

# PROCEL INDÚSTRIA

EDIÇÃO S E R I A D A

# 6

## MOTOR ELÉTRICO

### GUIA BÁSICO

2009

CNI  
SESI  
SENAI  
IEL

**CNI IEL**

 **PROCEL**  
INDÚSTRIA   
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL



**Eletrobrás**  
A energia que movimenta o Brasil.



# MOTOR ELÉTRICO

## GUIA BÁSICO

© 2008. CNI – Confederação Nacional da Indústria

IEL – Núcleo Central

ELETOBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

#### **ELETOBRÁS**

##### **Centrais Elétricas Brasileiras S.A.**

Av. Presidente Vargas, 409, 13º andar, Centro

20071-003 Rio de Janeiro RJ

Caixa Postal 1639

Tel 21 2514-5151

[www.eletobras.com](http://www.eletobras.com)

[eletoabr@eletobras.com](mailto:eletoabr@eletobras.com)

#### **PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**

Av. Rio Branco, 53, 14º, 15º, 19º e 20º andares

Centro, 20090-004 Rio de Janeiro RJ

[www.eletobras.com/procel](http://www.eletobras.com/procel)

[procel@eletobras.com](mailto:procel@eletobras.com)

Ligação Gratuita 0800 560 506

#### **PROCEL INDÚSTRIA – Eficiência Energética Industrial**

Av. Rio Branco, 53, 15º andar, Centro

20090-004 Rio de Janeiro RJ

Fax 21 2514-5767

[www.eletobras.com/procel](http://www.eletobras.com/procel)

[procel@eletobras.com](mailto:procel@eletobras.com)

Ligação Gratuita 0800 560 506

#### **INSTITUTO EUVALDO LODI**

##### **IEL/Núcleo Central**

Setor Bancário Norte, Quadra 1, Bloco B

Edifício CNC

70041-902 Brasília DF

Tel 61 3317-9080

Fax 61 3317-9360

[www.iel.org.br](http://www.iel.org.br)

#### **CNI**

##### **Confederação Nacional da Indústria**

Setor Bancário Norte, Quadra 1, Bloco C

Edifício Roberto Simonsen

70040-903 Brasília DF

Tel 61 3317- 9001

Fax 61 3317- 9994

[www.cni.org.br](http://www.cni.org.br)

Serviço de Atendimento ao Cliente – SAC

Tels 61 3317-9989 / 61 3317-9992

[sac@cni.org.br](mailto:sac@cni.org.br)

M919

Motor elétrico: guia básico / Eletrobrás [et al.]. Brasília : IEL/NC, 2009.

190 p. : il.

ISBN 978-85-87257-30-7

1. Motor elétrico 2. Energia 3. Eficiência energética. I. Eletrobrás II. CNI – Confederação Nacional da Indústria III. IEL – Núcleo Central IV. Título.

CDU: 621.313.13

## ELETROBRÁS / PROCEL

### Presidência

José Antônio Muniz Lopes

### Diretoria de Tecnologia

Ubirajara Rocha Meira

### Departamento de Projetos de Eficiência Energética

Fernando Pinto Dias Perrone

### Divisão de Eficiência Energética na Indústria e Comércio

Marco Aurélio Ribeiro Gonçalves Moreira

## CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

### Presidente

Armando de Queiroz Monteiro Neto

## INSTITUTO EUVALDO LODI – IEL / NÚCLEO CENTRAL

### Presidente do Conselho Superior

Armando de Queiroz Monteiro Neto

### Diretor-Geral

Paulo Afonso Ferreira

### Superintendente

Carlos Roberto Rocha Cavalcante

## Equipe Técnica

---

### ELETROBRÁS / PROCEL

#### Equipe PROCEL INDÚSTRIA

Alvaro Braga Alves Pinto

Bráulio Romano Motta

Carlos Aparecido Ferreira

Carlos Henrique Moya

Humberto Luiz de Oliveira

Lucas Vivaqua Dias

Marília Ribeiro Spera

Roberto Piffer

Roberto Ricardo de Araujo Goes

#### Colaboradores

George Alves Soares

Vanda Alves dos Santos

### CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

#### DIRETORIA EXECUTIVA – DIREX

#### Diretor

José Augusto Coelho Fernandes

#### Diretor de Operações

Rafael Esmeraldo Lucchessi Ramacciotti

#### Diretor de Relações Institucionais

Marco Antonio Reis Guarita

#### Unidade de Competitividade Industrial – COMPI

#### Gerente-Executivo

Maurício Otávio Mendonça Jorge

#### Gerente de Infra-Estrutura

Wagner Ferreira Cardoso

#### Coordenação Técnica

Rodrigo Sarmento Garcia

#### SUPERINTENDÊNCIA DE SERVIÇOS COMPARTILHADOS – SSC

#### Área Compartilhada de Informação e Documentação – ACIND

#### Normalização

Gabriela Leitão

### INSTITUTO EUVALDO LODI – IEL / NÚCLEO CENTRAL

#### Gerente-Executivo de Operações

Júlio Cezar de Andrade Miranda

#### Gerente de Desenvolvimento Empresarial – GDE

Diana de Mello Jungmann

#### Coordenação Técnica

Patrícia Barreto Jacobs

#### Gerente de Relações com o Mercado – GRM

Oto Morato Álvares

#### Responsável Técnico

Ana Amélia Ribeiro Barbosa

### SENAI / DN

#### Gerente-Executivo da Unidade de Educação Profissional

#### – UNIEP

Alberto Borges de Araújo

#### Apoio Técnico

Diana Freitas Silva Néri

#### Gerente-Executiva da Unidade de Relações com o Mercado

#### – UNIREM

Mônica Côrtes de Domênico

### SENAI / SP

#### Centro de Treinamento SENAI “Comendador Santoro Mirrone”

#### Indaiatuba

#### Conteudista

Alberto Washington Diniz

#### Estruturação do Conteúdo

Regina Célia Roland Novaes

#### Coordenação do Projeto pelo SENAI / SP

José Luiz Chagas Quirino

---

#### Supervisão Pedagógica

Regina Averbug

#### Editoração Eletrônica

Link Design

#### Revisão Gramatical

Marluce Moreira Salgado



# SUMÁRIO

## Apresentação

### Capítulo 1 – Motores elétricos acionados por corrente contínua 15

Motor elétrico 16

Motores acionados por corrente contínua 18

Funcionamento do motor de corrente contínua 20

Tipos de motores de corrente contínua 22

Motor de ímã permanente 23

Motor de campo série 24

Motor de campo paralelo (*shunt*) 24

Motor de excitação independente 25

Motor composto (*compound*) 26

### Capítulo 2 – Motores para aplicações especiais 31

Motor universal 32

Características de funcionamento do motor universal 35

Funcionamento do motor universal 36

Motor de passo (*step motor*) 37

Aplicações dos motores de passo 39

### Capítulo 3 – Motores acionados por corrente alternada 43

Motores de corrente alternada (CA) 44

Motor ou gerador síncrono 46

Componentes 47

Princípio de funcionamento 47

Característica de operação dos motores síncronos 48

Motores monofásicos síncronos 49

Motores assíncronos 49

Motores monofásicos assíncronos 49

Componentes do motor monofásico assíncrono 49

Princípio de funcionamento do motor monofásico assíncrono 50

Motor de campo distorcido ou pólos fendidos (*shaded pole*) 51

## **Motores monofásicos de fase auxiliar 54**

Motor de fase dividida (*split-phase*) 54

Motor com capacitor de partida (*capacitor-start*) 56

Motor de capacitor permanente (*permanent-split*) 57

Motor com dois capacitores (*two-value capacitor*) 58

## **Motor linear 59**

## **Motor de indução trifásico de rotor bobinado 60**

Componentes 61

Características do motor trifásico de rotor bobinado 62

## **Motor de indução trifásico de rotor gaiola de esquilo 64**

Componentes 65

Princípio de funcionamento 67

## **Capítulo 4 – Motor de indução trifásico de rotor gaiola de esquilo 75**

### **Motor de indução 77**

Características básicas do motor de indução 78

Tipos de ligações 80

Funcionamento 81

### **Características do motor trifásico de indução rotor gaiola de esquilo 81**

Potência nominal 82

Fator de serviço 84

Tensão nominal 85

Corrente nominal 86

Frequência nominal 87

Escorregamento 87

Torque (ou conjugado) nominal 87

Conjugado de partida 88

Características de partida 88

Velocidade nominal 90

Rendimento 90

Perdas 91

## **Motor de alto rendimento 92**

Redução das perdas 92

Perdas nos núcleos 93

Perdas mecânicas 94

Perdas por efeito *Joule* no estator 94

Perdas por efeito *Joule* no rotor 95

Perdas suplementares 96

O motor de alto rendimento segundo a NBR 7094 97

Linha padrão 98

Linha de alto rendimento 99

## **Capítulo 5 – Normas e ensaios de motores elétricos de indução 105**

### **Normalização 107**

Normas técnicas brasileiras 108

Normas para eletricidade e eletrônica 109

### **Normas ABNT para os motores trifásicos de indução de rotor gaiola de esquilo 111**

### **Ensaio em motores trifásicos de indução de rotor gaiola de esquilo 113**

Ensaio de rotina 114

Ensaio de tipo 114

Ensaio especiais 115

Ensaio de laboratório 115

Ensaio de determinação do rendimento 115

Ensaio de campo 116

## **Capítulo 6 – Placa de identificação do motor 121**

### **Dados da placa para motores trifásicos de indução de rotor gaiola de esquilo 122**

**Motor sem identificação 136**

**Condições ambientais 137**

Condições ambientais especiais 139

**Áreas classificadas 140**

Crterios de classificação das áreas classificadas 140

Condições de temperatura 141

Temperatura ambiente 141

Temperatura máxima de superfície 142

Tipos de motores para utilização em áreas classificadas 142

**Capitulo 7 – Uso eficiente do motor elétrico na indústria 147**

**Consumo de energia elétrica no Brasil 148**

**Causas do desperdício de energia no uso de motores elétricos 151**

Perdas internas 151

Distribuição das perdas 154

Rendimento 154

Superdimensionamento dos motores 155

Fator de potência 156

Rede de alimentação 158

Nível da tensão de alimentação 158

Desequilíbrio de tensões de fase 159

Variação da freqüência de alimentação 160

Presença de harmônicos 161

**Proteção 163**

Proteção contra curto-circuito 163

Proteção contra excesso de temperatura 163

**Manutenção e perdas mecânicas 165**

Cuidados com a limpeza 165

Cuidados com os rolamentos ou mancais 166

Inspeção das conexões elétricas 167

Cargas axiais e radiais em sistemas de transmissão mecânica 168

Reparo e recondicionamento 169

## **Referências 173**

### **Anexo 177**

Decreto nº 4.508, de 11 de dezembro de 2002 177

Portaria Interministerial MME/MCT/MDIC nº 553 187



# APRESENTAÇÃO

---

**O** obter a eficiência energética significa utilizar processos e equipamentos que sejam mais eficientes, reduzindo o desperdício no consumo de energia elétrica, tanto na produção de bens como na prestação de serviços, sem que isso prejudique a sua qualidade.

É necessário conservar e estimular o uso eficiente da energia elétrica em todos os setores socioeconômicos do Brasil, sendo de grande importância para o país a adoção efetiva de medidas de economia de energia e o consequente impacto destas ações. Neste cenário destaca-se a indústria, não só pelo elevado potencial de conservação de energia do seu parque como também pela sua capacidade produtiva como fornecedora de produtos e serviços para o setor elétrico.

No âmbito das ações que visam criar programas de capacitação voltados para a obtenção de eficiência energética no setor industrial, inclui-se o *Curso de Formação de Agentes Industriais de Nível Médio em Otimização de Sistemas Motrizes*. Este curso tem como objetivo capacitar agentes industriais, tornando-os capazes de identificar, propor e implementar oportunidades de redução de perdas nas instalações industriais de sistemas motrizes.

O curso faz parte do conjunto de ações que vêm sendo desenvolvidas pelo governo federal para:

- Fomentar ações de eficiência energética em sistemas motrizes industriais;
- Facilitar a capacitação dos agentes industriais de nível médio dos diversos subsetores da indústria, para desenvolverem atividades de eficiência energética;
- Apresentar as oportunidades de ganhos de eficiência energética por meio de economia de energia em sistemas motrizes industriais;
- Facilitar a implantação de tecnologias eficientes sob o ponto de vista energético, além da conscientização e da difusão de melhores hábitos para a conservação de energia.

Como apoio pedagógico para este curso, foram elaborados os seguintes guias técnicos:

- 1 – Correias Transportadoras
- 2 – Acoplamento Motor Carga
- 3 – Metodologia de Realização de Diagnóstico Energético
- 4 – Compressores
- 5 – Ventiladores e Exaustores
- 6 – Motor Elétrico
- 7 – Energia Elétrica: Conceito, Qualidade e Tarifação
- 8 – Acionamento Eletrônico
- 9 – Bombas
- 10 – Análise Econômica de Investimento
- 11 – Instrumentação e Controle

Este material didático – Motor Elétrico – faz parte do conjunto de guias técnicos do *Curso de Formação de Agentes Industriais de Nível Médio em Otimização de Sistemas Motrizes*. Ele é um complemento para o estudo, reforçando o que foi desenvolvido em sala de aula. É também uma fonte de consulta, onde você, participante do curso, pode rever e relembrar os temas abordados no curso.

Todos os capítulos têm a mesma estrutura. Conheça, a seguir, como são desenvolvidos os capítulos deste guia.

- **Iniciando nossa conversa** – texto de apresentação do assunto abordado no capítulo.
- **Objetivos** – informa os objetivos de aprendizagem a serem atingidos a partir do que foi desenvolvido em sala de aula e com o estudo realizado por meio do guia.
- **Um desafio para você** – apresenta um desafio: uma situação a ser resolvida por você.
- **Continuando nossa conversa** – onde o tema do capítulo é desenvolvido, trazendo informações para o seu estudo.

- **Voltando ao desafio** – depois de ler, analisar e refletir sobre os assuntos abordados no capítulo, você retornará ao desafio proposto, buscando a sua solução à luz do que foi estudado.
- **Resumindo** – texto que sintetiza os principais assuntos desenvolvidos no capítulo.
- **Aprenda mais** – sugestões para pesquisa e leitura, relacionadas com o tema do capítulo, visando ampliar o que você aprendeu.

Esperamos que este material didático contribua para torná-lo um cidadão cada vez mais consciente e comprometido a alcançar a eficiência energética, colaborando, assim, para que o País alcance as metas nesse setor e os conseqüentes benefícios para a sociedade brasileira e o seu meio ambiente.



## Capítulo 1

---

# MOTORES ELÉTRICOS ACIONADOS POR CORRENTE CONTÍNUA

### Iniciando nossa conversa

Você já reparou que o motor elétrico está presente na maioria dos equipamentos industriais, hospitalares e até no mais simples dos eletrodomésticos? Afinal, há motores elétricos tanto em tornos, furadeiras e bombas quanto em respiradores, máquinas de hemodiálise, de tomografia, assim como em liquidificadores, refrigeradores, fornos de microondas, aparelhos leitores de CDs, máquinas de lavar roupas... A lista é imensa e poderia continuar quase infinitamente. Para executar todas essas funções, o motor elétrico varia em dimensão e velocidade e em tensão elétrica a ele aplicada.

Pensando bem, a vida moderna não pode prescindir desta maravilhosa máquina rotativa, mas para produzir a energia elétrica que faz esses motores funcionarem, o homem interfere de várias maneiras na natureza: seja construindo usinas hidroelétricas que destroem grandes extensões de ecossistemas, seja por meio de usinas termoelétricas que utilizam carvão e combustíveis fósseis que contribuem bastante para aumentar o efeito estufa, ou seja, o maior causador do aquecimento global.

Mais do que uma idéia que está na moda, o efeito estufa está ocupando horas de estudos de cientistas e organismos internacionais. Está fazendo chefes de Estado reconhecerem a responsabilidade dos países mais industrializados pelos efeitos destruidores que o aumento das temperaturas dos oceanos tem sobre o clima do nosso planeta.

É aí que entram todas as iniciativas que resultem em um uso eficiente e eficaz da energia que chega todos os dias em nossas casas, em nossos locais de trabalho, nos hospitais e nos centros de lazer.

E é aí que entram, também, os conhecimentos sobre os motores elétricos. Afinal, quando passamos a conhecer suas características, seu modo de funcionamento, sua utilização, podemos fazer um uso mais racional dessa maravilhosa máquina.

Neste capítulo, vamos conhecer um pouco sobre os mais comuns tipos de motores elétricos de corrente contínua, suas principais características e seu funcionamento.

## Objetivos

Ao estudar este capítulo, temos como objetivos:

- Identificar diferentes tipos de motores elétricos;
- Conhecer suas características;
- Identificar suas vantagens e desvantagens.

## Um desafio para você

No curso de Engenharia, na disciplina de Metalurgia, está sendo desenvolvida uma pesquisa sobre novas ligas metálicas. Essa pesquisa indicou a necessidade do uso de um laminador em escala reduzida, para realizar os testes e os ensaios para o desenvolvimento do trabalho.

Qual é o motor elétrico corrente contínua (CC) que será usado neste equipamento, considerando-se que, neste caso, ele deverá apresentar grande torque de partida e um controle de velocidade preciso e constante?

Leia este capítulo com atenção e diga qual motor deverá ser escolhido.

## Continuando nossa conversa

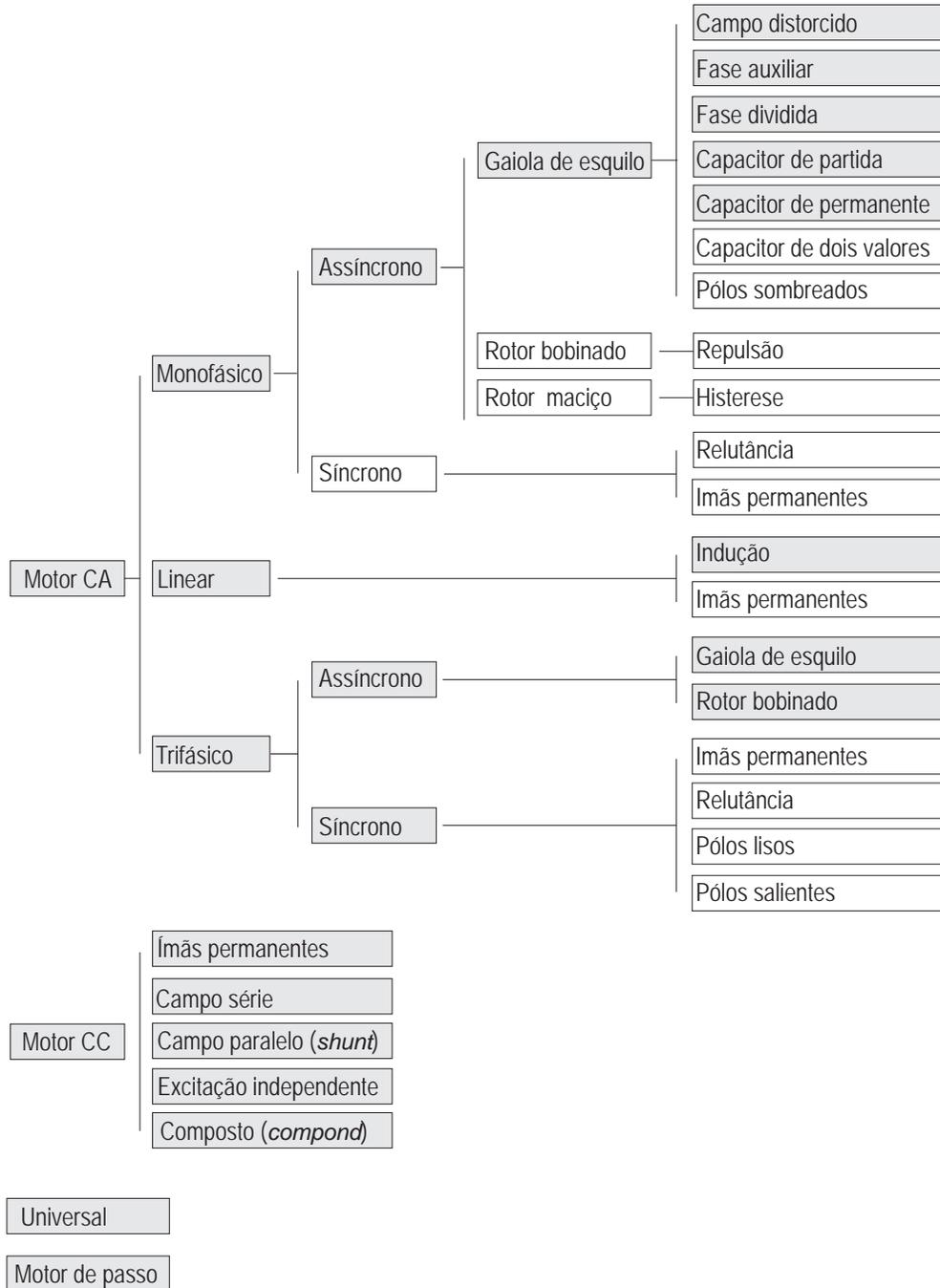
### Motor elétrico

O motor elétrico é uma máquina destinada a transformar energia elétrica em energia mecânica. É o mais usado de todos os tipos de motores, pois combina as vantagens da utilização de energia elétrica – baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando – com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e o melhor rendimento.

O motor elétrico evoluiu ao longo do tempo para atender a diferentes aplicações. Essa evolução teve como consequência o surgimento do motor de corrente contínua e do motor de corrente alternada que, por sua vez, pode ser síncrono ou assíncrono, monofásico ou trifásico.

O Quadro 1 apresenta a classificação de todos os tipos de motores elétricos.

Quadro 1 – Classificação de motores





## Fique ligado!

O motor elétrico é uma máquina com alta eficiência ao converter a energia elétrica em energia mecânica.

O estudo da conservação de energia é realizado a partir da análise do que está conectado ao eixo do motor. Desse modo, a simples substituição do motor não vai melhorar a eficiência do sistema.

Vamos, então, conhecer os motores de corrente contínua.

## Motores acionados por corrente contínua

O motor de corrente contínua é aquele que necessita de uma fonte de corrente contínua para funcionar. Trata-se de uma máquina de alto custo de instalação que pode funcionar com velocidade ajustável dentro de limites amplos.

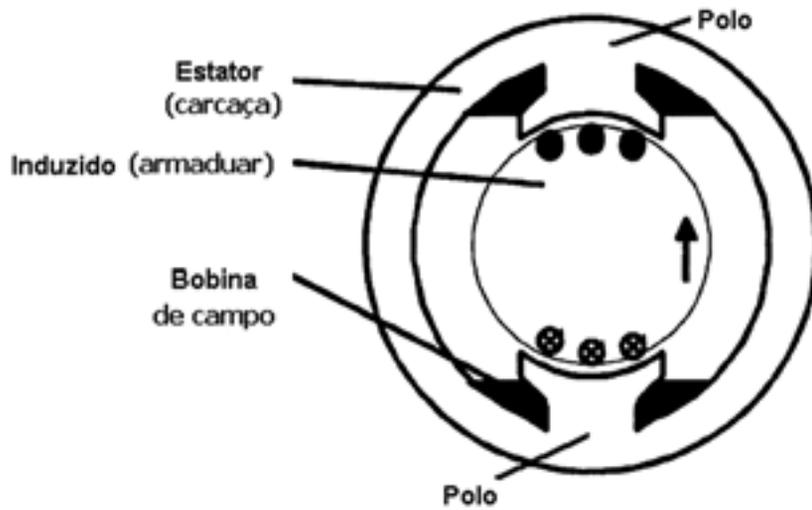
Este tipo de motor é indicado para casos em que é necessário partir com toda a carga. Por isso, ele é usado em guindastes, elevadores e locomotivas, por exemplo.

O motor de CC, como é comumente conhecido, é composto por:

- uma armadura ou induzido (rotor);
- um indutor ou campo (bobinas);
- uma carcaça;
- um conjunto de escovas.

A ilustração a seguir mostra a representação esquemática do motor de CC com suas partes identificadas.

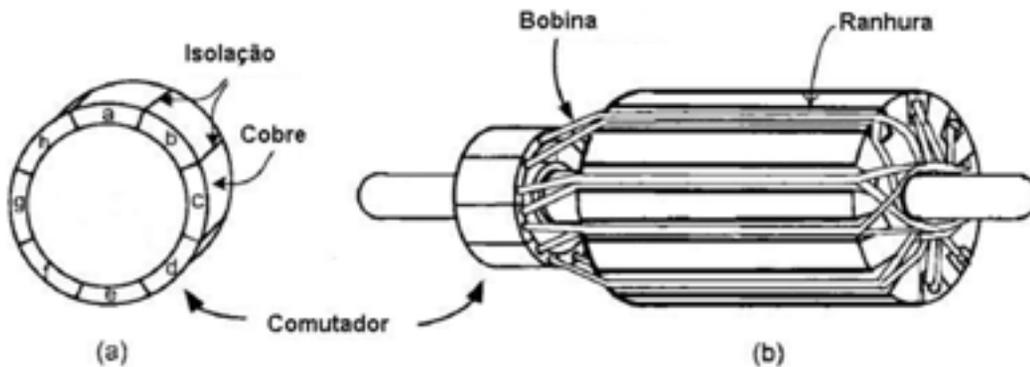
Figura 1 – Representação esquemática do motor de CC



A armadura é a parte girante da máquina, e é composta de um eixo, de um núcleo da armadura que é feito de chapas de aço com ranhuras, onde se localizam as bobinas chamadas de enrolamento da armadura e ainda de um comutador fixado no eixo, formado por um conjunto de lâminas de cobre isoladas entre si. É capaz de suportar altas correntes.

A Figura 2 ilustra o comutador e bobinas da armadura.

Figura 2 – Vista do comutador e sua localização no rotor



O estator (ou bobinas de campo) é responsável pelo campo magnético que interage com a armadura. É a parte estática da máquina, montada em volta da armadura. Também é construído com material ferromagnético e envolto em um enrolamento de baixa potência, que tem a função de produzir um campo magnético fixo para interagir com o campo da armadura.

Quando os motores são de grande porte podem apresentar interpólos para reduzir o efeito de distorção do fluxo de campo magnético e, em alguns casos, podem apresentar, também, enrolamentos de compensação.

A carcaça é formada por chapas onde é fixado o enrolamento de campo. As bobinas são posicionadas de modo a formar os pólos.

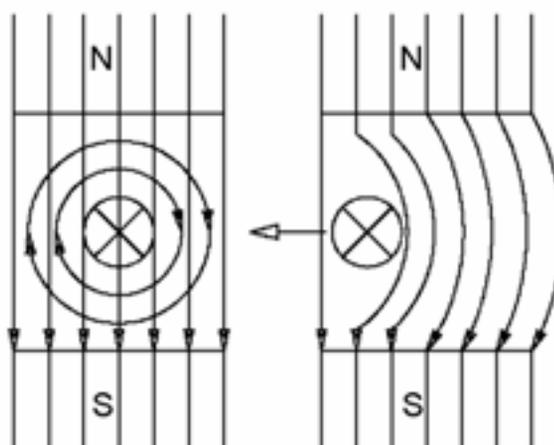
As escovas são responsáveis pela condução da energia do comutador para o rotor (armadura). Com seus respectivos porta-escovas, são fixadas à carcaça por meio de molas que as pressionam contra o comutador.

### Funcionamento do motor de corrente contínua

O funcionamento do motor de corrente contínua baseia-se no princípio da reação de um condutor, colocado num campo magnético fixo, ao ser percorrido por uma corrente elétrica.

A interação entre o campo magnético fixo e o campo magnético produzido pela corrente, que circula no condutor, provoca o aparecimento de uma força. Essa força expulsa o condutor para fora do campo magnético fixo e com isso produz o movimento. A representação esquemática a seguir ilustra esse princípio.

**Figura 3 – Reação do condutor percorrido por corrente em um campo magnético fixo**

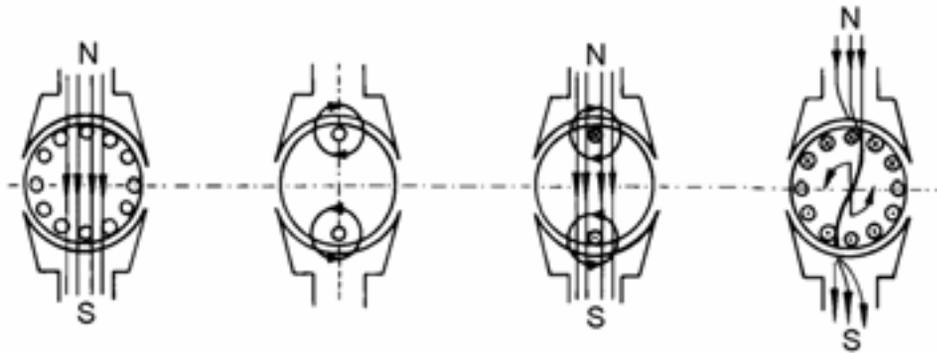


De acordo com a Figura 3, de um lado do condutor há uma diminuição das linhas magnéticas. Do lado oposto, há um acúmulo dessas linhas. Estas provocam o aparecimento da força magnética, que é a responsável pelo movimento do condutor.

No motor de CC existe um campo magnético fixo formado pelas bobinas de campo. Há também condutores instalados nesse campo (no rotor), que são percorridos por correntes elétricas.

A representação esquemática a seguir mostra como aparece o movimento girante em motores de CC.

Figura 4 – Movimento do rotor em motores de CC

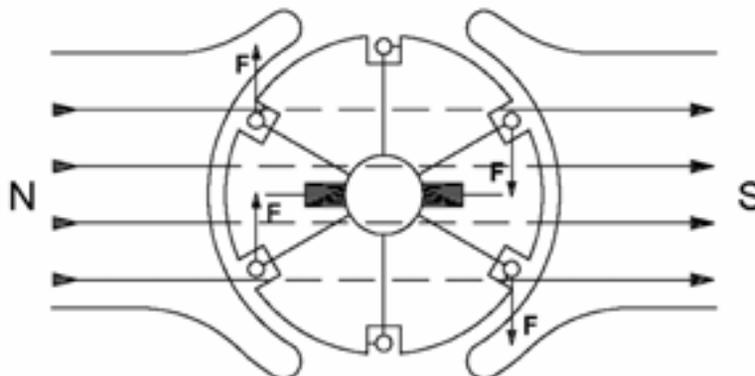


Na Figura 4, você pode observar que a corrente que circula pela espira do rotor movimenta-se nos dois sentidos: por um lado, a corrente está entrando e, por outro, saindo. Isso provoca a formação de duas forças contrárias de igual valor (binário), das quais resulta um movimento de rotação (conjugado), uma vez que a espira está presa à armadura (ou rotor) e suspensa por um mancal.

Essas forças não são constantes em todo o giro. À medida que o condutor vai se afastando do centro do pólo magnético, a intensidade das forças vai diminuindo.

Nos motores de CC, para que haja força constante, as espiras colocadas nas ranhuras da armadura estarão defasadas entre si e interligadas ao circuito externo por meio do coletor e das escovas.

Figura 5 – Posição das escovas



Quando o rotor (ou armadura) do motor de CC começa a girar, condutores de cobre cortam as linhas magnéticas do campo. Em consequência, uma força eletromotriz induzida força a circulação de corrente no circuito da armadura, no sentido contrário à corrente de alimentação do motor.



### Fique ligado!

A força eletromotriz induzida, por ser de sentido contrário à tensão aplicada, recebe o nome de *força contra-eletromotriz* (*fcem*).

$fcem$  = força contra-eletromotriz é a ddp (diferença de potencial) que aparece se opondo ao sentido da tensão fornecida pela fonte.

## Tipos de motores de corrente contínua

Os motores de corrente contínua são classificados segundo o tipo de ligação de seus campos. Assim, temos:

- motor de ímã permanente;
- motor de campo série;
- motor de campo paralelo (*shunt*);
- motor de excitação independente;
- motor composto (*compound*).

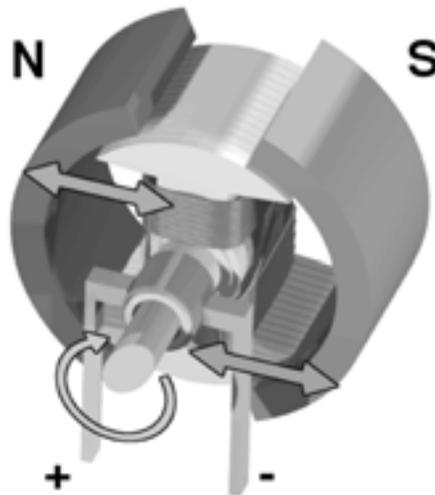
A seguir, vamos aprofundar nossos conhecimentos sobre cada um desses tipos de motores de corrente contínua.

### Motor de ímã permanente

Os motores de ímã permanente possuem um ímã fixo no estator e um rotor bobinado alimentado em corrente contínua por intermédio de um conjunto escova-comutador. Observe que a armadura encontra-se dentro de um ímã permanente e a alimentação CC é feita diretamente no comutador.

A Figura 6 mostra uma representação esquemática de um motor de ímã permanente.

Figura 6 – Motor de ímã permanente



Os motores de ímã permanente caracterizam-se normalmente por serem de pequena potência, porém de grande volume de aplicação na indústria de brinquedos, na indústria automotiva e outras aplicações industriais.

Esse tipo de motor tem como vantagem a facilidade da variação da velocidade, pela simples variação da tensão em seus terminais.

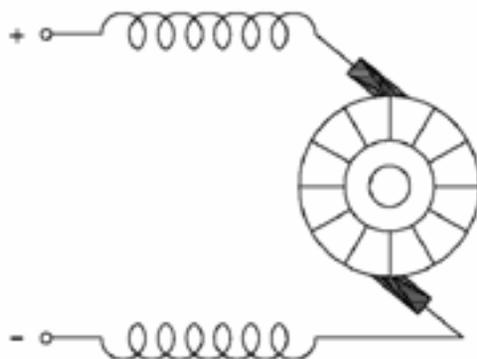
Outra vantagem é que, aplicando-se rotação ao seu eixo, tornam-se geradores de corrente contínua com tensão diretamente proporcional à velocidade, podendo, assim, também ser utilizados como tacômetros de baixo custo.

Como desvantagem, os motores de ímã permanente têm geralmente uma baixa vida útil devido ao atrito e faiscamento no conjunto escova-comutador, podendo produzir ruídos eletromagnéticos de interferência em circuitos eletrônicos.

## Motor de campo série

No motor de CC em série, as bobinas são constituídas por espiras ligadas em série com o rotor (induzido). Essas espiras são de condutor mais grosso, para suportar a corrente circulante. Observe a representação esquemática desse tipo de motor na Figura 7.

Figura 7 – Rotor com duas bobinas de campo em série



Devido à ação magnética nesse motor, o conjugado é diretamente proporcional ao fluxo indutor e à corrente que circula pelo induzido.

Esses motores possuem arranque vigoroso. A partida e a regulação de velocidade podem ser feitas por meio do reostato ou fonte eletrônica intercalado no circuito.

No arranque (ou na partida), o valor da corrente é alto e por conseqüência o fluxo magnético também. Isso resulta em um alto conjugado ao motor.

Esse tipo de motor é indicado para casos em que é necessário partir com toda a carga. Por isso ele é usado em guindastes, elevadores e locomotivas, por exemplo.

Como tendem a disparar (aumentar a rotação), não é recomendável que esses motores funcionem a vazio, ou seja, sem carga.

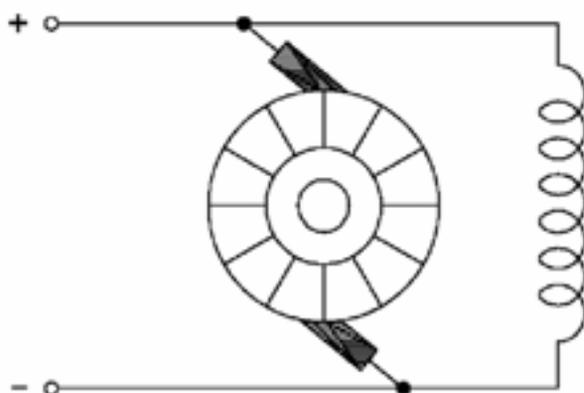
## Motor de campo paralelo (*shunt*)

No motor de CC em paralelo, as bobinas de campo são ligadas em paralelo com o induzido. Elas são formadas por várias espiras de condutor mais fino do que o

motor campo série. A bitola do condutor varia de acordo com a potência do motor. Essa bitola deve ser suficiente para suportar a corrente do campo paralelo. Esta configuração resulta em velocidade constante.

A representação esquemática a seguir ilustra esse tipo de motor.

**Figura 8 – Rotor com bobina de campo em paralelo**



Pela ação eletromagnética, o conjugado é proporcional ao fluxo e à corrente. No momento da partida a corrente no induzido deve ser limitada pela tensão da fonte que o controla, o que diminui o conjugado. Por isso, recomenda-se que o funcionamento desse tipo de motor seja iniciado (ou partido) sem estar a plena carga.



### **Fique ligado!**

O motor de CC em paralelo é empregado, por exemplo, em máquinas-ferramenta (tornos e retíficas de precisão), em geral, com velocidade quase constante.

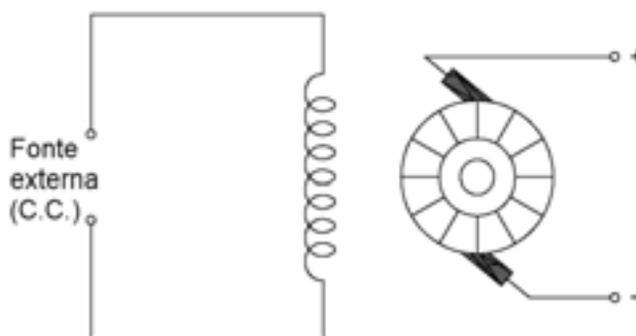
## **Motor de excitação independente**

O motor de CC de excitação independente é aquele em que as bobinas de campo são ligadas independente do induzido. Elas também são formadas por várias espiras de condutor relativamente fino, cuja bitola varia de acordo com a potên-

cia do motor e é adequada ao campo que se quer obter. Como resultado, esta configuração resulta em total controle de velocidade e torque constante para qualquer valor de carga. Isto é melhor obtido com o controle tanto da tensão e da corrente do campo quanto da corrente de armadura.

A Figura 9 mostra a representação esquemática do motor de excitação independente.

