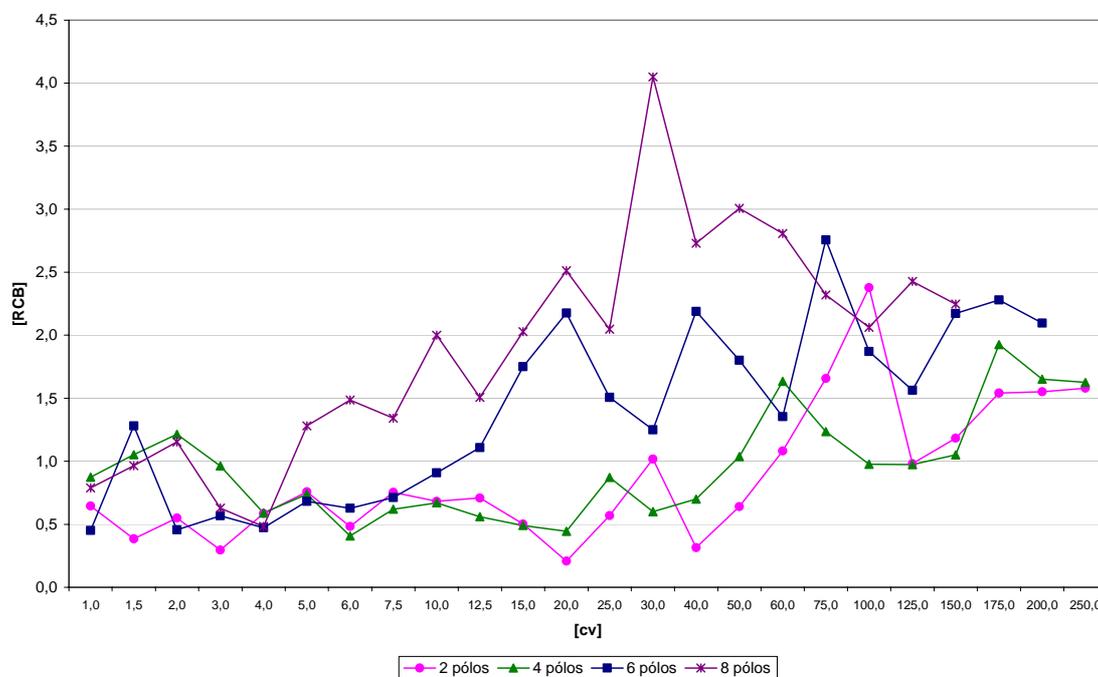
Com carga nominal e funcionamento intenso (8.000 h/ano de operação), os motores de 2 e 4 pólos ainda conservam-se na área de viabilidade, com uma única exceção. Os motores de 8 pólos, porém, já se afastam em grande maioria e também boa parte dos de 6 pólos.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 28 - RCB para $\gamma = 1$ e 8000 h/ano

