

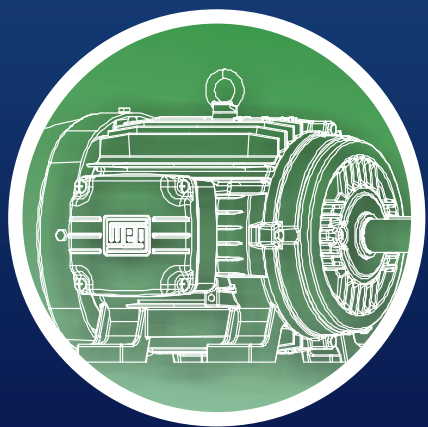


# Perspectivas para o aumento da eficiência em Motores Elétricos

# Motivação: Consumo de Energia



Energia consumida  
na indústria  
representa  
**41%**



Os motores elétricos  
consomem na indústria  
**67%**

De toda energia consumida no  
Brasil

**27%**

está relacionado aos motores  
elétricos

Fonte: ELETROBRÁS



# Custos

## Ciclo de Vida

Aquisição do Motor Elétrico  
(2,5%)





Custo de Energia  
(96%)

Custo de  
Manutenção (1,5%)

Custo de Paradas

# Normas Globais de Eficiência

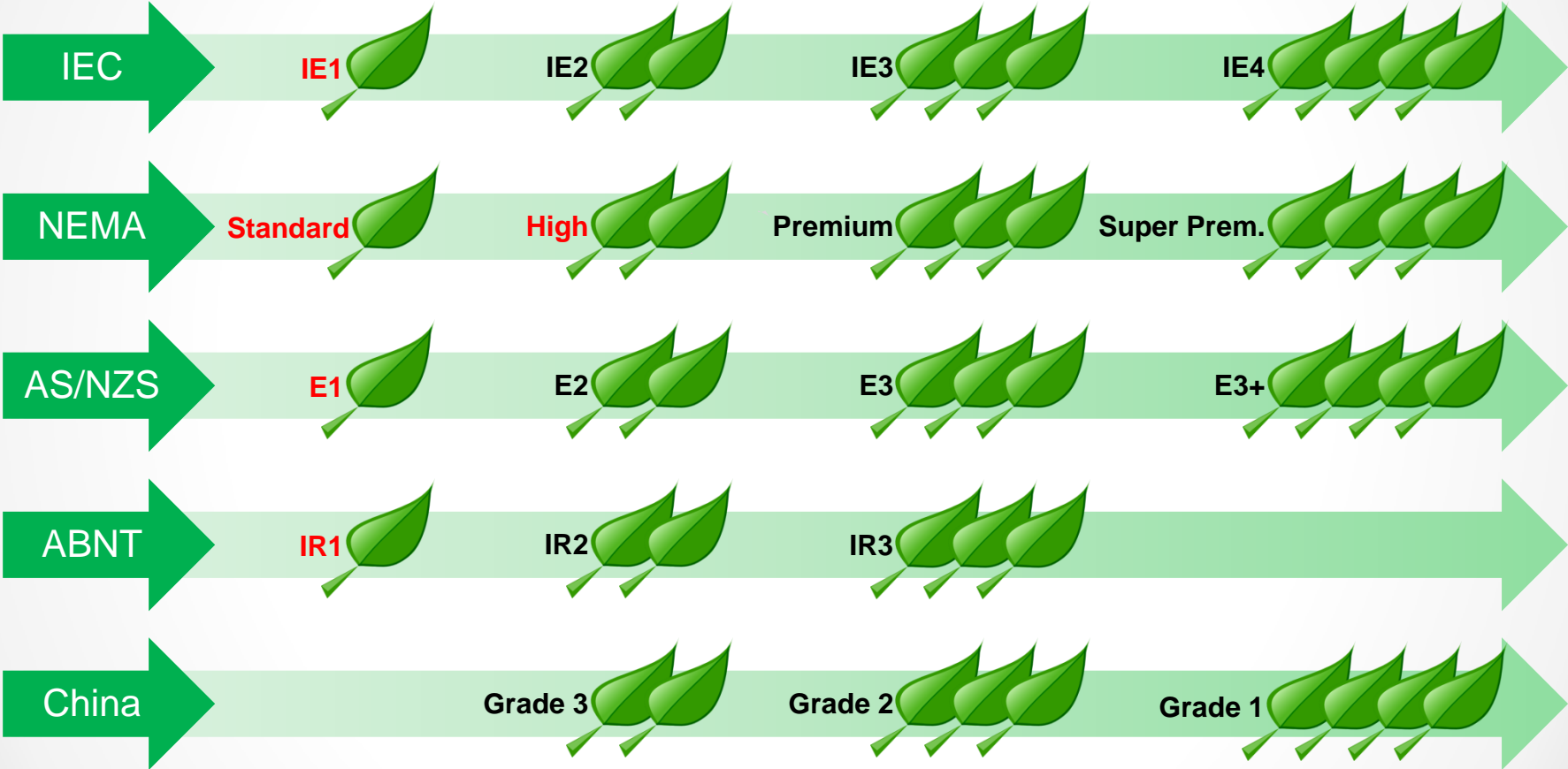


-  NEMA
-  IEC 60034-30
-  NBR 17094-1
-  AS/NZS1359.5-2004

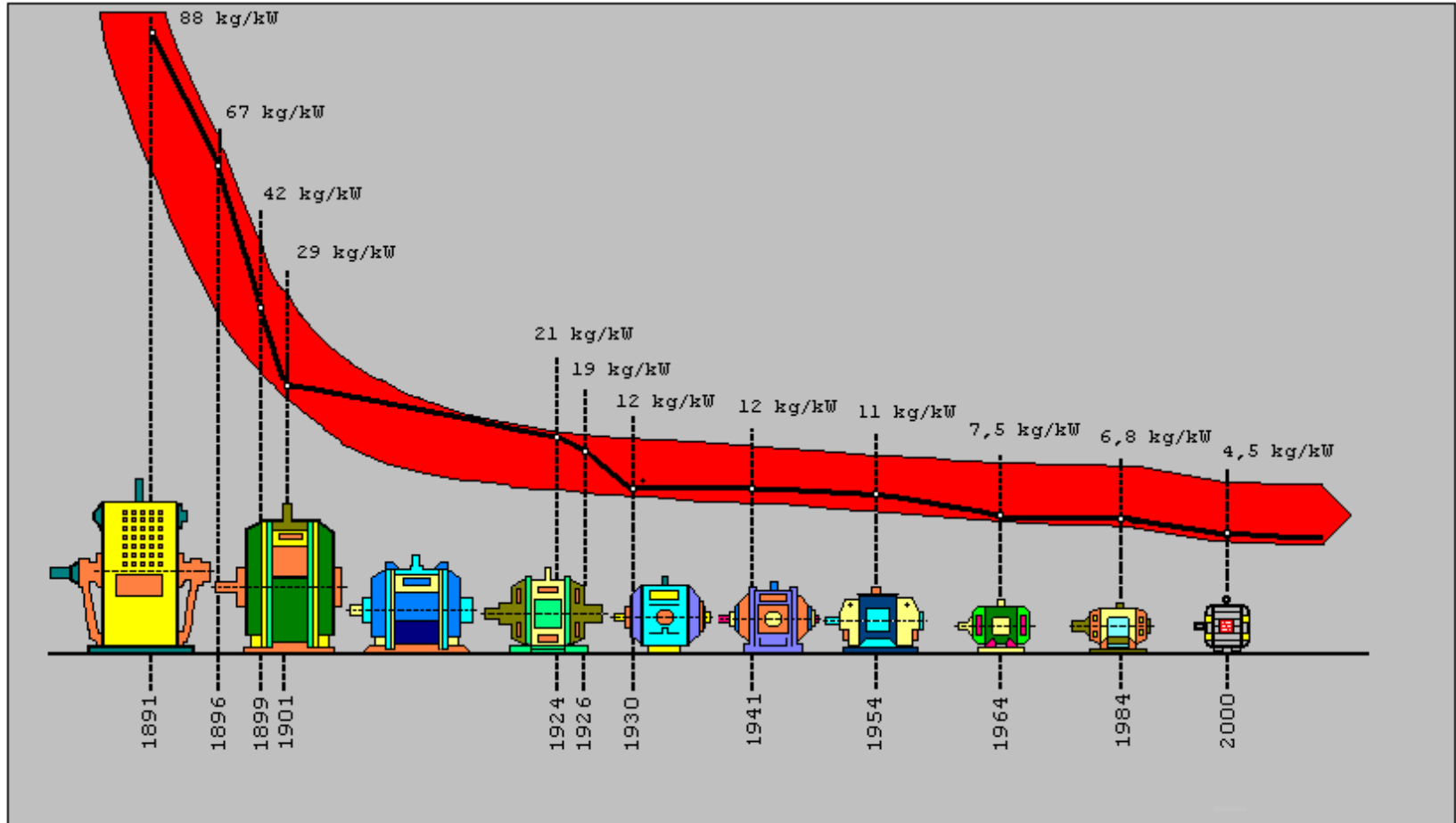


IEC e NEMA são as duas maiores normas cobrindo máquinas elétricas.