**Figura 9 – Rotor e sua bobina de campo**



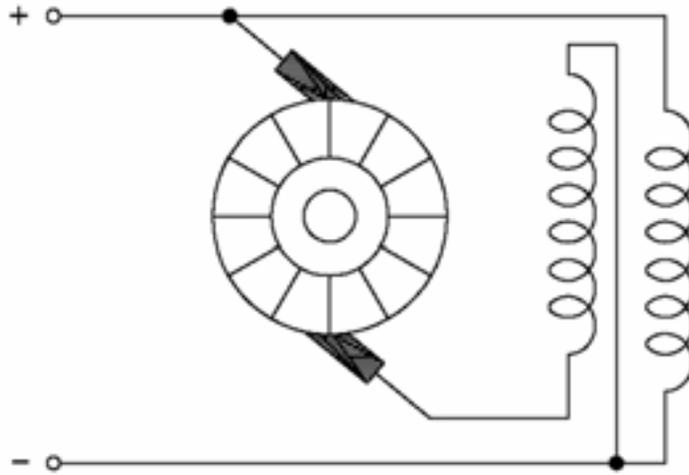
### Fique ligado!

O uso do motor de excitação independente é muito difundido em processos industriais em que há necessidade de que a velocidade seja constante, tais como extrusoras, laminadores, alimentadores, etc.

### **Motor composto (*compound*)**

No motor de CC misto ou (*compound*), as bobinas de campo são constituídas por dois enrolamentos montados na mesma sapata polar, ou seja, nos pólos onde são fixadas as bobinas. Um desses enrolamentos é de condutor relativamente grosso e se liga em série com o induzido. O outro, de condutor relativamente fino, se liga em paralelo com o induzido.

Figura 10 – Rotor com as bobinas de campo série e em paralelo



Este tipo de motor apresenta características comuns ao motor em série e ao motor em paralelo, ou seja, seu arranque é vigoroso e sua velocidade estável em qualquer variação de carga. Pode também partir com carga.

Os motores compostos podem ser do tipo adicional ou diferencial. Isto é obtido variando-se a configuração das ligações internas.

No motor composto adicional, a ligação permite que os campos sejam adicionados, o que aumenta o torque e fornece velocidade dentro de uma faixa de variação.

No motor composto diferencial, a ligação é subtrativa, ou seja, os campos interagem e se comportam com maior controle do torque com uma velocidade constante.



**Fique ligado!**

Os motores compostos são empregados em prensas e máquinas de estamperia, por exemplo.

Agora que você já conhece as características dos motores de corrente contínua, analise as suas vantagens e desvantagens no Quadro 2.

## Quadro 2 – Vantagens e desvantagens do motor de corrente contínua

| Motor de corrente contínua  |  |
|---|--|
| Vantagens   | Desvantagens   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite o controle simples de velocidade.</li> <li>• Pode funcionar tanto como motor quanto como gerador.</li> <li>• O motor de CC série apresenta elevado torque de partida, próprio para cargas de elevada inércia ou sistemas de tração.</li> <li>• O motor de CC de campo paralelo apresenta característica de velocidade constante sob variação de carga, próprio para máquinas industriais de usinagem.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• É mais caro e volumoso que o motor de indução.</li> <li>• Requer manutenção freqüente nas escovas e comutador.</li> <li>• O reparo é demorado e oneroso.</li> <li>• É ruidoso e, devido à comutação, produz faiscamento e interferência eletromagnética.</li> <li>• O motor de CC série dispara sem carga ou com cargas leves; portanto não pode ser acoplado por meio de polias e correias.</li> <li>• O motor de campo paralelo dispara na ausência de excitação do campo.</li> <li>• Necessita de alimentação em corrente contínua.</li> </ul> |

### Voltando ao desafio

Tanto o motor de corrente contínua campo série quanto o motor em corrente contínua de excitação independente são indicados para a pequena laminadora, encomendada pela universidade. Essa escolha deve-se ao fato de que esses dois motores podem partir a plena carga e apresentam controle de velocidade constante.

### Resumindo

O motor CC é utilizado principalmente devido à precisão no controle de velocidade. Por seu custo elevado, seu uso é restrito a casos especiais em que as exigências de aplicação compensam o alto custo de instalação.

O quadro a seguir resume informações sobre os diversos tipos de motores CC com suas características de conjugado de partida, velocidade e aplicação.

**Quadro 3 – Motores de corrente contínua**

| Tipo                 | Conjugado de partida | Velocidade                  | Aplicação                                  |
|----------------------|----------------------|-----------------------------|--|
| Ímã permanente       | Elevado              | Constante                   | Brinquedos<br>Automóveis                   |
| Excitação separada   | Fraco                | Constante                   | Radar                                      |
| Campo série          | Elevado              | Variável (dispara em vazio) | Aparelhos elevatórios<br>Tração mecânica   |
| Campo paralelo       | Fraco                | Constante                   | Máquinas-ferramenta                        |
| Composto adicional   | Elevado              | Pouco variável              | Aparelhos elevatórios                      |
| Composto diferencial | Fraco                | Constante                   | Máquinas-ferramenta<br>Máquinas de tecidos |



### Fique ligado!

A tendência atual é a substituição dos motores CC por CA (corrente alternada) de indução trifásico acionado através de inversor de frequência com significativa vantagem de custo.

### Aprenda mais

Para ter mais informações sobre estes motores, consulte catálogos de fabricantes. Ou então pesquise na Internet por meio de ferramentas de busca.

Digite “*motores de corrente contínua*” e leia as principais dicas contidas em sites de fabricantes ou outros.

Não deixe de consultar, também, as referências bibliográficas deste material.



## Capítulo 2

---

# MOTORES PARA APLICAÇÕES ESPECIAIS

### Iniciando nossa conversa

No capítulo anterior, foram apresentados os motores acionados por corrente contínua. Como foi visto, são motores caros e que são empregados na realização de trabalhos em que é necessário um bom torque de partida, com um bom controle de velocidade. Aprendemos, também, que há diferentes tipos de motores de CC (corrente contínua) para diferentes tipos de aplicações.

Quem leu o capítulo anterior com bastante atenção deve ter percebido que, mesmo apresentando configurações diferentes, o motor de CC não consegue atender a todas as necessidades de todos os tipos diferentes das máquinas e equipamentos que facilitam a vida moderna.

Assim, neste capítulo, serão apresentados motores para usos bem específicos como o motor de uma impressora, por exemplo, que necessita ter precisão em seus movimentos: puxar a folha de papel, fazê-la movimentar-se por um espaço pequeno e colocá-la na bandeja, sem que saia voando pela sala. Ou, ainda, o motor de um eletrodoméstico que deve reunir força, velocidade, pequeno peso e menor custo, sem que seu desempenho seja prejudicado por isso.

Esses motores muito usados em nosso dia-a-dia serão apresentados neste capítulo: o motor universal e o motor de passo.

## Objetivos

O estudo dos temas apresentados neste capítulo tem como objetivos:

- Identificar diferentes tipos de motores elétricos com funções especiais;
- Conhecer as características do motor universal e do motor de passo;
- Identificar as vantagens e desvantagens do motor universal e do motor de passo.

## Um desafio para você

Um radioamador tem uma antena direcional para seu equipamento de rádio. Para ampliar a área coberta por seu equipamento, ele deseja adquirir uma nova antena que tenha a capacidade de posicionar-se de forma precisa, conforme a necessidade do operador do rádio. Esse tipo de antena já existe disponível no mercado.

Estude este capítulo com atenção e responda: que tipo de motor aciona essa antena?

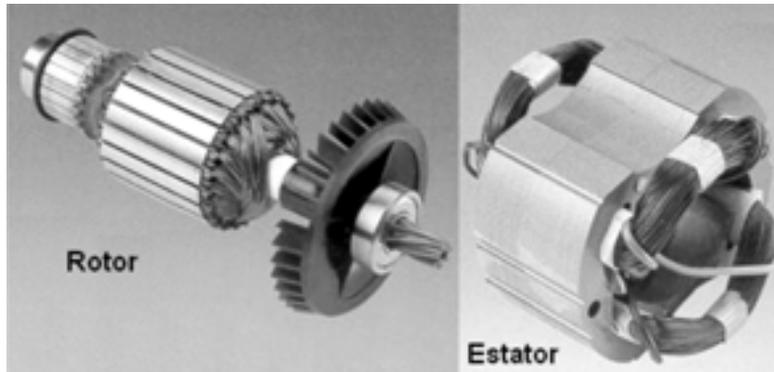
## Continuando nossa conversa

### Motor universal

O motor universal é um motor elétrico de pequenas dimensões, projetado para ser utilizado em aparelhos portáteis ou de uso doméstico. Um motor com estas finalidades tem seu esquema elétrico adaptado para funcionar com qualquer tipo de tensão disponível.

A Figura 11 mostra o rotor (parte que gira) e o estator (parte fixa) de um motor universal.

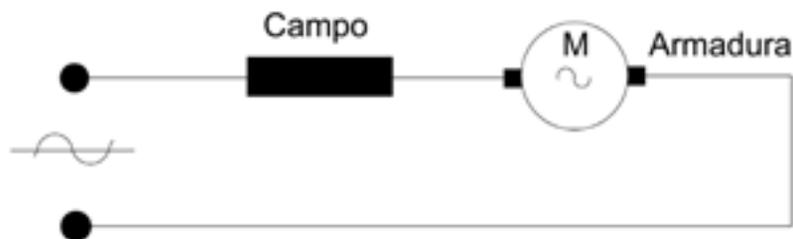
Figura 11 – Estator e rotor do motor universal



O motor universal é o único motor monofásico cujas bobinas do estator são ligadas eletricamente ao rotor por meio de dois contatos deslizantes (escovas). Esses dois contatos, por sua vez, ligam em série o estator e o rotor.

Vamos analisar um exemplo. Um motor em série de pequena potência, com algumas modificações no seu circuito interno, ou seja, um motor cujos enrolamentos de campo e de armadura estão conectados em série, funcionará bem tanto em CC quanto em CA (corrente alternada). Observe o esquema da Figura 12.

Figura 12 – Representação em esquema do motor universal



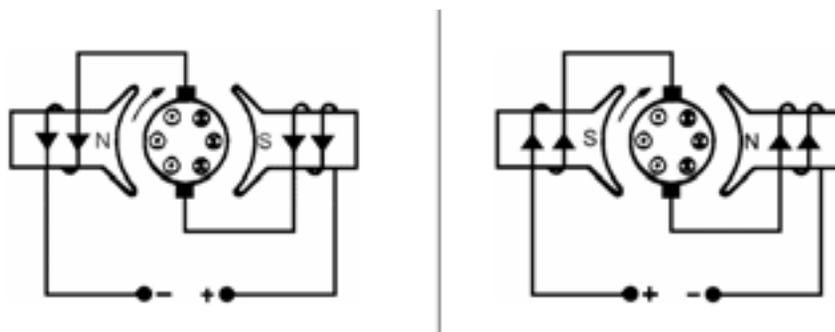
O motor assim obtido é um motor universal. O bobinado da parte fixa chama-se *bobinado de campo*. O bobinado da parte giratória chama-se *bobinado da armadura* ou *induzido*.

Alguns cuidados terão que ser tomados na bobinagem. É necessário que o bobinado de campo seja executado sobre um núcleo formado por um pacote de placas de silício. Estas placas têm a finalidade de cortar o caminho das correntes parasitas, ou seja, as correntes elétricas que circulam no ferro, causadas pela variação do campo magnético.

Um motor universal de potência mais elevada pode ser obtido se forem feitas modificações no projeto do motor, para que ele tenha bom desempenho com CC e com CA.

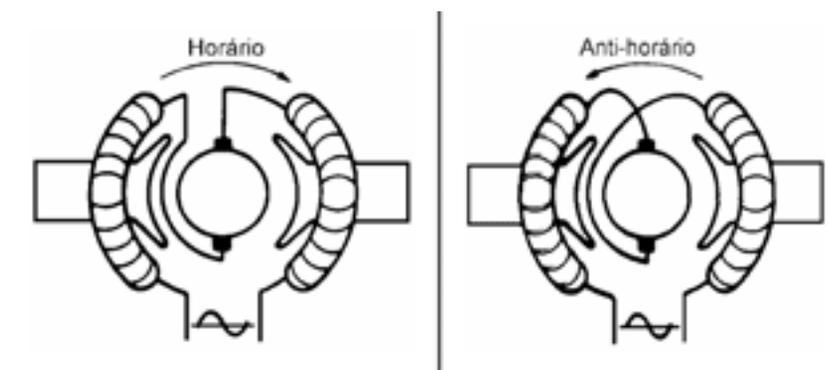
As Figuras 13 e 14 representam a aplicação de corrente alternada no motor universal. Nesse caso, a polaridade se inverte a cada ciclo da corrente alternada.

**Figura 13 – Mudança da polaridade na alimentação do motor universal**



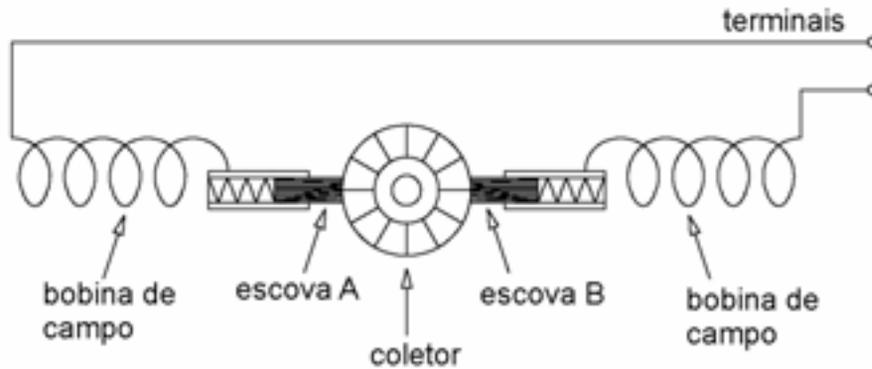
Observe que quando se inverte a polaridade da fonte, invertem-se também a polaridade do campo e o sentido das correntes das armaduras. As figuras representam os dois meio-ciclos da CA ou, ainda, a inversão de polaridade de uma fonte de CC. Em qualquer caso, o torque produzido terá sempre o mesmo sentido de rotação, mas há motores em que a reversão da rotação é necessária. Nestes casos, inverte-se o sentido da corrente do induzido. Veja as Figuras 14 e 15.

**Figura 14 – Mudança no sentido de rotação do motor universal alimentado por CA**



A inversão do sentido do movimento de rotação é obtida, invertendo-se apenas as ligações das escovas. A representação esquemática a seguir ilustra essa inversão. Observe que a bobina ligada à escova A deverá ser ligada à escova B e vice-versa.

Figura 15 – Representação do motor universal



### Características de funcionamento do motor universal

O motor universal apresenta algumas características quanto à velocidade, frequência de tensão, potência e aplicação que são apresentadas a seguir.

- **Velocidade:** como todos os motores em série, o motor universal também está sujeito a uma velocidade a vazio (sem carga) excessivamente alta. Para evitar que esta velocidade seja atingida, monta-se dentro das carcaças um conjunto de engrenagens que produz um torque resistente (opondo a rotação). Este torque evita a alta rotação em vazio e o alto valor do torque do motor em baixa velocidade.

Atualmente, controla-se a velocidade instalando-se um circuito eletrônico em série com o bobinado do motor. Utiliza-se, também, uma chave para a inversão do sentido de rotação.

- **Frequência e tensão:** o motor universal é projetado para funcionar com valores de tensões variando de 250 V (volt) até 1,5 V. Os valores das frequências comerciais correspondentes variam de 60 Hz até a frequência zero. À frequência zero corresponde a uma corrente contínua.

- **Potência e aplicação:** o motor universal comumente apresenta uma potência aproximada de 3/4 cv (cavalo vapor). Este valor de potência permite que seja utilizado em máquinas-ferramentas portáteis e eletrodomésticos. Incluem-se neste caso, lixadeiras, furadeiras, aspiradores de pó, liquidificadores e enceradeiras. Este valor da potência pode ser aumentado, introduzindo-se algumas mudanças no projeto do motor. Os motores universais com potências bem menores, na faixa de 1/20 cv, são aplicados em barbeadores, secadores de cabelo ou máquinas de costura.

Os motores universais, em plena carga, chegam a atingir mais de 10.000 rpm (rotações por minuto), porém, não há perigo de o motor disparar porque ele estará sempre ligado diretamente à carga. É o tipo de motor de CA mais empregado.

Os motores universais apresentam conjugado de partida elevado e tendência a disparar, mas permitem variar a velocidade quando o valor da tensão de alimentação varia. Sua potência não ultrapassa a 500 W (*watt*) ou 0,75 cv e permite velocidade de 1.500 a 15.000 rpm.

### **Funcionamento do motor universal**

A construção e o princípio de funcionamento do motor universal são iguais ao do motor em série de CC: quando o motor universal é alimentado por corrente alternada, a variação do sentido da corrente provoca variação no campo, tanto do rotor quanto do estator. Dessa forma, o conjugado continua a girar no mesmo sentido inicial, não havendo inversão do sentido da rotação.

Agora que você já conhece as características do motor universal, analise as suas vantagens e desvantagens.

**Quadro 4 – Vantagens e desvantagens do motor universal**

| Motor universal  |   |
|--|---|
| Vantagens  | Desvantagens  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo custo de fabricação quando produzido em grandes quantidades.</li> <li>• Controle da velocidade de acordo com a necessidade da aplicação.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado nível de ruído, tanto audível quando eletromagnético, que produz interferência em circuitos eletrônicos.</li> <li>• Pequena vida útil (200 a 500 h) devido ao desgaste de escova e comutador.</li> <li>• Normalmente são constituídos para regime intermitente ou esporádico (furadeira, liquidificador, batedeira), por isso não suportam trabalho em regime contínuo.</li> </ul> |

**Motor de passo (*step motor*)**

O motor de passo é um motor elétrico usado quando algo tem que ser posicionado com precisão, ou girado em um ângulo exato. Como o próprio nome diz, o motor de passo movimenta-se em passo, ou seja, permite controlar sua rotação em pequenos ângulos. Seu eixo gira em golpes que são controlados pelo circuito eletrônico conectado a sua entrada.

Normalmente, os motores de passo possuem enrolamentos que, na sua forma mais simples, constituem-se de quatro bobinas dispostas no estator em ângulos de 90°, uma em relação à outra.

O rotor é uma pequena peça de material ferromagnético que se constitui num ímã.

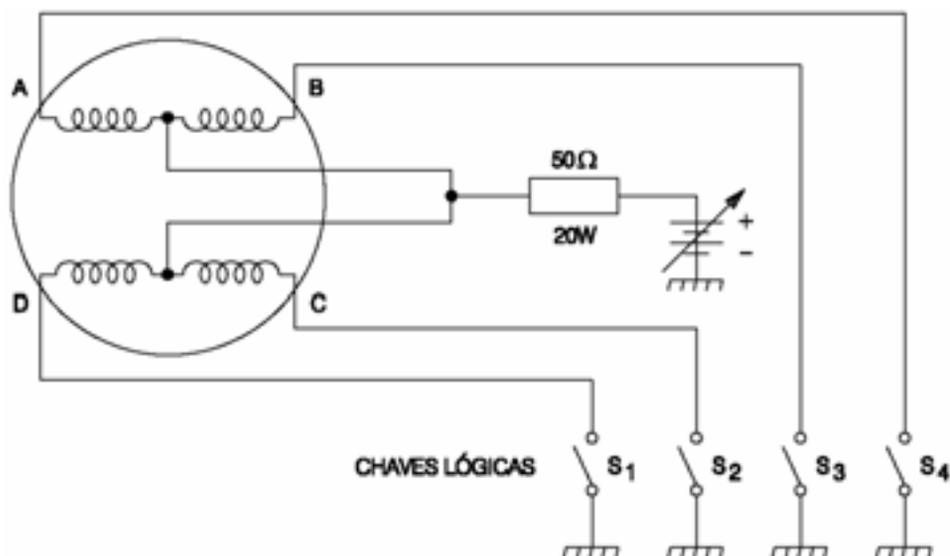
O motor de passo permite que seu eixo sofra deslocamentos precisos sem que seja necessária uma realimentação externa feita por algum dispositivo a ele acoplado. Isso caracteriza um sistema aberto.

Essa característica de funcionamento em malha aberta é uma das mais importantes, pois permite a rotação e a parada em pontos pré-determinados.

Se, por exemplo, é necessário que o eixo gire meia volta de 180°, basta ajustar a seqüência de abertura e fechamento das chaves lógicas para obter o deslocamento com precisão.

Observe a Figura 16.

Figura 16 – Representação do circuito elétrico do motor de passo



Para que isso ocorra, o motor possui uma quantidade fixa de pólos magnéticos que determinam o número de passos por giro do motor. Os motores mais comuns possuem entre 2 e 72 passos.

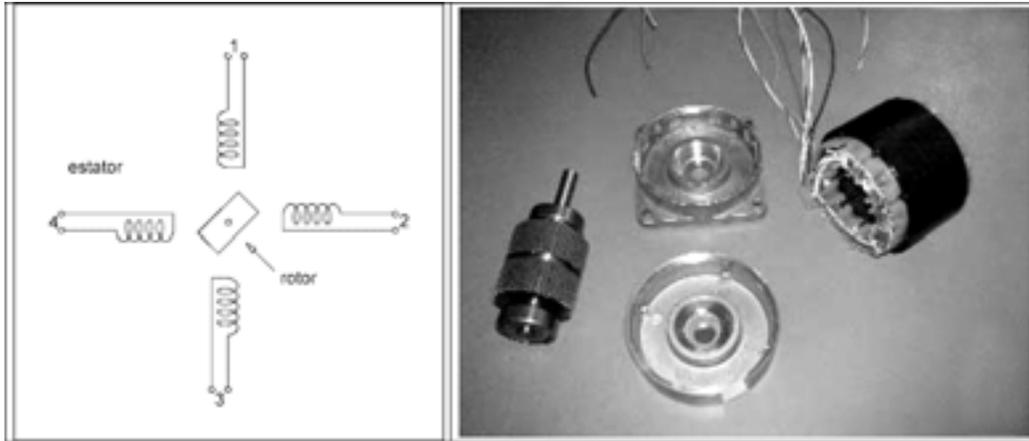


### Atenção!

As chaves lógicas, representadas na Figura 16, fazem parte de um circuito eletrônico que comanda o motor externamente.

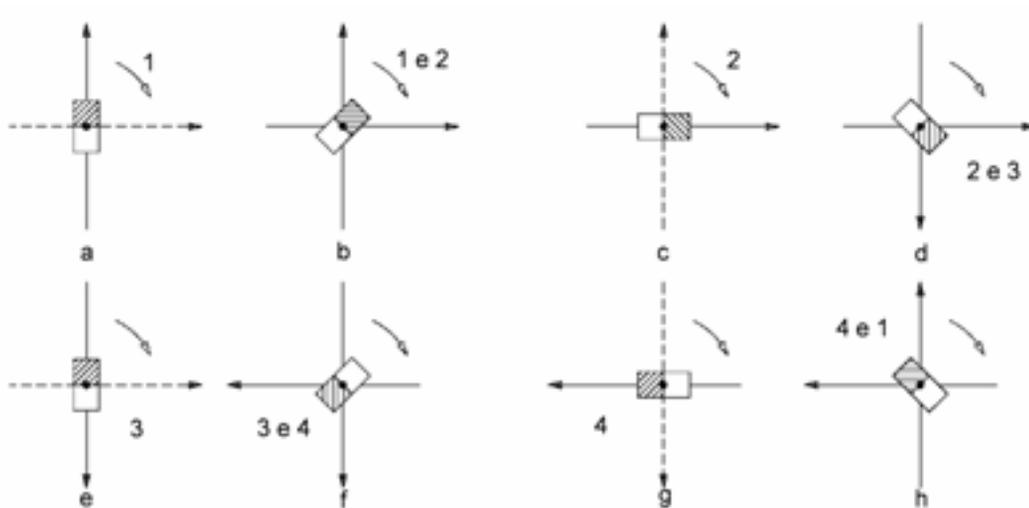
As Figuras 17 e 18 mostram um motor de passo de pequenas dimensões, que apresenta como característica um passo de 7,5. Isso significa que, para que seu eixo dê uma volta completa, são necessários 48 passos (ou deslocamentos).

Figura 17 – Representação das bobinas e do rotor do motor de passo



Na Figura 18 são mostradas as representações esquemáticas do princípio de funcionamento de um motor de passo de duas fases, onde é possível observar a posição do rotor (composto por um ímã permanente) que irá girar dependendo da fase alimentada e do sentido da corrente de alimentação.

Figura 18 – Posições do rotor em função da alimentação das bobinas



### Aplicações dos motores de passo

Os motores de passo têm aplicações restritas a situações em que se necessita de posicionamento preciso, como em impressoras, robôs e uma vasta gama de aplicações em sistemas de automação.

Agora que você já conhece as características do motor de passo, analise as suas vantagens e desvantagens.

#### Quadro 5 – Vantagens e desvantagens do motor de passo

| Motor de passo  |  |
|---|--|
| Vantagens   | Desvantagens   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Precisão.</li> <li>• Ausência de realimentação.</li> <li>• Robustez.</li> <li>• Longa vida útil.</li> <li>• Ausência de manutenção.</li> <li>• Mais economia, quando comparados aos servo-motores de corrente contínua.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessita de um sistema de alimentação eletrônico dedicado (drive).</li> <li>• Limita-se a pequenas potências.</li> <li>• A disponibilidade de modelos no mercado é restrita.</li> <li>• Tem limitações quanto à velocidade e ao momento de inércia da carga acionada o que, acima de determinados limites, ocasiona erros de passo.</li> </ul> |

### Voltando ao desafio

O motor adequado que tenha a capacidade de posicionar a antena de forma precisa, conforme a necessidade do operador do rádio é o **motor de passo** que, como você viu, permite controlar a rotação em pequenos ângulos, ou passos.

### Resumindo

Neste capítulo, você aprendeu que os motores de aplicações especiais são muito mais comuns do que se pensa:

- o motor universal é robusto, compacto e tem baixo custo, o que o torna ideal para aplicações em aparelhos eletrodomésticos em geral;
- o motor de passo, pela precisão no posicionamento, pode estar presente tanto em impressoras quanto em robôs industriais.

## Aprenda mais

Para ter mais informações sobre estes motores, consulte catálogos de fabricantes. Ou, então, pesquise na Internet por meio de ferramentas de busca.

Digite “*motores elétricos especiais*” e leia as principais dicas contidas em sites de fabricantes ou outros.

Consulte, também, as referências bibliográficas deste material.



## Capítulo 3

---

# MOTORES ACIONADOS POR CORRENTE ALTERNADA

### Iniciando nossa conversa

Neste capítulo, você terá uma visão panorâmica dos motores acionados por corrente alternada. Por que esse conhecimento é tão importante, principalmente se considerarmos a obtenção da maior eficiência com o menor gasto de energia?

Em primeiro lugar, porque, em geral, a energia elétrica fornecida pelas empresas de eletricidade é de corrente alternada. Assim, usar máquinas de corrente alternada é uma opção economicamente mais viável.

Em segundo lugar, porque o crescente custo e escassez da energia elétrica é uma preocupação que está em todas as discussões sobre mudança de clima e aquecimento global. Devido ao efeito estufa, o uso racional das fontes de energia é uma necessidade cada vez maior no século 21 e, já que cerca de 60% a 70% da energia elétrica produzida no mundo são utilizados para acionar os motores elétricos, a correta escolha do motor elétrico é uma excelente maneira de reduzir custos operacionais. Todavia, é preciso lembrar que até mesmo um motor de alta eficiência poderá trazer custos maiores se a sua escolha não for feita dentro de critérios técnicos.

Para fazer a escolha correta, é preciso conhecer bem as características de cada tipo de motor de corrente alternada. E isso você vai fazer estudando este capítulo. Você verá que, quando se busca a eficiência energética motriz, dentre todos os motores elétricos disponíveis, o motor assíncrono tem um papel muito importante. Sua participação como elemento gerador de força de trabalho em indústria, uso rural ou doméstico é vital.

Assim, neste capítulo, você estudará as características de cada tipo de motor de corrente alternada, a fim de poder avaliar se as escolhas de motores da empresa onde você trabalha trarão a melhor relação custo-benefício.

## Objetivos

Ao estudar este capítulo temos como objetivos:

- Identificar diferentes tipos de motores de corrente alternada;
- Conhecer as características dos diversos tipos de motores de corrente alternada;
- Identificar as vantagens da utilização de motores de indução assíncronos em relação aos outros tipos de motores quando se usa o critério de eficiência energética.

## Um desafio para você

Na crise energética do Brasil, em 2001, houve necessidade de desenvolver, um esforço nacional no sentido de poupar energia. Uma antiga empresa de confecção viu-se diante da dificuldade de diminuir seu consumo de energia. Nessa ocasião um estudo foi feito e várias intervenções foram realizadas: otimizou-se o sistema de iluminação bem como o de ventilação dos ambientes. Os motores, todos monofásicos, foram substituídos por motores trifásicos. O conjunto dessas medidas resultou na economia desejada. Embora a substituição dos motores tenha sido apenas uma parte desse esforço, o resultado foi compensador.

Leia esta lição e procure responder à seguinte questão:

Por que a troca de motores ajudou na economia de energia?

## Continuando nossa conversa

### Motores de corrente alternada (CA)

Os motores acionados por corrente alternada (ou motores de CA) são menos complexos que os motores de CC (corrente contínua). Além disso, a inexistência de contatos móveis em sua estrutura garante seu funcionamento por um grande período, sem a necessidade de manutenção.

A velocidade dos motores de CA é determinada pela frequência da fonte de alimentação, o que resulta em excelentes condições para seu funcionamento a velocidades constantes.

Os motores de CA, como são conhecidos, podem ser classificados em dois grandes grupos, dependendo do critério usado em sua classificação. Quando essa classificação leva em conta se a velocidade de rotação do motor está sincronizada ou não com a frequência da tensão elétrica fornecida para fazer o motor funcionar, eles podem ser:

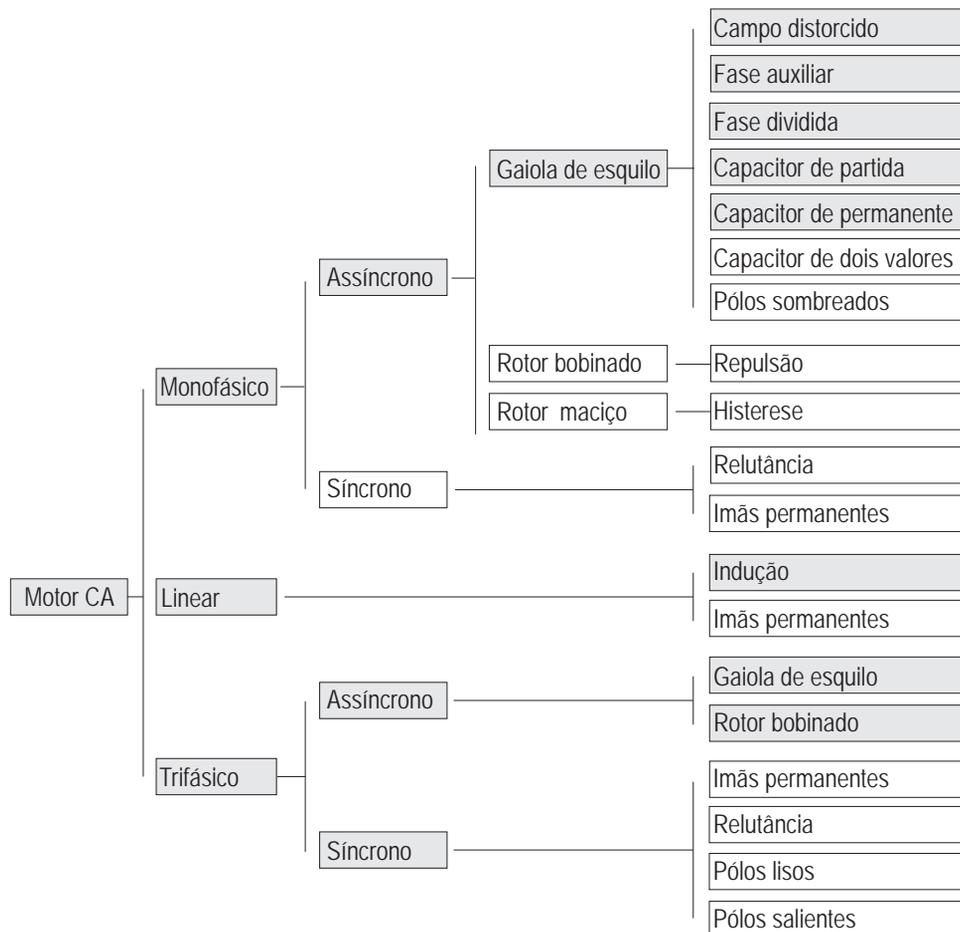
- motores de CA síncronos;
- motores de CA assíncronos (ou de indução).

Se a classificação considera a tensão elétrica fornecida pela rede de distribuição, os motores elétricos podem ser:

- motor de CA monofásico;
- motor de CA trifásico.

O Quadro 6 mostra a classificação dos motores de CA de acordo com esses critérios.

**Quadro 6 – Classificação de motores de corrente alternada**



Observe que um motor monofásico pode ser síncrono ou assíncrono. Da mesma forma, um mesmo motor trifásico pode ser síncrono ou assíncrono. Nem todas essas configurações são comercializadas, porque têm pouca relação custo-benefício. Por isso, neste capítulo, abordaremos em mais detalhes apenas os motores que têm maior aplicação prática.

Os motores trifásicos de CA funcionam sob o mesmo princípio dos motores monofásicos, ou seja, sob a ação de um campo magnético rotativo gerado no estator, provocando com isto uma força magnética no rotor. Esses dois campos magnéticos agem de modo conjugado, obrigando o rotor a girar.

Vamos, então, aprender a diferença entre um motor síncrono e um assíncrono.

## Motor ou gerador síncrono

Trata-se de uma importante máquina elétrica rotativa que pode ser usada como gerador, quando converte energia mecânica em energia elétrica, ou como motor, quando transforma energia elétrica em energia mecânica.

O motor síncrono é o motor elétrico cuja velocidade de rotação é sincronizada com a frequência da sua alimentação.

O motor síncrono pode ser usado para geração de potência reativa, para corrigir o fator de potência gerado por outros motores de indução. Assim, havendo a possibilidade, é frequentemente preferível a utilização de motores síncronos para a geração de potência reativa de forma controlável, graças a seu alto fator de potência.



### Fique ligado!

É possível usar capacitores para gerar potência reativa.

Os geradores síncronos são usados em todas as usinas geradoras de eletricidade, seja hidrelétrica, seja termoelétrica.

## Componentes

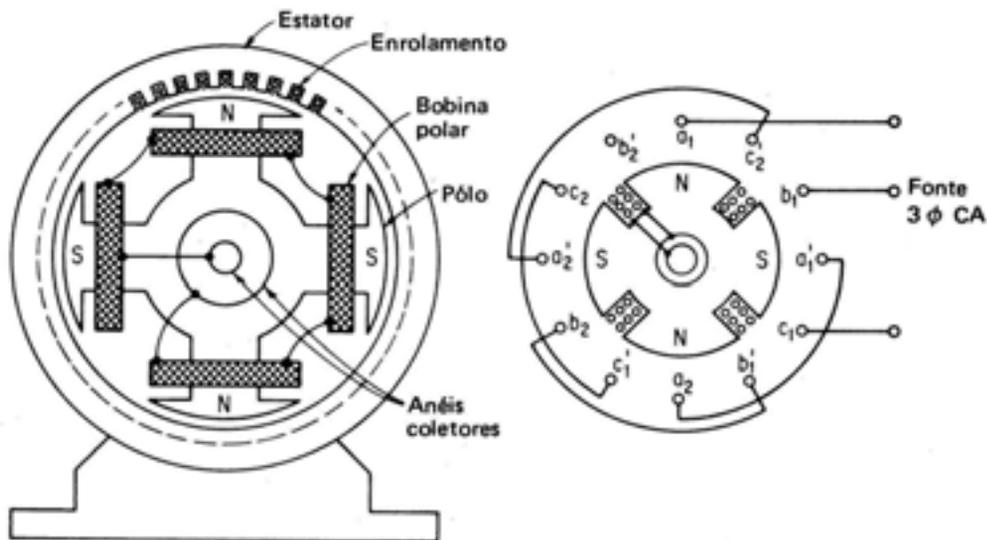
A máquina síncrona é composta pelas seguintes partes:

- estator, onde está montado um conjunto de bobinas alimentadas em CA;
- rotor, que também tem um conjunto de bobinas conectado a pares de anéis alimentados em CC, formando os pólos;
- escovas que deslizam sobre os anéis e que estão fixadas nos porta-escovas, presos no estator.

## Princípio de funcionamento

Na máquina síncrona, como na máquina de CC, o enrolamento de campo é excitado por uma fonte CC. O enrolamento dos pólos (bobina polar), colocado no rotor, é levado a anéis coletores, como se mostra no corte visto na Figura 19.

Figura 19 – Máquina síncrona e a ligação de suas bobinas



Se a bobina do estator é ligada a uma fonte CA, a máquina funcionará como um motor síncrono e o rotor girará na velocidade síncrona, em sincronismo com o campo girante desenvolvido pelo enrolamento do estator e determinado pelo número de pólos e a freqüência da fonte.

## Característica de operação dos motores síncronos

Os motores síncronos têm excitação dupla. A energia elétrica é fornecida tanto ao enrolamento de campo como ao de armadura. Quando isso é feito, o torque é desenvolvido a apenas uma velocidade, que é a velocidade síncrona. Em qualquer outra velocidade, o torque médio é zero.

A velocidade síncrona é a velocidade em que o rotor e o campo de fluxo do rotor estão parados entre si, ou seja, os dois se movimentam em sincronismo.

Para entender isto, considere que o motor síncrono convencional de dois pólos tem uma tensão CC aplicada ao enrolamento de rotor e uma tensão CA trifásica, que é normalmente de 60 Hz, aplicada ao enrolamento do estator. A tensão trifásica produz no estator um campo que gira com uma velocidade de 60 Hz. As correntes CC (ou de frequência zero) no rotor estabelecem um campo de fluxo de dois pólos (como se fosse um ímã) que acompanha o estator quando o rotor está girando, mas quando existe um par de pólos de armadura girando e um par de pólos de rotor estacionário, o motor não apresenta torque. Esta é a razão pela qual um motor síncrono por si só não tem torque de partida. Por isso, para a partida, esse motor necessita de um motor auxiliar.

Agora que você já conhece as características do motor síncrono, analise as suas vantagens e desvantagens.