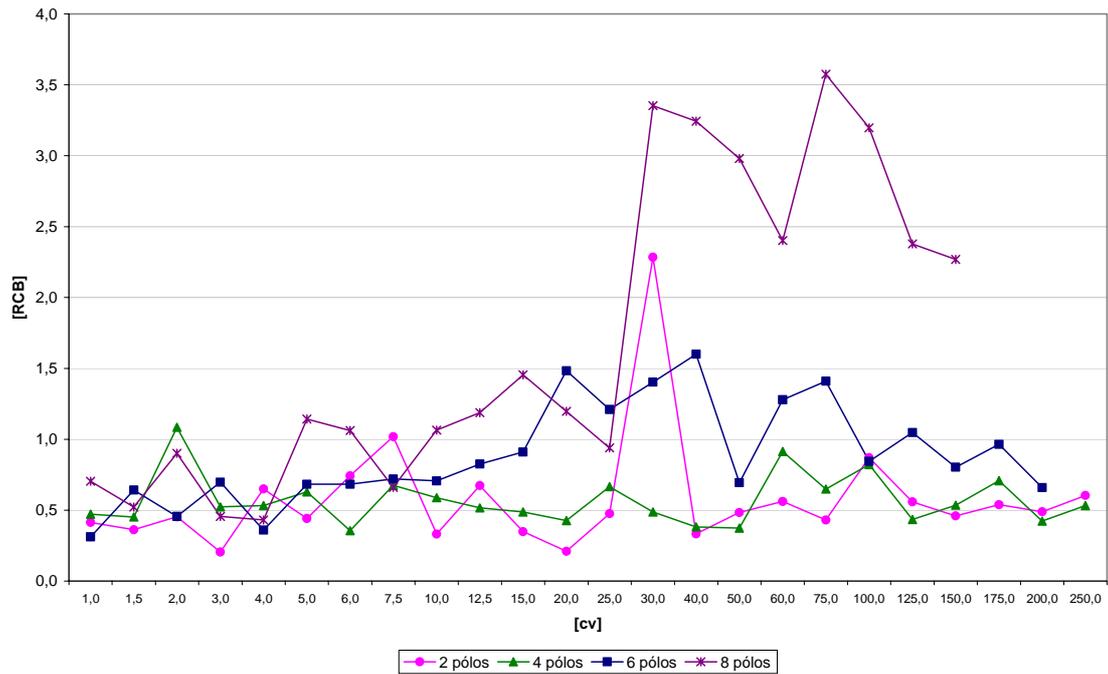
A Figura 29 mostra a situação para carregamento unitário e funcionamento parcial (4.000 h/ano). Muitos motores já deixam de ter vantagem na troca, especialmente em alta potência – como em todos os casos, os motores de alta rotação apresentam melhores resultados que os de baixa.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 29 - RCB para $\gamma = 1$ e 4000 h/ano

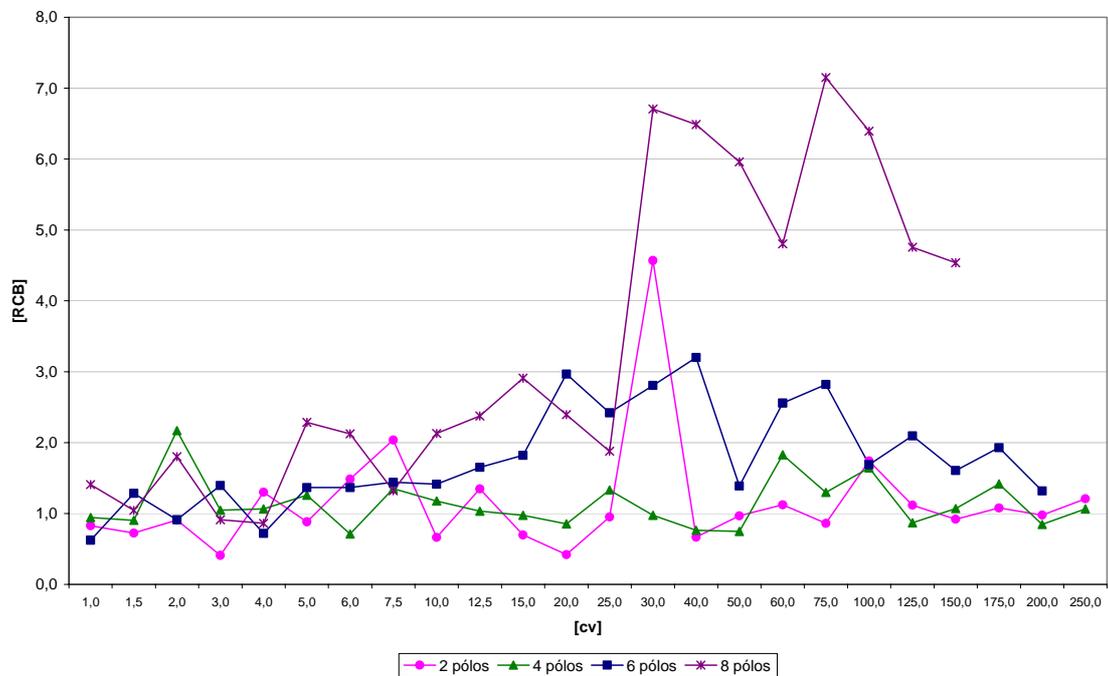
A Figura 30 mostra a situação a meia carga, em regime intenso de operação (8000 h/ano). Os motores de 2 e 4 pólos conservam a troca viável, com poucas exceções. Os de 6 e 8 pólos, principalmente estes, apresentam várias situações desfavoráveis, mormente em alta potência.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 30 - RCB para $\gamma = 0,5$ e 8000 h/ano

