

Capítulo I

Introdução aos motores elétricos de indução trifásicos

O motor elétrico é a máquina mais usada para transformar energia elétrica em energia mecânica, pois combina as vantagens da utilização de energia elétrica (custo reduzido, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando) com sua construção simples e robusta. Apresentam baixos custos e grande versatilidade de adaptação aos mais variados tipos de cargas.

1) Histórico do motor elétrico trifásico

1831 – o princípio de indução magnética foi estabelecida por Michael Faraday, em 1831 onde sabia-se que um ímã rotativo era capaz de fazer girar um disco metálico pela ação da indução eletromagnética.

1879 – em 1879, o inglês U. Bailey conseguiu obter um campo magnético girante a partir de eletroímãs fixos.

1887 – em 1887 o croata naturalizado norte americano Nikola Tesla e o italiano Galileo Ferraris conseguiram obter um campo girante, a partir de duas bobinas defasadas de 90° no tempo. Era o campo girante bifásico. A partir do experimento de Tesla e Ferraris a empresa norte americana iniciou a produção de motores assíncronos bifásicos. Eram motores precursores dos atuais motores de indução monofásicos.

1889 – o motor de indução trifásico foi desenvolvido pelo russo Michael Dolivo Dobro Volski, que era engenheiro da empresa alemã AEG. Após a invenção de Dobro Volski, teve início a produção em série dos motores de indução trifásicos.

2) Universo tecnológico em motores elétricos

Os motores elétricos podem ser divididos em motores de corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC).

Motor CA pode ser dividido em monofásico, universal e trifásico. Os monofásicos e os trifásicos são divididos em assíncrono e síncrono. Os monofásicos assíncronos são divididos em gaiola de esquilo e rotor bobinado. Os monofásicos síncronos são divididos em relutância e histerese. Os trifásicos assíncronos são divididos em gaiola de esquilo e anéis. Os trifásicos síncronos são divididos em ímã permanente, pólos salientes e pólos lisos. Os monofásicos assíncronos do tipo gaiola de esquilo são divididos em split-phase, capacitor partida, capacitor permanente, capacitor dois valores e pólos sombreados. O monofásico assíncrono do tipo rotor bobinado tem o tipo repulsão.

Motor CA: podem ser divididos basicamente em monofásicos e trifásicos. Eles são os mais utilizados porque a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada. Os principais tipos são: assíncrono (de indução) e síncrono.

- Monofásico (assíncrono e síncrono)
- Universal
- Trifásico (assíncrono e síncrono)

Motor CC: são motores de custo mais elevado e, além disso, precisam de uma fonte CC ou de um dispositivo que converte a CA comum em contínua. Podem funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites e se prestam a controles de grande flexibilidade e precisão. Por isso, seu uso é restrito a casos especiais em que estas exigências compensam o custo mais alto da instalação.

- Excitação série
- Excitação independente
- Excitação compound
- Ímã permanente

a) Motores CA

Síncrono: funciona com velocidade fixa. É utilizado somente para grandes potências (devido ao seu alto custo em tamanhos menores) ou quando se necessita de velocidade invariável.

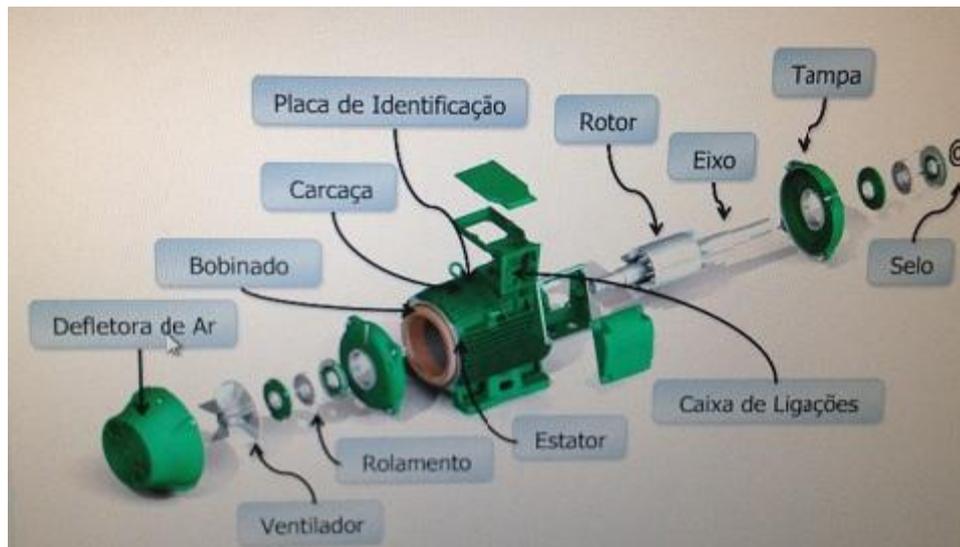
Indução assíncrono: funciona normalmente com uma velocidade constante que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido à sua grande simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas encontradas na prática. Atualmente é possível controlarmos a velocidade dos motores de indução com o auxílio de inversores de frequência.

Capítulo II

Características construtivas

O motor de indução trifásico é composto fundamentalmente de duas partes: estator e rotor.

Figura 1: composição de um motor de indução trifásico



Fonte: WEG

1) Estator:

- Carcaça: é a estrutura suporte do conjunto; de construção robusta em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, com ou sem aletas e resistente a corrosão.
- Núcleo de chapas: as chapas são de aço magnético.
- Enrolamento trifásico: três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, formando um sistema trifásico ligado à rede trifásica de alimentação.

O estator é composto por núcleo de chapas e enrolamento trifásico. O núcleo de chapas de aço é inserido dentro da carcaça do motor e o enrolamento trifásico é disposto dentro das ranhuras do núcleo de chapas.

2) Rotor:

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

Os rotores podem ser divididos em três tipos: rotor de gaiola de alumínio, rotor de gaiola de barras e rotor bobinado (anéis).

Rotor de gaiola de alumínio: é confeccionado com barras e anéis de curto em alumínio injetado formando o que conhecemos como gaiola de esquilo e permitindo um caminho para circulação da corrente induzida.

Rotor de gaiola de barras: este tipo de rotor é feito de barras de cobre que são inseridas nas ranhuras do rotor.

Rotor bobinado: este tipo de rotor é composto de bobinas de cobre que são inseridas nas ranhuras do rotor.

O rotor é composto das seguintes partes: eixo, barras e anéis de curto; núcleos de chapas: dentro do núcleo de chapas encontram-se as barras de alumínio injetado curto-circuitadas. O eixo do rotor é inserido em um furo central.

3) Restante:

- Outras partes do motor de indução trifásico: tampa, ventilador, tampa defletora, caixa de ligação, terminais e rolamentos.

Tampa dianteira: na tampa dianteira é fixado o rolamento dianteiro.

Caixa de ligação: é na caixa de ligação que encontramos os terminais para a energização do motor. A ligação do motor deve ser feita conforme dados da placa de identificação do mesmo.

Tampa traseira: na tampa traseira é fixado o rolamento traseiro e a tampa defletora.

Tampa defletora: a tampa defletora tem a função de direcionar o fluxo de ar axialmente nas aletas do motor e desta maneira favorecer a dissipação do calor gerado pelo motor.

Ventilador: o ventilador é fixado no eixo do rotor e conseqüentemente gira junto com o mesmo. A localização do ventilador está entre a tampa defletora e a tampa traseira.

Figura 2: componentes de um motor de indução trifásico



Fonte: WEG

Dimensões dos motores elétricos WEG seguem uma padronização.

Dimensões: número da carcaça ABNT: distância do centro da ponta de eixo à base do pé do motor.

Normas: ABNT, IEC: dimensões em mm NEMA: dimensões em polegadas.

As dimensões dos motores elétricos WEG são padronizadas de acordo com a NBR-5432 que acompanha a International Electrotechnical com Mission-IEC-60072. Nestas normas a dimensão básica para a padronização das dimensões de montagem de máquinas elétricas é a altura do plano da base ao centro da ponta do eixo, denominado de H.

Forma construtiva: é o arranjo das partes construtivas das máquinas com relação à sua fixação, à disposição de seus mancais e à ponta de eixo que são padronizadas pelas normas NBR-5031 IEC 60034-7, DIN-42955 e NEMA MG1-403.