### Quadro 7 – Vantagens e desvantagens do motor síncrono

| Motor síncrono   |  |
|--|--|
| Vantagens  | Desvantagens   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil controle do fator de potência por meio da excitação de campo, podendo operar com fator de potência capacitivo, unitário ou indutivo. Assim, além da potência mecânica disponibilizada no eixo, o motor síncrono pode auxiliar na correção do fator de potência.</li> <li>• Mais econômico em elevadas potências e baixas velocidades.</li> <li>• Bom rendimento, mesmo trabalhando com carga parcial.</li> <li>• Menor peso (do que o seu equivalente de indução) para baixas velocidades.</li> <li>• Rotação rigorosamente constante com a frequência de alimentação.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de aquisição.</li> <li>• Fabricação somente sob encomenda.</li> <li>• Cuidados especiais devem ser dedicados ao enrolamento de campo na partida e na sincronização com a rede.</li> <li>• O enrolamento de campo no rotor necessita de corrente contínua.</li> <li>• Na maioria das vezes, possui elevada inércia, o que dificulta sua colocação em operação.</li> <li>• Exige mais manutenção do que os motores de indução.</li> <li>• Utilizado somente para grandes potências.</li> </ul> |

## Motores monofásicos síncronos

Os motores de CA monofásicos assíncronos são de dois tipos:

- de relutância;
- de ímãs permanentes.

Esses motores não serão comentados neste material porque a relação custo-benefício de sua aplicação não compensa o seu estudo.

A seguir, serão explorados os motores assíncronos.

## Motores assíncronos

O motor assíncrono (ou motor de indução) é um motor que gira a uma velocidade muito próxima à velocidade síncrona, ou seja, muito próximo ao sincronismo com a frequência da rede de alimentação em corrente alternada no Brasil, que é de 60 Hz.

Os motores assíncronos podem ser monofásicos ou trifásicos.

## Motores monofásicos assíncronos

Como, muitas vezes, não há disponibilidade de fornecimento de tensão trifásica, como, por exemplo, no meio rural, é impossível usar motores de indução trifásicos. Por este motivo, foi desenvolvido um motor com características semelhantes às do trifásico, mas que funciona usando alimentação monofásica.

Para que o motor monofásico funcione, ele necessita de dispositivos especiais, tais como capacitores, anéis (braçadeira) em curto-circuito, bobinas auxiliares e chaves centrífugas, que permitem que ele gire no sentido necessário. A presença de capacitores ou outros dispositivos usados na sua partida depende fundamentalmente do modelo e da necessidade de trabalho.

## Componentes do motor monofásico assíncrono

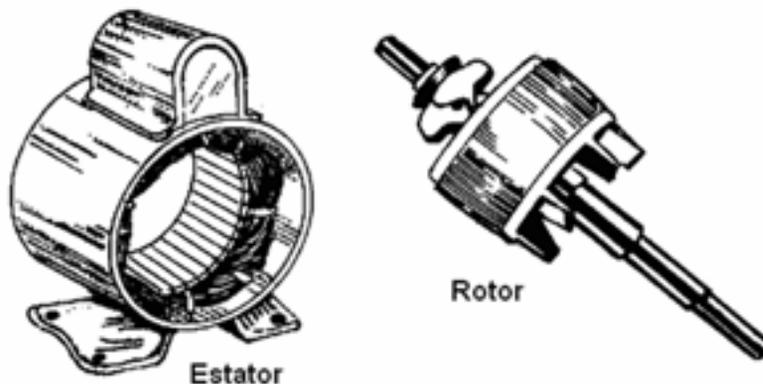
O motor monofásico é constituído de:

- estator, onde estão localizadas as bobinas de campo que variam sua disposição, forma e ligação conforme o tipo do motor;

- rotor em gaiola de esquilo, que é a parte móvel, é constituída pelo induzido.

A Figura 20 mostra as partes componentes desse tipo de motor.

**Figura 20 – Estator e rotor de motores monofásicos**



### **Princípio de funcionamento do motor monofásico assíncrono**

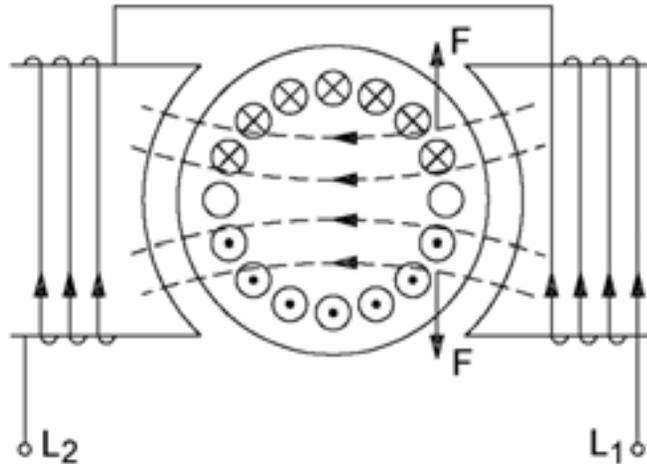
Os motores monofásicos de indução possuem um único enrolamento no estator. Esse enrolamento gera um campo magnético que se alterna com as alternâncias da corrente. Neste caso, o movimento provocado não é rotativo.

Quando o rotor estiver parado, o campo magnético do estator, ao se expandir e se contrair, induz correntes no rotor.

O campo gerado no rotor é de polaridade oposta à do estator. Assim, a oposição dos campos exerce um conjugado nas partes superior e inferior do rotor, o que tenderia a girá-lo 180° de sua posição original. Como o conjugado é igual em ambas as direções, pois as forças são exercidas pelo centro do rotor e em sentidos contrários, o rotor continua parado.

Veja representação esquemática deste fenômeno na Figura 21.

Figura 21 – Rotor cortado pelo campo no motor monofásico



Se o rotor estiver girando, ele continuará o giro na direção inicial, já que o conjunto será ajudado pela inércia do rotor e pela indução de seu campo magnético. Como o rotor está girando, a defasagem entre os campos magnéticos do rotor e do estator não será maior que  $180^\circ$ .

Para dar o giro inicial do rotor, são usados comumente dois tipos de partida:

- de campo distorcido, que caracteriza o motor de campo distorcido;
- de fase auxiliar com capacitor, que distingue o motor de fase auxiliar.

### **Motor de campo distorcido ou pólos fendidos (*shaded pole*)**

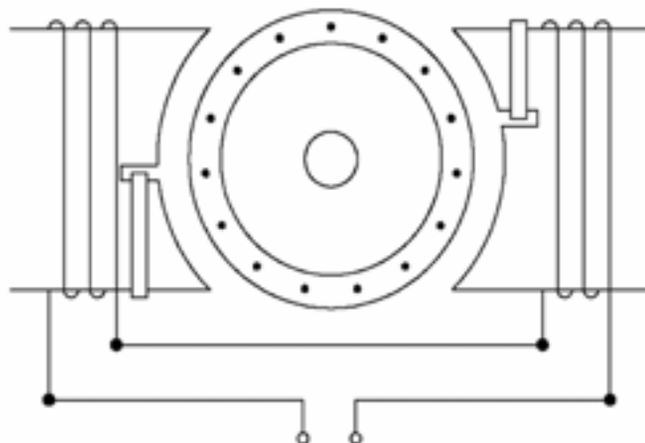
O motor de campo distorcido constitui-se por um rotor do tipo gaiola de esquilo e por um estator semelhante ao do motor universal. Contudo, no motor de campo distorcido, existe na sapata polar uma ranhura em que fica alojado um anel de cobre ou espira em curto-circuito. Por isso, este motor é conhecido também como *motor de anel* ou *de espira em curto-circuito*.

**Figura 22 – Estator com as bobinas o estator e rotor do motor de campo distorcido**



Uma vez que, no motor de campo distorcido, o rotor é do tipo gaiola de esquilo, todas as ligações encontram-se no estator. Veja representação esquemática dessas ligações na Figura 23.

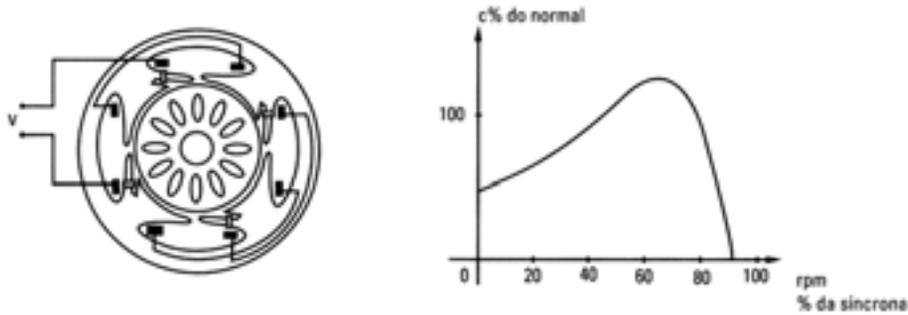
**Figura 23 – Motor de campo distorcido**



O motor de campo distorcido se destaca, entre os motores de indução monofásicos, por seu processo de partida simples, confiável e econômico, sem capacitor ou chaves de partida.

Construtivamente, sua forma mais comum é a de pólos salientes, ilustrada esquematicamente na Figura 24.

Figura 24 – Motor de pólos salientes, característica conjugado x velocidade



Observe que uma parte de cada pólo (em geral, de 25% a 35%) é abraçada por uma espira de cobre em curto-circuito, chamada *braçadeira de curto-circuito ou shading*.

A corrente induzida nesta espira faz com que o fluxo que a atravessa sofra um atraso em relação ao fluxo da parte não abraçada pela espira. O resultado disso é semelhante a um campo girante que se move da direção da parte não abraçada para a parte abraçada do pólo, produzindo conjugado que fará o motor partir e atingir a rotação nominal. Por causa disto, o motor de campo distorcido apresenta um único sentido de rotação.

Quanto ao desempenho, os motores de campo distorcido apresentam baixo conjugado de partida (15% a 50% do nominal), baixo rendimento (10% a 30%) e baixo fator de potência (25% a 50%). Por isso são fabricados somente para pequenas potências, que vão de alguns milésimos de cv (cavalo vapor) até o limite máximo de 1/4 cv.



### Fique ligado!

Pela sua simplicidade, robustez e baixo custo, os motores de campo distorcido são ideais em aplicações, tais como: movimentação de ar, em ventiladores, exaustores, purificadores de ambiente, unidades de refrigeração, secadores de roupas e de cabelo, pequenas bombas e compressores.

## Motores monofásicos de fase auxiliar

O motor monofásico de fase auxiliar é o de mais larga aplicação. Sua construção mecânica é igual à dos motores trifásicos de indução. Assim, no estator há dois enrolamentos: um de fio mais grosso e com grande número de espiras (enrolamento principal ou de trabalho), e outro de fio mais fino e com poucas espiras (enrolamento auxiliar ou de partida).

O enrolamento principal fica ligado durante todo o tempo de funcionamento do motor, mas o enrolamento auxiliar só atua durante a partida. Esse enrolamento é desligado ao ser acionado um dispositivo automático localizado uma parte na tampa do motor e outra parte no rotor.

Geralmente, um capacitor é ligado em série com o enrolamento auxiliar, melhorando desse modo o conjugado de partida do motor.

Existem basicamente quatro tipos de motores de indução monofásicos com rotor de gaiola (fase auxiliar), classificados de acordo com o arranjo auxiliar de partida empregado:

- motor de fase dividida (*split-phase*);
- motor com capacitor de partida (*capacitor-start*);
- motor com capacitor permanente (*permanent-split*);
- motor com dois capacitores (*two-value capacitor*).

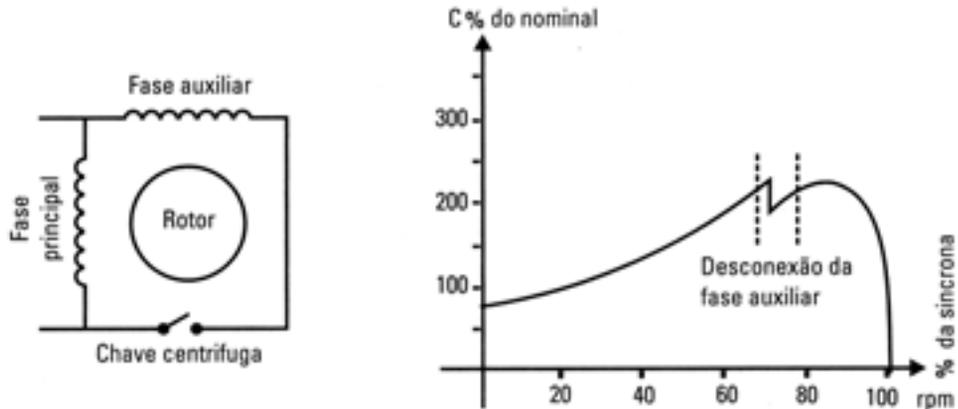
### Motor de fase dividida (*split-phase*)

Este motor possui um enrolamento principal e um auxiliar (para partida). Ambos defasados de 90° elétricos no espaço.

O enrolamento auxiliar cria um deslocamento de fase que produz o conjugado necessário para a rotação inicial e a aceleração. Quando o motor atinge uma rotação predeterminada, o enrolamento auxiliar é desconectado da rede com o uso de uma chave que normalmente é atuada por força centrífuga (chave ou disjuntor centrífugo) ou, em casos específicos, por relé de corrente, chave eletrônica, chave manual ou outros dispositivos especiais.

Veja na Figura 25 a representação esquemática do esquema básico de ligações desse motor com a curva de relação conjugado x velocidade.

**Figura 25 – Esquema básico, característica conjugado x velocidade do motor de fase dividida**



Como o enrolamento auxiliar é dimensionado para atuação somente na partida, não desligá-lo provocará a sua queima.

O ângulo de defasagem que se pode obter entre as correntes do enrolamento principal e do enrolamento auxiliar é pequeno e, por isso, esses motores têm conjugado de partida inferior ou pouco superior ao nominal, o que limita sua aplicação a potências de até 1/3 cv e a cargas que exigem reduzido ou moderado conjugado de partida.



### Fique ligado!

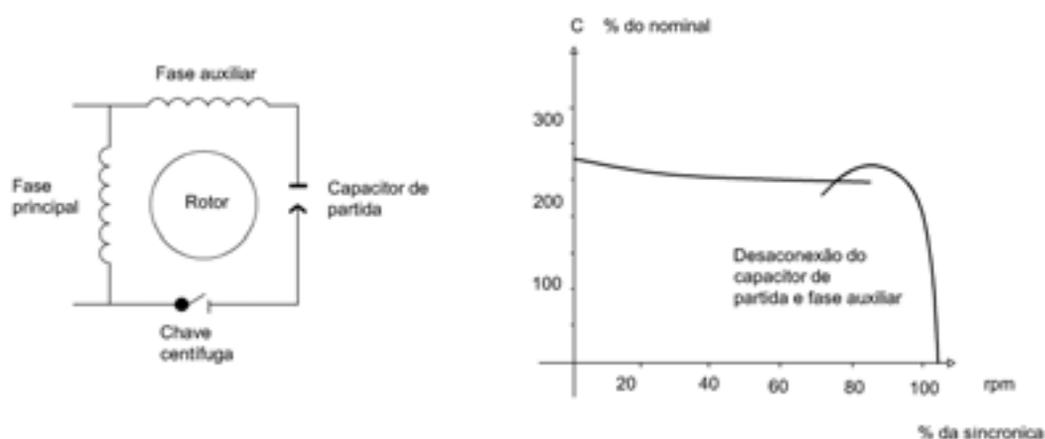
O motor de fase dividida é usado em: ventiladores e exaustores, pequenos polidores, compressores herméticos e bombas centrífugas.

## Motor com capacitor de partida (*capacitor-start*)

É um motor semelhante ao de fase dividida. A principal diferença reside na inclusão de um capacitor (eletrolítico) em série com o enrolamento auxiliar de partida. O capacitor permite maior defasagem entre as correntes do enrolamento principal e do de partida e, com isso, elevado conjugado de partida.

Como no motor de fase dividida, o circuito auxiliar é desconectado quando o motor atinge aproximadamente 80% de sua velocidade de serviço. Depois disso, seu funcionamento é similar ao do motor de fase dividida (veja na Figura 26).

Figura 26 – Esquema básico, característica conjugado x velocidade do motor com capacitor de partida



Devido ao seu elevado conjugado de partida (entre 200% e 350% do conjugado nominal), o motor de capacitor de partida pode ser utilizado em uma grande variedade de aplicações, e é fabricado em potências que vão de 1/4 cv a 15 cv.



### Fique ligado!

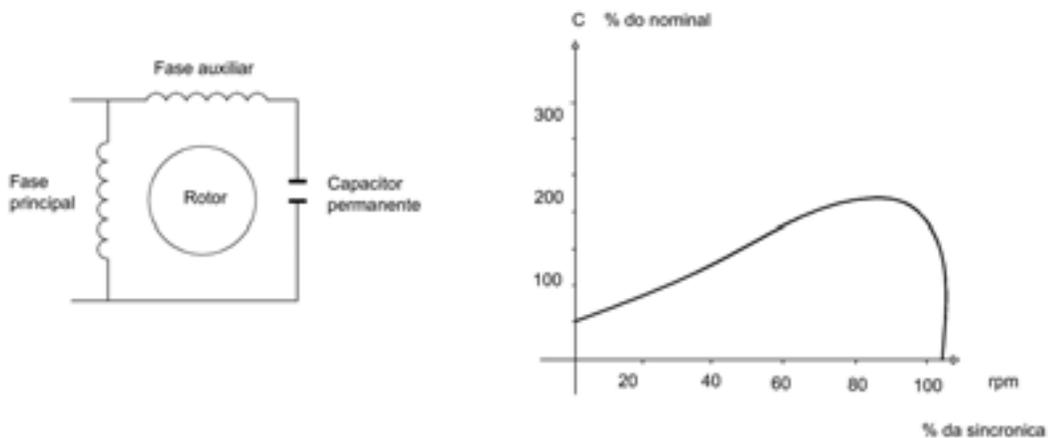
O motor com capacitor de partida é usado em: lavadoras de roupa, ventiladores e exaustores, pequenos esmeris, compressores herméticos e bombas centrífugas.

### **Motor de capacitor permanente (*permanent-split*)**

O motor de capacitor permanente é semelhante ao motor de capacitor de partida, com a diferença de que o circuito auxiliar fica permanentemente ligado ao capacitor eletrostático utilizado.

Observe na Figura 27 a representação esquemática do motor com o capacitor e a curva de relação conjugado x velocidade.

**Figura 27 – Esquema básico, característica conjugado x velocidade do motor com capacitor de permanente**



O funcionamento do motor de capacitor permanente é semelhante ao de um motor bifásico (possui um campo girante e não pulsante), o que lhe confere um funcionamento silencioso, alto rendimento, alto fator de potência e baixa corrente de partida.

Do ponto de vista construtivo, esse motor é menor que os outros de fase auxiliar e isento de manutenção – pois não utiliza contatos e partes móveis, como os motores anteriormente estudados.



## Fique ligado!

O conjugado de partida do motor de capacitor permanente é semelhante ou inferior ao do motor de fase dividida (50% a 100% do conjugado nominal), o que limita sua aplicação a equipamentos que não requerem elevado conjugado na partida, tais como: ventiladores, exaustores, sopradores, bombas centrífugas, esmeris, pequenas serras, furadeiras, máquinas de costura, máquinas de escritório e pulverizadores.

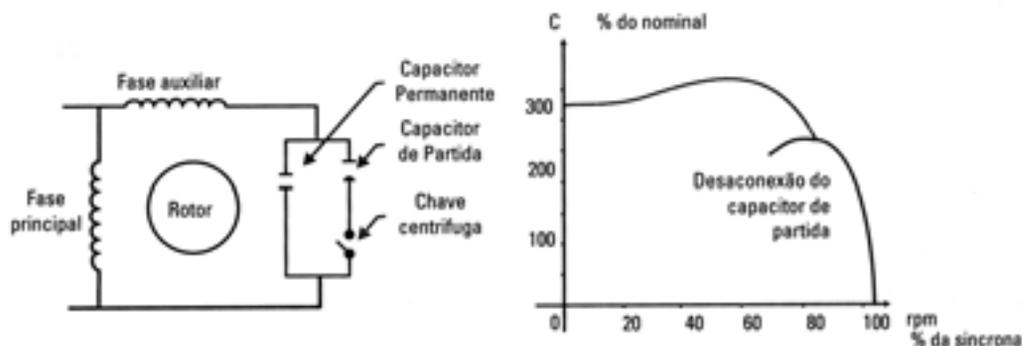
Normalmente, o motor de capacitor permanente é fabricado para potências de 1/50 cv (lê-se um cinqüenta avos de cavalo vapor) a 1,5 cv.

### Motor com dois capacitores (*two-value capacitor*)

O motor com dois capacitores utiliza as vantagens dos dois anteriores: partida como a do motor de capacitor de partida e funcionamento em regime como o do motor de capacitor permanente. Porém, devido ao seu alto custo, só é fabricado em potências superiores a 2 cv.

A ilustração a seguir mostra o esquema básico desse motor e a curva de relação conjugado x velocidade.

Figura 28 – Esquema básico, característica conjugado x velocidade do motor com dois capacitores.



Agora que você já conhece as características do motor monofásico assíncrono, analise as suas vantagens e desvantagens.

**Quadro 8 – Vantagens e desvantagens do motor monofásico assíncrono**

| Motor de indução monofásico  |   |
|--|---|
| Vantagens  | Desvantagens  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo custo de aquisição;</li> <li>• Bom torque na partida;</li> <li>• Velocidade constante.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrente de partida alta;</li> <li>• Maior custo de manutenção por necessitar de dispositivos para partida;</li> <li>• Desequilíbrio nas instalações elétricas (por ser monofásico);</li> <li>• baixo fator de potência quando não bem dimensionado para a carga.</li> </ul> |

**Motor linear**

O motor linear é geralmente derivado do motor de indução trifásico, em que os enrolamentos são planejados, gerando assim um campo magnético de deslocamento de translado linear ao invés do campo girante.



**Fique ligado!**

A aplicação do motor linear é restrita a alguns tipos de máquinas-ferramentas, robótica, e em sistemas de tração elétrica de lançamento de porta-aviões e de trens de alta velocidade.

Veja o motor linear na Figura 29.

**Figura 29 – O motor linear é como se abrissemos um motor de indução**



Agora que você já conhece as características do motor linear, analise as suas vantagens e desvantagens.

**Quadro 9 – Vantagens e desvantagens do motor linear**

| Motor linear  |  |
|---|--|
| Vantagens   | Desvantagens   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bom torque na partida.</li> <li>• Baixo custo de manutenção.</li> <li>• Velocidade constante.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de aquisição.</li> <li>• Necessidade de inversor eletrônico ou outros dispositivos especiais para controle de velocidade.</li> </ul> |

A seguir, serão explorados os motores de indução trifásicos de rotor bobinado.

## **Motor de indução trifásico de rotor bobinado**

O motor assíncrono de indução trifásico de rotor bobinado é um motor destinado a trabalhar em rede de corrente alternada trifásica quando se deseja controle da velocidade. É um motor que permite um arranque vigoroso com uma pequena corrente de partida. Por essa razão, é o motor preferido para potências elevadas, geralmente superiores a 5 cv.

O motor trifásico de rotor bobinado é recomendado nos casos em que necessita de partidas a plena carga, pois não ocasiona intensidade excessiva de corrente na rede.

É também utilizado para realizar trabalhos que exigem variações de velocidade, pois o enrolamento existente no rotor desses motores, ao fazer variar a intensidade da corrente que percorre o induzido, faz variar também a velocidade do motor.

Não é possível conseguir essa variação nos motores de rotor em gaiola de esquilo, porque sua construção não permite ligação de resistores adicionais externos nos seus circuitos.

## Componentes

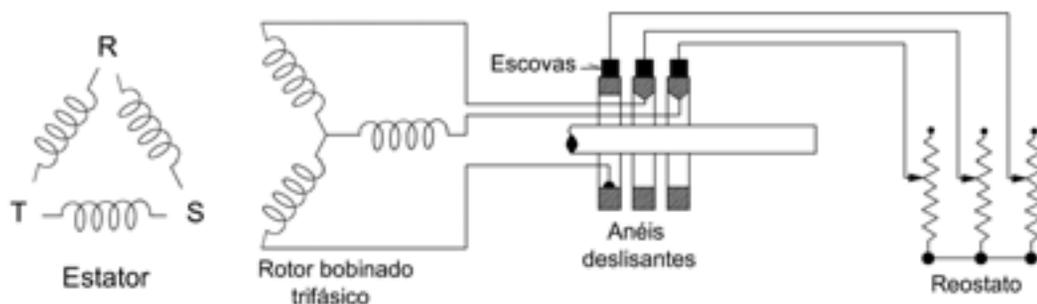
O motor de rotor bobinado é constituído de:

- Estator, que apresenta os mesmos tipos de enrolamentos, ligações e distribuição que os dos motores trifásicos de indução ou síncrono;
- Rotor, no qual está um enrolamento com várias bobinas isoladas, ligadas de modo a formar dois ou três circuitos. Esses circuitos são unidos, de um lado, a um ponto comum e de outro, a três anéis coletores. Sobre estes anéis se apóiam escovas coletoras e, por intermédio dos anéis, é estabelecido o contato elétrico entre o enrolamento do rotor e o reostato externo, chamado reostato de partida.

O reostato de partida é composto de três resistores variáveis, conjugados por meio de uma ponte. Essa ponte liga os reostatos em estrela, em qualquer posição de seu curso.

Confira, na Figura 30, uma ligação típica de um motor trifásico de rotor bobinado e reostato de partida conjugado em estrela.

Figura 30 – Esquema de um motor de indução trifásico de rotor bobinado



## Características do motor trifásico de rotor bobinado

O motor de rotor bobinado, além de proporcionar arranque satisfatório, tem uma corrente de partida de baixa intensidade: é cerca de uma vez e meia o valor da corrente nominal. É bom lembrar que, nos motores de rotor em curto, essa corrente atinge até oito vezes a corrente em plena carga.

Os motores de rotor em curto, porém, são menos econômicos que os outros, devido ao elevado custo de seus enrolamentos e ao sistema de conexão das bobinas do rotor composto por anéis, escovas, porta-escovas, condutores e reostato.

Em pleno regime de marcha, o motor de rotor bobinado apresenta um deslizamento maior que os motores comuns.



### Fique ligado!

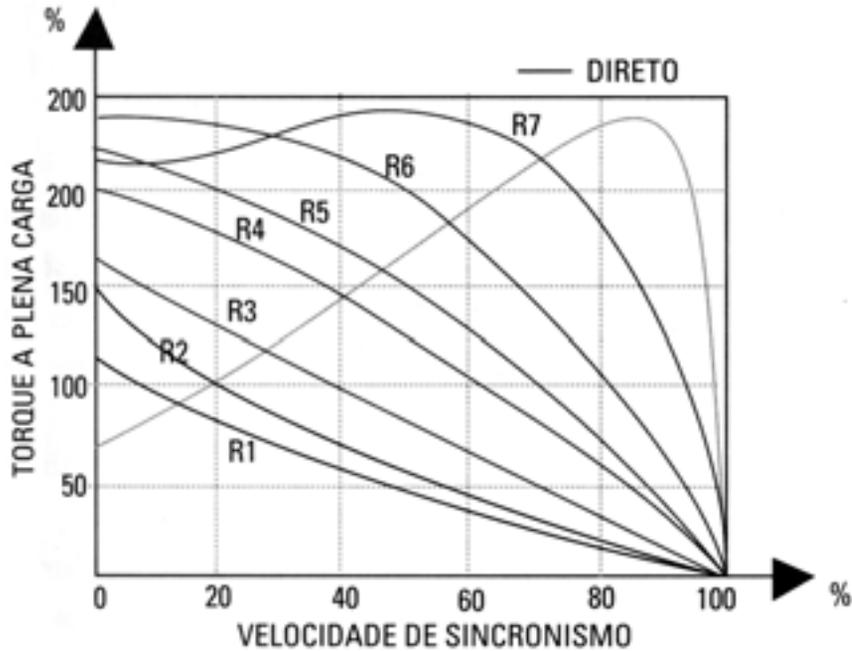
O motor de indução trifásico de rotor bobinado é empregado com eficiência como motor de guindastes, de elevadores-calandras e em todas as condições em que for necessário dar partida sob grandes cargas.

Quando se necessita de motores para funcionar com variações permanentes de velocidade com regulagem mais delicada, usa-se outro tipo de motor trifásico de rotor bobinado. Este motor é reconhecido pelo coletor laminado, semelhante ao das máquinas de corrente contínua.

A regulagem da velocidade e a inversão de marcha são feitas pelo deslocamento de um conjunto de escovas que faz variar a tensão induzida nos enrolamentos do rotor.

As curvas apresentadas no gráfico a seguir, que representam a relação entre o torque a plena carga e a velocidade de sincronismo, exemplificam diversos valores de regulagem do reostato.

Gráfico 1 – Torque a plena carga x velocidade de sincronismo



Observe que, para diversos valores de resistência do reostato, existem diferentes curvas de torque. Como se trata de um motor assíncrono, o torque desaparece quando o motor se aproxima da velocidade síncrona.

A descrição feita aqui é de um tipo genérico de motor de rotor bobinado. Outros processos de ajuste de velocidade, porém, também são usados para se conseguir os mesmos resultados. Por exemplo, o controle feito por circuitos eletrônicos.



### Fique ligado!

Os motores de indução de rotor bobinado encontram grande aplicação nas fábricas de papel e de tecidos.

Agora que você já conhece as características do motor de indução trifásico de rotor bobinado, analise as suas vantagens e desvantagens.

### Quadro 10 – Vantagens e desvantagens do motor de indução trifásico de rotor bobinado

| Motor de indução trifásico de rotor bobinado   |  |
|--|--|
| Vantagens  | Desvantagens   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle de velocidade.</li> <li>• Torque alto na partida.</li> <li>• Corrente de partida baixa.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de reostato de grande potência.</li> <li>• Exige mais manutenção do que os motores de indução rotor gaiola de esquilo.</li> </ul> |

### Motor de indução trifásico de rotor gaiola de esquilo

O motor de indução trifásico de rotor gaiola de esquilo é uma máquina elétrica de corrente alternada (CA) assíncrona com rotor em curto-circuito, cuja velocidade depende da frequência da fonte de alimentação e do número de pólos do motor.

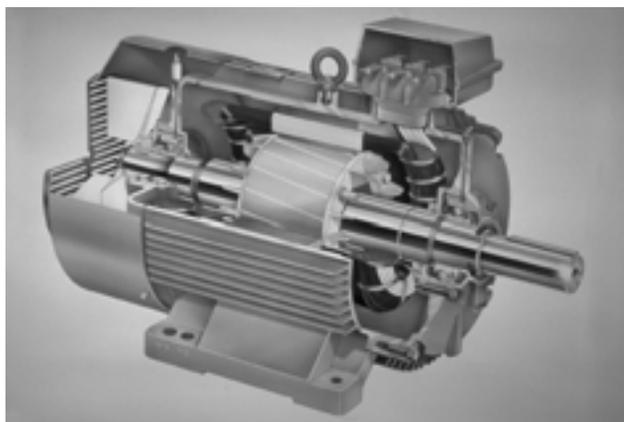


#### Fique ligado!

O funcionamento do motor de indução trifásico de rotor gaiola de esquilo é muito eficiente e requer poucos cuidados de manutenção. Em razão disso, e de seu baixo custo, é bastante empregado como força motriz em máquinas industriais.

Veja, na Figura 31, um motor de indução trifásico de rotor gaiola de esquilo.

**Figura 31 – Corte de um motor de indução trifásico de rotor gaiola de esquilo**



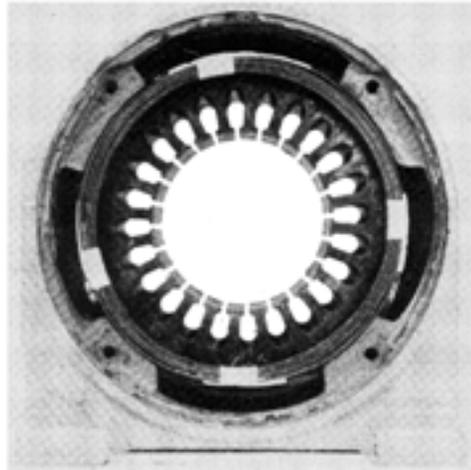
## Componentes

O motor de indução trifásico de rotor gaiola de esquilo é composto por:

- Um estator que compreende a carcaça e o núcleo. A carcaça é a parte externa do motor feita de ferro fundido ou chapa de aço. Serve para sustentar toda a máquina.

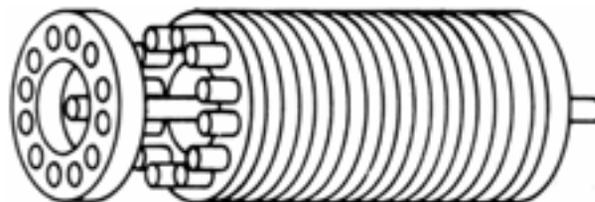
O núcleo é feito de chapas de ferro-silício, em forma de pacote rígido. Em seu interior há ranhuras longitudinais em que se alojam as bobinas.

**Figura 32 – Ranhuras de um estator do motor de indução trifásico gaiola de esquilo**



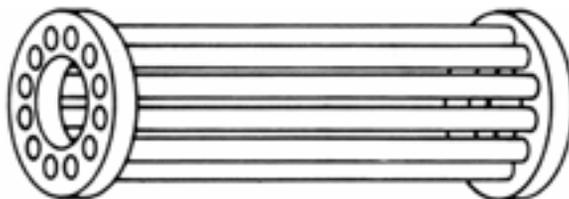
- O induzido ou rotor constitui-se a parte móvel do motor. O rotor é composto de barras condutoras fechadas em curto-circuito por meio de anéis. Essas barras têm a forma de uma gaiola de esquilo.

**Figura 33 – Rotor e seu anel de fechamento**



As barras são envoltas por uma pilha de chapas de ferro-silício e encaixadas num eixo, como mostra a Figura 34.

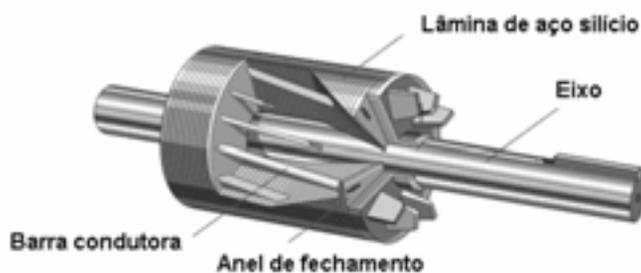
**Figura 34 – Barras condutoras sem as chapas de ferro-silício**



Quando se trata de motores pequenos, as barras condutoras e os anéis de curto-circuito são feitos de uma liga de alumínio, fundida ou injetada diretamente no rotor laminado.

Alguns rotores apresentam as ranhuras inclinadas em relação ao eixo. Isto é feito para diminuir o ruído causado pelo corte das linhas magnéticas criadas pelo indutor. Veja a Figura 35.

**Figura 35 – Rotor de motor de indução trifásico gaiola de esquilo**



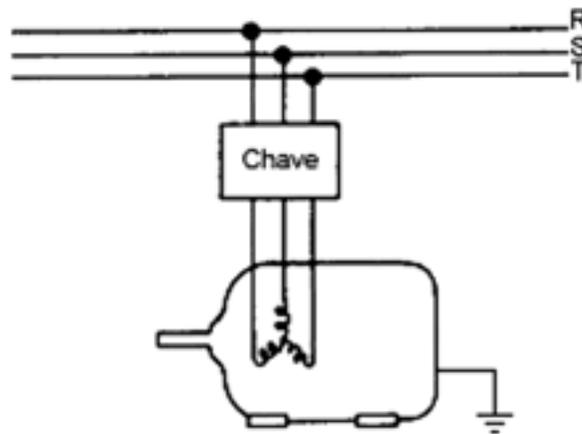
Observe que as barras condutoras da gaiola são colocadas geralmente com certa inclinação, para evitar as trepidações e ruídos que resultam da ação eletromagnética entre os dentes das ranhuras do estator e do rotor (escorregamento).

Ela garante o controle do escorregamento por ter o ângulo exato para fazer com que o motor gire de forma constante e uniforme. De outra forma, o motor giraria aos pulinhos.

Nas ranhuras do estator existem três enrolamentos, distintos um do outro que são alimentados por três fases defasadas uma da outra de  $120^\circ$  elétricos. As fases produzem campos magnéticos girantes, que se combinam para formar os pólos do estator.

A representação esquemática a seguir ilustra como o motor de indução trifásico gaiola de esquilo é conectado à rede elétrica.

**Figura 36 – Ligação do motor de indução trifásico gaiola de esquilo à rede elétrica**

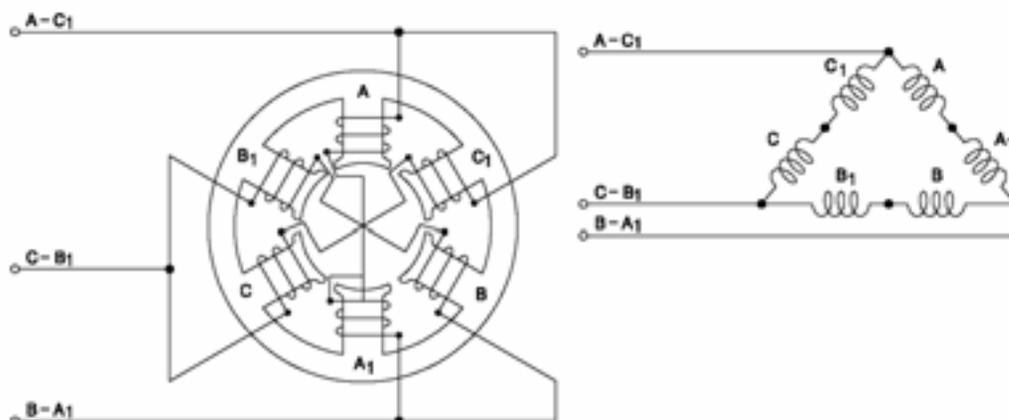


### Princípio de funcionamento

Quando a corrente alternada trifásica é aplicada aos enrolamentos do estator do motor assíncrono de CA, produz-se um campo magnético rotativo (campo girante).

Observe na próxima ilustração a ligação interna de um estator trifásico em que as bobinas (fases) estão defasadas em  $120^\circ$  e ligadas em triângulo.

