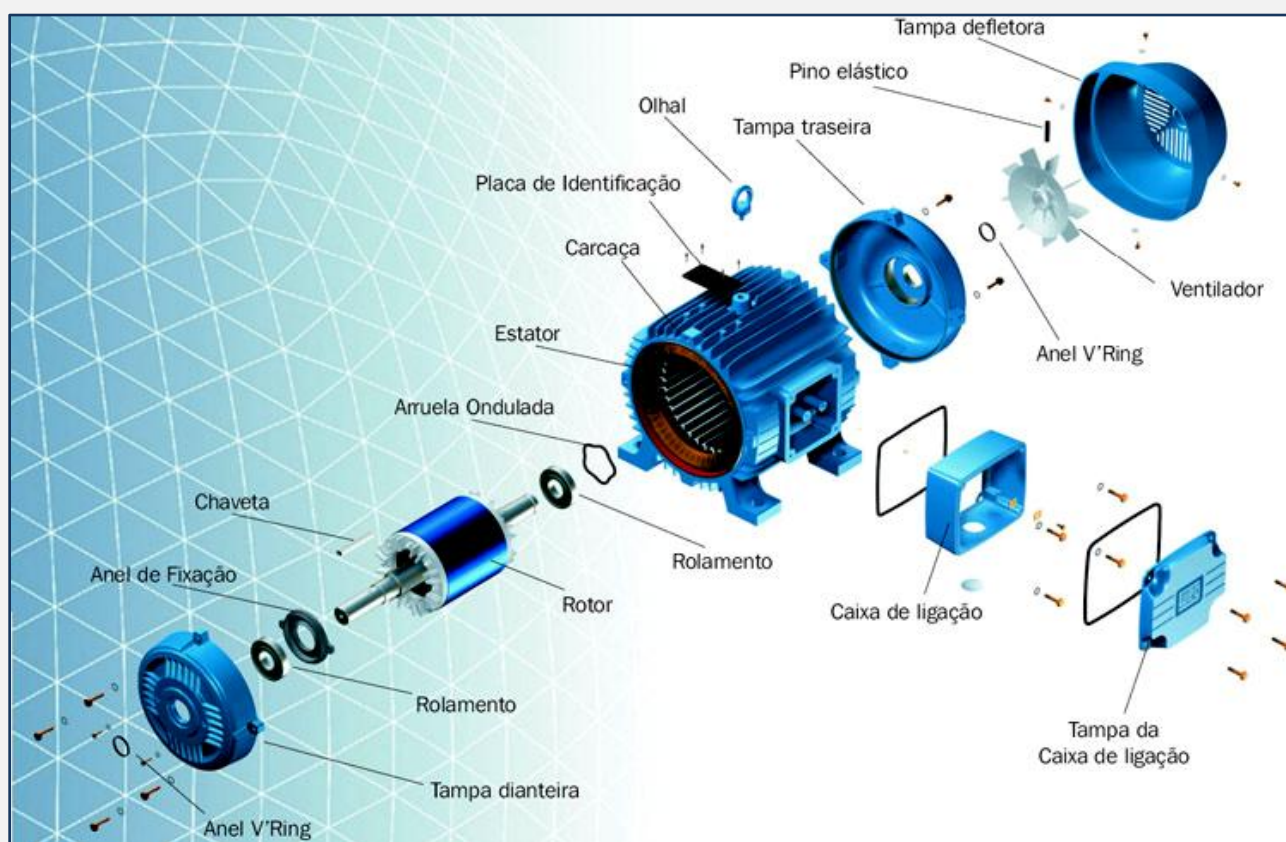


## Motores Electricos



Pag. 2 : Tabela Corrente Motores

Pag. 3 : Tabela Cabos Alimentação Motores

Pag. 4 : Generalidades sobre Sidas-Motores

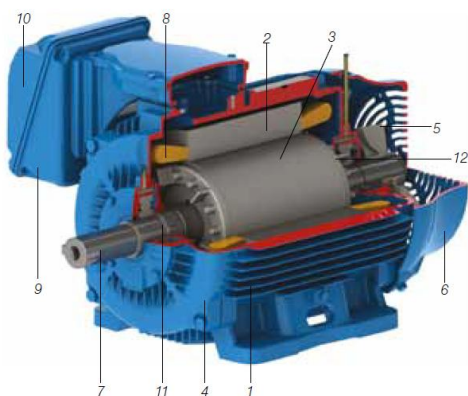
Pag. 5 : Motores Rendimento Melhorado

TABELA CORRENTE MOTORES					
Potência Motor			400 V Corrente Nominal Motor	Fusivel Arranque Directo	Fusivel Arranque Est / Tri
kW	cos φ	η [%]	A	A	A
0,06	0,7	58	0,21	2	–
0,09	0,7	60	0,31	2	–
0,12	0,7	60	0,41	2	–
0,18	0,7	62	0,6	2	–
0,25	0,7	62	0,8	4	2
0,37	0,72	66	1,1	4	2
0,55	0,75	69	1,5	4	2
0,75	0,79	74	1,9	6	4
1,1	0,81	74	2,6	6	4
1,5	0,81	74	3,6	6	4
2,2	0,81	78	5	10	6
3	0,82	80	6,6	16	10
4	0,82	83	8,5	20	10
5,5	0,82	86	11,3	25	16
7,5	0,82	87	15,2	32	16
11	0,84	87	21,7	40	25
15	0,84	88	29,3	63	32
18,5	0,84	88	36	63	40
22	0,84	92	41	80	50
30	0,85	92	55	100	63
37	0,86	92	68	125	80
45	0,86	93	81	160	100
55	0,86	93	99	200	125
75	0,86	94	134	200	160
90	0,86	94	161	250	200
110	0,86	94	196	315	200
132	0,87	95	231	400	250
160	0,87	95	279	400	315

- Correntes Motores Trifasicos Normais 1500 rpm / 50HZ
- Calibre Fusiveis para Protecção contra Curto-Circuitos.
- Arranque Directo : Max 6 x IN / 5 s
- Arranque Estrela-Triangulo : Max 2 x IN / 15 s
- Regular Rele Termico : 0,58 x IN

## TABELA ESCOLHA SECCÃO CABOS ALIMENTAÇÃO MOTOR

Tensão (V)	Distância do motor ao painel de distribuição ( metros )													
	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150
110	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150
220	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	180	200	250	300
