

Eficiência Energética em Equipamentos de Força Motriz

1. Introdução

A produção de energia mecânica, através da utilização de motores eléctricos, absorve cerca de metade da energia eléctrica consumida no nosso País, da qual apenas metade é energia útil. Este sector é, pois, um daqueles em que é preciso tentar fazer economias, prioritariamente. O êxito neste domínio depende, em primeiro lugar, da melhor adequação da potência do motor à da máquina que ele acciona. Quando o regime de funcionamento é muito variável para permitir este ajustamento, pode-se equipar o motor com um conversor electrónico de variação de velocidade. Outra possibilidade é a utilização dos motores “de perdas reduzidas” ou de “alto rendimento”, que permitem economias consideráveis.

Também a nível Europeu, os motores eléctricos representam uma das fontes mais consumidoras de energia: 70% do consumo eléctrico na indústria e cerca de 1/3 do consumo eléctrico no sector dos serviços.

Nos últimos anos, muitos fabricantes de motores investiram fortemente na pesquisa e desenvolvimento de novos produtos com o objectivo de colocarem no mercado motores mais eficientes.

2. Eficiência dos Motores

Os motores eléctricos convertem a energia eléctrica em energia mecânica. No entanto o rendimento desta conversão não é de 100%. A energia eléctrica é convertida em energia



mecânica e em perdas. Estas perdas são devidas aos diversos elementos que estão presentes na conversão e podem ser divididas em quatro tipos:

- o Perdas eléctricas;
- o Perdas magnéticas;
- o Perdas mecânicas;
- o Perdas parasitas.

As perdas eléctricas são provocadas pela resistência dos condutores das bobinas que ao serem percorridos por corrente provocam perdas caloríficas. As perdas magnéticas ocorrem nas lâminas de ferro do estator e do rotor devido à histerese e às correntes de Foucault. As perdas mecânicas são provocadas pela rotação das peças móveis, ventilação, atrito do ar. As perdas parasitas são devidas a fugas, irregularidades de fluxo e, também, distribuição de corrente não uniforme.

Para se quantificar o valor do rendimento de um motor é necessário conhecer certos parâmetros, tais como a potência mecânica disponibilizada para a carga. Também é necessário conhecer algumas características da máquina para que se possa fazer a sua modelização e simulação em vários regimes de carga. Os testes e estudos a efectuar para se determinar o rendimento de um motor de indução são descritos na norma CEI 34-2.

A eficiência de um motor é dada pelo seu rendimento, ou seja, pela relação entre a quantidade de energia eléctrica que absorve e a quantidade de energia mecânica que produz e pode ser calculada pela expressão seguinte.

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{abs}} (\%) = \frac{P_{mec}}{P_{mec} + P_{perdas}} \quad (1)$$