Formas construtivas normalizadas:

- Com ou sem pés
- Com ou sem flanges
- Tipos de flanges: FF(ou FA), FC e FC DIN
- Vertical ou horizontal

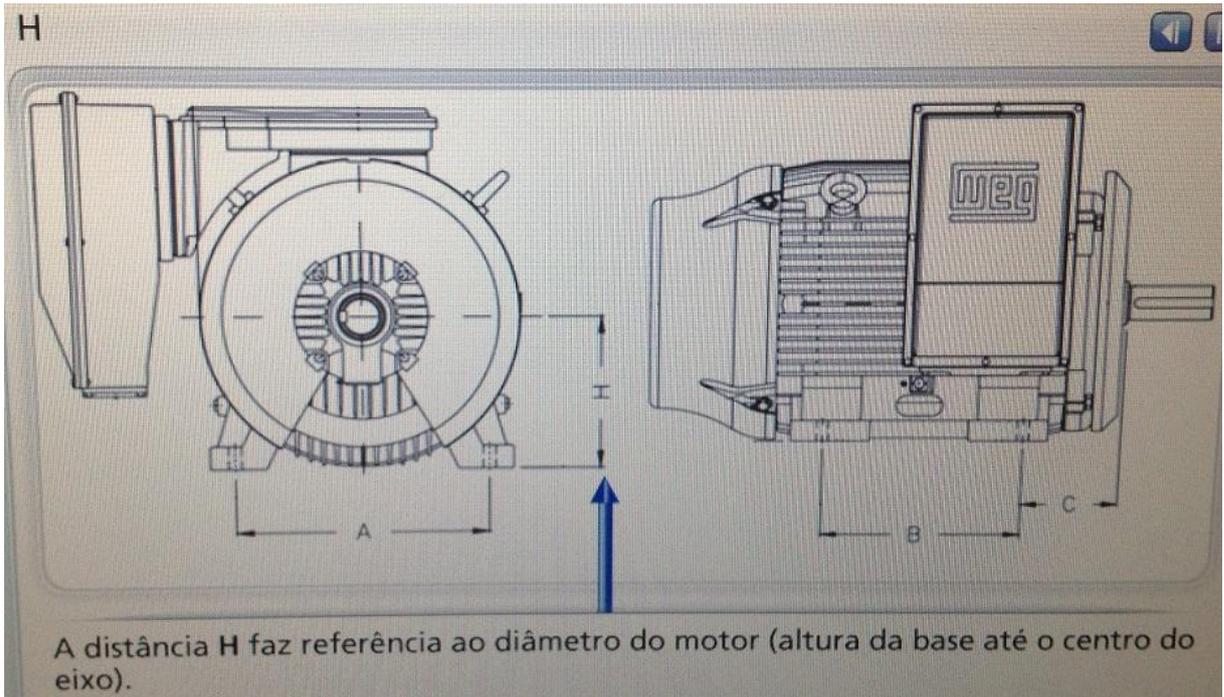
A norma NBR-5432 determina que em condições padrão identifica-se a forma construtiva B3D (estando em frente à caixa de ligação o eixo do motor está à direita).