380	35	50	70	80	100	140	170	200	240	280	310	350	430	520
440	40	60	80	100	120	160	200	240	280	320	360	400	500	600
Corrente (A)	Bitola do fio ou cabo ( condutor em mm <sup>2</sup> )													
	2,5	2,5	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	10	10	16	16
7	2,5	2,5	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	10	10	16	16
9	2,5	2,5	2,5	4	4	6	10	10	10	10	16	16	16	25
10	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	10	16	16	16	25	25
13,5	2,5	4	4	6	6	10	10	16	16	16	25	25	25	35
18	2,5	4	6	10	10	10	16	16	25	25	25	25	35	50
24	4	6	10	10	10	16	25	25	25	35	35	35	50	50
31	6	10	10	16	16	25	25	35	35	35	50	50	70	70
42	10	10	16	16	25	25	35	35	50	50	70	70	95	95
56	16	16	16	25	25	35	50	50	70	70	70	95	120	120
73	25	25	25	25	35	50	50	70	70	95	95	120	150	150
89	35	35	35	35	50	50	70	95	95	120	120	150	185	185
108	50	50	50	50	50	70	95	95	120	120	150	150	185	240
136	70	70	70	70	70	95	95	120	150	150	185	185	240	300
164	95	95	95	95	95	95	120	150	185	185	240	240	300	400
188	120	120	120	120	120	120	150	185	185	240	240	300	400	400
216	150	150	150	150	150	150	150	185	240	240	300	300	400	500
245	185	185	185	185	185	185	185	240	240	300	300	400	500	500
286	240	240	240	240	240	240	240	240	300	400	400	400	500	630
328	300	300	300	300	300	300	300	300	400	400	500	500	630	800
390	400	400	400	400	400	400	400	400	400	500	500	630	800	800
447	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	630	630	800	1000
514	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	800	1000	-
593	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	1000	-	-
679	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	-	-