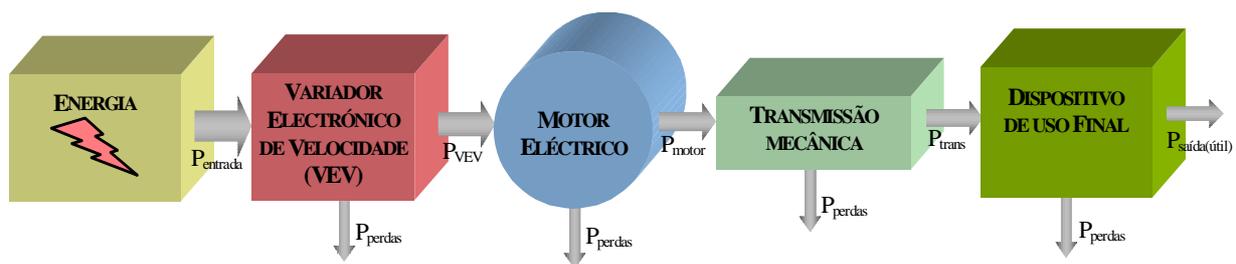


Figura 2 – Sistemas de Força Motriz

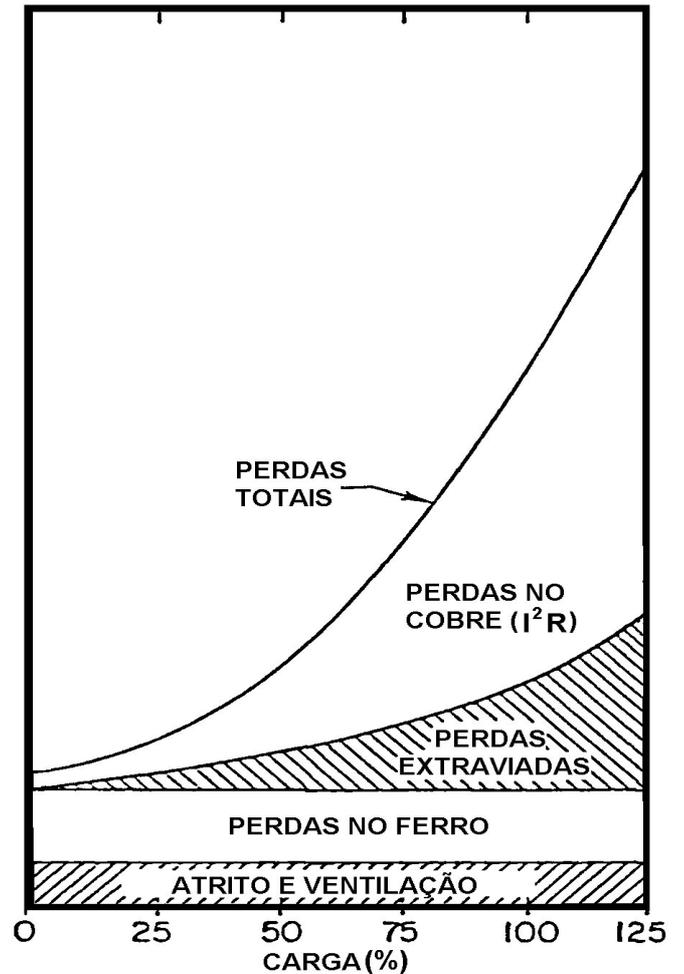


Figura 1 – Perdas nos equipamentos de força motriz

Os sistemas de força motriz não são apenas constituídos pelo motor eléctrico. Outros componentes do sistema, para além do motor, podem ser o Variador Electrónico de Velocidade, a Transmissão Mecânica e o Dispositivo de Uso Final. Na realidade, os equipamentos de força motriz podem integrar estes 4 módulos, como se ilustra na figura 2. Deve-se actuar ao nível de cada módulo, de forma a otimizar a eficiência do sistema global. Neste âmbito, merece particular atenção a utilização sempre que possível de Variadores Electrónicos de Velocidade (VEV).

3. Classificação da Eficiência Energética

Na Europa a classificação dos motores CA (Corrente Alternada) de baixa tensão foi estabelecida em 1998 com o acordo dos principais fabricantes de motores Europeus.

De uma forma resumida, o acordo estabelecido entre a Comissão Europeia (CE) e o Comité Europeu de Fabricantes de Máquinas Eléctricas e de equipamentos e sistemas de Electrónica de Potência (CEMEP) estabelecia que os motores de 1,1 a 90kW de potência nominal, 50 ou 60Hz, com 2 e 4 pólos magnéticos, serão classificados de acordo com os valores dos respectivos rendimentos.

As classes de rendimento estabelecidas foram as seguintes:

- EFF1: Motores de elevado rendimento;
- EFF2: Motores de rendimento melhorado;
- EFF3: Motores de rendimento normal.

No acordo CE/CEMEP ficou ainda estabelecido que as vendas, na União Europeia, de motores EFF3 diminuiriam

para metade até 2003. Este objectivo foi alcançado e a venda de motores EFF3 terminou pouco tempo depois.

Todos os fabricantes que assinaram este acordo estão autorizados a colocar a etiqueta de eficiência nos motores e em toda a documentação que os acompanhe, o que torna mais fácil a identificação da classe do motor.



Figura 4 – Etiquetas de eficiência dos motores.

Com base no acordo voluntário anteriormente referido, foi também criada uma base de dados europeia EuroDEEM, que foi projectada pelo centro de pesquisa da Comissão Europeia (CE/JRC), com o objectivo de reunir num só suporte as informações mais importantes sobre os motores eléctricos disponíveis no mercado. Desta forma pretende-se que os utilizadores desta ferramenta possam fazer uma escolha bem fundamentada em termos técnicos e económicos dos seus sistemas (CARLOS GASPARG, 2004).