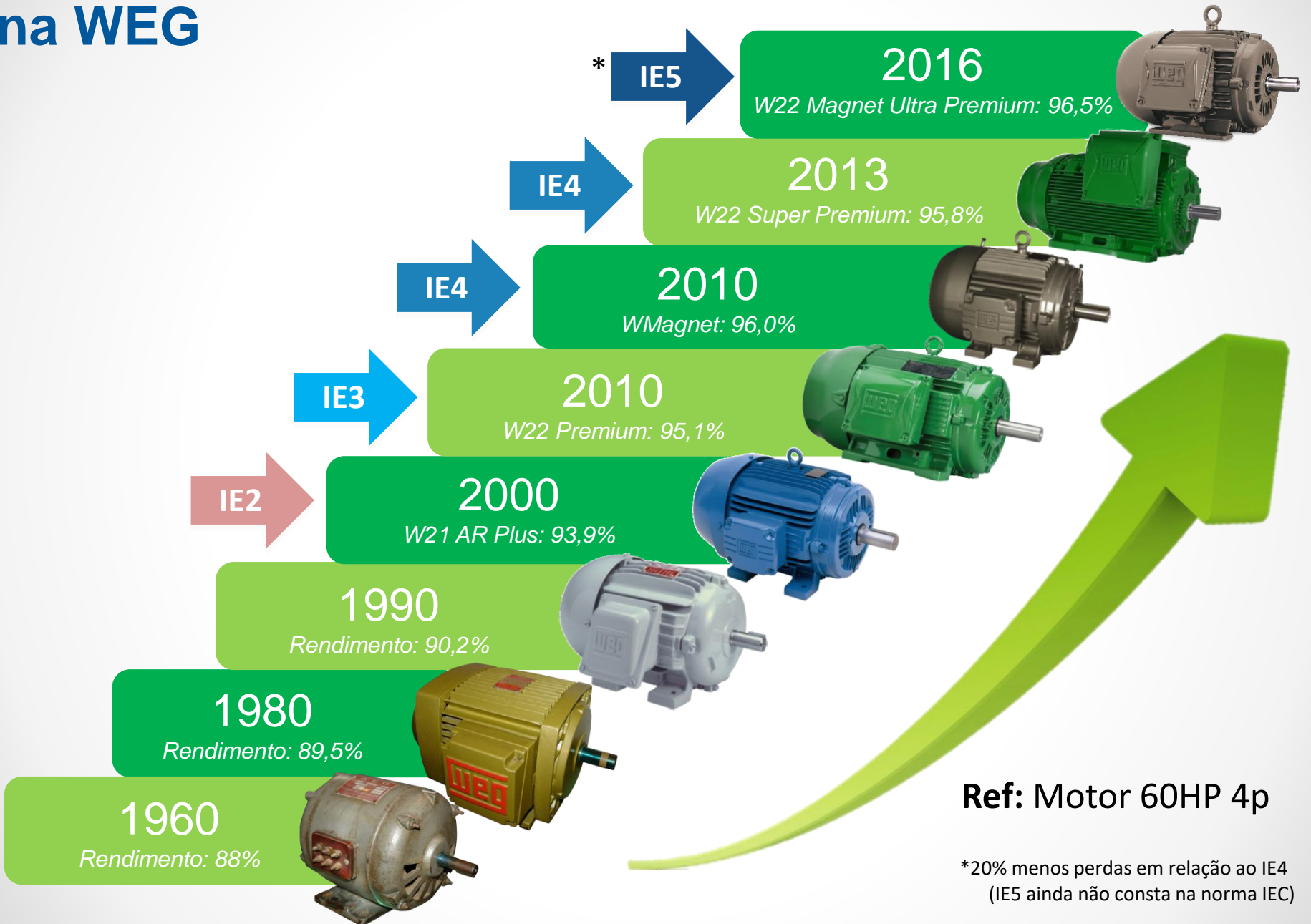
# Regulamentações mundiais



# Evolução dos motores elétricos no mundo



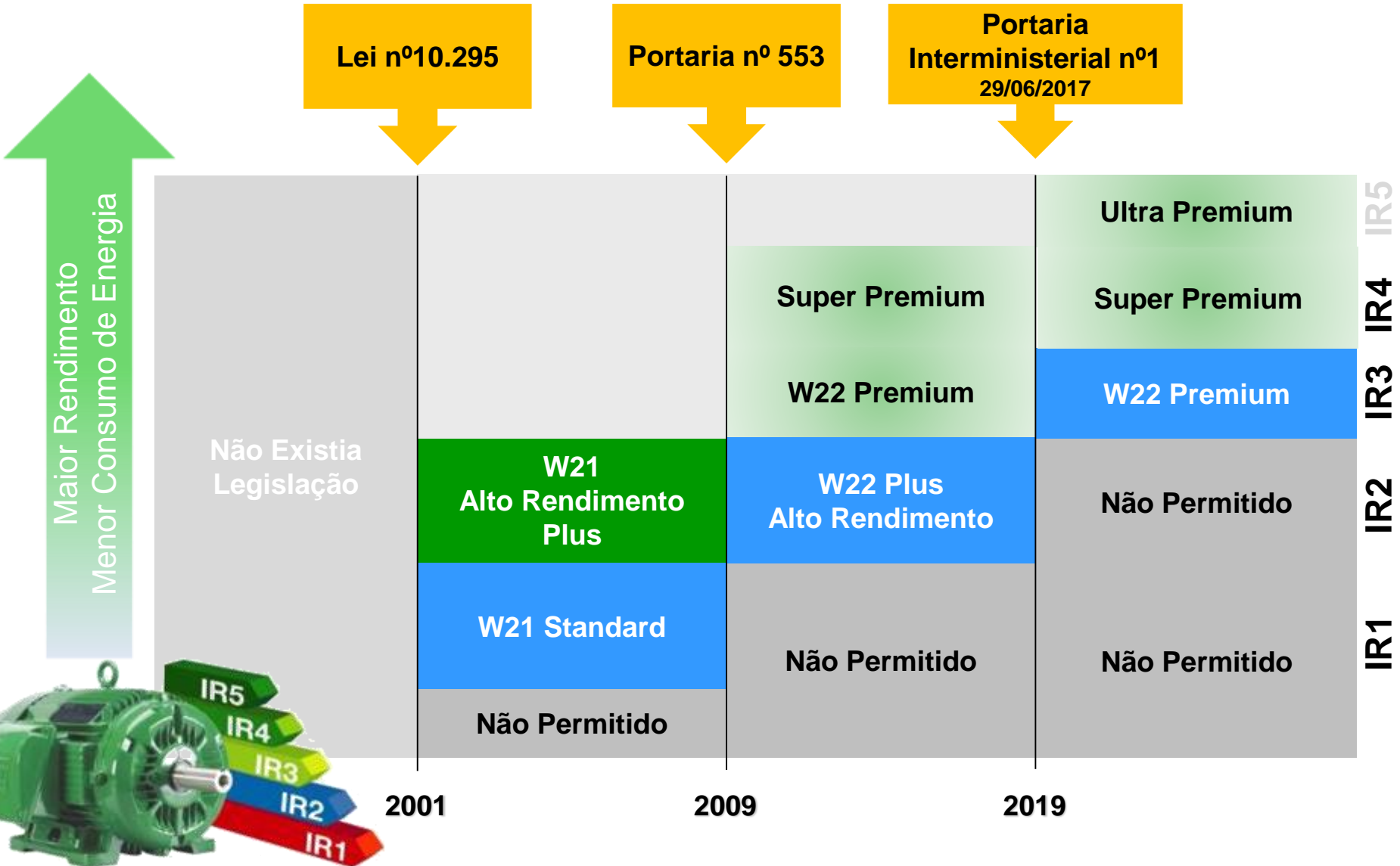
# Evolução dos motores na WEG



**Ref: Motor 60HP 4p**

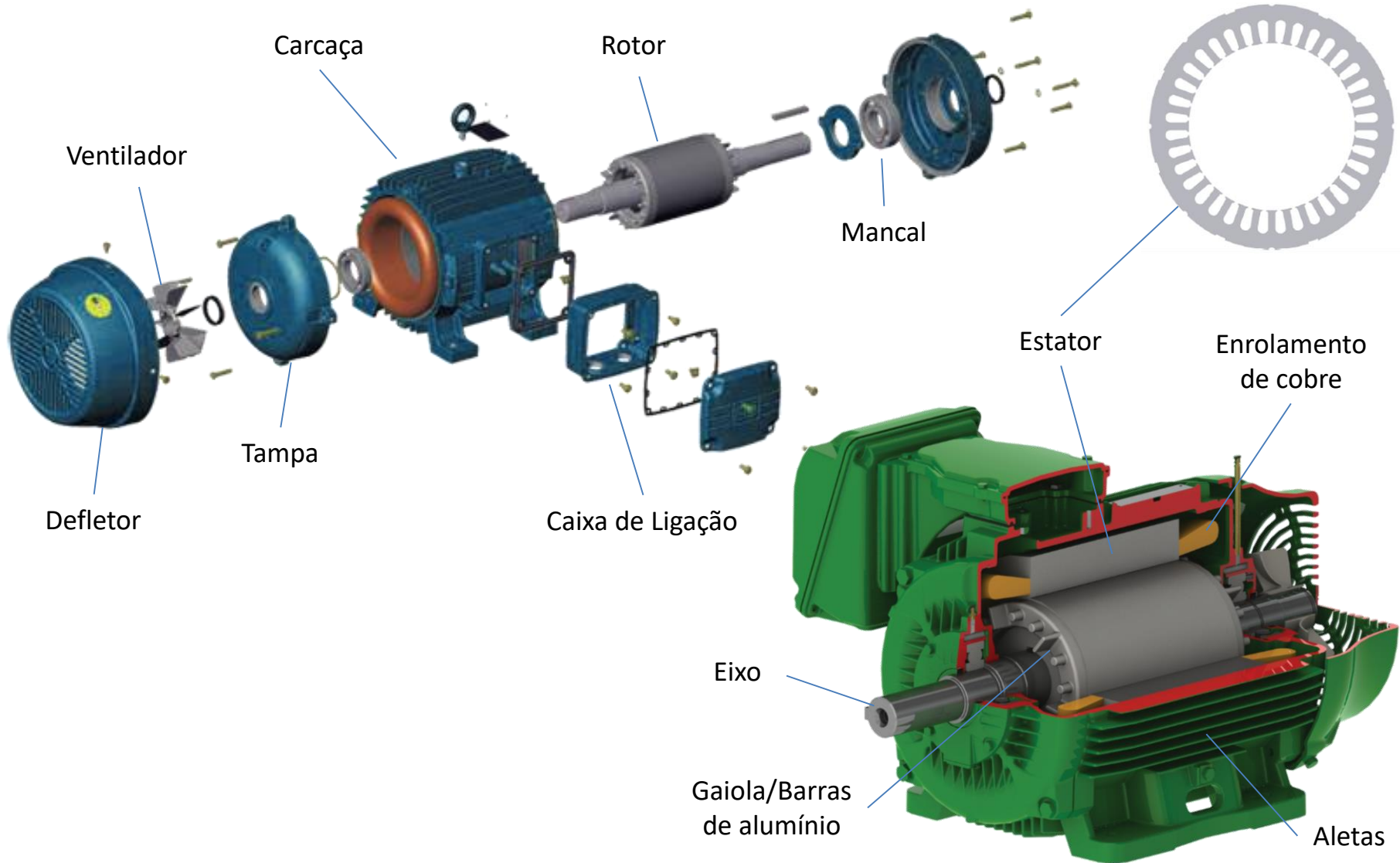
\*20% menos perdas em relação ao IE4  
(IE5 ainda não consta na norma IEC)

# Lei de Eficiência Motores Elétricos





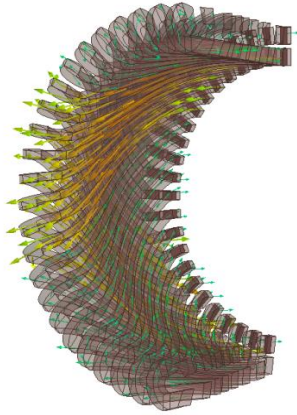
