

Inovação Tecnológica

Desafios da aplicação da
tecnologia de automação
no saneamento

28 de novembro de 2016
das 8h às 17h30

Sabesp - Complexo Ponte Pequena
Avenida do Estado, 561 - São Paulo/SP

III Simpósio ISA São Paulo
de Automação em Sistemas
de Água e de Esgoto



Eficiência Energética Em Acionamentos

João Pratas, Gerente de Produtos e Aplicações da Danfoss América Latina

Inovação Tecnológica
Desafios da aplicação da tecnologia
de automação no saneamento

Eficiência Energética Em Acionamentos

João Pratas

III Simpósio ISA São Paulo
de Automação em Sistemas
de Água e de Esgoto



28 de novembro/2016
São Paulo - SP

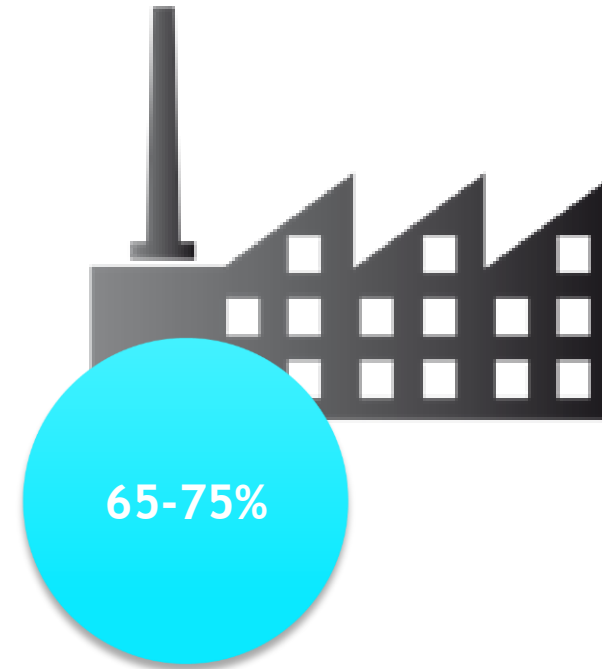
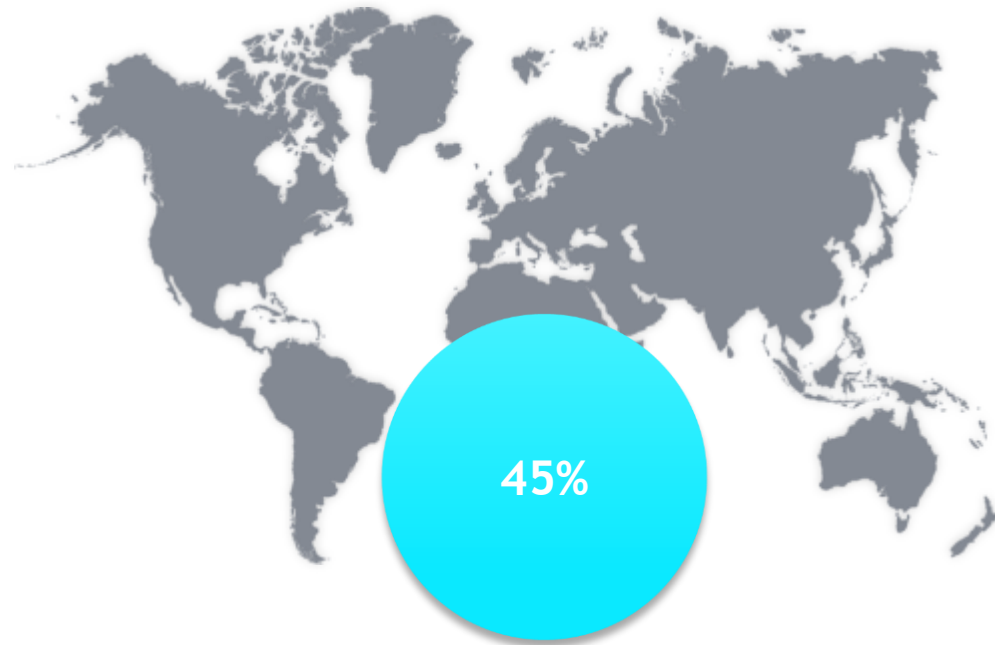
Agenda

- Consumo de energia em sistemas de acionamento
- Classificação de componentes energeticamente eficientes
- Regulação de velocidade utilizando Inversores de Frequência
- Economias inteligentes utilizando Inversores de Frequência
- Exemplos de aplicação

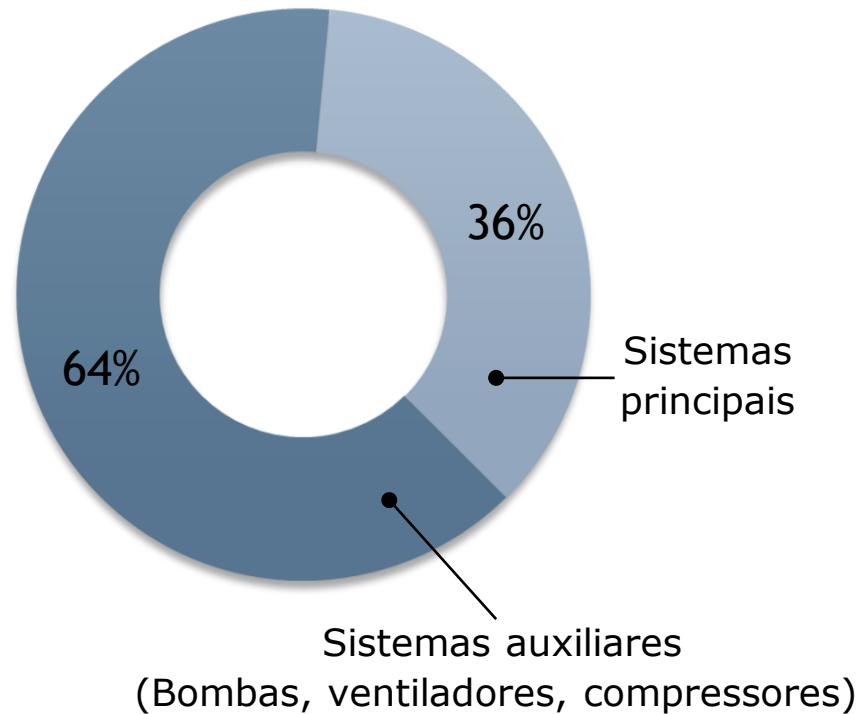
Consumo de energia em sistemas de acionamento

Proporção de energia consumida por sistemas elétricos

- ▶ Motores elétricos são responsáveis por aproximadamente 45% do consumo de energia elétrico global
- ▶ Na indústria, dependendo do setor, esse valor pode atingir 65-75%



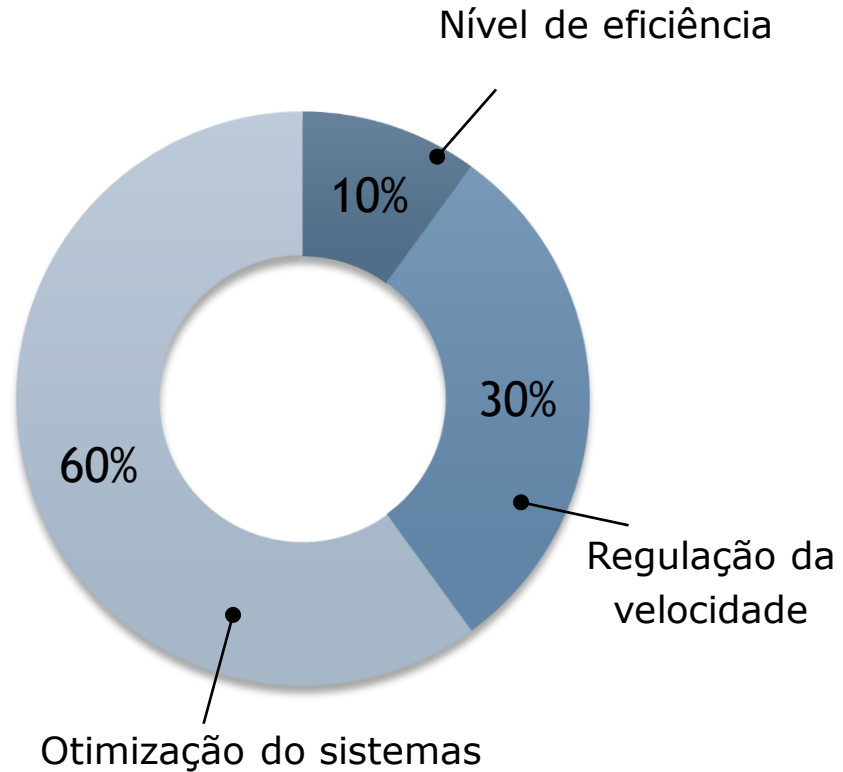
Quem necessita de energia?



- ▶ Sistemas principais
 - ▶ Correias transportadoras
 - ▶ Elevações
 - ▶ Extrusoras
- ▶ Sistemas auxiliares
 - ▶ Bombas
 - ▶ Ventiladores
 - ▶ Compressores

*Average values from various sources
(Fraunhofer Institut, Energieagentur Austria, EUP Lot 11 Motors Final Report)*

Potencial de economia



- ▶ 10% aumento do nível de rendimento dos componentes
- ▶ 30% regulação da velocidade
- ▶ 60% otimização do processo

Source: Save Report of the EU & ZVEI (Electrical and Electronic Manufacturers' Association)

Classificação de componentes energeticamente eficientes

Eficiência

- ▶ Eficiência global de um sistema consiste na multiplicação dos rendimentos dos componentes

$$\eta_{\text{Sistema}} = \eta_{\text{Componente 1}} \times \dots \times \eta_{\text{Componente X}}$$

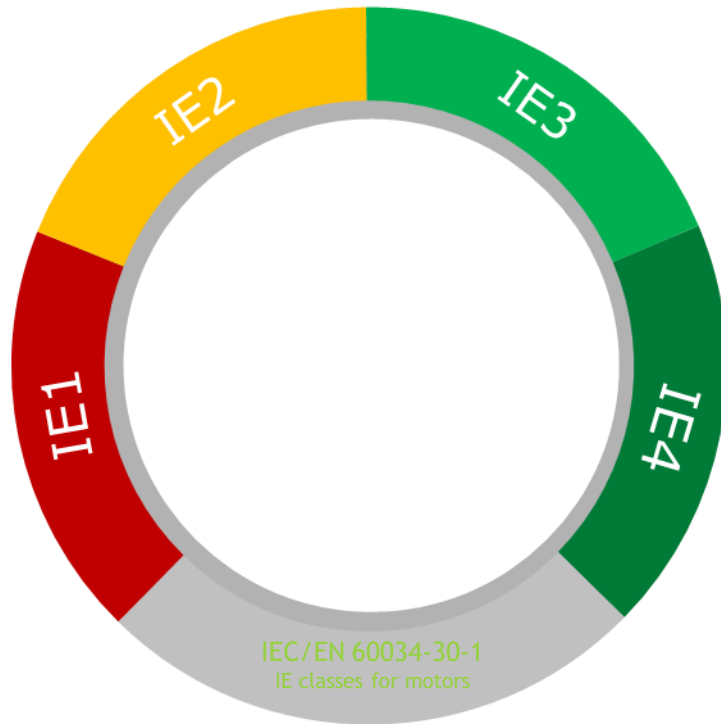
- ▶ Componentes típicos de um sistema:
 - ▶ Controlador de velocidade
 - ▶ Motor
 - ▶ Redutor
 - ▶ Elemento de transmissão de potência
- ▶ Para alguns componentes, são aplicadas classificações IE (International Efficiency) e definidos valores mínimos





Motores

IEC/EN 60034-30-1



- ▶ Define classes de rendimento - IE1-IE4 – para motores operados com tensão sinusoidal.
- ▶ Níveis de rendimento independentes das tecnologias de motor (por exemplo, PM ou motores de indução trifásico)
- ▶ Classe IE é definida em função do ponto nominal de operação
- ▶ Eficiência para torque de 50% a 75% deverá ser listada na documentação
- ▶ Classes para motores conectados a acionamentos ainda se encontram em discussão