Apenas metade dos motores de alta rotação permanece dentro do limite de aceitabilidade para carregamento 0,5 e 4.000 h/ano de operação – Figura 31.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 31 - RCB para $\gamma = 0,5$ e 4000 h/ano

As tabelas do Apêndice B resumem os valores de relação custo-benefício encontrados. Para os motores de 6 e 8 pólos são poucas as oportunidades. Para os de 2 e 4 pólos, fora da condição nominal a situação não é favorável em alguns casos. Vale notar que, para os motores que trabalham abaixo da carga nominal, a curva rendimento x carregamento é tão ou mais importante que o rendimento nominal, o que faz a situação a meia carga ser tão diferente da situação à carga nominal.

8.5.2.3 Análise do “consumidor médio”

A análise por grupo de motores apresentou os ganhos mostrados na Tabela 20.

Tabela 20 – Ganhos com a Nova Portaria – indústria (próprio)

	cv nom.	h/ano	kW	MWh/ ano	rend.	Econo mia	Investi m.	Ganho	RCB	R\$/ MWh
Até 10 cv	4,5	5.234	0,1	0,4	2,5%	176	146	30	0,8	105
Acima de 10 cv até 40 cv	23,8	5.980	0,3	1,5	2,0%	779	530	250	0,7	86
Acima de 40 cv até 100 cv	69,0	7.145	0,6	4,0	1,3%	2.037	1.531	505	0,8	95
Acima de 100 cv até 300 cv	165,2	7.478	1,6	12,2	1,6%	6.346	4.398	1.948	0,7	87
Média	31,1	5.936	0,3	2,0	1,6%	1.038	752	285	0,7	92

Fonte: Elaboração própria.

A relação custo-benefício ficou dentro do limite de aceitabilidade, sendo portanto a troca viável na média.

8.5.3 Cenário 3 – Setor Comercial

8.5.3.1 Descrição do cenário

No intuito de exemplificar casos práticos de financiamento de troca de equipamentos, optou-se por apresentar a experiência do Sebrae¹⁷ no âmbito da eficiência energética. O Sebrae/RJ e a GTZ, Agência de Cooperação Técnica Alemã, desenvolveram no Rio de Janeiro o projeto “Conservação de Energia em Pequenas e Média Empresas do Rio de Janeiro”. O projeto teve duração de 10 anos e implementou várias unidades de demonstração que tinham por objetivo principal apresentar os resultados e a experiência adquirida com o projeto. Esta experiência prática, realizada junto ao setor comercial forneceu subsídios para que se possa entender melhor a lógica econômica dos pequenos empresários que investiram em eficiência energética. Os casos apresentados neste relatório retratam a experiência de três segmentos comerciais:

¹⁷ Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (<http://www.sebrae.com.br>).

cerâmica vermelha, recauchutadoras e padarias. As principais modificações ocorridas nas empresas, de modo geral, objetivavam reduzir o consumo de combustível no setor de cerâmica vermelha e de eletricidade nas demais. Para tanto, os empresários realizaram troca de equipamento buscando aqueles mais eficientes, o que impactou positivamente na produtividade das empresas. Decerto a tecnologia utilizada por essas empresas não se assemelha com o foco do estudo – motores trifásicos, no entanto a lógica de retorno econômico é a mesma, tanto para os ceramistas, recauchutadores e comerciantes (considerando a capacidade de investimento de cada empresa individualmente), quanto para os usuários de motores. Dessa forma, com base nos casos empíricos pautados na experiência do Sebrae, observa-se que a TIR, taxa interna de retorno dos projetos, variou entre 29% e 233%, reflexo da necessidade de retorno do investimento em um curtíssimo prazo. Dessa forma, para o setor comercial, adotou-se uma taxa de 33%, em geral bem menor que a conseguida em projetos de eficiência energética levados a cabo pelo Sebrae-RJ (WIPPLINGER e WITTWER, 2003).