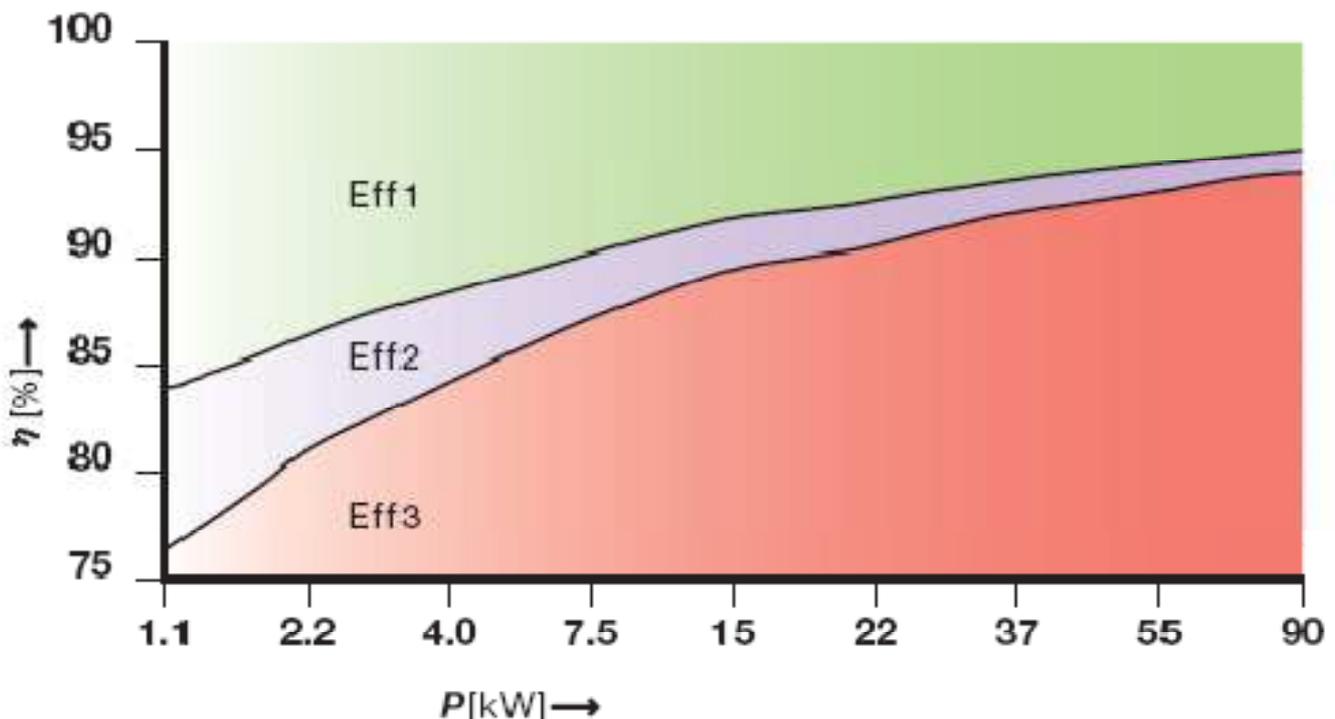


Figura 3 – Classes de eficiência de motores. [Rennie, 2000]

A tabela I mostra o rendimento dos motores para cada uma das classes de eficiência estabelecidas.

4. Características dos motores de elevado rendimento

Actualmente, encontra-se já disponível no mercado os chamados motores de “perdas reduzidas”, ou de “alto rendimento”, mais caros que os motores clássicos, mas cuja utilização se revela rentável quando o seu tempo anual de utilização for suficientemente longo. Basicamente, o acréscimo de eficiência dos motores está associado a uma redução das suas perdas, que foi conseguida à custa, quer da utilização de materiais construtivos de melhor qualidade e com melhores acabamentos, quer por alteração das suas características dimensionais.