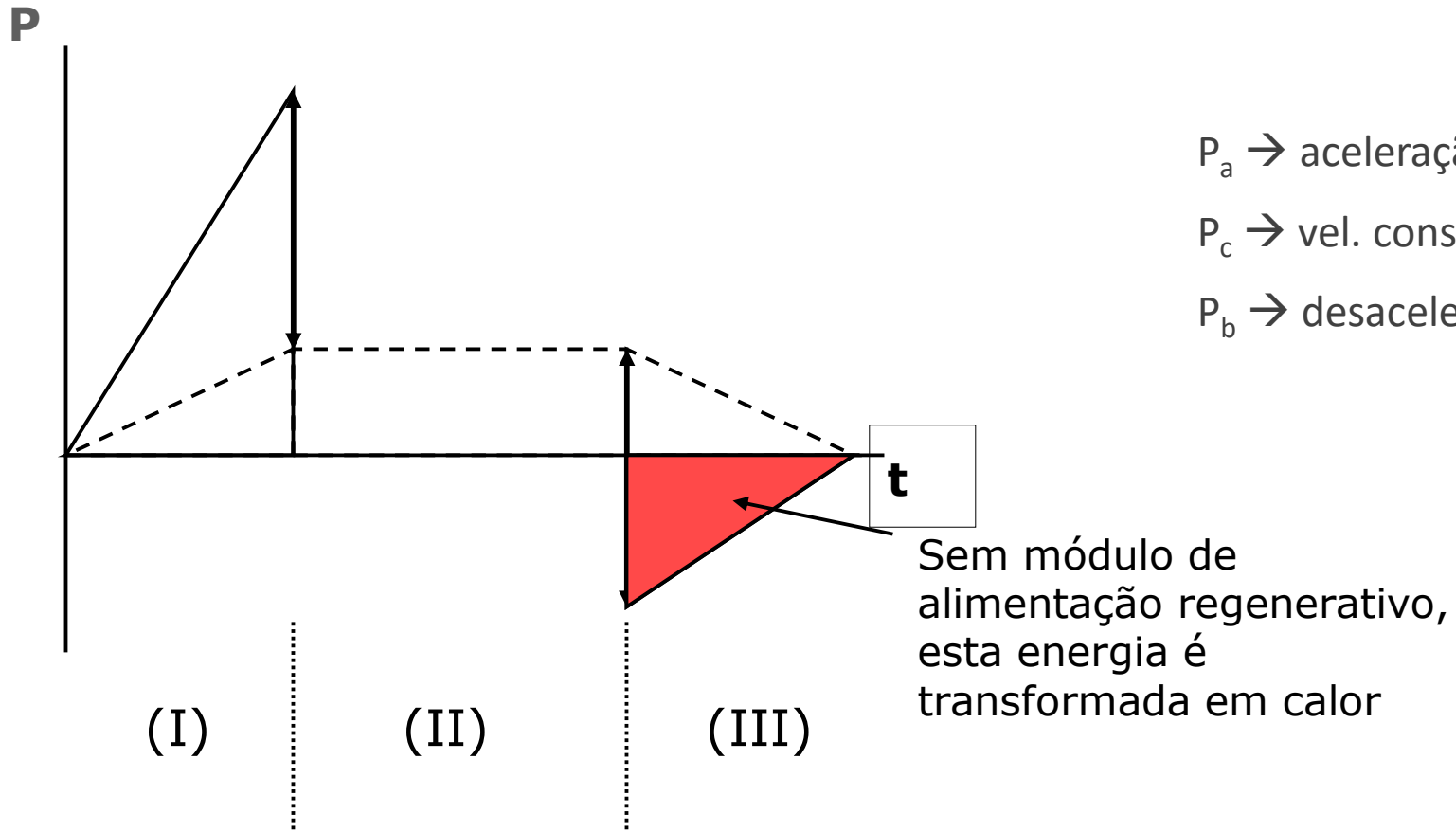
Comparação Técnico-Económica de MI

- ▶ Classe IE1-, IE2- e IE3-7,5-kW, motor de 4-polos

Operação intermitente

IEC Class	Motor Technology	IEC Frame	Weight (kg)	Power Density (W/kg)	Inertia (kg.m ²)	Rated Speed (r/min)	Full-load torque (N.m)	Locked Rotor to Full-load Torque Ratio	Locked Rotor to Full-load Current Ratio	Full-load Efficiency (%)	Full-load Power Factor	Price (%)
IE1	SCIM	132M	64.5	116.3	0.0465	1455	49.3	2.1	6.7	87.0	0.84	-
IE2	SCIM	132M	72.0	104.2	0.0528	1455	49.3	2.0	7.2	89.0	0.86	100%
IE3	SCIM	132M	78.0	96.2	0.0642	1465	48.9	2.5	8.5	91.5	0.85	115%

Motores de Alto Rendimento em aplicações intermitentes

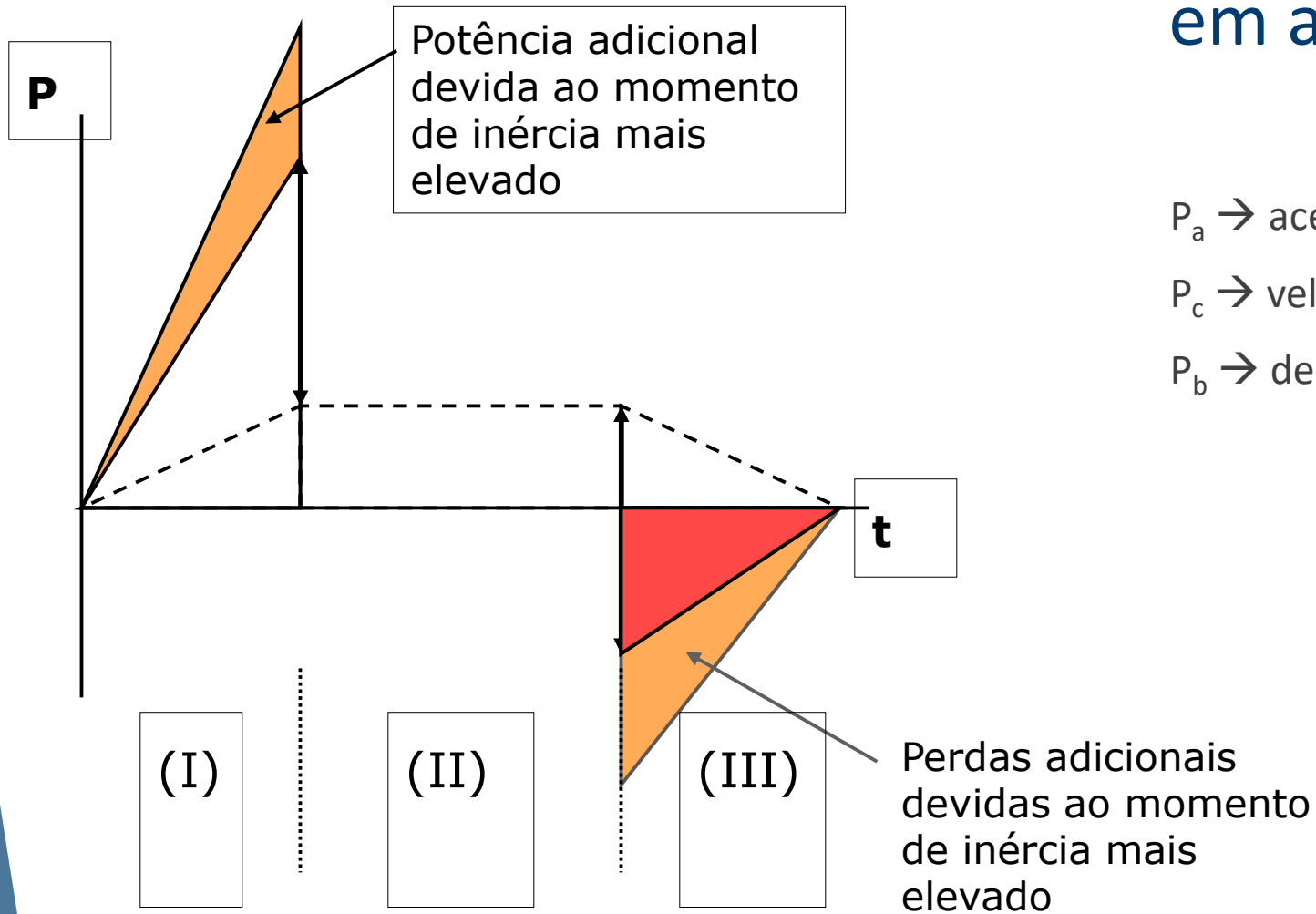


$P_a \rightarrow$ aceleração (I)

$P_c \rightarrow$ vel. constante (II)

$P_b \rightarrow$ desaceleração (III)

Motores de Alto Rendimento em aplicações intermitentes

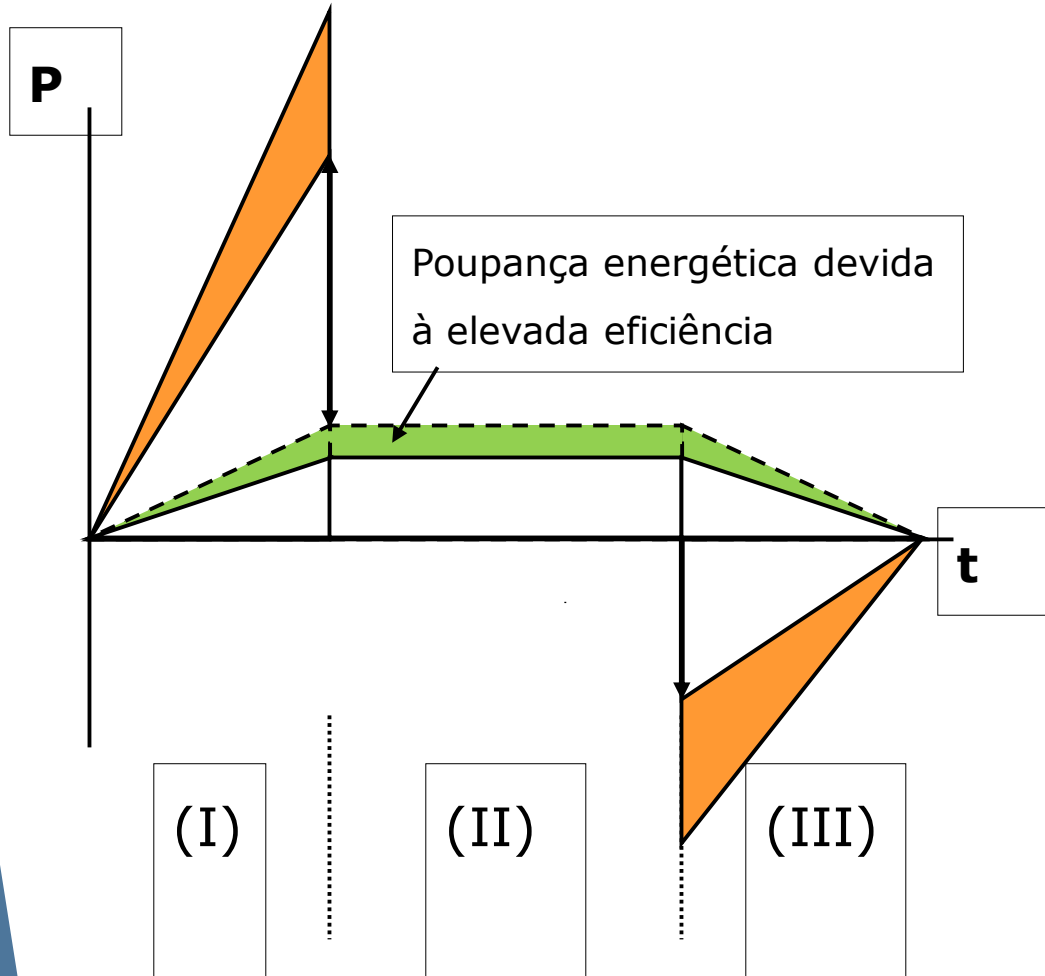


$P_a \rightarrow$ aceleração (I)

$P_c \rightarrow$ vel. constante (II)

$P_b \rightarrow$ desaceleração (III)