# Partes do Motor Eléctrico



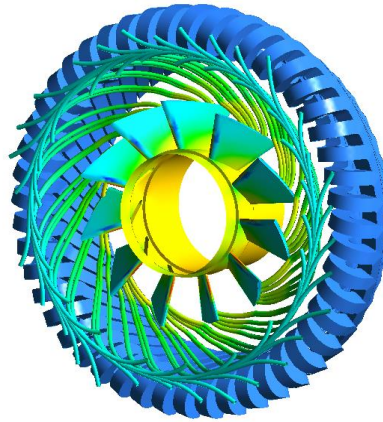
# Ferramentas: Prototipagem virtual



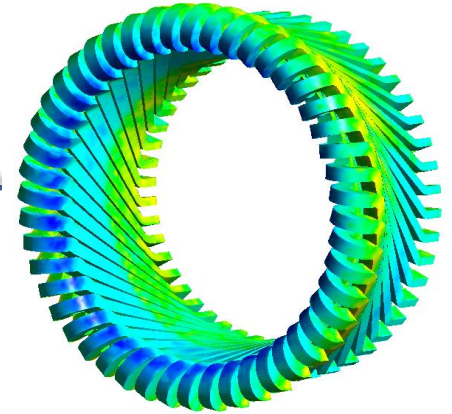
Eletromagnético



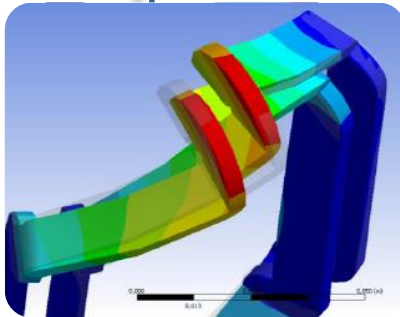
Fluido



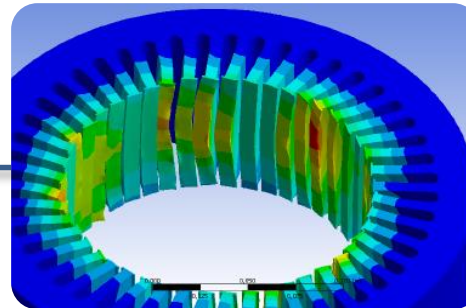
Térmico



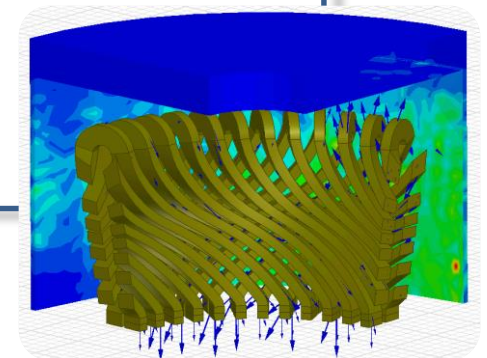
Ambiente físico único para simulação numérica  
Simulação multi-física