### Rotor

- Eixo ( 7 ) - transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor.
- Núcleo de chapas ( 3 ) - as chapas possuem as mesmas características das chapas do estator.
- Barras e anéis de curto-circuito ( 12 ) - são de alumínio injetado sob pressão numa única peça.

Outras partes do motor de indução trifásico:

- Tampa ( 4 )
- Ventilador ( 5 )
- Tampa defletora ( 6 )
- Caixa de ligação ( 9 )
- Terminais ( 10 )
- Rolamentos ( 11 )

### A coordenação dos aparelhos

Os diferentes aparelhos de uma saída-motor devem estar coordenados entre si. A norma IEC 60947-4-1 define 3 tipos de coordenação, segundo o estado de funcionamento dos aparelhos após um teste de curto-circuito normalizado:

#### Coordenação tipo 1

- Nenhum perigo para pessoas e instalações.
- O contactor e/ou o relé térmico podem ficar danificados.
- Antes de voltar a arrancar, a reparação ou substituição de alguns componentes pode ser necessária.

#### Coordenação tipo 2

- Nenhum perigo para pessoas e instalações.
- Não é permitido qualquer dano nem desregulação. O risco de soldadura dos contactos é admitido se estes puderem ser separados facilmente.
- O isolamento deve ser conservado após o incidente, a saída-motor deve estar em estado de funcionar após o curto-circuito.
- Antes da recolocação em serviço, uma inspecção rápida é suficiente.

#### Coordenação total

- Nenhum dano nem risco de soldadura é aceite para a aparelhagem que constitui a saída. A recolocação em serviço pode ser feita sem manutenção. Este nível é obtido pelas soluções integradas num aparelho, tipo Tesys U.

### A categoria de emprego dos contactores

Para a solução de saída-motor considerada, a categoria de emprego dos contactores determina o seu comportamento em termos de frequência de utilização e tempo de vida. Esta escolha, que depende das condições de funcionamento impostas pela aplicação, pode levar a sobredimensionar o contactor e a protecção por disjuntor. A norma IEC 60947 define as seguintes categorias de emprego dos contactores.

#### Categorias de emprego dos contactores (para corrente alternada)

Categoria de emprego do contactor	Tipo	Tipo de comando (contactor)	Exemplo de aplicações
AC1	Não indutiva ( $\cos \varphi \geq 0,95$ )	Colocação sob tensão	Aquecimento, distribuição
AC2	Motor de rotor bobinado ( $\cos \varphi \geq 0,65$ )	Arranque Corte de motor lançado Travagem por contra-corrente Marcha por impulsos	Teares
AC3	Motor de rotor em curto-circuito ( $\cos \varphi = 0,45$ para $\leq 100$ A) ( $\cos \varphi = 0,35$ para $> 100$ A)	Arranque Corte de motor lançado	Compressores, elevadores, bombas, misturadores, escadas rolantes, ventiladores, transportadores, climatizadores
AC4		Arranque Corte de motor lançado Travagem por contra-corrente Inversão do sentido de marcha Marcha por impulsos	Máquinas de imprensa, teares Elevação

#### Categoria de emprego AC3: tabelas de coordenação de disjuntores-contactores correntes

Esta categoria diz respeito a motores assíncronos de rotor em curto-circuito cujo corte se efectua com o motor lançado; esta é a utilização mais corrente (85% dos casos). O contactor estabelece a corrente de arranque e corta a corrente nominal sob uma tensão de mais ou menos 1/6 do valor nominal. O corte é fácil de efectuar. As tabelas de coordenação disjuntor-contactor dos Compact NSX são previstas para uma associação com contactores desta categoria de emprego AC3, para a qual garantem uma coordenação do tipo 2.