Motores de Alto Rendimento em aplicações intermitentes

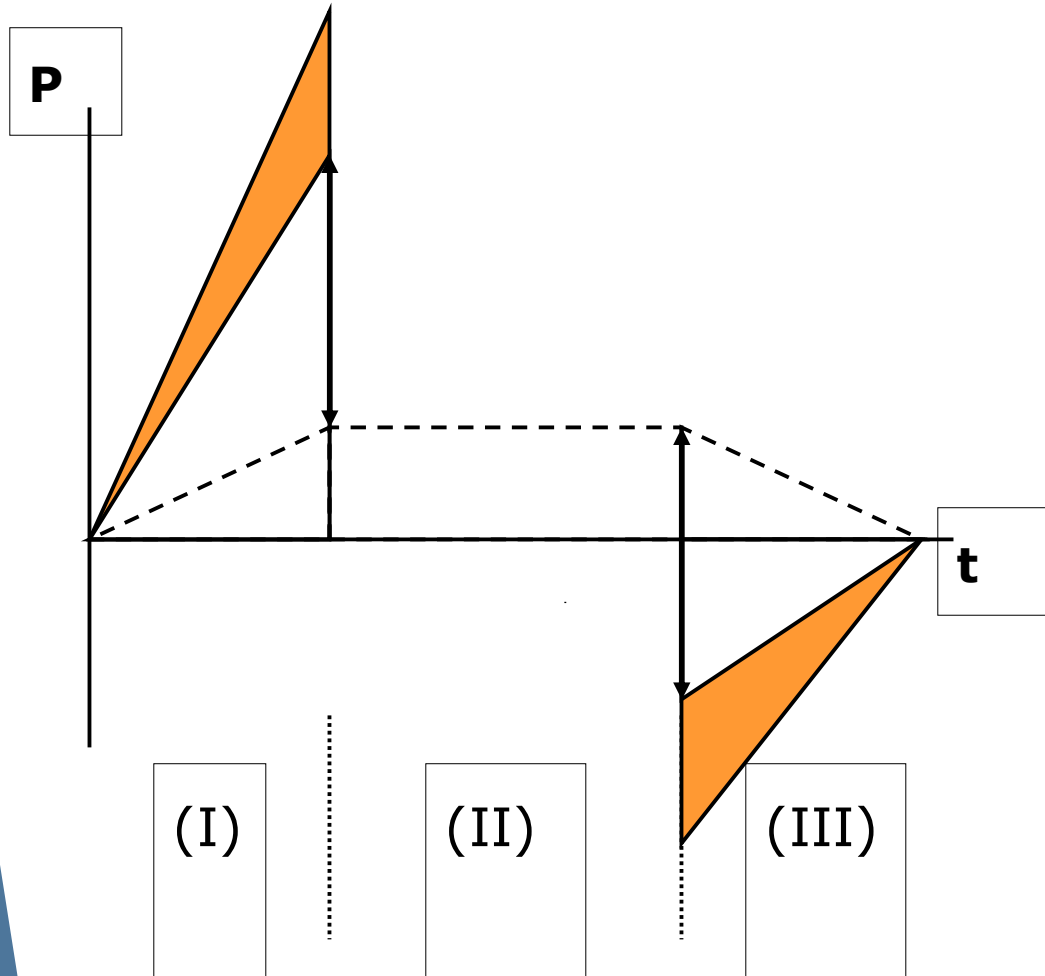


$P_a \rightarrow$ aceleração (I)

$P_c \rightarrow$ vel. constante (II)

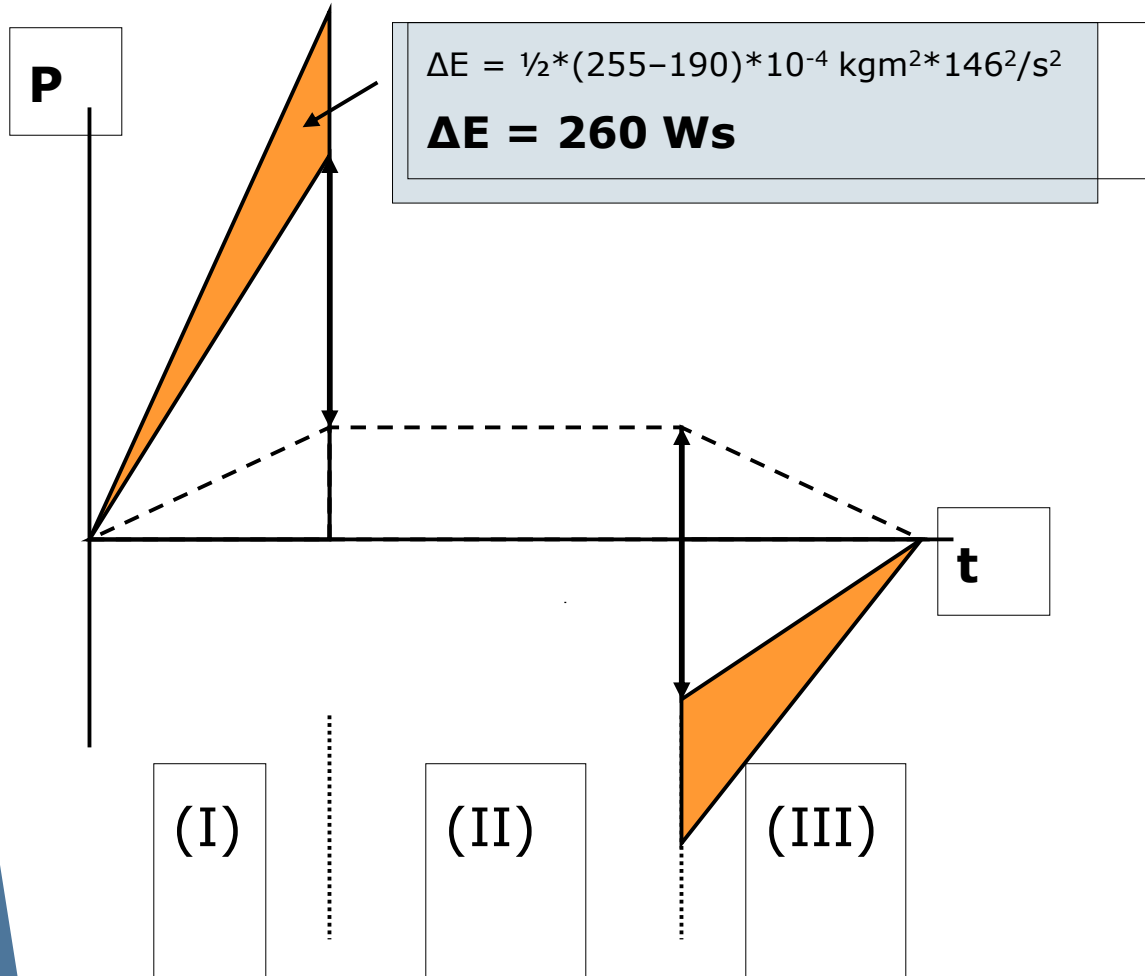
$P_b \rightarrow$ desaceleração (III)

Motores de Alto Rendimento em aplicações intermitentes



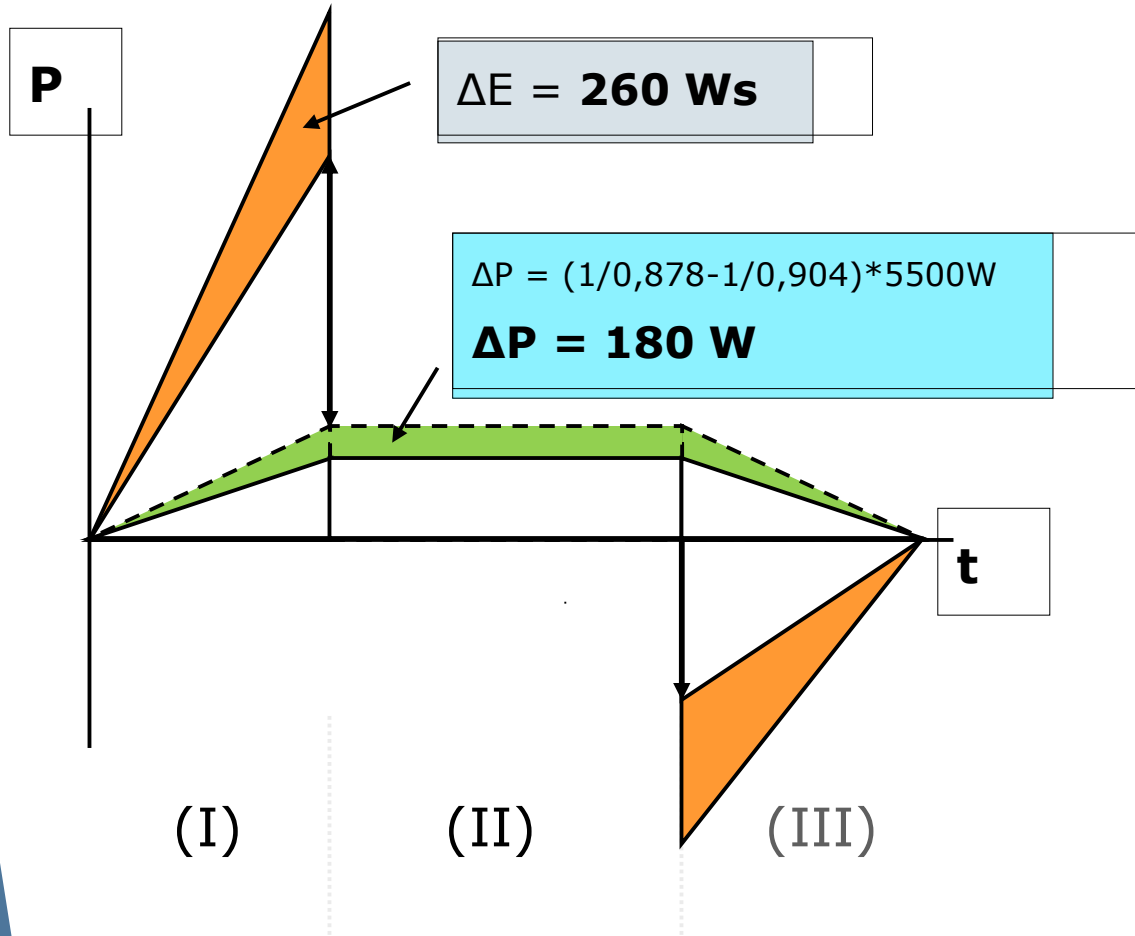
- ▶ Exemplo
- ▶ **Potência nominal:**
- ▶ 5,5 kW, 2700 1/min
- ▶ **Motor IE1**
- ▶ $J_{MOT} = 190 * 10^{-4} \text{ kgm}^2$
- ▶ $\eta = 87,8$
- ▶ **Motor IE2**
- ▶ $J_{MOT} = 255 * 10^{-4} \text{ kgm}^2$
- ▶ $\eta = 90,4$

Motores de Alto Rendimento em aplicações intermitentes



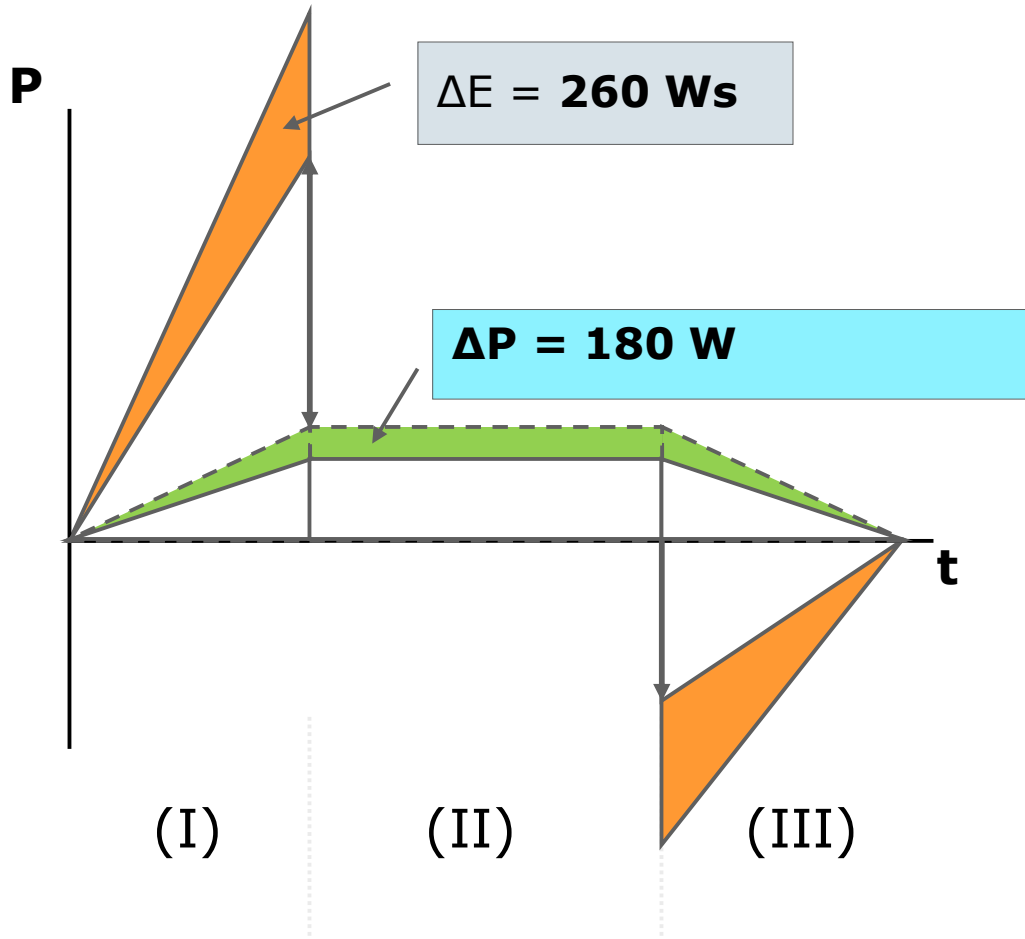
- ▶ Exemplo
- ▶ **Potência nominal:**
- ▶ 5,5 kW, 2700 1/min
- ▶ **Motor IE1**
- ▶ $J_{\text{MOT}} = 190 * 10^{-4} \text{ kgm}^2$
- ▶ $\eta = 87,8$
- ▶ **Motor IE2**
- ▶ $J_{\text{MOT}} = 255 * 10^{-4} \text{ kgm}^2$
- ▶ $\eta = 90,4$