Figura 3: Dimensões de um motor elétrico



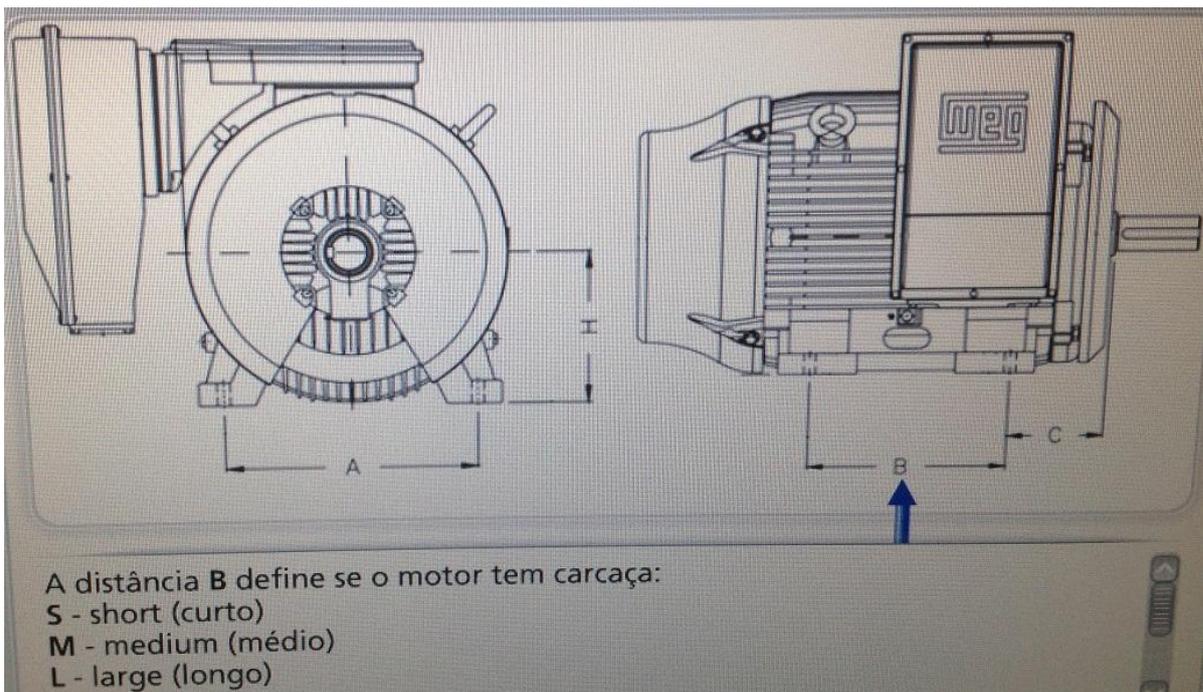
Fonte: WEG

Figura 4: Dimensões de um motor elétrico



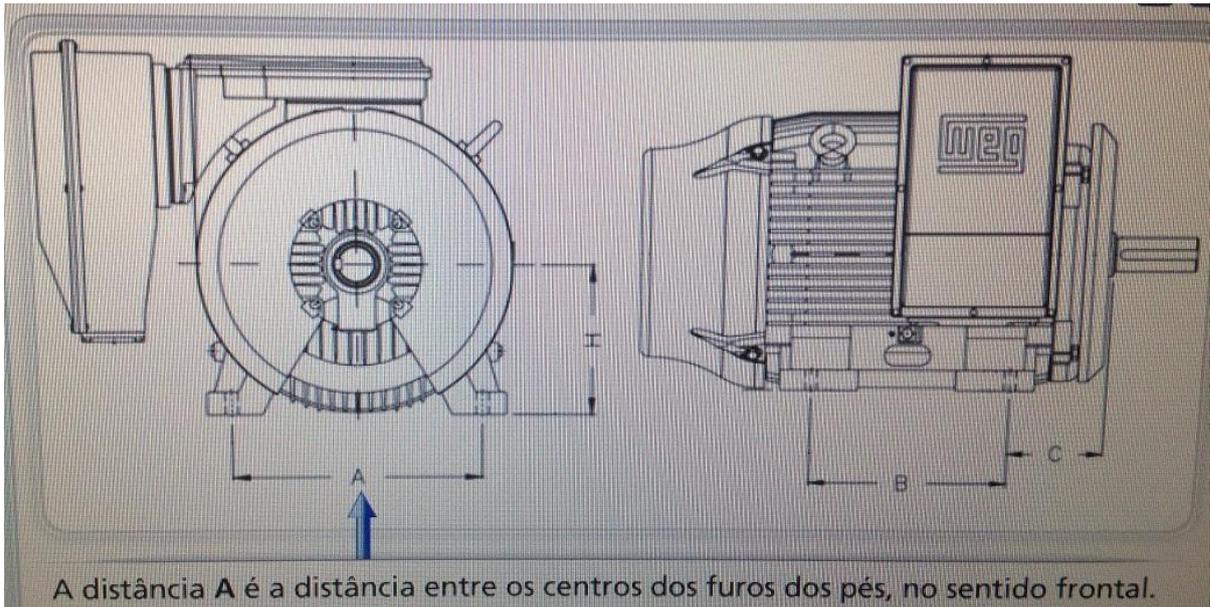
Fonte: WEG

Figura 5: Dimensões de um motor elétrico



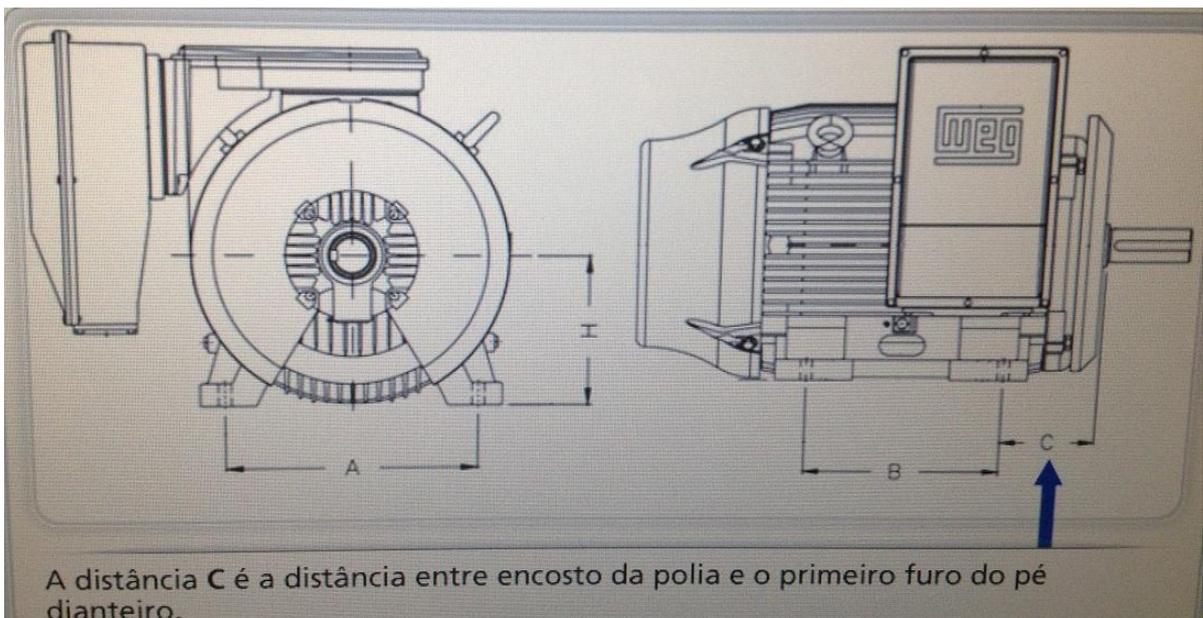
Fonte: WEG

Figura 6: Dimensões de um motor elétrico



Fonte: WEG

Figura 7: Dimensões de um motor elétrico



Fonte: WEG

Capítulo III

Conceitos fundamentais

1) Conjugado:

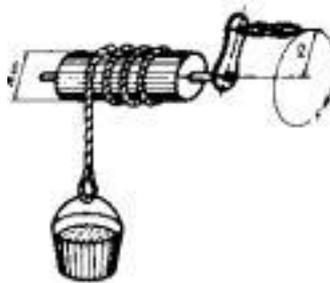
$$C = F.E = \text{força} \times \text{distância } E \text{ [N.m]}$$

Para movimentos circulares

$C = F.r$ [N.m] onde C = conjugado em Newton.metros [N.m], F = Força em Newton [N] e r = raio da polia em metros [m]

Para levantar um peso por um processo semelhante ao usado em poços, a força F que é preciso aplicar a manivela depende do comprimento e da manivela. Quanto maior for a manivela, menor será a força necessária. Se dobrarmos o tamanho da manivela, a força F necessária será diminuída a metade.

Figura 8: Força em movimentos circulares



Fonte: WEG

2) Potência mecânica:

$P_{mec} = (F \times d)/t$ $W = N.m/s$ mede a “velocidade” com que a energia é aplicada ou consumida em um período de tempo.

A potência exprime a rapidez com que esta energia é aplicada e calcula-se dividindo a energia ou trabalho total pelo tempo gasto em realizá-lo. A unidade mais usual para medida de potência mecânica é o CV (cavalo-vapor), equivale a 736 W.

Potência mecânica do motor: é a força que o motor gera para movimentar a carga em uma determinada velocidade. Esta força é medida em HP, CV ou em KW. HP e CV são unidades diferentes de KW. Para converter os valores das unidades de potência você pode usar a fórmula abaixo:

CV para KW multiplica-se por 0,736

KW para CV multiplica-se por 1,359

HP para KW multiplica-se por 0,746

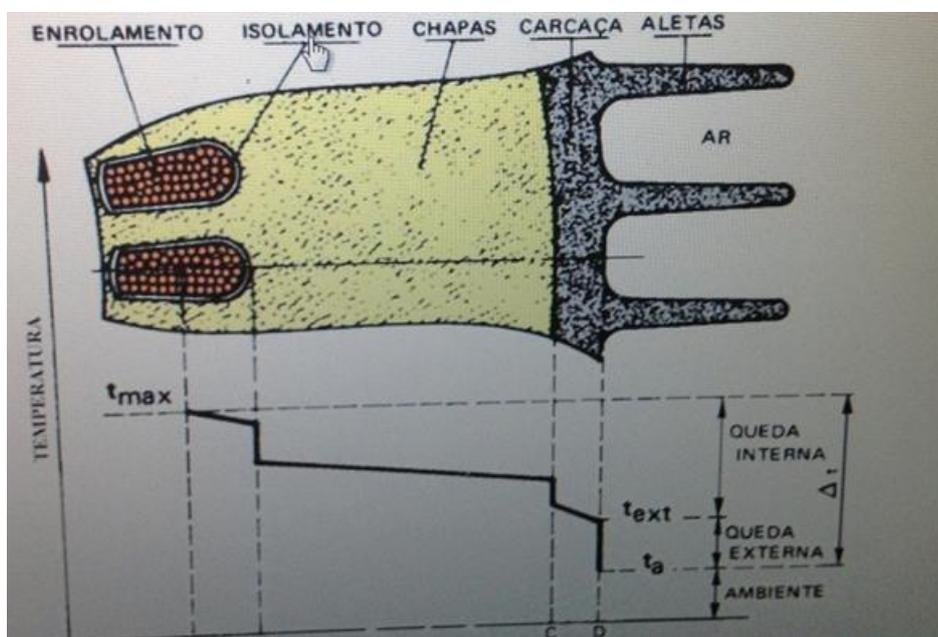
KW para HP multiplica-se por 1,341

3) Potência elétrica do motor:

Para determinar a potência elétrica consumida pelo motor (kw), divide-se a sua potência mecânica por seu rendimento (η). A potência especificada na placa de identificação do motor indica a potência mecânica disponível na ponta do eixo.

Ex: P_{mec} : 5cv = 3,68kw η = 84,5% (catálogo) $P(kw)$ = 3,68/0,845 = 4,35kw.

Figura 9: Gráfico de potência elétrica



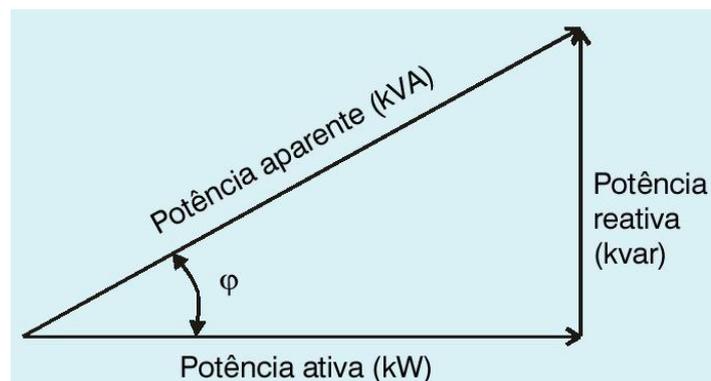
No motor a potência elétrica (potência de entrada) é sempre maior que a potência mecânica (potência de saída) – característica natural desta máquina elétrica.

A energia pode se apresentar de formas diferentes. Se ligarmos uma resistência a uma rede elétrica com tensão, passará uma corrente elétrica que irá aquecer a resistência. A resistência absorve energia elétrica e a transforma em calor que também é uma forma de energia. Um motor elétrico absorve energia elétrica da rede e a transforma em energia mecânica disponível na ponta do eixo. A potência especificada na placa de identificação do motor indica a P_{mec} disponível na ponta do eixo. Para determinar a potência elétrica consumida pelo motor (kw), divide-se a sua potência mecânica por seu rendimento (η).

A diferença entre as duas potências representa as perdas que são transformadas em calor que aquece o enrolamento e deve ser dissipado para fora do motor para evitar que a elevação de temperatura seja excessiva. O calor gerado pelas perdas no interior do motor é dissipado para o ar ambiente através da superfície externa da carcaça. Em motores fechados essa dissipação é normalmente auxiliada pelo ventilador montado no próprio eixo do motor. Uma boa dissipação depende da eficiência do sistema de ventilação, da área total de dissipação da carcaça e da diferença de temperatura entre a superfície externa da carcaça e do ar ambiente ($t_{ext} - t_a$).