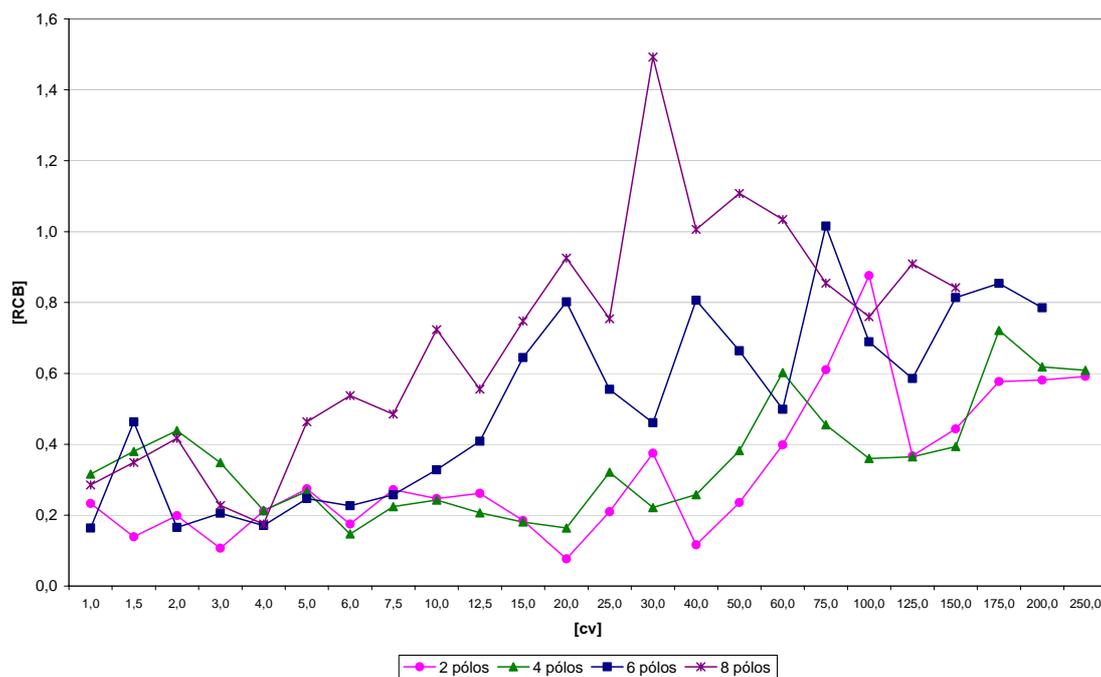
Tabela 21 – Investimentos Sebrae-RJ em eficiência energética

Setor	Empresa	Investimento	Economia	TIR	
Cerâmica vermelha	Tijolar	117.600,00	5 anos	274.433,00	233%
	R. P. Pessanha	227.000,00	1o ano	59.822,00	29%
			5 anos seguintes	94.681,00	
	Argibem	1.163.673,00	1o ano	2.000,00	-1%
			5 anos seguintes	220.373,00	
Recauchutadora	Itaipava	18.180,00	5 anos	19.344,00	103%
	BR Campos	43.000,00	5 anos	21.600,00	41%
Padaria	Sta Terezinha de Ramos	12.000,00	5 anos	12.000,00	97%
	Estrela do Brasil	6.800,00	5 anos	7.776,00	112%
	Danúbio Azul	13.000,00	5 anos	5.678,00	33%

Fonte: Wipplinger e Wittwer, 2003.

8.5.3.2 Análise motor por motor

Em relação à indústria, o custo a maior da energia compensa, de certa forma, a maior taxa de desconto e a situação fica bem semelhante, como mostra a Figura 32, para situação nominal e funcionamento intenso. Porém, a situação é mais favorável para o usuário, já que no comércio predominam os motores de pequeno porte, que são mais atrativos (embora o seu uso tenda a ser menos intenso).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 32 - RCB para $\gamma = 1$ e 8000 h/ano (setor comercial)

8.5.3.3 Análise do “consumidor médio”

Como não temos amostra disponível para este setor, usaremos a amostra existente, tecendo comentários sobre os resultados. Os resultados estão na Tabela 22.

