GESTÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA

João Martins (jf.martins@fct.unl.pt)

Faculdade de Ciências e Tecnologia

(MIEEC + MEER)

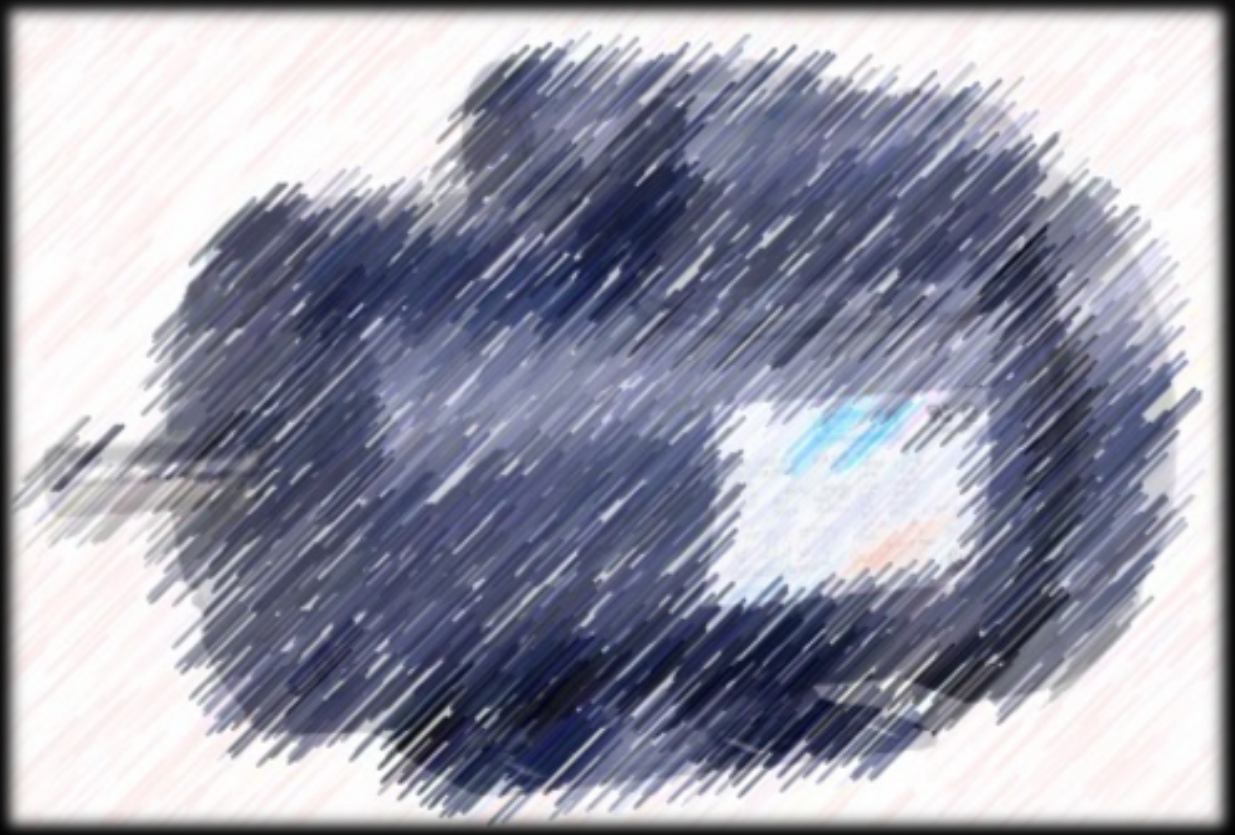
Eficiência em sistemas de força motriz

- Força motriz elétrica
- Sistemas de força motriz
- Motores de alto rendimento
- Sistemas de acionamento eletromecânico
- Sistemas de acionamento de velocidade variável em sistemas de bombagem

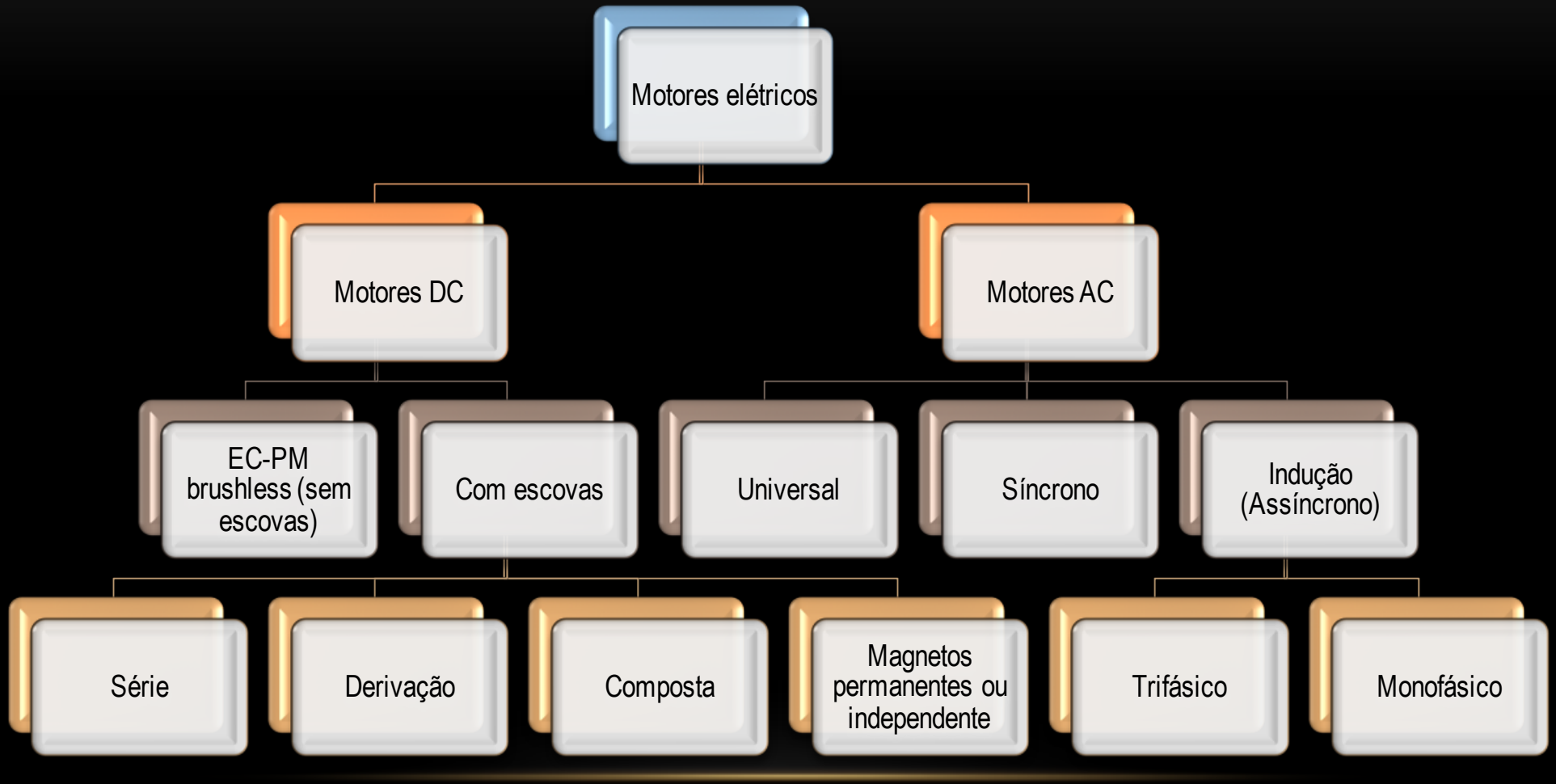
Objetivos

- Perceber a influencia dos sistemas de motorização elétrica no consumo elétrico mundial
- Perceber como é composto um sistema de força motriz
- Perceber as vantagens associadas à utilização de motores de alto rendimento
- Perceber a influencia dos restantes componentes de um sistema de acionamento eletromecânico na eficiência global do sistema
- Perceber as vantagens da utilização de sistemas de velocidade de acionamento variável

FORÇA MOTRIZ ELÉTRICA



MOTORES ELÉTRICOS



UTILIZAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ

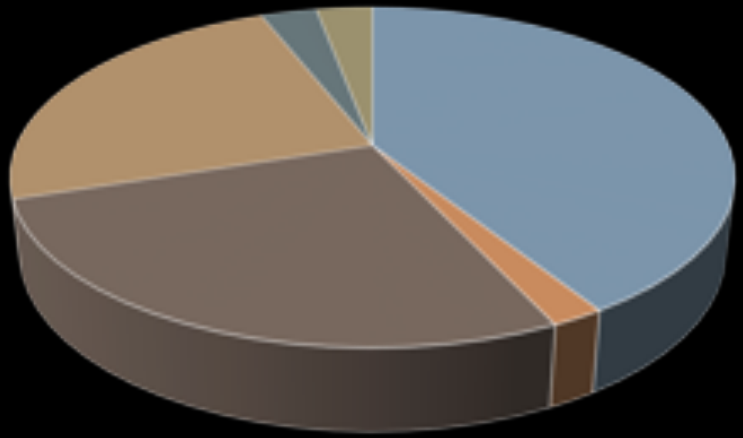
- A força motriz elétrica corresponde a 46% do consumo total de eletricidade
- A maior parte dos motores estão abaixo de 750 W
  - Mas apenas representam 9% do consumo total
- A maior parte do consumo de eletricidade para motorização corresponde a motores de media potencia (0,75 – 375 kW)
- Motores de elevada potencia são geralmente mais eficientes
- Podem existir perdas elevadas devido a desajustes entre a carga e a potencia nominal de motores de velocidade constante

UTILIZAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ



UTILIZAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ

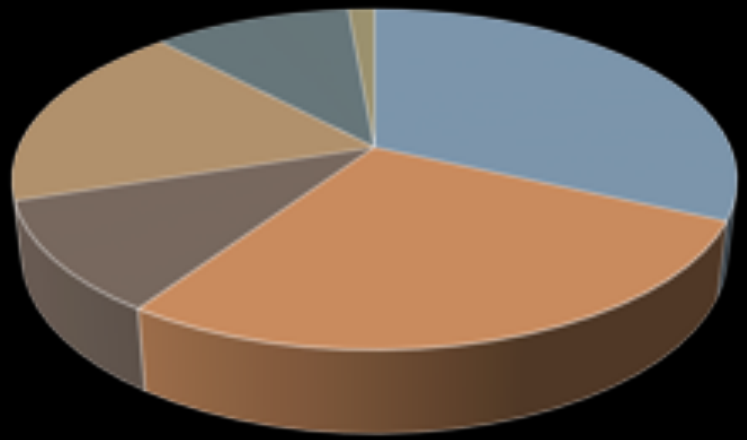
Consumo de energia elétrica por setor



- Industria (41%)
- Transportes (2%)
- Residencial (27%)
- Comércio e serviços públicos (24%)
- Agricultura, florestas e pescas (3%)
- Outros (3%)

UTILIZAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ

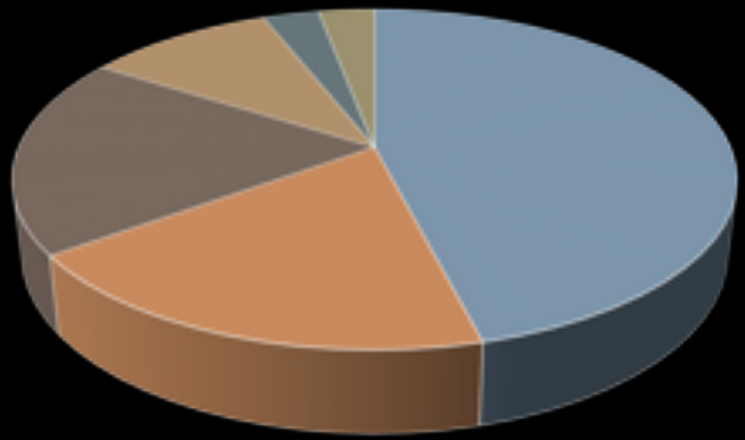
Consumo de energia em motorização elétrica por setor



- Industria (61%)
- Residencial (13%)
- Agricultura, florestas e pescas (1%)
- Transportes (3%)
- Comércio e serviços públicos (21%)
- Outros (3%)

UTILIZAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ

Consumo de energia elétrica por utilização



- Motores (46%)
- Iluminação (19%)
- Aquecimento (19%)
- Eletrónica (10%)
- Eletrolise (3%)
- Stand-by (3%)

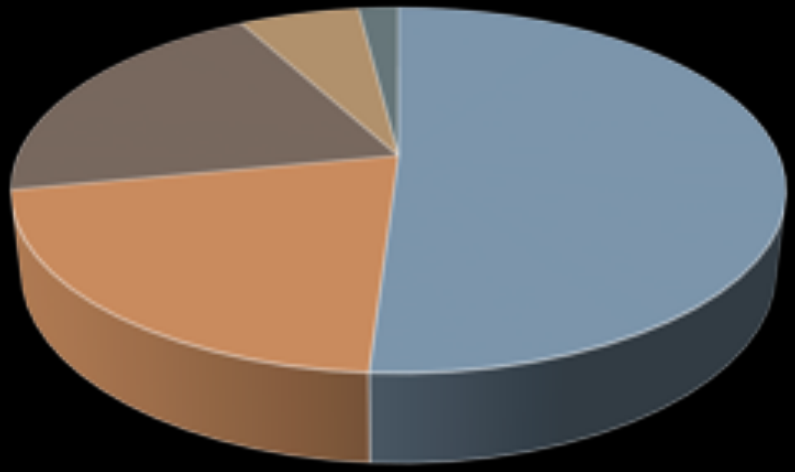
UTILIZAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ

Consumo de energia em motorização elétrica por setor

- Industria (70%)
  - Processos industriais
- Comércio (39%)
  - Ar condicionado
- Agricultura (20-25%)
  - Bombas e ventoinhas
- Residencial (20-25%)
  - Refrigeração e ar condicionado
- Transportes (60%)
  - Tração elétrica ferroviária

UTILIZAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ

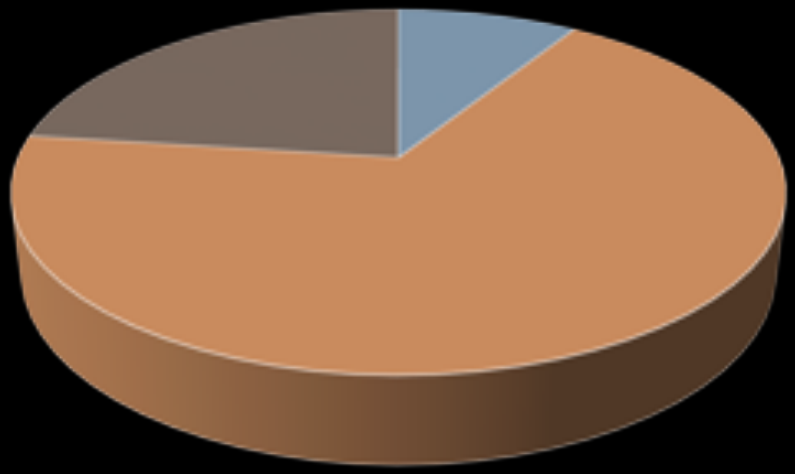
Consumo de energia elétrica na industria por utilização



- Força Motriz (51%)
- Processos Electroquimicos (21%)
- Aquecimento (20%)
- Refrigeração (6%)
- Iluminação (2%)

UTILIZAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ

Consumo de energia elétrica por potencia de motor



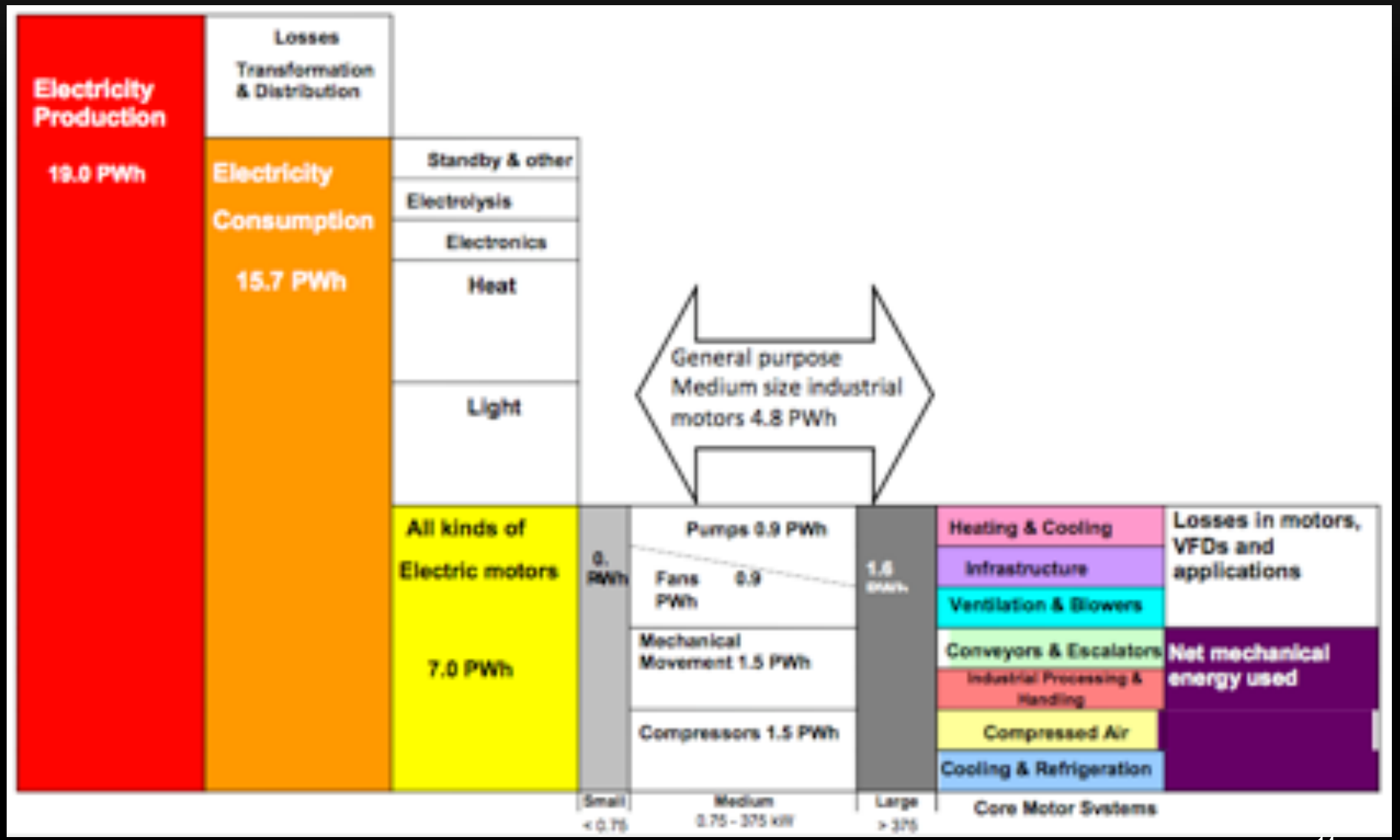
- Potencia pequena [<750W] (9%)
- Potencia media [0,75-375kW] (68%)
- Potencia elevada [>375kW] (23%)

UTILIZAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ

Electric motors	Applications	**Pumps**		**Drinking Water**	**Water/refrigerant**	**Sewage**	**Oil**
Rotating machines			Closed loop	Closed water supply system	Heating, cooling and chilling system	Pressure sewage system	Hydraulik pumps
			Open pipe	Water supply system	Irrigation, cooling tower	Sewage system	Pipeline
		Fans		**Air**	**Gas**		
				Room air supply and exhaust, blowers	Natural gas systems		
		Compressors		**Refrigerant**	**Air**	**Gas**	
				Cooling machines for AC and commercial freezers, refrigerators and freezers	Compressed air storage and distribution system, pneumatic systems	Liquification systems	
		Rotating/mix/stir		**Roller, rotors**	**Extruder**	**Textil handling**	**Mixers, stirring**
			Solid	Metall, stone, plastics	Aluminium, plastics	Weaving, washing, drying	Food, colour, plastics
			Liquid				Food, colour, plastics
		Transport		**People**	**Goods**	**Vehicles**	
			Vertical	Passenger elevator	Goods elevator, cranes, hoists		
			Inclinded	Escalator	Conveyor	Cog wheel train, cable car, ropeway	
			Horizontal	Conveyor	Conveyor	Train, tram, trolley, cars, busses, electric cars, bikes and bicycles	
Linear motors				**Open/close**	**Sort**	**Grab & Place**	
Back & forth movement				Valve		Robot	
Stepper motor				**Open/close**	**Position**		
Angular position				Valve	Servo		

Fonte: P. Waide and C. Brunner, 2011

UTILIZAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ

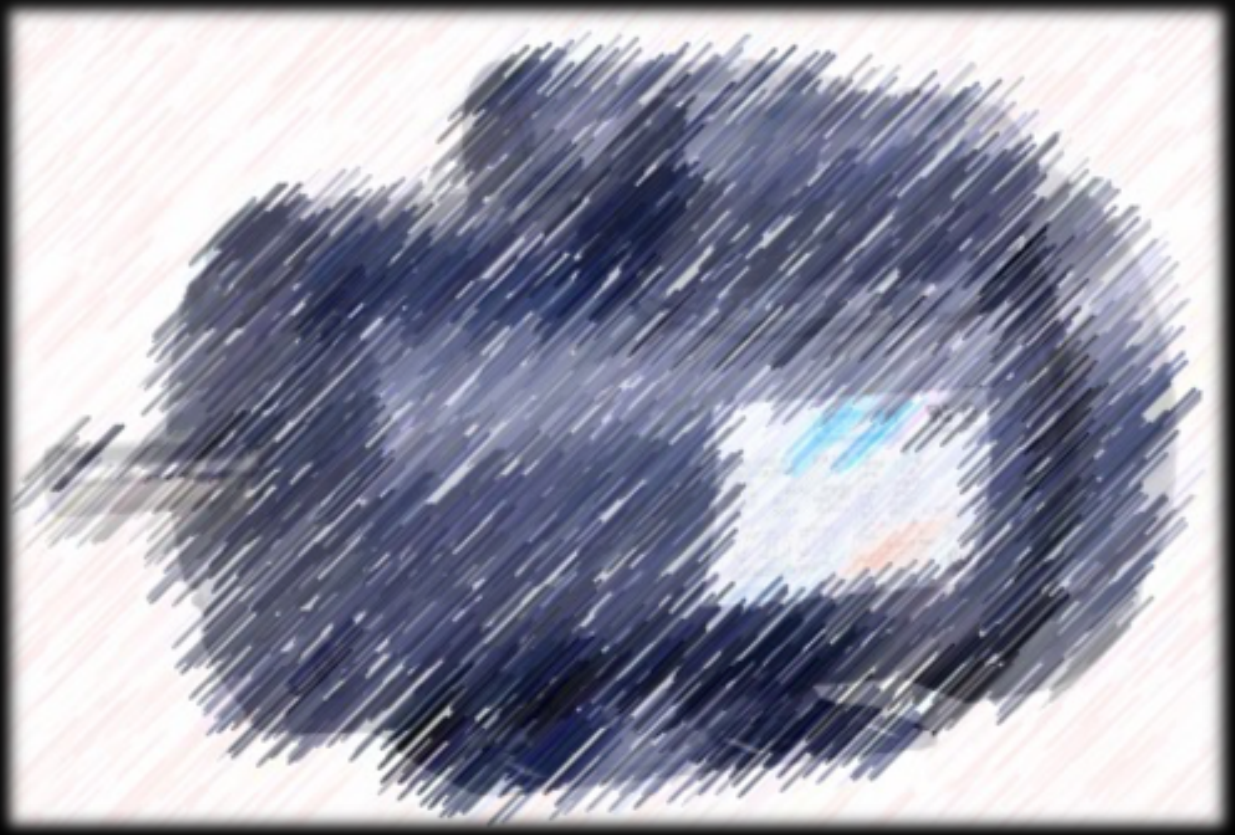


Fonte: P. Waide and C. Brunner, 2011

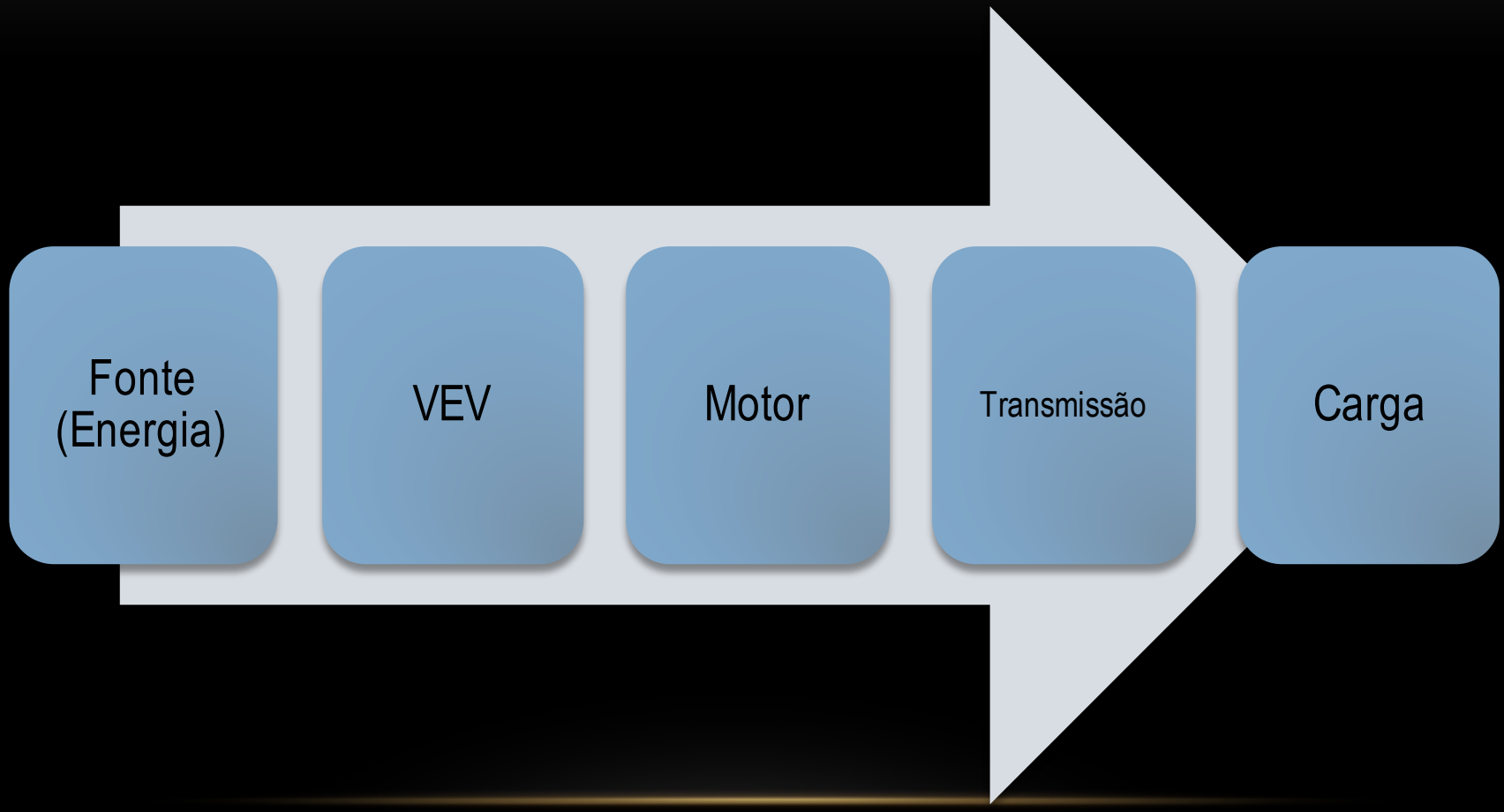
UTILIZAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ

- Motores elétricos consomem cerca de 46% do total de energia consumida
- Motores elétricos de média potencia consomem cerca de 68% do total de energia consumida em motorização elétrica
- As aplicações dominantes de motores correspondem a
  - Compressores (32%)
  - Tração (30%)
  - Bombas (19%)
  - Ventilação (19%)
- A eficiência media (estimada) dos sistemas de motorização elétrica é de cerca de 50%

SISTEMAS DE FORÇA MOTRIZ



ACIONAMENTOS ELETROMECÂNICOS



APLICAÇÕES TÍPICAS DE MOTORES



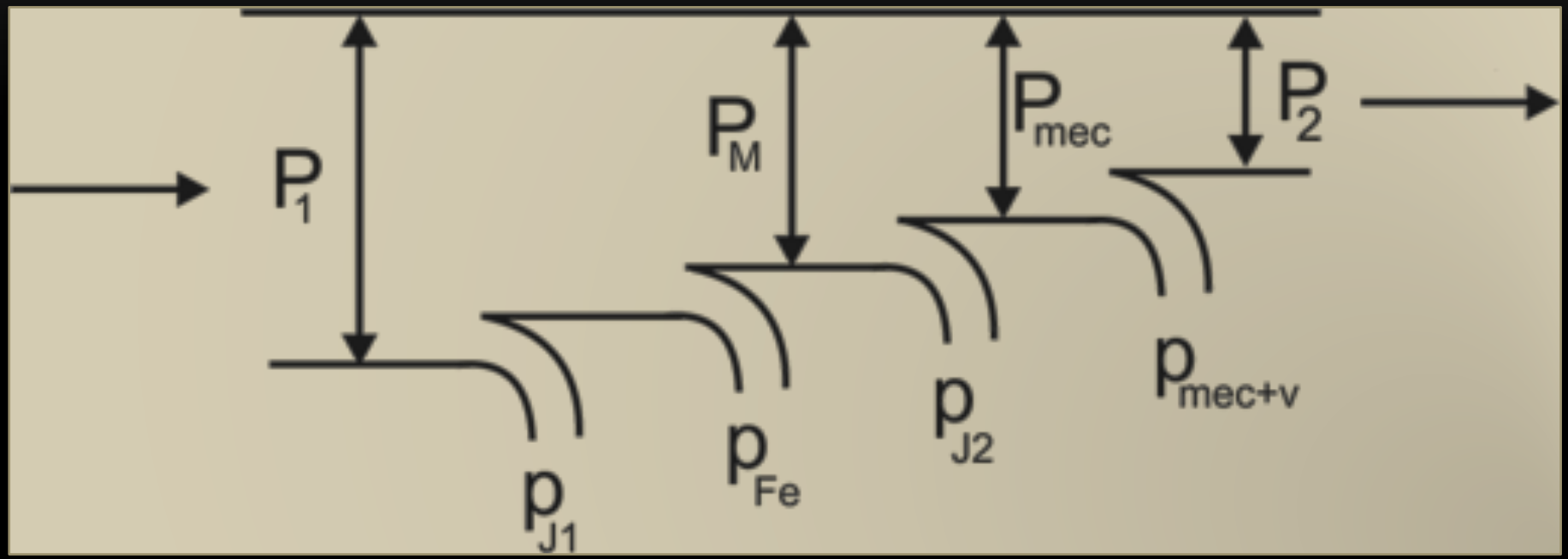
- bombas,
- compressores,
- ventiladores,
- moinhos,
- misturadores,
- elevadores,
- tapetes rolantes,
- eletrodomésticos,
- equipamento de escritório…

CONVERSÃO DE ENERGIA

(1) Energia Eléctrica (entrada da fonte) = **(2)** Energia Mecânica (saída) + **(3)** Energia armazenada no campo de acoplamento (aumento) + **(4)** Perdas de energia (calor)

(1) Energia eléctrica
−
Perdas eléctricas
=
(2) Energia mecânica
+
Perdas mecânicas
+
(3) Energia armazenada no campo
+
Perdas magnéticas

PERDAS EM MOTORES



- P^1 – Potência de entrada
- p_{J1} – Perdas por efeito de Joule no estator
- p^{Fe} – Perdas no ferro
- P_M – Potencia no entre-ferro
- p_{J2} – Perdas por efeito de Joule no rotor
- P_{mec} – Potência mecânica
- P_{mec+v} – Perdas mecânicas e de ventilação
- P_2 – Potência útil no veio

PERDAS EM MOTORES

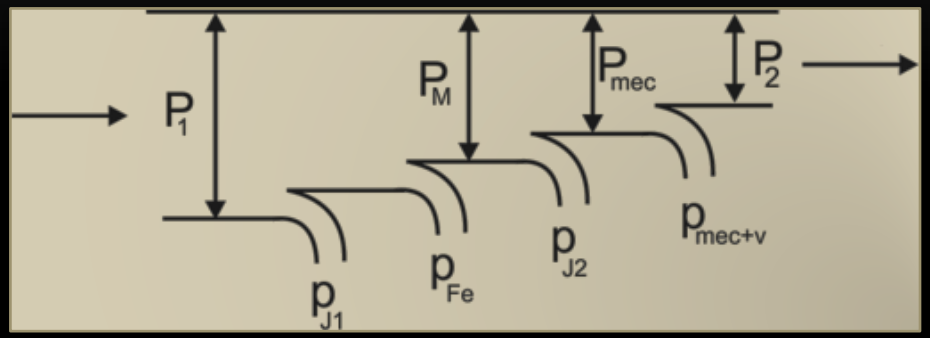
- As perdas num motor correspondem à energia que não é convertida em trabalho útil e que é transformada em calor.
- As perdas não só contribuem para a redução do rendimento do motor, mas também vão provocar um aumento da sua temperatura, o que pode conduzir a uma redução substancial do tempo de vida do motor.

$$Rendimento = \frac{Potência\ Mecânica}{Potência\ Eléctrica} = 1 - \frac{Perdas}{Potência\ Eléctrica}$$

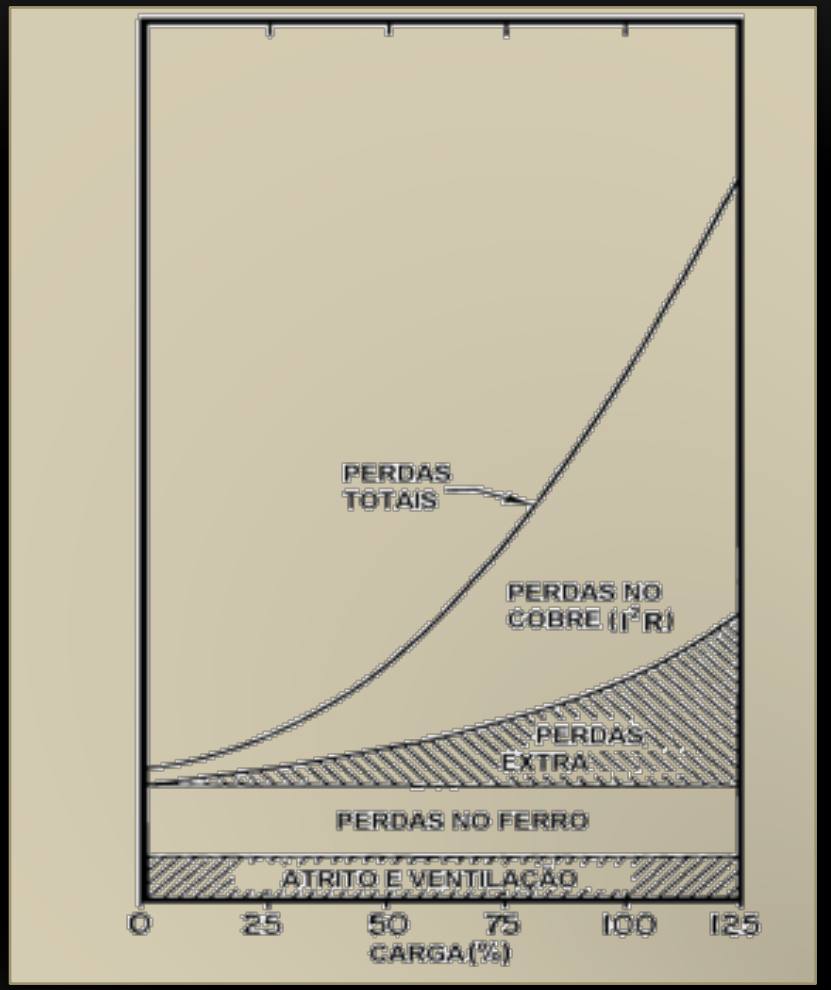
PERDAS TÍPICAS EM MOTORES

Tipo de perdas	Localização	Dependência	Valor (%)
Perdas no Cobre	Condutores do estator e rotor	Crescem rapidamente com a carga	18 % rotor 37 % estator
Perdas no Ferro	Circuito magnético	Constantes e independentes da carga	20
Perdas Mecânicas	Rolamentos, ventoinha e parte rotativa	Constantes e independentes da carga	9
Perdas suplementares	Perdas devidas a: • Saturação do ferro • Acabamento das superfícies do entreferro • Harmónicos	Constantes e independentes da carga	16