As potências elétricas podem ser representadas na forma de um triângulo chamado triângulo das potências.

Figura 10: Triângulo das potências



Fonte: WEG

Potência aparente (S): é o resultado da multiplicação da tensão pela corrente. Corresponde à potência que existiria se não houvesse defasagem da corrente, ou seja, se a carga fosse formada somente por resistências.

Potência ativa (P): é a parcela da potência aparente que realiza trabalho, ou seja, que é transformada em energia.

Potência reativa (Q): é a parcela da potência aparente que “não” realiza trabalho. Apenas é transferida e armazenada nos elementos passivos (capacitores e indutores) do circuito.

A potência elétrica do motor é a soma vetorial das potências elétricas ativa (P) e reativa (Q), tendo como resultante a potência elétrica aparente (S).

4) Fator de potência :

$$FP = kW (Pativa) / kVA (Paparente) = \cos \varphi$$

Φ é o ângulo de defasagem da tensão em relação à corrente, é a relação entre a potência real (ativa) P e a potência aparente S.

KW transforma-se em torque no eixo e aquecimento no motor

KVAr gera o campo magnético girante no núcleo do motor

KVA é a “soma de vetores” do kW com o KVAr

Carga resistiva: $\cos\varphi = 1$

Carga indutiva: $\cos\varphi$ atrasado e carga capacitiva: $\cos\varphi$ adiantado => referem-se à fase da corrente em relação à fase da tensão. Um motor não consome apenas potência ativa que é depois convertida em trabalho mecânico, mas também potência reativa, necessária para a magnetização, mas que não produz trabalho.

ANEEL (Agência nacional de energia elétrica): determinava valores mínimos de fator de potência nas instalações elétricas. O objetivo é aproveitar o sistema elétrico, reduzindo o trânsito de energia reativa nas linhas de transmissão, subtransmissão e distribuição.

O aumento do fator de potência dá maior disponibilidade de potência aparente no sistema já que a energia reativa limita a capacidade de transporte de energia útil. O motor elétrico é uma peça fundamental, pois dentro das indústrias representa mais de 60% do consumo de energia. Logo, é imprescindível a utilização de motores com potência e características bem adequadas à sua função. O fator de potência varia com a carga do motor.

Correção do fator de potência: o aumento do fator de potência pode ser realizado com a ligação de uma carga capacitiva, em geral, banco de capacitores, em paralelo com a carga.

5) Relação entre potência e conjugado:

Quando a energia mecânica é aplicada sob a forma de movimento rotativo, a potência desenvolvida depende do conjugado C e da velocidade de rotação n .

P (watt) = $2 \cdot \pi \cdot n \cdot C$ sendo n a velocidade em rotações por segundos (rps) e C o conjugado em Newton.metro

$$P \text{ (cv)} = C \text{ (kgfm)} \times n \text{ (rpm)} / 716 = C \text{ (N.m)} \times n \text{ (rpm)} / 7024$$

$$P \text{ (kw)} = C \text{ (kgfm)} \times n \text{ (rpm)} / 974 = C \text{ (N.m)} \times n \text{ (rpm)} / 9555$$

Rendimento (η): chamado “potencia útil” P_u a potência mecânica disponível no eixo e “potência absorvida” P_a a potência elétrica que o motor retira da rede, o rendimento será a relação entre as duas, ou seja:

$$\eta \text{ (\%)} = 736 \cdot P \text{ (cv)} \cdot 100 / V \cdot I \cdot \cos\phi \cdot \sqrt{3}$$

V : tensão de alimentação do motor em volts

I : corrente elétrica do motor em ampére

$\cos \phi$: fator de potência do motor

6) Sistemas de corrente alternada monofásica:

A corrente alternada se caracteriza pela variação da sua amplitude em relação ao tempo, mudando de sentido alternadamente. No sistema monofásico uma tensão alternada U (volt) é gerada e aplicada entre 2 fios aos quais se liga a carga que absorve uma corrente I (ampére).

Frequência: é o numero de vezes por segundo que a tensão muda de sentido e volta à condição inicial. É expressa em ciclos por segundo ou hertz, simbolizada por Hz.

Tensão máxima ($V_{m\acute{a}x}$): é o valor de pico da tensão, ou seja, o maior valor instantâneo atingido pela tensão durante um ciclo (este valor é atingido duas vezes por ciclo, uma vez positivo e uma vez negativo).

Corrente máxima ($I_{m\acute{a}x}$): é o valor de pico da corrente.

7) Sistemas de corrente alternada trifásica:

O sistema trifásico é formado pela associação de 3 sistemas monofásicos de tensões U_1 , U_2 e U_3 tais que a defasagem entre elas seja de 120° , ou seja, os “atrasos” de U_2 em relação a U_1 , de U_3 em relação a U_2 e de U_1 em relação a U_3 sejam iguais a 120° (considerando um ciclo completo = 360°). O sistema é equilibrado, isto é, as três tensões têm o mesmo valor eficaz $U_1=U_2=U_3$.

Ligando entre si 3 sistemas monofásicos e eliminando os fios desnecessários, teremos um sistema trifásico: 3 tensões U_1 , U_2 e U_3 equilibradas, defasadas entre si de 120° e aplicadas entre os 3 fios do sistema.

a) Ligações no sistema trifásico:

a.1) Estrela:

I_l (corrente de linha em ampéres) = I_f (corrente de fase em ampéres)

U_f (tensão de fase em volts) = $U_l / \sqrt{3}$ (tensão de linha em volts).

Ligação estrela: ligando um dos fios de cada sistema monofásico a um ponto comum aos três, os três fios restantes formam um sistema trifásico em estrela. O sistema trifásico em estrela também pode ser “a quatro fios” ou “com neutro”. O quarto fio é ligado ao ponto comum às 3 fases. Na ligação em estrela a corrente de linha (IL) é igual a corrente de fase (If) e a tensão de fase (Uf) é igual a tensão de linha (UI) dividido pela raiz quadrada de 3.

a.2) Triângulo:

$$U_I = U_f$$

$$I_f = I_l / \sqrt{3}$$

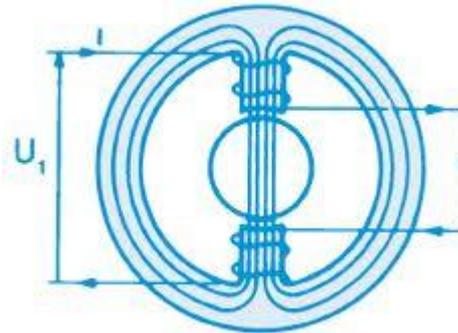
Ligação triângulo: se ligarmos os 3 sistemas monofásicos entre si, conforme mostrado na figura, podemos eliminar 3 fios, deixando apenas um em cada ponto de ligação, e o sistema trifásico ficará reduzido a três fios L1, L2 e L3. Na ligação em triângulo a tensão de linha (UI) é igual à tensão de fase (Uf) e a corrente de fase (If) é igual a corrente de linha (IL) dividido pela $\sqrt{3}$.

Campo eletromagnético girante: quando uma bobina é percorrida por uma corrente elétrica, é criado um campo magnético dirigido conforme o eixo da bobina e de valor proporcional à corrente.

b) Enrolamento:

b.1) Enrolamento monofásico atravessado por uma corrente I, e o campo H é criado por ela. O enrolamento é constituído de um par de pólos (um pólo “norte” e um pólo “sul”) cujos efeitos se somam para estabelecer o campo H. O fluxo magnético atravessa o rotor entre os 2 pólos e se fecha através do núcleo do estator. Se a corrente I é alternada, o campo H também é, invertendo o sentido a cada ciclo. O campo H é “pulsante”, pois sua intensidade “varia” proporcionalmente a corrente sempre na “mesma” direção norte-sul.

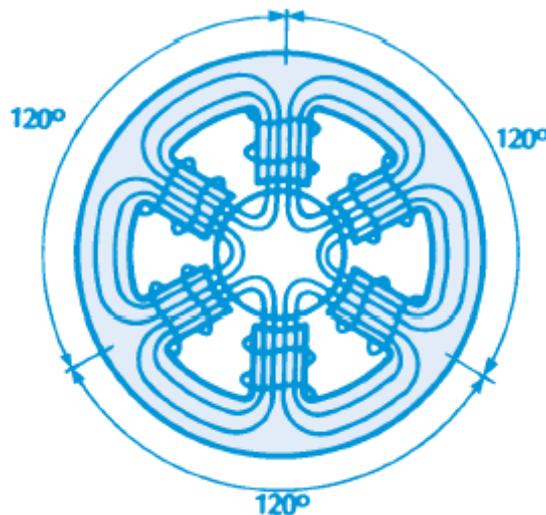
Figura 11: Enrolamento monofásico



Fonte: WEG

b.2) Enrolamento trifásico que é formado por 3 enrolamentos monofásicos espaçados entre si de 120° . Se este enrolamento for alimentado por um sistema trifásico, as correntes I_1 , I_2 e I_3 criarão, do mesmo modo, os seus próprios campos magnéticos H_1 , H_2 e H_3 . Estes campos são espaçados entre si de 120° . Além disso, como são proporcionais as respectivas correntes, serão defasados no tempo também de 120° . O campo total H resultante, a cada instante, será igual à soma gráfica dos 3 campos H_1 , H_2 e H_3 naquele instante.