Estrutural



Dinâmico



Térmico - Eletromagnético

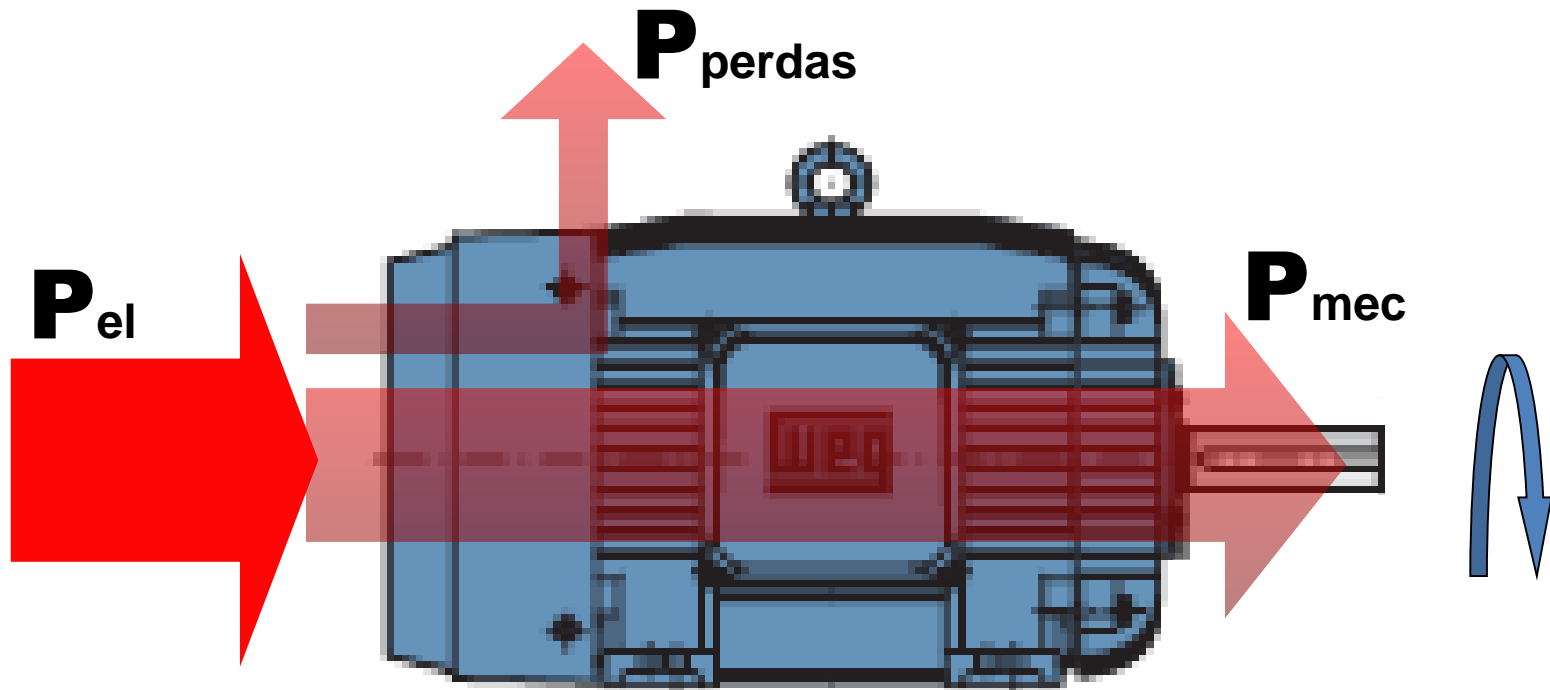
# Evolução dos motores



## Evolução dos Motores Elétricos



# Eficiência dos Motores Elétricos



$$\text{Rendimento } \eta = \frac{P_{mec}}{P_{el}}$$



# Técnicas para reduzir as perdas



## Segregação das perdas ( $P_{\text{perdas}}$ ) de um motor elétrico

- $P_{j1}$  – Perdas por efeito Joule no enrolamento do estator
- $P_{j2}$  – Perdas por efeito Joule no enrolamento do rotor
- $P_{\text{mech}}$  – Perdas mecânicas (atrito e ventilação)
- $P_{\text{fe}}$  – Perdas no ferro
- $P_{\text{add}}$  – Perdas adicionais
- $P_{\text{harm}}$  – Perdas harmônicas (Inversor)

### Exemplo:

A distribuição das perdas para um motor de indução da WEG IE4 W22 de 30kW, 4 polos são:

$p_{j1}$	$p_{j2}$	$p_{\text{mech}}$	$p_{\text{fe}}$	$p_{\text{add}}$	$p_{\text{harm}}$
43.7%	20.4%	3.53%	26.7%	4.91%	0.67%

# Técnicas para reduzir as perdas



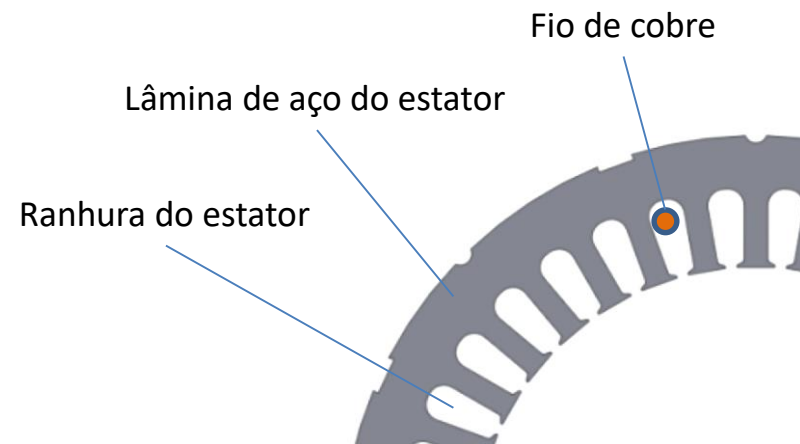
## Perdas por efeito Joule no estator

- 1) Aumentando o diâmetro dos condutores, mantendo o número de espiras
- 2) Aumentando o diâmetro dos condutores reduzindo proporcionalmente o número de espiras
- 3) Aumentando o comprimento de ferro do estator e o diâmetro dos condutores, reduzindo o número de espiras, mantendo a área da ranhura
- 4) Aumentando o comprimento do estator

Na prática, a solução adotada é um mix do aumento do diâmetro dos condutores e comprimento de ferro, ajustando-se o número de espiras.



Por fabricar os próprios fios no Brasil, a WEG diferencia-se através de pesquisas dos condutores e seu processo de fabricação de forma a permitir um melhor aproveitamento do cobre e verniz de isolamento

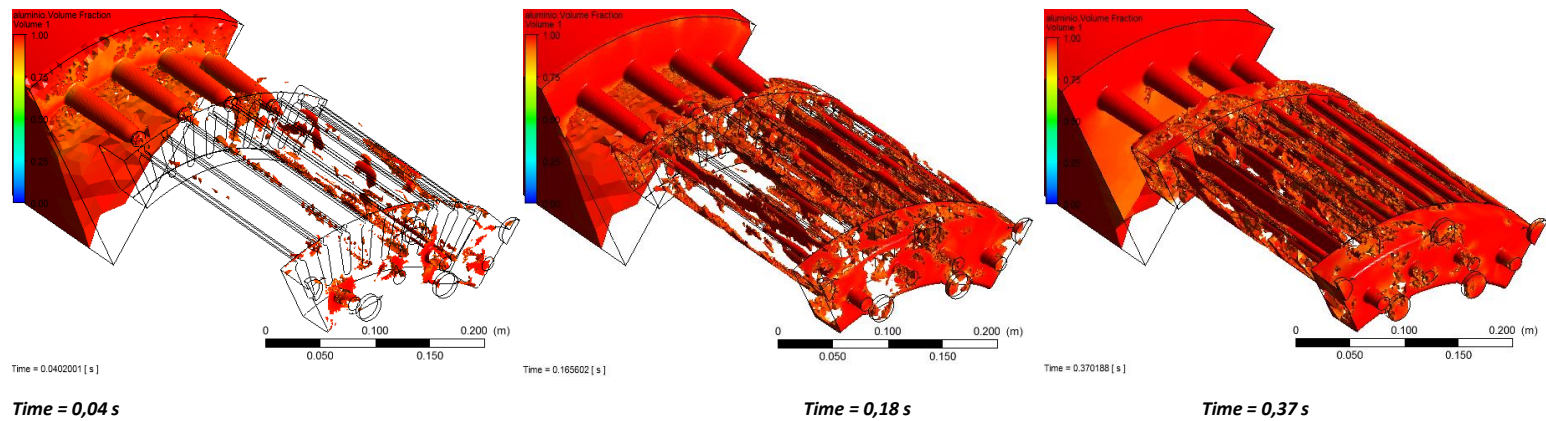


# Técnicas para reduzir as perdas



## Perdas por efeito Joule no rotor

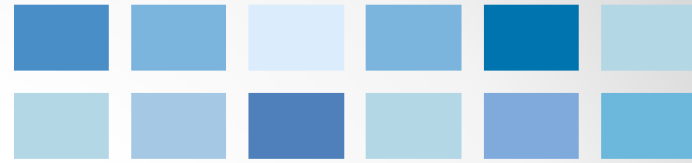
### Simulação do preenchimento das ranhuras do rotor injetado



### Potencial:

- Melhorar a qualidade – redução da porosidade

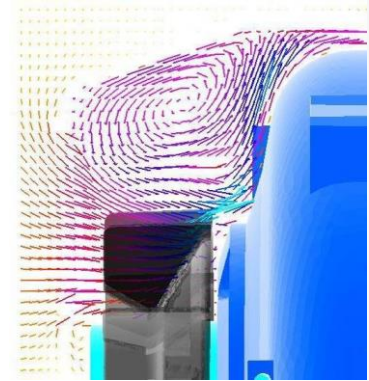
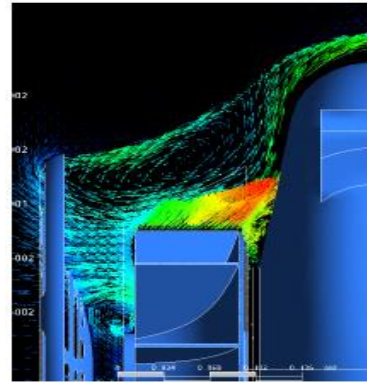
# Técnicas para reduzir as perdas