#### Categoria de emprego AC4: eventual sobredimensionamento

Esta categoria diz respeito a motores assíncronos com rotor em curto-circuito que podem funcionar com travagem por contra-corrente ou marcha por impulsos. O contactor estabelece a corrente de arranque e pode cortar esta mesma corrente sob uma tensão que pode ser igual à da rede. Estas condições difíceis impõem o sobredimensionamento do contactor e, em geral, do disjuntor de protecção em relação à categoria AC3.

## Resumo

Com base na análise de características de funcionamento de motores de indução de "rendimento melhorado" (EFF2 e EFF1), obtidas por determinação das suas evoluções médias em função da potência nominal e do número de pólos magnéticos do motor, põem-se em evidência as vantagens da sua adopção face aos tradicionais motores de rendimento "normal" (EFF3).

## Introdução

Desde sempre que os técnicos procuram encontrar soluções que, sem perda ou até melhoria de qualidade, garantam um menor consumo de energia.

Tal preocupação, que naturalmente abrange o sector da energia eléctrica, tem vindo a tornar-se cada vez mais prioritária, seja pela escassez de recursos primários (problema antigo), seja pela crescente consciencialização ecológica.

É neste contexto que deve ser inserida a constante procura de novas fontes energéticas, se possível mais "limpas" e seguras, a par da continuada evolução de especificações de projecto e de procedimentos de fabrico de equipamentos consumidores de energia eléctrica, nomeadamente tratando-se de motores.

Portugal também não foge a esta regra, já que a sua dependência energética é grande e o seu consumo em

termos de energia eléctrica tem vindo a crescer de forma continuada (ver Fig. 1), evidenciando um peso relativo importante de sectores que recorrem largamente ao emprego de motores eléctricos (ver Fig. 2) que, de uma forma predominante, são do tipo de indução trifásicos.

De tudo isto resulta que o recente aparecimento no mercado dos chamados motores de rendimento melhorado – fruto de um acordo específico, celebrado pela Comissão Europeia com o CEMEP (Comité Europeu de Fabricantes de Máquinas Eléctricas e de equipamentos e sistemas de Electrónica de Potência) – e da sua crescente implantação, põem na ordem do dia a necessidade de uma

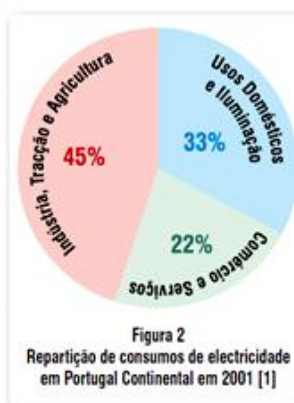
# Motores Eléctricos de Rendimento Melhorado

## Uma boa aposta!

Carlos Araújo Sá \*

análise crítica das suas reais vantagens técnico-económicas, particularmente numa óptica do utilizador.

É o que se pretende fazer no presente trabalho, tomando por base uma amostra de motores de indução trifásicos comercialmente disponíveis, oriundos de vários fabricantes com instalações fabris sediadas no espaço europeu, como parte de um estudo mais vasto que o autor tem vindo a levar a cabo na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.



sição entre os respectivos rendimentos.

O acordo estabeleceu ainda que, no quinquénio 1998-2003, as vendas europeias de motores EFF3 deveriam ser reduzidas a metade, para posterior evolução para uma oferta exclusiva de motores EFF2 (actuais motores de rendimento "melhorado" e, futuramente, ditos de rendimento "nor-

mal") e EFF1 (futuros motores de "alto rendimento").