Tabela 22 - Ganhos com a Nova Portaria - comércio

	cv nom.	h/ano	kW	MWh/ ano	rend.	Econo mia	Investi m.	Ganho	RCB	R\$/ MWh
Até 10 cv	4,5	5.234	0,1	0,4	2,5%	243	146	97	0,6	138
Acima de 10 cv até 40 cv	23,8	5.980	0,3	1,5	2,0%	1.058	530	528	0,5	115
Acima de 40 cv até 100 cv	69,0	7.145	0,6	4,0	1,3%	2.764	1.531	1.233	0,6	127
Acima de 100 cv até 300 cv	165,2	7.478	1,6	12,2	1,6%	8.474	4.398	4.076	0,5	119
Média	31,1	5.936	0,3	2,0	1,6%	1.403	752	651	0,5	123

Fonte: Elaboração própria.

A situação é um pouco mais favorável, inclusive para os motores pequenos, mais usados neste setor. No entanto, é provável que seu uso seja menos intenso neste serviço, o que tenderia a elevar a RCB.

8.5.4 Cenário 4 – Setor residencial

8.5.4.1 Descrição do cenário

Neste setor, adotou-se a taxa cobrada por um banco comercial (Banco do Brasil) para financiamento de compra de aparelhos eletro-eletrônicos:

BB CREDITO ELETROELETRONICOS

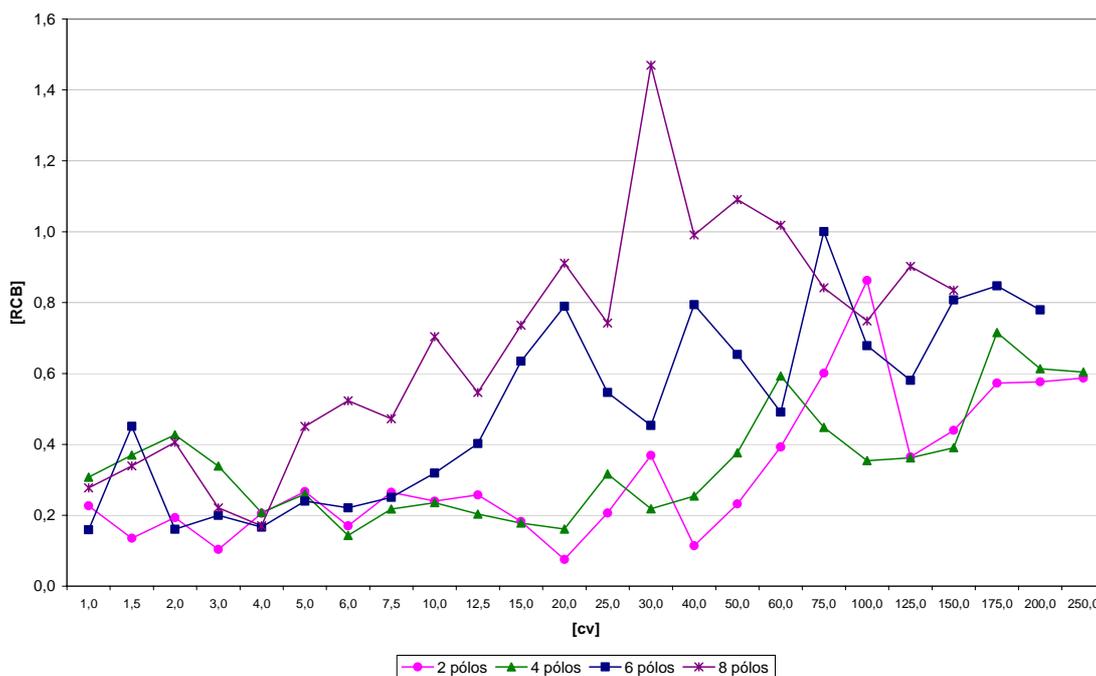
VALOR SOLICITADO: 1.000,00

TAXA MENSAL DE JUROS: 3,21%

TAXA ANUAL DE JUROS: 46,10%

8.5.4.2 Análise motor por motor

No setor residencial, reproduz-se praticamente a situação do comercial, já que o preço a maior da tarifa compensa o aumento da taxa de desconto, como se pode ver na Figura 33.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 33 - RCB para $\gamma = 1$ e 8000 h/ano (setor residencial)

8.5.4.3 Análise do “consumidor médio”

Igualmente usando a mesma amostra, obtêm-se os resultados da Tabela 23.