**Figura 37 – Esquema de ligação do motor de indução trifásico gaiola de esquilo em triângulo**



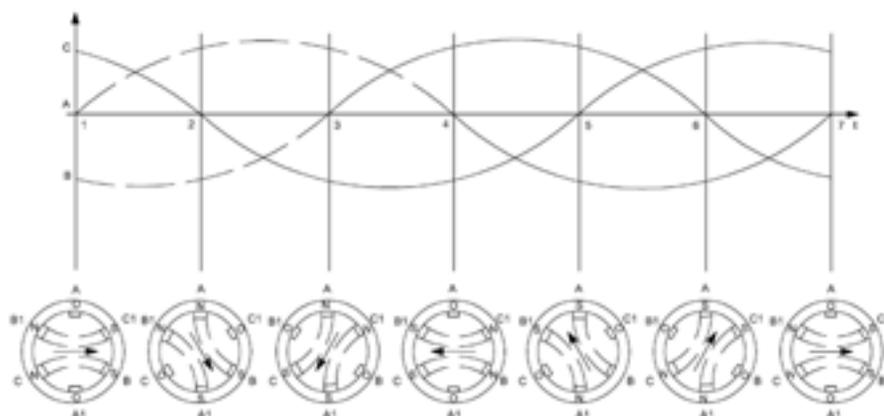
O campo magnético gerado por uma bobina depende da corrente que no momento circula por ela. Se a corrente for nula, não haverá formação de campo magnético; se ela for máxima, o campo magnético também será máximo.

Como as correntes nos três enrolamentos estão com uma defasagem de  $120^\circ$ , os três campos magnéticos apresentam também a mesma defasagem.

Os três campos magnéticos individuais combinam-se e disso resulta um campo único cuja posição varia com o tempo. Esse campo único, giratório, vai agir sobre o rotor e provocar seu movimento.

O esquema a seguir mostra como agem as três correntes para produzir o campo magnético rotativo num motor trifásico.

**Figura 38 – Representação do movimento do campo em função do tempo**



No esquema, vemos que no instante 1, o valor da corrente  $A$  é nulo e, portanto, não há formação de campo magnético. Isto é representado pelo 0 (zero) colocado no pólo do estator. As correntes  $B$  e  $C$  possuem valores iguais, porém sentidos opostos.

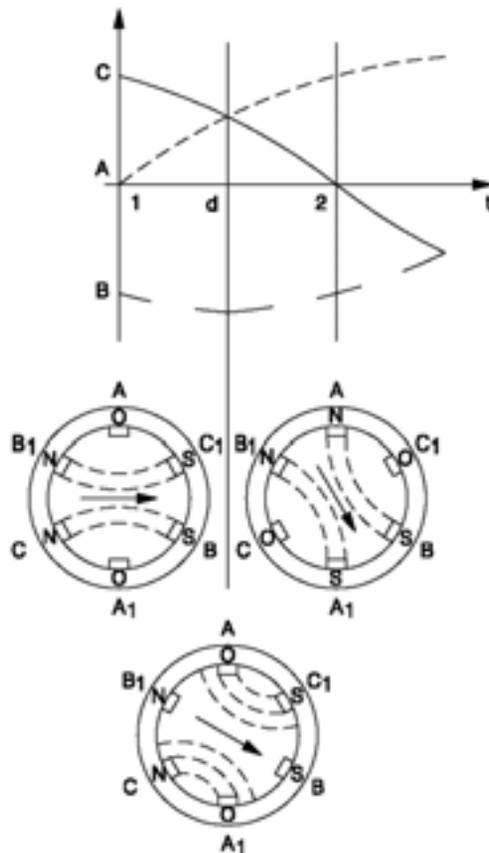
Como resultante, forma-se, no estator, no instante 1, um campo único direcionado no sentido  $N \rightarrow S$ .

No instante 2, os valores das correntes alteram-se. O valor de  $C$  é nulo.  $A$  e  $B$  têm valores iguais, mas  $A$  é positivo e  $B$  é negativo.

O campo resultante desloca-se em  $60^\circ$  em relação à sua posição anterior.

Quando um momento intermediário ( $d$ ) é analisado, vemos que, nesse instante, as correntes  $C$  e  $A$  têm valores iguais e o mesmo sentido positivo. A corrente  $B$ , por sua vez, tem valor máximo e sentido negativo. Como resultado, a direção do campo fica numa posição intermediária entre as posições dos momentos 1 e 2.

Figura 39 – Detalhe da posição do campo girante



Se analisarmos, em todos os instantes, a situação da corrente durante um ciclo completo, verificaremos que o campo magnético gira em torno de si. A velocidade de campo relaciona-se com a frequência das correntes.

Agora que você já conhece o princípio de funcionamento do motor de indução trifásico rotor gaiola de esquilo, analise as suas vantagens e desvantagens.

### Quadro 11 – Vantagens e desvantagens do motor de indução trifásico de rotor gaiola de esquilo

| Motor de indução trifásico rotor gaiola de esquilo   |  |
|--|--|
| Vantagens  | Desvantagens   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo custo de aquisição.</li> <li>• Bom torque na partida.</li> <li>• Baixo custo de manutenção.</li> <li>• Velocidade constante.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade inversor eletrônico ou outros dispositivos especiais para controle de velocidade.</li> <li>• Alta corrente de partida.</li> <li>• Baixo fator de potência, quando não for bem dimensionado para a carga.</li> </ul> |

O motor de indução destaca-se como o mais utilizado em todas as áreas de aplicações pelo seu baixo custo, forma construtiva robusta, longa vida útil, ausência de comutação, escovas, faiscamento e ruído eletromagnético, baixa necessidade de manutenção, pois a única peça sujeita a desgaste é o seu mancal.



#### Fique ligado!

Por sua robustez, o motor de indução trifásico gaiola de esquilo pode ser empregado em praticamente qualquer ambiente, inclusive aqueles hostis, com poeira, umidade, altas temperaturas e proximidade de explosivos. Devido às características descritas, esse tipo de motor é, até agora, o único contemplado pelo processo de etiquetagem do Instituto Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial (Inmetro) que o classifica como um *motor de alto rendimento*.

Considerando a importância do motor de indução trifásico gaiola de esquilo, no próximo capítulo aprofundaremos o estudo desse tipo de motor, mostrando quais as características que o qualificaram para receber este título.

## Voltando ao desafio

Quando os motores monofásicos são usados, provocam um desequilíbrio da corrente elétrica entre as fases de alimentação. Isso resulta em uma carga maior em uma delas. Como consequência, há um aquecimento dessa fase implicando um maior consumo e outros problemas elétricos, como a abertura de disjuntores e interrupção do fornecimento de energia.

A instalação do motor trifásico compensa pela economia no consumo, já que o desequilíbrio entre as fases desaparece e por uma menor necessidade de manutenção. Além disso, é um motor mais barato no momento da aquisição, quando comparado com motores monofásicos de potência equivalente.

Portanto, a decisão da empresa de confecções quanto à troca de motores monofásicos por motores trifásicos foi correta.

## Resumindo

Os motores de indução assíncronos ocupam hoje uma posição relevante na conversão de energia elétrica em força motriz. É importante conhecer bem as suas características, pois isto ajuda alcançar a eficiência energética.

O Quadro 12 resume as características dos motores de CA que você deve se lembrar sempre.

**Quadro 12 – Comparação entre motores de indução**

| Motores de corrente alternada                           |   |   |                        |  |
|---|---|---|------------------------|--|
| Motor   | Variação da velocidade  | Controle da velocidade  | Capacidade de arranque | Aplicações   |
| Assíncrono com rotor em curto (monofásico ou trifásico) | Varia de 3% a 5% entre vazio e plena carga                                    | Nenhum, exceto nos tipos de velocidade múltipla projetados para duas ou mais velocidades fixas      | Baixa e média          | Recomenda-se para serviços que não exijam velocidades variáveis, como partida com carga, moinhos, ventiladores, prensas, bombas centrífugas, máquinas operatrizes.   |
| Assíncrono com rotor bobinado (trifásico)               | Varia de 3% a 5% entre vazio e a plena carga com o reostato em curto-circuito | A velocidade pode ser reduzida em 50% pelo reostato. A velocidade varia inversamente à resistência. | Alta                   | Recomenda-se para os serviços em que se faz necessária a velocidade variável e a partida com carga: compressores, transportadores, guindastes, pontes rolantes, etc. |
| Motor síncrono (trifásico)                              | Não há variação. A velocidade é constante (síncrona).                         | Nenhum, exceto em raros motores de duas velocidades fixas.  | Muita baixa            | Em serviços que exigem velocidade constante ou em que se deseja corrigir o fator potência da rede elétrica.  |

## Aprenda mais

Você pode aprender mais sobre estes motores, consultando catálogos eletrônicos disponíveis na Internet. Para fazer essa pesquisa, use uma ferramenta de busca e digite “motor assíncrono”, “motores monofásicos”, etc. Isso provavelmente o levará a sites de fabricantes que sempre têm informações técnicas interessantes.

Não deixe, também, de consultar as referências bibliográficas inseridas no final deste material.





## Capítulo 4

---

# MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO DE ROTOR GAIOLA DE ESQUILO

### Iniciando nossa conversa

Nos três capítulos anteriores, você estudou as características construtivas, o funcionamento e as aplicações diferentes tipos de motores disponíveis para executar as mais variadas formas de trabalhos: desde fazer girar um disco de DVD, até movimentar uma locomotiva. Estudou, também, que, cada um deles tem suas vantagens e desvantagens, no custo, na manutenção, no controle de velocidade e, diante da crise energética que assusta a economia mundial, o mais importante: no consumo de energia.

No Brasil, a atividade industrial é responsável por consumir aproximadamente 49% da energia elétrica fornecida pelas empresas concessionárias de eletricidade. Desse percentual, o sistema motriz gasta 51% da energia elétrica consumida na planta onde estão instalados (Projeto Energia Alternativa – UFG, Labsolar – UFSC, World Watch Institute e Eletrobrás).

Já que, segundo dados estatísticos, cerca de 12% da energia elétrica que é produzida pelo país é desperdiçada, a força motriz, por seu peso em nossa atividade econômica, deve ser o mais racional possível para contribuir para a diminuição desse enorme desperdício, equivalente a 7500 MW (megawatt) ou a 40% do consumo de todas as residências brasileiras. (Projeto Energia Alternativa – UFG, Labsolar – UFSC, World Watch Institute e Eletrobrás.)

Dos diversos tipos de motores elétricos existentes, o que melhor atende à necessidade de economia é o motor de indução trifásico, capaz de utilizar 95% de seu consumo total de energia para gerar força motriz. Não é à toa que, segundo dados do Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica –, o motor elétrico trifásico é o único que possui a Etiqueta de Eficiência Energética do Programa Brasileiro de Etiquetagem, que indica o grau de eficiência energética

de equipamentos que precisam de eletricidade para funcionar (PROCEL/CEMIG/ELETROBRAS – BH, 1990) .

Neste capítulo, vamos apresentar mais informações sobre esse motor, chamando sua atenção para alguns detalhes que serão de grande ajuda na utilização e manutenção de qualquer máquina ou equipamento que dele fizer uso.

## Objetivos

O estudo dos temas apresentados neste capítulo tem como objetivos:

- Conhecer as características dos motores de indução trifásicos gaiola de esquilo;
- Conhecer as características dos motores de indução trifásicos gaiola de esquilo de alto rendimento;
- Identificar as vantagens da utilização do motor de alto rendimento;
- Conhecer os itens da Norma 7094 (Máquinas Elétricas Girantes – Motores de Indução – Especificação) que apresentam as diferenças entre um motor padrão e um motor de alto rendimento.

## Um desafio para você

Uma empresa fabricante de cerveja foi adquirida por um grupo multinacional que deseja modernizar o maquinário instalado, buscando diminuir custos operacionais e aumentar a eficiência energética de suas instalações. Dentre todas as medidas tomadas para alcançar esses objetivos, uma delas foi a decisão de substituir os motores que têm uso contínuo por motores mais eficientes e confiáveis. O departamento de engenharia optou por motores trifásicos de indução, tipo gaiola de esquilo, de alto rendimento.

Depois de estudar este capítulo, você deverá dizer se esta opção foi a mais adequada e justificar sua resposta.

## Continuando nossa conversa

### Motor de indução

O motor de indução converteu-se no tipo de motor mais usado na indústria. Este fato deve-se à maioria de os sistemas atuais de distribuição de energia elétrica serem de corrente alternada. Comparando com o motor de corrente contínua, o motor de indução tem como vantagem a sua simplicidade, que se traduz em baixo custo e máxima eficácia com manutenção mínima. O rendimento é elevado para média e máxima carga, e pode-se assegurar um bom fator de potência com uma seleção correta. Essas características têm um peso enorme nos custos de implantação e produção de qualquer empresa, contribuindo altamente para o consumo racional de energia elétrica.

Desde a sua concepção até os dias atuais, os principais fatores que influenciaram na sua evolução foram os apresentados a seguir:

- Utilização de materiais que apresentam melhores propriedades magnéticas, tais como:
  - ferro com baixo teor de carbono (SAE 1006 a 1008);
  - aços especiais de baixo teor de carbono com adição de pequeno percentual de silício;
  - aço-silício (ligas com até 3% Si).
- Processamento térmico das lâminas para redução das perdas por histerese e por correntes parasitas, que são as corrente que surgem quando um campo magnético variável cria corrente no material em que ele circula;
- Desenvolvimento e uso de novos materiais isolantes que suportam temperaturas bem mais elevadas e possuem maior capacidade de isolamento;
- Sistemas de refrigeração que possibilitam troca de calor mais eficaz;
- Cálculo de projeto feito com o auxílio do computador, permitindo o refinamento de projeto, otimização de desempenho e redução de custo;

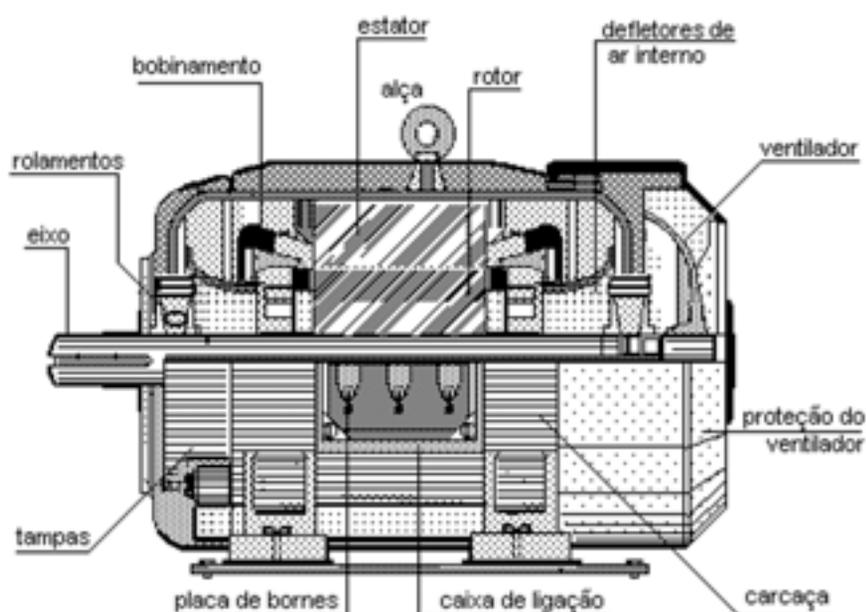
Além disso, a evolução dos materiais isolantes foi o principal fator de redução de tamanho físico dos motores ao longo do tempo.

## Características básicas do motor de indução

Como já foi visto no capítulo anterior, a característica básica do motor de indução trifásico (MIT) é funcionar com uma velocidade um pouco abaixo da velocidade síncrona. E esta velocidade é definida pelo número de pólos e pela frequência de alimentação.

Você deve se lembrar que a configuração básica do motor de indução compreende um enrolamento ligado à rede de alimentação, normalmente situado no estator, e um segundo enrolamento, normalmente alojado no rotor, que apresenta grandezas elétricas vindas das induções provocadas pelo primeiro enrolamento. O rotor é constituído por um cilindro de chapas em cuja periferia existem ranhuras em que o enrolamento rotórico é alojado.

Figura 40 – Motor de indução trifásico e suas partes



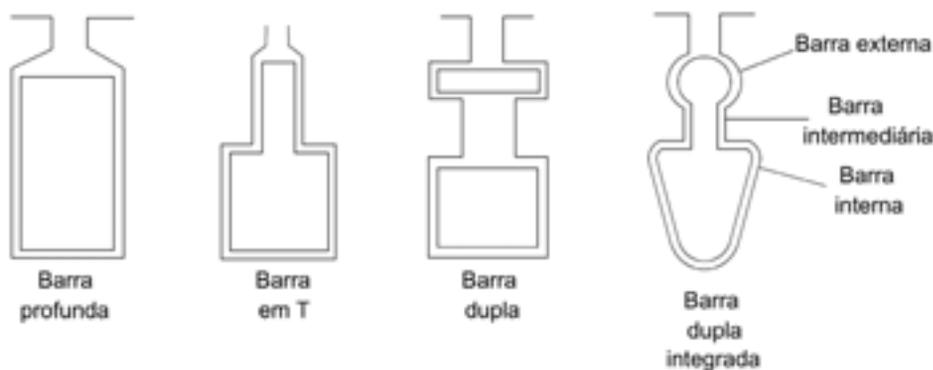
O motor de indução tem no seu rotor o que chamamos de gaiola de esquilo, na qual a ação da força exercida pelo campo girante, ao cortar cada barra do rotor, induz uma corrente que provocará sua impulsão.

As características de desempenho do motor de indução dependem basicamente do formato das barras da gaiola, que podem ter várias configurações e/ou utilizar materiais de diferentes condutividades, tais como:

- Alumínio, que é o condutor mais utilizado atualmente, formando uma única peça com as barras e os anéis de curto-circuito nas suas extremidades, além de aletas para ventilação e adaptação para balanceamento;
- Cobre, em barras colocadas nas ranhuras do rotor e em forma de anel soldado a suas extremidades, *anéis de curto-circuito*;
- O rotor também pode ser formado por duas gaiolas (gaiola dupla) sobrepostas, independentes ou não, em cobre, em uma liga de cobre e latão, ou em alumínio;
- Os formatos das ranhuras podem ser bem distintos (ranhura profunda, superficial, circular, retangular, etc.), para definir o comportamento do conjugado com a velocidade.

A Figura 41 ilustra vários formatos de ranhuras.

**Figura 41 – Tipos de ranhuras**



Essas características são inerentes a cada tipo de motor e definem seu comportamento como máquina eletromotriz.



### Fique ligado!

Os motores trifásicos de corrente alternada são menos complexos do que os motores de corrente contínua. Além disso, a inexistência de contatos móveis em sua estrutura garante seu funcionamento por um grande período, sem a necessidade de manutenção. E a sua velocidade é determinada pela frequência da fonte de alimentação, o que propicia excelentes condições para seu funcionamento a velocidades constantes.

Esse motor também é conhecido como *motor de indução*, porque a corrente alternada é induzida no circuito do rotor pelo campo magnético rotativo do estator.

## Tipos de ligações

No estator do motor assíncrono de corrente alternada, estão alojados três enrolamentos referentes às três fases. Estes três enrolamentos estão montados com uma defasagem de  $120^\circ$ .

Estes enrolamentos situam-se nas ranhuras internas do pacote magnético do estator e podem apresentar 3, 6 ou 12 terminais, o que permite vários tipos de ligações em estrela (Y) ou triângulo ( $\Delta$ ), em série ou paralelo.

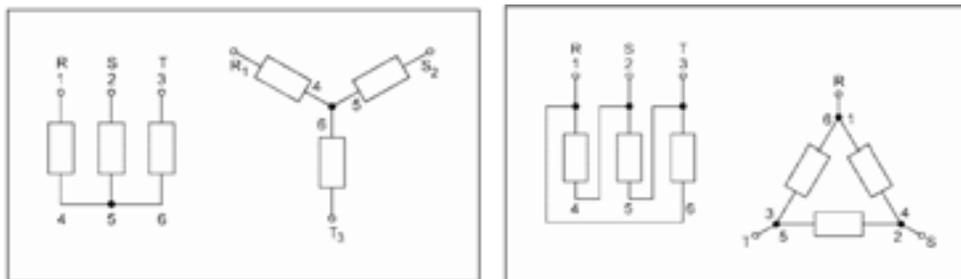
Quando a corrente alternada trifásica é aplicada aos enrolamentos do estator do motor assíncrono de corrente alternada, produz-se um campo magnético rotativo (campo girante).

A Figura 42 mostra a ligação interna de um estator trifásico de 6 terminais em que as bobinas (fases) estão defasadas em  $120^\circ$  e ligadas em estrela ou em triângulo.

### Figura 42 – Ligação do motor de indução

Na ligação em estrela, o final das fases se fecha em si, e o início se liga à rede.

Na ligação em triângulo, o início de uma fase é fechado com o final da outra, e essa junção é ligada à rede.



O campo magnético gerado pela bobina depende da corrente que, no momento, circula por ela. Se a corrente for nula, não haverá formação de campo magnético; se ela for máxima, o campo magnético também será máximo.

## Funcionamento

Como as correntes nos três enrolamentos estão com uma defasagem de  $120^\circ$ , os três campos magnéticos apresentam também a mesma defasagem.

Os três campos magnéticos individuais combinam-se e disso resulta um campo único cuja posição varia com o tempo. Esse campo único, giratório, é que vai agir sobre o rotor e provocar seu movimento.

O circuito magnético, ou pacote magnético do estator, é composto por lâminas isoladas entre si para a redução das perdas por correntes parasitas, já que o campo resultante se move no seu interior na velocidade síncrona.

O rotor também é laminado para a redução destas perdas, embora o campo resultante se mova no seu interior mais lentamente, numa velocidade igual à diferença entre as velocidades síncrona e de rotação do eixo.

## Características do motor trifásico de indução rotor gaiola de esquilo

Pelo que você estudou até agora sobre motores, já percebeu que eles se diferenciam em vários aspectos.

Para podermos comparar o desempenho de cada um desses motores, é preciso observar as diferenças nos resultados de suas principais características.

Para escolher um motor adequado para uma determinada necessidade, há dados que são muito importantes e que correspondem a essas características. Eles são:

- potência nominal;
- fator de serviço;
- tensão nominal;
- corrente nominal;
- frequência nominal;
- escorregamento;

- torque (ou conjugado) nominal;
- velocidade nominal;
- rendimento;
- perdas.

Vamos, então, conhecer estas características do motor trifásico de indução rotor gaiola de esquilo.

## Potência nominal

Para entender esse dado, é necessário saber o que é potência. Uma das definições interessantes, encontrada no dicionário, é aquela que diz que “potência é a capacidade de realizar (um trabalho)”.

Transportando essa definição para um motor, poderíamos até dizer que potência do motor é a capacidade que ele tem de realizar o trabalho para o qual foi projetado, a uma dada velocidade.

Nos livros técnicos sobre motores, os autores sempre fazem menção à potência nominal. Qual é a diferença?

*Potência nominal* é a potência mecânica que o motor fornece na ponta de seu eixo. Em outras palavras: é o que ele consegue realizar em pleno funcionamento, quando tem uma carga a ele acoplada.

A NBR 7094 (Máquinas Elétricas Girantes – Motores de Indução – Especificação) exige que a potência nominal seja expressa em W (*watt*). Por tradição, essa unidade ainda convive com cv (cavalo vapor).

A potência nominal, também chamada de potência mecânica de saída ( $P_s$ ), é o produto do conjugado ou torque ( $C$ ), pela rotação da ponta de eixo ( $n$ ), relacionada com uma constante ( $k$ ) de equivalência que depende das unidades utilizadas. Isso pode ser expresso matematicamente da seguinte forma:

$$P_s = \frac{C \times n}{k}$$

Nesta igualdade:

$P_s$  é a potência mecânica de saída, dado em W;

$C$  é o conjugado ou torque, dado em Nm (newton x m);

$n$  é a rotação do eixo do motor, dada em rpm (rotações por minuto);

$k$  é a constante de equivalência.

A Tabela 1 indica valores da constante  $k$ , para diferentes unidades de potência de saída e conjugado.

**Tabela 1 – Valores da unidade da potência, do torque e o valor da constante usada**

| Potência (Ps) | Torque (C) | Valor da constante (k) |
|---------------|------------|------------------------|
| cv            | kgfm       | 716                    |
| cv            | Nm         | 7023                   |
| kW            | Nm         | 9542                   |
| kW            | kgfm       | 973                    |
| W             | Nm         | 9,54                   |

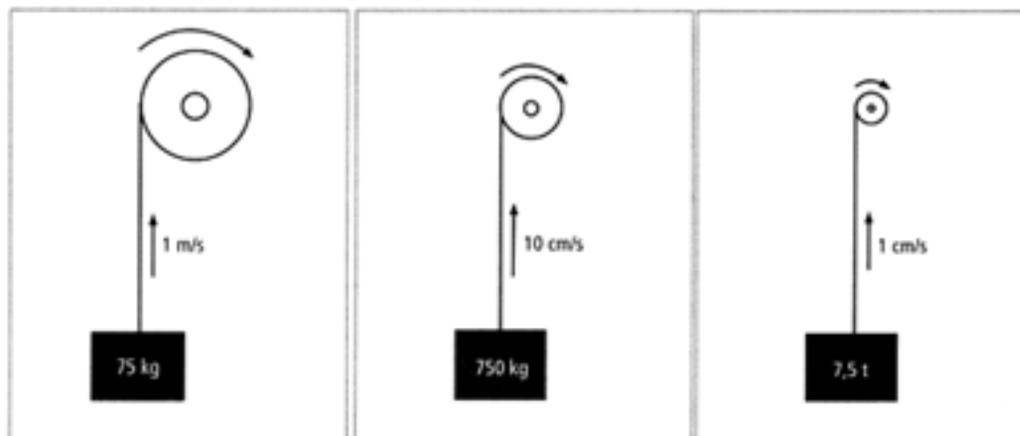
Por exemplo: o que pode fazer um motor com 1 cv de potência?

Um cv ou 736 *watts* seria a potência necessária para produzir uma força capaz de erguer uma massa de 75 kg a uma velocidade de 1 metro por segundo.

Porém este mesmo 1 cv, pode erguer 750 kg a uma velocidade de 10 cm/s, ou, ainda, 7,5 toneladas a uma velocidade de 1 cm/s.

Isto é ilustrado na representação esquemática a seguir.

Figura 43 – Equivalência força x velocidade de 1 cv de potência



A falta de conhecimento de que a potência para determinado acionamento mecânico está relacionada não só com a força, mas também com a velocidade é uma das principais causas de superdimensionamento na escolha de motor elétrico para fazer funcionar uma máquina.

### Fator de serviço

Essa característica, inerente a um dado motor, corresponde a um tipo de reserva de segurança, ou seja, mostra o quanto o motor pode trabalhar continuamente acima de sua potência nominal sem prejudicar o rendimento. Isso não pode ser confundido com uma sobrecarga momentânea.

O fator de serviço (FS) indica a reserva térmica de potência disponível no motor, quando alimentado em tensão e frequência nominais e trabalhando em condições ambientes normais. Entendem-se como condições ambientais normais aquelas com temperatura ambiente mínima de  $-15^{\circ}\text{C}$  e máxima de  $40^{\circ}\text{C}$ , altitude até 1000 m e ambientes livres de elementos que possam causar obstrução ao sistema de refrigeração do motor.

Quando não há indicação do fator de serviço, ele corresponde a 1,0, como previsto na NBR 7094. Quando indicado, o valor que ultrapassa 1, equivale à porcentagem de reserva térmica de potência que o motor tem. Por exemplo, um motor de 7,5 kW (*quilowatt*), com um FS de 1,15, pode trabalhar em regime contínuo, com uma potência de 8,6 kW.

## Tensão nominal

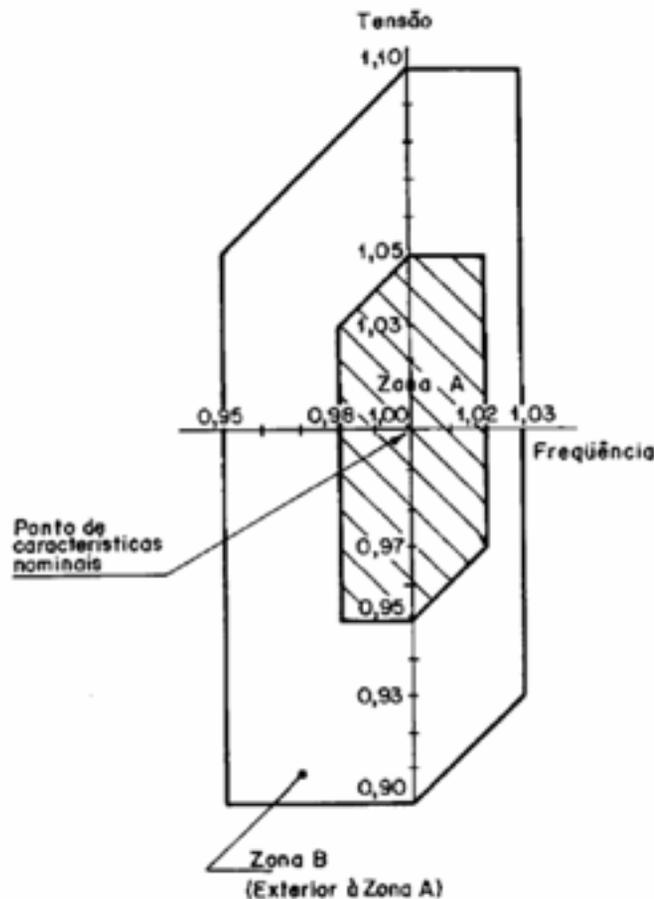
Se você for ao dicionário, encontrará a seguinte definição de tensão: “diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um circuito”. É a tensão que faz a corrente circular.

Quando falamos de motor, o que nos interessa é a **tensão nominal**, ou seja, a tensão de trabalho do motor em condições normais. É uma característica de fabricação.

A NBR 7094 estabelece as faixas de tolerância de tensão nominal, dentro das quais o motor deverá trabalhar sem apresentar queda de rendimento.

Verifique essas faixas na Figura 44.

Figura 44 – Faixas de tolerância de tensão nominal



O que a figura mostra?

Ela mostra que existem duas áreas *A* e *B* nas quais o motor trabalha com relativo conforto. Na área *A*, o motor deverá funcionar continuamente, com apenas pequenos desvios nas características nominais e, conseqüentemente, com um pequeno aumento da temperatura.

Na área *B*, onde o desvio é levemente superior ao da área *A*, ocorre o mesmo, com a diferença de que isso só poderá acontecer por um breve período de tempo. O aquecimento será maior e o funcionamento nessas condições não é recomendável.

## Corrente nominal

A corrente nominal é aquela que o motor solicita da rede elétrica para uma dada tensão nominal e freqüência nominal alimentando uma carga nominal. Ou seja, é o que o motor precisa para trabalhar. Ela expressa a melhor condição de trabalho para o motor.



### Fique ligado!

Corrente fora do valor nominal pode indicar duas coisas:

- Sobrecarga – apesar de o motor apresentar funcionamento aparentemente normal, há sobreaquecimento e a medição com o alicate amperímetro indica uma corrente superior à corrente nominal informada na placa identificadora do motor. Isso pode levar à queima do motor.
- Funcionamento com pouca carga – nesta condição, a leitura do alicate amperímetro indicará uma corrente abaixo da recomendada. Nesse caso, existe a possibilidade de o motor estar superdimensionado, o que gera a potência reativa. Em termos de garantia de eficiência energética, há um desperdício de energia.

A corrente de partida é diferente: é cinco a oito vezes superior à corrente nominal e isso é necessário para vencer a inércia e os fenômenos inerentes à partida do motor. É um dado importante quando se dimensiona o sistema de acionamento do motor.

## Frequência nominal

Frequência nominal é a frequência da rede para a qual o motor foi fabricado. No Brasil as concessionárias fornecedoras de energia elétrica têm a frequência padronizada de 60 Hz.

## Escorregamento

Em um motor de indução trifásico assíncrono, o campo do estator gira a uma velocidade síncrona ( $n_s$ ). Por outro lado, o rotor acompanha esse movimento a uma velocidade assíncrona ( $n$ ) ligeiramente inferior à velocidade síncrona.

O escorregamento indica, em relação à velocidade síncrona, o movimento relativo entre o campo girante, com velocidade  $n_s$  e os enrolamentos do rotor, com velocidade  $n$ . É como se o rotor escorregasse em relação ao movimento do campo girante do estator.

A velocidade do motor assíncrono é dada pela seguinte equação:

$$n = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{p}$$

Onde:  $n$  = rotação [rpm]

$f$  = frequência da rede [Hz]

$p$  = número de pólos

$s$  = escorregamento

O escorregamento é uma característica inerente ao motor e é considerado normal dentro de uma faixa até 5%. E também é bom saber que com maior carga resultará um maior escorregamento.

## Torque (ou conjugado) nominal

Torque ou conjugado é a medida do esforço necessário para girar um eixo. É expresso em N/m.

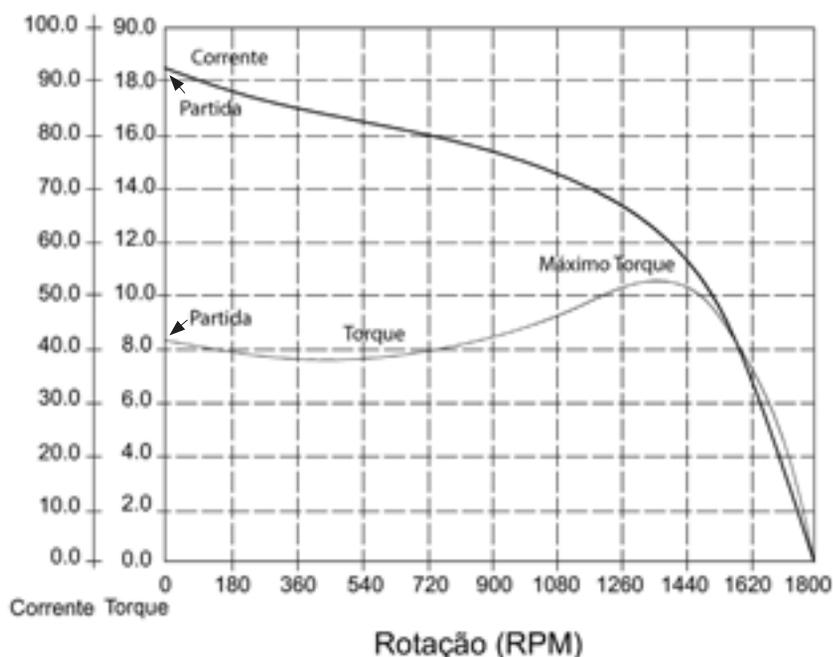
É um valor dependente de características que já estudamos: potência nominal e velocidade. As características construtivas como dimensão, formato e material, do qual o rotor e o estator são fabricados, também influenciam no torque.

## Conjugado de partida

Partida é a passagem de uma máquina do estado de repouso à velocidade de regime. Para que isso aconteça, como você já viu, o motor solicita da rede um pico de corrente. Nesse contexto, o torque (ou conjugado) de partida é o esforço necessário para tirar o motor de seu estado de inércia.

Veja no Gráfico 2 o comportamento da corrente e conjugado (torque) em função da velocidade.

**Gráfico 2 – Curva de corrente e conjugado x velocidade**



Observe a diminuição da corrente e a variação do torque à medida que o motor vai atingindo a velocidade nominal.

## Características de partida

Os motores são classificados segundo suas características de conjugado de partida em cinco categorias: N, H, D, NY e HY.

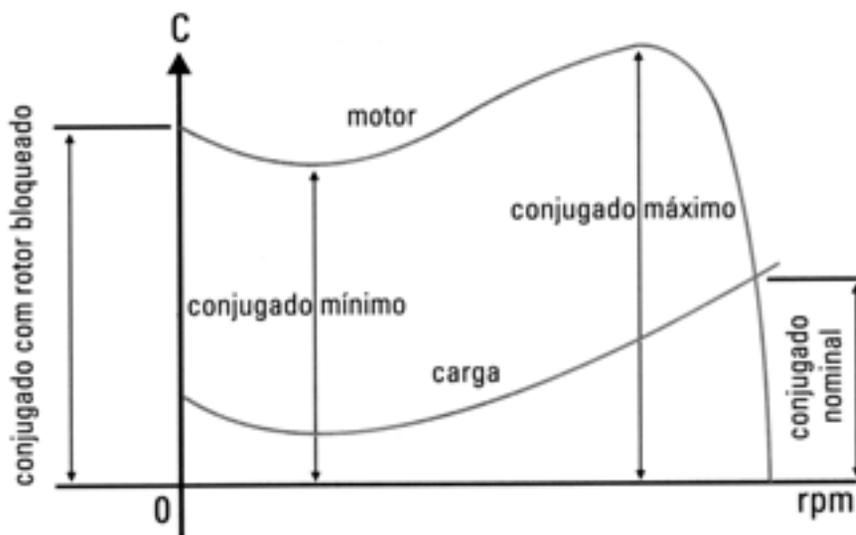
O conjugado de partida para cada categoria é representado por:

- conjugado com rotor bloqueado ( $C_p$ );

- o conjugado mínimo de partida ( $C_{mín}$ );
- o conjugado máximo ( $C_{máx}$ );
- o conjugado nominal ( $C_n$ ),

Observe-os no Gráfico 3.

**Gráfico 3 – Curva característica de conjugado de partida e de carga x velocidade**



A NBR 7094 especifica os valores mínimos destes parâmetros para cada categoria, com os valores máximos de corrente de partida conforme tabela de potência aparente máxima com rotor bloqueado, contida na Norma.

Os motores categoria N são de aplicação geral, normalmente para cargas de baixa inércia. Os motores categoria H são próprios para aplicações de elevadas inércias (centrífugas, ventiladores de grande porte, etc.), pois oferecem uma maior característica de aceleração.

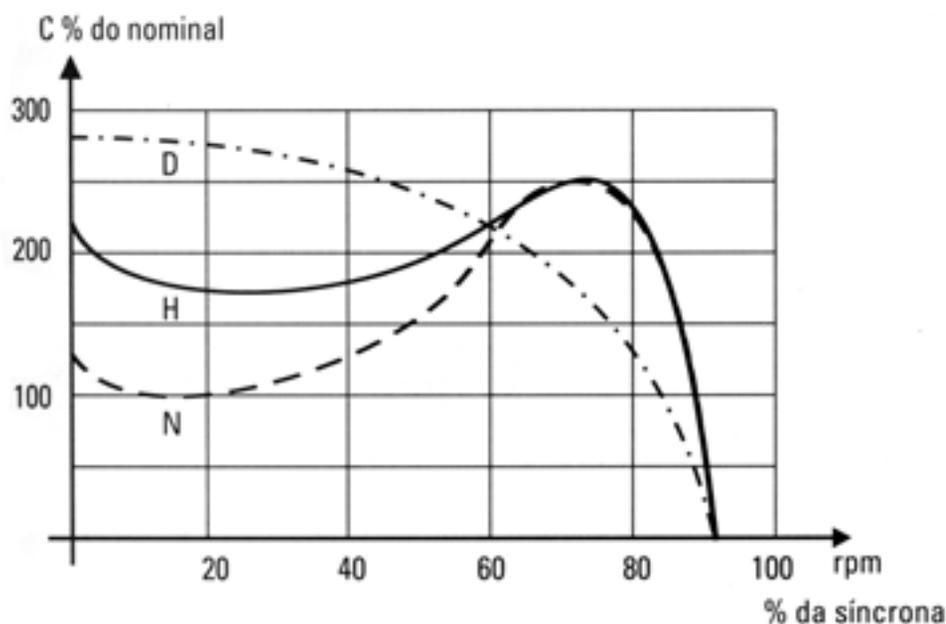
Os motores categoria D são motores de elevado conjugado de partida (superior a 2,75 o nominal) e elevado escorregamento (5% a 8% e 8% a 13%). Normalmente utilizados em aplicações especiais, tais como prensas de perfuração, tesouras e máquinas de elevada inércia.