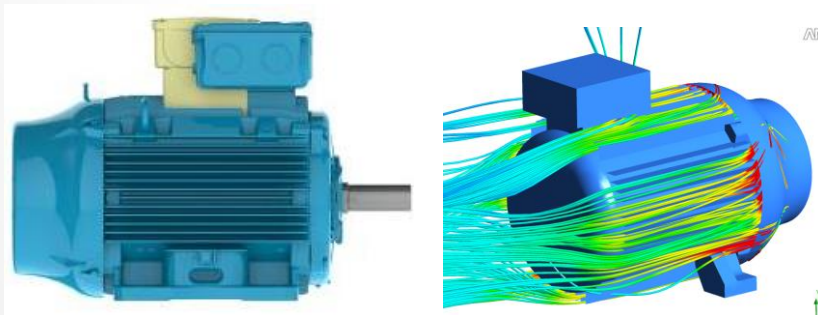
## Perdas mecânicas



**Ventilador e defletor**



**Análise dos vortices**



**Posição da caixa de ligação**

- Evitar os vortices
- Design da tampa do ventilador
- Número de pas do ventilador
- Distância entre a tampa e o ventilador
- Geometria das aletas



# Técnicas para reduzir as perdas



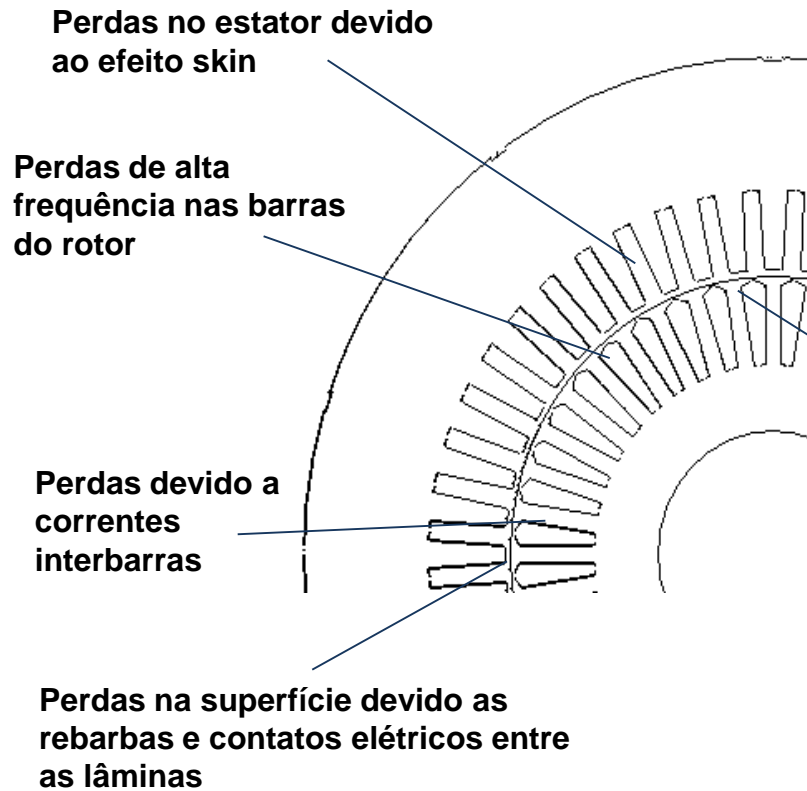
## Perdas no ferro

- 1) Uso de grades comerciais superiores de aço com menos perdas (normalmente espessuras mais finas de aço silício aumenta drasticamente os custos)
- 2) Redução da densidade de fluxo magnético – aumenta a quantidade das lâminas de aço para manter a mesma eficiência
- 3) Tratamento térmico do pacote de lâminas de aço
- 4) Uso de lâminas de aço silício com alta permeabilidade magnética em 1.5T

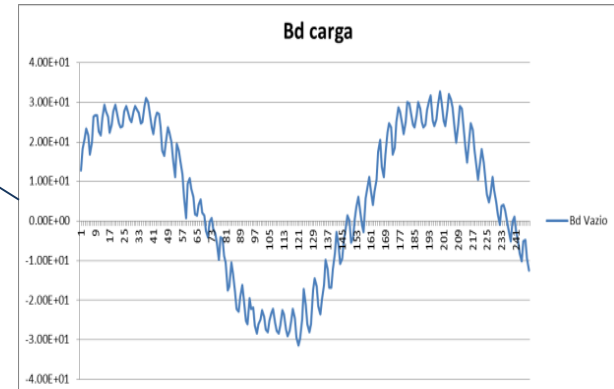
# Técnicas para reduzir as perdas



## Perdas Adicionais



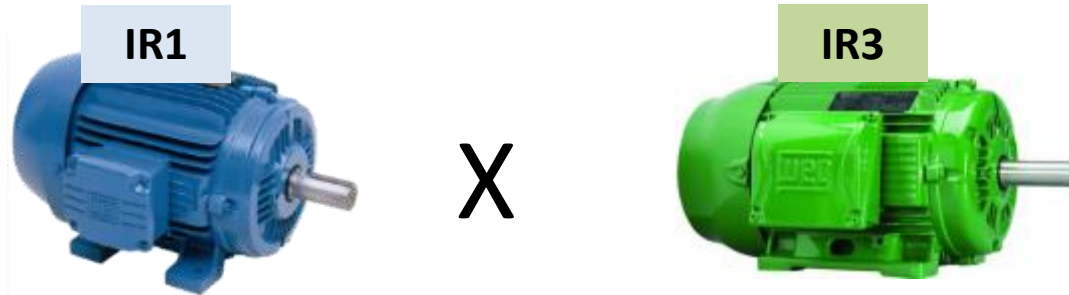
**Perdas adicionais de alta frequência (Freq. x N2)**



# Técnicas para reduzir as perdas

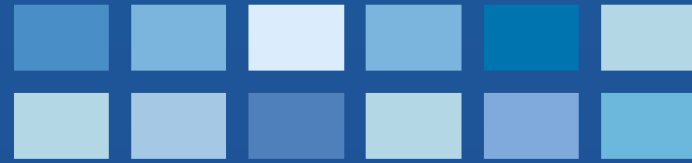


## Resumo: Motores IR1 vs Motores Premium



- Chapas metálicas de melhor qualidade
- Maior volume de material condutor
- Rotores tratados termicamente
- Alto fator de enchimento das ranhuras
- Ranhuras com projeto otimizado
- Tampas com otimização do fluxo de ar
- Anéis aletados de fixação do mancais
- Alojamento do rolamento deslocado para fora
- Sistema de ventilação com novo conceito aerodinâmico
- Carcaça privilegiando a troca térmica

# Novas Tecnologias



## Ultra Premium IE5\*

\*20% menos perdas em relação ao IE4  
(IE5 ainda não consta na norma IEC)



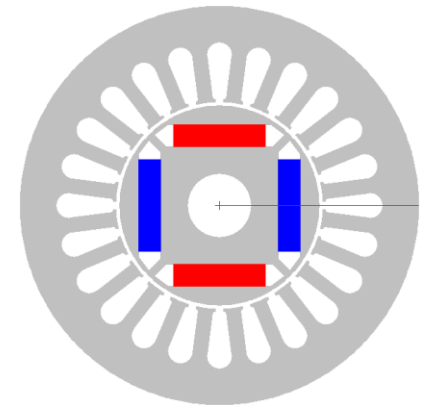
# Ultra premium



## Tipos de Motores de ímãs permanentes

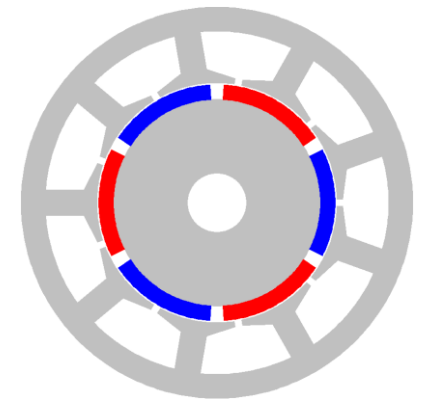
### **PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motors):**

- Enrolamentos similares ao do motor de indução
- Controle de campo com um drive de onda senoidal
- Baixo ripple de torque e ruído acústico



### **PM BLDC (BrushLess DC) Motors:**

- Usualmente enrolamentos concentrados
- Drive DC de onda quadrada
- Uso típico em baixas potências