Correspondendo a transição entre as classes estabelecidas a significativas reduções das perdas verificadas em regime nominal – -20% e -40%, respectivamente para motores EFF2 e EFF1 – a aplicação prática do acordo CE/CEMEP tem, apesar de tudo, superado as expectativas mais optimistas, como o comprovam (ver Fig. 3) os resultados publicitados pelo último Relatório de Acompanhamento disponível: no final de 2002 e para motores de 4 pólos, a penetração de novos motores EFF3 foi reduzida a 12% (era de mais de 2/3 em 1998!) e a de novos motores EFF1 já ascendia a 4,1% (era de 2,1% em 1998).

## Análise Comparativa

Pese embora o facto de estarmos firmemente convencidos que a transição preconizada é já imparável e que, daqui a alguns anos, ninguém se lembrará dos "velhos" motores EFF3 – aliás, tal como aconteceu há 3 décadas atrás com os transformadores eléctricos de "perdas normais", de "perdas reduzidas" e de "perdas extra-reduzidas" – num momento como este, em que se perfilam decisões

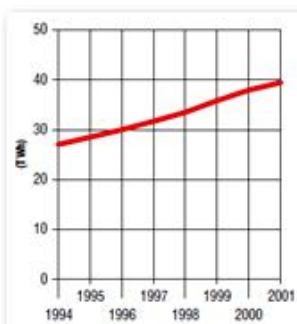


Figura 1 - Evolução (1994-2001) do consumo de energia eléctrica em Portugal Continental [1]

## Motores de Rendimento Melhorado

Os chamados motores de rendimento melhorado (MRM) são motores de indução trifásicos surgidos na sequência do mencionado acordo CE/CEMEP, estabelecido em 1998 [2].

Em traços gerais, tal acordo estipula que os menciona-

dos motores, para aplicações gerais de baixa tensão, 50 ou 60Hz, com potências nominais compreendidas entre 1,1 e 90kW, com 2 e 4 pólos magnéticos, deverão ser classificados de acordo com os valores declarados para os respectivos rendimentos nominais.

Para o efeito, foram criadas três classes de rendimento – EFF1, EFF2 e EFF3, por ordem decrescente de eficiência e em que a última classe foi atribuída aos motores então predominantes – e estipuladas as fronteiras de tran-



Figura 3 - Evolução de quotas no mercado europeu (1998-2002)

sobre qual o tipo de motores em que vale a pena investir, faz todo o sentido comparar as principais características de funcionamento dos motores oferecidos em cada uma das classes de rendimento disponibilizadas.

#### (A) Escolha da Amostra

Pretendendo-se comparar as principais características de funcionamento de motores EFF1, EFF2 e EFF3, tomou-se necessário eleger uma amostra significativa de cada um daqueles tipos de motores e, a partir dela, estabelecer valores médios credíveis.

Estando disponível a base de dados EuroDEEM 2000 e o correspondente Catálogo de Motores [3], desenvolvida sob os auspícios da Direcção Geral de Energia da Comissão Europeia, cedo se verificou a sua desactualização num período de grande evolução e a não abrangência de dados técnicos necessários a posteriores estudos comparativos mais detalhados. Daí o ter-se privilegiado a recolha directa de características técnicas provenientes de diferentes fabricantes de motores eléctricos, assim se constituindo uma base de dados parcelar julgada suficientemente relevante.

Neste contexto, foram analisadas e tratadas as características de funcionamento de mais de uma centena de motores de indução trifásicos, provenientes de nove fabricantes sediados no espaço comunitário europeu (incluindo os dois que actualmente se encontram sediados em Portugal). Tais motores, com 2 e 4 pólos, cobrem todos os escalões normalizados de potência nominal, naturalmente dentro dos limites fixados no acordo CE/CEMEP – como se disse, entre 1,1 e 90kW.