Motores de Alto Rendimento em aplicações intermitentes



- ▶ Exemplo
- ▶ **Potência nominal:**
- ▶ 5,5 kW, 2700 1/min
- ▶ **Motor IE1**
- ▶ $J_{\text{MOT}} = 190 * 10^{-4} \text{ kgm}^2$
- ▶ $\eta = 87,8$
- ▶ **Motor IE2**
- ▶ $J_{\text{MOT}} = 255 * 10^{-4} \text{ kgm}^2$
- ▶ $\eta = 90,4$

Motores de Alto Rendimento em aplicações intermitentes



- ▶ Exemplo
- ▶ **Potência nominal:**
- ▶ 5,5 kW, 2700 1/min
- ▶ **Motor IE1**
- ▶ $J_{\text{MOT}} = 190 * 10^{-4} \text{ kgm}^2$
- ▶ $\eta = 87,8$
- ▶ **Motor IE2**
- ▶ $J_{\text{MOT}} = 255 * 10^{-4} \text{ kgm}^2$
- ▶ $\eta = 90,4$

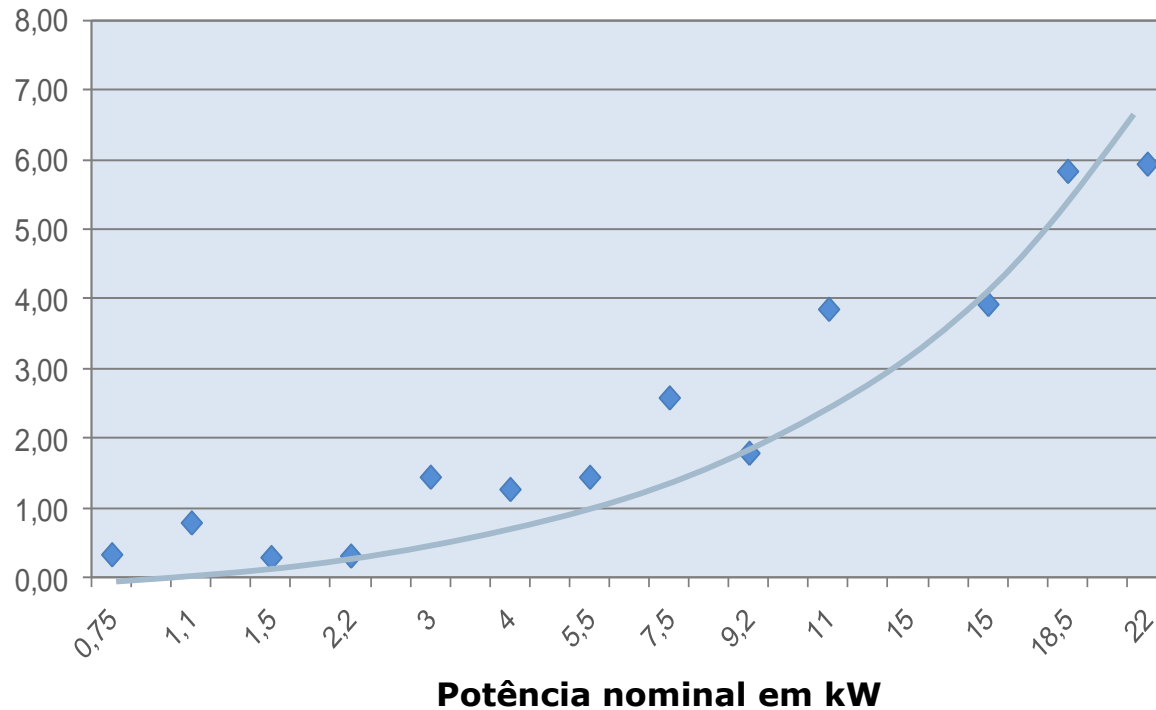
$$T > \Delta E / \Delta P = 260\text{Ws} / 180\text{W}$$

$$T > 1,5 \text{ s}$$

Propriedades energéticas de motor de Alto Rendimento

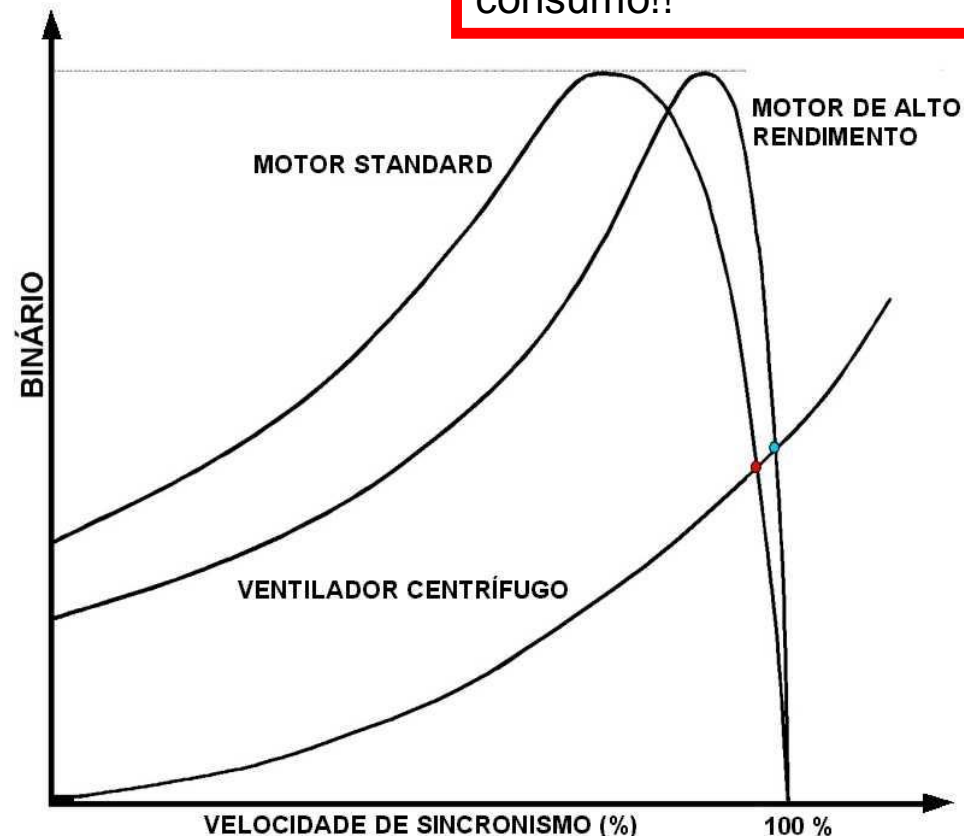
- ▶ Motor energeticamente eficiente tem de funcionar um determinado tempo mínimo em velocidade constante para produzir benefícios em termos de poupança energética.

Tempo mínimo em velocidade constante em s



Motor de Alto Rendimento

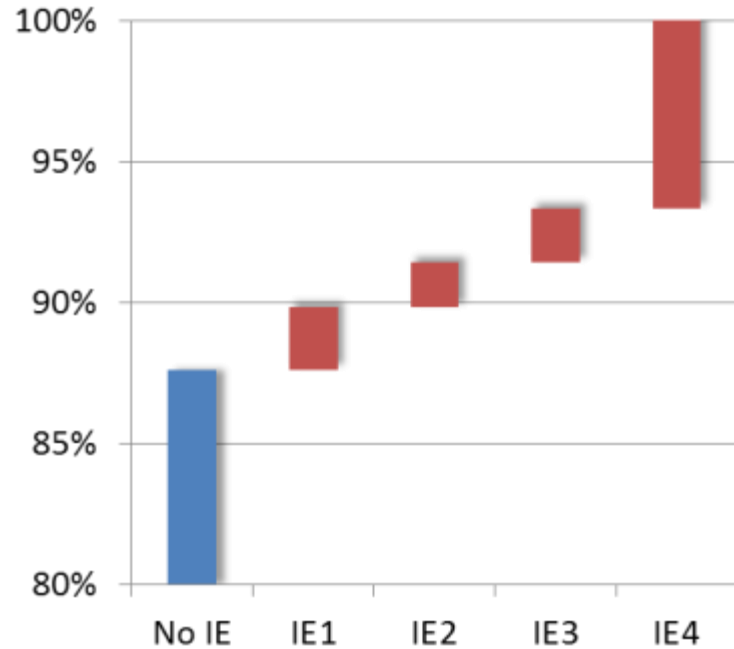
O menor deslizamento pode conduzir a um aumento do consumo!!



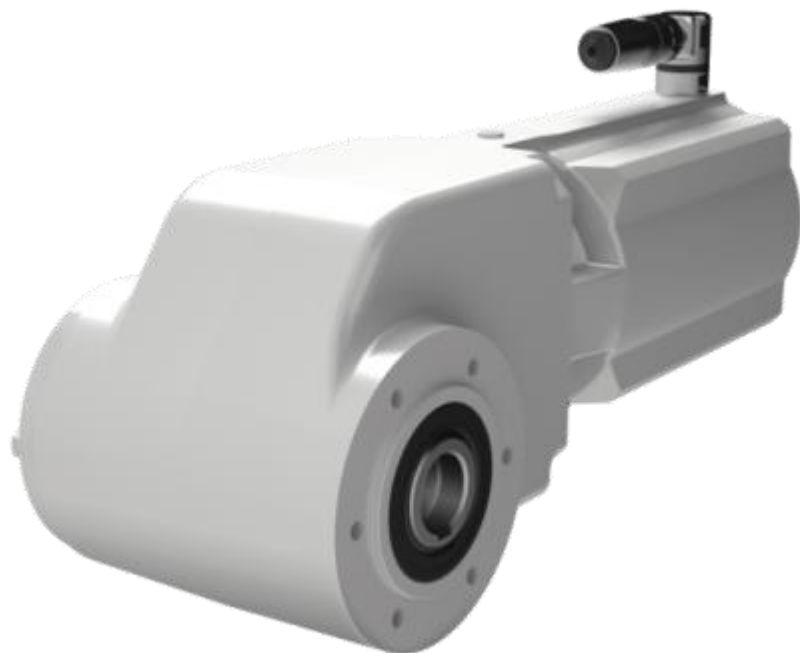
- ▶ Mais caros e/ou volumosos/pesados;
- ▶ Vida útil mais longa (aquecem menos!);
- ▶ Menor binário de arranque;
- ▶ Maior corrente de arranque (!);
- ▶ Menor deslizamento (!);
- ▶ Maior inércia (!).
- ▶ Motores de alto rendimento podem ser desaconselhados para aplicações com elevada frequência de paragens/arranques!

IEC/EN 60034-30-1 Limites em detalhe

- ▶ Classes IE são definidas em bandas. Exemplo motor de 11 kW :
 - ▶ Classe IE1: 2.3%
 - ▶ Classe IE2: 1.6%
 - ▶ Classe IE3: 1.9%
- ▶ Tolerâncias na produção influenciam rendimento final.
- ▶ Dependendo da potência do motor, as diferenças de rendimento nas diferentes classes podem ser maiores ou menores.