Tabela 23 - Ganhos com a Nova Portaria - comércio

	cv nom.	h/ano	kW	MWh/ ano	rend.	Econo mia	Investi m.	Ganho	RCB	R\$/ MWh
Até 10 cv	4,5	5.234	0,1	0,4	2,5%	250	146	104	0,6	188
Acima de 10 cv até 40 cv	23,8	5.980	0,3	1,5	2,0%	1.074	530	544	0,5	158
Acima de 40 cv até 100 cv	69,0	7.145	0,6	4,0	1,3%	2.807	1.531	1.276	0,5	175
Acima de 100 cv até 300 cv	165,2	7.478	1,6	12,2	1,6%	8.539	4.398	4.141	0,5	165
Média	31,1	5.936	0,3	2,0	1,6%	1.423	752	671	0,5	170

Fonte: Elaboração própria.

O setor residencial apresenta uma situação bem semelhante à do comercial, já que tem uma tarifa maior e uma taxa de desconto também maior. Por outro lado, vale notar que neste setor o carregamento e funcionamento tendem a ser ainda mais baixos.

Pode-se concluir que, supondo as premissas apresentadas, do ponto de vista do usuário “agregado” ou “médio”, a aplicação dos índices de motores de alto rendimento a todas as unidades será positiva, no aspecto financeiro. No entanto, com é um caso médio, haverá situações acima da média onde ocorrerão prejuízos e abaixo, com vantagens financeiras.

8.6 Ponto de vista do sistema elétrico

Neste item busca-se comparar os investimentos necessários para ampliação do sistema elétrico nacional com os obtidos com a redução do consumo proporcionada pelo aumento de rendimento dos motores com a Nova Portaria.

Estão previstos este ano leilões para compra de “nova” energia, onde se terá um balizamento concreto do preço a ser pago. Como estes dados não estão disponíveis, usou-se um estudo de Schaeffer e Szklo (Energy Policy, 2001), que relacionam os diversos custos de usinas. Estão-se considerando dois tipos de usina, operando na base do sistema (alto fator de capacidade) – uma hidrelétrica de média capacidade, distante 500 km do ponto de consumo e outra movida a turbina a gás natural, distante 100 km. Os dados considerados e os cálculos estão na Tabela 24.

Tabela 24 – Custo da energia em novas usinas

		UHE	UTGN
Custo capital	US\$/kW	1.230	495
Fator capacidade	1	0,55	0,9
O&M	US\$/MWh	1,54	7
Combustível	US\$/MWh	0	18

		UHE	UTGN
Vida útil	anos	30	10
Taxa de desconto	%	12%	12%
Transmissão	US\$/kW/kkm	180	180
Fator capacidade	1	0,6	0,6
Perdas	%	10%	5%
Distância considerada	km	500	100
Vida útil	anos	20	20
Custo geração	US\$/MWh	33,23	36,11
Custo transmissão	US\$/MWh	2,55	0,48
Custo total	US\$/MWh	35,78	36,59
	R\$/MWh	98,04	100,27

Fonte: Elaboração própria, baseado em Schaeffer e Szklo (Energy Policy, 2001).

Se considerarmos esta taxa de desconto, praticada para ampliação do sistema, o custo da energia economizada cai bastante, como mostra a Tabela 25.

Tabela 25 – Custo da energia economizada (TD = 12%)

	h/ano	kW	MWh/a	Investim.	R\$/MWh
Até 10 cv	5.234	0,1	0,4	146	65
Acima de 10 cv até 40 cv	5.980	0,3	1,5	530	50
Acima de 40 cv até 100 cv	7.145	0,6	4,0	1.531	56
Acima de 100 cv até 300 cv	7.478	1,6	12,2	4.398	48
Média	5.936	0,3	2,0	752	54

Fonte: Elaboração própria.