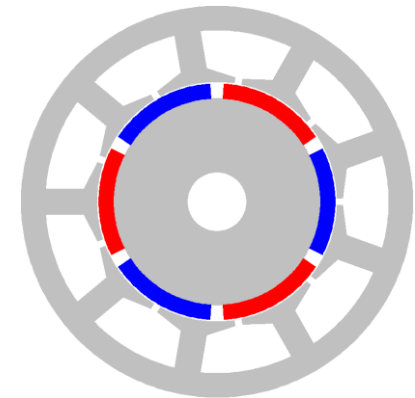
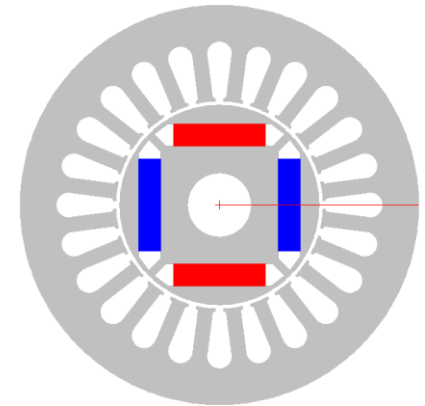


# Ultra premium



## Rotor com ímãs superficiais

- BLDC ou BLAC (BrushLess AC)
- Enrolamentos distribuidos ou concentrados
- Ímãs de terras raras e ferrite
- Processo de fabricação do rotor mais simples
- Baixa capacidade de enfraquecimento de campo
- Usualmente sem toque de relutância
- Design mais complexo para retenção dos ímãs em elevadas rotações

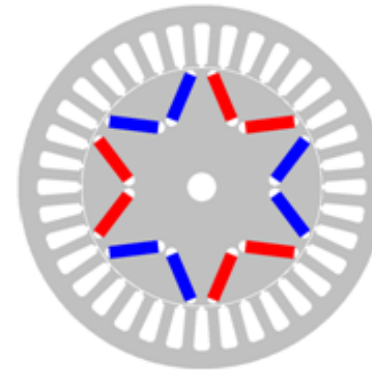


# Ultra premium

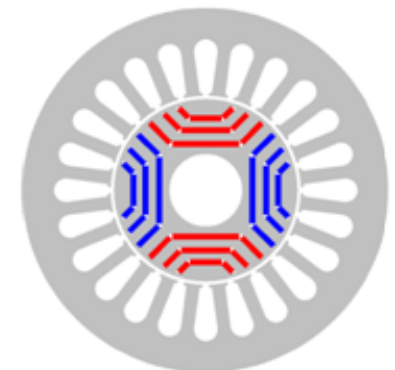


## Rotor com ímãs internos

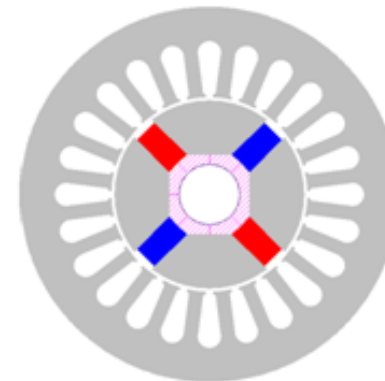
- BLAC e BLDC
- Grande parte utiliza enrolamentos distribuídos
- Ímãs de terras raras e ferrite
- Maior capacidade para o enfraquecimento de campo
- Maior fluxo de dispersão
- Considerado torque de relutância
- Processo de fabricação do rotor mais complexo



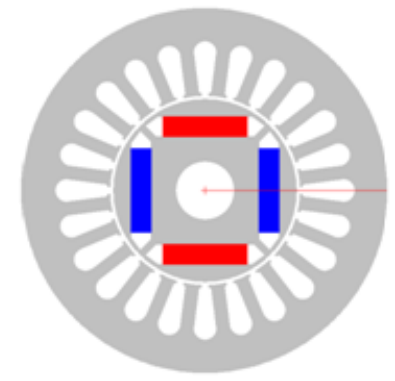
Design V



Multicamadas

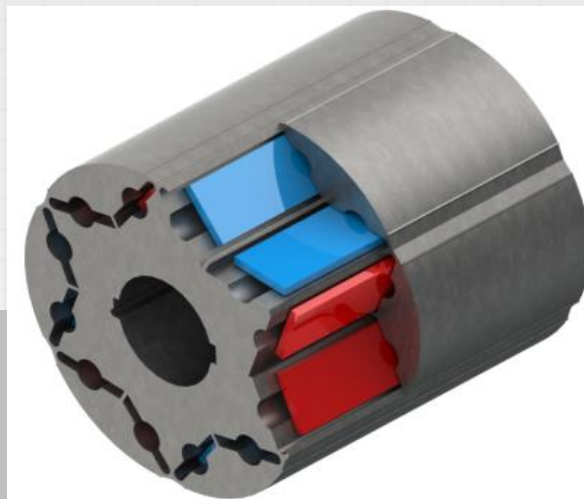


Radial



Tangencial

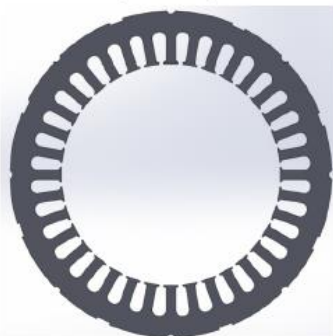
# WMagnet **Alto rendimento**



Motor síncrono (PMSM)  
Ímãs internos  
Disposição com design V e  
Tangencial  
Enrolamento distribuído

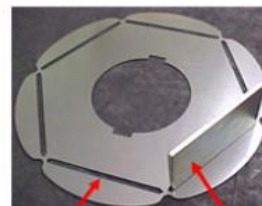
## ESTATOR

Mesma chapa do motor de indução 6 polos



## ROTOR

Chapa do rotor com ranhuras para montagem dos sanduiches de ímãs



Ranhuras

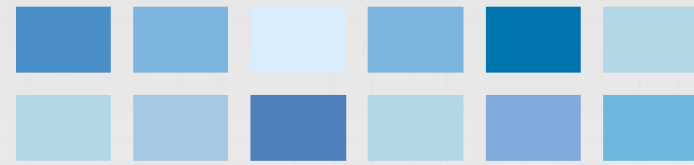
Ímãs

## SANDUICHE DE ÍMÃS

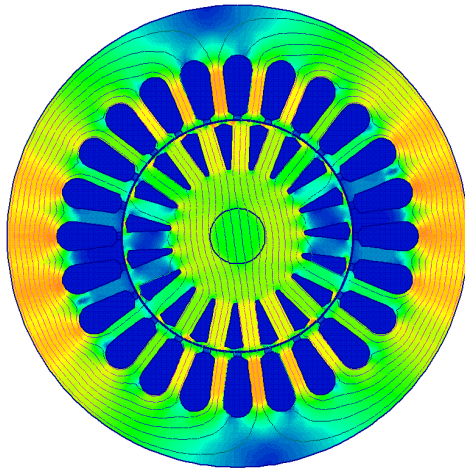
O sanduiche é formado duas chapas retangulares e ímãs



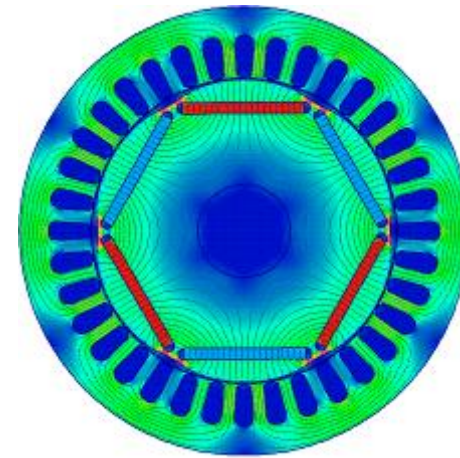
# WMagnet Alto rendimento



Motor de indução



Wmagnet



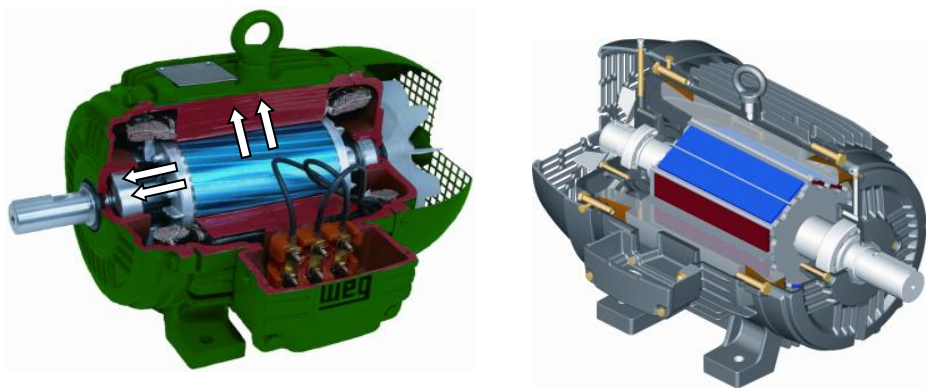
As linhas de fluxo do estator passam pelo rotor induzindo correntes e criando um campo magnético. Há perdas e geração de calor.