Figura 12: Enrolamento trifásico



Fonte: WEG

Rotação / velocidade do motor é o número de giros do eixo do motor por uma unidade de tempo. A rotação normalmente é expressa em rpm. Para a frequência de 60 Hz, temos:

Motor: 2 pólos – 3600 rpm 4 pólos – 1800 rpm
 6 pólos – 1200 rpm 8 pólos – 900 rpm

Velocidade síncrona é definida pela velocidade de rotação do campo girante que depende do número de pólos do motor e da frequência da rede em hertz.

Os enrolamentos podem ser construídos com um ou mais pares de pólos que se distribuem alternadamente (um “norte” e um “sul”) ao longo da periferia do núcleo magnético. O campo girante percorre um par de pólos a cada ciclo. Assim, como o enrolamento tem pólos ou pares de pólos, a velocidade do campo será:

$$n_s (\text{rotação síncrona}) = 120 \cdot f(\text{Hz}) / n^\circ \text{ pólos}$$

Escorregamento é usado para descrever a diferença entre a rotação síncrona e a rotação efetiva na ponta do eixo do motor. Fatores como a carga ou até mesmo a variação da tensão da rede podem influenciar na rotação do motor.

$$S = (n_s - n) \cdot 100\% / n_s$$

Se o motor gira a uma velocidade diferente da velocidade síncrona, ou seja, diferente da velocidade do campo girante, o enrolamento do rotor “corta” as linhas de força magnética do campo e, pelas leis do eletromagnetismo, circularão nele correntes induzidas. Quanto maior a carga, maior terá que ser o conjugado necessário para acioná-la. Para obter o conjugado, terá que ser maior a diferença de velocidade para que as correntes induzidas e os campos produzidos sejam maiores. Portanto, à medida que a carga aumenta cai a rotação do motor. Quando a carga é zero, o rotor gira praticamente com a rotação síncrona. A diferença entre a velocidade do motor e a velocidade síncrona chama-se escorregamento, que pode ser expresso em rpm, como fração da velocidade síncrona, ou como porcentagem desta.

Capítulo IV

Características da rede de alimentação

1) Sistemas de Alimentação

O sistema de alimentação pode ser monofásico ou trifásico. O sistema monofásico é utilizado em serviços domésticos, comerciais e rurais, enquanto o sistema trifásico, em aplicações industriais, ambos em 50 ou 60 Hz.

a) Tensão monofásica: é a tensão medida entre fase e neutro. O motor monofásico normalmente está preparado para ser ligado a uma rede de 110V, 127V ou 220V. No entanto, existem lugares onde a tensão monofásica pode ser de 115V, 230V ou 254V. Nestes casos deve ser aplicado um motor específico para estas tensões.

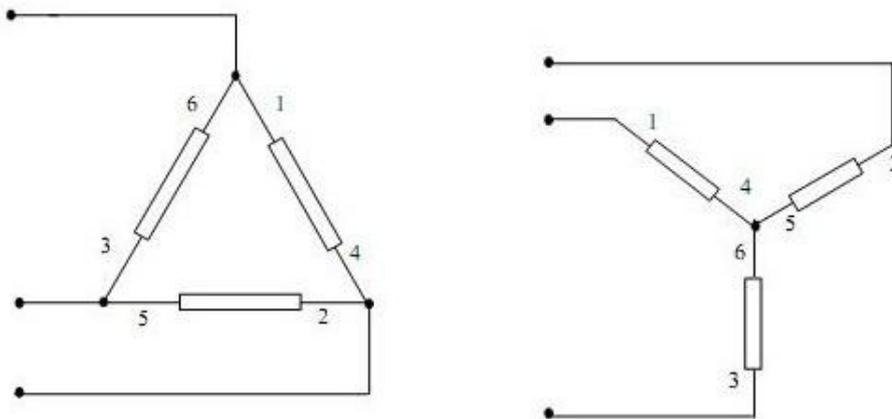
b) Tensão trifásica: é a tensão medida entre fases. São os motores mais utilizados já que os motores monofásicos têm limitação de potência e, além do mais, fornecem rendimentos e torques menores o que aumenta seu custo operacional. As tensões trifásicas mais utilizadas são 220V, 380V e 440V.

2) Tipos de Ligação:

a) Estrela triângulo: o enrolamento de cada fase tem as duas pontas trazidas para fora do motor. Se ligarmos as 3 fases em triângulo, cada fase receberá a tensão da linha, por exemplo, 220V.

Se ligarmos as 3 fases em estrela, o motor pode ser ligado a uma linha de tensão igual a $220 \cdot \sqrt{3} = 380\text{V}$ sem alterar a tensão no enrolamento que continua igual a 220V por fase. A tensão de fase (U_f) é igual à tensão de linha (U_l) dividida pela raiz quadrada de 3. Este tipo de ligação exige 6 terminais no motor e serve para quaisquer tensões nominais duplas desde que a segunda seja igual à primeira multiplicada pela raiz quadrada de 3. Ex: 220 / 380V – 380 / 660V – 440/760V.

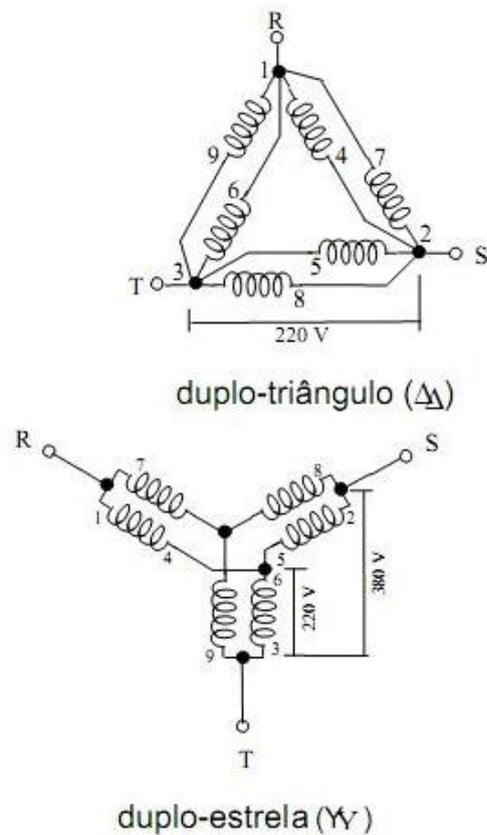
Figura 13: Ligação triângulo e ligação estrela



Fonte: WEG

Ligando as duas metades em série, cada metade ficara com a metade da tensão de fase nominal do motor. Neste tipo de ligação o motor é religado na ligação paralela quando alimentado em 440V.

Figura 14: Ligação duplo-triângulo e duplo-estrela



Fonte: WEG

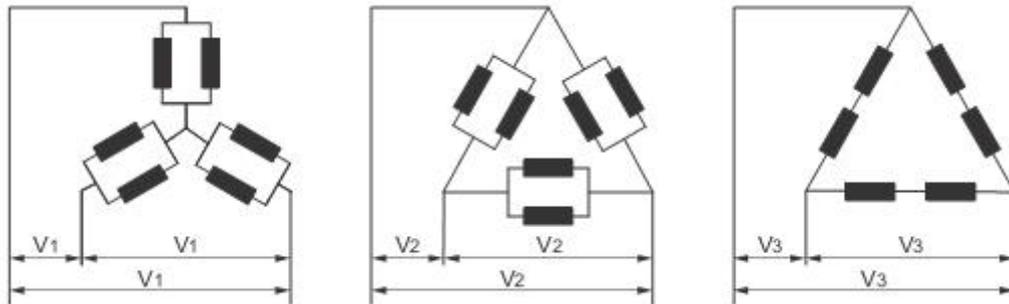
b) Série-paralela:

- Cada fase é dividida em 2 partes
- A segunda tensão é o dobro da primeira
- Cabos: 9
- Tensões: 220 / 440 e 230 / 460V

c) Tripla tensão nominal:

O modelo abaixo é o modelo de ligação tripla tensão nominal. Podemos combinar os dois casos anteriores. O enrolamento de cada fase é dividido em duas metades para ligação série-paralela. Além disso, todos os terminais são acessíveis para podermos ligar as 3 fases em estrela ou triângulo.