Transmissão



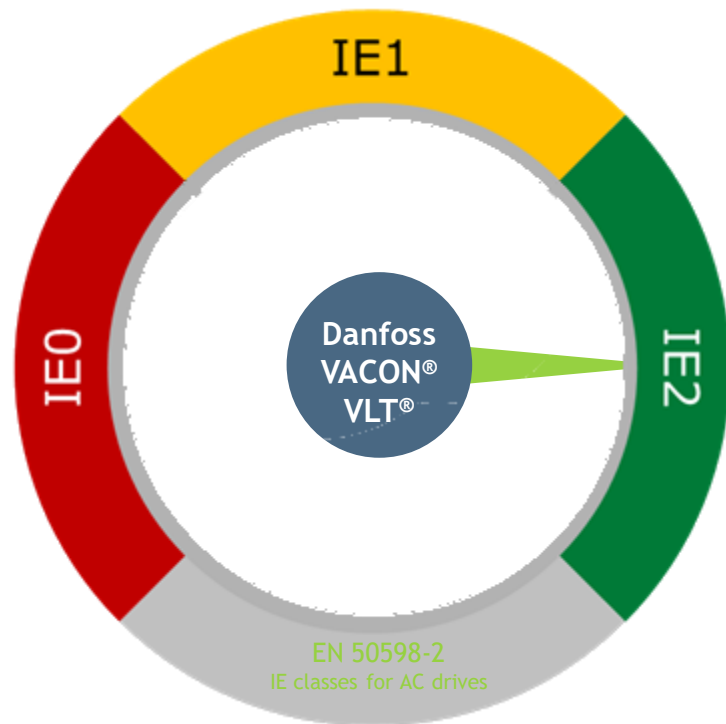
- ▶ Classes de rendimento para elementos de transmissão ainda não estão definidas
- ▶ Níveis típicos de rendimento

Transmissão	Rendimento
Acionamento direto	100 %
Helicoidais	approx. 98%
Cónicos	approx. 98%
Roda Coroa Sem-fim	50..90%
Correia Lisa	96..98 %
Correia em V	92..94%
Correia Serra	96..98 %
Corrente	96..98%



Drives CA

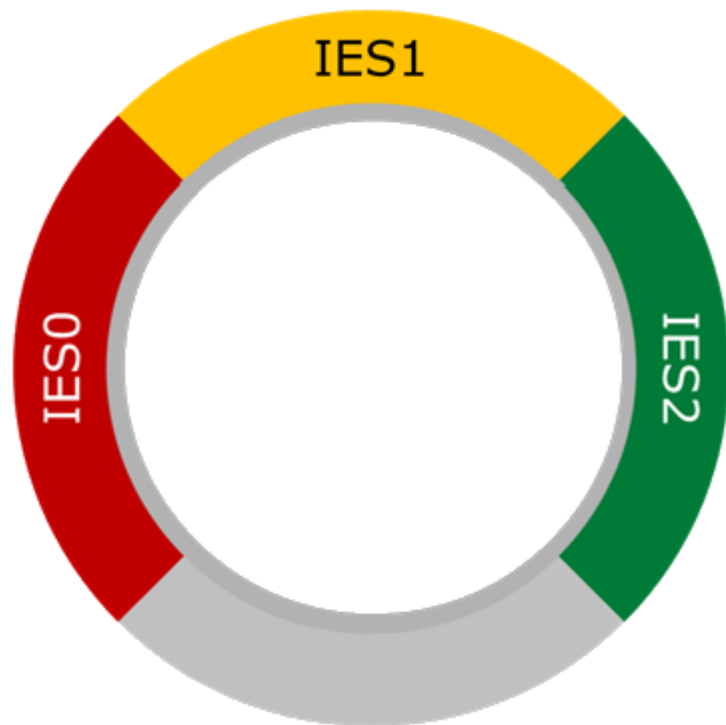
EN 50598-2



- ▶ Classifica os níveis de rendimento para Inversores - IE0-IE2 – que se enquadram nas seguintes condições:
 - ▶ Sistema de controle de eixo AC/AC para motores 3~ (motores trifásicos de indução, ímanes permanentes, ...)
 - ▶ Tensão de entrada:
 - ▶ 100V – 1,000V
 - ▶ Range de potência (PDS) rating
 - ▶ 0.12 – 1,000 kW
 - ▶ Modulos completos de acionamento:
 - ▶ 0.278 – 1,209 kVA
- ▶ Exceções
 - ▶ Sistemas com Servo acionamento
 - ▶ Sistemas com AFE



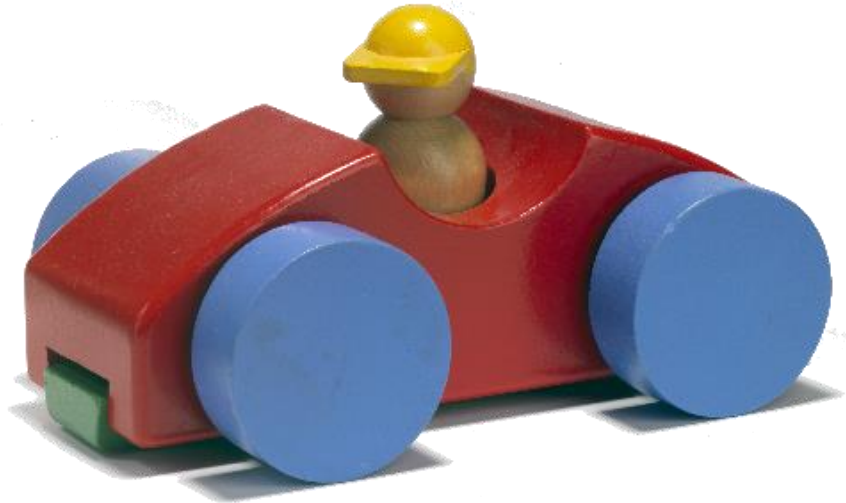
Drive + motor EN 50598-2



- ▶ Descreve as classes de eficiência IES0-IES2 para combinação de inversor e motor.
- ▶ IE0 – Perdas superiores a referencia em 20%
- ▶ IE2 - Perdas inferiores a referencia em 20%
- ▶ Classificação é realizada da seguinte maneira:
 - ▶ Somando as perdas dos componentes individuais (motor e inversor)
 - ▶ Medindo consumo do atual sistema

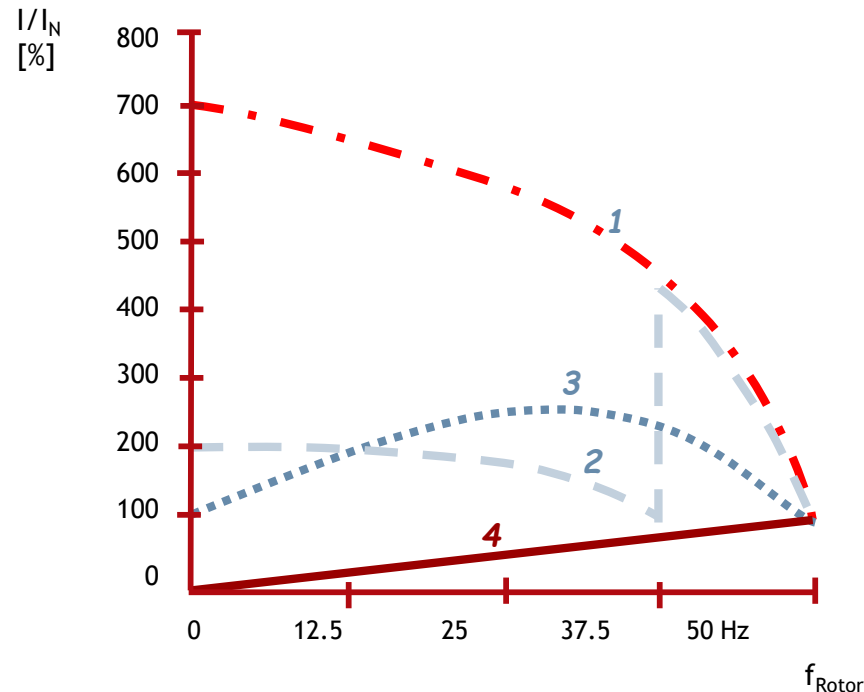
Regulação de velocidade utilizando Inversores de Frequência

Porque regulação de velocidade ?



- ▶ Equipamento mais utilizado na indústria:
 - ▶ Motores de indução trifásicos
- ▶ Características dos Motores de indução trifásicos:
 - ▶ Tipicamente velocidade fixa
 - ▶ Design especial para trabalhar até 4 velocidades
 - ▶ Requerem Inversores para realizar controle eletrônico
- ▶ Benefícios:
 - ▶ Otimização de processo
 - ▶ Redução de desgaste mecânico
 - ▶ Redução de consumo de energia

Corrente de partida de motor de indução trifásico (carga quadrática)



- 1) Partida direta
- 2) Estrela-triângulo
- 3) Soft starter
- 4) Inversores

Partida de motores elétricos

- ▶ Motores elétricos requerem corrente elevada na partida
- ▶ Concessionárias de energia permitem colocação em marcha via Partida direta de aproximadamente 4 / 7.5 kW
- ▶ **Estrela – triângulo** requerem disponibilidade de motores
- ▶ **Soft starter** disponível até um range de MW
- ▶ **Inversores de frequência** reduzem corrente de partida e possibilitam a regulação de velocidade



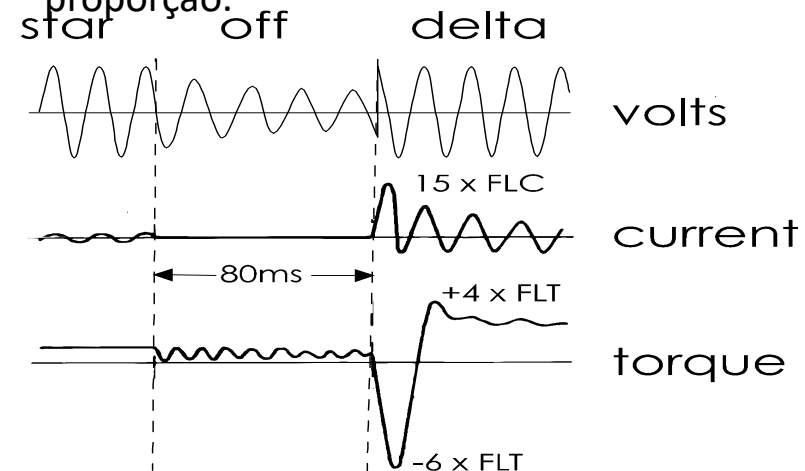
Partida direta

- ▶ Primitiva, mas familiar – Apenas um simples contator entre o circuito entre o motor e a rede de alimentação, permitindo controle de sincronização ON-OFF
- ▶ Sem controle de corrente de pico ou torque durante a partida
- ▶ Aceleração imediata da carga até a velocidade nominal



Estrela-triângulo

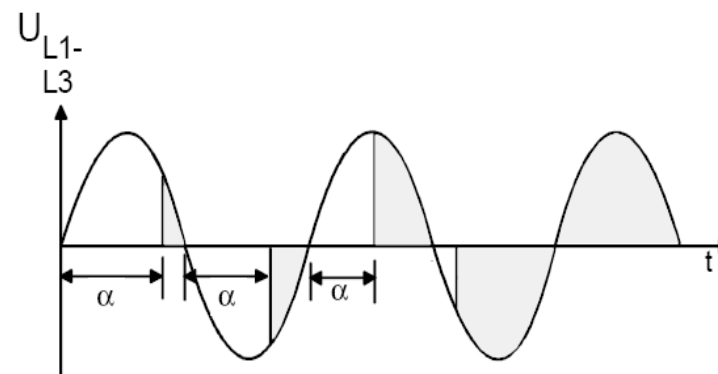
- ▶ Chave de partida que exige um motor de dupla tensão, sendo a menor delas igual à tensão da rede.
- ▶ Motor elétrico parte em ligação estrela, e depois de um tempo, passará a ser ligado em triângulo.
- ▶ Motor perde cerca de 1/3 do torque, porém a corrente de partida diminui na mesma proporção.



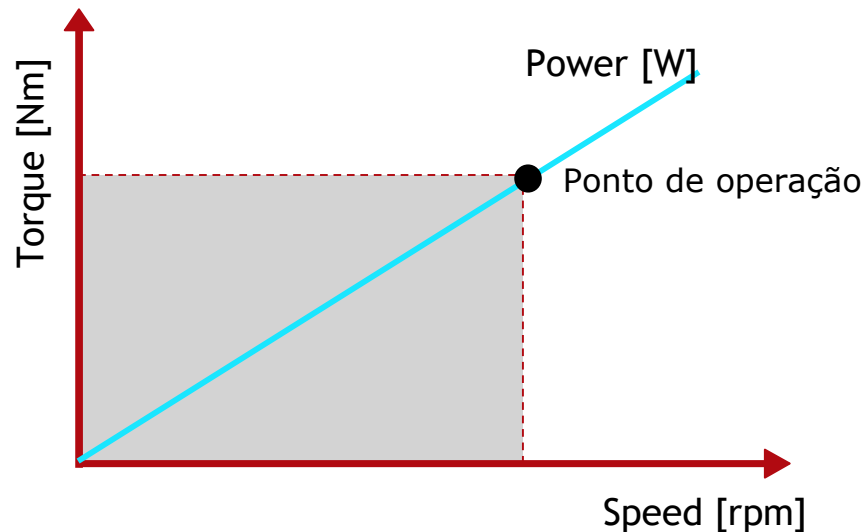


Soft-Starter

- ▶ Soft Starter controla continuamente a tensão aplicada aos terminais do motor utilizando SCRs (retificador controlado de silício) em série com a rede de alimentação.
- ▶ Torque do motor é ajustado automaticamente à carga, o que garante que a corrente usada seja a menor possível.