Os motores de categorias NY e HY têm características semelhantes aos das categorias N e H, porém previstos para partida com chave estrela-triângulo. Na liga-

ção estrela deve fornecer, no mínimo, 25% dos valores tabelados de  $C_p$  e  $C_{mín}$  das respectivas categorias N e H.

O Gráfico 4 indica as configurações dos conjugados de partida para as categorias N, H e D.

**Gráfico 4 – Configuração do conjugado de partida para as categorias N, H e D**



## Velocidade nominal

A velocidade de um motor é conseqüência da distribuição e arranjo das bobinas, ou seja, a quantidade de pares de pólos resultante desse arranjo. É o resultado do motor funcionando à potência nominal, isto é, com carga, sob tensão e freqüência nominais. É uma velocidade próxima à síncrona, considerando-se o escorregamento. É dada em rpm (rotações por minuto).

## Rendimento

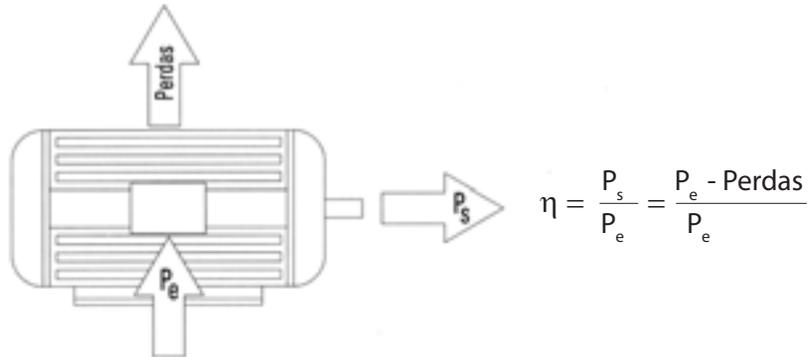
Trata-se de um dado especificado pelo fabricante em função do projeto e da tecnologia de fabricação e obedece às especificações da NBR 7094.

É o rendimento que o motor apresenta sob carga, tensão e freqüência nominais e condições de ambiente determinadas pelo fabricante. Representa a relação

percentual entre a potência elétrica fornecida pela rede e a potência mecânica fornecida no eixo.

A Figura 45 ilustra a relação entre a carga aplicada ao eixo do motor e seu respectivo rendimento.

Figura 45 – Entrada e saídas de energia



onde  $P_e$  significa potência de entrada,  $P_s$  potência de saída e  $\eta$  rendimento.

## Perdas

Perda é toda a energia que não resulta em trabalho. Assim, no motor, as perdas são representadas por:

- Perdas por efeito Joule, representadas pelo aquecimento do motor, no rotor e no estator;
- Perdas no núcleo;
- Perdas mecânicas por atrito, incluindo ventilação;
- Perdas suplementares - perdas por pulsação do fluxo magnético nos dentes, perdas devidas a harmônicos superiores do campo magnético, perdas por imperfeições e tolerâncias construtivas.

Qualquer que seja a invenção humana, ela é sempre passível de ser melhorada. Não poderia ser diferente com o motor elétrico, seja por sua importância como a força motriz do desenvolvimento industrial, seja pelo consumo de energia que é uma grande preocupação do século 21. O desenvolvimento tecnológico permite isso.

Assim, a conjugação da necessidade de aumento da relação custo x benefício no uso de motores elétricos com pesquisas de melhoramento técnico resultou no aparecimento do motor elétrico trifásico de indução gaiola de esquilo de alto rendimento.

## Motor de alto rendimento

Há mais de uma década os fabricantes nacionais de motores, em um trabalho conjunto com entidades governamentais (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel, Centrais Elétricas Brasileiras S.A. e Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Eletrobrás/Procel e Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro) vêm desenvolvendo esforços no sentido de oferecer motores mais eficientes ao mercado. Deste trabalho resultou o *Decreto nº 4.508, de 11 de dezembro de 2002*, (Anexo 1) que dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, nacionais ou importados, para comercialização ou uso no Brasil. O decreto especifica valores mínimos de rendimento para motores classificados como *padrão* (motores da linha *Standard* ou convencional) e que têm rendimento considerado normal. Especifica, também, valores mínimos de rendimento para uma linha de motores denominados de *alto rendimento*.

## Redução das perdas

Uma das primeiras preocupações, quando se quer construir um motor de alto rendimento é reduzir as perdas, pois a diferença básica entre o motor de alto rendimento e o motor padrão é o processo de fabricação visando à redução das perdas internas. Assim, o motor de alto rendimento transfere a energia de entrada para a saída com menores perdas e, conseqüentemente, com menor consumo de energia.

As perdas internas, também chamadas de *perdas totais*, acontecem nos núcleos de ferro, por perdas mecânicas, por efeito *Joule* no estator e no rotor, e por perdas suplementares.

Na prática, as perdas totais do motor elétrico de alto rendimento correspondem a aproximadamente 60% das perdas totais de um motor elétrico comum. Apesar desta redução substancial das perdas, o rendimento do motor de alto rendi-

mento permanece em torno de 3,5% maior que o rendimento do motor elétrico *standard*.(Eletrobrás, 2003)

Isso demonstra a dificuldade de se aumentar o rendimento dos motores elétricos, o que é ainda mais difícil quando se consideram motores elétricos de maiores potências como, por exemplo, motores de 50 cv.

De qualquer maneira, aperfeiçoar o projeto do motor, de modo que ele apresente perdas menores, é uma estratégia importante como será visto a seguir.

## Perdas nos núcleos

As perdas nos núcleos são as perdas causadas por histerese e correntes parasitas que podem ser reduzidas pela diminuição da densidade de fluxo. Isto pode ser conseguido aumentando-se o comprimento do pacote magnético, o que, por sua vez, aumenta também o peso e o volume do motor.



### Fique ligado!

Histerese é a tendência de um material ou de um sistema conservar suas propriedades na ausência do estímulo que as geraram. A palavra histerese deriva do grego e significa retardo.

Correntes parasitas são correntes elétricas indesejadas que resultam em aquecimento, causando o aumento da temperatura do material.

Outro procedimento adotado para redução destas perdas é a utilização de material magnético de melhor qualidade, associado a lâminas de espessuras mais finas.

Deve-se ressaltar que as perdas por histerese e correntes parasitas ocorrem principalmente no núcleo do estator, já que nele o campo magnético girante se movimenta na velocidade síncrona.

Por outro lado, o núcleo do rotor gira quase na velocidade síncrona, havendo, portanto, lento movimento relativo entre o campo magnético girante e o pacote magnético do rotor. É no rotor, então, que acontecem menores perdas por histerese e correntes parasitas do que no núcleo do estator.



### Fique ligado!

Aperfeiçoar o estator tem um resultado superior no aumento da eficiência energética do que melhorar o núcleo do rotor. Foi isso que aconteceu no desenvolvimento do motor de alto rendimento.

## Perdas mecânicas

As perdas mecânicas são representadas pelas perdas por atrito e perdas por ventilação. Elas correspondem à menor parcela de perdas do motor e a sua redução traz pouca influência na melhoria do rendimento.

As perdas por atrito são diminuídas utilizando-se rolamentos de baixas perdas com melhor sistema de lubrificação, como, por exemplo, o uso de lubrificantes sintéticos.



### Fique ligado!

As perdas por ventilação podem ser reduzidas pela otimização do projeto do ventilador. Como o motor de alto rendimento produz menores perdas nos enrolamentos e no núcleo, a necessidade de ventilação torna-se menor. Uma boa consequência indireta disto é a redução do nível de ruído produzido pelo motor.

Nos motores totalmente fechados, os projetistas dão atenção especial a este tipo de perda.

## Perdas por efeito *Joule* no estator

As perdas por efeito *Joule* no estator correspondem às perdas por aquecimento. O aquecimento acontece porque a corrente que aparece no rotor, que é cortado por um campo magnético, encontra a resistência existente no próprio material do qual os condutores são fabricados.

As perdas por aquecimento são proporcionais ao quadrado da corrente de alimentação e à resistência do enrolamento e são representadas matematicamente por:  $I^2 \times R$ .

Para uma dada tensão de alimentação e potência mecânica no eixo, estas perdas são inversamente proporcionais aos quadrados do rendimento e do fator de potência. Isso significa que, quanto maior for o fator de potência e o rendimento, mais eficiente será o motor e menores serão as perdas por efeito *Joule*.

Nos motores de alto rendimento, a resistência dos enrolamentos é diminuída utilizando-se condutores de cobre de maior bitola, ou seja, mais grossos. Isto implica aumentar as dimensões das ranhuras, para manter o mesmo número de espiras. Conseqüentemente, é necessário aumentar o diâmetro do pacote magnético do estator. Isto também tem o efeito adicional de reduzir a densidade de campo magnético, o que provoca redução da corrente de magnetização.

O resultado é uma carcaça maior para acomodar a maior quantidade de cobre e ferro no estator, com maior peso e volume.



### Fique ligado!

O fator de potência é o efeito causado por uma bobina ou capacitor conectado a uma corrente alternada que resulta no aumento da corrente nos condutores.

## Perdas por efeito *Joule* no rotor

Assim como no estator, a diminuição destas perdas é obtida pelo aumento da quantidade de material condutor da gaiola, ou seja, dos condutores do rotor. Naturalmente isto contribui também para o aumento das dimensões da carcaça.

No entanto, como já foi dito anteriormente, a resistência do rotor apresenta grande influência no desempenho do motor. Sendo assim, a redução destas perdas fica limitada às exigências da norma com relação aos valores mínimos de torque de partida, fator de potência e da máxima corrente de partida.

## Perdas suplementares

As perdas suplementares são um importante componente das perdas totais do motor e a sua redução é essencial para a obtenção de um efetivo alto rendimento do motor.

São exemplos de perdas suplementares: perdas por pulsação do fluxo magnético nos dentes, perdas devidas a harmônicos superiores do campo magnético, perdas por imperfeições e tolerâncias construtivas.

As normas internacionais não apresentam concordância em relação ao peso dessas perdas para o desempenho do motor. Dependendo da norma consultada, os percentuais variam entre 0,5% (Norma IEC, usada na União Européia) e 10% a 15%. As normas japonesas não consideram as perdas suplementares, enquanto a Nema (americana) e a CSA (canadense) determinam procedimentos para determinar as perdas por meio de ensaios.



### Fique ligado!

As perdas suplementares são as mais difíceis de serem reduzidas, mas representam uma grande contribuição para o aumento do rendimento do motor. Devido à sua natureza, elas podem ser reduzidas por meio da otimização do projeto e com cuidados de qualidade na fabricação.

Para entender melhor a importância das perdas suplementares, é interessante enfatizar que os vários tipos de perdas dos motores, tais como as perdas no núcleo, perdas mecânicas e as perdas por efeito *Joule*, não são independentes. Ou seja, quando você altera uma, automaticamente, as outras serão alteradas.

Por exemplo, aumentar o comprimento do pacote de lâminas para redução das perdas magnéticas provoca aumento no comprimento dos condutores, o que, por sua vez, aumenta suas perdas por efeito *Joule*.



### Fique ligado!

O projeto final dos motores de alto rendimento deve ser fruto de um balanço dos vários tipos de perdas, de modo a se alcançar um alto rendimento, mantendo-se, porém, os níveis de conjugado de partida, capacidade de sobrecarga, corrente de partida e fator de potência.

Agora que você já conhece as características dos motores de alto rendimento, quando comparados com os motores elétricos padrões (ou *standard*), analise as suas vantagens e desvantagens no Quadro 13.

**Quadro 13 – Vantagens e desvantagens do motor de alto rendimento**

| Motor de alto rendimento   |  |
|--|--|
| Vantagens  | Desvantagens   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzem o consumo de energia elétrica.</li> <li>• Operam com menores temperaturas devido à redução das perdas.</li> <li>• Apresentam menor esforço térmico, ou seja, como as perdas por efeito <i>Joule</i> são menores, há menor aquecimento.</li> <li>• Suportam melhor as condições anormais de alimentação.</li> <li>• Apresentam rendimento maior e mais constante, mesmo com cargas abaixo da nominal.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo inicial bem mais elevado que o do motor elétrico (ou <i>standard</i>).</li> <li>• Maior peso.</li> <li>• A economia de energia só é razoável quando o fator de carga é alto.</li> </ul> |

### O motor de alto rendimento segundo a NBR 7094

A NBR 7094/1996, com revisões em 2000 e 2003 (*Máquinas Elétricas Girantes – Motores de Indução – Especificação*), fixa os requisitos básicos a serem atendidos pelos motores de indução, inclusive os de alto rendimento contemplados na revisão de 2003.

Nessa norma, o que nos interessa é a sessão 13, (*Rendimentos e Perdas*), subseções 13.1.1 e 13.1.2, fruto de uma revisão feita em 2003, que padroniza os índices de rendimento de duas linhas de motores trifásicos de indução de gaiola de esquilo: a linha padrão e a linha de alto rendimento.

Segundo essas orientações, os motores de alto rendimento deverão apresentar as seguintes características:

- regime tipo S1, o motor funcionando em regime contínuo;
- uma velocidade, nas categorias N e H, ou seja, motores de aplicação geral (categoria N) e para cargas de elevada inércia (categoria H);
- grau de proteção IP44, IP54 ou IP55, ou seja, um motor protegido contra objetos sólidos maiores do que 1 mm e contra projeções de água em qualquer direção (IP44); motor protegido contra poeira prejudicial ao motor e contra projeção de água em qualquer direção (IP54); motor protegido contra poeira prejudicial ao motor e contra jato de água em qualquer direção (IP55);
- potência nominal igual ou superior a 0,75 kW (1 cv) e até 150 kW (200 cv);
- 2, 4, 6 ou 8 pólos;
- 60 Hz;
- tensão nominal igual ou inferior a 600 V;
- qualquer forma construtiva, no que se refere ao rendimento de plena carga.

Para quaisquer outros motores de indução não há valores de rendimento normalizados nem método de ensaio estabelecido, cabendo ao fabricante marcar o rendimento na placa de identificação e indicar o método de ensaio nas propostas de compra e venda e catálogos técnicos.

### **Linha padrão**

A subseção 13.1.1, da NBR 7094, dispõe sobre os motores elétricos da linha padrão (*standard*).

Esta subseção apresenta o rendimento nominal normalizado para cada combinação potência x velocidade síncrona dos motores elétricos da linha padrão.

Entretanto, o rendimento nominal estabelecido pelo fabricante, na condição de plena carga, deve ser marcado na placa de identificação. O rendimento mínimo do motor não deve ser inferior ao valor obtido, aplicando-se ao rendimento nominal a tolerância estabelecida na seção 20.

A tolerância estabelecida para o rendimento na seção 20, da referenciada norma, não apresenta limite superior. Por outro lado, o limite inferior depende do valor do rendimento, determinado conforme a NBR 5383 (*Máquinas Elétricas Girantes – Parte I – Motores de Indução Trifásicos – Ensaios*) que é:

**Tabela 2 – Valores de rendimento e tolerância dos motores elétricos**

| Rendimento     | Tolerância                |
|----------------|---------------------------|
| $h \geq 0,851$ | inferior de $-0,2 (1-h)$  |
| $h < 0,851$    | inferior de $-0,15 (1-h)$ |

### Linha de alto rendimento

A linha de alto rendimento está contemplada na subseção 13.1.2 da NBR 7094. Os motores elétricos desta linha possuem rendimento nominal igual ou superior ao normalizado para cada combinação potência x velocidade síncrona dos motores da linha padrão.



#### Fique ligado!

Conheça estes valores, consultando a Tabela 17, da NBR 7094, na revisão de 2003, colocada em anexo neste material didático.

Este rendimento nominal, na condição de plena carga, deve ser marcado na placa de identificação. O rendimento mínimo do motor não deve ser inferior ao valor obtido, aplicando-se ao rendimento nominal a tolerância estabelecida na seção 20, comentada acima.

O rendimento nominal, citado na NBR 5383/1983, representa o rendimento médio de uma grande quantidade de motores do mesmo projeto. Ele deve ser expresso em porcentagem com três dígitos.

Para que você possa comparar o rendimento do motor padrão e do motor de alto rendimento, apresentamos, a seguir, uma tabela comparativa de valores mínimos dos dois tipos de motores.

Tabela 3 – Rendimentos nominais mínimos

| cv ou<br>hp | Kw   | Padrão          |      |      |      | Alto rendimento |      |      |      |
|-------------|------|-----------------|------|------|------|-----------------|------|------|------|
|             |      | Número de pólos |      |      |      | Número de pólos |      |      |      |
|             |      | 2               | 4    | 6    | 8    | 2               | 4    | 6    | 8    |
| 1,0         | 0,75 | 77,0            | 78,0 | 73,0 | 66,0 | 80,0            | 80,5 | 80,0 | 70,0 |
| 1,5         | 1,1  | 78,5            | 79,0 | 75,0 | 73,5 | 82,5            | 81,5 | 77,0 | 77,0 |
| 2,0         | 1,5  | 81,0            | 81,5 | 77,0 | 77,0 | 83,5            | 84,0 | 83,0 | 82,5 |
| 3,0         | 2,2  | 81,5            | 83,0 | 78,5 | 78,0 | 85,0            | 85,0 | 83,0 | 84,0 |
| 4,0         | 3,0  | 82,5            | 83,0 | 81,0 | 79,0 | 85,0            | 86,0 | 85,0 | 84,5 |
| 5,0         | 3,7  | 84,5            | 85,0 | 83,5 | 80,0 | 87,5            | 87,5 | 87,5 | 85,5 |
| 6,0         | 4,5  | 85,0            | 85,5 | 84,0 | 82,0 | 88,0            | 88,5 | 87,5 | 85,5 |
| 7,5         | 5,5  | 86,0            | 87,0 | 85,0 | 84,0 | 88,5            | 89,5 | 88,0 | 85,5 |
| 10          | 7,5  | 87,5            | 87,5 | 86,0 | 85,0 | 89,5            | 89,5 | 88,5 | 88,5 |
| 12,5        | 9,2  | 87,5            | 87,5 | 87,5 | 86,0 | 89,5            | 90,0 | 88,5 | 88,5 |
| 15          | 11   | 87,5            | 88,5 | 89,0 | 87,5 | 90,2            | 91,0 | 90,2 | 88,5 |
| 20          | 15   | 88,5            | 89,5 | 89,5 | 88,5 | 90,2            | 91,0 | 90,2 | 89,5 |
| 25          | 18,5 | 89,5            | 90,5 | 90,2 | 88,5 | 91,0            | 92,4 | 91,7 | 89,5 |
| 30          | 22   | 89,5            | 91,0 | 91,0 | 90,2 | 91,0            | 92,4 | 91,7 | 91,0 |
| 40          | 30   | 90,2            | 91,7 | 91,7 | 90,2 | 91,7            | 93,0 | 93,0 | 91,0 |
| 50          | 37   | 91,5            | 92,4 | 91,7 | 91,0 | 92,4            | 93,0 | 93,0 | 91,7 |
| 60          | 45   | 91,7            | 93,0 | 91,7 | 91,0 | 93,0            | 93,6 | 93,6 | 91,7 |
| 75          | 55   | 92,4            | 93,0 | 92,1 | 91,5 | 93,0            | 94,1 | 93,6 | 93,0 |
| 100         | 75   | 93,0            | 93,2 | 93,0 | 92,0 | 93,6            | 94,5 | 94,1 | 93,0 |
| 125         | 90   | 93,0            | 93,2 | 93,0 | 92,5 | 94,5            | 94,5 | 94,1 | 93,6 |
| 150         | 110  | 93,0            | 93,5 | 94,1 | 92,5 | 94,5            | 95,0 | 95,0 | 93,6 |
| 175         | 132  | 93,5            | 94,1 | 94,1 |      | 94,7            | 95,0 | 95,0 |      |
| 200         | 150  | 94,1            | 94,5 | 94,1 |      | 95,0            | 95,0 | 95,0 |      |
| 250         | 185  | 94,1            | 94,5 |      |      | 95,4            | 95,0 |      |      |

Fonte: Decreto nº 4.508, de 11 de dezembro de 2002.

## Voltando ao desafio

Após ler este capítulo, você já pode afirmar que a escolha do departamento de engenharia da fábrica de cerveja está correta.

O primeiro aspecto a ser observado é que esse motor dispõe de uma nova tecnologia que oferece um rendimento superior ao dos motores antigos.

As determinações da NBR 7094/1996 para os motores de alto rendimento seguidas à risca resultarão na produção de um motor que trará, para qualquer empresa que o utilizar, uma redução de consumo da ordem de 3,5%. Isso parece pouco, mas não é se considerarmos que uma empresa multinacional que fabrica cerveja tem um consumo de energia enorme e, se considerarmos o preço do fornecimento dessa energia, o retorno financeiro é direto e altamente compensador. Acrescente-se a isso o fato de que o ganho não se restringe ao fator financeiro, mas a custos posteriores relacionados com a manutenção e menor necessidade de correção do fator de potência.

Imagine, então, a economia que a substituição dos motores hoje em funcionamento no parque industrial brasileiro traria!

## Resumindo

Os motores de indução trifásicos são largamente usados nas indústrias brasileiras. O peso dessa utilização evidencia a necessidade de focar em medidas para alcançar a eficiência energética desse tipo de motor.

A principal vantagem do motor de indução trifásico é a sua simplicidade construtiva e a conseqüente capacidade de operar sem necessidade de contato com os enrolamentos do rotor. Isso reduz significativamente os custos e a manutenção.

Para escolher um motor adequado para uma determinada necessidade, há dados que são muito importantes e que correspondem a essas características. Eles são:

- potência nominal;
- fator de serviço;
- tensão nominal;

- corrente nominal;
- frequência nominal;
- escorregamento;
- torque;
- velocidade;
- rendimento;
- perdas.

Do ponto de vista de eficiência energética, os motores elétricos de alto rendimento apresentam benefícios na sua utilização. Suas principais vantagens, quando comparados com os motores elétricos padrões (ou *standard*), são:

- reduzem o consumo de energia elétrica;
- operam com menores temperaturas devido à redução das perdas;
- apresentam menor esforço térmico, ou seja, como as perdas por efeito *Joule* são menores, há menor aquecimento;
- suportam melhor as condições anormais de alimentação;
- apresentam rendimento maior e mais constante, mesmo com cargas abaixo da nominal.

A NBR 7094/1996, com revisões em 2000 e 2003 (*Máquinas Elétricas Girantes – Motores de Indução – Especificação*), fixa os requisitos básicos a serem atendidos pelos motores de indução, inclusive os de alto rendimento contemplados na revisão de 2003.

## Aprenda mais

Para aprender mais sobre os motores estudados neste capítulo, consulte catálogos eletrônicos, disponíveis na Internet. Você poderá, também, fazer a pesquisa por meio de uma ferramenta de busca, digitando “*motor de indução trifásico*” ou “*motores de alto rendimento*”.

Localize os principais fabricantes e leia as suas dicas. Não deixe de consultar as referências bibliográficas ao final deste material.





## Capítulo 5

---

# NORMAS E ENSAIOS DE MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO

### Iniciando nossa conversa

Um dos maiores legados que a Revolução Industrial deixou para o mundo moderno foi o conceito de padronização. Sem ela, seria impossível comprar uma lâmpada elétrica para substituir outra já existente. Isso vale para todos os produtos industrializados: desde o mais simples parafuso até o mais sofisticado aparelho eletrônico.

Todo o fabricante é obrigado a produzir peças de reposição para o produto que fabrica. Você já pensou a confusão que seria se cada um resolvesse fazer as coisas à sua maneira? Regras importantes como a segurança do usuário poderiam ser esquecidas.

Para isso servem as normas. Elas são criadas para que haja uma perfeita intercambialidade entre os componentes de qualquer produto industrializado, bem como para garantir a segurança de quem o utiliza.

Com o motor elétrico acontece a mesma coisa. Ele tem características bem definidas, ou seja, são padronizados segundo normas específicas. Isto facilita sua escolha ou sua manutenção. Estas normas são nossa fonte de consulta quanto aos principais valores adotados na sua fabricação.

O conhecimento delas nos dá a certeza de que o motor, uma vez instalado, trabalhará dentro de parâmetros esperados e poderá ser trocado por outro absolutamente igual. Para qualquer empresa, isso é garantia de que sua produção jamais sofrerá interrupções e nem queda de qualidade, ao menos no que se refere à sua linha de produção.

As principais normas brasileiras relacionadas com os motores são o assunto deste capítulo.

## Objetivo

O estudo deste capítulo tem por objetivo:

- conhecer as normas de fabricação de motores de indução e respectivos ensaios.

## Um desafio para você

Uma empresa mineradora deseja adquirir um lote de motores para compor o estoque de manutenção de suas diversas frentes de mineração.

O comprador da empresa recebeu várias propostas de fornecimento e ficou entusiasmado com a oferta de uma empresa chinesa que apresentou a melhor proposta financeira.

Como o fornecedor era desconhecido, a diretoria da empresa aprovou a compra com a condição de que fosse enviado ao menos um motor de amostra, que deveria passar por testes e ensaios de conformidade com as normas brasileiras.

O instituto brasileiro que testou o motor dentro das condições de utilização, ou seja, em ambientes com alta concentração de partículas de pó, não aprovou o motor para o uso indicado, considerando os itens isolamento e grau de proteção.

Quais foram as normas brasileiras para motores que não foram atendidas nesses itens?

Leia o capítulo a seguir e tente responder a esta pergunta.

## Continuando nossa conversa

### Normalização

A padronização foi o primeiro passo para a normalização.



#### Fique ligado!

Normalização é um conjunto de critérios estabelecidos entre as partes interessadas, ou seja, técnicos, engenheiros, fabricantes, consumidores e instituições, para padronizar produtos, simplificar processos produtivos e garantir um produto confiável que atenda às necessidades de seu usuário.

Do processo de normalização surgem as normas que são documentos que contêm informações técnicas para uso de fabricantes e consumidores. Elas são elaboradas a partir da experiência acumulada na indústria e no uso, e a partir dos avanços tecnológicos que vão sendo incorporados à criação e fabricação de novos produtos.

O processo de normalização que se iniciou por volta de 1900 e se estendeu até os anos 80, concentrou seus esforços na criação de normas que visavam à especificação e à definição de produtos industriais, agrícolas e outros. Nesse período, a maior atenção da normalização esteve voltada para a padronização de peças usadas na construção de máquinas e de equipamentos.

Atualmente as normas englobam questões relativas a terminologias, glossários de termos técnicos, símbolos e regulamentos de segurança entre outros. Por causa disso, os objetivos atuais da normalização referem-se à:

- simplificação, ou seja, à limitação e redução da fabricação de variedades desnecessárias de um produto;
- comunicação, ou seja, ao estabelecimento de linguagens comuns que facilitem o processo de comunicação entre fabricantes, fornecedores e consumidores;

- economia global, isto é, à criação de normas técnicas internacionais que permitam o comércio de produtos entre países;
- segurança, quer dizer, à proteção da saúde e da vida humana;
- proteção dos direitos do consumidor, isto é, à garantia da qualidade do produto.

A seguir, vamos aprofundar nossos conhecimentos sobre normas técnicas brasileiras.

## **Normas técnicas brasileiras**

O atual modelo brasileiro de normalização foi implantado a partir de 1992 e tem o objetivo de descentralizar e agilizar a elaboração de normas técnicas. Para isso, foram criados o Comitê Nacional de Normalização (CNN) e o Organismo de Normalização Setorial (ONS).

O CNN tem a função de estruturar todo o sistema de normalização, enquanto cada ONS tem como objetivo agilizar a produção de normas específicas de seus setores. Para que os ONS passem a elaborar normas de âmbito nacional, eles devem se credenciar e ser supervisionados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A ABNT é uma entidade privada, sem fins lucrativos, e a ela compete coordenar, orientar e supervisionar o processo de elaboração de normas brasileiras, bem como elaborar, editar e registrar as referidas normas (NBR).

Para que os produtos brasileiros sejam aceitos nos mercados internacionais, as normas da ABNT devem ser elaboradas, de preferência, seguindo as diretrizes e instruções de associações internacionais de normalização como a ISO (*International Standard Organization*), com sede em Genebra, na Suíça, e que significa Organização Internacional de Normas) e a IEC (*International Electrotechnical Commission*), que quer dizer Comissão Internacional de Eletrotécnica, utilizando a forma e o conteúdo das normas internacionais, acrescentando-lhes, quando necessário, as particularidades do mercado nacional.

Confira, no Quadro 14, os tipos de normas elaboradas pela ABNT.

**Quadro 14 – Tipos de normas elaboradas pela ABNT**

| Tipos                       | Para que servem  |
|-----------------------------|--|
| Normas de procedimento      | Fornecem orientações sobre a maneira correta de empregar materiais e produtos; executar cálculos e projetos; instalar máquinas e equipamentos; realizar controle de produtos.                          |
| Normas de especificação     | Fixam padrões mínimos de qualidade para os produtos;   |
| Normas de padronização      | Fixam formas, dimensões e tipos de produtos usados na construção de máquinas, equipamentos e dispositivos mecânicos.   |
| Normas de terminologia      | Definem, com precisão, os termos técnicos aplicados a materiais, máquinas, peças e outros artigos;   |
| Normas de classificação     | Ordenam, distribuem ou subdividem conceitos ou objetos, bem como estabelecem critérios de classificação a serem adotados.  |
| Normas de métodos de ensaio | Determinam a maneira de se verificar a qualidade das matérias-primas e dos produtos manufaturados.   |
| Normas de simbologia        | Estabelecem convenções gráficas para conceitos, grandezas, sistemas ou partes de sistemas, com a finalidade de representar esquemas de montagem, circuitos, componentes de circuitos, fluxogramas etc. |



### Fique ligado!

A simbologia facilita a comunicação entre fabricantes e consumidores. Sem códigos normalizados, cada fabricante teria que escrever extensos manuais para informar as características dos equipamentos, projetos, desenhos, diagramas, circuitos e esquemas de seus produtos.

## Normas para eletricidade e eletrônica

Para existir, uma norma percorre um longo caminho. No caso de eletricidade, ela é discutida inicialmente no Comitê Brasileiro de Eletricidade (Cobei).

O Cobei tem diversas comissões de estudos formadas por técnicos que se dedicam a cada um dos assuntos específicos, que fazem parte de uma norma. Estes profissionais, muitas vezes partem de um documento básico sobre o tema a ser normatizado, produzido pelo IEC. Como este documento é feito por uma comissão internacional, ele precisa, como já foi dito, ser adaptado para ser aplicado no Brasil.

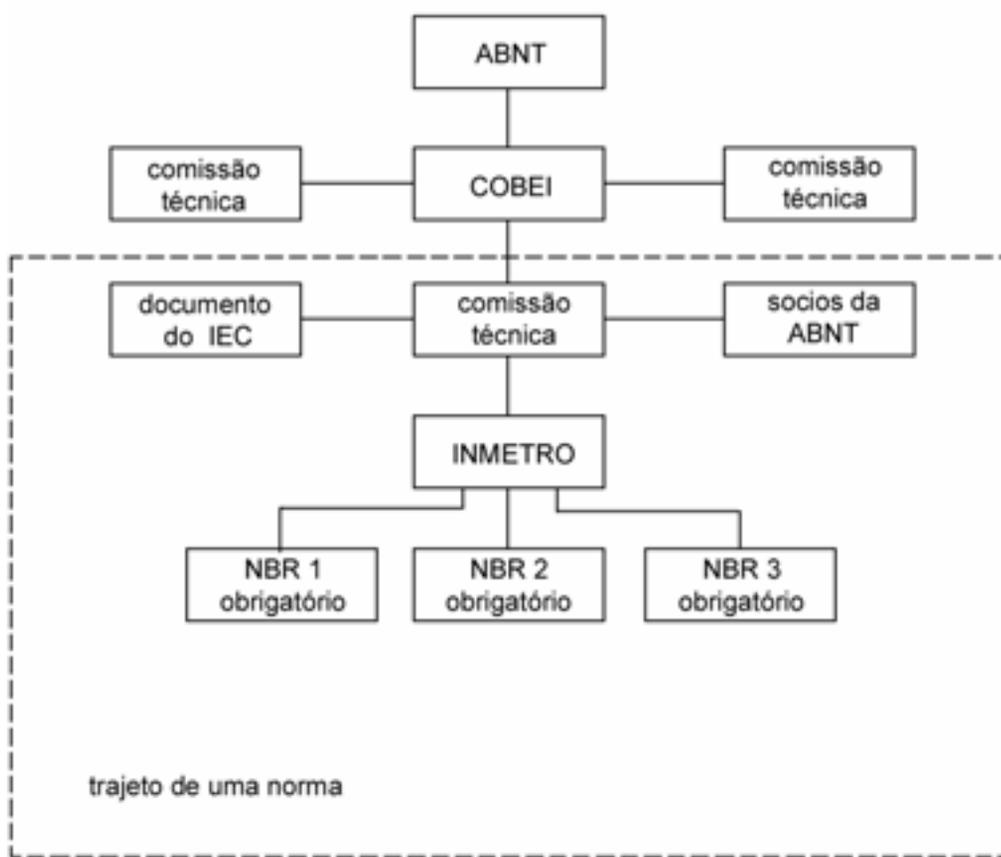
Feitos os estudos, tem-se um projeto de norma que recebe um número da ABNT, é votado por seus sócios e retorna à comissão técnica que pode aceitar ou não as alterações propostas na votação. Se aprovado, transforma-se em norma ABNT que, em seguida é encaminhada ao Inmetro, órgão federal ligado ao Ministério da Justiça, onde receberá uma classificação e será registrada.

Esta norma poderá ser:

- uma NBR 1, o que a torna obrigatória;
- uma NBR 2, obrigatória para órgãos públicos e chamada de referendada; ou
- uma NBR 3, chamada de registrada e que pode ou não ser seguida.

O organograma simplificado da ABNT, mostrado a seguir, representa o trajeto seguido por uma norma até que ela seja aprovada.

Figura 46 – Organograma simplificado da ABNT



Periodicamente as normas devem ser revistas. Em geral, esse exame deve ocorrer em intervalos de cinco anos. Todavia, o avanço tecnológico pode determinar que algumas normas sejam revistas em intervalos menores de tempo.

### Normas ABNT para os motores trifásicos de indução de rotor gaiola de esquilo

As principais normas ABNT relativas aos motores de indução trifásicos de gaiola são, entre outras, as seguintes:

- NBR 7094/2003 – *Máquinas elétricas girantes – Motores de indução – Especificação*: fixa requisitos básicos a serem atendidos pelos motores de indução;
- NBR 5031/1977 – *Máquinas elétricas girantes – Classificação das formas construtivas e montagens – Classificação*: define símbolos para formas construtivas e montagens de máquinas elétricas girantes, aplicando-se não só às máquinas de uso geral como às de uso especial;

- NBR 5110/1977 – *Máquinas elétricas girantes – Classificação dos métodos de resfriamento – Classificação*: estabelece designações para alguns tipos de máquinas girantes e define os métodos de circulação dos meios refrigerantes em máquinas elétricas girantes;
- NBR 5383/1983 – *Máquinas elétricas girantes – Parte 1 – Motores de indução trifásicos – ensaios*: estabelece procedimentos a serem seguidos na execução de ensaios destinados à determinação das características de máquinas de indução. Não se aplica às máquinas para tração elétrica;
- NBR 5432/1983 – *Máquinas elétricas girantes – Dimensões e potências nominais – Padronização*: padroniza dimensões de fixação e de ponta de eixo para máquinas de corrente alternada;
- NBR 5457/1980 – *Eletrotécnica e eletrônica – Máquinas girantes – Terminologia*: define termos relacionados com máquinas elétricas girantes, que funcionam por indução eletromagnética;
- NBR 7034/1981 – *Materiais isolantes elétricos – Classificação térmica – Classificação*: designa classes e temperatura dos materiais isolantes elétricos utilizados em máquinas, aparelhos e equipamentos elétricos com base na temperatura máxima que podem suportar em condições normais de operação durante a sua vida útil;
- NBR 7565/1982 – *Máquinas elétricas girantes – Limites de ruído – Especificação*: fixa limites máximos de nível de potência sonora, em decibéis na escala de ponderação A, dB(A), para ruído transmitido através do ar, emitido por máquinas elétricas girantes;
- NBR 9884/1987 – *Máquinas elétricas girantes – Graus de proteção proporcionados pelos invólucros – Especificação*: fixa condições exigíveis para os graus de proteção proporcionados pelos invólucros de máquinas elétricas girantes, no que se refere a: proteção de pessoas contra contato ou aproximação com partes sob tensão e contra contatos com partes em movimento (exceto eixos girantes lisos e similares) dentro do invólucro e proteção da máquina contra a penetração de corpos sólidos estranhos e da penetração de água;
- NBR 8441/1984 – *Máquinas elétricas girantes – Motores de indução de gaiola, trifásicos, fechados – Correspondência entre potência nominal e dimensões*: compatibiliza a potência nominal em regime contínuo e a velocidade síncrona com as dimensões de fixação e de ponta de eixo e a designação dos flanges;

- NBR 9883/1995 – *Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas – Segurança aumentada – Tipo de proteção “E”*: fixa requisitos específicos para o projeto, construção, inspeção e marcação de equipamentos elétricos com segurança aumentada, tipo de proteção “E”, de modo a torná-los adequados à aplicação em ambientes com atmosferas explosivas.

Nesta relação, as datas de publicação das respectivas normas correspondem às últimas revisões até a data da publicação deste guia. Assim, é importante ao consultar uma determinada norma, verificar se ela se encontra na sua versão mais recente.

Em caso de dúvida, consulte a ABNT nos seguintes endereços:

e-mail: atendimento.sp@abnt.org.br

Página na Internet: [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)

Estes endereços são válidos até a data da publicação deste guia.