Os construtores aumentaram a massa de materiais activos (cobre e ferro) de forma a diminuir as induções, as densidades de corrente e, assim, reduzir as perdas no cobre e no ferro. Utilizam chapas magnéticas de perdas mais reduzidas, entalhes especiais em certos casos e reformularam a parte mecânica, com especial incidência sobre a ventilação, para reduzir a potência absorvida por esta e diminuir o nível de ruído. Daí resulta, para idêntica dimensão, um aumento de peso da ordem de 15%, e de preço da ordem de 20 a 25%. Contudo, a melhoria do rendimento, compreendida entre 2 e 4,5%, e do $\cos\phi$, permite amortizar rapidamente este aumento de preço. As melhorias típicas que são efectuadas a nível construtivo da máquina podem ser visualizadas na figura seguinte e são resumidas na Tabela II.

Tabela I – Definição das diversas classes de eficiência

kW	EFF3 2 e 4 pólos η_n (%)	EFF2 2 e 4 pólos η_n (%)	EFF1 2 pólos η_n (%)	EFF1 4 pólos η_n (%)
1,1	<76,2	\geq 76,2	\geq 82,2	\geq 83,8
1,5	<78,5	\geq 78,5	\geq 84,1	\geq 85,0
2,2	<81,0	\geq 81,0	\geq 85,6	\geq 86,4
3	<82,6	\geq 82,6	\geq 86,7	\geq 87,4
4	<84,2	\geq 84,2	\geq 87,6	\geq 88,3
5,5	<85,7	\geq 85,7	\geq 88,6	\geq 89,3
7,5	<87,0	\geq 87,0	\geq 89,5	\geq 90,1
11	<88,4	\geq 88,4	\geq 90,5	\geq 91,0
15	<89,4	\geq 89,4	\geq 91,3	\geq 91,8
18,5	<90,0	\geq 90,0	\geq 91,8	\geq 92,2
22	<90,5	\geq 90,5	\geq 92,2	\geq 92,6
30	<91,4	\geq 91,4	\geq 92,9	\geq 93,2
37	<92,0	\geq 92,0	\geq 93,3	\geq 93,6
45	<92,5	\geq 92,5	\geq 93,7	\geq 93,9
55	<93,0	\geq 93,0	\geq 94,0	\geq 94,2
75	<93,6	\geq 93,6	\geq 94,6	\geq 94,7
90	<93,9	\geq 93,9	\geq 95,0	\geq 95,0

Tabela II – Resumo das alterações nos motores de elevado rendimento

Alteração Efectuada	Efeito produzido
Tratamento térmico do rotor.	Redução da resistência.
Uso de ferro laminado por camada.	Redução das perdas no ferro.
Melhoria do circuito magnético.	Redução das perdas no ferro.
Redução das bobinas do circuito indutor.	Redução das perdas por efeito de Joule.
Melhor qualidade dos rolamentos.	Redução das perdas mecânicas.
Maior quantidade de cobre.	Diminuição de perdas e do calor gerado.
Redução do entre-ferro.	Diminuição das perdas parasitas.
Rotor mais largo.	Reactância de fugas menor.
Sistema de ventilação melhorado.	Diminuição de ruídos e da temperatura.

Apesar de este tipo de motores possuir uma eficiência melhorada, quando inseridos num sistema, a eficiência total do mesmo sistema depende de todos os outros componentes que o compõem. Por este motivo, não se deve apenas investir na compra de um motor de elevada eficiência, quando existirem problemas de eficiência nos outros componentes do sistema.

5. Estudo económico, em motores de elevado rendimento

Como foi referido anteriormente, a opção por motores de elevado rendimento acarreta custos de investimentos sempre superiores ao investimento em motores standard. Por esse motivo só se torna economicamente vantajosa a aposta neste tipo de motores quando existe a necessidade de substituição de um motor ou quando se está a dimensionar uma nova instalação. Quase nunca a substituição de um motor standard, a funcionar

correctamente, por um motor de elevado rendimento se torna economicamente vantajosa. Essa hipótese poderá ser considerada se o motor tiver um elevado número de horas de funcionamento anual.

A equação seguinte permite calcular a poupança que se obtém com um motor de elevado rendimento em comparação com um motor standard.

$$Poupança = \left(\frac{1}{\eta_{STD}} - \frac{1}{\eta_{EE}} \right) \times P_N \times N \times \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \quad (2)$$

em que,

η_{EE} representa o rendimento do motor standard

η_{STD} representa o rendimento do motor de elevada eficiência

P_N representa a potência nominal do motor

N indica o número de horas de funcionamento anual

$\frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ traduz o preço da energia eléctrica.