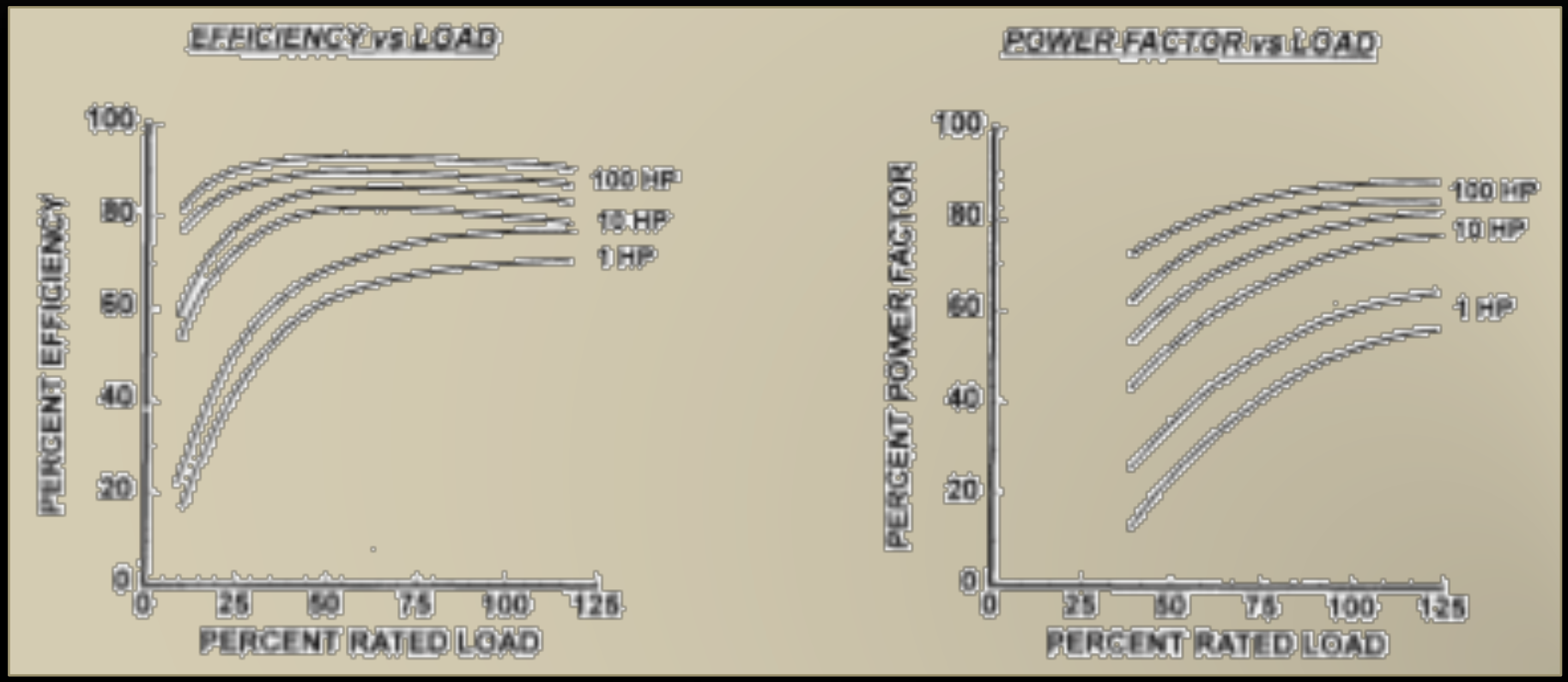
PERDAS TÍPICAS EM MOTORES



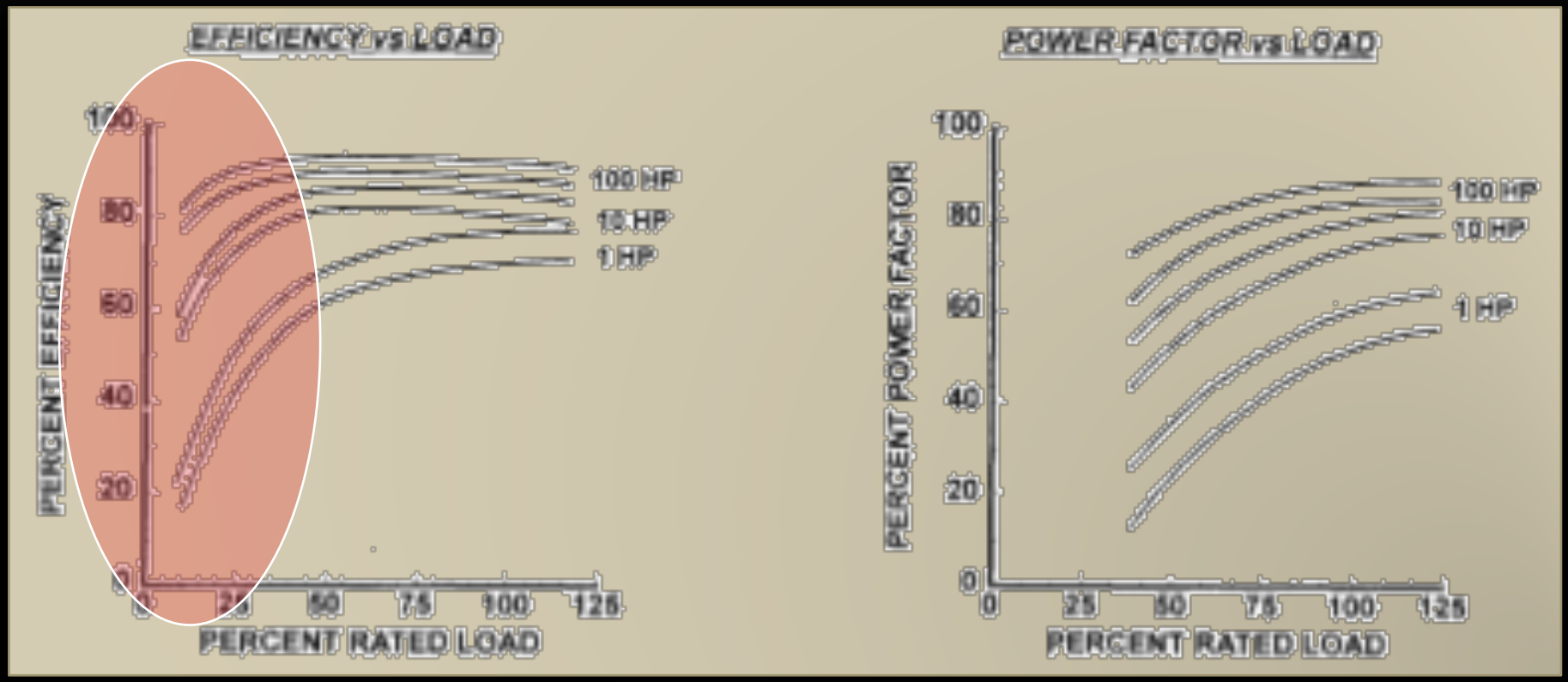
As perdas totais num motor dependem da carga do motor



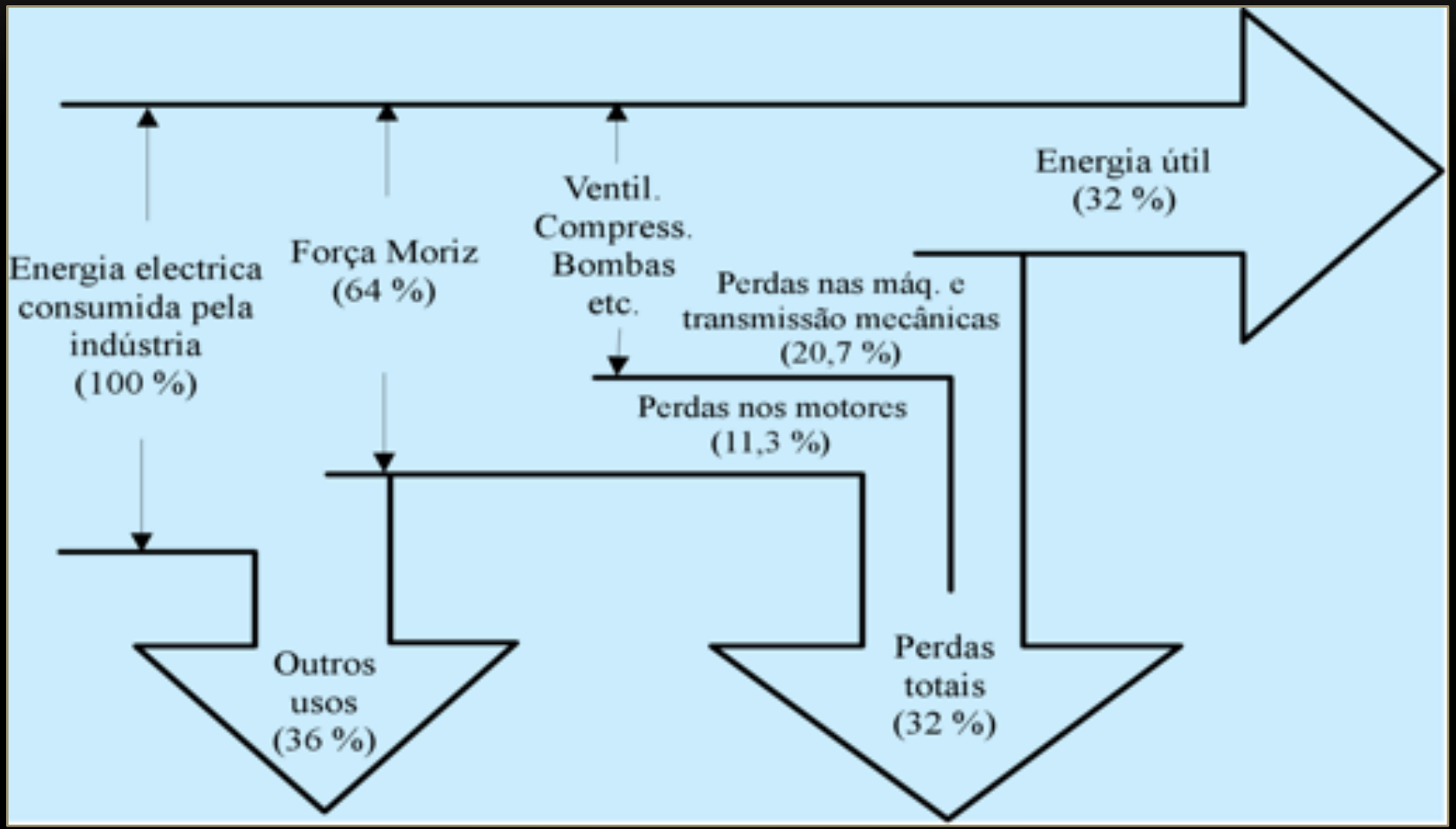
RENDIMENTO E FATOR DE POTÊNCIA



RENDIMENTO E FATOR DE POTÊNCIA



PERDAS EM SISTEMAS DE FORÇA MOTRIZ



UTILIZAÇÃO EFICIENTE DE SISTEMAS DE FORÇA MOTRIZ

- Dimensionamento correto dos motores
- Utilização de motores de alto rendimento
- Utilização de transmissões mecânicas de perdas reduzidas
- Utilização de variadores eletrónicos de velocidade ou motores de várias velocidades para adaptar o regime de trabalho às flutuações de carga
- Otimização das condições de funcionamento

DIMENSIONAMENTO CORRETO DE MOTORES

Não se deve sobredimensionar motores de indução:

- **Menor rendimento**: o rendimento dos motores reduz-se substancialmente, especialmente nos motores mais pequenos
- **Menor cos φ**: o cos φ degrada-se rapidamente abaixo da plena carga
- **Maior custo** do motor, da aparelhagem de acionamento associada (contactares, arrancadores, etc.) e da sua instalação

DIMENSIONAMENTO CORRETO DE MOTORES

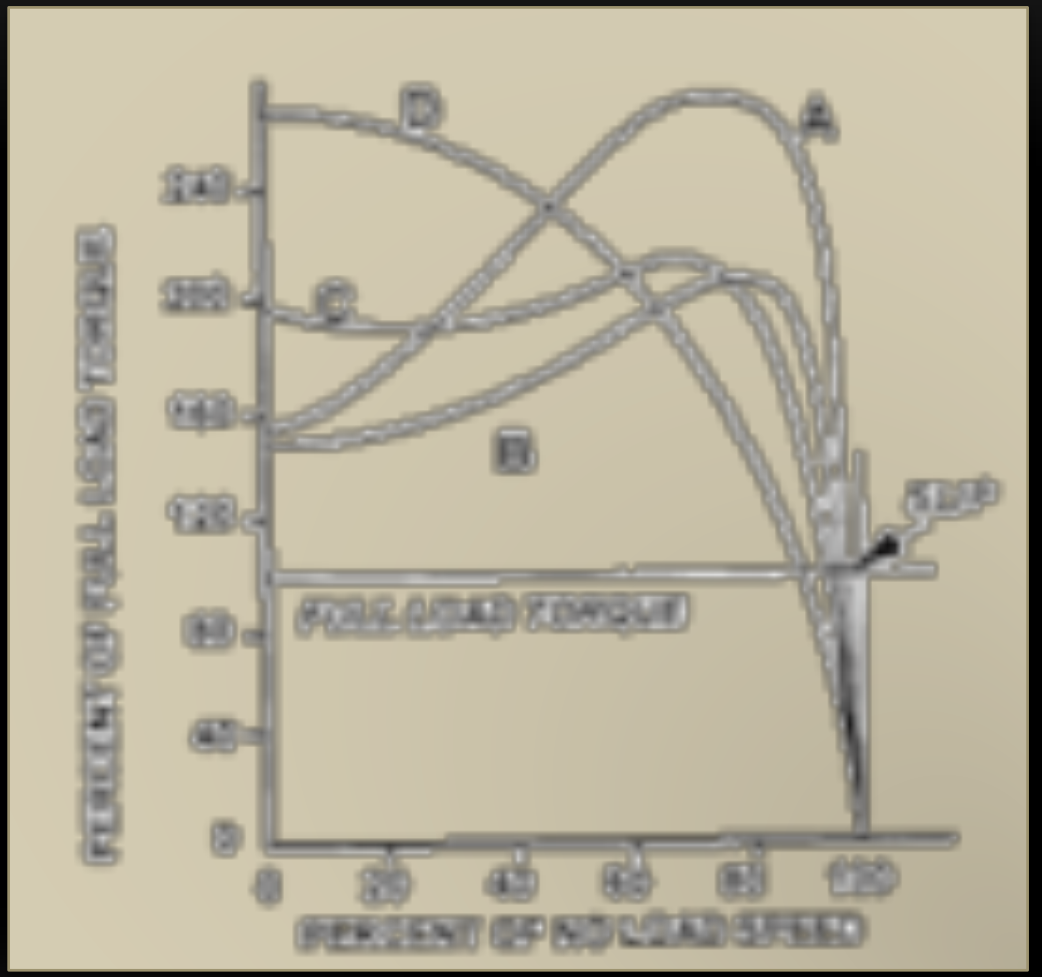
Deve escolher-se o motor adequado...

B: motor mais utilizado na industria

C: utilizado para cargas de difícil arranque

D (motor de escorregamento elevado): apresenta elevado binário de arranque mas grande escorregamento para binário nominal

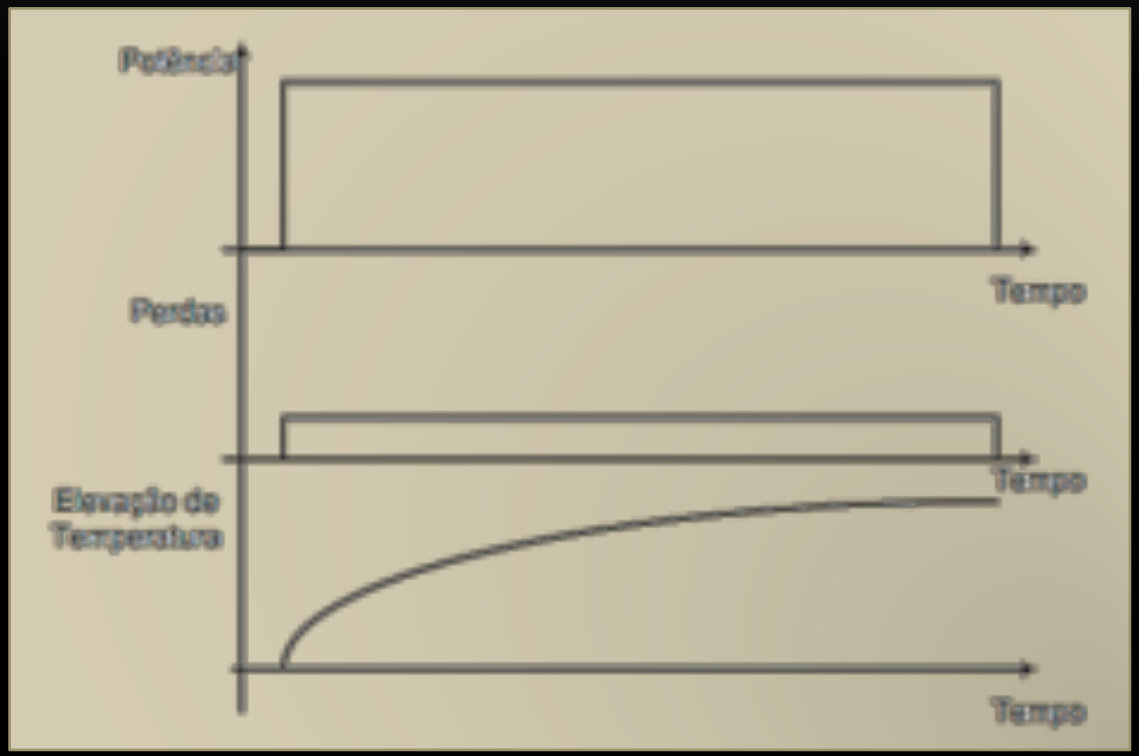
A: geralmente pouco utilizados (injeção de moldes)



DIMENSIONAMENTO CORRETO DE MOTORES

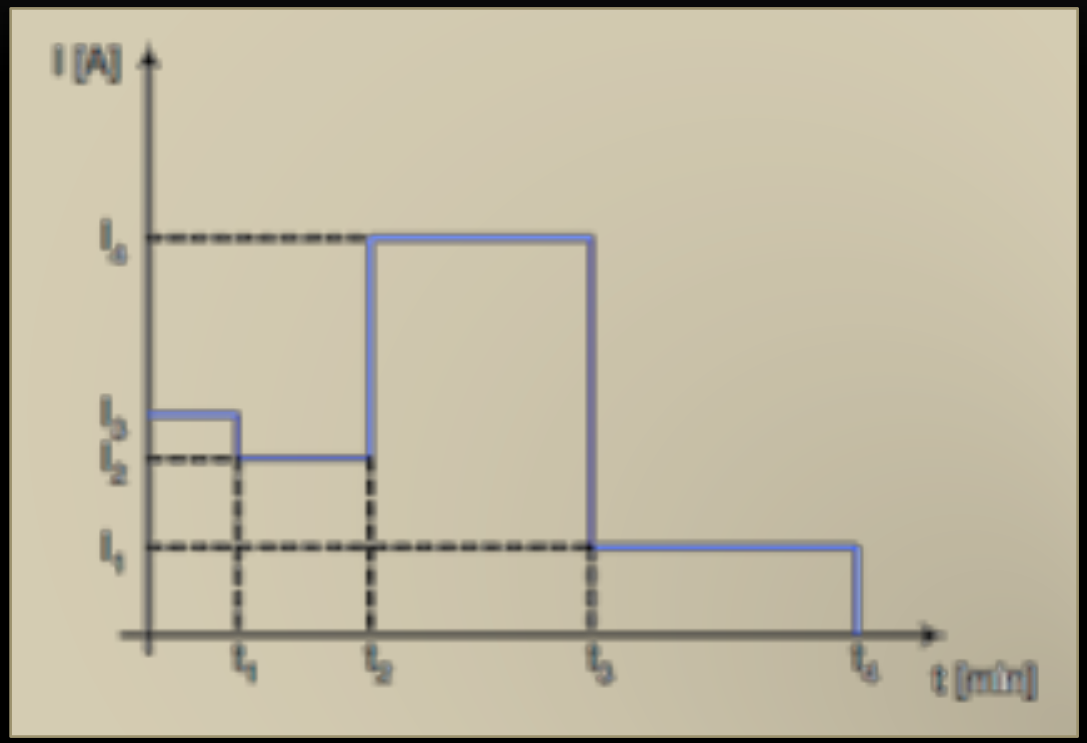
Um dos principais problemas dos motores é o aquecimento

- Em regime contínuo o motor acaba por atingir a temperatura de equilíbrio térmico
- A escolha destes motores não levanta problemas…
- A escolha de motores para regimes variáveis levanta maiores problemas



DIMENSIONAMENTO CORRETO DE MOTORES

- Em **regimes variáveis no tempo** a escolha do motor não deve ser efetuada pela potência máxima, pois este funcionaria sobredimensionado a maior parte do tempo.
- Utilizar a potência média só seria aceitável se a variação, ao longo do tempo, fosse pequena.