## **Ensaio em motores trifásicos de indução de rotor gaiola de esquilo**

Os métodos de ensaio de motores elétricos de indução quanto às características de desempenho estão indicados na NBR 5383/1983, e especificados na NBR 7094/2003.

O fabricante realiza ensaios para comprovar o previsto no projeto. Já o usuário pode solicitar ensaios do motor para obter garantia de que ele atenderá às suas necessidades.

Estes ensaios são classificados em:

- de rotina;
- de tipo;
- especiais;
- de laboratório;
- de determinação de rendimento;
- de campo.

## Ensaio de rotina

Os ensaios de rotina são aqueles realizados em cada motor de indução, durante ou após a fabricação, para verificar se ele satisfaz a critérios previamente definidos.

Do ensaio de rotina fazem parte:

- ensaio em vazio, onde são medidas as correntes nas três fases e a potência de entrada;
- ensaio com rotor bloqueado, onde são medidas as correntes, o conjugado com rotor bloqueado.

O fabricante pode utilizar este tipo de ensaio para detectar possíveis falhas na gaiola do rotor.

- ensaio de dielétrico: verifica as falhas no sistema de isolamento entre as fases e contra a massa. Neste ensaio é aplicada uma tensão de  $1000 + 2 \times V_n$  (tensão nominal) durante 1 min;
- medição da resistência de isolamento: o valor mínimo é especificado na NBR 7094/2003;
- medição da resistência dos enrolamentos: serve para verificação de dados de projeto e de bobinagem.

## Ensaio de tipo

Os ensaios de tipo são realizados em protótipos ou amostras de lote de fabricação para levantamento das características gerais de desempenho. Além dos ensaios de rotina, são feitos:

- ensaio de temperatura: determina a elevação de temperatura sob carga;
- determinação de rendimentos (ver item 15.1 da NBR 5383/1983), perdas, fator de potência e escorregamento a 100%, 75% e 50% da carga nominal;
- determinação do conjugado máximo e nominal.

## Ensaio especiais

Os ensaios classificados como especiais são aqueles não considerados como de rotina ou de tipo e devem ser realizados mediante acordo prévio entre fabricante e comprador. Além dos ensaios de tipo e de rotina, podem ser solicitados:

- ensaio de nível de ruído (NBR7565/1982);
- ensaio de vibração;
- ensaio de sobrevelocidade;
- ensaio de tensão no eixo e medição de resistência de isolamento do mancal;
- medição de tangente de perdas (motores de alta tensão).

A NBR 7094/2003 prescreve também que:

“Os ensaios devem ser realizados, sempre que possível, nas instalações do fabricante, conforme a NBR 5383/1983 ou norma específica. Quando não for possível, os ensaios a serem realizados e os métodos utilizados devem ser objeto de acordo entre fabricante e comprador.”

## Ensaio de laboratório

Os ensaios de laboratório, para levantamento das características dos motores elétricos requerem equipamentos adequados e de boa precisão.

Para determinação dos parâmetros elétricos e da potência da entrada, são necessários medidores de tensão (voltímetros), corrente (amperímetros) e de potência ativa (wattímetros).

Para determinação da potência de saída, são utilizados dinamômetros para aplicação de carga variável, sensores e medidores de conjugado (balanças, células de carga fixas ou rotativas com condicionador de sinal) e medidor de rotação.

## Ensaio de determinação do rendimento

Dentre os ensaios citados, o ensaio de tipo que se refere à determinação do rendimento e do fator de potência, nas condições de 100%, 75% e 50% da carga nominal, é o que mais diretamente se relaciona com os aspectos da eficiência

operacional dos motores elétricos. Portanto, são muito importantes para se alcançar a eficiência energética.

As normas internacionais, como a IEEE-112 (EUA), IEC-34-2 (Européia), JEC-37 (Japão), C 390 (Canadá) bem como a brasileira NBR 5383/1983, prescrevem diversos métodos para a determinação do rendimento dos motores de indução trifásicos.

Estes métodos podem ser divididos em dois grupos:

- direto;
- indireto.

O método direto e o método indireto estão especificados na norma NBR 5383/1983 no item 15 – *Determinação do rendimento*.

## **Ensaio de campo**

O trabalho de levantamento em campo requer um pouco de experiência prática, tal como a capacidade de identificação característica do tipo de carga que está sendo acionada.

Podemos identificar três tipos básicos de cargas:

- contínuas de velocidade contínua;
- variáveis de velocidade contínua;
- variáveis com velocidades variáveis.

Para aplicações de carga contínua e velocidade contínua, aparelhos simples e relativamente baratos como um amperímetro tipo alicate, um tacômetro e, se possível, um termômetro a laser permitem o levantamento de dados suficientes para a determinação da condição de carga, de parâmetros de alimentação, temperatura, rendimento e fator de potência, como veremos mais adiante.

Nas aplicações de carga variável e velocidade contínua, é imprescindível o uso dos chamados analisadores de energia, que permitem o registro ao longo do tempo de uma série de parâmetros elétricos para uma posterior análise.

**Figura 47 – Analisador de energia**

O maior empecilho para essa medição é o alto custo destes equipamentos, que só se justificam pelo uso contínuo em trabalhos de análise não só de motores como também de redes de alimentação, na análise de potências ativa, reativa e aparente, desbalanceamentos de tensão e correntes, análise de harmônicos, etc.

O analisador de energia pode ser utilizado em aplicações de cargas e velocidades variáveis e, também, nas aplicações de cargas e velocidades contínuas.

### **Voltando ao desafio**

O motor testado para a mineradora não se enquadrou nas exigências das normas NBR 7094/2003 (*Máquinas Elétricas Girantes – Motores de Indução – Especificação*) e da NBR 7034 (*Materiais Isolantes Elétricos – Classificação Térmica – Classificação*).

### **Resumindo**

Ao ler este capítulo, você deve ter notado que é preciso conhecer as normas da ABNT e lê-las com cuidado.

As principais normas ABNT relativas aos motores de indução trifásicos de gaiola são; entre outras, as seguintes:

- NBR 7094 – *Máquinas elétricas girantes – Motores de indução – Especificação*;

- NBR 5031 – *Máquinas elétricas girantes – Classificação das formas construtivas e montagens – Classificação;*
- NBR 5110 – *Máquinas elétricas girantes – Classificação dos métodos de resfriamento – Classificação;*
- NBR 5383 – *Máquinas elétricas girantes – Parte I – Motores de indução trifásicos – Ensaio;*
- NBR 5432 – *Máquinas elétricas girantes – Dimensões e potências nominais – Padronização;*
- NBR 5457 – *Eletrotécnica e eletrônica – Máquinas girantes – Terminologia;*
- NBR 7034 – *Materiais isolantes elétricos – Classificação térmica – Classificação;*
- NBR 7565 – *Máquinas elétricas girantes – Limites de ruído – Especificação;*
- NBR 9884 – *Máquinas elétricas girantes – Graus de proteção proporcionados pelos invólucros – Especificação.*

Conhecer essas normas de motores de indução ajuda a especificar e a ter certeza se um motor está de acordo com o projeto e se atende às necessidades quanto ao alcance das metas de eficiência energética.

## **Aprenda mais**

Para aprender mais sobre normas, consulte a ABNT nos endereços fornecidos neste capítulo.





## Capítulo 6

---

# PLACA DE IDENTIFICAÇÃO DO MOTOR

### Iniciando nossa conversa

Você já reparou que todo motor tem uma espécie de cartão de apresentação, sempre bem preso a ele e que contém suas principais características? Esse cartão acompanha o motor durante toda a sua vida útil.

Estamos falando da placa de *identificação do motor*. Ela contém informações importantes e entender estes dados é imprescindível para saber se o motor certo está sendo usado no lugar certo e com o melhor resultado.

Quando é preciso fazer algum trabalho de manutenção ou, na necessidade de substituir um motor antigo e velho por um mais eficiente, os dados de placa são um excelente ponto de partida. É isso o que você vai estudar neste capítulo.

### Objetivos

O estudo deste capítulo tem como objetivos:

- Identificar dados de placa;
- Ler e interpretar dados de placa;
- Conhecer estratégia para identificar um motor sem placa;
- Conhecer a influência das condições do ambiente na escolha e utilização do motor elétrico.

## Um desafio para você

Uma empresa de autopeças tem em sua planta industrial uma grande quantidade de motores de indução e, em sua parada anual para manutenção geral, encontrou dois motores, que, pela aparência externa da carcaça, parecem ser idênticos. Um deles tem a placa de identificação e está instalado em uma área sujeita a explosões. O outro está estocado na manutenção, porém sem placa de identificação. Em caso de avaria do motor identificado, o pessoal da manutenção poderá usar o motor sem identificação que aparentemente é igual?

Leia este capítulo e tente resolver esse desafio.

## Continuando nossa conversa

### Dados da placa para motores trifásicos de indução de rotor gaiola de esquilo

Provavelmente, você já reparou que nos eletrodomésticos que existem em sua casa, sempre há uma plaquinha de metal, ou uma etiqueta, que contém dados sobre o aparelho. Eles ajudam o usuário a ligá-lo na tomada correta, por exemplo.

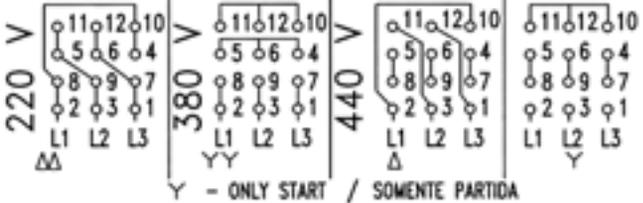
Com certeza, você ou alguma pessoa sua conhecida já ligou um aparelho que necessita de tensão de alimentação de 127 V em uma tomada de 220 V. Ou o contrário! Seja qual for o engano, um prejuízo sempre acontecerá: ou o aparelho se queima ou não funciona adequadamente.

Todo motor também tem essa espécie de *RG*. É a placa de identificação que, apesar de ser um componente aparentemente simples, não pode conter os dados que o fabricante do motor quiser. Pela sua importância, a placa de identificação dos motores contém dados específicos, que são definidos por meio de normas.

No Brasil, os dados de placa são definidos pela norma NBR 7094, cujo título é Máquinas elétricas girantes – Motores de indução – Especificação, publicada sob responsabilidade da ABNT. (2003)

A figura a seguir mostra um exemplo de placa de identificação com os dados exigidos pela NBR 7094, para motores de indução trifásicos.

Modelo de placa de dados.

|   |      |  |                  |   |          |
|---|------|--|------------------|---|----------|
| <b>MOTOR S.A.</b>   |      | <b>ALTO RENDIMENTO</b>   |                  | <br>NBR7094 |          |
| ~ 3 132S  |      | 25MAR04  |                  | BM20035   |          |
| MOTOR INDUCAO - GAIOLA<br>INDUCTION MOTOR-SQUIRREL CAGE   |      | Hz   | 60               | CAT   | N        |
| kW(HP-cv)   |      | 7.5(10)  |                  | RPM<br>min <sup>-1</sup>  | 1760     |
| FS<br>SF  | 1.15 | ISOL<br>INSUL  | B Δ† K           | Ip/In   | 7.8 IP55 |
| 220/380/440 V   |      |  | 26.4/15.3/13.2 A |   |          |
| REG<br>DUTY S1  |      | MAX AMB 40°C   |                  | ALT 1000 m  |          |
| REND.X= 91.0  |      | COSφ= 0.82   |                  | SFA   |          |
|  <p>Y - ONLY START / SOMENTE PARTIDA</p>   |      |  |                  |   |          |
|  → 6308-ZZ<br>→ 6207-ZZ  |      | MOBIL POLYREX EM   |                  | 64 Kg   |          |
|  <b>PROCEL</b> NBR7094<br>REGULAMENTO - RESP/004-MOT<br>RENDIMENTO E FATOR DE POTÊNCIA<br>APROVADOS PELO INMETRO |      |  |                  |   |          |



### Atenção!

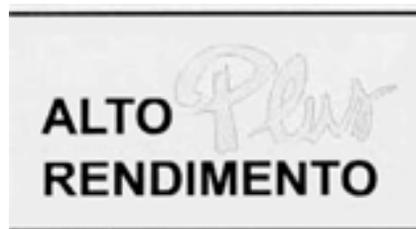
A disposição dos itens na placa pode variar de acordo com cada fabricante.

Na NBR 7094, capítulo 18, cujo título é *Marcação*, estão definidas as informações que devem constar obrigatoriamente em cada item da placa de identificação. Esses itens são apresentados a seguir.

Nome e/ou marca do fabricante



**Denominação principal do equipamento e tipo:** motor de indução e tipo de motor (de gaiola ou de anéis). No caso de motores de alto rendimento, isso deve ser mencionado.

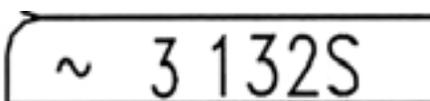


Número da Norma (NBR 7094), quando o motor nela se enquadrar



CE se refere a produto aprovado na Comunidade Européia.

**Modelo (MOD):** atribuído por meio de um código criado pelo fabricante para identificar o motor em seus catálogos.



Na placa usada como modelo, ~ 3 indica que o motor é de corrente alternada e trifásico. 132S indica as dimensões da carcaça de acordo com as exigências da NBR 5432 (Máquinas elétricas girantes – Dimensões e potências nominais – Padronização)

Se constar do modelo, esse número pode ser omitido.

Número de série (Nº) e/ou Código de data de fabricação

25MAR04 BM20035

**Tipo de motor:** motor de indução tipo gaiola de esquilo. No caso de motores de alto rendimento, isso deve ser mencionado.

MOTOR INDUCAO - GAIOLA  
INDUCTION MOTOR-SQUIRREL CAGE

Frequência nominal

Hz 60

**Categorias de desempenho:** indica características de conjugado de partida que são divididas em cinco categorias N, H, D, NY e HY, como já foi visto anteriormente. Na placa-exemplo, a categoria de desempenho é CAT.N. Isso indica um motor de aplicação geral, normalmente para cargas de baixa inércia.

CAT N

**Potência nominal:** é a potência mecânica nominal que o motor fornece na ponta de seu eixo e é dada em kW (*quillowatt*) e em cv (cavalo vapor). Na placa-exemplo, o valor indicado é 7,5 (10). Isso significa que a potência em *quillowatt* é 7,5 e seu equivalente em cv é 10.

Um cv equivale a 0,736 kW. Um hp (*horses power*), por sua vez, equivale a 0,746 kW.

|           |         |
|-----------|---------|
| kW(HP-cv) | 7.5(10) |
|-----------|---------|

**Velocidade nominal de rotação:** é a rotação que o motor desenvolve sob carga ou potência nominal. Na placa-exemplo, esse valor é 1760 rpm (rotações por minuto).

|                          |      |
|--------------------------|------|
| RPM<br>min <sup>-1</sup> | 1760 |
|--------------------------|------|

**Fator de serviço (FS):** trata-se de um dado que pode ser dispensado da placa quando for igual a 1 (um). Na placa-exemplo, o FS = 1,15. Isso significa que o motor poderá funcionar continuamente e em segurança com até 15% de sobrecarga.

|          |      |
|----------|------|
| FS<br>SF | 1.15 |
|----------|------|

O fator de serviço é um multiplicador que, quando aplicado à potência nominal do motor, indica a carga que pode ser acionada continuamente sob tensão e frequência nominais e com limite de temperatura de 10 K (Kelvin) acima do estabelecido na tabela de elevação da classe de isolamento (aplicável às classes B e F). A utilização do fator de serviço em regime contínuo implica a redução (50%) da vida útil do sistema de isolamento, quando comparado à condição de carga nominal. Portanto, é recomendável a utilização deste fator em regimes variáveis, esporádicos ou intermitentes.

**Classificação térmica (ISOL):** indica o tipo/classe de isolante utilizado na fabricação do motor.

|              |      |   |
|--------------|------|---|
| ISOL<br>INSL | B Δ† | K |
|--------------|------|---|

A Tabela 4 mostra algumas classes de isolantes. Atualmente as classes mais utilizadas são as classes B, F e H.

**Tabela 4 – Classes de isolantes**

| Classe de isolamento                                     | A   | E   | B   | F   | H   |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| Temperatura suportada pelo isolante (°C).                | 105 | 120 | 130 | 155 | 180 |
| Temperatura ambiente (°C).                               | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |
| Diferença de temperatura ao longo dos enrolamentos (°C). | 5   | 5   | 10  | 15  | 15  |
| Elevação de temperatura máxima em operação (Dt) (°C).    | 60  | 75  | 80  | 100 | 125 |

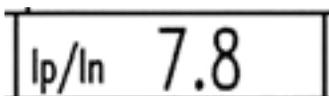
Na placa-exemplo, ISOL B significa que o isolante pode suportar até 130° C a uma temperatura ambiente de 40° C.

O valor da temperatura suportada pelos isolantes, de acordo com sua classe, significa que, quando o motor é submetido continuamente a essa temperatura, sua vida útil mínima esperada é de 20.000 horas.

Os valores da tabela estão na NBR 7034 (*Materiais isolantes elétricos – Classificação térmica – Classificação*) que designa classes e temperatura dos materiais isolantes elétricos utilizados em máquinas, aparelhos e equipamentos elétricos com base na temperatura máxima que podem suportar em condições normais de operação durante a sua vida útil.

**Δt K** (lê-se: delta t) significa elevação de temperatura. Quando não houver marcação, a elevação de temperatura é a normalizada. No caso da placa-exemplo, para a classe B, a elevação de temperatura é de 80 K (lê-se: oitenta graus Kelvin).

**Razão da corrente com rotor bloqueado:** indica quantas vezes a corrente com o rotor bloqueado é maior que a nominal e é um parâmetro utilizado para dimensionamento do sistema de alimentação e de proteção do motor. No caso de motores de várias velocidades será indicada a maior razão  $\frac{I_p}{I_n}$ .



No nosso exemplo de placa, a corrente nominal na ligação de 220 V, é de  $I_n = 26,4 \text{ A}$

$$I_p / I_n = 7,8$$

A corrente de linha com rotor bloqueado nesta tensão será de:

$$I_p (\Delta) = 26,4 \times 7,8 = 205,9 \text{ A}$$

Para a ligação estrela:

$$I_p (Y) = 15,3 \times 7,8 = 119,3 \text{ A.}$$



### Fique ligado!

A NBR 7094, no seu capítulo 6, define os valores máximos de potência aparente com rotor bloqueado de acordo com faixas de potência. O valor máximo de  $I_p/I_n$  para cada motor pode ser obtido multiplicando-se o valor da Tabela 5 em kVA/kW pelos valores do rendimento e fator de potências nominais do motor.

No nosso exemplo de placa, o valor máximo de  $I_p/I_n$  por norma é:

$$I_p/I_n = 12 \times 0,91 \times 0,82 = 8,95 \text{ (aprovado é na placa 7,8)}$$

**Tabela 5 – Valores máximos de potência aparente com rotor bloqueado**

| kW           | KVA / kW |
|--------------|----------|
| > 0,37 ≤ 6,3 | 13       |
| > 6,3 ≤ 25   | 12       |
| > 25 ≤ 63    | 11       |
| > 63 ≤ 630   | 10       |

## Grau de proteção proporcionado pelo invólucro, conforme NBR 9884 (IP XX)

A NBR 9884 (*Máquinas elétricas girantes – Graus de proteção proporcionados pelos invólucros – Especificação*) fixa condições exigíveis para os graus de proteção proporcionados pelos invólucros de máquinas elétricas girantes, no que se refere a: proteção de pessoas contra contato ou aproximação com partes sob tensão e contra contatos com partes em movimento (exceto eixos girantes lisos e similares) dentro do invólucro e proteção da máquina contra a penetração de corpos sólidos estranhos e da penetração de água.



Esse dado indica a proteção que a carcaça apresenta contra contatos acidentais de pessoas, e contra a penetração de elementos sólidos e líquidos que possam prejudicar o funcionamento do motor. Após as letras IP, o primeiro numeral está relacionado com a proteção contra penetração de corpos sólidos e o segundo com a proteção contra penetração de líquidos.

Em casos especiais, pode aparecer uma letra adicional (W, S, M) junto à sigla IP, como segue:

- IPW – indica que na sua fabricação o motor foi projetado para atender condições ambientes ou atmosféricas específicas, e é provido de proteção complementar previamente combinada entre fabricante e usuário;
- IPS – indica que o ensaio contra penetração de água será efetuado com o motor em repouso;
- IPM – indica que o ensaio contra penetração de água será efetuado com o motor em funcionamento.

O Quadro 15 (Índices de grau de proteção do invólucro do motor) mostra as proteções contra penetração de sólidos e líquidos de acordo com os numerais.

### Quadro 15 – Grau de proteção do invólucro do motor

| Índices do grau de proteção do invólucro do motor |   |  |
|---|---|--|
|   | Primeiro numeral                                    | Segundo numeral  |
| Numeral   | Proteção contra penetração de corpos sólidos.       | Proteção contra penetração de líquidos.  |
| 0   | Não protegido.                                      | Não protegido.   |
| 1   | Protegido contra objetos sólidos maiores de 50 mm.  | Protegido contra quedas verticais de gotas de água.                                    |
| 2   | Protegido contra objetos sólidos maiores de 12 mm.  | Protegido contra quedas de gotas de água com Inclinação máxima de 15°.                 |
| 3   | Protegido contra objetos sólidos maiores de 2,5 mm. | Protegido contra água aspergida de um ângulo de 60° da vertical.                       |
| 4   | Protegido contra objetos sólidos maiores de 1 mm.   | Protegido contra projeções de água em qualquer direção.                                |
| 5   | Protegido contra poeira prejudicial ao motor.       | Protegido contra jato de água em qualquer direção.                                     |
| 6   | Totalmente protegido contra poeira.                 | Protegido contra ondas do mar ou água projetada em jatos potentes.                     |
| 7   | -   | Protegido contra imersões em água, sob condições definidas de tempo e pressão.         |
| 8   | -   | Protegido para submersão contínua em água nas condições especificadas pelo fabricante. |

**Tensão nominal:** na placa devem ser indicadas as tensões (nominais) do motor e a forma como ele será conectado à rede.

220 / 380 / 440 V



### Fique ligado!

No Brasil, os valores de tensão para redes industriais trifásicas padronizados são:

- baixa tensão – 220 Volts, 380 Volts e 440 Volts.
- média tensão – 2300 Volts, 4160 Volts e 6600 Volts.

Os motores elétricos trifásicos podem ser fornecidos com possibilidade de ligação a uma tensão (três terminais), duas tensões (seis terminais) ou quatro tensões (doze terminais). A versão de duas tensões é a mais comum e a diferença entre elas é dada pela raiz de três. Assim, as tensões de placa mais comuns encontradas no mercado são:

- 220 V/380 V;
- 380 V/660 V;
- 440 V/760 V;
- 220 V/380 V/440 V/760 V.

Para cada tensão existe uma forma de conexão adequada que faz com que a tensão efetiva sobre as bobinas de cada fase do motor seja sempre, a mesma, e, conseqüentemente, também seu desempenho seja o mesmo.

**Corrente nominal:** indica o valor de corrente que será demandado da rede de alimentação quando o motor estiver fornecendo sua carga nominal, sob tensão e frequência nominal. Trata-se de um parâmetro muito importante no controle da eficiência energética do motor.

26.4/15,3/13.2 A

Nos motores elétricos, é possível identificar três valores importantes de correntes:

- $I_o$  = corrente do motor sem carga ou corrente a vazio;
- $I_n$  = corrente do motor com carga nominal;
- $I_p$  = corrente do motor com rotor bloqueado, às vezes mencionada (erroneamente) como corrente de partida.

A corrente do motor é um dos parâmetros importantes para indicação de sua condição de carga.

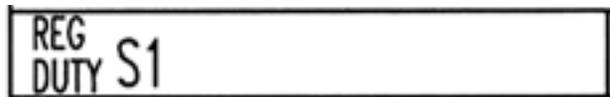
Na placa-exemplo, a corrente nominal indicada é 26,4A (Ampéres) quando a tensão aplicada é de 220 V. Quando em 380 V a corrente nominal é de 15,3 A. Finalmente, quando a tensão aplicada é de 440 V, a corrente nominal é de e 13,2 A.



## Fique ligado!

A corrente nominal é o dado principal a indicar se o motor está trabalhando dentro dos parâmetros da eficiência energética.

**Classe de características nominais ou regime tipo do motor (REG), quando diferente do regime contínuo:** esse dado indica o modo como se comporta a carga e é denominado de *regime de serviço* (regime tipo S1)



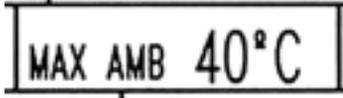
A NBR 7094 define 10 tipos de Regime de Serviço, designados pelas siglas S1 até S10. Eles são mostrados no Quadro 16.

### Quadro 16 – Tipo de regime de serviço

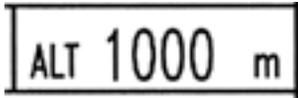
| Regime Tipo | Características   |
|-------------|---|
| S1          | Regime contínuo.  |
| S2          | Regime de tempo limitado.   |
| S3          | Regime intermitente periódico.  |
| S4          | Regime intermitente periódico com partidas.   |
| S5          | Regime intermitente periódico com frenagem elétrica.  |
| S6          | Regime de funcionamento contínuo e periódico com carga intermitente.                                |
| S7          | Regime de funcionamento contínuo e periódico com frenagem elétrica.                                 |
| S8          | Regime de funcionamento contínuo e periódico com mudanças correspondentes de carga e de velocidade. |
| S9          | Regime com variações não periódicas de carga e de velocidade.                                       |
| S10         | Regime com cargas constantes distintas.   |

O dado da placa-exemplo é REG. S1. Isso significa que o motor trabalhará em regime contínuo.

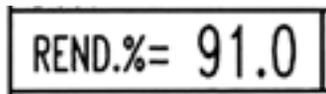
Temperatura ambiente máxima admissível, quando diferente de 40°C (AMB).



Altitude para a qual o motor foi projetado, quando superior a 1000 m (ALT)



**Rendimento nominal:** é o rendimento que o motor deve apresentar na condição de funcionamento nominal (a plena carga). Os valores tabelados e os marcados na placa de dados estão sujeitos às tolerâncias da NBR 7094.



Na placa dada como exemplo, o rendimento nominal é  $REND\% = 91,0\%$ . Isso significa que, em seu funcionamento em tensão e corrente nominais, esse é o rendimento que o motor apresentará, ou seja, seu grau de eficiência energética.

**Por definição o rendimento de um motor elétrico é a relação entre sua potência de saída e sua potência de entrada.**

$$\eta = \frac{P_s}{P_e}$$



### Fique ligado!

Em 11 de dezembro de 2002, foi sancionado o Decreto-Lei nº 4.508 (Anexo 1), aprovando a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução de rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importado, para os tipos Padrão e de Alto Rendimento. Você pode consultá-lo no anexo deste material.

Fator de potência nominal: expressa o co-seno do ângulo de deslocamento entre a tensão e a corrente. Na placa exemplo, o fator de potência é  $\text{Cos } \varphi$  0,82.

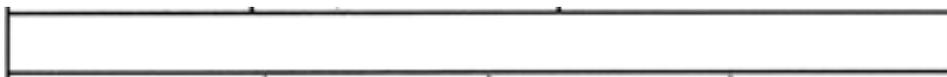
$$\text{COS } \varphi = 0.82$$

Na placa, além do rendimento, deverá constar o fator de potência nominal.

**Corrente de fator de serviço, quando maior que 1,15:** local onde constará a corrente de fator de serviço, quando maior que 1,15. Isso apresenta o nível de corrente necessário para o funcionamento do motor quando o seu fator de serviço for superior a 1,15. Na placa-exemplo, não há nenhum dado, porque o fator de serviço do motor não é superior a 1,15.

SFA

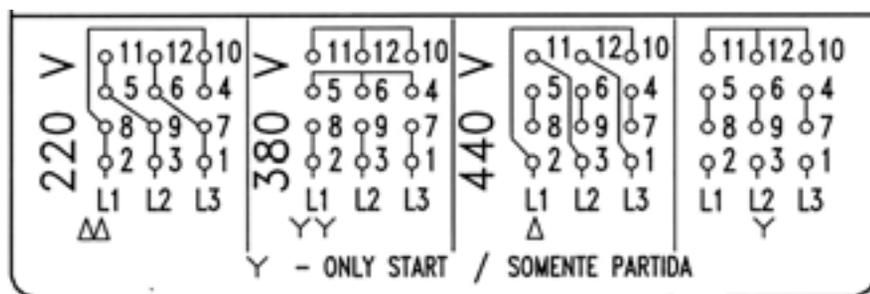
Espaço destinado a informações adicionais



**Diagrama de ligações:** aparece na placa de identificação quando existem vários modos de se fazer a ligação do motor.

O diagrama pode estar, também, próximo à caixa de ligações ou no interior desta com os terminais marcados indelevelmente de modo a permitir a utilização correta do diagrama de ligações.

A figura a seguir mostra os diagramas de conexão à rede com terminais identificados por números.



**Identificação dos mancais** (número dos rolamentos): identifica o tipo e número dos rolamentos utilizados, indicando o lado correto do acoplamento:

LA – Lado do acoplamento;

LOA – Lado oposto ao acoplamento.

No caso de rolamentos que necessitam de lubrificação periódica, devem constar na placa o intervalo entre as lubrificações, a quantidade e o tipo de graxa a ser utilizada.

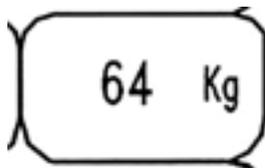
Na placa-exemplo os valores são 6308 ZZ e 6207 ZZ. Isso significa que, no lado do acoplamento (LA) é usado um rolamento 6308 ZZ e do lado oposto ao acoplamento (LOA) o rolamento 6207 ZZ e estão lubrificados com graxa MOBIL POLYREX EM.



Observe que na placa-exemplo, ao invés de se usar as siglas LA e LOA, para facilitar a interpretação, usou-se o recurso visual do desenho do motor.

### Massa total aproximada do motor

Obrigatória a informação quando superior a 300 kg, conforme a NBR 7094.



### Informações adicionais

Além dos dados de placa acima citados, motores produzidos para atender a aplicações ou condições de funcionamento especiais poderão ter informações adicionais na placa de identificação, tais como:

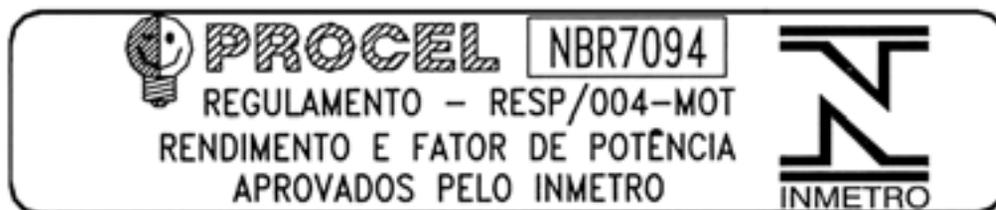
- sobrevelocidade admissível, quando diferente de 1,2 vezes a velocidade nominal;
- temperatura ambiente máxima admissível, quando diferente de 40°C (AMB);
- temperatura máxima admissível da água, quando diferente de 25°C (água);
- temperatura ambiente mínima admissível, quando diferente da especificada pela NBR 7094;
- altitude para a qual o motor foi projetado, quando superior a 1000 m (ALT);
- sentido de rotação – indicado por uma seta, para motores que devem funcionar num único sentido de rotação.

### Placa complementar

De acordo com a nova legislação, além dos dados de placa, o motor apresenta uma placa complementar em que deverá constar que ele passou pelo processo de certificação e atendeu aos valores de rendimento e fator de potência de acordo com o Regulamento Específico de Motores Elétricos (RESP/004-MOT) do Programa Brasileiro de Eficiência do Inmetro.

Na placa adicional, pode-se ter, também, a indicação de que o motor foi contemplado com o selo Procel de eficiência energética, que é dado anualmente de acordo com regras pré-estabelecidas.

Observe na ilustração a seguir os dados constantes da placa complementar.



### Motor sem identificação

Em uma empresa que utilize motores em sua atividade econômica, é possível que um profissional de manutenção, por exemplo, se veja diante de um motor cujos dados de placa de identificação estão ilegíveis, ou um motor no qual a placa simplesmente não existe mais. Como resolver este problema?

Parece uma tarefa difícil, mas não é. É possível identificar um motor sem placa utilizando os seguintes passos:

- comparando com outro motor semelhante que está perfeitamente identificado;
- medindo a altura que vai da base ao centro da ponta de eixo em mm (para motor com pés), a fim de definir o tamanho da carcaça;
- medindo a distância entre os furos laterais de fixação dos pés, para definir o comprimento da carcaça, consultando os valores de norma (NBR 5432), ou dados dimensionais de qualquer catálogo de fabricante deste motor;
- medindo a rotação do motor, para identificar seu número de pólos, sabendo que, em rede de 60 Hz, motores de 2 pólos terão rotações em vazio ou com carga pouco abaixo de 3600 rpm; os de 4 pólos pouco abaixo de 1800 rpm; os de 6 pólos pouco abaixo de 1200 rpm e os de 8 pólos pouco abaixo de 900 rpm;
- verificando a forma como o motor está conectado à rede de alimentação teremos a definição das tensões de placa do mesmo. Por exemplo, se o motor tem seis terminais, e está conectado em estrela e a rede de alimentação é de 380 V, suas tensões de placa serão 220/380V, se estiver conectado em triângulo as tensões de placa serão 380/660V. Num motor com 12 terminais, as tensões de placa são 220/380/660/780 V.

Este é um serviço investigativo em que o profissional terá que seguir todas as pistas possíveis, levantando o histórico e dados físicos sobre o motor. Só após esse trabalho, será possível emitir um laudo correto, com a adequada identificação do motor pesquisado.

## Condições ambientais

Na placa que acabamos de estudar, você deve ter reparado que existe ao menos um dado que se refere às condições externas ao motor e sobre as quais, nem sempre, temos controle. Nessa placa, você viu que há dados sobre altitude e temperatura ambiente.

|              |            |
|--------------|------------|
| MAX AMB 40°C | ALT 1000 m |
|--------------|------------|

Por que é necessário ter esse tipo de informação?

Porque os motores são construídos para operar em ambientes considerados normais, ou seja, sem temperaturas extremas, sem umidade excessiva, sem presença de poluentes de qualquer espécie, em altitudes máximas de 1000 m, por exemplo.

A não existência destas condições poderá afetar a vida e a confiabilidade do motor, que pode ser reduzida de maneira drástica se existirem no ambiente elementos agressivos que causem deterioração de suas partes vitais, especialmente a isolamento, ou que prejudiquem a sua ventilação, aumentando a elevação de temperatura.

Todos esse prováveis problemas, que podem afetar o desempenho do motor, foram objeto de estudos que tiveram como conseqüência a criação de normas que especificam as condições normais de funcionamento dos motores, A seguir, são apresentadas as recomendações dessa norma.

As condições ambientais normais são especificadas na NBR 7094, item 4.2, que diz:

“Os motores devem ser fabricados para trabalharem nas seguintes condições de funcionamento no local da instalação, salvo especificação em contrário do comprador:

- Altitude não superior a 1000 m;
- Temperatura ambiente do ar no local de funcionamento não superior a 40°C ou, no caso de haver trocador de calor refrigerado a água, temperatura da água na entrada do trocador de calor não superior a 25°C;
- Temperatura do ar no local de funcionamento não inferior a -15°C (excetuando-se para motores com mancais de bucha) ou, no caso da água como fluido refrigerante, temperatura da água e do ar ambiente não inferior a +5°C”.

O limite da altitude está relacionado com a capacidade de dissipação do calor gerado pelas perdas, que se reduz à medida que a densidade do ar diminui com o aumento da altitude.

O limite superior de temperatura se relaciona com a temperatura máxima suportável pela isolação do motor. A temperatura máxima admissível pelo isolante leva em conta 40°C para o ambiente, mais a elevação associada às perdas geradas em plena carga. Conseqüentemente, a isolação de um motor em plena carga num ambiente acima de 40°C atingirá valores maiores do que o máximo admissível.

O limite inferior de temperatura está relacionado principalmente com a lubrificação dos mancais do motor.

### **Condições ambientais especiais**

Para situações diferentes das citadas no item 4.2 da NBR 7094, o item 7.4.3 da mesma norma prevê correções para os limites de elevação de temperatura ou da temperatura total do ambiente onde o motor está instalado.

Os graus de proteção, aplicáveis de acordo com o ambiente de trabalho, como vimos anteriormente, são definidos pela NBR 9884 (*Máquinas elétricas girantes – Graus de proteção proporcionados pelos invólucros – carcaça*).

Os graus de proteção são caracterizados pelas letras IP que indicam a proteção do motor contra a penetração de corpos sólidos (representado pelo 1º algarismo) e líquidos (associados ao 2º algarismo).

Por outro lado, são consideradas condições de funcionamento especiais os ambientes em que o motor ficar exposto a:

- a) Poeiras combustíveis, explosivas, abrasivas ou condutoras;
- b) Fibras ou partículas em suspensão cujo acúmulo possa interferir na ventilação normal;
- c) Emissões químicas, gases inflamáveis ou explosivos;
- d) Radiação nuclear;
- e) Vapor d'água, ar salino ou vapor de óleo;

- f) Atmosferas úmidas ou muito secas, infestação de insetos ou atmosferas propícias ao crescimento de fungos;
- g) Locais insuficientemente ventilados, em poços ou em posição inclinada.

Nestes casos, os fabricantes devem ser consultados, pois o funcionamento do motor pode ser afetado.

Para o caso de ambientes com agentes agressivos, tais como ácidos, álcalis, excesso de umidade no ar, maresia, etc., os fabricantes apresentam motores onde são empregados materiais e/ou tratamentos resistentes à ação destes agentes. Impregnação dos enrolamentos com vernizes especiais e pintura com tintas anticorrosivas são exemplos das técnicas comumente empregadas.

## **Áreas classificadas**

Ambientes perigosos que contêm ou podem vir a conter acidentalmente, gases, vapores, poeiras ou fibras inflamáveis ou explosivas são consideradas *áreas classificadas*. Nestes casos, são usados motores especiais que impedem que os gases, vapores, poeiras ou fibras inflamáveis ou explosivas entrem em contato com o ar ambiente de funcionamento do motor, ou seja, o ar que está dentro de motor, causando explosão.

Normas internacionais classificam motores para trabalho nestas áreas segundo a capacidade da mistura inflamável de propagar a chama por meio das minúsculas frestas e juntas do invólucro da carcaça.

Além disso, o projeto do motor deve prever que sua temperatura normal de funcionamento esteja dentro de uma faixa de segurança bem abaixo daquela dentro da qual partículas inflamáveis em torno do motor possam entrar em combustão.