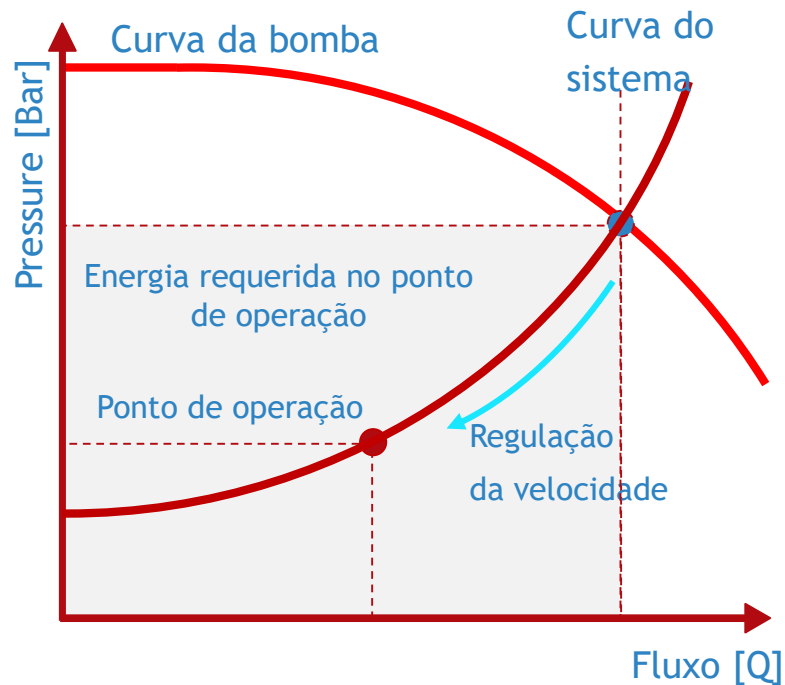
Adequação ao ponto ótimo de funcionamento



Redução de energia em torque constante

- ▶ Várias aplicações requerem Torque constante ($P_{mec} \sim M * n$)
- ▶ Compensação de carga e deslizamento de controladores modernos oferecem ajuste otimizado em função de requisitos da aplicação
- ▶ Controle de velocidade possibilita:
 - ▶ Otimização de processo
 - ▶ Economia de energia
 - ▶ Diferentes „ratios“ de transmissão
 - ▶ Redução de desgaste mecânico do sistema

Redução de energia em torque quadrático



- ▶ Bombas e ventiladores funcionam em carga quadrática
- ▶ Consumo de potência é proporcional ao cubo da velocidade

$$P_{final} = \frac{P_{inicial}}{\left(\frac{n_{inicial}}{n_{final}}\right)^3}$$

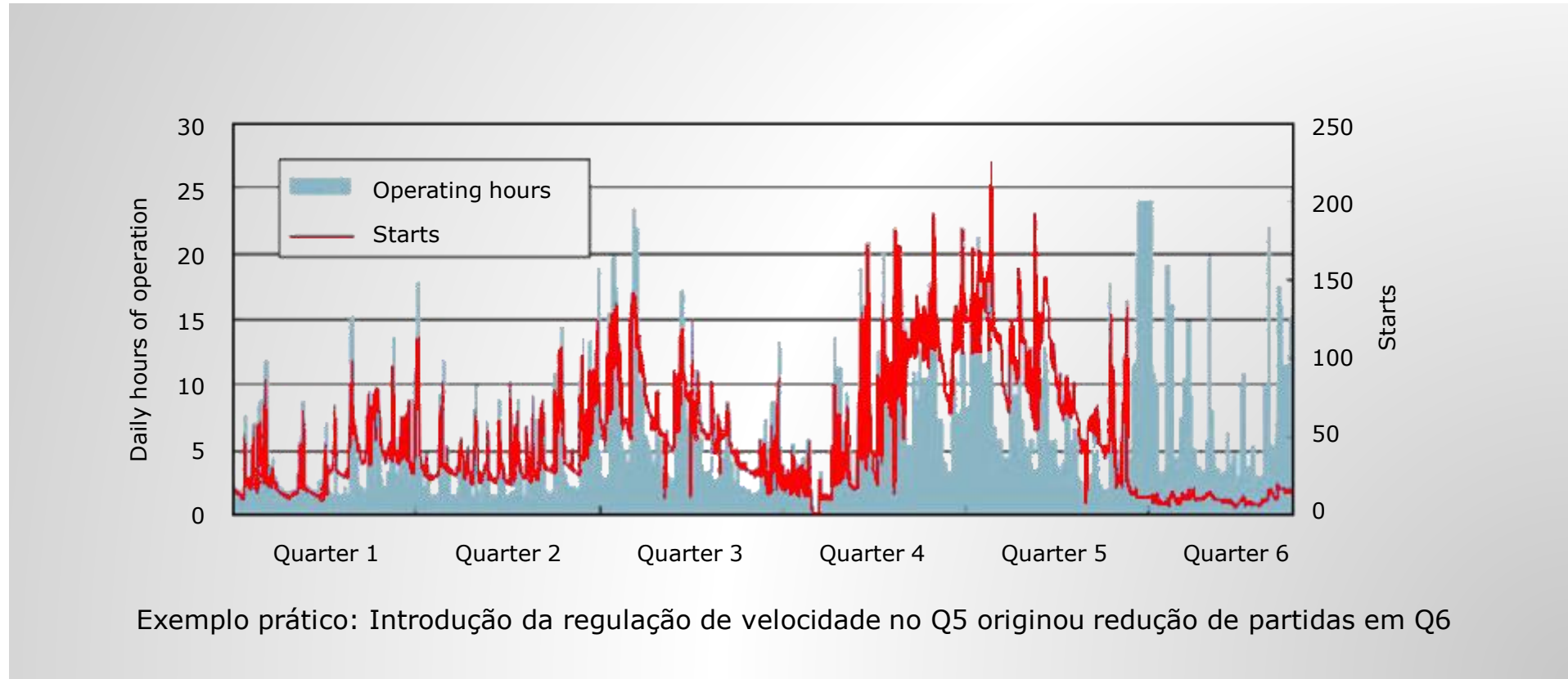
- ▶ Exemplo: redução da velocidade em 20%

$$P_{final} = \frac{P_{inicial}}{\left(\frac{n_{inicial}}{n_{final}}\right)^3} = \frac{P_{inicial}}{\left(\frac{100}{80}\right)^3} = \frac{P_{inicial}}{1,9533}$$

$$P_{final} = 0,51 \times P_{inicial}$$

- ▶ **Redução de consumo de energia em 50%**

Desgaste mecânico



- ▶ Número de partidas de uma máquina pode ser reduzido significativamente utilizando regulação de velocidade
- ▶ Menos partidas reduz desgaste mecânico prolongado tempo de vida útil nos equipamentos



Vantagens da regulação da velocidade

- ▶ **20-60% de economia de energia com Inversores**
 - ▶ Rápida melhoria na eficiência energética, pois a demanda máxima geralmente é apenas periódica
- ▶ **Custos reduzidos de ciclo de vida**
 - ▶ Tempos de engenharia reduzidos
 - ▶ Rápida integração à aplicação
 - ▶ Intervalos de manutenção estendidos devido a redução de velocidade



Vantagens da utilização de Inversores

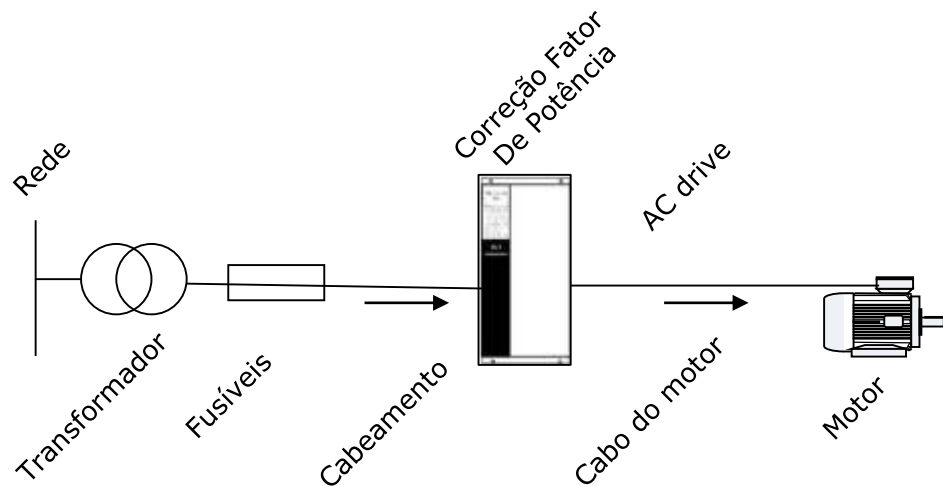
▶ Desempenho

- ▶ Controle preciso e rápido da velocidade da bomba
- ▶ Suavização da corrente de partida - abaixo da corrente nominal do motor
- ▶ Limitação dos picos de corrente no arranque
- ▶ Compensação do fator de potência

▶ Soluções

- ▶ Funcionalidade dedicada em aplicações com uma ou várias bombas
- ▶ Redundância em soluções multibomba

Utilização de chave partida adequada

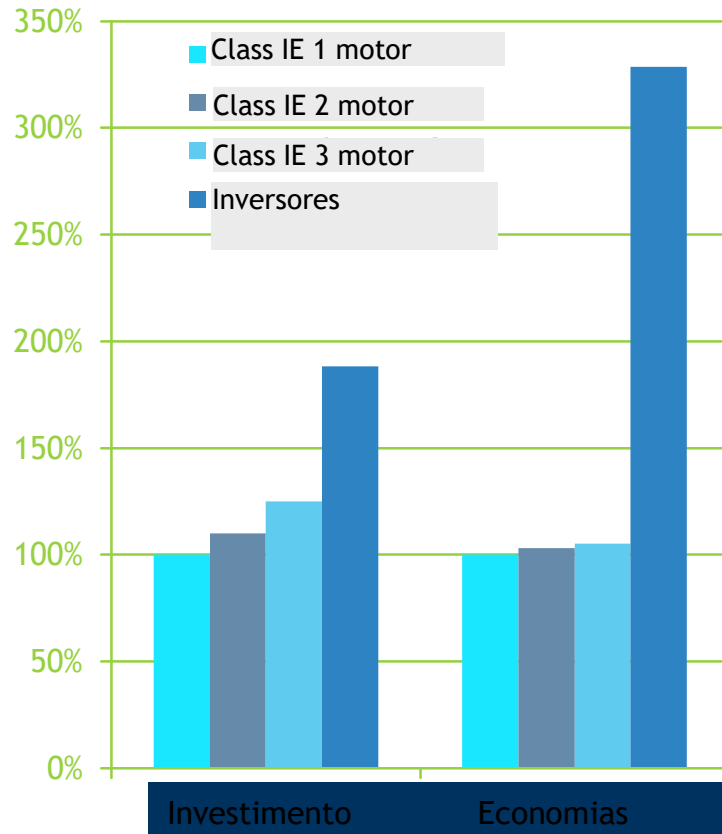


Vantagens da utilização de Inversores

► Proteções do motor contra:

- Curto-circuitos
- Sobre-intensidades
- Sobretensão
- Subtensão
- Sobrecorrente
- Falta de fase
- Limite de torque
- Sobretemperatura
- Bomba seca