Os ímãs geram seu próprio campo magnético sem a necessidade de indução de correntes. Eliminam-se as perdas no ferro e perdas Joule no rotor.

# WMagnet

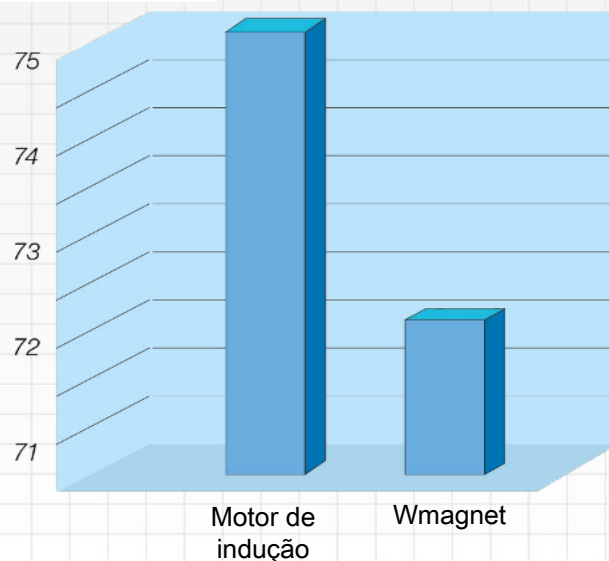


Menor temperatura nos mancais em relação aos motores de indução.



Nível médio de pressão sonora dB (A)  
Motor 20 cv- 3600 rpm

A redução do tamanho da carcaça e do sistema de ventilação proporciona níveis de ruído inferiores se comparados aos motores de indução.





# WMagnet peso e volume



Eliminando as perdas Joule no rotor, o motor trabalha com temperatura reduzida proporcionando assim a redução do tamanho da carcaça.

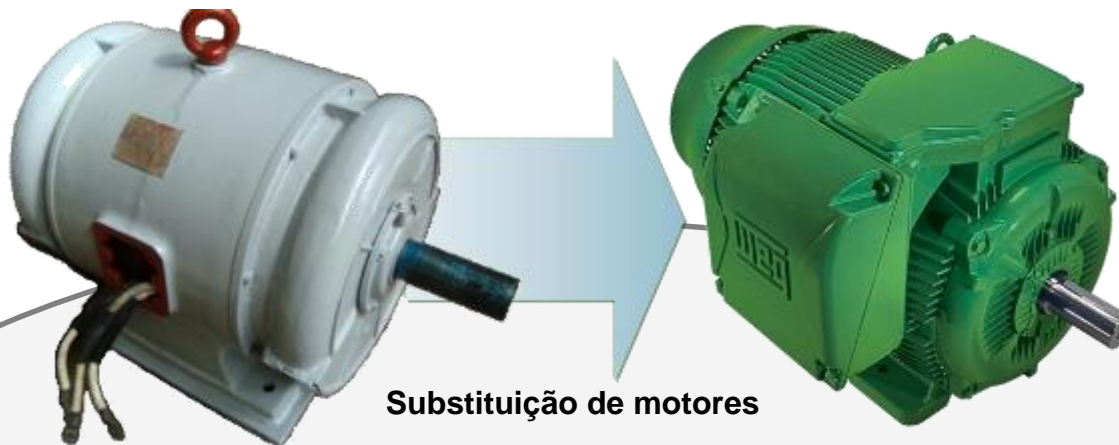
Redução média  
Peso: 50%  
Volume: 43%



**Motor de indução**  
Potência: 40 cv  
Carcaça: 200M  
Massa: 213 kg  
Volume: 63,3 dm<sup>3</sup>

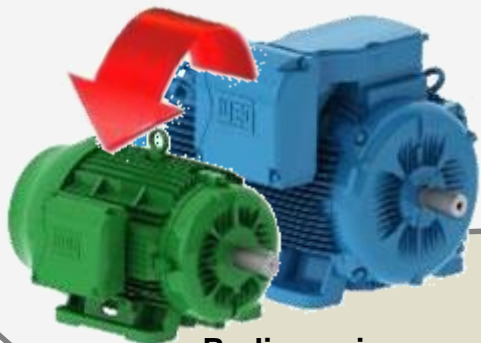
**Motor Wmagnet**  
Potência: 40 cv  
Carcaça: 160L  
Massa: 140 kg  
Volume: 33,6 dm<sup>3</sup>

# Como melhorar a eficiência?



Substituição de motores

## MOTORES INSTALADOS



Redimensionamento de motores



Automação de processos

# Adequação de motores elétricos



Motor Standard W21 1988

75 kW, 4 pólos, 24h, 365 dias  
R\$ 0,40/kWh

$\eta$ (%) a 100% de carga: 91,0%

R\$ aprox. energia/ano:  
R\$288.791,00



Motor W22 Super Premium 2017

75 kW, 4 pólos, 24h, 365 dias  
R\$ 0,40/kWh

$\eta$ (%) a 100% de carga: 96,2%

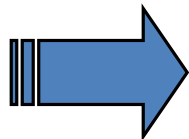
R\$ aprox. energia/ano:  
R\$273.180,00

Melhoria de 5,7% no rendimento, resultando em uma economia anual de R\$ 15.611,00

# Redimensionamiento de motores eléctricos



Rede Elétrica  
 $P_{el} = 98 \text{ kW}$



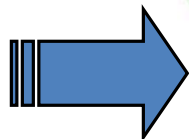
Carga Acionada  
 $P_{mec} = 125 \text{ CV}$