## **Critérios de classificação das áreas classificadas**

Antes de entrar na definição de motores para áreas classificadas, vamos definir quais os critérios para a classificação de áreas.

Com relação aos equipamentos elétricos, a norma brasileira classifica os ambientes em grupos, conforme apresentado a seguir.

**Quadro 17 – Critérios para a classificação de áreas**

| Grupo      | Tipo de equipamento  |
|------------|--|
| Grupo I    | Equipamentos fabricados para operar em minas suscetíveis a exalação de grisú, ou seja, gás inflamável contido nas minas de carvão e que encerra quantidades variáveis de metano.                                       |
| Grupo II   | Equipamentos fabricados para operação em outros locais com atmosferas explosivas de gás, sendo subdividido, conforme as características das substâncias envolvidas, em IIA, IIB e IIC.                                 |
| Grupo IIA  | Atmosfera contendo as substâncias acetona, acrilonitrila, amônia, benzeno, butano, butanol, gasolina, nafta, propano, propanol, cloreto de vinila, metano, hexano, gás natural, acetaldeído, monóxido de carbono, etc. |
| Grupo      | Tipo de equipamento  |
| Grupo IIB  | Éter dietílico, eteno, dimetil hidrazina assimétrica, ciclopropano, acroleína, óxido de eteno, butadieno, gases manufacturados contendo mais do que 30% em volume de hidrogênio, óxido de propileno, etc.              |
| Grupo IIC  | Atmosfera contendo hidrogênio, acetileno e dissulfeto de carbono.  |
| Grupo I II | Equipamentos elétricos para aplicação em locais com atmosferas explosivas de poeira.   |

**Condições de temperatura**

Além da preocupação com a presença de partículas inflamáveis no local em que o motor está trabalhando, as condições de temperatura do ambiente também devem ser consideradas: a temperatura ambiente e a temperatura máxima de superfície admissível para a segurança do ambiente.

**Temperatura ambiente**

Refere-se à temperatura do local onde o motor está instalado.

O equipamento elétrico para atmosfera explosiva deve ser normalmente projetado para operar em temperatura entre -20°C e + 40°C.

Faixas de temperaturas diferentes desta podem ser adotadas, porém devem ser especificadas pelo fabricante no certificado de conformidade.

## Temperatura máxima de superfície

Está relacionada com a temperatura máxima segura que o motor pode atingir durante seu funcionamento, sem provocar explosão ou incêndio resultante da interação entre a temperatura de trabalho e os agentes explosivos ou inflamáveis presentes no local.

As temperaturas máximas são:

- Para equipamento elétrico do grupo I:
  - 150°C quando podem ocorrer camadas de pó de carvão;
  - 450°C quando o risco acima é evitado, por exemplo, por meio de vedação contra poeira ou por ventilação;
- Para equipamento elétrico do grupo II, a Tabela 6 indica as temperaturas máximas de superfície.

**Tabela 6 – Temperaturas para equipamentos do grupo II**

| Classe de temperatura máxima de superfície em °C | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6   |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|  | ≤ 450 | ≤ 300 | ≤ 200 | ≤ 135 | ≤ 100 | ≤ 85 |
| Nota: Temperaturas referenciadas a 40°C          |       |       |       |       |       |      |

## Tipos de motores para utilização em áreas classificadas

Os motores desenvolvidos para aplicação em áreas classificadas podem ser definidos como:

- Motor à prova de explosão (Ex-d): é o equipamento que está encerrado em um invólucro capaz de suportar a pressão de explosão interna e impedir que essa explosão se propague para o meio externo;
- Motores elétricos de segurança aumentada (Ex-e): motores elétricos de indução, com rotor gaiola de esquilo, que em condições normais de operação não produzem centelhamento e nem temperatura superficial que possa provocar a ignição do agente na atmosfera ambient;

As medidas construtivas adicionais aplicáveis a esses motores são as seguintes:

- limitação da elevação de temperatura no enrolamento;

- determinação de um tempo máximo para desligamento pelo dispositivo de proteção;
- cuidado especial na seleção dos materiais de isolamento e aplicação de dupla camada de impregnação;
- exigência quanto ao mínimo grau de proteção aplicado ao invólucro;
- requisitos relativos ao projeto mecânico.

## Voltando ao desafio

Considerando os temas abordados neste capítulo, podemos afirmar que, embora a aparência física seja a mesma e alguns dados elétricos possam ser levantados após um estudo minucioso dos detalhes elétricos do motor que se encontra sem identificação, não é recomendável a sua utilização em uma área classificada.

Isso seria muito arriscado, pois como o motor não tem placa, não há certeza de que ele atenda a todas as exigências de segurança que sua utilização prevê.

Com os parâmetros levantados pelo estudo, ele poderá ser usado em outro local, que não seja aquele sujeito a explosões.

## Resumindo

Os dados de placa falam pelo motor. Nela você vai encontrar os dados para verificar se ele está bem dimensionado no caso de ser necessário conectá-lo a algum dispositivo.

Da mesma forma, a placa indicará se ele poderá ser instalado em áreas que apresentam condições extremas de utilização: altas temperaturas, altitude elevada, presença de substâncias ou partículas inflamáveis ou explosivas.

## Aprenda mais

Para obter mais informações sobre estes motores, consulte catálogos eletrônicos dos fabricantes, por meio de ferramentas de busca da Internet. Digite “*placa de identificação de motores elétricos*” e veja o que aparece.

A Internet também disponibiliza o contato com fabricantes: localize-os também por meio das ferramentas de busca e leia as principais dicas destes fabricantes.

Não deixe de consultar as normas citadas e as referências bibliográficas deste material.





## Capítulo 7

---

# USO EFICIENTE DO MOTOR ELÉTRICO NA INDÚSTRIA

### Iniciando nossa conversa

Ser eficiente é a meta de qualquer empresa, principalmente quando existe custo envolvido. Nos capítulos anteriores, você estudou que a correta escolha e utilização dos motores elétricos, por sua grande utilização, não só em todo o tipo de atividade econômica, quanto nas nossas casas, sempre resultam em grande redução de consumo de energia, principalmente se considerarmos sua longa vida útil, que varia entre 15 e 20 anos.

Neste capítulo, você vai estudar como fazer o uso eficiente de um motor elétrico, visando à economia de energia e à diminuição de custos operacionais. Vai descobrir que se o objetivo for reduzir desperdícios e economizar energia, é necessário otimizar o sistema motor-equipamento, substituir os motores superdimensionados, corrigir o fator de potência baixo e reduzir os picos de demanda.

### Objetivos

Ao estudar este capítulo, temos como objetivos:

- Identificar pontos que influenciam na eficiência dos motores de indução;
- Conhecer estratégias para minimizar os efeitos dos diversos fatores que influenciam na eficiência energética do motor de indução.

## Um desafio para você

Uma média empresa familiar de fabricação de calçados precisou enviar para conserto um motor queimado de uma antiga máquina polidora adquirida de segunda-mão uns dois anos antes. O serviço de conserto referia-se ao rebobinamento do motor.

O motor retornou do conserto apresentando aquecimento excessivo e queda de potência, ou seja, não mais conseguia executar o trabalho com a mesma qualidade. Além disso, foi identificado, na conta de fornecimento de energia, um aumento perceptível do consumo. Um mês após o conserto, o motor voltou a queimar.

Com isso, os proprietários da empresa perceberam que haviam tomado a decisão errada.

Leia este capítulo com atenção e responda: se você fosse o dono da empresa, o que teria feito? Por quê?

## Continuando nossa conversa

### Consumo de energia elétrica no Brasil

Em todos os capítulos deste Guia, tentamos enfatizar a importância da busca da eficiência energética em função do efeito estufa e da influência que isso tem sobre o clima de nosso planeta. Sabemos que esse aquecimento é resultado da queima de combustíveis fósseis (petróleo e carvão), porque, principalmente no Hemisfério Norte, onde estão os países mais industrializados, grande parte da energia elétrica produzida vem das usinas termelétricas. Nelas, a produção de energia é obtida por meio da transformação de energia térmica em energia elétrica, pela queima de combustíveis fósseis.

A matriz energética do Brasil, ou seja, as fontes das quais nosso país obtém energia elétrica, tem alta participação de energia hidráulica, que, por sua natureza, não contribui para o aquecimento global.

Todavia, se o clima mudar, não há certeza de que teremos as mesmas vazões dos rios e de que possamos manter a mesma capacidade de produção de energia.

Além disso, não se utiliza água apenas para isso: há a necessidade de abastecer as grandes cidades com água potável não só para seus habitantes, como também para as indústrias que têm a água como insumo básico, como a indústria de papel e celulose, as tinturarias, as que produzem alimentos industrializados, as bebidas... Sem esquecer que é necessário fornecer água para a agricultura e criação de animais para nossa alimentação.

Não podemos nos esquecer, também, que o perigo da falta de energia não está tão distante! A crise de abastecimento de 2001 mostrou claramente as limitações que o sistema atual de hidrelétricas apresenta e indicou a necessidade de uma melhor gestão desses recursos e de um bom planejamento para a diminuição de riscos de um novo apagão.

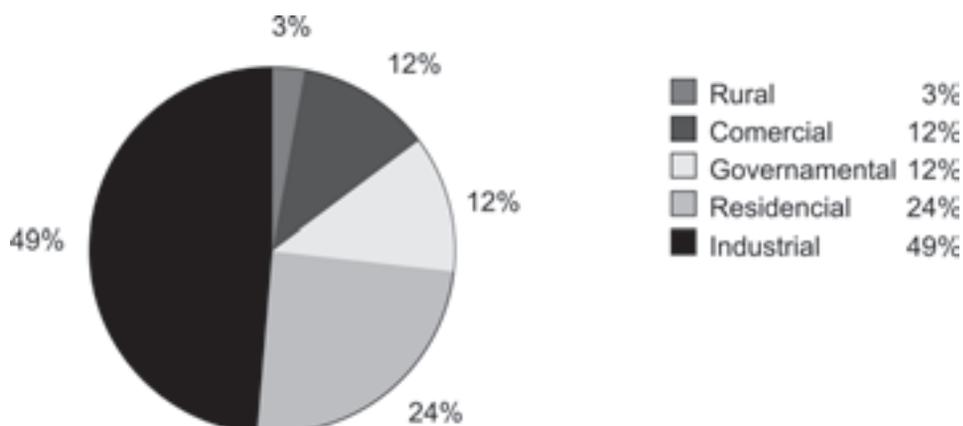


### Fique ligado!

Para saber mais sobre hidrelétricas e efeito estufa, consulte o endereço [www.dsr.inpe.br/projetofurnas](http://www.dsr.inpe.br/projetofurnas).

O Gráfico 5 mostra a distribuição do consumo de energia elétrica no Brasil. Ele se refere ao consumo médio de energia no Brasil no período de 2000 a 2006, nos setores mais significativos da nossa economia.

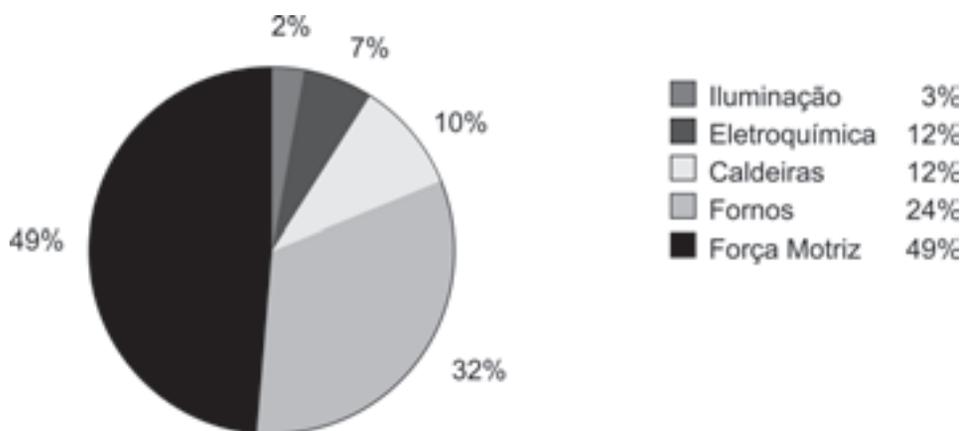
**Gráfico 5 – Distribuição do consumo de energia elétrica no Brasil (Fonte: Eletrobrás, 2007)**



Como se pode observar, o setor industrial é o que apresenta o volume mais significativo, representando praticamente metade do consumo de energia eléctrica do país.

O próximo gráfico distribui o consumo por tipos mais importantes de aplicações dentro do setor industrial. Nota-se que, a força motriz, representada pelos motores eléctricos, apresenta a maior demanda de energia eléctrica, ou seja, aproximadamente, 49% deste consumo. Isto significa que a participação deles, só dentro deste setor, no consumo global do país, pode ser estimada em 24%.

**Gráfico 6 – Consumo por tipo de aplicação (Fonte: Eletrobrás)**



Do mesmo modo no setor residencial, os equipamentos mais significativos correspondem aos refrigeradores e aparelhos de ar-condicionado e representam cerca de 32% do consumo de energia deste setor. Evidentemente, como estes eletrodomésticos são acionados por motores eléctricos e o setor consome 24%, a participação deles no consumo global é da ordem de 8%.

Por outro lado, no setor comercial, os aparelhos de ar-condicionado e refrigeração representam cerca de 15% da demanda dos 12% do setor. Então, pela mesma razão anterior, os motores eléctricos participam do consumo global com aproximadamente 2%.

Somando os percentuais veremos que, de uma forma global, os motores eléctricos participam com 34% do uso da energia gerada.

## Causas do desperdício de energia no uso de motores elétricos

Embora o motor elétrico seja a máquina de transformação de energia mais eficiente que se conhece, não basta simplesmente usar um motor elétrico dito de alto rendimento. É necessário usá-lo bem e da forma mais eficiente possível, procurando eliminar as principais causas de desperdício no seu uso, que podem ser provenientes dos seguintes fatores:

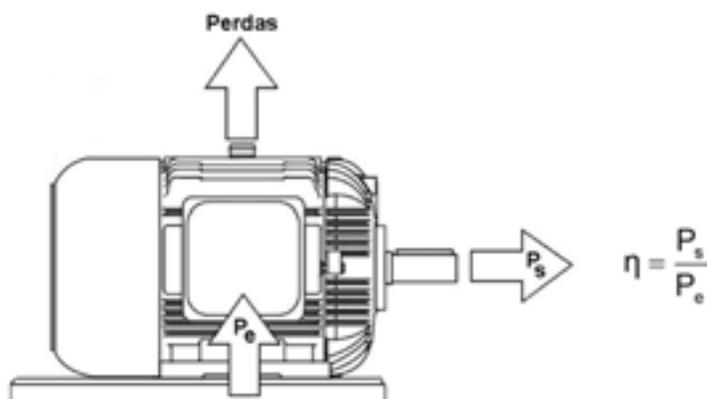
- perdas internas;
- rendimento;
- superdimensionamento dos motores;
- fator de potência;
- rede de alimentação;
- manutenção e perdas mecânicas;
- reparo e recondicionamento.

### Perdas internas

Como vimos, no motor elétrico, existe uma potência elétrica de entrada, que é transformada em potência mecânica de saída. Se toda a potência de entrada fosse transformada em potência de saída, a eficiência de transformação seria de 100%.

Como em qualquer outro sistema de transformação de energia, neste também ocorrem perdas e o rendimento do motor depende do controle das perdas internas.

Figura 48 – Rendimento do motor





## Fique ligado!

Rendimento ou eficiência do motor é a relação entre a potência mecânica ( $P_s$ ) desenvolvida no seu eixo, e a potência elétrica ativa ( $P_e$ ) que ele consome da rede de alimentação.

As perdas internas são classificadas em dois grupos:

- fixas;
- variáveis.

**As perdas fixas, por sua vez, classificam-se em:**

- Perdas nos núcleos (perdas no ferro): são as perdas que ocorrem nos pacotes magnéticos do estator e do rotor. Estas perdas, devidas aos fenômenos de histerese e correntes induzidas (correntes parasitas), nos pacotes magnéticos dependem da frequência e da densidade máxima de fluxo.

No caso particular da perda por correntes parasitas, ela depende também da espessura e da isolamento das lâminas do pacote magnético.

- Perdas mecânicas (ventilação e atrito): são as perdas devidas ao atrito nos mancais ou nos rolamentos e da resistência do ar à movimentação do rotor. Em geral, quando o motor está operando em carga nominal, elas são a menor parcela da perda total.

**As perdas variáveis com a carga classificam-se em:**

- Perdas no circuito elétrico do estator (perdas no cobre) são as perdas por efeito *Joule* (aquecimento) devido à circulação de corrente nos condutores do enrolamento do estator. Frequentemente são denominadas por perdas no cobre ou perdas  $I^2R$ , onde  $R$  é a resistência do enrolamento e  $I$ , a corrente.

A resistência depende do material condutor (que normalmente é o cobre), do comprimento e da sua seção (bitola). Já a corrente depende da carga mecânica no eixo do motor.

- Perdas no circuito elétrico do rotor são perdas por efeito *Joule* (aquecimento) que ocorrem na gaiola do rotor e dependem da carga, do material do condutor da gaiola, da seção reta e do comprimento das barras. Estas perdas são proporcionais ao escorregamento de operação (ou seja, relativas à velocidade do motor elétrico). São semelhantes às perdas que acontecem no circuito elétrico do estator.
- Perdas suplementares são definidas como a diferença entre a perda total do motor e os outros quatro tipos de perdas.

Elas levam em conta vários fenômenos, tais como: a distribuição não uniforme da corrente nos enrolamentos, o efeito de saturação e as imperfeições na densidade de campo magnético (devido às ranhuras do estator e do rotor). Estas imperfeições provocam perdas nos dentes das lâminas do estator e do rotor e ocasionam perdas ôhmicas nas barras das gaiolas, associadas aos harmônicos de corrente.



### Fique ligado!

Perda ôhmica é o calor gerado quando a corrente elétrica circula em um condutor com resistência elétrica.

As perdas que ocorrem nas partes metálicas, próximas ao campo magnético de dispersão produzidos pelas cabeças das bobinas, são também computadas nas perdas suplementares.

O elemento que mais afeta estas perdas é a forma física do enrolamento e, embora elas estejam associadas a imperfeições construtivas, não podem ser desprezadas. Nos motores de maiores potências, o valor destas perdas em carga é até comparável com as perdas por efeito *Joule* (aquecimento) no estator.

As perdas suplementares variam, aproximadamente, com o quadrado da corrente de carga.

## Distribuição das perdas

O Quadro 18 mostra as faixas típicas de cada uma destas perdas e resume as principais causas que as provocam.

**Quadro 18 – Faixas típicas de cada uma destas perdas**

| Perdas fixas            | Faixa (%) | Causas  |
|-------------------------|-----------|---|
| Perdas nos núcleos      | 15 a 25   | Tipo e quantidade de material magnético.                    |
| Perdas mecânicas        | 5 a 15    | Projeto do ventilador, e seleção dos rolamentos ou mancais. |
| Perdas variáveis        | Faixa (%) | Causas  |
| Efeito Joule no estator | 25 a 40   | Resistência do enrolamento do estator.                      |
| Efeito Joule no rotor   | 15 a 25   | Resistência da gaiola do rotor.                             |
| Perdas suplementares    | 10 a 20   | Método de projeto e construção.                             |

O Quadro 19 mostra a distribuição percentual típica das várias perdas nominais em motores de diferentes potências.

**Quadro 19 – Distribuição percentual típica das várias perdas**

| Potência nominal (cv)       | 25 | 50 | 100 |
|-----------------------------|----|----|-----|
| Perdas nos núcleos (%)      | 15 | 20 | 13  |
| Perdas mecânicas (%)        | 7  | 8  | 14  |
| Efeito Joule no estator (%) | 42 | 38 | 28  |
| Efeito Joule no rotor (%)   | 21 | 22 | 18  |
| Perdas suplementares (%)    | 15 | 12 | 27  |

## Rendimento

Pelo que foi visto até aqui, percebe-se que, sob condições de carga, as perdas totais variam. Da mesma forma, seu rendimento também varia.

Alem disso o rendimento é baixo para uma carga entre 0% e 60% da potência do motor. Este é um dos maiores motivos de desperdício de energia que vamos encontrar na maioria das aplicações industriais, ou seja, o motor superdimensionado.

## Superdimensionamento dos motores

As razões mais freqüentes do superdimensionamento dos motores elétricos são:

- desconhecimento das características da própria carga;
- desconhecimento de métodos para um dimensionamento mais adequado;
- aplicação de sucessivos fatores de segurança nas várias etapas de um projeto;
- expectativa de futuro aumento de carga;
- não-especificação de motores com fator de serviço maior do que 1,0, que podem atender a cargas que apresentam picos esporádicos;
- estabelecimento de grandes margens de segurança para a operação de processos vitais;
- substituição, pelas equipes de manutenção, de um motor danificado por outro de potência maior quando, por exemplo, falta no estoque um sobressalente de potência adequada;
- redução da produção.

Várias conseqüências desfavoráveis decorrem do superdimensionamento dos motores de indução:

- maior custo, volume e peso do motor;
- redução do fator de potência, provocando a necessidade de instalação de maiores equipamentos para a sua correção;
- redução do rendimento, embora alguns motores apresentem seu rendimento máximo a, aproximadamente, 75% da sua carga nominal;
- maior corrente de partida, acarretando maior custo da instalação e proteção.

Em termos de uso eficiente de energia, o aspecto do superdimensionamento deve levar a uma análise técnica e econômica. Estudos realizados pela Eletrobrás/Procel, Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) e a Escola Federal de Engenharia de Itajubá (Efei), mostraram que nem sempre o superdimensionamento corresponde a maiores perdas de energia.

Por exemplo, se um motor elétrico de 15 cv (cavalo vapor) for conectado a uma carga de somente 3 cv, apresentará uma corrente 87,7% maior, um rendimento 7,95% menor e um fator de potência 78,51 % menor do que um motor de potência nominal 3 cv acionando a mesma carga.

No entanto, este mesmo motor elétrico de 15 cv acionando uma carga de 10 cv apresentará melhor rendimento e menor solicitação de corrente do que um motor de potência nominal de 10 cv!



### Fique ligado!

Embora o superdimensionamento geralmente corresponda a uma redução do rendimento, cada caso deve ser analisado, pois nem sempre isto será verdade. Em geral, para cargas entre 100% e 60% da nominal, o motor pode ser considerado bem dimensionado.

## Fator de potência

Em circuitos de corrente alternada, a variação da corrente produz, em qualquer bobina, variação do fluxo magnético. Ao cortar os próprios condutores, esta variação induz a uma tensão em sentido inverso, chamada de *força contra-eletromotriz*, que tende a retardar o avanço da corrente.

Isso faz com que a corrente se atrase em relação à tensão aplicada de um determinado ângulo que pode chegar ao máximo de 90° (de um ciclo completo de 360°). O co-seno deste ângulo é chamado fator de potência (FP) e é um parâmetro de grande importância e influência nas perdas de energia em redes elétricas, pois produz uma energia reativa que circula entre o motor e o gerador que o alimenta, causando consideráveis perdas de energia pelo efeito *Joule* (aquecimento) ao longo da rede. Quanto menor for o fator de potência (maior defasagem entre a tensão e a corrente), maiores serão as correntes que irão circular desnecessariamente.

Como o motor de corrente alternada necessita de energia que circule em suas bobinas para produzir campo magnético e força eletromotriz, podemos dizer que ele é o principal responsável pelo baixo fator de potência e pelo fluxo de energia reativa nas redes de energia elétrica.

Para compensar o baixo fator de potência (FP) provocado pelo motor de indução, normalmente são utilizados bancos de capacitores. Alternativamente, pode-se utilizar motores síncronos sobre-excitados ou circuitos eletrônicos chaveados.

Alguém mais desavisado poderia pensar que a diminuição da carga resolveria o problema, mas isso não é verdade. Com a redução da carga, o fator de potência diminui mais rapidamente que o rendimento, o que não é bom, porque para o usuário não interessa a queda do rendimento e menos ainda a queda no fator de potência.

Assim, embora o rendimento entre 100% e 60% da carga não sofra grandes variações, o mesmo não ocorre com o fator de potência, que cai bastante. Isso significa queda na eficiência energética que é perdida no aquecimento dos condutores.

Em muitas aplicações de regime intermitente, a potência nominal do motor é exigida durante curtos períodos (5% a 20%) e no restante do tempo o motor trabalha sem carga.

Em outras aplicações, é necessária uma potência grande devido à inércia do sistema na partida e, depois disso, o motor trabalha com 30% da carga em regime constante. Estes tipos de aplicações merecem estudos criteriosos, pois implicam grandes desperdícios de energia e baixo fator de potência.



### Fique ligado!

O alcance do fator de potência, o mais próximo possível do ideal, é sempre resultado de uma análise técnica cuidadosa.

Na conta de fornecimento de energia elétrica, um fator de potência dentro de valores especificados pela concessionária significa deixar de pagar excedentes (multas), o que diminui custos operacionais. Significa, também, diminuição de perdas na rede de alimentação por aquecimento dos condutores.

## Rede de alimentação

A rede de alimentação é todo o sistema que se inicia desde a medição (relógio) até o borne do motor para o fornecimento da energia necessária ao seu funcionamento. Em outros termos, é a instalação elétrica.

Essa rede pode apresentar algumas anomalias resultantes de:

- nível de tensão de alimentação;
- desequilíbrio de tensão entre fases;
- variação de frequência de alimentação;
- presença de harmônicos.

## Nível da tensão de alimentação

Os motores elétricos têm seu dimensionamento otimizado para o funcionamento sob tensão nominal, conforme dados de suas placas. Embora a NBR 7094 estabeleça as faixas de tolerância de tensão nominal, dentro das quais o motor deverá trabalhar sem apresentar queda de rendimento, isso não significa que os motores terão, nestas condições, o mesmo desempenho.

Para um motor de indução submetido a uma tensão *acima da nominal*, há um *aumento* na corrente de partida e observa-se no motor uma redução considerável no fator de potência, uma pequena redução no rendimento e na corrente de alimentação e um aumento nas perdas e, conseqüentemente, na potência de entrada.

Com tensão *abaixo da nominal*, observa-se uma melhora considerável no fator de potência, rendimento praticamente sem alteração, corrente de alimentação e perdas diminuindo de início, mas voltando a aumentar devido ao aumento do escorregamento (queda na rotação).

Pode-se concluir que, em termos gerais, o nível de tensão de alimentação do motor de indução dentro da faixa admissível é mais interessante se ficar *abaixo* da nominal e não acima.

Dependendo da causa, o nível de tensão da rede pode ser adequado por meio dos seguintes procedimentos:

- ajuste do *tap* do transformador, quando possível;
- instalação de equipamentos de ajuste automático do *tap* do transformador, se a carga varia consideravelmente ao longo do dia;
- instalação de banco de capacitores, que elevam a tensão ao mesmo tempo que corrigem o fator de potência;
- redimensionamento dos cabos de alimentação.



### Fique ligado!

*Tap* é a regulagem no número de espiras do transformador que muda a relação tensão x corrente.

## Desequilíbrio de tensões de fase

Um dos fatores que colaboram bastante para o aumento das perdas nos motores trifásicos é a alimentação com desequilíbrio nas tensões das fases, que gera correntes excessivas circulando no motor, provocando perdas, elevação de temperatura, desperdício de energia e conseqüente redução da vida útil.

Entre as causas do desequilíbrio das tensões de um sistema trifásico, a principal é a ligação desbalanceada de cargas monofásicas, tais como sistemas de iluminação e motores monofásicos, nas suas três fases.

A utilização de cabos com bitolas diferentes, na formação de uma rede trifásica, também é causa de desequilíbrio. Isto pode ocorrer em pequenas instalações em que se transformou uma rede monofásica em trifásica.

O desequilíbrio das tensões provoca vários problemas, tais como:

- desperdício de energia devido à existência de maiores perdas provocadas por altas correntes desequilibradas (redução do rendimento);
- elevação da temperatura acima dos limites aceitáveis pelo motor;

- redução do conjugado disponível para a carga, pela existência de componente do campo magnético girando em sentido contrário ao da rotação do motor;
- redução, ainda que pequena, do fator de potência.

Esses problemas são corrigidos equilibrando as fases, por meio da correção da causa do desequilíbrio. Para tanto:

- utilizar motores trifásicos;
- equilibrar os circuitos de iluminação de forma a obter cargas uniformemente distribuídas entre as três fases;
- nos circuitos, utilizar condutores iguais em bitola e comprimento e sem emendas nas três fases;
- verificar se todos os capacitores do banco estão funcionando corretamente.

### **Variação da frequência de alimentação**

A frequência de alimentação também é um fator importante para o funcionamento dos motores de indução. Embora no Brasil não tenhamos problemas de frequência nas redes de energia, são comuns, em sistemas de geração própria, queimas de motores devido à queda na frequência de alimentação.

Os motores suportam normalmente variações de  $\pm 5\%$  da frequência nominal, mas se projetados para 60 Hz, podem queimar até sem carga, se ligados em redes de 50 Hz, devido à elevação da corrente de magnetização com a redução da frequência.

Motores projetados para 50 Hz podem normalmente trabalhar com carga nominal em 60 Hz, porém conjuntos motor-carga projetados para 50 Hz, tipo ventilador, bomba ou compressor centrífugo exigirão 72,8% de acréscimo de potência a 60 Hz, o que não será suportado pelo motor. Isso acontece porque o motor de 50 Hz tem uma velocidade cerca de 20% **maior** quando ligado em 60 Hz. Nesses casos, deve-se reduzir o tamanho da hélice do ventilador, ou do rotor da bomba, de forma a manter a vazão original do equipamento, quando funcionando em 50 Hz.

Com a globalização e a facilidade de aquisição de equipamentos de várias origens, o grande perigo é a aquisição de equipamentos de frequência diferente daquela padrão do Brasil. Esse é um problema possível de acontecer entre os países do Mercosul, principalmente nos casos de compra direta, sem assessoria técnica.

## Presença de harmônicos

Idealmente, a tensão de alimentação dos motores deveria ter um comportamento perfeitamente senoidal. Dentre as diversas formas de se acionar um motor elétrico, ocorre o emprego, cada vez maior, de inversores eletrônicos. A utilização de tais inversores causa distorção das formas de onda da tensão e/ou da corrente. Elas passam a apresentar um comportamento diferente de uma senóide pura, ou seja, a forma de onda não é mais perfeitamente simétrica, mas apresenta distorções. Nessa condição, diz-se que essas senóides contêm uma série de harmônicos.

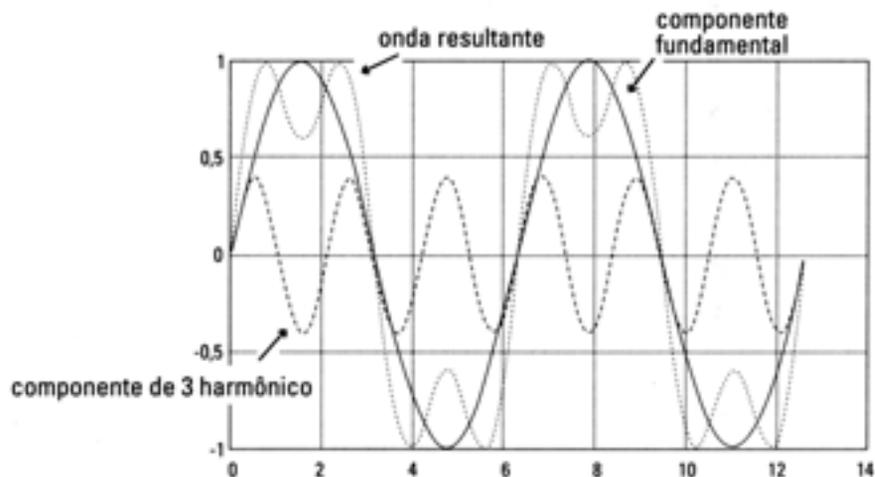


### Fique ligado!

Senoidal ou em forma de senóide representa o formato (com uma única componente fundamental) que a onda de corrente alternada tem quando é produzida em um gerador ideal.

A Figura 49 representa a tela de um osciloscópio medindo a forma da onda.

Figura 49 – Tela de um osciloscópio mostrando as formas de ondas



Observe as distorções em relação à onda fundamental. Essas distorções são os *harmônicos*.

Como, por causa dos harmônicos, o que está alimentando o motor não é mais uma corrente alternada pura, este apresentará perdas, redução do conjugado disponível para a carga e presença de conjugados pulsantes. Em conseqüência, o motor apresenta aquecimento, vibração e redução de rendimento.

Os harmônicos podem ainda ocasionar redução da vida útil, pela danificação dos rolamentos, fadiga no eixo ou deterioração do sistema de isolação. Os fabricantes destes dispositivos de controle mais modernos estão preocupados com estes efeitos, apresentando produtos com um mínimo de conteúdo harmônico.

Segundo a NBR 7094, os motores devem ser capazes de funcionar adequadamente quando a rede de alimentação apresenta um Fator de Harmônico de Tensão (FHV) dentro de certos limites.

Os dispositivos eletrônicos de controle de velocidade dos motores de indução são os principais causadores de harmônicos na rede de alimentação. Por isto, os motores convencionais, quando são alimentados por estes dispositivos, devem ter sua potência disponível no eixo reduzida de 5% a 10%, principalmente quando trabalham com cargas constantes. Outra solução é especificar um motor com potência 5% a 10% **acima** da solicitação da carga, ou motor com Fator de Serviço 1,15.

Os motores de alto rendimento suportam mais facilmente os efeitos prejudiciais dos harmônicos por apresentarem uma maior margem térmica e menores perdas.

No entanto, deve-se tomar cuidado quando o motor gira a velocidades muito baixas. Nestas condições, a combinação das maiores perdas provocadas pelos harmônicos com a baixa ventilação devido à redução da velocidade, obriga os motores a terem a sua potência disponível no eixo limitada, até mesmo para os de alto rendimento.



## Fique ligado!

Os harmônicos podem ser minimizados com a instalação de filtros. Os filtros passivos apresentam um custo reduzido, se comparado ao valor do dispositivo de controle de velocidade.

## Proteção

Toda a instalação de um motor elétrico deve ser seguida de um sistema de proteção objetivando proteger:

- a rede de alimentação contra curto-circuito ocasional no motor, de forma a evitar que ele se alastre para a rede;
- o motor de aquecimento excessivo que possa ocasionar sua queima ou a redução prematura de sua vida útil.

## Proteção contra curto-circuito

Na proteção contra curto-circuito, os elementos mais utilizados são:

- Os fusíveis de ação retardada, que oferecem proteção eficiente a baixo custo. Seu dimensionamento depende dos valores de corrente com rotor bloqueado e do tempo que o motor leva para partir, que, por sua vez, depende do conjugado de partida do motor e do momento de inércia do conjunto motor-carga;
- Os disjuntores magnéticos, que também oferecem proteção eficiente a curto-circuito, embora a um custo de aquisição bem mais elevado que o dos fusíveis. Como vantagem, são rearmáveis e não necessitam de reposição.

Geralmente são dimensionados para correntes de 8 a 12 vezes maiores do que a corrente nominal do motor de indução.

## Proteção contra excesso de temperatura

Para proteção de motores contra aquecimento excessivo prejudicial ao seu funcionamento e à sua vida útil, os elementos mais utilizados são:

- relé térmico;
- protetores bimetálicos;
- termistor;
- termorresistores.

No Quadro 20, você encontra informações sobre a localização e a função desses elementos.

#### Quadro 20 – Elementos de proteção do motor contra excesso de temperatura

| Elementos              | Localização e função  |
|------------------------|---|
| Relé térmico           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• É instalado externamente em relação ao motor. O relé térmico tem como principal função a proteção do motor contra excesso de temperatura devido a sobrecargas, tanto por uma pequena sobrecarga de longa duração como por uma forte sobrecarga ainda que de curta duração. No caso de interrupção de uma das fases, nos motores trifásicos haverá um aumento de corrente nas outras duas fases, o que forçará a atuação do relé após um determinado tempo.</li> <li>• Seu funcionamento é baseado no efeito térmico da corrente de alimentação sobre um par bimetálico, que irá se curvar, atuando sobre contatos que irão interromper o dispositivo de acionamento do motor.</li> </ul>   |
| Protetores bimetálicos | <ul style="list-style-type: none"> <li>• São normalmente colocados no interior dos motores (nas cabeceiras das bobinas). Fornecem a proteção contra a maioria das falhas a que o motor está sujeito, pois monitoram diretamente a temperatura dos enrolamentos. Sua constituição se baseia em um disco bimetálico formando um contato fechado, que muda de posição assim que a temperatura a que é submetido atinge um valor pré-determinado. Quando isso acontece, este contato é aberto. Geralmente esses dispositivos são instalados pelo fabricante somente sob solicitação do cliente.</li> </ul>  |
| Termistor              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• É um semicondutor cuja característica de resistência muda de forma abrupta ao atingir a temperatura para o qual foi projetado.</li> <li>• O termistor normalmente utilizado em motores é o PTC, que é alimentado por corrente contínua por meio de um circuito e relé auxiliar. Caso ocorra uma elevação da temperatura acima do valor limite do termistor, este sofre um brusco aumento em sua resistência interna, passando de condutor a isolante. A interrupção da corrente no circuito aciona o relé que desliga o circuito de comando principal.</li> <li>• Os termistores pelo seu pequeno tamanho (inferior a uma cabeça de fósforo) e pequena massa, apresentam uma resposta instantânea à elevação da temperatura e oferecem proteção total ao motor. Não é adequada a sua utilização em motores sujeitos a pequenas sobrecargas temporárias, em que o motor ultrapassa a temperatura-limite brevemente e depois retorna ao normal, pois o termistor irá atuar indevidamente.</li> </ul> |

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Termorresistores (PT-100) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• São elementos cuja operação é baseada na característica intrínseca a alguns materiais (platina, níquel ou cobre) de variação da resistência com a temperatura. Fabricados com resistência calibrada, que varia linearmente com a temperatura, possibilitam um acompanhamento contínuo do processo de aquecimento do motor, que pode ser controlado ou monitorado por meio de instrumentos indicadores. Possuem alto grau de precisão e sensibilidade de resposta e geralmente são utilizados em motores com funções de grande responsabilidade (uso essencial), ou em aplicações de regime intermitente muito irregular, onde o detector pode servir tanto para alarme como para desligamento. São obrigatórios em motores de segurança aumentada.</li> </ul> |
|---------------------------|--|

## Manutenção e perdas mecânicas

Os motores elétricos de indução, quando bem utilizados, têm uma vida útil relativamente longa. E por sua construção simples e robusta, seus únicos componentes móveis sujeitos a desgaste são os mancais.