#### (B) Características Comparadas

Tratando-se de motores eléctricos e numa óptica do seu utilizador, não surpreende que o lote de características de funcionamento escolhidas para comparação deva incluir:

- ▶ o rendimento nominal;
- ▶ características mecânicas, nomeadamente em termos de binário desenvolvido e de velocidade de rotação;
- ▶ características eléctricas, particularmente ao nível da corrente absorvida e correspondente factor de potência.

Relativamente ao primeiro item – *rendimento nominal* – que, não é demais lembrar, serviu de impulso à evolução imposta a este tipo de motores, ele estará sempre na base de qualquer análise de viabilidade/benefício

económico de um novo investimento. Mas, por outro lado, também permitirá verificar até que ponto já hoje se consegue suplantar, em termos industriais, os requisitos mínimos estabelecidos há cinco anos atrás. É, pois, uma característica fundamental na comparação realizada.

Relativamente ao segundo item – *características mecânicas* – e estando fixados os valores nominais para a potência dos motores, fácil é concluir que a comparação deve incidir sobre:

- ▶ a *velocidade nominal* (ou o seu correspondente valor relativo de *deslizamento*) – fixa os limites de variação da velocidade do motor na sua zona normal de funcionamento, desde o vazio à plena carga;

- ▶ o *binário máximo* – fixa a capacidade de sobrecarga mecânica do motor, assim indiciando a estabilidade do seu funcionamento;

- ▶ o *binário de arranque directo* – ajuda a avaliar a capacidade de aceleração do accionamento promovido e a tirar conclusões sobre estratégias aconselháveis para o seu desejado controlo.

Finalmente, dentro do terceiro item – *características eléctricas* – assumem particular interesse comparativo:

- ▶ o *factor de potência nominal* – para além de condicionar o valor nominal da corrente absorvida pelo motor, evidencia a maior ou menor necessidade de futura compensação da energia reactiva requerida pelo mesmo;
- ▶ a *corrente de arranque directo* – condiciona o dimensionamento da instalação eléctrica de alimentação do motor.

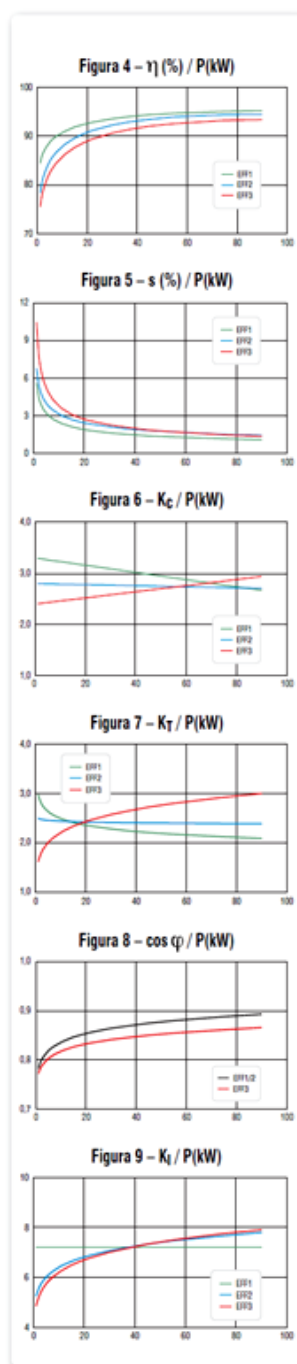
Claro que, do exposto, se pode concluir que outras características há cujo interesse comparativo se tornaria interessante para o respectivo utilizador do motor, mas não se pode esquecer que se limitou esta análise a motores *standard*, vulgarmente escolhidos por catálogo técnico-comercial, onde, infelizmente, escasseiam informações técnicas mais detalhadas.

#### (C) Resultados Obtidos

Escolhendo os motores de 4 pólos, para 400V - 50Hz (dado serem os de utilização mais vulgar na indústria portuguesa), a comparação dos respectivos rendimentos nominais, tomados como valores médios dos declarados para cada classe e, dentro destas, para cada escalão da respectiva potência nominal, é a indicada na Fig. 4.