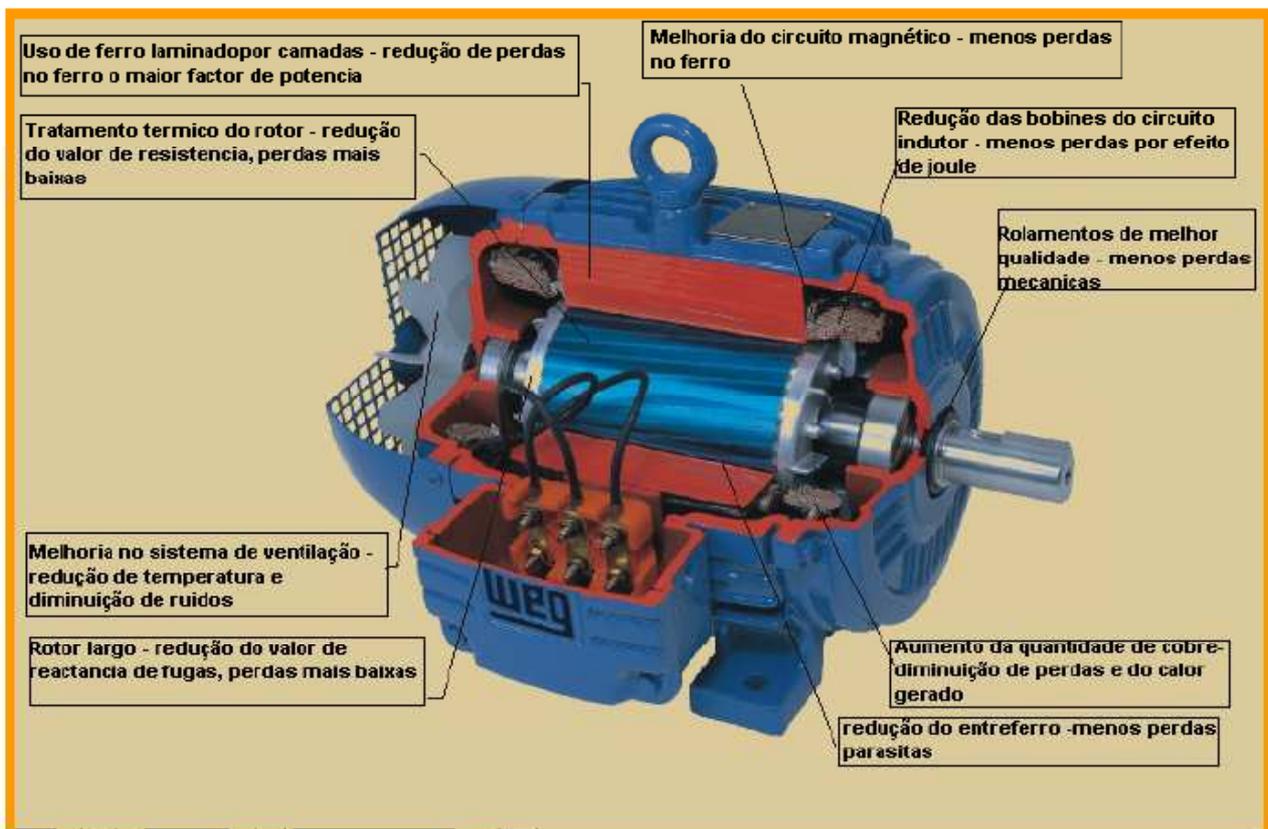


Figura 5 – Alterações nos motores de elevado rendimento [WEG]

O acréscimo de custos dos motores de alto rendimento é recuperado através da economia de energia eléctrica que proporcionam. O tempo de recuperação N do investimento suplementar devido à instalação de motores de alto rendimento, pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$N = \frac{\Delta I}{\Delta P \cdot K \cdot t} \quad (3)$$

em que,

- ΔI diferença de custos
- ΔP variação das perdas entre os dois motores
- K preço do kWh
- t tempo de utilização (horas)

Se por exemplo considerarmos um motor de 30kW a funcionar à plena carga durante 4000 horas anuais. Considerando um custo médio para a energia de 0,09€/kWh e que o rendimento dos motores EFF1 e EFF3 é respectivamente 93,2% e 91,4%, então a poupança anual de energia é de cerca de 228,2 €.