Custo / Benefício



Exemplo: sistema 7.5 kW motor

Referências: Cost: EuP Lot30 Task 2 – 5
Savings: ZVEI + Regulation (EU) 640/2009

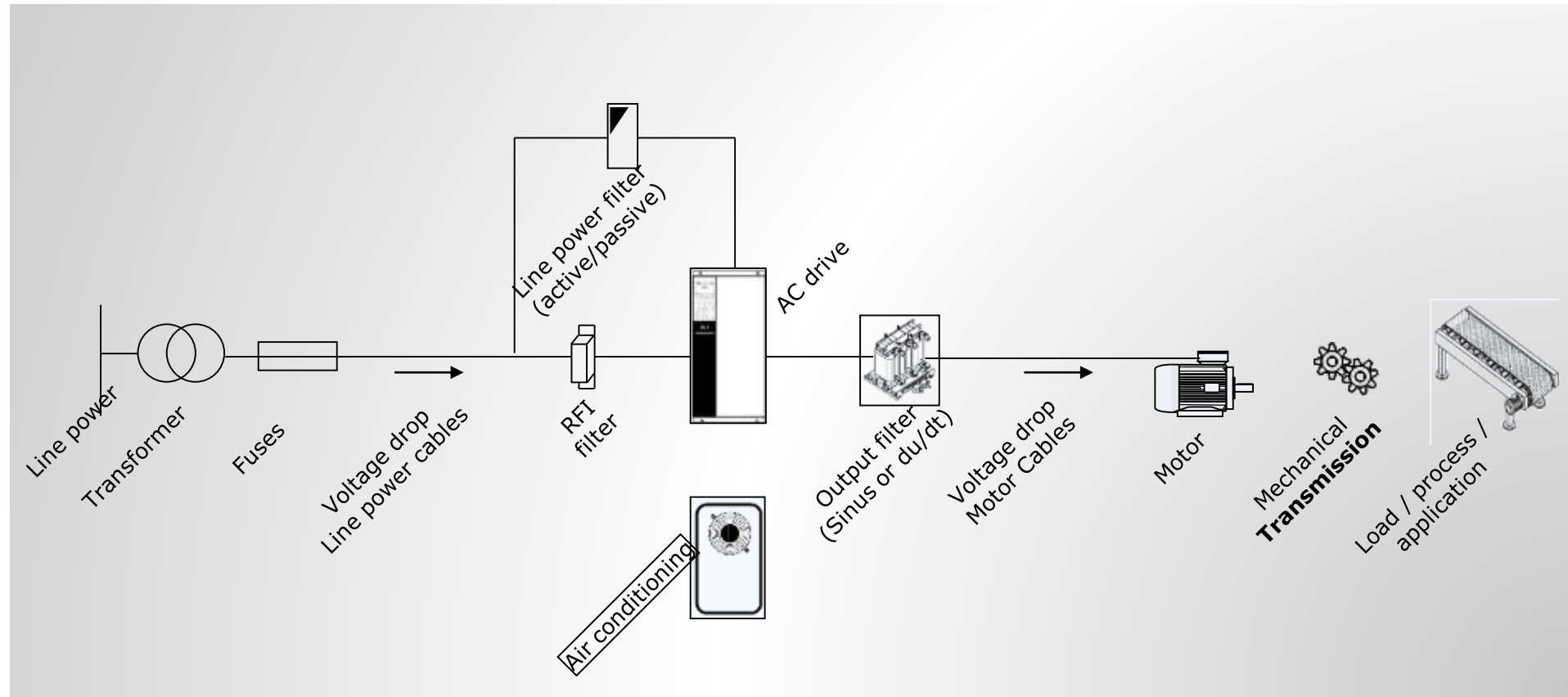
Conclusão:

- ▶ Aumenta eficiência do sistema em 96-98%
- ▶ Elevado potencial de economia de energia em aplicações chave
- ▶ Excelente ratio custo / benefício
- ▶ Payback tipicamente inferior a 2 anos
- ▶ Tecnologia testada e comprovada nos mais diversos segmentos

Reduz consumo de energia e desgaste mecânico!

Economias inteligentes utilizando Inversores de Frequência

Visão do sistema de acionamento



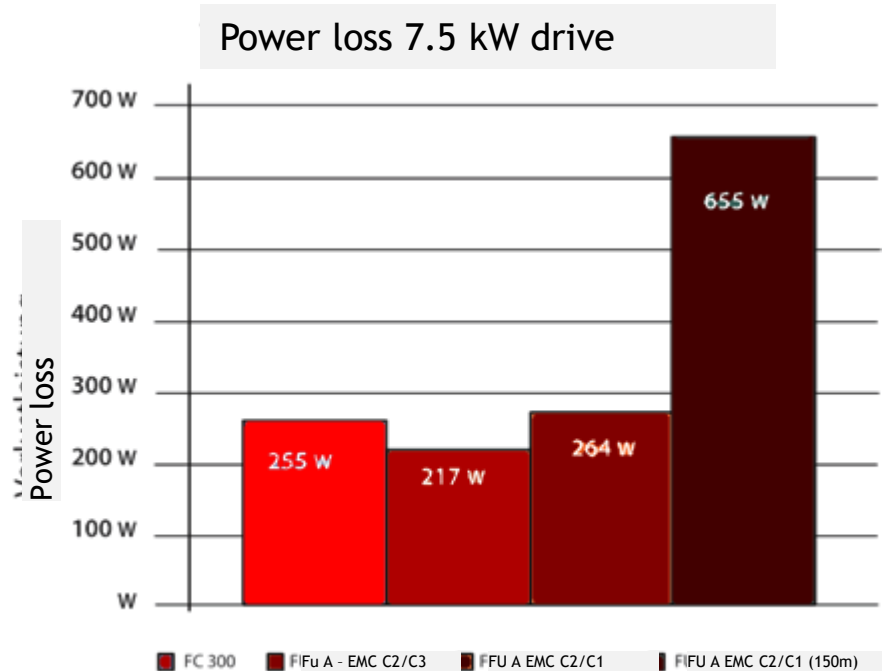
- ▶ Apenas olhando todo o sistema será possível identificar vantagens e desvantagens
- ▶ Adicionalmente: considerar otimizar o sistema em função do ciclo de vida dos comp.



Utilização de Classes IE

- ▶ Classificação IE/IES ajuda a um primeiro approach
 - ▶ Eficiência dos componentes e do sistema de acionamento
 - ▶ Classes apenas se aplicam ao **ponto nominal de funcionamento**
 - ▶ Hardware opcional não é considerado
- ▶ Não esquecer
 - ▶ Comportamento a carga parcial
 - ▶ Filtros de linha / EMC
- ▶ Em um sistemas específico, o usuário deverá verificar tudo o que é considerado no pacote de opcionais.

Filtros internos ou externos?



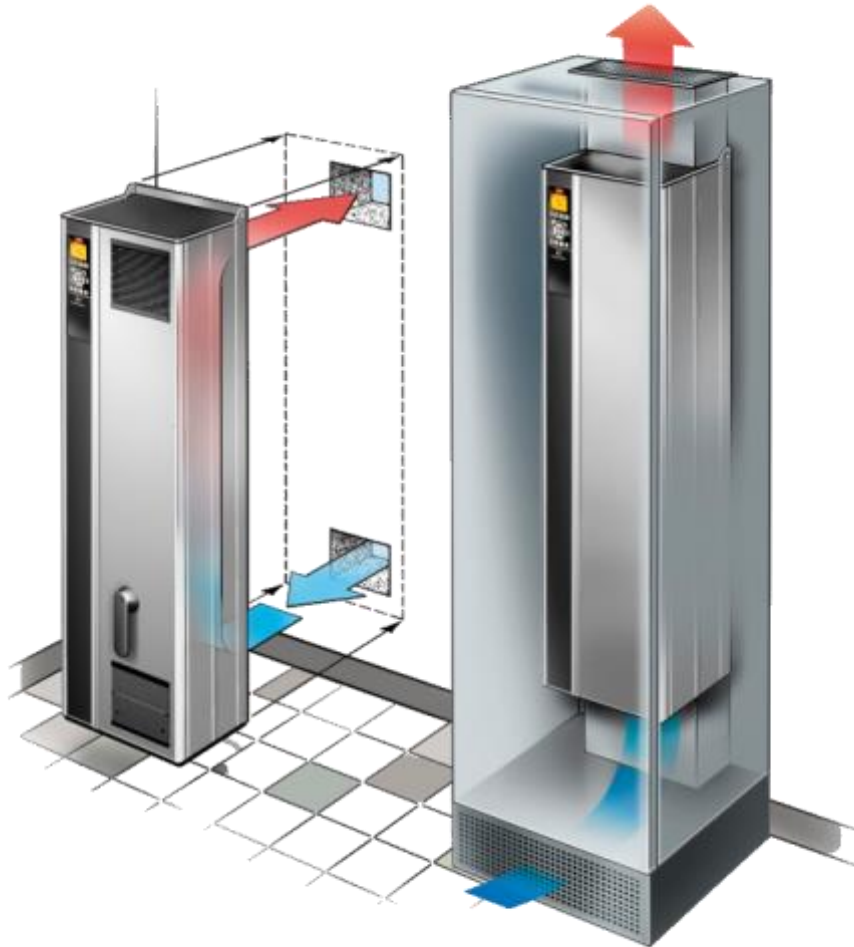
Exemplos

Additional losses 400 W
Service life 60 000 hours
Energy price EUR 0.08/kWh

Additional costs **EUR 1920**

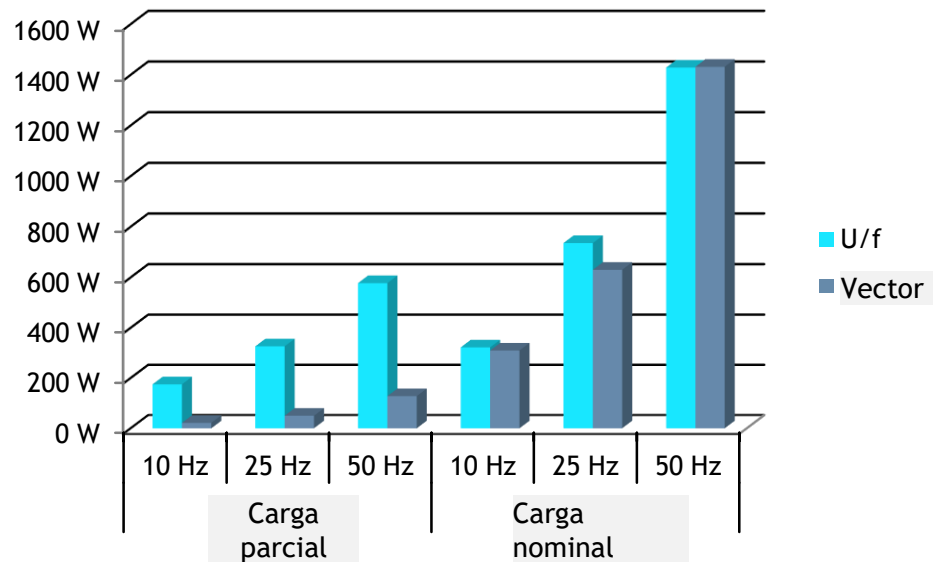
- ▶ Filtros externos sempre adicionam perdas ao sistema
- ▶ Em caso de filtros integrados, as perdas são consideradas nas perdas especificadas pelo fabricante
- ▶ Requisitos de espaço e ar condicionado para filtros externos deverão ser considerados no dimensionamento do painel
- ▶ Importante colocar atenção no dimensionamento adequado do filtro durante a fase de projeto

Gerenciamento inteligente de perdas / temperatura



- ▶ Perdas adicionais no painel aumenta necessidade de incrementar potencia do ar condicionado
- ▶ Evite utilização de filtros externos
- ▶ Remova aquecimento do painel eletrico
- ▶ Use Inversores com tecnicas de refrigeração avançadas
 - ▶ Back channel transfere até 90% do aquecimento da sala elétrica. Tipicamente 0,5 W de energia são necessários para remover 1 W de calor.
 - ▶ A energia economizada para 90kW é cerca de 20% do investimento no inversor.
- ▶ Coloque resistores de frenagem no exterior do painel

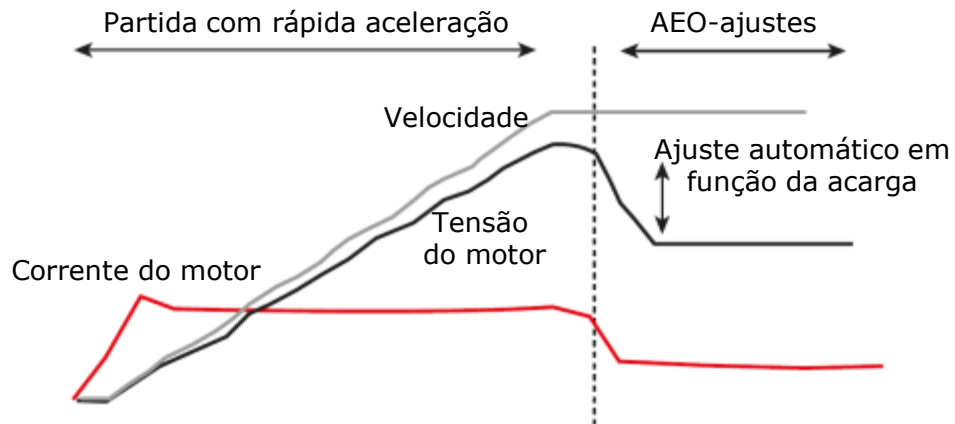
Controle adaptado



Exemplo: Consumo de potência do motor utilizando diferentes tecnologias de controle