O custo é 45% menor que uma hidrelétrica de médio porte (380 MW) e 46% inferior a uma termelétrica a gás natural (230 MW), mesmo com eficiência de 50% e fator de capacidade 0,9. Não menos relevantes são os impactos ambientais evitados – no caso da termoeletricidade, só a emissão de carbono evitada seria da ordem de 55 mil ton/ano.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Tarifas Médias por Classe de Consumo Regional e Brasil** (R\$/MWh). Disponível em <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 13.out.2004.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética**. Brasília – DF: Aneel, 7.out.2002. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 8.nov.2002.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL e AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO – ANP. **Eficiência Energética: Integrando Usos e Reduzindo Desperdícios**. Organizado por J. Haddad e S. C. Aguiar. Elaborado por A. R. S. Martins et al. Brasília: ANEEL e ANP, 1999.
- 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.
- AMERICO, M. **Sistemas Motrizes: Eficiência Energética e Técnicas de Acionamento**. Apresentações em Power-Point em curso Cepel/Sebrae-RJ/UFF. Niterói-RJ, 2003.
- ASEA-PACIFIC ECONOMIC COOPERATION – ENERGY STANDARDS INFORMATION SYSTEM (APEC-ESIS). **A Survey of Efficiency Levels Specified for Three-Phase Cage Induction Motors**. Janeiro.2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA – ABRADEE. **Perspectivas do Setor Elétrico: Visão dos Investidores Privados**. Palestra em Power Point, apresentada em 24.fev.2003, Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.abrace.org.br/politica_energetica.html. Acesso em: 21.ago.2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA – ABINEE. Vendas de motores elétricos [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por agenorgarcia@terra.com.br em 11.jul.2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5383/1:1999: Máquinas elétricas girantes. Parte 1: Motores de indução trifásicos - Ensaio**. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: Informação e documentação – Apresentação de citações em documentos. Rio de Janeiro, 2001.

BORTONI, E. C. e outros. **Análise do Reparo de Motores de Indução Trifásicos**. Trabalho apresentado no XV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu, PR, out.1999. Disponível em <http://www.itaipu.gov.br/xvsnptee/xvsnptee/stc/stc04.pdf>. Acesso em 25.abr.2003.

BDMOTOR. Cepel. Rio de Janeiro: Cepel (2003). Programa. 1 CD-ROM.

BRASIL. 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. 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. 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.

COMITÊ COORDENADOR DO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS – CCPE. MME. **PLANO DECENAL DE EXPANSÃO. Sumário Executivo 2003 – 2012**: Versão Preliminar. Brasília – DF, 2002. Disponível em: <http://www.ccpe.gov.br/index.asp>. Acesso em: 16.nov.2003.

COMITÊ GESTOR DE INDICADORES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – CGIEE. MME. **Implementação da Lei de Eficiência Energética. Relatório de Atividades – maio a dezembro.2002**. Preparado por ASSUMPÇÃO, M. G.

Brasília, dez. 2002. Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 24.abr.2003.

COMITÊ GESTOR DE INDICADORES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – CGIEE. **Plano de trabalho - Implementação da Lei de Eficiência Energética**. Brasília, julho.2002. Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 24.abr.2003.

COLLABORATIVE LABELING AND APPLIANCE STANDARDS PROGRAM (CLASP). Autores principais: Wiel, S. e McMahon, J. E. **Energy-Efficiency Labels and Standards: A Guidebook for Appliances, Equipment, and Lighting**. Washington, D.C. 2001. Disponível em: <http://www.clasponline.org/download/General/2001/211/index.php3>. Acesso em: 21.jul.2003.

DELGADO, M. A. P. – **Alternativas para o Aumento da Eficiência Energética no Brasil: Uma Análise Técnico-Econômica para Viabilização de Motores Elétricos de Alto Rendimento e o Caso das Empresas de Serviços de Energia** – 1996, 165 p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

EBERLE – Sala de Imprensa. Apresenta notícias relativas à empresa. **Eberle consegue linha do BB para motor econômico**. Disponível em: <http://www.gem.ind.br/press24.htm>. Acesso em: 19.set.2003.

ELETROBRÁS. CEPEL. PROCEL. CATE – Centro de Aplicação de Tecnologias Eficientes. **Guia Operacional de Motores Elétricos**. Rio de Janeiro [?]: [s.n.], [199-].