Considerando agora que a diferença de preço entre os dois motores é de 450€, então tempo de recuperação do capital devido à instalação do motor de elevado rendimento é de aproximadamente 2 anos.

Apesar de este ser apenas um exemplo e que usa pressupostos previamente estabelecidos, os valores encontrados são da mesma ordem de grandeza dos valores que se podem atingir na realidade. Para qualquer investimento em motores eléctricos efectuado, pelo menos, para 10 anos, os modelos de perdas reduzidas são fortemente competitivos.

6. Controlo de velocidade dos equipamentos de força motriz

Uma grande parte das aplicações em que se utiliza força motriz beneficiaria, em termos de consumo de electricidade e desempenho global, se a velocidade do motor se ajustasse às necessidades do processo. As aplicações com carga variável ou parcial representam cerca de 60% das aplicações de força motriz na indústria, e 80% no sector terciário. Assim, adaptar a velocidade do motor à carga conduz em geral a uma poupança substancial de energia. Os sistemas mais eficientes e mais utilizados no controlo e regulação de velocidade dos equipamentos de força motriz são os Variadores Electrónicos de Velocidade (VEV).

Os VEVs convertem a tensão alternada da rede de 50 Hz numa tensão contínua e em seguida numa tensão com frequência variável sob controlo externo do utilizador que pode ir de 0 a 150 Hz consoante o tipo de aplicações. Na figura 6 apresenta-se a estrutura de blocos de um VEV para um motor assíncrono de indução trifásico.

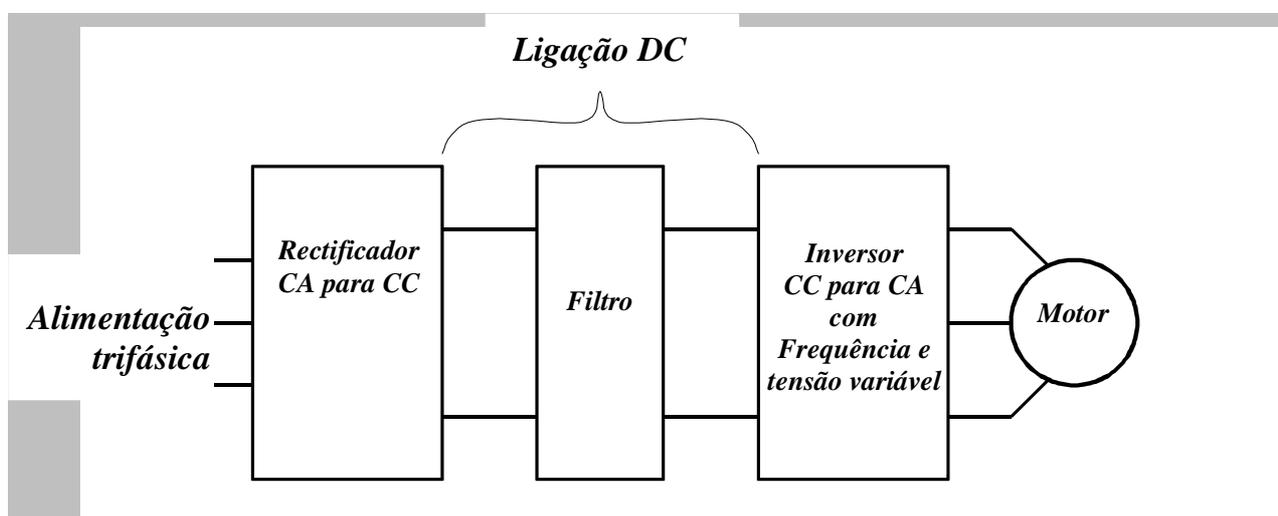


Figura 6– Diagrama de blocos de um Variador Electrónico de Velocidade

As principais vantagens inerentes à utilização de um VEV são as seguintes:

- Elevado rendimento (96 a 98%) e elevada fiabilidade
- Elevado factor de potência
- Adaptação do motor à carga, em binário e velocidade
- Arranques suaves (poupança de energia) e frenagem controlada
- Protecção do motor contra curto-circuitos, sobrecargas, sobretensões, falta de fase, etc. Vantagem técnica e económica
- Poupança substancial de energia e tempo de retorno do investimento reduzido, especialmente em aplicações de controlo de caudais de bombas, ventiladores e compressores centrífugos
- Menor desgaste de componentes e equipamentos mecânicos.