**50% de carga**

**$\cos \varphi = 0,65$**   
 **$\eta \% = 90,2\%$**

250 CV – rendimento STD

Rede Elétrica  
 $P_{el} = 95 \text{ kW}$



Carga Acionada  
 $P_{mec} = 125 \text{ CV}$

**83% de carga**

**$\cos \varphi = 0,84$**   
 **$\eta \% = 94,9\%$**

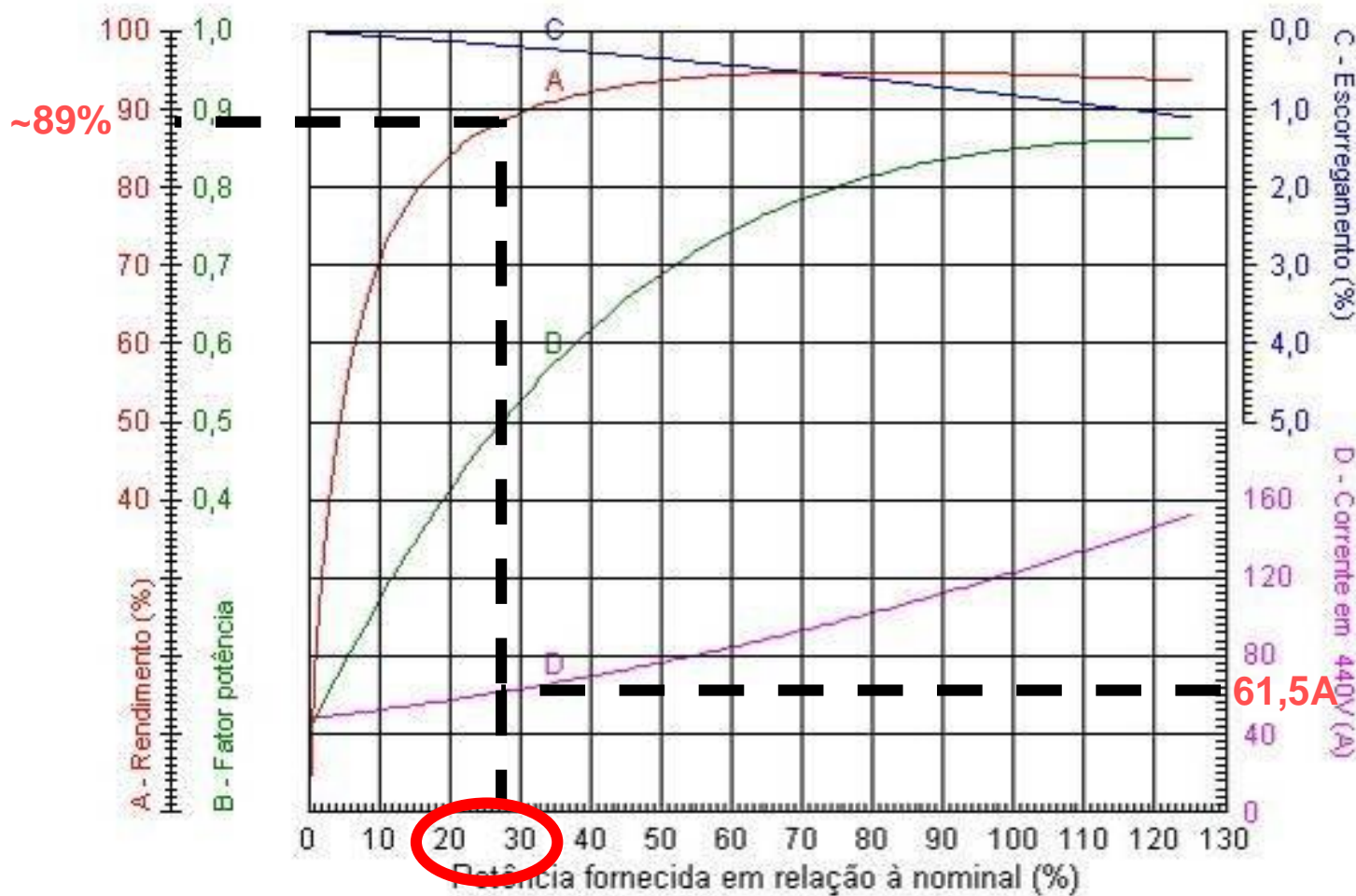
150 CV – W22 Premium

# Adequação de motores elétricos

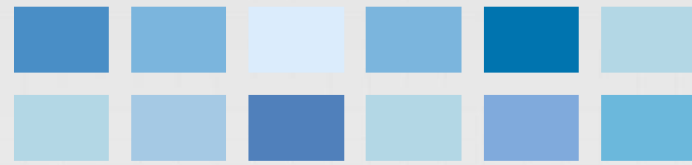


Motor 100 CV ARP 440V 4 pólos; IN 123A

Medição de corrente: ITRAB = 61,5A



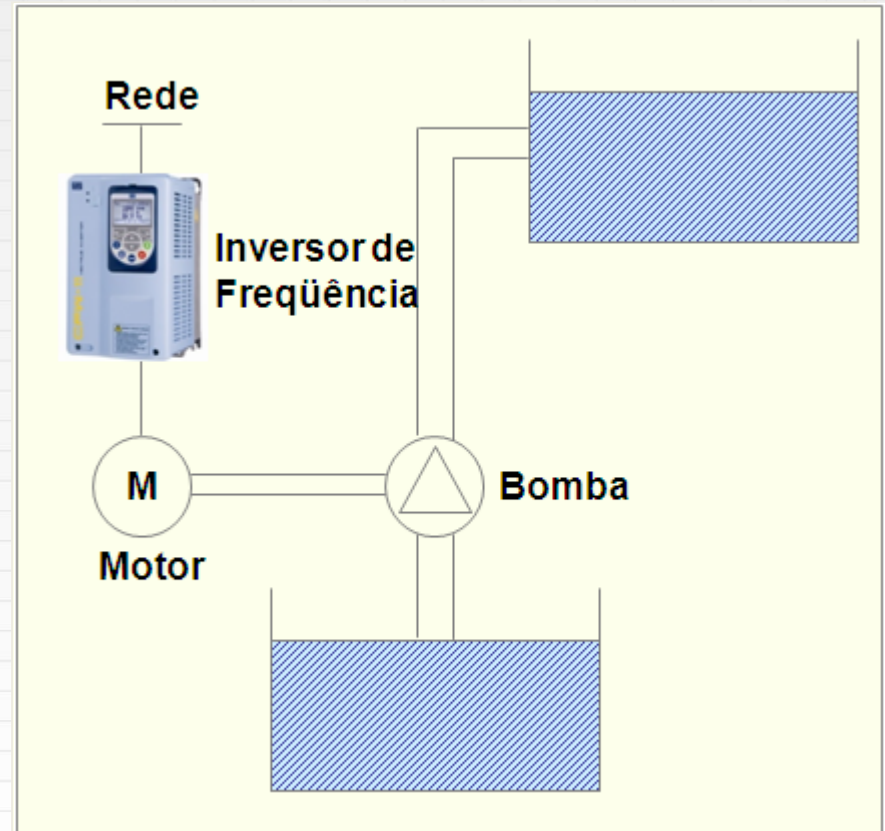
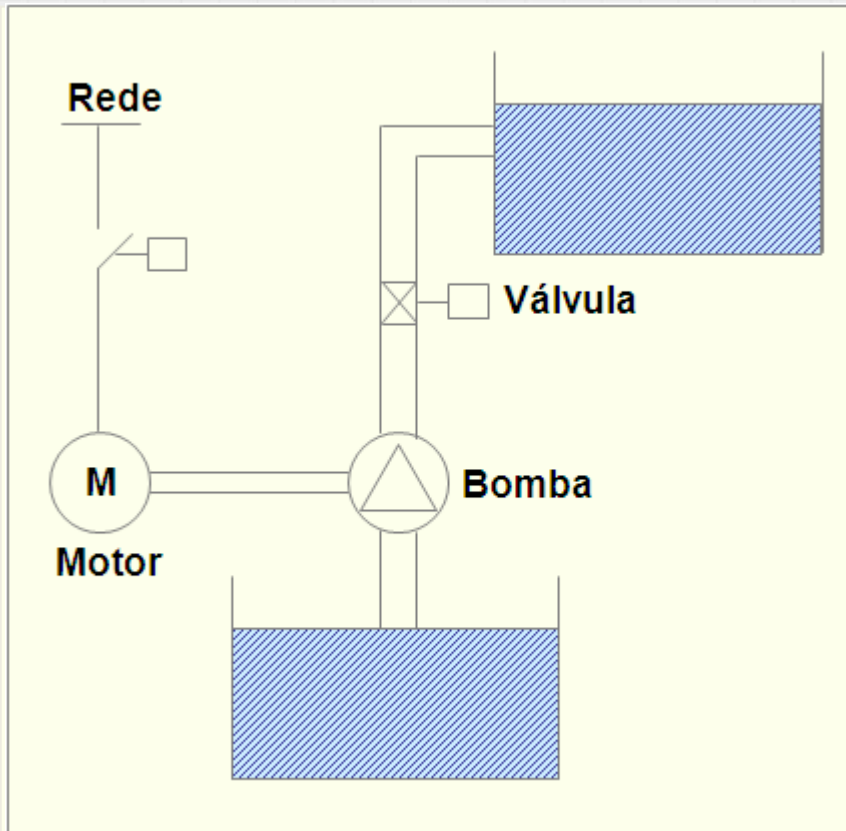
# Economia utilizando Inversores de Frequência



Comparativo entre sistemas de controle de vazão/pressão

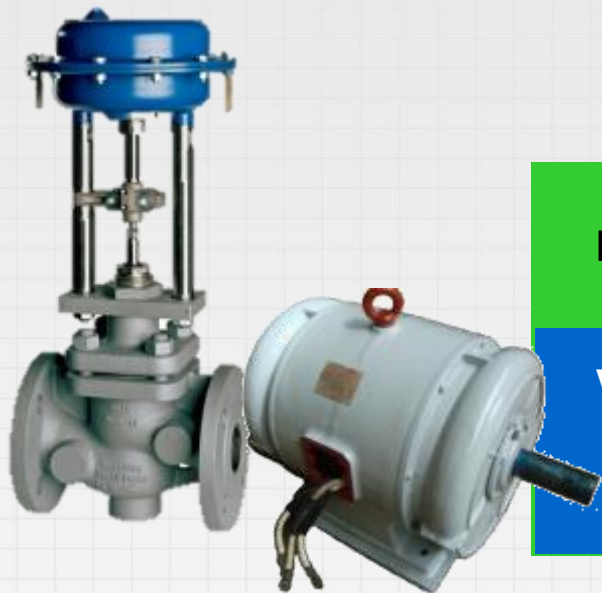
Sistema Convencional  
(Válvula)

Sistema com variação de velocidade  
(Inversor de Frequência)





# Sistemas industriais



Potência consumida

Variação de processo



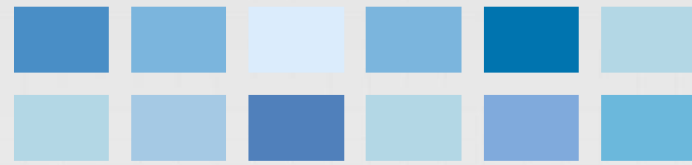
Potência consumida

Variação de processo

Economia de energia

# Eficiência Energética – Motores

## Resumo



Substituição dos motores por outros mais eficientes



Adequação dos motores de acordo com a carga (aplicação)



Uso de inversor de frequência para as aplicações que exijam controle



Muito Obrigado

O presente  
reflete o  
**futuro**

[www.weg.net/eficienciaenergetica](http://www.weg.net/eficienciaenergetica)