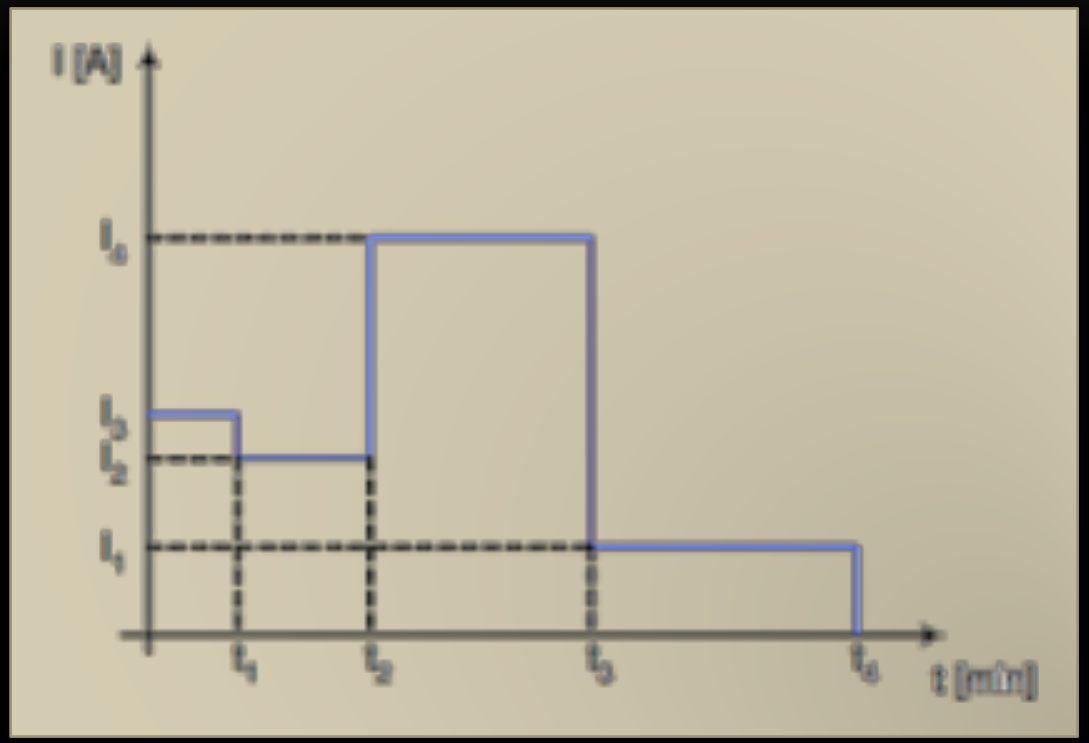


DIMENSIONAMENTO CORRETO DE MOTORES

Em **regimes variáveis no tempo** a escolha do motor pode efetuar-se pelo método da corrente equivalente.

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt}$$

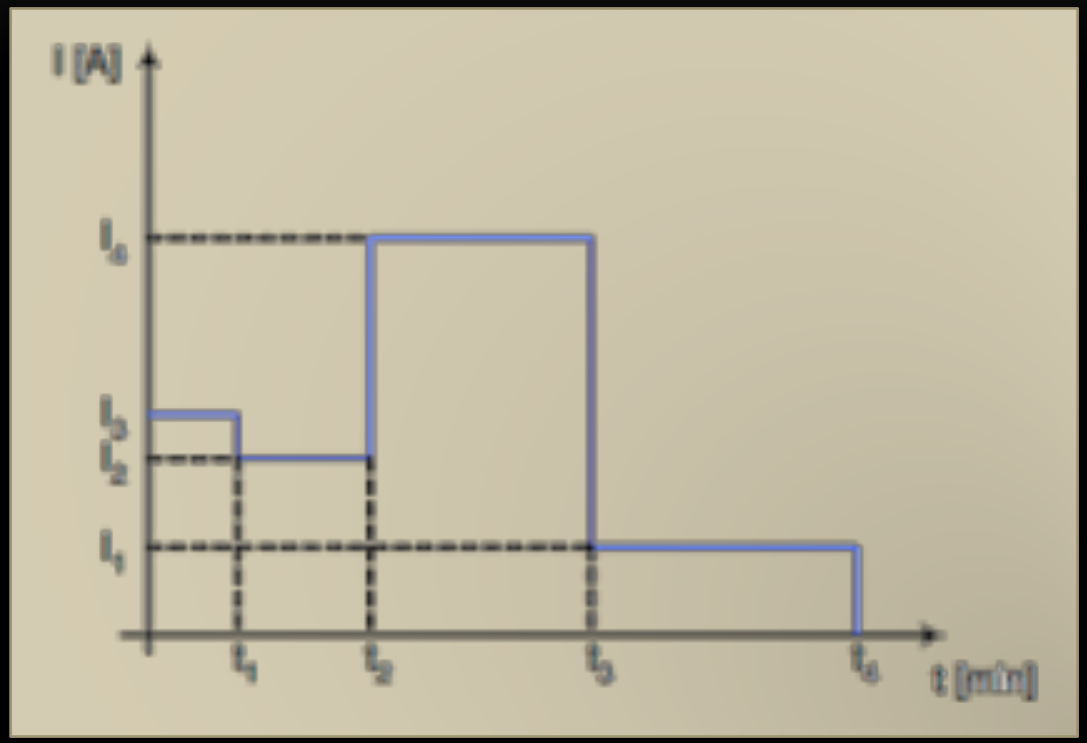
$$I_{eq} = \sqrt{\frac{\sum_1^n I_i^2\, t_i}{\sum_1^n t_i}}$$



DIMENSIONAMENTO CORRETO DE MOTORES

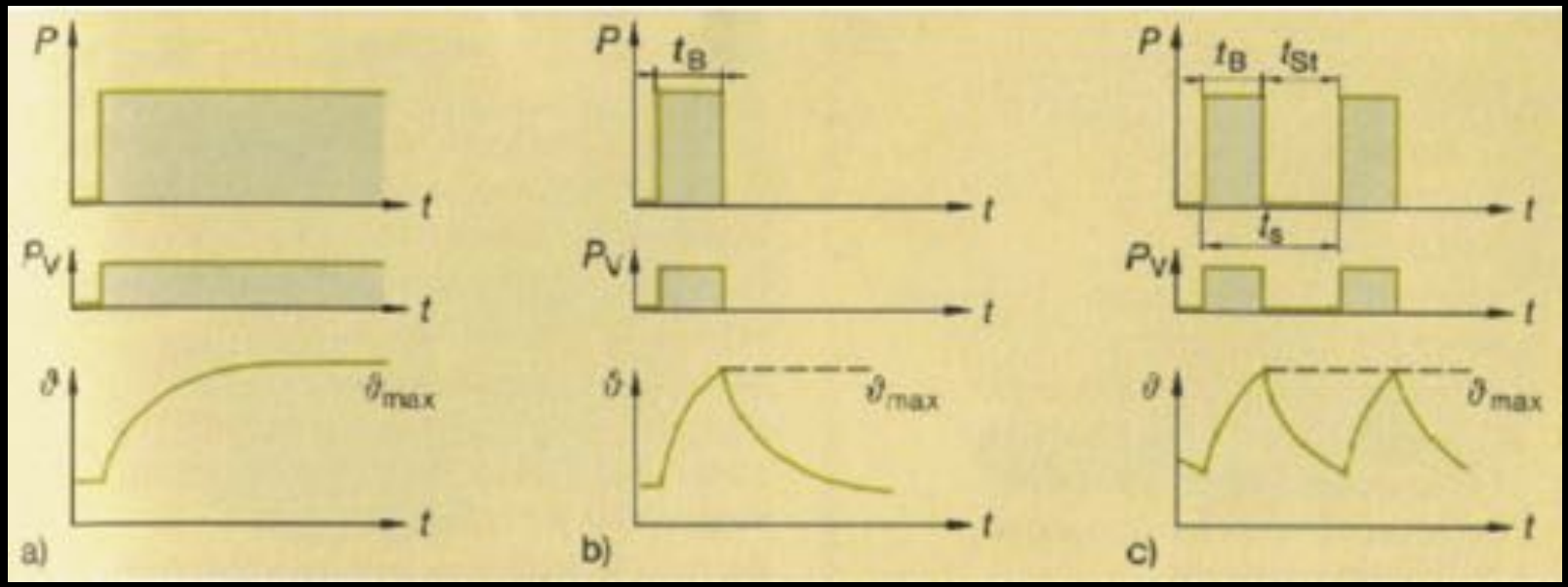
Do ponto de vista térmico o motor encontra-se corretamente escolhido se a sua corrente estipulada for superior à corrente equivalente.

In ≥ Ieq



MODOS DE OPERAÇÃO DOS MOTORES

O modo de operação do motor descreve a sua carga de acordo com o valor, duração e sequência temporal, incluindo arranque, travagem elétrica, operação sem carga e repouso. **DIN VDE 0530 (S1 ... S10)**



a) Continuo (S1); b) Curta-duração (S2); c) Intermitente sem influência do arranque (S3)

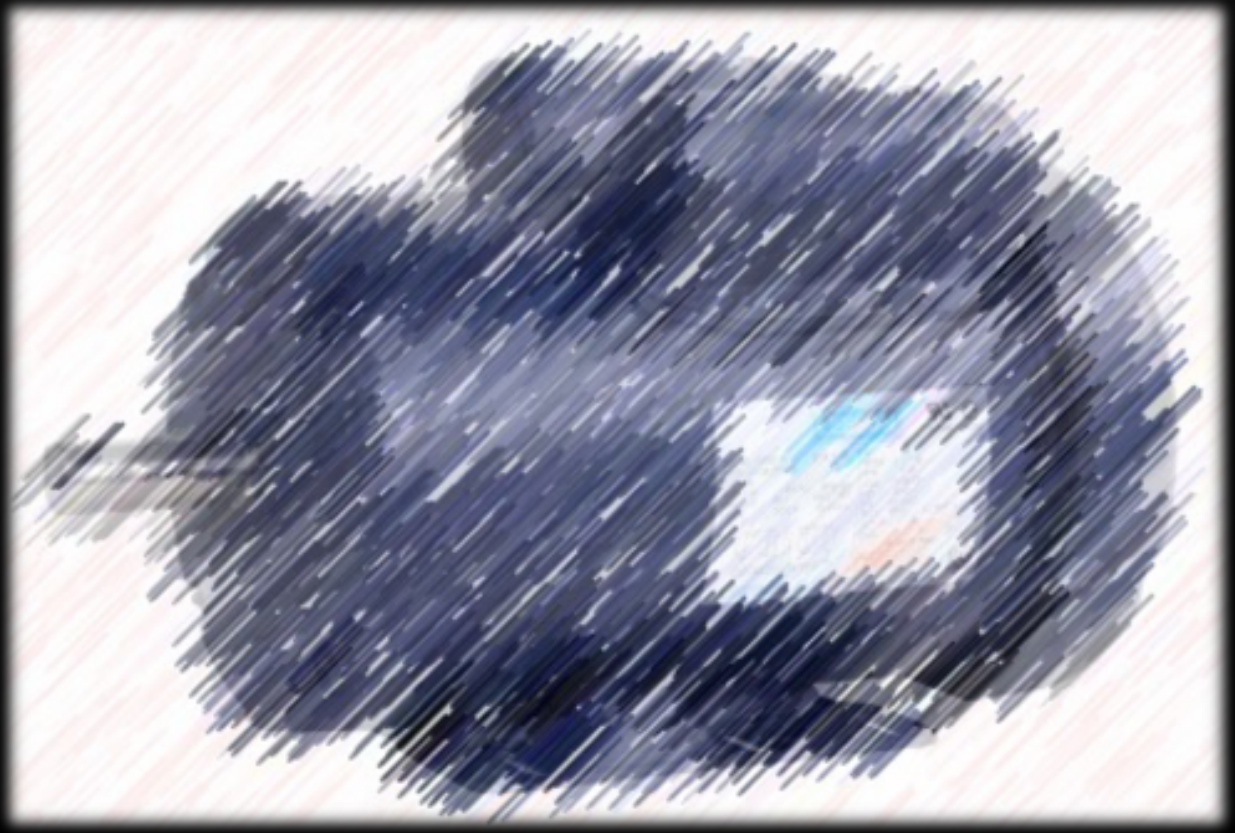
MODOS DE OPERAÇÃO DOS MOTORES (DIN VDE 0530)

- **S1 operating mode (continuous duty)**
  Operation with constant loading of unlimited duration during which the thermal steady state of the motor is reached.
- **S2 operating mode, short-time duty**
  Operation with constant loading without the thermal steady state being reached and with a subsequent pause during which the motor temperature drops to the temperature of the cooling medium.
- **S3 operating mode, periodic intermittent duty**
  A sequence of identical cycles without a thermal steady state being reached. Each cycle is composed of a time with constant loading and a pause. The starting current has practically no effect on the increase in temperature. The cycle must last 10 min and the relative cyclic duration factor must have one of the following values:15%, 25%, 40%, 60%.
- **S4 operating mode, periodic intermittent duty with influence of the start-up process**
  A sequence of identical cycles without a thermal steady state being reached. Each cycle is composed of a noticeable starting time, a time with constant loading and a pause. The cycle must last 10 min and the relative cyclic duration factor must have one of the following values:15%, 25%, 40%, 60%.
- **S5 operating mode, periodic intermittent duty with electrical braking**
  A sequence of identical cycles without a thermal steady state being reached.Each cycle is composed of a noticeable starting time, a time with constant loading, a time of rapid electrical braking and a pause. The cycle must last 10 min and the relative cyclic duration factor must have one of the following values:15%, 25%, 40%, 60%.

MODOS DE OPERAÇÃO DOS MOTORES (DIN VDE 0530)

- **S6 operating mode, uninterrupted periodic duty**
  A sequence of identical cycles without a thermal steady state being reached. Each cycle is composed of a starting time, a time with constant loading and a no-load operating time. There is no pause. The cycle must last 10 min and the relative cyclic duration factor must have one of the following values:15%, 25%, 40%, 60%.
- **S7 operating mode, uninterrupted periodic duty with electrical braking**
  A sequence of identical cycles without a thermal steady state being reached. Each cycle is composed of a starting time, a time with constant loading and a time with electrical braking. There is no pause. The cycle must last 10 min.
- **S8 operating mode, uninterrupted periodic duty with load/speed changes**
  A sequence of identical cycles without a thermal steady state being reached. Each cycle is composed of a time with constant loading and a particular speed and one ore more times with other loadings at different speeds. There is no pause. The cycle must last 10 min and the relative cyclic duration factor must have one of the following values:15%, 25%, 40%, 60%.
- **S9 operating mode, non-periodic duty with load/speed changes**
  Loading and speed change non-periodically within the permissible operating range. Overloading which can be far above full load can often occur.(Example: wind-energy generators)
- **S10 operating mode, duty with discrete constant loads**
  Operating mode that does not include more than four particular load values, wherein no-load operation and being at rest can be included. A thermal steady state is reached under each of the loads (even no-load operation and being at rest). The maximum loading must not exceed 1.2 times the S1 loading.

MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

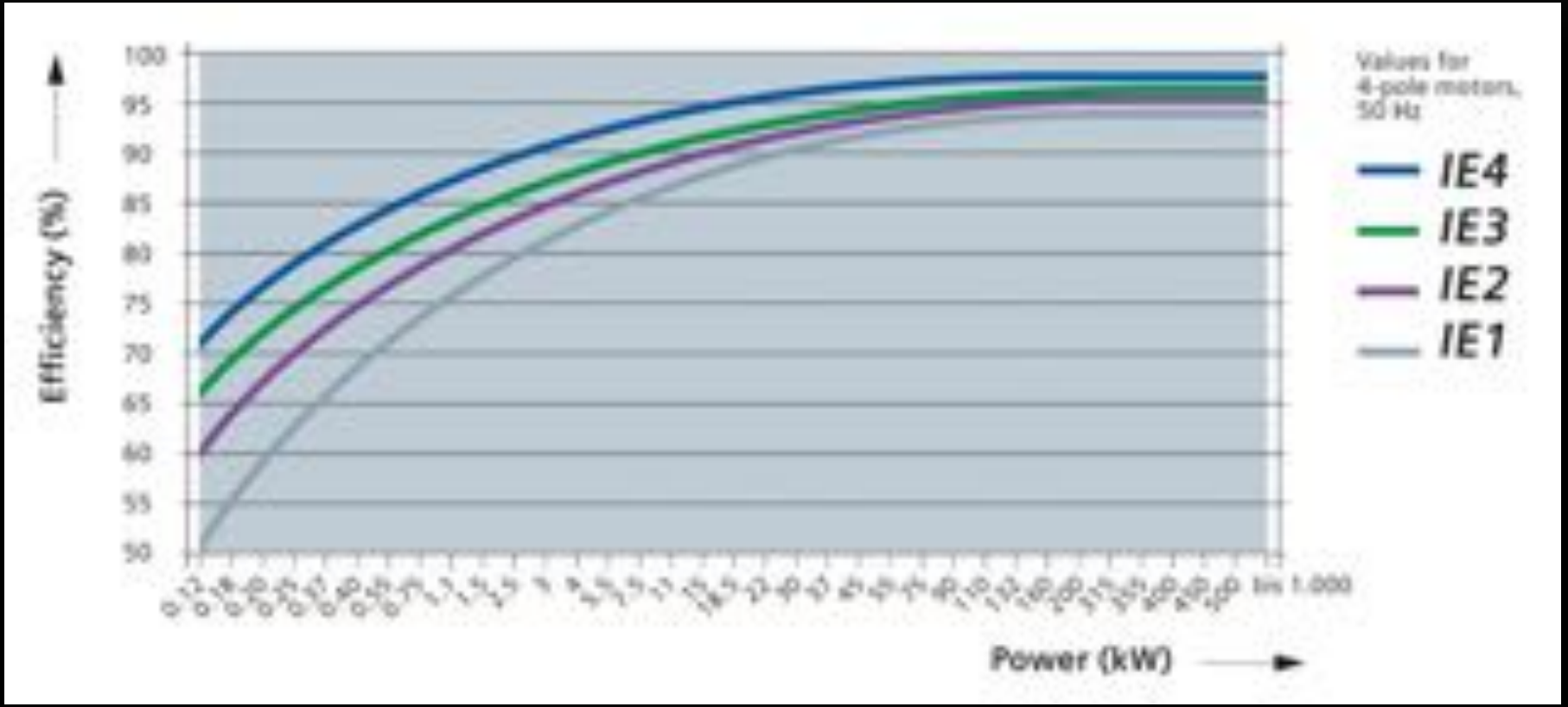


CLASSES DE MOTORES (IEC 60034-30-1)