7. Transmissão Mecânica nos Equipamentos de Força Motriz

Tipicamente são usados 3 tipos de transmissão mecânica:

- Acoplamentos directos no veio;
- Engrenagens;
- Correias.

Os acoplamentos directos no veio são o tipo de transmissão mais utilizado (cerca de 50% das aplicações).

Acoplamentos directos:

Os acoplamentos directos, se forem alinhados com precisão, possuem um rendimento muito elevado (99%).

Engrenagens:

As engrenagens simples ou redutoras, são tipicamente utilizados em cargas que requerem velocidades baixas (abaixo de 1200 rpm) e binário muito elevado (que utilizando correias poderia resultar em escorregamento). Existem vários tipos de engrenagens: helicoidais, de dentes direitos, cónicas e com sem-fim.

Correntes:

Tal como as correias síncronas, as correntes não têm deslizamento. Normalmente são usadas em aplicações onde é requerido uma velocidade reduzida e binário elevado, suportam ambientes com temperaturas elevadas e cargas de choque e têm um tempo de vida elevado se forem apropriadamente lubrificadas. O seu rendimento ascende aos 98% se forem sujeitas a uma manutenção periódica.

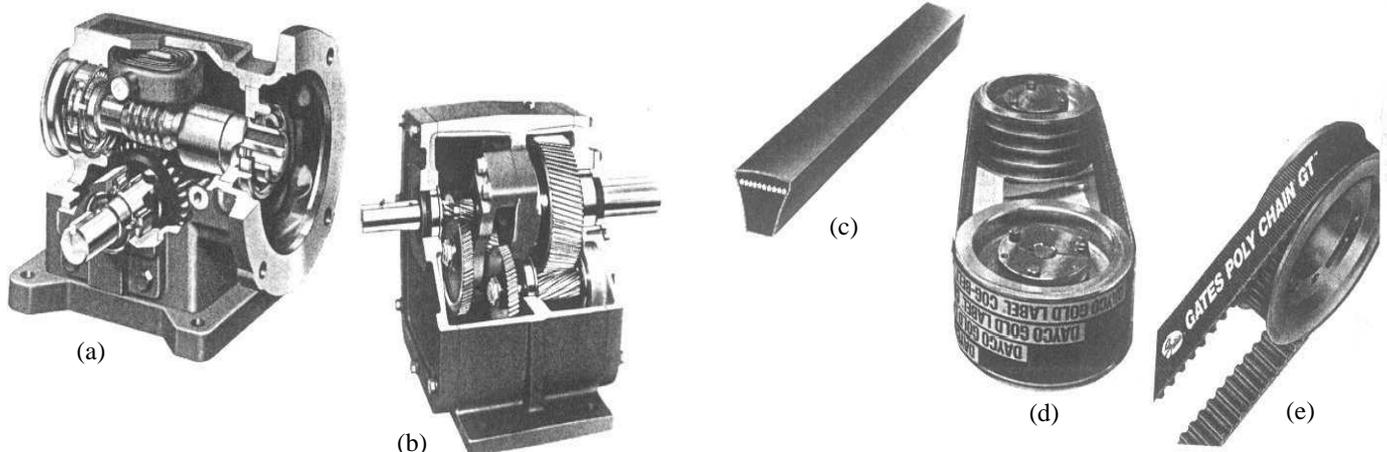


Figura 7 – Transmissão Mecânica em equipamentos de força motriz.

Correias:

Estas permitem mais flexibilidade no posicionamento do motor em relação à carga, e usando polias de diferentes tamanhos permitem reduzir/aumentar a velocidade. Existem vários tipos de correias: (a) Correias em V, (b) Correias com dentes, (c) correias síncronas, (d) correias lisas.