Como seria de esperar, os acréscimos de rendimento são mais sensíveis nas baixas potências nominais – até 11kW em que chegam a atingir [5 – 10] pontos percentuais (EFF1 vs EFF3) e [2 – 3] pontos percentuais (EFF2 vs EFF3) – mas também significativos nas altas potências nominais – respectivamente, cerca de 1 e de [2 – 3] pontos percentuais para motores com mais de 37kW.

Ao nível do deslizamento nominal declarado para cada classe de motores (ver Fig. 5), verifica-se uma clara diminuição do respectivo valor à medida que se transita entre classes de eficiência crescente, diminuição esta naturalmente mais sensível nos motores de menor potência nominal, em que quase se chega a atingir uma redução para metade – realce-se, a este propósito, que o deslizamento nominal dos motores assíncronos mede o desvio relativo



da velocidade do seu rotor para a chamada velocidade de sincronismo, sendo esta praticamente verificada em vazio e que, nos motores considerados, vale 1500rev/min. Já no respeitante ao binário máximo desenvolvido pelo motor (ver Fig. 6, em que foi expresso pela razão  $K_c = T_M/T_n$ ), verifica-se um crescimento deste valor em motores de potência pequena e média (até 45kW), o que já não acontece em motores maiores. Ainda no respeitante às características mecânicas, a evolução do binário de arranque directo capaz de ser desenvolvido pelo motor (ver Fig. 7, em que foi expresso pelo factor  $K_T = T_a/T_n$ ) evidencia e amplifica as tendências já verificadas para o valor do binário máximo: para motores pequenos (até 18,5kW), o valor relativo do binário de arranque directo cresce para motores pertencentes à classe de maior eficiência, acontecendo o contrário em motores de maior potência nominal. No capítulo das características eléctricas dos motores estudados, e no respeitante ao respectivo factor de potência nominal (ver Fig. 8), é também evidente a evolução favorável sofrida em motores de classe de eficiência mais elevada, mas agora com dois aspectos relevantes: maior acréscimo em motores de potência elevada e prática coincidência entre motores pertencentes às classes EFF2 e EFF1. Finalmente, e no que respeita à corrente de arranque directo (ver Fig. 9, em o factor  $K_I = I_a/I_n$  foi utilizado para o efeito), torna-se evidente a semelhança de valores ( $K_I = [5 - 8]$ ) e de tendências de evolução (crescente com a potência nominal do motor) correspondentes a motores das classes EFF2 e EFF3, e a prática independência, face à respectiva potência nominal, em motores da classe EFF1 – para estes,  $K_I = [7,0 - 7,5]$  torna-se um valor empírico de referência.

### Conclusões

Do exposto nas secções anteriores, tornam-se evidentes as vantagens técnicas dos motores de rendimento melhorado, em particular dos motores de “alto rendimento” (EFF1). Se a elas adicionarmos outros dados relevantes, nem sempre explícitos nos catálogos dos respectivos fabricantes, como sejam:

- ▶ curvas de rendimento mais favoráveis, por deslocação do regime de rendimento máximo para menores valores da fracção de carga;

- ▶ aquecimentos nominais mais reduzidos, sem empobrecimento da classe de isolamento utilizada,
- ▶ mais se reforçam as vantagens do emprego dos referidos motores de “alto rendimento”.

Claro que, a este propósito e em contraposição com as afirmações anteriores, é sempre possível argumentar que um motor EFF1 terá necessariamente um preço de aquisição superior ao seu equivalente EFF2 (actualmente +20%, presumindo-se a sua futura atenuação).

Sendo verdadeira tal afirmação, não é demais recordar que o custo de aquisição de um motor de indução trifásico constitui apenas uma pequena parcela do custo total associado a toda a vida útil do mesmo (incluindo gastos de exploração), sendo as diferenças amortizáveis mais ou menos rapidamente.