Standard IEC 60034-30-1

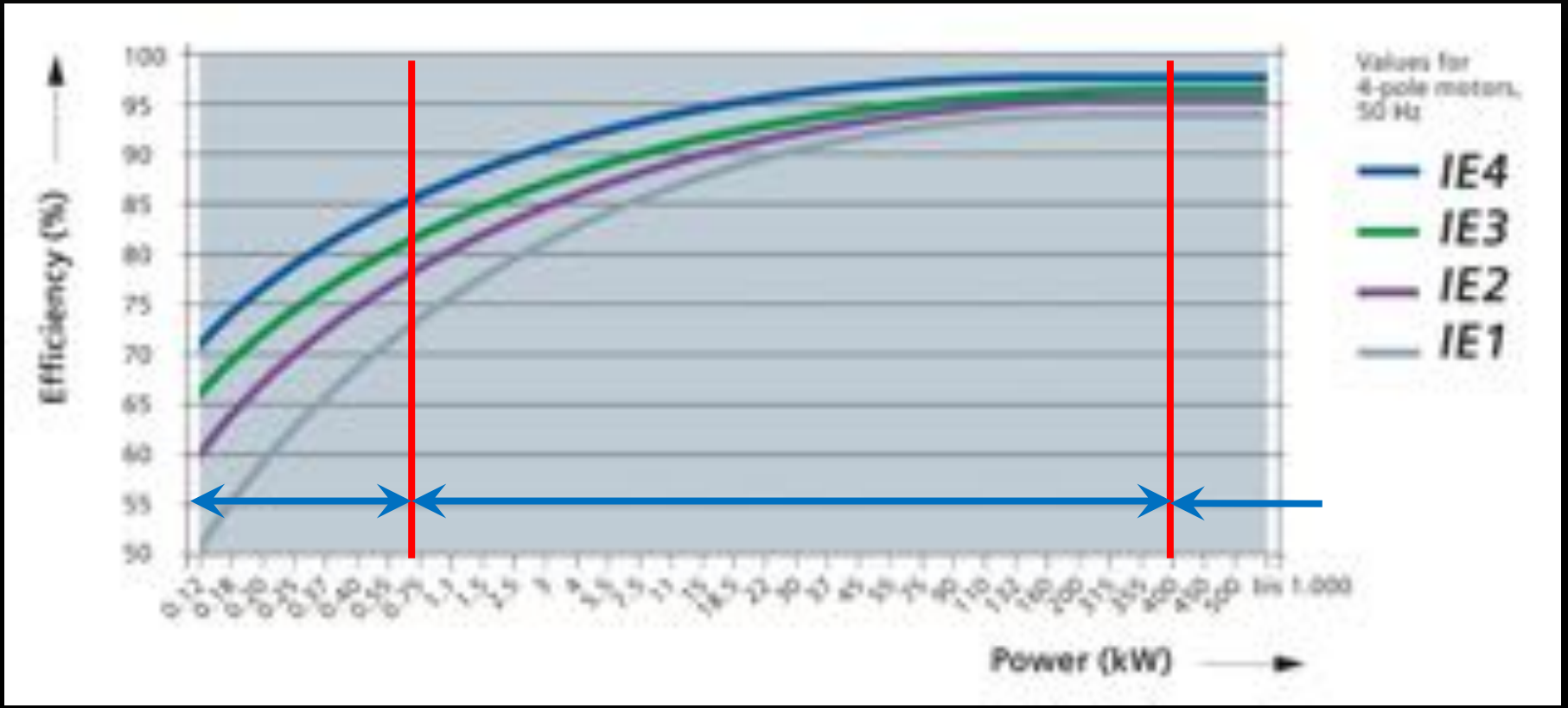
- IE1 (Standard Efficiency)
- IE2 (High Efficiency)
- IE3 (Premium Efficiency)
- IE4 (Super Premium Efficiency)

CLASSES DE MOTORES (IEC 60034-30-1)



Fonte: http://www.industry.siemens.com/drives/global/en/motor/low-voltage-motor/efficiency-standards/pages/line-motors.aspx#Your_20energy_efficient_20future

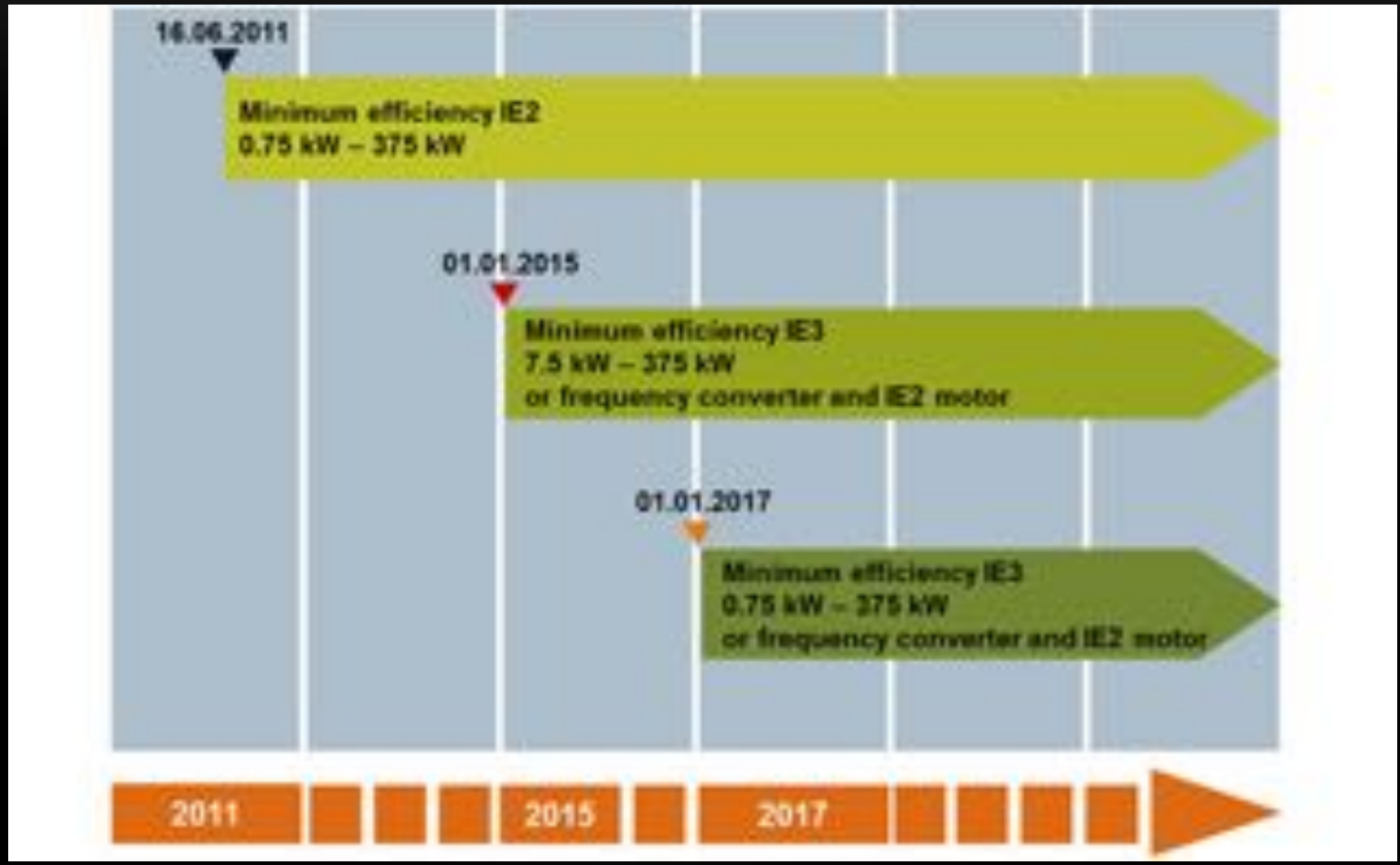
CLASSES DE MOTORES (IEC 60034-30-1)



Fonte: http://www.industry.siemens.com/drives/global/en/motor/low-voltage-motor/efficiency-standards/pages/line-motors.aspx#Your_20energy_efficient_20future

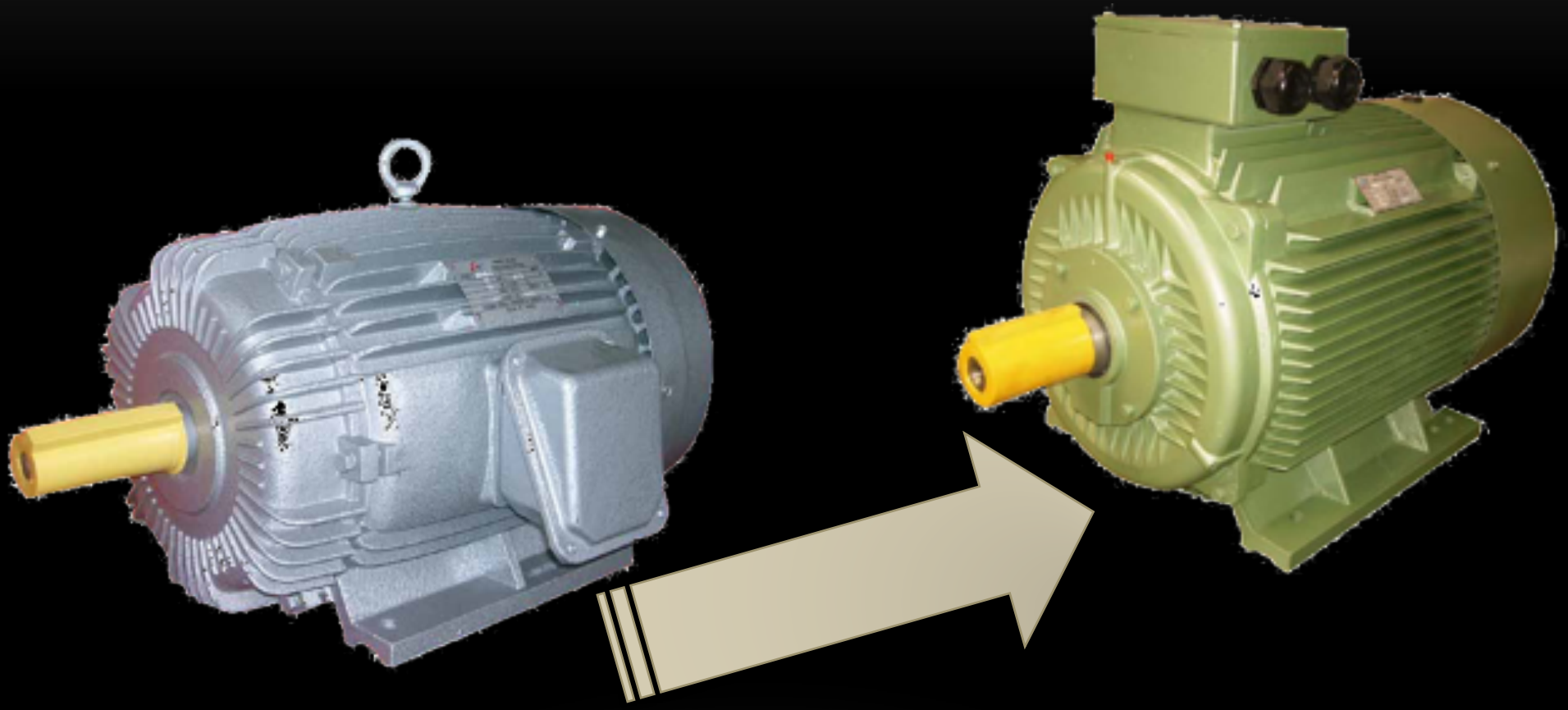
CLASSES DE MOTORES (LEGISLAÇÃO EU)

Regulação EU 640/2009 e atualização 04/2014



Fonte: http://www.industry.siemens.com/drives/global/en/motor/low-voltage-motor/efficiency-standards/pages/line-motors.aspx#Your_20energy_efficient_20future

UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO



UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS

- Baixas perdas;
- Menor temperatura;
- Maior vida útil;
- Menor manutenção;
- Menor consumo de energia elétrica.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Chapas metálicas de melhor qualidade (aço silício);
- Maior volume de cobre (menor temperatura de operação);
- Enrolamentos especiais (menores perdas estatóricas);
- Rotores com tratamento térmico (menores perdas rotativas);
- Anéis de curto circuito adequados à diminuição das perdas por efeito de Joule.

UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

Relativamente aos motores standard, os motores de alto rendimento apresentam uma melhoria de rendimento de 10% na gama 1-200 CV. São mais volumosos e apresentam um acréscimo de preço de 25% a 30% relativamente às versões standard, pois usam mais (e mais caras) matérias-primas.

Por apresentarem menores perdas, funcionam a temperaturas mais baixas, aumentando assim o seu tempo de vida.

As técnicas utilizadas para aumentar o rendimento dos motores incluem:

- Aumento da secção dos condutores no estator;
- Aumento do comprimento do circuito magnético: uso de lâminas de chapa magnética mais finas e com materiais de melhores características (ciclo de histerese mais estreito e maior resistividade) para igualmente reduzir as perdas magnéticas;
- Redução da potência de ventilação (uma vez que as perdas do motor de alto rendimento são menores) e utilização de rolamentos com baixo atrito;
- Otimização do entreferro tendo em vista a sua redução;
- Melhoria do acabamento das superfícies para diminuir as correntes de magnetização necessárias e as perdas extraviadas.

Estes motores são mais volumosos e mais caros que os motores standard pois usam maior quantidade de matérias-primas, sendo também algumas destas de superior qualidade.

UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

Modificações	Variação (%)	Redução das perdas
Chapa magnética mais fina e de melhor qualidade	…	Perdas no ferro
Aumento do comprimento do circuito magnético	15 a 35	Perdas no ferro
Optimização do entreferro	…	Perdas no ferro e suplementares
Aumento da secção dos enro-lamentos do rotor e do estator	20	Perdas no cobre
Optimização dos sistemas de ventilação	…	Perdas mecânicas
Rolamentos e lubrificantes de melhor qualidade	…	Perdas mecânicas

UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

Desvantagens dos motores de alto rendimento, causadas pela menor resistência do rotor:

- Diminuição do binário de arranque => problemas em cargas com elevada inércia.
- Aumento da corrente de arranque, o que pode ter implicações no dimensionamento da alimentação e acionamento do motor.
- Diminuição do escorregamento, ou seja, um pequeno aumento da velocidade do motor.
- 25 a 30% mais caros.

UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO (EXEMPLO 1)

Motor padrão (p), alto rendimento (ar) e a redução de consumo para 720 horas/mês

Potência (CV)	Rendimento (p)	Rendimento (ar)	Redução de consumo (Kwh)
20	90,20	92,40	279,76
100	93,20	94,50	782,00

Motor de 20 CV, número de horas/mês e redução de consumo

Horas / mês	Rendimento (p)	Rendimento (ar)	Redução de consumo (Kwh)
720	90,20	92,40	279,76
640	90,20	94,50	248,67
480	90,20	94,50	186,51
360	90,20	94,50	139,88
120	90,20	94,50	46,63

UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO (EXEMPLO 2)

Motor da serie DRS (SEW-EURODRIVE)

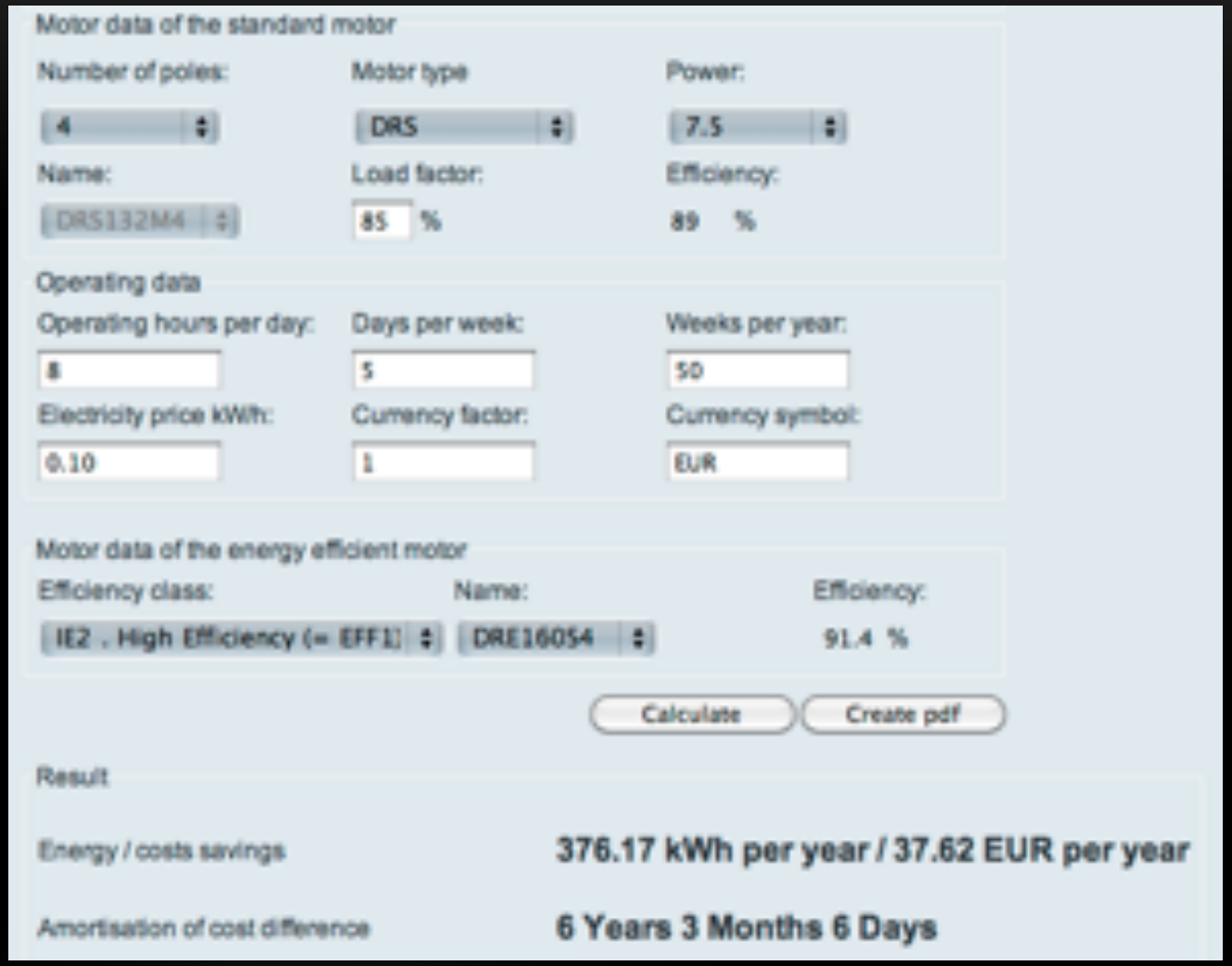
Classe de eficiência IE1

Substituir por motor da série DRE

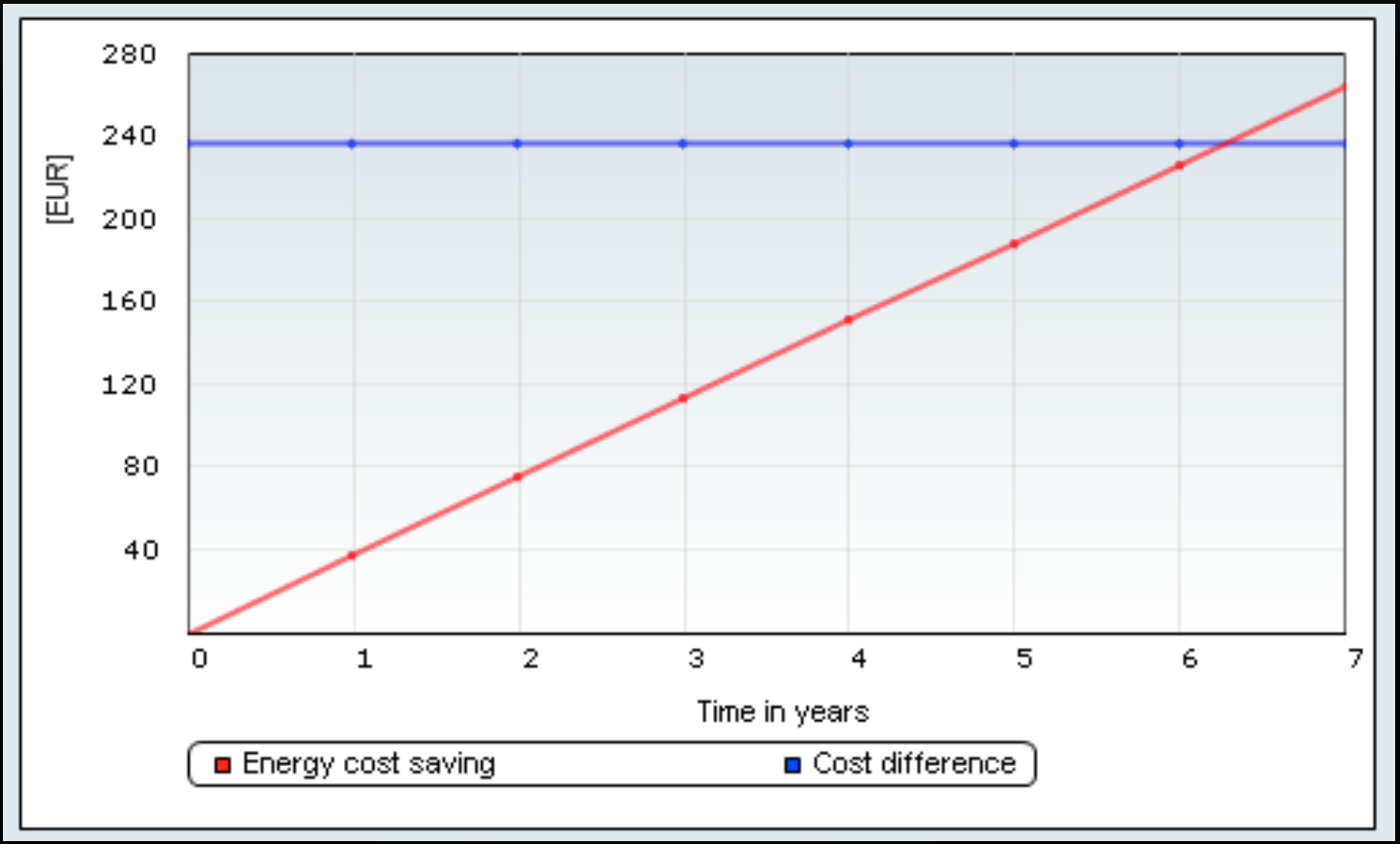
Classe de eficiência IE2



UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO (EXEMPLO 2)



UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO (EXEMPLO 2)



UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

Quando, do ponto de vista económico, se deve instalar motores de alto rendimento?