Figura 15: Tipos de ligação



Fonte: WEG

4 combinações possíveis de tensão nominal:

- 1) Ligação triângulo paralelo
- 2) Ligação estrela paralelo, sendo igual à $\sqrt{3}$ vezes a primeira
- 3) Ligação triângulo série, valendo o dobro da primeira
- 4) Ligação estrela série, valendo a $\sqrt{3}$ vezes a terceira. Mas, como esta tensão maior que 600V, é indicada apenas como referencia de ligação estrela-triângulo. Ex: 220 / 380 / 440 (760V). Este tipo de ligação exige 12 terminais e

a figura mostra a numeração normal dos terminais e o esquema de ligação para as 3 tensões nominais.

3) Frequência:

Frequência é o numero de vezes que um determinado evento se repete dentro de um intervalo de tempo. Brasil = 60hz (freqüência da rede de alimentação) isso significa que a tensão da rede repete o seu ciclo sessenta vezes por segundo. A freqüência é um fator importante, pois tem influencia direta sobre a rotação do motor elétrico.

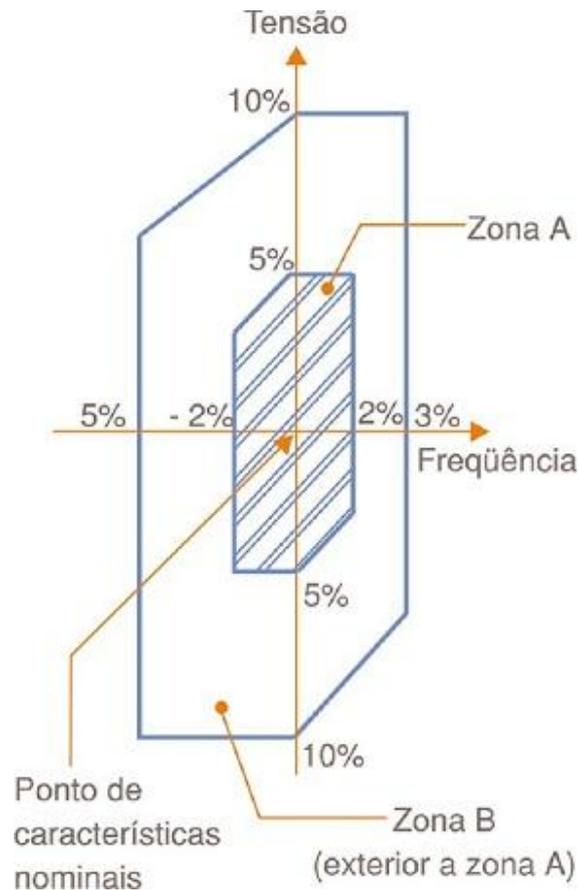
Zona A: f de 0,98 a 1,02 V de 0,95 a 1,05

Um motor deve ser capaz de desempenhar sua função principal continuamente na zona, mas pode não atender completamente às suas características de desempenho à tensão e freqüências nominais apresentando alguns desvios. As elevações de temperatura podem ser superiores aquelas à tensão e freqüências nominais.

Zona B: f de 0,95 a 1,03 T de 0,90 a 1,10

Um motor deve ser capaz de desempenhar sua função principal na zona B, mas pode apresentar desvios superiores àqueles da zona A no que se refere às características de desempenho e à tensão e freqüência nominais. As elevações de temperatura podem ser superiores às verificadas com tensão e freqüência nominais e muito provavelmente superiores àqueles da zona A.

Figura 16: Gráfico tensão x frequência



Fonte: WEG

Sentido de rotação: um motor de indução trifásico trabalhará em qualquer sentido dependendo da conexão com a fonte elétrica. Para inverter o sentido de rotação, inverte-se qualquer par de conexões entre motor e fonte elétrica. Os motores WEG possuem ventilador bidirecional proporcionando sua operação em qualquer sentido de rotação sem prejudicar a refrigeração do motor. Motores sem ventilador, mas ventilados pela própria carga, deverão atender a ventilação necessária ao motor independente do sentido de rotação.

4) Métodos de partida:

a) Partida direta:

- Ideal (do ponto de vista do motor)

- Provoca picos de corrente na rede
- Pode provocar queda de tensão na rede
- Implicações: restrições por parte da concessionária e redução da vida útil da rede (quando não dimensionada de acordo).

É considerado o método ideal porque o motor partirá com a tensão nominal disponível em seus terminais. Isto proporcionará um toque de partida máximo para que o motor possa acionar a carga no menor tempo de aceleração possível. Como o motor necessita uma alta corrente durante a partida esta poderá provocar picos de corrente na rede e, como consequência, irá provocar uma queda de tensão no momento da partida.

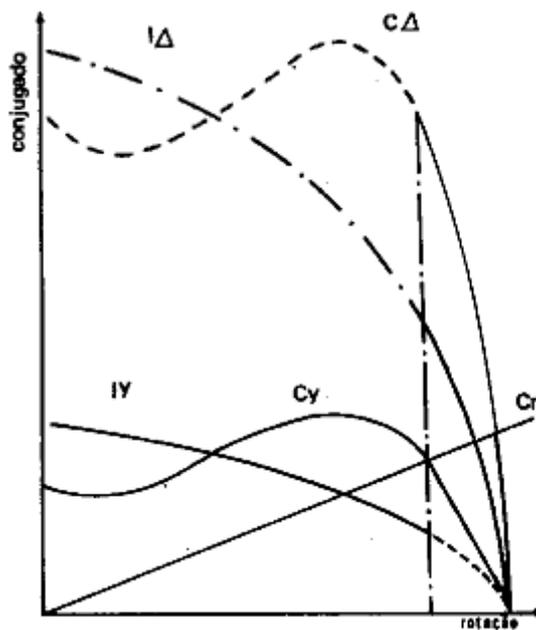
A alta corrente de partida e a queda de tensão poderão significar uma restrição por parte da concessionária de energia elétrica. Além disto poderá ocorrer redução da vida útil da rede caso esta não for dimensionada de acordo. Caso a partida direta não seja possível, devido aos problemas citados, pode-se usar sistema de partida indireta para reduzir a corrente de partida: chave estrela-triângulo, chave compensadora, chave série-paralela, partida eletrônica (soft starter).

b) Partida estrela-triângulo: utilizada em aplicações cujas cargas têm conjugados baixos ou partidas a vazio. O motor deve possuir 6 terminais. A corrente e o conjugado de partida ficam reduzidos a 33%. Dupla tensão, sendo a segunda tensão $\sqrt{3}$ vezes a primeira. Na partida o motor é ligado em estrela até próximo da rotação nominal e então, ocorre a comutação para a configuração triângulo.

A chave, manual ou automática, é interligada aos enrolamentos do motor. O motor parte em configuração estrela que proporciona uma maior impedância e menor tensão nas bobinas diminuindo assim a corrente de partida juntamente com seu conjugado que ocasionará uma perda considerável de torque na partida. Através desta manobra, o motor realizará uma partida mais suave reduzindo sua corrente de partida a aproximadamente um terço da que seria se acionado em partida direta. A partida estrela-triângulo não pode ser feita em qualquer situação, pois o sistema exige que o motor tenha disponível pelo menos seis terminais e que a tensão nominal seja igual à tensão de triângulo do motor. Ressalta-se que o fechamento para triângulo só deverá ser feito quando o motor atingir pelo menos 90% da

velocidade nominal deste. Logo, o ajuste de tempo de mudança estrela-triângulo deverá estar baseado neste fato. O uso de um tacômetro é essencial nesta tarefa na primeira vez que for testar o sistema com carga. A mudança da configuração para triângulo sem que o motor tenha atingido este percentual de rotação provocaria pico de corrente praticamente igual ao que teria se usasse partida direta.

Figura 17: Gráfico conjugado x rotação



Fonte: WEG

c) Partida série-paralela

O motor deve possuir 9 terminais, dupla tensão sendo a segunda tensão 2 vezes a primeira (220 / 440V). Na partida, o motor é ligado em série até próximo da rotação nominal e então, faz-se a comutação para configuração paralelo.