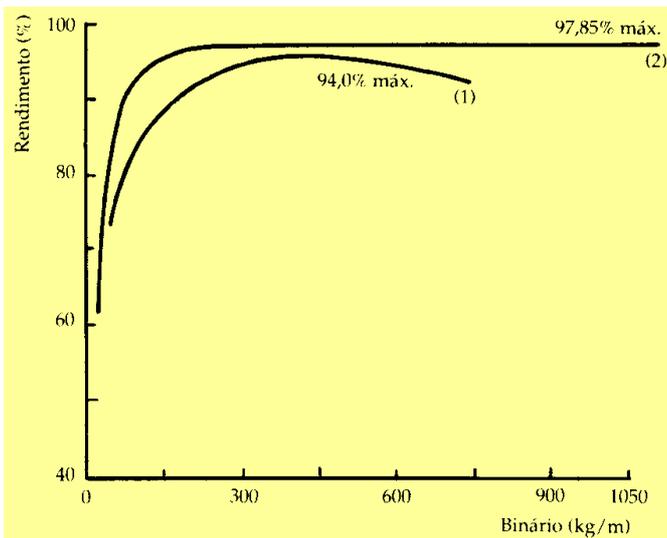


Figura 8 – Tipos de correias: 1-correias trapezoidais 2-correias síncronas

8. Considerações Finais

A produção de energia mecânica, através da utilização de motores eléctricos, absorve cerca de metade da energia eléctrica consumida no nosso País, da qual apenas metade é energia útil. Este sector é, pois, um daqueles em que é preciso tentar fazer economias, prioritariamente. Como se apresentou neste artigo, os pontos fundamentais em que se deve intervir são os seguintes:

- o Dimensionar correctamente os equipamentos de força motriz, fazendo os motores funcionar com cargas da ordem dos 70 a 80%.
- o Adaptar a velocidade do motor às necessidades do processo, utilizando sempre que necessário dispositivos electrónicos de variação de velocidade.
- o Utilizar os novos motores de “alto rendimento”, que já provaram a sua competitividade apesar do seu custo superior, devendo-se ponderar sempre que necessário a

sua utilização. Como se demonstrou neste artigo, os ganhos de eficiência com os motores de alto rendimento, vão desde 1% a 5%, o que se pode traduzir por importantes reduções do seu consumo eléctrico; contudo, pela sua concepção, são naturalmente motores que exigem um investimento inicial superior ao dos motores standard (cerca de 25% a 30%). Face a este acréscimo de custos de investimento, é conveniente efectuar-se uma análise económica prévia; pode no entanto, considerar-se tipicamente que, em situações de aquisição de novos motores, a sua utilização é normalmente justificada, sendo o sobrecusto amortizado em 1 a 2 anos, para um período de laboração da ordem das 4000 h/ano, e em cerca de 3 anos, para 2000 h/ano de funcionamento.

Atender às necessidades de manutenção dos motores, que são essencialmente a limpeza da carcaça, a fim de reduzir a temperatura, e nalguns casos a lubrificação dos rolamentos.

Fontes de Informação Relevantes

- BELEZA CARVALHO, J. A., MESQUITA BRANDÃO, Eficiência Energética em Equipamentos de Força Motriz. Jornadas Luso-Brasileiras de Ensino e Tecnologia em Engenharia. ISEP, Porto, Fevereiro de 2009.
- BELEZA CARVALHO, J. A., MESQUITA BRANDÃO, R. F., Efficient Use of Electrical Energy in Industrial Installations. 4TH European Congress Economics and Management of Energy in Industry. Porto, Novembro de 2007.
- CARLOS GASPAR, Eficiência Energética na Indústria-ADENE, Cursos de Utilização Racional de Energia, 2004.
- GARCIA, A. G. Impacto da Lei de Eficiência Energética para Motores Eléctricos no Potencial de Conservação de Energia na Indústria. 2003. Dissertação (Mestrado em Planeamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro-COPPE, Rio de Janeiro.
- IAN RENNIE, Improving Motor Efficiency for a Better Environment . ABB Review, 1/2000.
- WEG, Catálogo de Motores Eléctricos, disponível em <http://www.weg.com.br/>.