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ (EFEI).. **Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos**. Apoio ELETROBRÁS / PROCEL Itajubá – MG: FUPAI, 2001.

Fazendo o Mundo Girar: Weg Motores Ltda. **Mercosul Magazine**. [S.l.],[out.2003?]. Disponível em: http://www.mercosulsearch.com.br/magazine/firma_semana3010.htm. Acesso em: 4.ago.2003.

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

- GELLER, H. S.: **O Uso Eficiente da Eletricidade:** uma Estratégia de Desenvolvimento para o Brasil. Rio de Janeiro: INEE, 1994.
- 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.
- 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.
- JANNUZZI, G. de M., SWISHER, J. N. P. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos:** Meio Ambiente, Conservação de Energia e Fontes Renováveis. Campinas – SP: Autores Associados, 1997.
- KOSOW, I. L. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. 4.ed. Tradução de Felipe Daiello e Percy Soares. Porto Alegre: Globo, 1982. 2 v.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Secretaria de Energia. Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético. **Eficiência Energética**. Brasília, dez.2001. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/desenvenergetico/Documentos>. Acesso em: 25.abr.2003.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2002:** Ano Base 2001. Brasília, dez.2002. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 15.mar.2003.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Secretaria do Desenvolvimento da Produção. **Anuário Estatístico 2003**. Brasília, abril.2003. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/indicadores/doc/anuarioIndicGerai.xls>. Acesso em: 13.ago.2003.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Apresenta dados sobre o Sistema Interligado Nacional. Disponível em: <http://www.ons.org.br/ons/sin/index.htm>. Acesso em: 13.ago.2003.

- PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Motores com Selo Procel – standard e alto rendimento.** Disponível em: http://www.eletronbras.gov.br/procel/site/seloprocel/equipamentoscomselo_872.asp. Acesso em: 26.mar.2005.
- RAAD, A. **Identificação e análise das soluções e barreiras à eficiência energética no caso do setor elétrico brasileiro.** 1999. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1999.
- SCHAEFFER, R. **Avaliação dos Programas de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica Desenvolvidos por Empresas Distribuidoras de Energia Elétrica no Ciclo 1998/1999.** COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001, 196 p. e anexos.
- SCHAEFFER, R. e SZKLO, A. S. Future electric power technology choices of Brazil: a possible conflict between local pollution and global climate change. In **Energy Policy 29 (2001)**, p. 355-369.
- SHINDO, R. **Métodos de Determinação do Carregamento de Motores de Indução Trifásicos.** 1997. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica – Eletrotécnica). Escola de Engenharia, UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.
- SOARES, G. A., HERSZTERG, I. e TABOSA, R. Os Motores de Indução de Alto Rendimento dentro de uma Visão de Gerenciamento pelo Lado da Demanda. In **XIV SNPTEE.** Belém-PA, 1997.
- TOLMASQUIM, M. T. Meio Ambiente, Eficiência Energética e Progresso Técnico. In: **Ecologia e Desenvolvimento**, APED – Associação de Pesquisa e Ensino em Ecologia e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: 1992.
- TOLMASQUIM, M. T., SZKLO, A. S. (coordenadores). **A Matriz Energética Brasileira na Virada do Milênio.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). **International Motor Selection and Savings Analysis Software.** Desenvolvido pela Washington State University Extension Energy Program. Disponível em: http://www.oit.doe.gov/bestpractices/software_tools.shtml. Acesso em: set.2004.
- WEG. **Números.** Disponível em: <http://www.weg.com.br/>. Acesso em: 4.ago.2003.
- WEG. **Catálogo Geral de Motores Elétricos.** Jaraguá do Sul – SC: Weg, 2003. Disponível em: <http://www.weg.com.br/>. Acesso em: 1.jul.2003.

WEG. **Relatório Anual 2004**. Jaraguá do Sul – SC: Weg, 2005.

WIPPLINGER, G. , WITTWER, E. **Avaliação dos impactos econômico-financeiros de projetos de eficiência energética em indústrias de pequeno porte**. Rio de Janeiro: SEBRAE/RJ, GTZ, 2003, 120p.