- **Instalação de um novo equipamento ou motor**: Neste tipo de situação normalmente vantajoso:
  - Instalação industrial: Para 2000 horas por ano => retorno < 3 anos;
- **O motor existente avariou**: Precisa de ser rebobinado. Se tem um número elevado de horas de funcionamento por ano, deverá ser considerada a sua substituição. A diferença no investimento é significativamente maior que no caso anterior.
- **O motor existente está fortemente sobredimensionado**: Se o motor tem um número elevado de horas de funcionamento por ano, deverá ser considerada a sua substituição por um motor de alto rendimento com uma potência que não exceda o máximo da potência mecânica requerida.

UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

Reparar (rebobinar) ou substituir ?

- Apurar previamente o estado geral do motor danificado a fim de prever em que condição ficará após a reparação;
- Preço do motor e da reparação;
- Número de horas de operação;
- Fator de carga;
- Custo da eletricidade;

No caso da substituição, e assumindo que um motor reparado sofre uma quebra de rendimento de 1%, a compra de um motor de alto rendimento é normalmente vantajosa do ponto de vista do tempo de retorno do capital investido e em termos de tempo de vida do motor.

UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

Poupanças anuais e retorno do investimento (payback simples)

$$poupança = \left(\frac{1}{\eta_{STD}} - \frac{1}{\eta_{EEM}}\right) P_N NC$$

$$payback\ simples = \frac{diferença\ de\ preço}{poupança\ anual}$$

η_{STD} - Rendimento do Motor Standard

η_{EEM} - Rendimento do Motor de Alto Rendimento

P_N - Potência Nominal do Motor

N - Nº de horas de funcionamento por ano

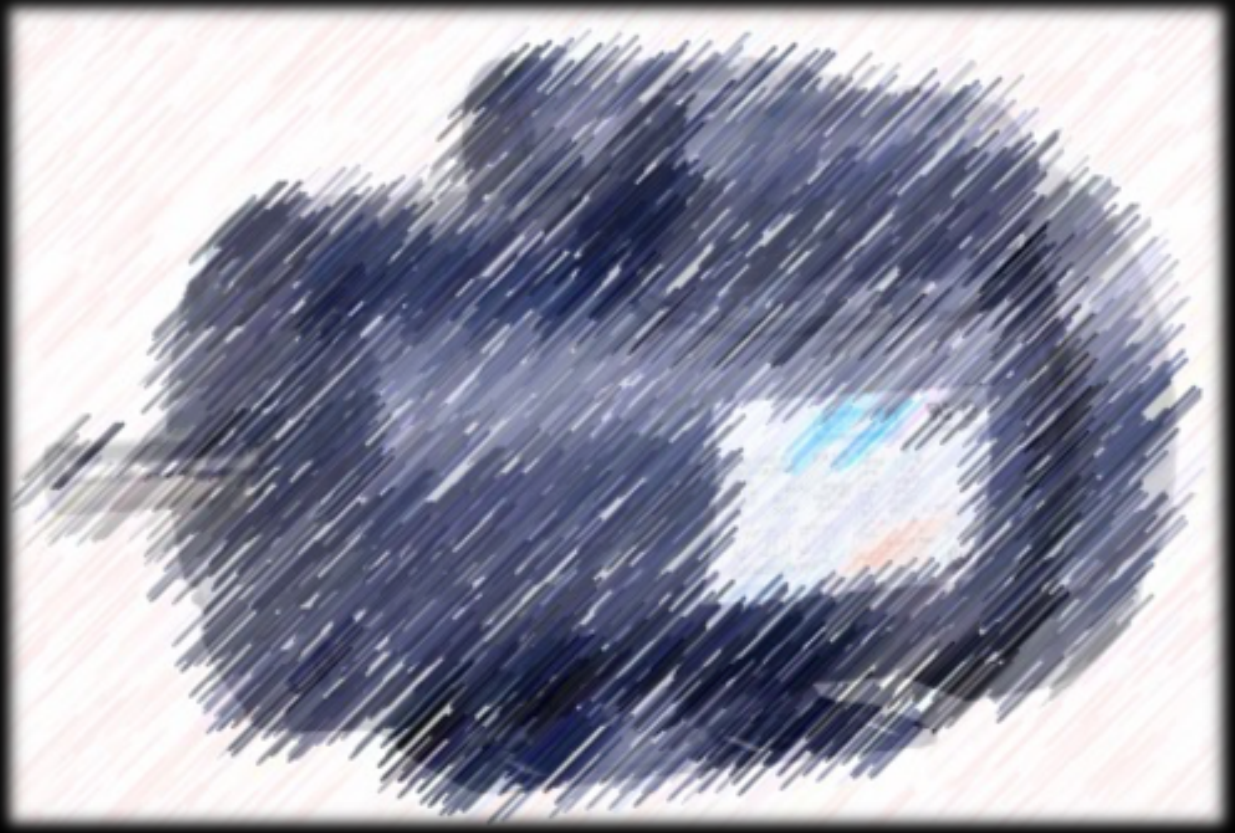
C - Preço da eletricidade (€/kWh)

UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

Considerações Gerais:

- Preço médio da eletricidade
- Número de horas de funcionamento por ano:
  - Trabalho contínuo, sem paragens significativas: 8400 horas/ano;
  - Trabalho não contínuo : 4000 horas/ano
- Motor com a carga nominal
- Motor de Alto Rendimento custa tipicamente mais 30 % que um Motor Standard
- Motores de Alto Rendimento possuem um rendimento superior (em média 3%)
- Após a reparação de um motor o seu o rendimento decresce em média 1%

SISTEMAS DE ACIONAMENTO ELETROMECÂNICO



O MOTOR ELÉTRICO É APENAS PARTE DO PROBLEMA...

Sistema de acionamento eletromecânico

Rede + Variador Eletrónico de Frequência + Motor + Engrenagem + Transmissão + Carga

Motor com 10 anos

0,98 x 0,96 x **0,85** x 0,75 x 0,90 x 0,98 = **0,535**

Motor de Alto Rendimento

0,98 x 0,96 x **0,92** x 0,75 x 0,90 x 0,98 = **0,573**

UTILIZAÇÃO DE ENGRENAGENS E TRANSMISSÕES MECÂNICAS DE PERDAS REDUZIDAS

- **Acoplamentos diretos**: Os acoplamentos diretos, 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...
- **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, por exemplo, correias com dentes, correias síncronas e correias lisas...

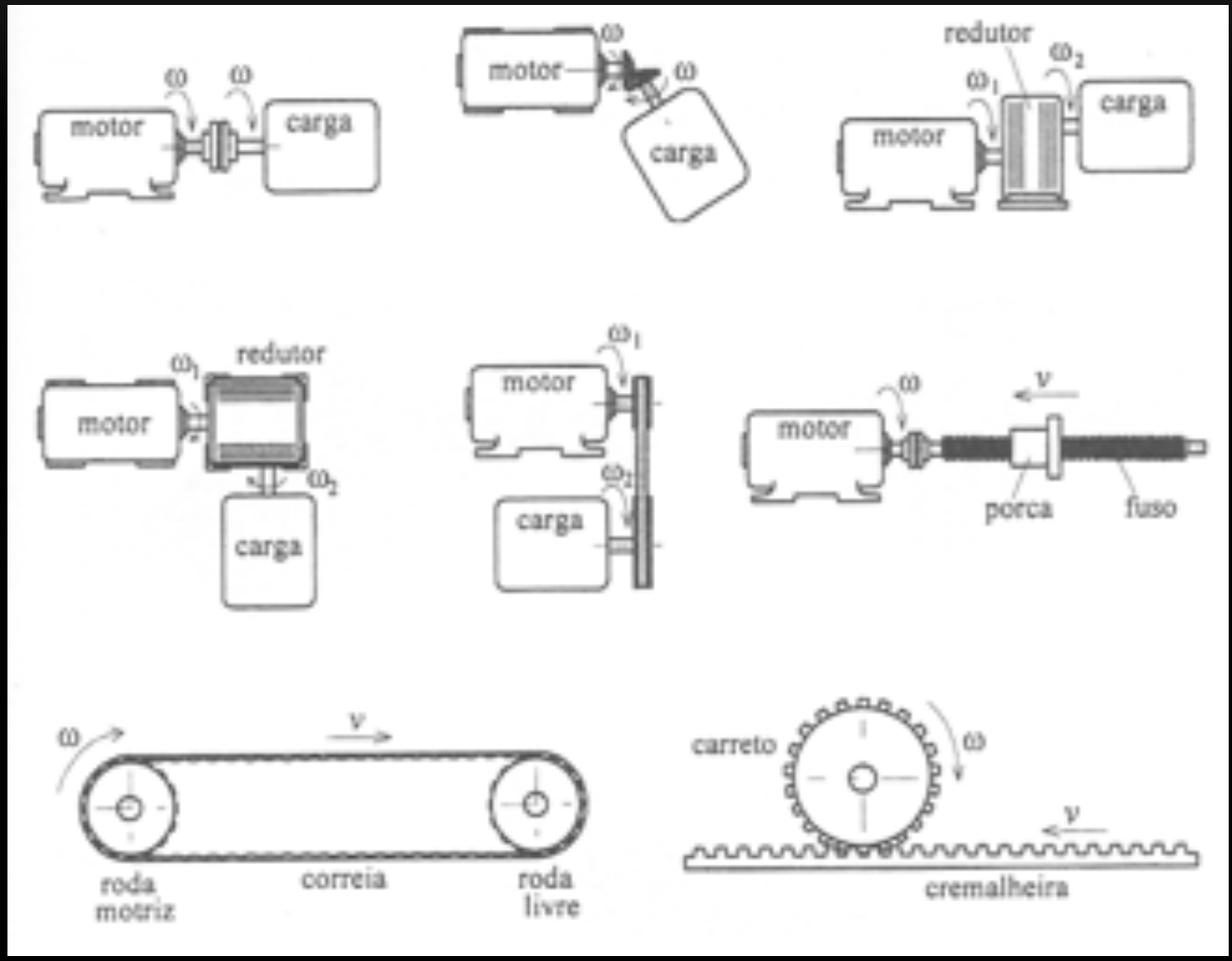
UTILIZAÇÃO DE ENGRENAGENS E TRANSMISSÕES MECÂNICAS DE PERDAS REDUZIDAS

Tipos de caixas de velocidade:

- Acoplamentos diretos no veio
- Engrenagens (redutoras)
- Conversão rotativo/linear
- Conversão carreto-cremalheira
- *Transmissão por correias ou correntes*

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

UTILIZAÇÃO DE ENGRENAGENS E TRANSMISSÕES MECÂNICAS DE PERDAS REDUZIDAS



UTILIZAÇÃO DE ENGRENAGENS E TRANSMISSÕES MECÂNICAS DE PERDAS REDUZIDAS

98-99%



Normal

98-99%



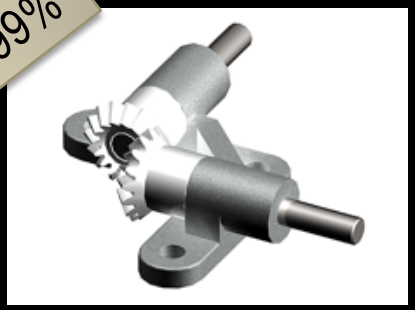
Helicoidal

98-99%



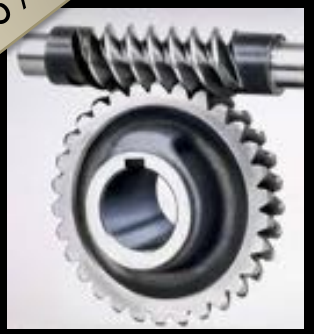
Dupla Helicoidal

98-99%



Cónica

20-98%



Parafuso de rosca sem fim

70-98%



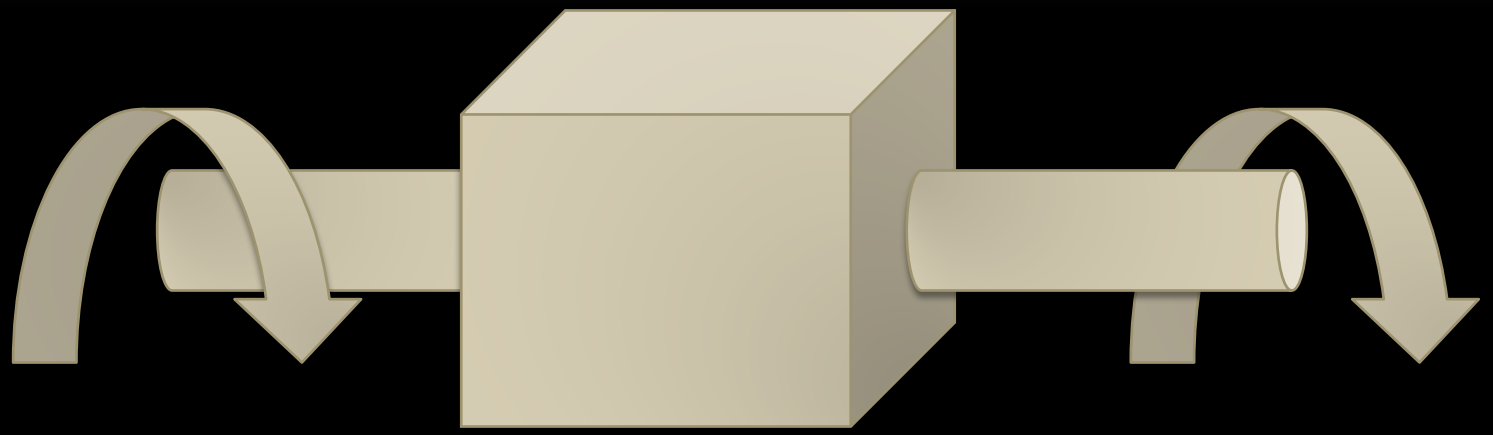
Helicoidal Cruzada

UTILIZAÇÃO DE ENGRENAGENS E TRANSMISSÕES MECÂNICAS DE PERDAS REDUZIDAS



UTILIZAÇÃO DE ENGRENAGENS E TRANSMISSÕES MECÂNICAS DE PERDAS REDUZIDAS

P_1
T_1
ω_1



P_2
T_2
ω_2

$$P_2 = P_1\eta$$

UTILIZAÇÃO DE ENGRENAGENS E TRANSMISSÕES MECÂNICAS DE PERDAS REDUZIDAS



Transmissão por correia

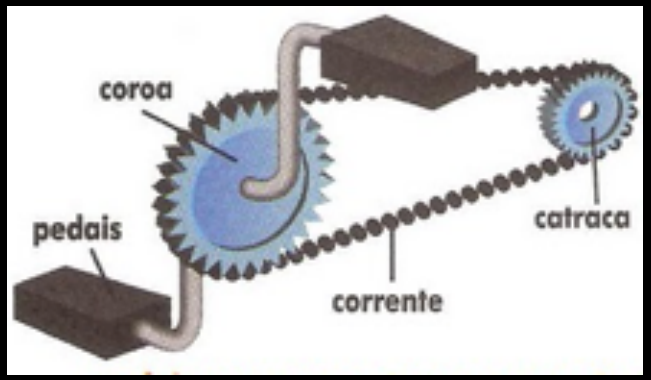
- **Correias trapezoidais (v-belt)**
  - Apresentam uma boa fricção, mas também perdas relativamente elevadas. Distende com o uso e aumenta o deslizamento.
  - Eficiência de 95-98% quando novas, reduzindo para 93%.
- **Correias síncronas**
  - São correias dentadas e requerem uma roda dentada. Alcançam e mantêm uma eficiência de 98%.