Na partida em série-paralela é necessário que o motor seja ajustável para 2 tensões, a menor delas igual à da rede e a outra duas vezes maior. Este tipo de ligação exige nove terminais do motor e que este seja ajustável para 4 níveis de tensão (220 / 380 / 440 / 760V). A tensão nominal mais comum é 220 / 440V, ou seja, durante a partida o motor é ligado na configuração série (440) até atingir sua rotação nominal e então, comuta para paralelo (220). O pico de corrente é reduzido a $\frac{1}{4}$, porém o conjugado de partida do motor também reduz na mesma proporção e, portanto, a máquina deve partir praticamente em vazio.

d) Partida com chave compensadora

- Partida de motores sob carga;
- Reduz a corrente de partida (dependendo do tap do transformador) evitando sobrecarga no circuito;
- A tensão na chave compensadora é reduzida através de autotransformador;
- Taps do autotransformador: 50,65 e 80% da tensão.

É utilizada para partidas sob carga, de motores de indução trifásicos onde a chave estrela-triângulo é inadequada. Esta chave reduz a corrente de partida, evitando sobrecarregar a linha de alimentação. Deixa porém, o motor com conjugado suficiente para a partida.

A tensão na chave compensadora é reduzida através de um autotransformador trifásico que possui geralmente taps de 50, 65 e 80% da tensão nominal. Durante a partida alimenta-se com a tensão nominal, o primário do autotransformador trifásico conectado em estrela e do seu secundário é retirada a alimentação para o circuito do motor. A passagem para o regime permanente faz-se desligando o autotransformador do circuito e conectando diretamente a rede de alimentação o motor trifásico.

Para os motores que partem com uma tensão menor que a tensão nominal, a corrente e o conjugado de partida devem ser multiplicados pelos fatores k_1 (fator de multiplicação da corrente) e k_2 (fator de multiplicação do conjugado) obtidos no gráfico

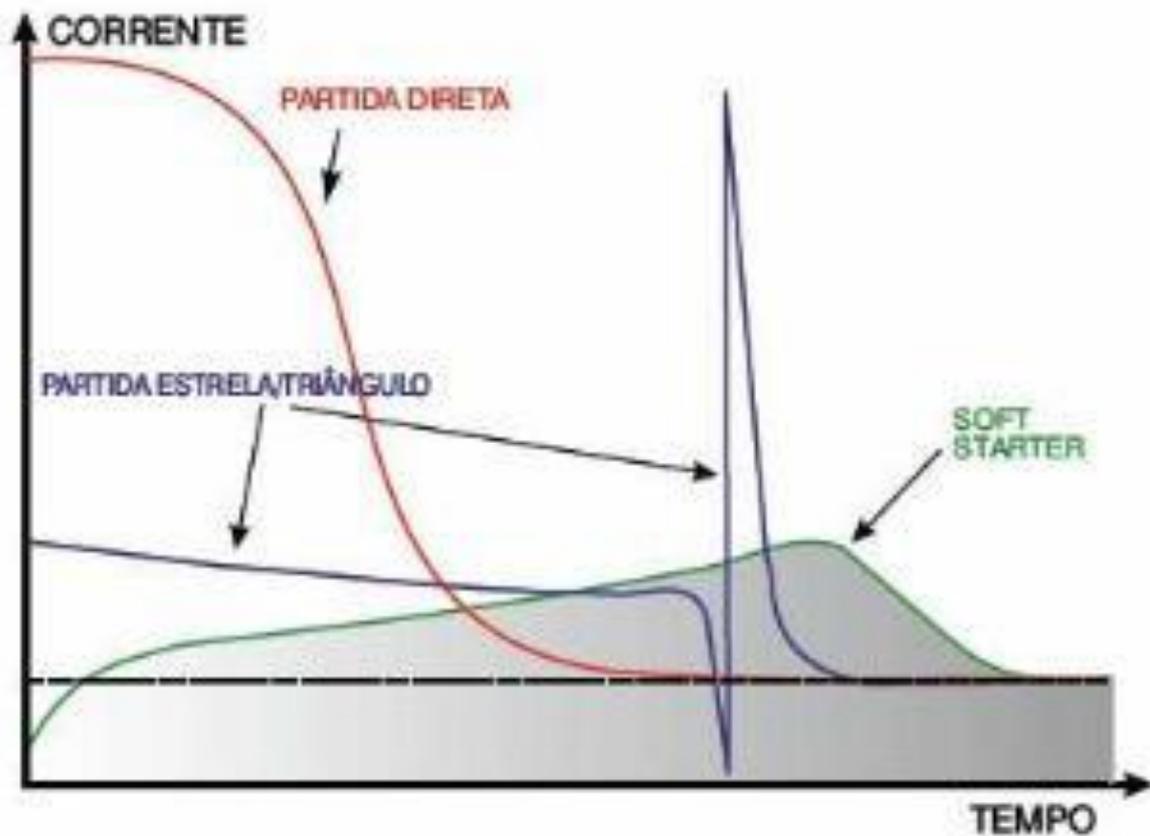
e) Partida eletrônica por soft-starter:

- Método de partida suave;
- Controle apenas da tensão;
- Tempo de aceleração regulável.

É um dispositivo eletrônico composto de pontes tiristorizadas (SCR na configuração antiparalelo) acionadas por uma placa eletrônica a fim de controlar a

tensão de partida de motores elétricos de indução trifásicos. Seu uso é comum em bombas centrífugas ventiladores e motores de elevada potência cuja aplicação não exija a variação de velocidade. O soft starter controla a tensão sobre o motor através do circuito de potência constituído por seus SCRs variando o ângulo de disparo dos mesmos e, conseqüentemente, variando a tensão eficaz aplicada ao motor. Assim, pode-se controlar a corrente de partida do motor, proporcionando uma “partida suave” de forma a não provocar quedas de tensão elétrica bruscas na rede de alimentação, como ocorre em partidas diretas. Os soft-starters costumam funcionar com a tecnologia chamada “by-pass” que, após o motor partir e receber toda a tensão da rede liga-se um contator que substitui os módulos de tiristores evitando sobreaquecimento dos mesmos.

Figura 18: corrente x tempo



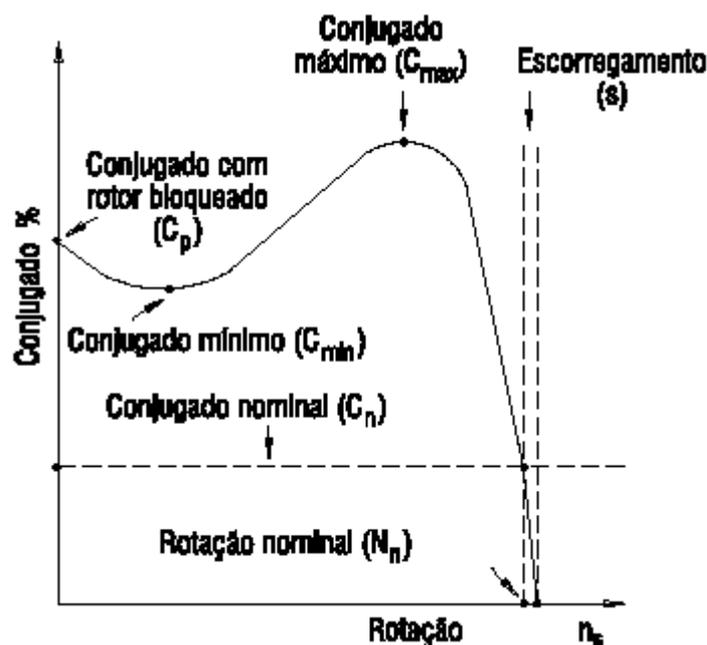
Fonte: WEG

Capítulo V

Características de aceleração

O motor de indução tem conjugado igual a zero a velocidade síncrona. À medida que a carga aumenta, a rotação do motor cai gradativamente até que o conjugado atinja o valor máximo que o motor é capaz de desenvolver. Se o conjugado da carga aumentar mais, a rotação do motor cai bruscamente, podendo chegar a travar o rotor. Representando num gráfico a variação do conjugado com a velocidade para um motor de indução trifásico, vamos obter uma curva com aspecto representado abaixo:

Figura 19: Variação do conjugado x velocidade



Fonte: WEG

Ao ser acionado, o motor obedece a uma dada curva que comercialmente denominamos de curva característica do motor. Durante o processo de aceleração do motor o conjugado varia, dos quais se destacam:

C_n (conjugado nominal ou de plena carga) é o conjugado desenvolvido pelo motor à potência nominal, sob tensão e frequência nominais;

C_p : pode ser chamado de conjugado com rotor bloqueado, conjugado de partida ou ainda conjugado de arranque – é conseguido em laboratório travando-se o eixo do motor e ligando o mesmo em tensão e frequências nominais;

C_{min} : é o menor conjugado desenvolvido pelo motor ao acelerar desde a velocidade zero até a velocidade correspondente ao conjugado zero.