Por projeto, nas condições de máxima exigência de carga e temperatura ambiente (40° C), a vida útil mínima esperada tanto para os isolantes como para os mancais, é de 20.000 horas (2,3 anos em regime contínuo). Porém, como na maioria das aplicações as condições de funcionamento não são extremas, a vida útil (excetuando a dos mancais) normalmente é superior a 10 anos para motores de potências menores e 30 anos para motores de potências maiores.

A vida útil do motor irá depender de um bom e eficiente sistema de manutenção preventiva, que deve incluir uma série de medidas, como veremos a seguir.

## Cuidados com a limpeza

É importante adotar uma rotina de limpeza e remoção de depósito de materiais que possam obstruir o sistema de refrigeração do motor, evitando barreiras à passagem e circulação do ar, mantendo a grade de proteção e os dutos de ventilação livres de excesso de sujeira, fibras, serragem, pó de minério, etc., pois isso provoca barreira à remoção do calor interno, acarretando aumento na temperatura dos enrolamentos e, em consequência, redução de sua vida útil e aumento do consumo de energia.

Da mesma forma, a limpeza e secagem periódica das bobinas de motores sujeitos a trabalho em ambientes poluídos, ou parados por muito tempo em ambien-

tes úmidos, evita que o acúmulo de sujeira e umidade tornem-se responsável pela deterioração da isolação e formação de caminhos para fuga de corrente e curto-circuitos.

## Cuidados com os rolamentos ou mancais

Pesquisas realizadas por organizações norte-americanas ligadas ao maior fabricante de motores na década de 90 demonstraram que entre 41% e 44% dos defeitos apresentados pelos motores elétricos relacionam-se com problemas nos seus mancais.

A seguir são apresentadas informações sobre os cuidados necessários com os rolamentos.

- É de grande importância a inspeção periódica dos mancais, a fim de verificar a ocorrência de ruído e vibrações e o estado do sistema de lubrificação.



### Fique ligado!

Ruído e vibração são indicadores de desperdício de energia e de necessidade de troca ou lubrificação.

- Nos rolamentos sujeitos a relubrificação, deve-se observar os intervalos de tempo, o tipo e a quantidade de graxa especificada pelo fabricante. Misturar tipos de graxas diferentes pode provocar deterioração mútua. Da mesma forma, a quantidade reduzida ou excessiva de graxa provoca aquecimento e redução da vida útil do mancal.
- Na retirada ou troca de rolamentos, é importante a utilização de dispositivos e ferramentas adequadas (saca-polias, extratores ou prensa).

Figura 50 – Saca-polias



- A introdução dos rolamentos no eixo pode ser feita por meio de prensa com apoio na pista interna do rolamento, ou pelo aquecimento em banho de óleo ou de preferência por equipamento de aquecimento por indução.

Deve-se evitar o uso de martelo ou dispositivos que provoquem pancadas, pois, embora o rolamento suporte altas cargas constantes, ele é muito suscetível a cargas pulsantes, porque nessas condições as esferas marcam a pista de rolagem, ocasionando sua rápida deterioração a custo de desperdício de energia.



### Atenção!

A colocação de polias no eixo dos motores é uma das principais causas de dano em rolamentos, pois é normal o processo de introdução pelo uso do martelo. Essa prática tem que ser evitada.

## Inspeção das conexões elétricas

A inspeção periódica das conexões elétricas nos terminais do motor, nos contatos dos dispositivos de partida e dos elementos de comando, pode evitar problemas de mau contato elétrico normalmente provenientes de falta de aperto adequado, afrouxamento por vibração, oxidação e falta de manutenção.



### Atenção!

Conexões frouxas apresentam resistência de contato, o que irá produzir perdas por efeito *Joule* (aquecimento) concentradas de energia.

Essas perdas podem causar, além de desperdício de energia, sérios riscos às instalações, tais como a queima do revestimento isolante do condutor que pode levar a um curto-circuito ou até a incêndio nas instalações.

## Cargas axiais e radiais em sistemas de transmissão mecânica

Para acoplar o motor ao equipamento que ele deverá acionar, é necessário usar componentes que realizem essa função. Esses conjuntos de componentes são chamados de sistemas de transmissão mecânica.

Os sistemas de transmissão mecânica devem ser adequados às características da carga a ser acionada e deve haver compatibilidade com os esforços radiais e axiais que o motor suporta.

Aplicações especiais, em que o motor trabalha com eixo na vertical e alguns tipos de ventiladores e compressores, podem apresentar condições excessivas de carga axial, que poderão necessitar projeto específico a ser providenciado pelo fabricante.

Um caso bastante comum de carga axial excessiva é a que ocorre quando da colocação de polia no eixo do motor feita de forma inadequada.

Esforços radiais são comuns em transmissão por polias e correias. Os fabricantes indicam o diâmetro mínimo de polia a ser colocada na ponta de eixo do motor, de forma a evitar o escorregamento da correia sem a necessidade de um ajuste excessivo de tração.



### Fique ligado!

Transmissões inadequadas e acoplamentos desalinhados produzem esforços excessivos que, além de desgaste nos mancais, deformações anormais no eixo e até sua ruptura por fadiga, também causam grandes perdas de energia.

## Reparo e recondicionamento

Uma análise criteriosa deve ser feita na substituição de um motor elétrico que apresentou defeito. Não compensa recuperar motores de pequenas potências, pois o custo geralmente é próximo ou superior ao de um motor novo ou ao de um de alto rendimento. Além disso, é comum na recuperação de um motor danificado o uso de procedimentos que podem introduzir novos fatores, responsáveis por consideráveis aumentos das perdas em relação ao motor original. As principais são:

- Aquecimento excessivo do núcleo de ferro: a retirada do enrolamento defeituoso provoca o rompimento da isolação entre as lâminas do pacote do estator e, como consequência, aumenta as perdas por correntes parasitas. Processos de retirada com o uso inadequado do maçarico devem ser evitados. A elevação de temperatura do estator em estufa até 200 °C, é suficiente para a retirada dos enrolamentos sem estresse ao material magnético;
- Rebobinamento em desacordo com os dados originais de projeto do fabricante: nesse caso, o número de espiras ou bitola de fio diferentes do original, colocam a condição de funcionamento do motor fora das características ideais, acarretando decréscimo no rendimento e aumento nas perdas;
- Reparos no rotor, tais como a usinagem do diâmetro externo que, embora produza um pequeno aumento no entreferro, resulta em um grande aumento na corrente de magnetização e, conseqüentemente, nas perdas por efeito *Joule* ( $I^2 \times R$ ).

Assim, é importante avaliar se um motor, depois de recondicionado, mantém as condições originais de desempenho de fábrica. Para isso, sob o ponto de vista do controle da manutenção, é importante que as empresas mantenham sob registro os dados originais de corrente e consumo a vazio de cada motor e que estes sejam comparados após cada reparo. O aumento da corrente e do consumo em vazio pode indicar que a substituição deste motor por um novo será bastante vantajosa sob o aspecto de maior vida útil e retorno rápido do investimento com a economia de energia.

Como na maioria das empresas esses dados de corrente em vazio e consumo não estão disponíveis em registro, pode-se utilizar as curvas características fornecidas pelo fabricante para fazer a avaliação.

## Voltando ao desafio

Na situação apresentada, o rebobinamento do motor não é a melhor solução, por vários motivos:

- Embora o preço do conserto pareça mais atraente do que a aquisição de um novo motor, as despesas decorrentes do uso de um motor inadequado, não compensam a economia inicial;
- Não há garantias de que um rebobinamento vá devolver ao motor velho o desempenho que ele tinha quando novo, porque dificilmente a oficina usará materiais de mesma especificação daqueles utilizados na fabricação do motor. Isso causaria perdas diversas, aquecimento excessivo, queda de potência e aumento de consumo de energia;
- Não há como saber se o próprio enrolamento foi realizado de maneira adequada, com as ferramentas e técnicas corretas para este tipo de trabalho;
- A empresa não se preocupou em avaliar a causa da queima do motor, que pode estar no estado de conservação do equipamento que já era de segunda-mão. Uma máquina para polir calçados possui um longo eixo que poderia estar empenado causando esforços axiais que sobrecarregaram o motor;
- A empresa perdeu uma boa oportunidade de modernizar o equipamento, não só fazendo toda a revisão do estado das partes mecânicas da máquina, quanto adquirindo um motor de alto rendimento, a fim de melhorar a eficiência energética do equipamento.

## Resumindo

Neste capítulo você conheceu dados relevantes sobre o uso do motor elétrico de indução no consumo de energia elétrica no Brasil. Estes dados justificam o foco na procura da eficiência energética por meio do uso adequado desse tipo de motor elétrico.

Assim, você estudou as causas do desperdício de energia no uso dos motores que são:

- perdas internas;
- fator de potência;

- rede de alimentação;
- manutenção e perdas mecânicas;
- reparo e recondicionamento.

Para que o motor elétrico possa ser usado eficientemente, precisa ser constantemente monitorado a intervalos regulares durante o processo de manutenção preventiva, durante o qual são realizadas todas as medições necessárias para manter os valores de referência dentro dos parâmetros recomendados pelo fabricante.

Com esse procedimento será possível alcançar o objetivo de diminuição do consumo de energia elétrica.

## **Aprenda mais**

Para aprender mais sobre o uso eficiente dos motores elétricos, pode-se obter informações pela Internet, nos *sites* dos fabricantes. Pode-se, também, pesquisar por meio de ferramentas de busca, digitando “*uso eficiente dos motores elétricos*” e vendo o que aparece.

Não deixe de consultar as referências bibliográficas deste material.



## Referências

---

AAE. **Procedimentos de manutenção para economia de energia**. São Paulo: Agência para Aplicação de Energia, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5383**: máquinas elétricas girantes – parte I – motores de indução trifásicos – ensaios. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 5432**: máquina elétrica girante – dimensões e potências nominais. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 5457**: eletrotécnica e eletrônica – máquinas girantes – terminologia. Rio de Janeiro, 1980.

\_\_\_\_\_. **NBR 7034**: Materiais isolantes elétricos – Classificação térmica. Rio de Janeiro, 1981.

\_\_\_\_\_. **NBR 9884**: máquinas elétricas girantes – graus de proteção proporcionados pelos invólucros. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 7094**: máquinas elétricas girantes – motores de indução – especificação. Rio de Janeiro, 1996.

ALBUQUERQUE, P. C. Seleção e aplicação de motores elétricos. **Revista Eletricidade Moderna**, 1983 Parte I; EM-118, Julho, pp.14-21, Parte II: EM-121, Outubro, p.34-38, Parte III: EM-123, Dezembro, p. 36-39.

ALMEIDA, J. E. **Motores elétricos**: manutenção e testes. 3. ed. São Paulo: Hemus, 1995.

AMARAL, C.; ALMEIDA, E. **Conservação de energia em motores elétricos**: primeiro relatório parcial. Rio de Janeiro: Instituto de Economia Industrial – IEL, UFRJ, 1994.

ARNOLD, R.; STREHR, W. **Máquinas elétricas**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda, 1976.

CEPEL. **Guia operacional de motores elétricos**. Rio de Janeiro: Cepel – Eletrobrás/Procel, 1998.

COGO, J. R. et al. Análise do desempenho dos motores elétricos nacionais. **Revista Eletricidade Moderna**, p. 26-38, fev. 1993.

EBERLE. **Catalogo eletrônico de produtos**. Caxias do Sul, 1999.

\_\_\_\_\_. **Manual de assistência técnica Eberle**. [S.n.t].

\_\_\_\_\_. **Manual de motores Eberle**. [S.n.t].

ELETROBRÁS. **Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos**. 2. ed. Itajubá: UNIFEI, 2003.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JR., C. **Máquinas elétricas**. 2. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1961.

FURST, G.; GELLER, H.; OLIVEIRA, L. M. N. Eficiência dos equipamentos elétricos: avaliações e perspectivas de conservação de energia. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 5., 1990, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro, 1990. v. 3/3. p.1025 –1034.

GE. **Manual de motores e geradores: Teste de núcleo de estatores**. [S.l.]: General Electric – DSMI, 1981.

GELLER H.; TOLMASQUIM M. T.; SCHAEFFER R. **O uso eficiente da eletricidade**. Rio de Janeiro: INEE / ACEEE / PROCEL, 1994.

HERSZTERG, I. **O uso do motor elétrico na indústria: perspectivas de conservação de energia**. 1996. Tese (Mestrado)–Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: COPPE/ UFRJ, 1996.

JORDÃO, D. M. **Manual de instalações elétricas em indústrias químicas, petroquímicas e de petróleo**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

KOSOW, I. L. **Máquinas elétricas e transformadores**. 12. ed. São Paulo: Globo S.A., 1996.

KREUTZFELD, S. Motores de alto rendimento: uma economia viável? **Revista Eletricidade Moderna**, p.30-37, out. 1988,.

LOBOSCO, O. S.; DIAS, J. L. P. C. **Seleção e aplicação de motores elétricos**. São Paulo: Makron Books do Brasil Ltda, 1988.

MILEAF, H.; FARQUI, E. A. **Eletricidade 7**. São Paulo: Martins Fontes, 1985.

PETROBRÁS. **Inspeção de firmas de enrolamento de motores**. Rio de Janeiro, 1995.

PROCEL; CEMIG; ELETROBRÁS. **Avaliação do desempenho dos motores elétricos trifásicos**. Belo Horizonte, 1990.

SEMINÁRIO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA EM MOTORES ELÉTRICOS. 1988, Rio de Janeiro. [**Anais...**]. Rio de Janeiro: PROCEL; CEPEL, 1988.

SENS, M. R. **Motores de alto rendimento: uma economia energética viável?** SEMINÁRIO DE MOTORES ELÉTRICOS, 1., 1989, São Paulo. [**Anais...**]. São Paulo: ABINEE, 1989.

SIMÕES, N. W. B.; BURGOA, J. A.; CaGO, J.R. **Conservação de energia em motores de indução em indústrias**. SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 1., 1990, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Editora IEEE, 1990. v. II.

SIMONE, GILIO ALUISIO. **Máquinas de indução trifásicas: teoria e exercícios**. São Paulo: Érica, 1994.

SOARES, G. A.; LIMA, A. G. G. **Conservação de energia em motores elétricos e acionamentos eletrônicos**. Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, CEPEL, ELETROBRAS.

TABOSA, R. P.; SOARES, G. A. **Motores e acionamentos**. Seminário Internacional "Estratégias de Conservação de Energia Elétrica para o Brasil" – PROCEL / ELETROBRAS – 1994.

TORO, VINCENT DEL. **Fundamentos de máquinas elétricas**. São Paulo: LTC, 1994.

WEG. **Manual completo WEG**. [S.n.t].



# Anexo

---

## **Decreto nº 4.508, de 11 de dezembro de 2002**

Presidência da República  
Casa Civil  
Subchefia para Assuntos Jurídicos

### **DECRETO Nº 4.508, DE 11 DE DEZEMBRO DE 2002**

Dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil, e dá outras providências.

**O PRESIDENTE DA REPÚBLICA**, no uso da atribuição que lhe confere o art. 84, inciso IV, da Constituição, e tendo em vista o disposto na Lei nº10.295, de 17 de outubro de 2001, e no Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001,

#### **DECRETA:**

Art. 1º Fica aprovada a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil, na forma dos Anexos I e II deste Decreto.

Art. 2º O estabelecimento dos níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética dos demais aparelhos e máquinas, bem como os programas de metas previstos no art. 2º da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, serão objeto de regulamentações específicas por meio de portarias interministeriais dos Ministérios de Minas e Energia, da Ciência e Tecnologia e do De-

envolvimento, Indústria e Comércio Exterior, após aprovação do Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE.

Art. 3º Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 11 de dezembro de 2002; 181º da Independência e 114º da República.

***Este texto não substitui o publicado no D.O.U. de 12.12.2002***

FERNANDO HENRIQUE CARDOSO

Francisco Gomide

Benjamin Benzaquen Sicsú

Ronaldo Mota Sardenberg

## **Anexo I**

### **REGULAMENTAÇÃO ESPECÍFICA QUE DEFINE OS NÍVEIS MÍNIMOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉTRICOS TRIFÁSICOS DE INDUÇÃO ROTOR GAIOLA DE ESQUILO**

#### **CAPÍTULO I**

##### **CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO**

Art. 1º Os equipamentos objeto desta regulamentação correspondem aos motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil, incluindo tanto os motores comercializados isoladamente quanto os que fazem parte de outros equipamentos.

Parágrafo único. Os motores objeto desta regulamentação possuem as seguintes características:

I – para operação em rede de distribuição de corrente alternada trifásica de 60 Hz, e tensão nominal até 600V, individualmente ou em quaisquer combinações de tensões;

II – frequência nominal de 60 Hz ou 50 Hz para operação em 60 Hz;

III – uma única velocidade nominal ou múltiplas velocidades para operação em uma única velocidade nominal;

IV – nas potências nominais de 1 a 250cv ou hp (0,75 a 185kW) nas polaridades de 2 e 4 pólos; nas potências de 1 a 200cv ou hp (0,75 a 150kW) na polaridade de 6 pólos e nas potências de 1 a 150cv ou hp (0,75 a 110kW) na polaridade de 8 pólos;

V – para operação contínua, ou classificado como operação S1 conforme a Norma Brasileira – NBR 7094/2000, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT;

VI – desempenho de partida de acordo com as características das categorias N e H da norma NBR 7094/2000, da ABNT, ou categorias equivalentes, tais como A ou B ou C da “National Equipment Manufacturers Association” – NEMA; e

VII – seja do tipo totalmente fechado com ventilação externa, acoplada ou solidária ao próprio eixo de acionamento do motor elétrico.

Art. 2º O Anexo II apresenta esclarecimentos adicionais que contribuem para a caracterização dos motores abrangidos.

Parágrafo único. O Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE, instituído pelo Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001, poderá, com apoio de grupo técnico, elaborar documentos complementares que se fizerem necessários para identificar os motores de que trata esta regulamentação.

## **CAPÍTULO II**

### **RENDIMENTOS NOMINAIS MÍNIMOS E PROCEDIMENTOS DE ENSAIOS**

Art. 3º O indicador de eficiência energética a ser utilizado é o rendimento nominal.

Art. 4º O método de ensaio para determinação do rendimento nominal é a variação do Método 2 – Ensaio Dinamométrico com medição indireta das perdas suplementares e medição direta das perdas no estator ( $I^2R$ ), no rotor ( $I^2R$ ), no núcleo e por atrito e ventilação, descrito na norma NBR 5383-1/2001 da ABNT – Máquinas Elétricas Girantes – Parte 1 – Motores de Indução Trifásicos – Ensaios. O rendimento nominal deve ser determinado nas condições de tensão nominal, frequência nominal e potência de saída nominal no eixo do motor.

Art. 5º Os níveis mínimos de rendimento nominal a serem atendidos estão definidos na tabela abaixo, incluindo as linhas de motores padrão e alto rendimento.

§ 1º Estes valores estão sujeitos às tolerâncias descritas na norma NBR 7094/2000 da ABNT.

§ 2º Entende-se por motores da linha padrão e da linha de alto rendimento os motores elétricos trifásicos de indução rotor de gaiola de esquilo caracterizados tecnicamente nos arts. 1º e 2º e com rendimentos nominais mínimos iguais ou superiores aos estabelecidos na tabela a seguir.

TABELA – RENDIMENTOS NOMINAIS MÍNIMOS

| cv ou<br>hp | Kw   | PADRÃO |      |      |      | ALTO RENDIMENTO |      |      |      |
|-------------|------|--------|------|------|------|-----------------|------|------|------|
|             |      | Pólos  |      |      |      | Pólos           |      |      |      |
|             |      | 2      | 4    | 6    | 8    | 2               | 4    | 6    | 8    |
| 1,0         | 0,75 | 77,0   | 78,0 | 73,0 | 66,0 | 80,0            | 80,5 | 80,0 | 70,0 |
| 1,5         | 1,1  | 78,5   | 79,0 | 75,0 | 73,5 | 82,5            | 81,5 | 77,0 | 77,0 |
| 2,0         | 1,5  | 81,0   | 81,5 | 77,0 | 77,0 | 83,5            | 84,0 | 83,0 | 82,5 |
| 3,0         | 2,2  | 81,5   | 83,0 | 78,5 | 78,0 | 85,0            | 85,0 | 83,0 | 84,0 |
| 4,0         | 3,0  | 82,5   | 83,0 | 81,0 | 79,0 | 85,0            | 86,0 | 85,0 | 84,5 |
| 5,0         | 3,7  | 84,5   | 85,0 | 83,5 | 80,0 | 87,5            | 87,5 | 87,5 | 85,5 |
| 6,0         | 4,5  | 85,0   | 85,5 | 84,0 | 82,0 | 88,0            | 88,5 | 87,5 | 85,5 |
| 7,5         | 5,5  | 86,0   | 87,0 | 85,0 | 84,0 | 88,5            | 89,5 | 88,0 | 85,5 |
| 10          | 7,5  | 87,5   | 87,5 | 86,0 | 85,0 | 89,5            | 89,5 | 88,5 | 88,5 |
| 12,5        | 9,2  | 87,5   | 87,5 | 87,5 | 86,0 | 89,5            | 90,0 | 88,5 | 88,5 |
| 15          | 11   | 87,5   | 88,5 | 89,0 | 87,5 | 90,2            | 91,0 | 90,2 | 88,5 |
| 20          | 15   | 88,5   | 89,5 | 89,5 | 88,5 | 90,2            | 91,0 | 90,2 | 89,5 |
| 25          | 18,5 | 89,5   | 90,5 | 90,2 | 88,5 | 91,0            | 92,4 | 91,7 | 89,5 |
| 30          | 22   | 89,5   | 91,0 | 91,0 | 90,2 | 91,0            | 92,4 | 91,7 | 91,0 |
| 40          | 30   | 90,2   | 91,7 | 91,7 | 90,2 | 91,7            | 93,0 | 93,0 | 91,0 |
| 50          | 37   | 91,5   | 92,4 | 91,7 | 91,0 | 92,4            | 93,0 | 93,0 | 91,7 |
| 60          | 45   | 91,7   | 93,0 | 91,7 | 91,0 | 93,0            | 93,6 | 93,6 | 91,7 |
| 75          | 55   | 92,4   | 93,0 | 92,1 | 91,5 | 93,0            | 94,1 | 93,6 | 93,0 |
| 100         | 75   | 93,0   | 93,2 | 93,0 | 92,0 | 93,6            | 94,5 | 94,1 | 93,0 |
| 125         | 90   | 93,0   | 93,2 | 93,0 | 92,5 | 94,5            | 94,5 | 94,1 | 93,6 |
| 150         | 110  | 93,0   | 93,5 | 94,1 | 92,5 | 94,5            | 95,0 | 95,0 | 93,6 |
| 175         | 132  | 93,5   | 94,1 | 94,1 |      | 94,7            | 95,0 | 95,0 |      |
| 200         | 150  | 94,1   | 94,5 | 94,1 |      | 95,0            | 95,0 | 95,0 |      |
| 250         | 185  | 94,1   | 94,5 |      |      | 95,4            | 95,0 |      |      |

### CAPÍTULO III

#### PLACA DE IDENTIFICAÇÃO DO MOTOR

Art. 6º A placa de identificação permanente de um motor deve conter claramente o rendimento e o fator de potência nominais do motor, observados os demais requisitos definidos na norma NBR 7094 da ABNT.

### CAPÍTULO IV

#### AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE E LABORATÓRIOS

Art. 7º O processo de avaliação da conformidade para verificação dos níveis mínimos de eficiência energética dos motores trifásicos, caracterizados em conformidade com o Capítulo I desta regulamentação, é o da etiquetagem, realizado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro, por meio do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE.

§ 1º Antes da comercialização de um modelo básico de motor, este deverá ser submetido pelo fabricante ou importador ao Inmetro para autorização de comercialização no Brasil. Entende-se por modelo básico um motor que represente um conjunto de motores com mesmas características elétricas e mecânicas e produzido por um mesmo fabricante.

§ 2º A autorização de comercialização conferida pelo Inmetro não isenta o fabricante ou importador da responsabilidade de comercializar seus equipamentos dentro dos índices mínimos de eficiência definidos nesta regulamentação.

Art. 8º Os laboratórios responsáveis pelos ensaios que comprovarão o atendimento dos níveis mínimos de rendimento nominal dos motores fabricados ou comercializados no País são aqueles credenciados ou designados pelo Inmetro.

Parágrafo único. Os laboratórios credenciados ou designados pelo Inmetro estão relacionados no campo específico, para esta regulamentação, na página eletrônica do Inmetro.

Art. 9º O CGIEE poderá, eventualmente, e com o conhecimento do Inmetro, designar outros laboratórios capacitados para realizar os ensaios pertinentes,

quando os credenciados ou reconhecidos não puderem atender às solicitações ou ficarem impedidos momentaneamente de atender aos pedidos. Nesse caso, os laboratórios deverão ser previamente auditados por técnicos indicados pelo Inmetro, com base na norma NBR ISO 17.025, da ABNT, e o ensaio acompanhado por especialista indicado pelo Inmetro.

## CAPÍTULO V

### MOTORES COMPONENTES DE OUTRAS MÁQUINAS

Art. 10. As máquinas motrizes de uso final que tenham regulamentação específica relativa a níveis mínimos de eficiência ou máximos de consumo de energia, conforme Decreto nº 4.059, de 2001, não estão abrangidos por esta regulamentação.

Parágrafo único. Entende-se por máquinas motrizes de uso final os equipamentos que possuem motores como um dos seus componentes.

Art. 11. As máquinas motrizes de uso final que não se enquadram no art. 10 devem possuir, na sua placa de identificação ou em placa adicional, os dados do motor ou dos motores componentes, explicitando as informações de rendimento e fator de potência nominais.

Art. 12. Caberá aos fabricantes das máquinas motrizes de uso final, a comprovação perante o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior ou ao órgão por ele indicado, de que um determinado motor componente de um modelo básico de máquina motriz de uso final, não está abrangido por esta regulamentação.

Art. 13. Os motores, tanto da linha padrão quanto de alto rendimento, componentes de máquinas motrizes de uso final que são fabricados ou importados em carcaças inferiores às referenciadas pela norma NBR 7094/2000, da ABNT, conforme correspondência entre potência nominal e velocidade síncrona, também estão cobertos por esta regulamentação.

Parágrafo único. O prazo e a condição de adequação para os motores abrangidos pelo **caput** deste artigo, quando se tratar de modificações onerosas, encontram-se explicitados nos arts. 19 e 20 desta regulamentação.

## CAPÍTULO VI

### MOTORES E MÁQUINAS MOTRIZES DE USO FINAL IMPORTADOS

Art. 14. As empresas importadoras de motores e de máquinas motrizes de uso final, abrangidos por esta regulamentação, devem comprovar o atendimento aos níveis mínimos de eficiência energética durante o processo de importação.

Art. 15. No processo de importação dos motores e de máquinas motrizes de uso final de que trata esta regulamentação, deverá haver a anuência do Inmetro para concessão da Licença de Importação, obtida previamente ao embarque no exterior.

## CAPÍTULO VII

### FISCALIZAÇÃO E PENALIDADES

Art. 16. A fiscalização do cumprimento das disposições contidas nesta regulamentação, em todo o território nacional, será efetuada pelo Inmetro e pelas entidades de direito público com ele conveniadas.

Parágrafo único. O não-cumprimento da presente regulamentação, acarretará aos infratores, a aplicação das penalidades previstas na Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001.

## CAPÍTULO VIII

### VIGÊNCIA

Art. 17. A data-limite para fabricação no país ou importação do exterior de motores que não fazem parte de máquina motriz de uso final e que não atendam ao disposto nesta regulamentação é a da entrada em vigor deste Decreto.

Art. 18. A data-limite para comercialização dos motores fabricados no país ou importados do exterior que não fazem parte de máquina motriz de uso final e que não atendam ao disposto nesta regulamentação é 28 de fevereiro de 2003.

Parágrafo único. Os conhecimentos de embarque dos motores importados referentes ao caput deste artigo, deverão ter sido emitidos até a data de entrada em vigor desta regulamentação.

Art. 19. A data-limite para fabricação no país ou importação do exterior de máquinas motrizes de uso final cujos motores componentes são abrangidos e que não atendam ao disposto nesta regulamentação é 28 de fevereiro de 2003.

Parágrafo único. Para as máquinas motrizes de uso final para as quais o atendimento desta regulamentação implicar em modificações onerosas, financeiramente, tecnicamente ou operacionalmente, comprovadas junto ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC ou ao órgão por ele indicado, o prazo do **caput** fica estendido para 30 de setembro de 2003.

Art. 20. A data-limite para comercialização de máquinas motrizes de uso final cujos motores componentes não atendam ao disposto nesta regulamentação é 31 de julho de 2003.

Parágrafo único. Para as máquinas motrizes de uso final para as quais o atendimento desta regulamentação implicar em modificações onerosas, financeiramente, tecnicamente ou operacionalmente, comprovadas junto ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC ou ao órgão por ele indicado, o prazo do **caput** fica estendido para 30 de dezembro de 2003.

## **Anexo II**

### **ESCLARECIMENTOS PARA CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS**

#### **OBJETO DESTA REGULAMENTAÇÃO**

Este Anexo apresenta esclarecimentos adicionais para caracterizar os motores objeto desta regulamentação, conforme descrito a seguir:

##### **I – Motores de Velocidade Variável**

Motores de várias velocidades nominais e motores com inversores embutidos não são equipamentos abrangidos por esta regulamentação, já que os seus projetos são para uso em velocidade variável.

No entanto, os motores que sejam de velocidade única, que atendem aos outros critérios definidos neste Anexo, e que podem ser usados com inversores em aplicações de velocidade variável como uma característica adicional, são equipamentos abrangidos por esta regulamentação. Em outras palavras, ser adequado para uso com um inversor não exime um motor das exigências aqui definidas.

## **II – Motores com Selo Mecânico ou Retentores**

Quando o motor sem selo mecânico ou retentor é abrangido por esta regulamentação, o motor com selo mecânico correspondente também é abrangido. É obrigatório que o rendimento do referido motor seja aferido em ensaios com a retirada dos selos ou retentores instalados.

## **III – Motores de Potência Intermediária**

Os motores elétricos construídos para potências intermediárias às potências definidas na TABELA do art. 5º do Anexo I serão referidos como “motores com potências intermediárias”. Os motores com potências intermediárias são abrangidos por esta regulamentação. O valor do rendimento mínimo que se aplica é o da potência adjacente mais próxima da potência nominal do mesmo. Para motores com potências intermediárias equidistantes de duas potências adjacentes, deverá ser exigido o rendimento do motor com potência nominal superior a dele.

## **IV – Motores para Bombas Monobloco**

Um motor elétrico, com as características definidas no art. 1º do Anexo I, e que possa ser acoplado a uma bomba está abrangido por esta regulamentação.

## **V – Motores Acoplados a Acionadores Mecânicos**

Um motor elétrico, com as características definidas no art. 1º do Anexo I, que é conectado a um acionador mecânico de engrenagens ou a um conjunto de engrenagens por intermédio de acoplamento direto, correias, parafusos, ou outros meios, é equipamento abrangido por esta regulamentação.

## **VI – Motores com Rolamentos Especiais**

Um motor elétrico, com as características definidas no art. 1º do Anexo I, cuja aplicação exige rolamentos de rolos ou rolamentos para carga axial, está abrangido por esta regulamentação. É permitido que o rendimento do motor seja aferido em ensaios com a utilização de rolamentos de esferas radiais.

## **VII – Motores Especiais**

Motores eléctricos de indução trifásicos com projetos eléctricos e mecânicos especiais para aplicações específicas estão excluídos desta regulamentação. Os fabricantes destes motores deverão comprovar esta exclusão junto ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior ou ao órgão por ele indicado.

## **VIII – Motores em Áreas Classificadas**

Motores eléctricos certificados para áreas classificadas, com exceção daqueles do tipo não acendíveis, não estão abrangidos por esta regulamentação. Os fabricantes destes motores deverão comprovar esta exclusão junto ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior ou ao órgão por ele indicado.

***Este texto não substitui o publicado no D.O.U. de 12/12/2002***

PORTARIA INTERMINISTERIAL Nº 553, DE 8 DE DEZEMBRO DE 2005.

OS MINISTROS DE ESTADO DE MINAS E ENERGIA, DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, E DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR, no uso da atribuição que lhes confere o art. 87, parágrafo único, inciso II, da Constituição, tendo em vista o disposto na Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, no Decreto no 4.059, de 19 de dezembro de 2001, e no art. 2º do Decreto nº 4.508, de 11 de dezembro de 2002, e considerando que

o art. 2º da Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, estabelece que compete ao Poder Executivo estabelecer os níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética;

foi instituído o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE, com a finalidade de elaborar regulamentação específica para cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia, e estabelecer Programa de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado;

a regulamentação específica de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, bem como os níveis mínimos de eficiência energética estão contemplados no Decreto no 4.508, de 11 de dezembro de 2002; e

o Programa de Metas deve ser estabelecido por meio de Portaria Interministerial; resolvem:

Art. 1º Aprovar o Programa de Metas de motores elétricos de indução trifásicos, na forma constante do Anexo à presente Portaria.

Art. 2º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

SILAS RONDEAU CAVALCANTE SILVA  
Ministro de Estado de Minas e Energia

SÉRGIO MACHADO REZENDE  
Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia

LUIZ FERNANDO FURLAN  
Ministro de Estado do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

Este texto não substitui o publicado no D.O.U. de 12.12.2004.

Anexo

## PROGRAMA DE METAS

Art. 1º Este Programa de Metas complementa a regulamentação específica de motores elétricos de indução trifásicos, atendendo ao disposto no § 2º do art. 2º da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001.

Art. 2º A caracterização do produto objeto desta Portaria é apresentada nos arts. 1º e 2º do Anexo I do Decreto no 4.508, de 11 de dezembro de 2002.

Art. 3º Fica estabelecido que os níveis mínimos de rendimento nominal a serem atendidos pelos motores elétricos de indução trifásicos, caracterizados no art. 2º deste Anexo, estão definidos na TABELA 1 – RENDIMENTOS NOMINAIS MÍNIMOS, sem a distinção dos níveis de rendimento nominal entre as linhas padrão e alto rendimento de motores elétricos de indução, definidas no art. 5º do Anexo I do Decreto nº 4.508, de 2002.

Parágrafo único. Os valores constantes desta regulamentação estarão sujeitos às tolerâncias descritas na norma NBR 7094/2000 da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

TABELA 1 – RENDIMENTOS NOMINAIS MÍNIMOS

| Potência nominal |      | Pólos |      |      |      |
|------------------|------|-------|------|------|------|
| cv ou hp         | kW   | 2     | 4    | 6    | 8    |
| 1,0              | 0,75 | 80,0  | 80,5 | 80,0 | 70   |
| 1,5              | 1,1  | 82,5  | 81,5 | 77,0 | 77   |
| 2,0              | 1,5  | 83,5  | 84,0 | 83,0 | 82,5 |
| 3,0              | 2,0  | 85,0  | 85,0 | 83,0 | 84,0 |
| 4,0              | 3,0  | 85,0  | 86,0 | 85,0 | 84,5 |
| 5,0              | 3,7  | 87,5  | 87,5 | 87,5 | 85,5 |
| 6,0              | 4,5  | 88,0  | 88,5 | 87,5 | 85,5 |
| 7,5              | 5,5  | 88,5  | 89,5 | 88,0 | 85,5 |
| 1,0              | 7,5  | 89,5  | 89,5 | 88,5 | 88,5 |
| 12,5             | 9,2  | 89,5  | 90,0 | 88,5 | 88,5 |
| 15               | 11   | 90,2  | 91,0 | 90,2 | 88,5 |
| 20               | 15   | 90,2  | 91,0 | 90,2 | 89,5 |
| 25               | 18,5 | 91,0  | 92,4 | 91,7 | 89,5 |
| 30               | 22   | 91,0  | 92,4 | 91,7 | 91,0 |
| 40               | 30   | 91,7  | 93,0 | 93,0 | 91,0 |
| 50               | 37   | 92,4  | 93,0 | 93,0 | 91,7 |
| 60               | 45   | 93,0  | 93,6 | 93,6 | 91,7 |
| 75               | 55   | 93,0  | 94,1 | 93,6 | 93,0 |
| 100              | 75   | 93,6  | 94,5 | 94,1 | 93,0 |
| 125              | 90   | 94,5  | 94,5 | 94,1 | 93,6 |
| 150              | 110  | 94,5  | 95,0 | 95,0 | 93,6 |
| 175              | 132  | 94,7  | 95,0 | 95,0 |      |
| 200              | 150  | 95,0  | 95,0 | 95,0 |      |
| 250              | 185  | 95,4  | 95,0 |      |      |

Art. 4º A data limite para fabricação no País ou importação dos motores objeto da regulamentação aqui tratada e que não atendam ao disposto no art. 3º deste Anexo será de quatro anos a partir da entrada em vigor desta Portaria.

Art. 5º A data limite para comercialização no País dos motores referidos no art. 4º será de quatro anos e seis meses a partir da vigência deste ato.

Parágrafo único. Os conhecimentos de embarque dos motores importados mencionados no caput deverão ser emitidos até a data limite fixada no art. 4º.

Art. 6º A data limite para fabricação no País ou importação de máquinas motrizes de uso final cujos motores componentes sejam objeto desta regulamentação e que não atendam ao disposto no art. 3º deste Anexo será de quatro anos a partir da publicação desta Portaria.

Parágrafo único. Para as máquinas motrizes de uso final para as quais o atendimento a esta regulamentação implicar em modificações onerosas, financeiramente, tecnicamente ou operacionalmente, a serem devidamente justificadas, comprovadas e aceitas pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, ou ao órgão por ele indicado, o prazo definido no caput será estendido por mais seis meses.

Art. 7º A data limite para comercialização no País de máquinas motrizes de uso final referidas no art. 6º será de quatro anos e seis meses a partir da vigência deste ato.

Parágrafo único. Para as máquinas motrizes de uso final para as quais o atendimento a esta regulamentação implicar em modificações onerosas, financeiramente, tecnicamente ou operacionalmente, a serem devidamente justificadas, comprovadas e aceitas pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, ou ao órgão por ele indicado, o prazo do caput será estendido por mais seis meses.

Art. 8º O Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE, instituído pelo Decreto no 4.059, de 19 de dezembro de 2001, será o responsável pelo acompanhamento e a avaliação das ações governamentais de suporte à implantação deste Programa de Metas, por intermédio do Comitê Técnico de Motores, cabendo-lhe elaborar relatórios semestrais que subsidiem a verificação da viabilidade de atendimento desta Portaria, bem como propor ações complementares no sentido de compatibilizar o prazo de atendimento ao andamento das ações governamentais.







Ministério de  
Minas e Energia