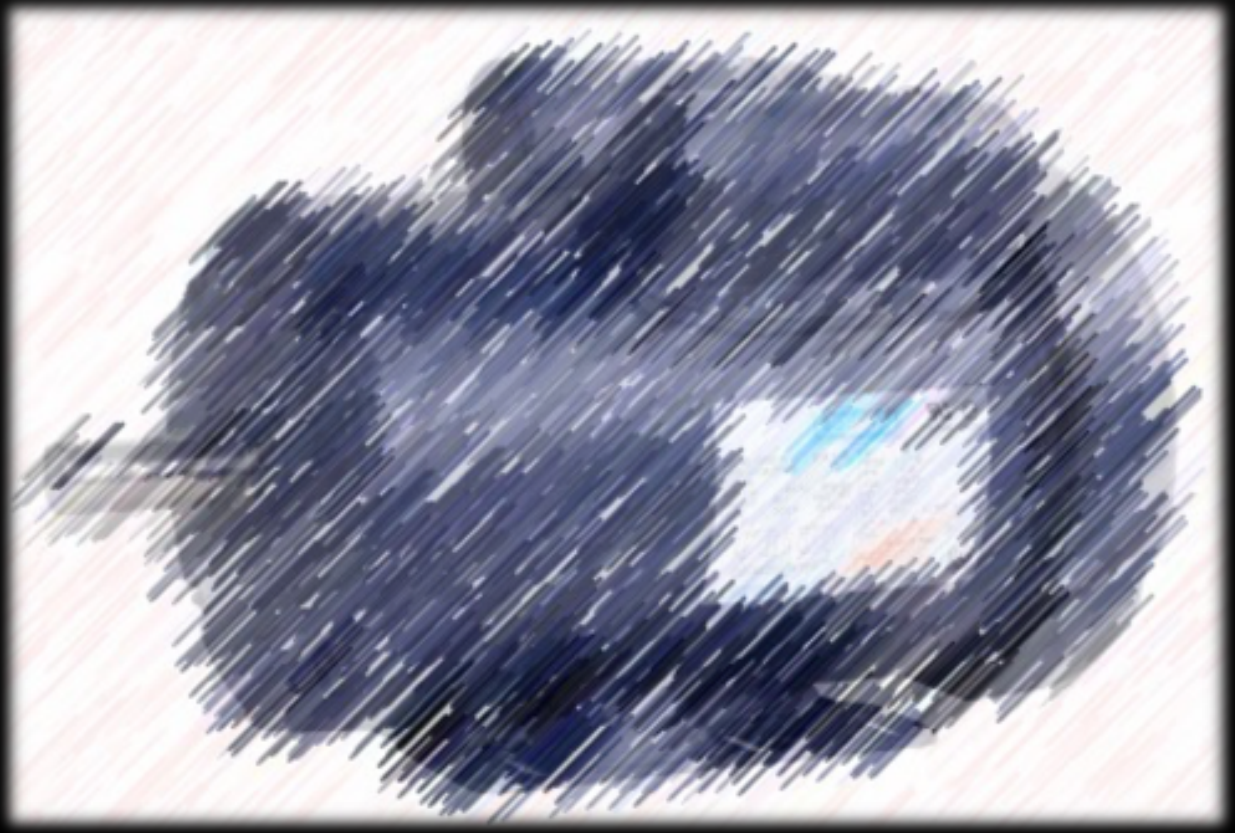
UTILIZAÇÃO DE ENGRENAGENS E TRANSMISSÕES MECÂNICAS DE PERDAS REDUZIDAS

Transmissão por corrente

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.**



SISTEMAS DE ACIONAMENTO DE VELOCIDADE VARIÁVEL



ADAPTAÇÃO DO REGIME DE TRABALHO ÀS FLUTUAÇÕES DE CARGA

- Grande parte das aplicações industriais em que se utiliza força motriz beneficiaria, em termos de consumo de eletricidade e desempenho global, se a velocidade do motor se ajustasse às necessidades do processo.

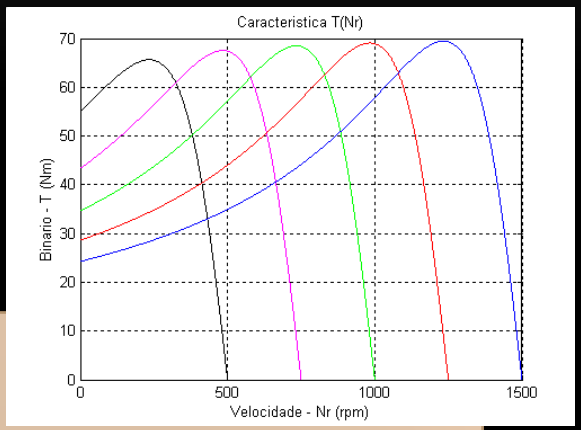
- O Controlo de Velocidade conduz em geral a uma poupança substancial de energia.

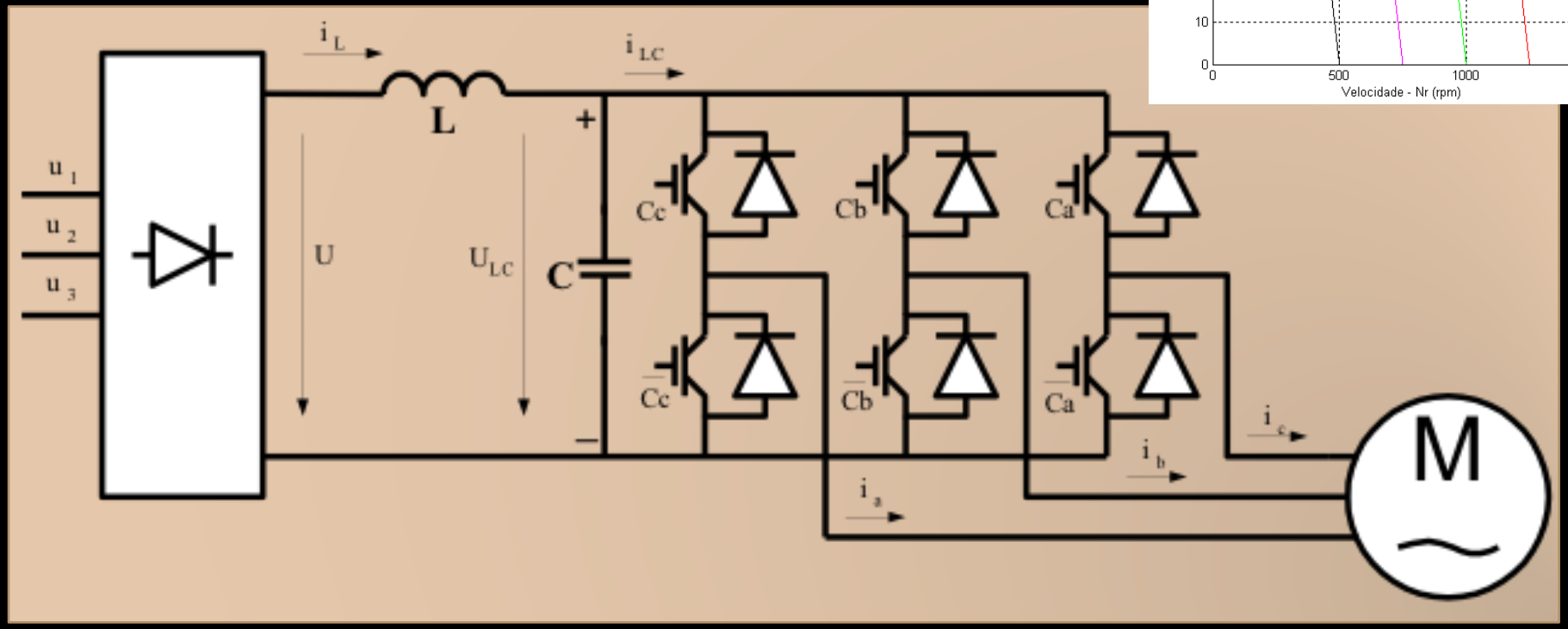
ADAPTAÇÃO DO REGIME DE TRABALHO ÀS FLUTUAÇÕES DE CARGA

Sistemas Eletromecânicos com carga variável ou parcial:

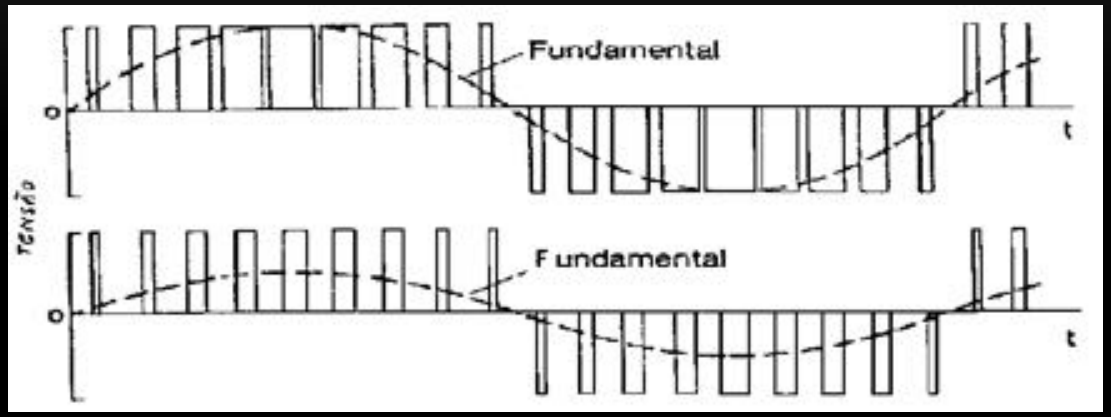
- Ventiladores
- Bombas
- Máquinas de lavar
- Elevadores
- Serras de bancada
- Compressores
- Desumidificadores
- Condicionadores de ar
- Correias transportadoras
- Máquinas pneumáticas
- Escadas rolantes

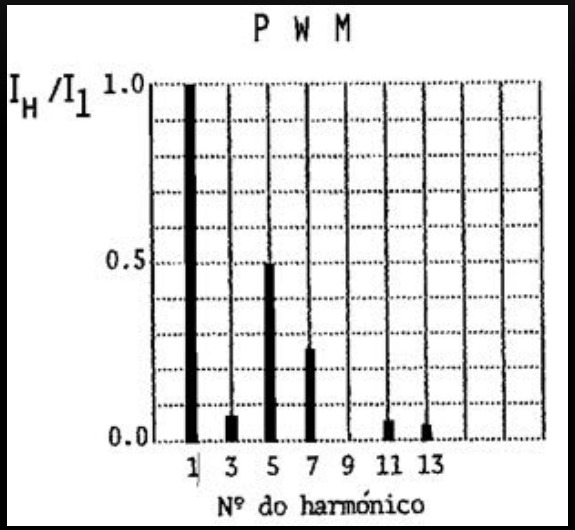
CONVERSORES ELETRÓNICOS DE POTENCIA

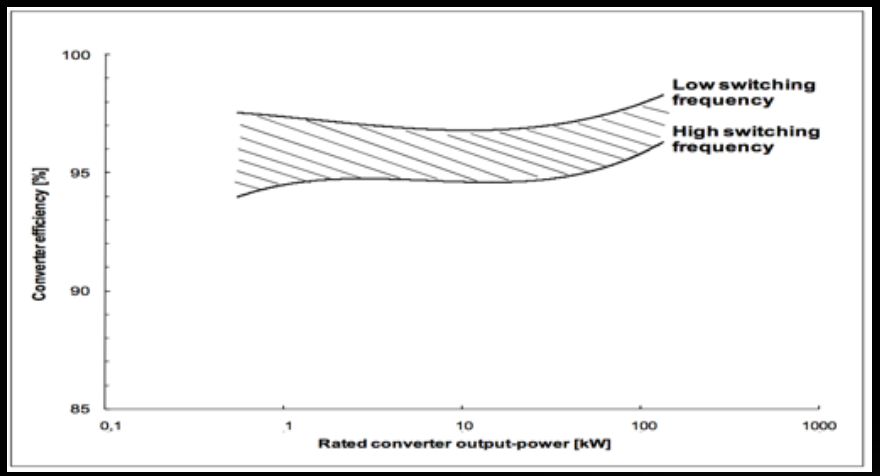




FORMAS DE ONDA





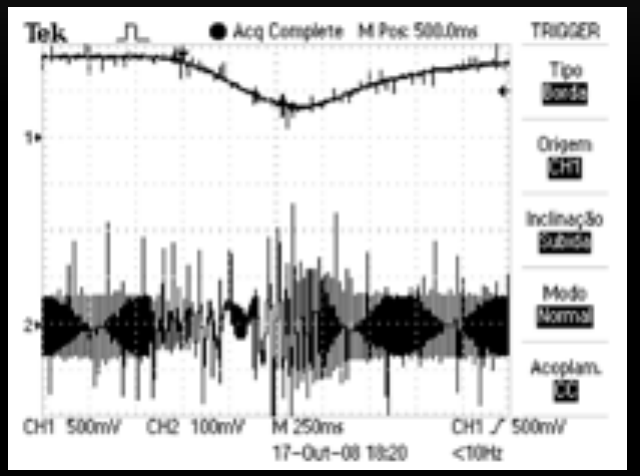


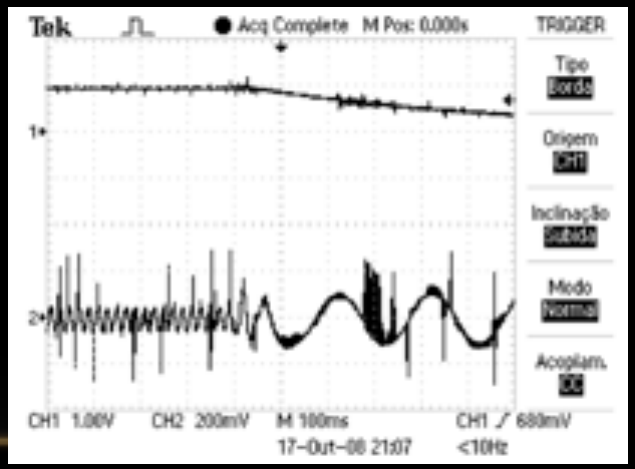
Fonte: Ferreira, Paul Walde and conrad u. Brunner (2011)

MÉTODOS DE CONTROLO DE VELOCIDADE EM ACIONAMENTOS ELETROMECÂNICOS

Métodos de controlo em motores AC:

- Métodos escalares (V/f)
- Orientação de campo (FCO)
- Controlo direto de binário (DTC)





SISTEMAS DE ACIONAMENTO DE VELOCIDADE VARIÁVEL

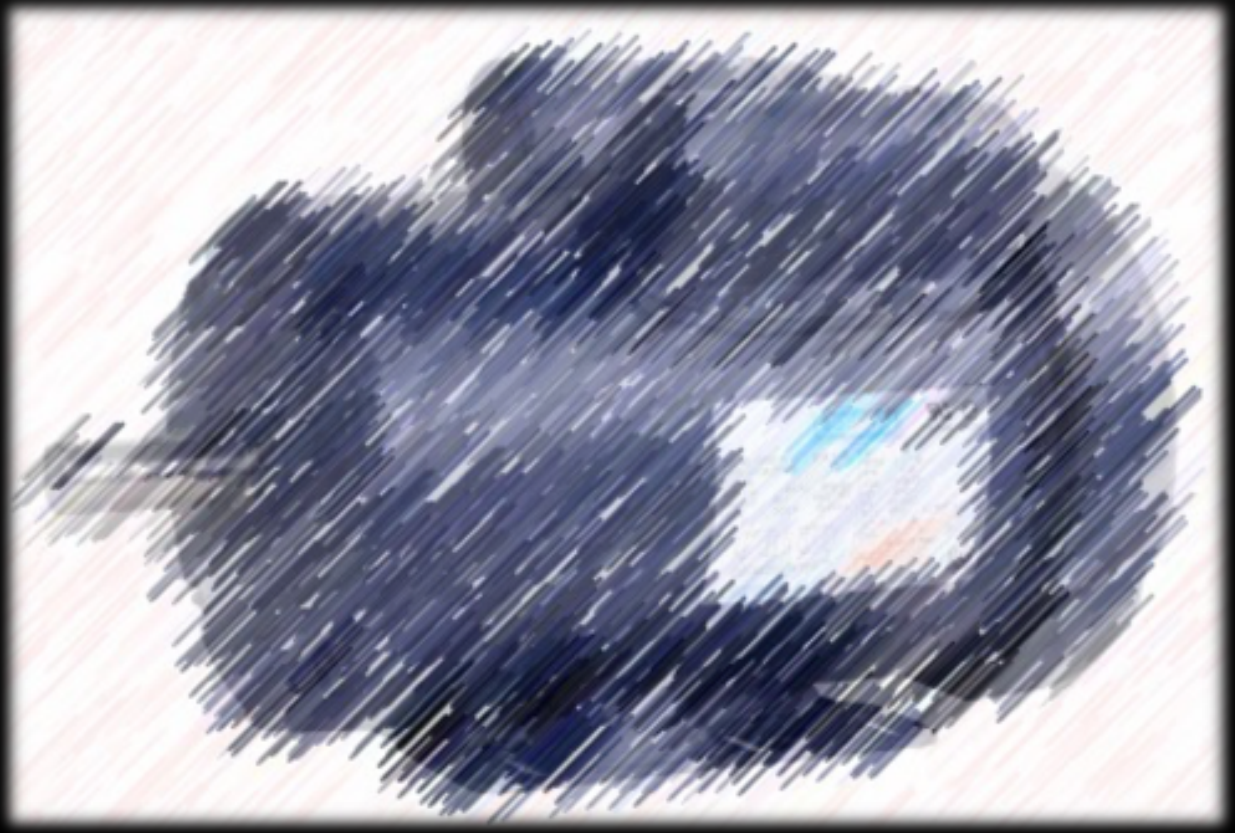
Vantagens

- Redução do consumo de energia
- Diminuição dos custos de operação e manutenção
  - Operação suave do motor
  - Diminuição do esforço dinâmico nas canalizações

Desvantagens

- Existência de harmónicas
- Interferência eletromagnética

SISTEMAS DE ACIONAMENTO DE VELOCIDADE VARIÁVEL EM SISTEMAS DE BOMBAGEM



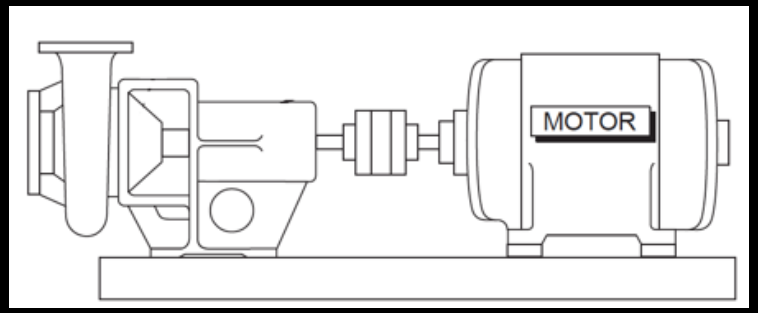
CONTROLO DE CAUDAIS DE ÁGUA

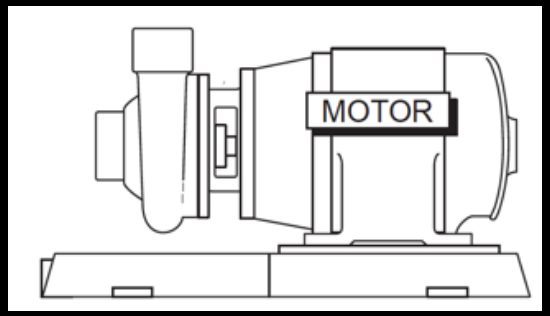
Sistemas de Bombagem

- Componentes
  - Sistema hidráulico (bombas e canalizações)
  - Sistema elétrico (motor e componentes)
  - Sistema de controlo (pressão, caudal, nivel)

BOMBAS

- Bombas são amplamente utilizadas na indústria para fornecer serviços de refrigeração e lubrificação, transferir fluidos para processamento e fornecer a força motriz em sistemas hidráulicos.
- Podem estar integradas no motor ou acopladas





POTENCIA DE UMA BOMBA HIDRÁULICA

A potencia de uma bomba hidráulica é dada por $P = \gamma Q H$

- P – potencia [W]
- γ – peso específico do fluido [N/m^3]
- Q – caudal [m$_3$/s]
- H – altura dinâmica da bomba (carga) [m]

LEIS DE AFINIDADE

As leis de afinidade descrevem as relações entre velocidade, caudal, altura e potência.