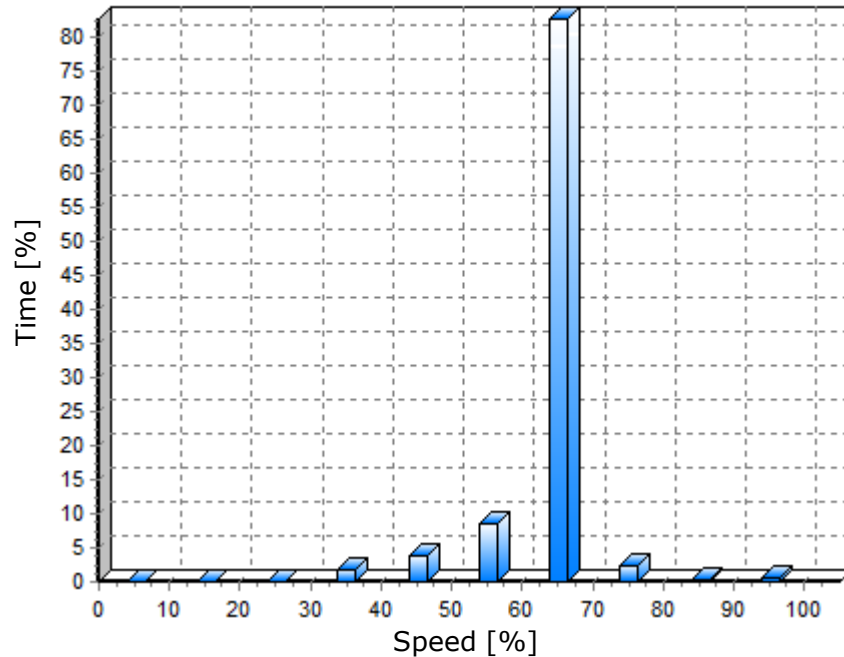
- ▶ Todos os motores operam com a tensão adequada para a frequência desejada (Característica U/f)
- ▶ Nem todos os Inversores fornecem a tensão de entrada na saída. Tensão menor implica maior corrente e perdas adicionais no sistema.
- ▶ Operação otimizada apenas possível via estratégias de controle

Otimização automática de energia



- ▶ Em regime estacionário, o consumo de energia pode ser reduzido adaptando o nível de magnetização.
- ▶ Um balanço otimizado entre energia eficiente magnetização necessária para demanda deverá ser encontrado para garantir operação confiável.
- ▶ Potencial médio de economia para diferentes potências é estimado entre 3-5 %

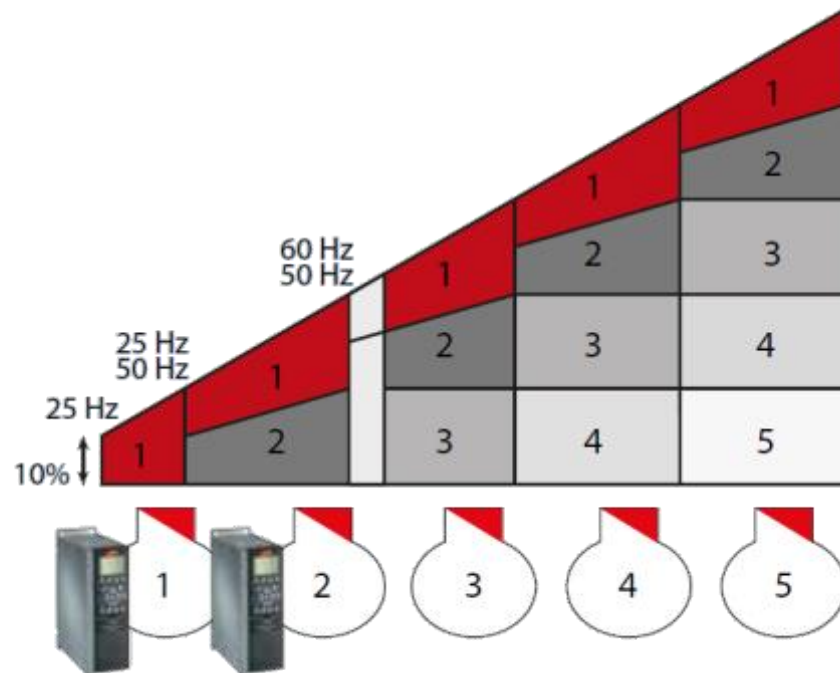
Loggers de energia integrados



Exemplo: Tendência lida do Danfoss VLT® HVAC Drive com VLT® Energy Box

- ▶ Inversores permitem análise rápida do consumo de energia
 - ▶ Demanda de corrente e tensão
 - ▶ kWh
 - ▶ Tendências
- ▶ Perfis reais de funcionamento determinado em operação
- ▶ Esses perfis podem ser utilizados utilizando o software VLT® Energy Box

Controle Cascata



Exemplo: Controle Cascata.
Duas bombas em controle de velocidade. Bombas adicionais conectadas quando necessário

- ▶ Em várias aplicações, existe opção de utilizar vários motores em substituição de um de maior potencia
 - ▶ Motores são operados com melhor eficiência
 - ▶ Motores adicionais conectados quando necessários
- ▶ Aplicações típicas
 - ▶ Bombas
 - ▶ Compressores
 - ▶ Ventiladores



Funcionalidades para aplicações específicas

- ▶ **Sleep Mode**
Paragem automática da bomba em períodos de menor demanda. Re-inicia quando a pressão cai abaixo do limite

- ▶ **Bomba seca**
Pára a bomba ou ventilador quando não há torque suficiente no eixo do motor



O seu conhecimento é relevante!

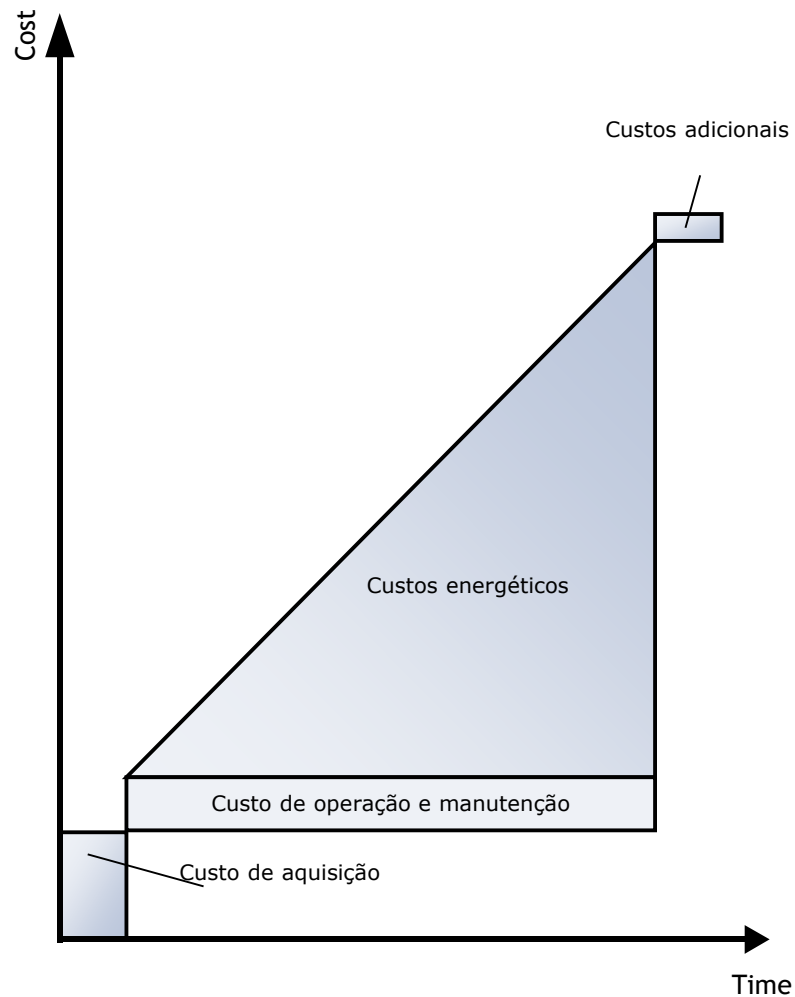
- ▶ Apenas pessoas com conhecimento de sistemas podem:
 - ▶ Avaliar pros e contras do sistema
 - ▶ Reduzir equipamento desnecessário
 - ▶ Estimar custos das medidas derivadas da implementação
- ▶ Identificar medidas para otimizar o comportamento global sistema de acionamento
- ▶ Selecionar os componentes que atendem a necessidade de cada aplicação

Importante: Análise de energia



- ▶ Identificar os principais consumidores e monitorar consumo
- ▶ Coleta de dados, considerando um período de amostra que represente o processo, utilizando equipamentos adequados para o efeito
- ▶ Definir conjunto de medidas a realizar
- ▶ Implementar alterações
- ▶ Monitorar novamente comparar com a situação inicial para aferir a assertividade da ação

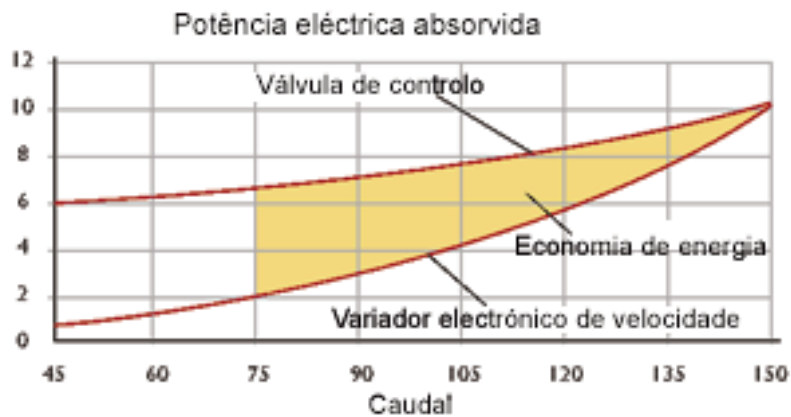
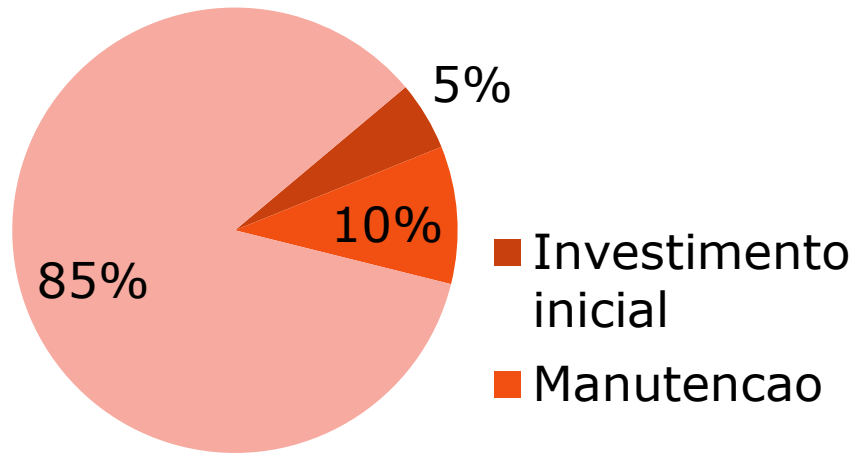
Redução inteligente



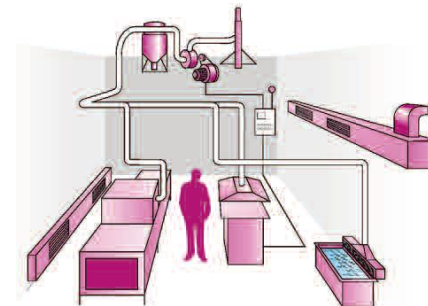
- ▶ Economize energia, mas não a qualquer preço
- ▶ Todas as medidas têm efeitos colaterais. Pese os efeitos de todas as desvantagens
- ▶ Compra de equipamento de baixo custo normalmente originam baixo retorno
- ▶ Consulte especialistas quando necessário para clarificar todos os pontos do sistema

Exemplos de Aplicação

Sistemas de Bombeio



- ▶ Substituição das técnicas de estrangulamento tradicionalmente utilizadas, pela aplicação de Inversores, conjuntamente com dispositivos de feedback adequados, para realizar a regulação da velocidade do motor em função da real necessidade do sistemas.
- ▶ Em média, estima-se uma redução de consumo próxima de 30 %



Ajuste automático de fluxo e pressão

Aplicação:

- 10 x 710 kW LHD, 5 x 450 kW LHD, 6 x 315 kW LHD
- Redução de perdas, aumento de eficiência e equalização do desgaste nas bombas
 - Q1 2015

Vantagens

- Elevada eficiência
- Baixas perdas por calor;
 - Sistema Back channel
- Solução compacta
 - Painel LHD IP 54 com 16,4 m ~ 14 % de economia relativa ao existente
- PCB envernizada para aumento de tempo de vida útil do equipamento



Volume morto (Cantareira)



Aplicação

- Sistema de bombeio eficiente (Cantareira) - Operado por Sabesp
- 80 x 132 kW VLT AQUA DRIVE

Vantagens:

- Entrega rápida
- Economia de espaço unidade IP 54
- Possibilidade de utilizar cabos longos sem recorrer a utilização de acessórios externos
- Placas 3C3-level anti-corrosão
- Elevada eficiência energética
- Comissionamento simples

Inovação Tecnológica
Desafios da aplicação da tecnologia
de automação no saneamento

Perguntas

João Pratas
joao.pratas@danfoss.com

III Simpósio ISA São Paulo
de Automação em Sistemas
de Água e de Esgoto



28 de novembro/2016
São Paulo - SP