É o que se exemplifica no Quadro 1, em que se consideraram dois motores para 400V-50Hz, 4 pólos, actualmente comercializados em Portugal, tendo-se assumido um custo efectivo de aquisição da energia eléctrica igual a 0,0671€/kWh e, por questões de simplicidade, um funcionamento permanente em regime nominal, ao longo de 8h/dia, 22dias/mês e 11 meses/ano.

Da análise do Quadro 1, rapidamente se percebe a actual popularidade da opção por motores EFF2 e o relativo atraso na penetração dos EFF1 (que, como afirmado, se espera venha a desaparecer num futuro próximo).

QUADRO 1 – Custos (aquisição e exploração)

	Classe	EFF1	EFF2
4 kW	Preço (€)	220,00	186,00
	$\eta$ (%)	88,6	87,1
	Consumo (kW)	4,51	4,59
	Custo (€/ano)	586,48	596,58
90 kW	Preço (€)	4.021,00	3.296,00
	$\eta$ (%)	95,3	94,2
	Consumo (kW)	94,4	95,5
	Custo (€/ano)	12.268,10	12.411,36

Para terminar esta análise, convém ainda referir os seguintes aspectos complementares:

- ▶ *interpretação* de valores declarados: no respeitante a motores *standard*, os valores declarados pelos fabricantes nos seus catálogos admitem certas tolerâncias e presumem a observância de Normas de Ensaio. Ora, acontece que, por um lado e em nosso entender, as tolerâncias admitidas na declaração do valor nominal do rendimento

deste tipo de motores são demasiado “permissivas”, nem sempre facilitando a comparação de soluções alternativas. Adicionalmente, certas divergências entre o estipulado nas normas CEI 60034 e 61972 – na actualidade, ambas passíveis de aplicação a estes motores – e, até, aspectos polémicos relacionados com procedimentos de ensaio prescritos nas mesmas, podem aumentar a dificuldade de quem tem a missão de decidir entre alternativas colocadas à sua disposição;

- ▶ *utilização racional*: em última análise, é sempre de ter presente que o consumo energético de qualquer equipamento eléctrico depende, em boa medida, do regime de cargas a que o mesmo irá ser sujeito ao longo da sua vida útil, pelo que de pouco servirá usar um MRM se as demais características técnicas do mesmo não estiverem bem adaptadas à função que o mesmo irá desempenhar;

- ▶ *cuidados de manutenção*: tendo o fabricante feito um esforço no sentido da diminuição das perdas totais verificadas no motor, com certeza procurou otimizar o projecto e os procedimentos de fabrico dos seus diversos componentes, incluindo os mais sujeitos a cuidados de manutenção periódica (rolamentos) e correctiva (enrolamento estatístico; ventilador). Daí o cuidado a ter para que eventuais intervenções no motor, ao longo da sua vida útil, sejam realizadas por forma a não originar uma desnecessária degradação das características de rendimento do mesmo.

### Agradecimentos

O autor agradece a todos os fabricantes de motores eléctricos e aos seus representantes em Portugal, sem cuja disponibilidade teria sido difícil realizar este estudo.

\* Eng.<sup>o</sup> Electrotécnico

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
Tel.: 22 508 16 64 – Fax: 22 508 14 43  
E-mail: cas@fe.up.pt

### REFERÊNCIAS

- [1] <http://www.dge.pt>
- [2] <http://www.cemep.org>
- [3] <http://iamest.jrc.it/projects/eem/eurodeem.htm>



## Os nossos princípios:

- Ética Profissional e Responsabilidade Social
- Satisfação dos clientes, colaboradores e fornecedores
- Qualidade de produtos, serviços e soluções
  
- Competência, Eficácia e Seriedade

**ARCEL**

Tel: 258 521 867 / Fax: 258 521 834

E-mail: [arcelvez@sapo.pt](mailto:arcelvez@sapo.pt)