- Com diâmetro constante

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{n_1}{n_2} \qquad \frac{H_1}{H_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \qquad \frac{P_1}{P_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

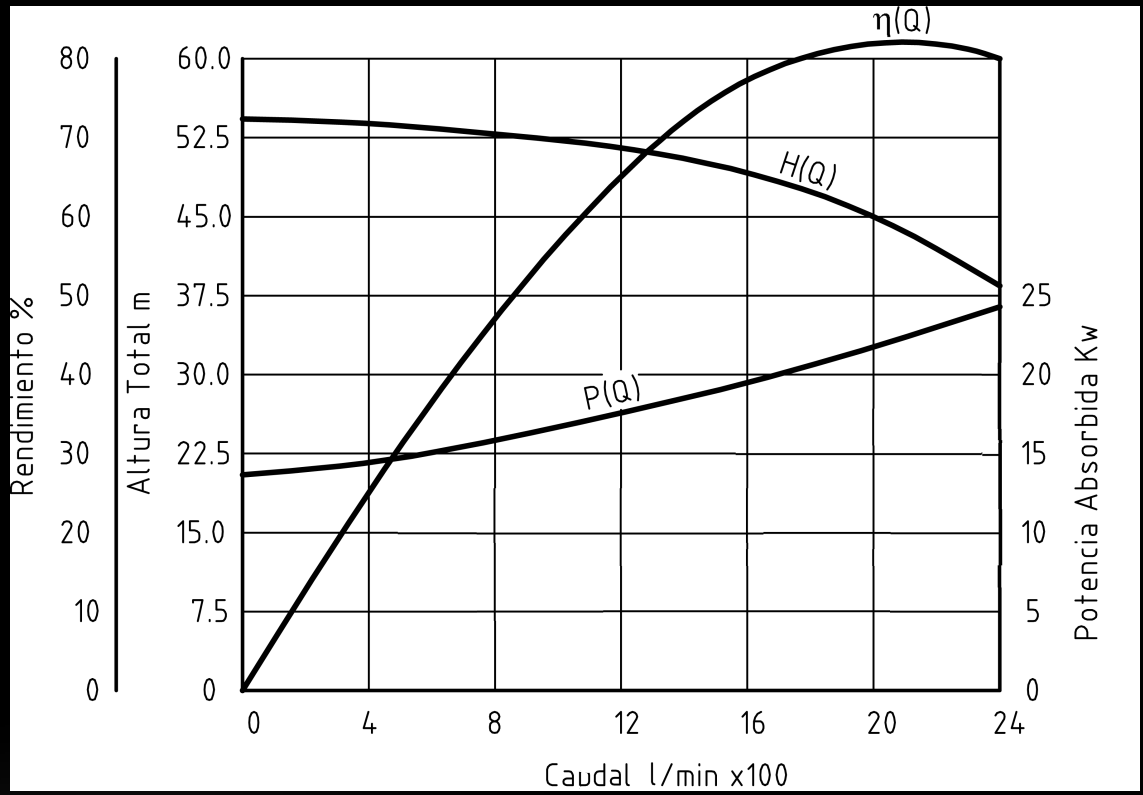
- Com velocidade constante

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3 \qquad \frac{H_1}{H_2}=\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \qquad \frac{P_1}{P_2}=\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^5$$

CARACTERÍSTICA DE UMA BOMBA

As curvas características das bombas centrifugas relacionam:

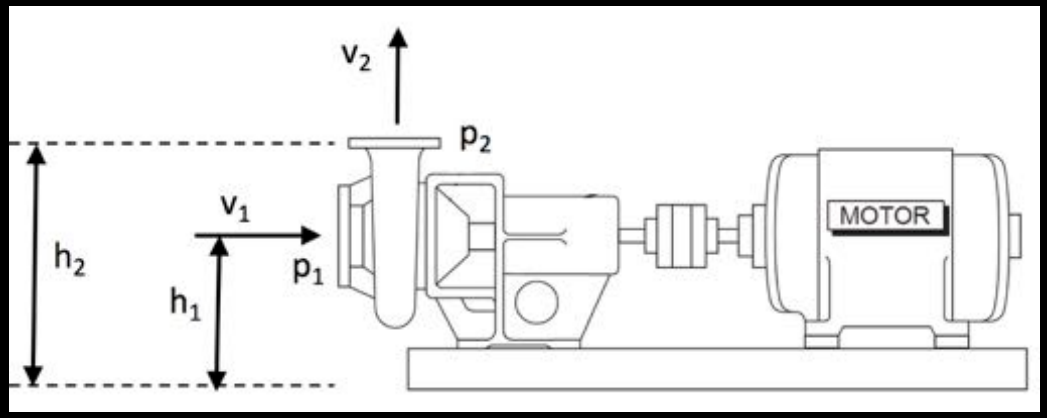
- caudal (Q)
- altura manométrica (H)
- potencia absorvida (P)
- rendimento (η)



CARACTERÍSTICA DE UMA BOMBA

A altura manométrica depende da pressão estática, da altura (energia potencial), da velocidade (energia cinética) e da fricção.

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + (h_2 - h_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$



CURVA CARACTERÍSTICA DO SISTEMA

Cada sistema tem uma resistência combinada ao caudal que é dependente dos componentes individuais do sistema:

- comprimento total do tubo
- tamanho do tubo
- número de cotovelos
- montagem
- válvulas

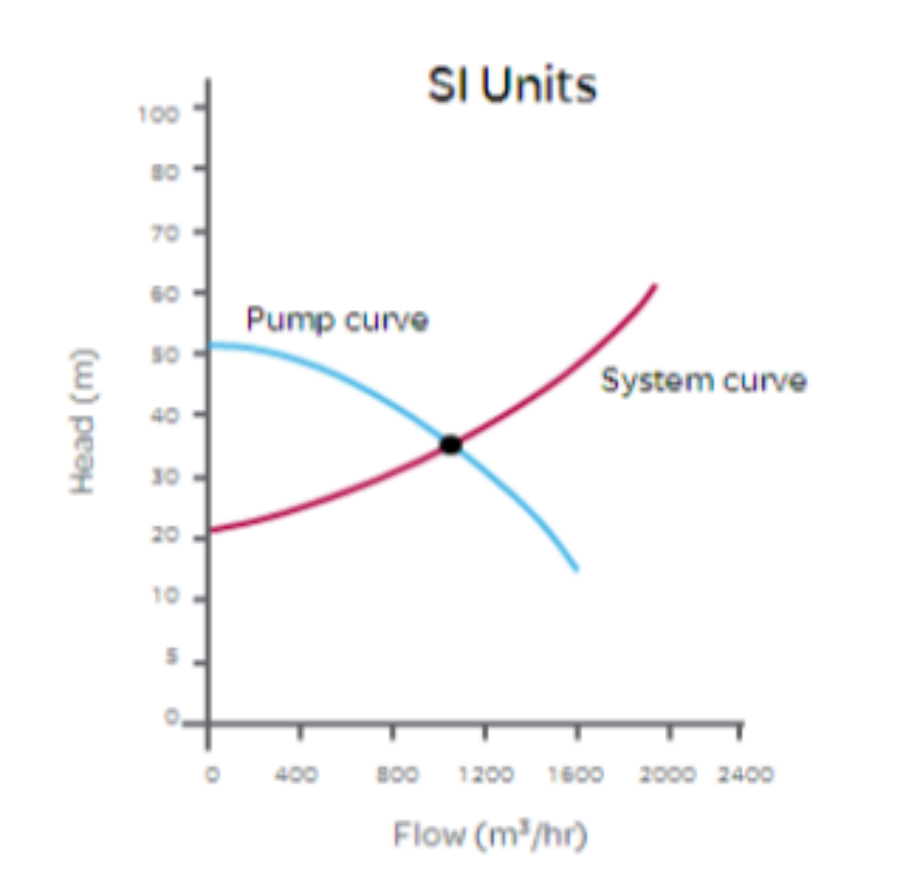
A determinação da "perda de pressão" ou "resistência ao fluxo", para os componentes individuais, pode ser obtida junto aos fabricantes de componentes. Estes dados são combinados numa curva de fluxo versus resistência e são traçados como a **curva do sistema**.

CURVA CARACTERÍSTICA DO SISTEMA

Ponto de funcionamento

O ponto onde a curva do sistema e a curva da bomba se cruzam determina a pressão real que será experimentada pela bomba e o fluxo que ela gerará

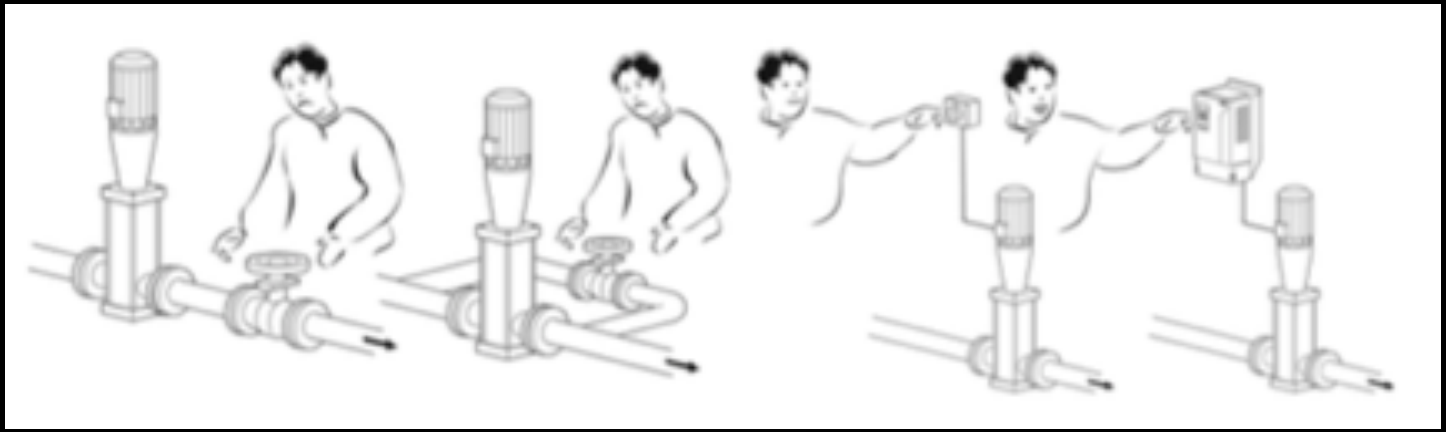
$$P = \gamma Q H$$



Fonte: Electric Schneider

MÉTODOS DE CONTROLO DO FLUXO

- Estrangulamento
- By-pass
- Controlo on-off
- Variação de velocidade do motor

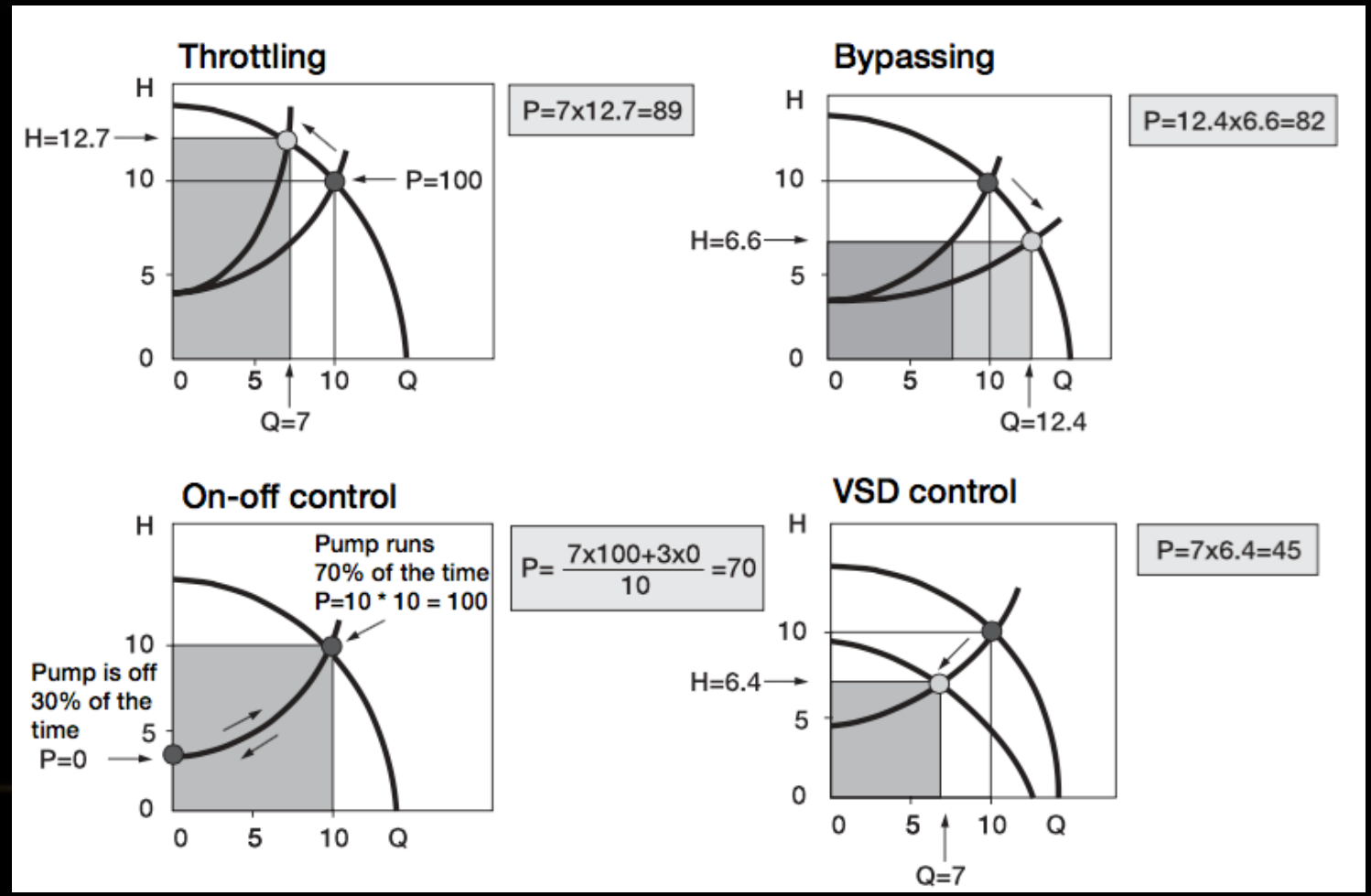


Fonte: ABB

MÉTODOS DE CONTROLO DO FLUXO

Redução do fluxo para 70%...

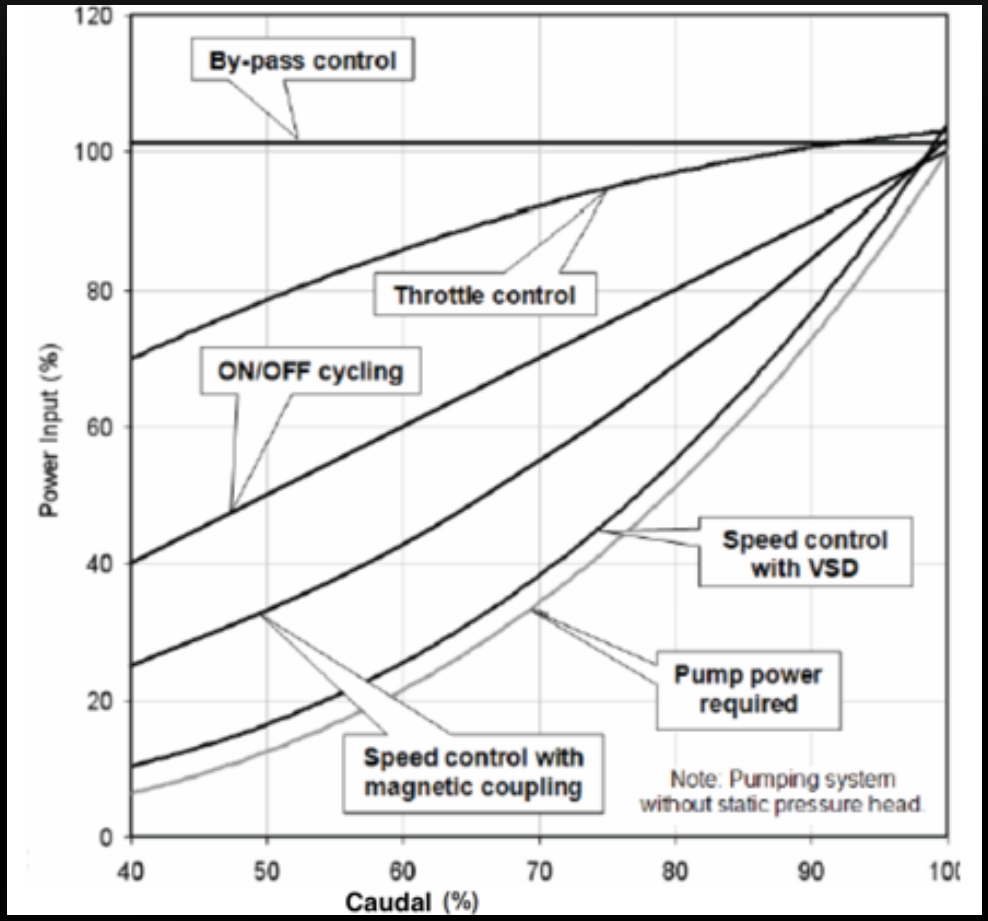
$$P = \gamma Q H$$



Fonte: ABB

MÉTODOS DE CONTROLO DO FLUXO

A potência necessária, para reduzir o fluxo, com diferentes métodos de controle, depende do valor desse mesmo fluxo (notar que as relações não são lineares)



Fonte: Ferreira, F.J.T.E. (2009)

RESUMO

- A força motriz elétrica corresponde a 46% do consumo total de eletricidade
- A eficiência media (estimada) dos sistemas de motorização elétrica é de cerca de 50%
- A utilização de motores de alto rendimento permite ganhos de eficiência, em particular para motores de baixa e média potencia
- O dimensionamento correto dos vários elementos de um sistema de força motriz permite ganhos elevados de eficiência
- A utilização de sistemas de acionamento de velocidade variável permite ganhos de eficiência e prolonga o tempo de vida do sistema

BIBLIOGRAFIA

- De Almeida A.T., et al. (2008a), Improving the Penetration of Energy-Efficient Motors and Drives, European Commission SAVE Study, Institute of Systems and Robotics, University of Coimbra, Portugal, available at: http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge/pdf/SAVEII-Motors-Final-Report-Mar-2000.pdf.
- De Almeida, A.T., et al. (2008b), EuP Lot 11 Motors, Final, Institute of Systems and Robotics, University of Coimbra, available at: www.ecomotors.org/files/Lot11_Motors_1- 8_280408_final.pdf.
- Paul Walde and conrad u. Brunner (2011), Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems, IEA
- Ferreira, F.J.T.E. (2009), Energy-Efficient Electric Motors and Drives, Institute of Systems and Robotics, University of Coimbra, Portugal, available at: http://scripts.mit.edu/~mpp-ses/wiki/images/e/ee/ISR-UC-MIT-Presentation-April2009-1.pdf.
- Electric Machinery. A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley, JR., Stephen D. Umans; McGraw-Hill, 2005
- Energy-Efficient Electric Motors, Ali Emadi; CRC Press, 2004