$C_{máx}$: é o maior conjugado desenvolvido pelo motor, sob tensão e frequência nominal sem queda brusca de velocidade.

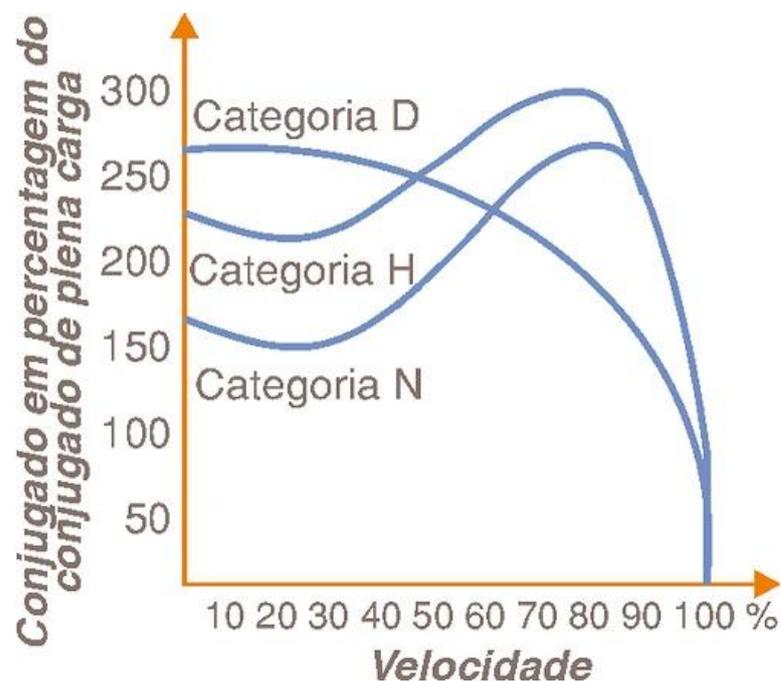
Características de motores: os motores de indução trifásicos com rotor de gaiola são classificados em categorias N, H e D conforme as suas necessidades de conjugado em relação à velocidade e corrente de partida, cada uma adequada a um tipo de carga.

Categoria N: conjugado de partida normal, corrente de partida normal, baixo escorregamento.

Categoria H: conjugado de partida alto, corrente de partida normal, baixo escorregamento.

Categoria D: conjugado de partida alto, corrente de partida normal, alto escorregamento (+ de 5%).

Figura 20: Categorias de motores de indução trifásicos



1) Momento de inércia e tempo de aceleração

Inércia: medida da resistência que um dado corpo oferece na mudança de seu estado de movimento. A carga possui sua inércia identificada por “JC”. O motor também possui sua inércia identificada por “JM” que pode ser encontrada no catálogo do fabricante. Agora podemos calcular a inércia da carga referida ao eixo do motor “JCE” que leva em conta o acoplamento entre o motor e a carga. Esta grandeza (JCE) será utilizada na equação do tempo de aceleração.

$$J_{ce} = J_c \cdot \left(\frac{n_c}{n_m}\right)^2, \text{ onde:}$$

J_{ce} : inércia da carga referida ao eixo do motor [kgm²]

J_c : inércia da carga [kgm²]

n_c : velocidade de rotação da carga [rpm]

n_m : velocidade de rotação do motor [rpm]

O tempo de aceleração é o que o motor leva para acionar a carga desde a rotação zero até a rotação nominal. É dado pela seguinte equação:

$$t_a = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot (J_m + J_{ce} / C_{med} - C_{rmed}) [s]$$

n : rotação em [rps]

J_m : momento de inércia do motor [kgm²]

J_{ce} : momento de inércia da carga referido ao eixo do motor [kgm²]

C_{med} : conjugado motor médio em [N.m]

C_{rmed} : conjugado resistente médio em [N.m]

O tempo de aceleração de um motor deve ser comparado com o equivalente a 80% do tempo de rotor bloqueado. Se o tempo de aceleração for maior que o valor de 80% do tempo de rotor bloqueados o motor poderá ter problemas de aquecimento.

Capítulo VI

Regulação de velocidade

1) Rotações

Rotação síncrona e rotação nominal: a rotação síncrona do motor “ n_s ” é a rotação do campo girante presente no estator e depende da frequência “ f ” e do número de pólos do motor acionado. A rotação nominal “ n ” é a rotação no eixo do motor e depende da frequência “ f ”, do número de pólos do motor acionado e também do escorregamento “ s ”.

A relação entre velocidade, frequência, número de pólos e escorregamento é expressa por:

$$n_s = 120.f / n^\circ\text{polos}$$

$$n = (1-s).120.f / n^\circ\text{polos}$$

- 1- Variando a frequência
- 2- Variando o n° de pólos
- 3- Variando o escorregamento

2) Inversores de frequência:

Este equipamento é muito conhecido por permitir a variação da velocidade do motor em uma ampla faixa. Mas, o inversor vai muito além de permitir a variação da velocidade e do motor podendo chegar a ser o controle no conjunto de um acionamento, pois possui entradas e saídas digitais, entradas e saídas analógicas, saídas a relé, bem como uma placa PLC incorporada que agrega ao inversor as funcionalidades de um controlador lógico programável.

- a) Características:

- Controle da velocidade em larga faixa de frequência (0 a 300 Hz).
- Controle escalar v/f linear e ajustável, VVW (voltage vectorweg) e vetorial disponível no mesmo produto.
- 2 tipos de controle vetorial: sensorless e com encoder (requer acessório de interface para encoder).
- Controle vetorial sensorless que possibilita alto torque e rapidez de resposta mesmo em baixas velocidades e na partida.
- A função auto-ajuste adapta automaticamente o controle vetorial ou VVW ao motor e à carga utilizados.
- Vários métodos de frenagem.
- Através do controle v/f ajustável é possível, por exemplo, ajustar uma curva v/f quadrática que possibilita economia de energia para cargas de torque quadrático (Ex: bombas centrífugas e ventiladores).

b) Variação da frequência:

É hoje um método muito utilizado na indústria por vários motivos como a sua facilidade de instalação, configuração e operação. Os inversores além de permitir uma ampla variação da velocidade apresentam também a condição de tornar o motor de corrente alternada um posicionador graças à placa PLC incorporada na linha de inversores CFW11.

CFW 10: inversor com controle escalar, com entrada monofásica e saída trifásica.

CFW 08: controle escalar e vetorial sensorless (sem sensor), cuja entrada pode ser monofásica ou trifásica e saída trifásica.

CFW 09: controle escalar, vetorial sensorless e vetorial com encoder, cuja entrada é trifásica e saída trifásica.

CFW 11: controle escalar, vetorial sensorless e vetorial com encoder e ainda apresentando a placa PLC, que agrega ao CFW11 as funcionalidades de um CLP.

CFW 700: controle escalar, vetorial sensorless e vetorial com encoder e ainda apresentando a função soft PLC incorporada, agregando ao inversor a função de um CLP.

Capítulo VII

Características em regime

1) Elevação de temperatura:

No motor a potência elétrica (potência de entrada) é sempre maior que a potência mecânica (potência de saída) – característica natural desta máquina elétrica.

2) Vida Útil:

A vida útil de um motor de indução depende quase exclusivamente da vida útil da isolação dos enrolamentos. Esta é afetada por muitos fatores como umidade, vibrações, ambientes corrosivos e principalmente a temperatura, entre outros.

- Dentre todos os fatores, o mais importante é a temperatura de trabalho dos materiais isolantes empregados. Um aumento de 8 a 10 graus na temperatura da isolação reduz sua vida útil pela metade.
- Vida útil da isolação refere-se ao envelhecimento gradual do isolante, que vai se tornando ressecado, perdendo o poder isolante, ate que não suporte mais a tensão aplicada e produza o curto circuito.
- A experiência mostra que a isolação tem uma duração praticamente ilimitada, se a sua temperatura for mantida abaixo de certo limite. Acima deste valor, a vida útil da isolação vai se tornando cada vez mais curta, à medida que a temperatura de trabalho é mais alta.
- Esta limitação de temperatura refere-se ao ponto mais quente da isolação e não necessariamente ao enrolamento do todo.

3) Classe térmica do motor:

O limite de temperatura depende do tipo de material empregado. Para fins de normalização, os materiais isolantes e os sistemas de isolamento são agrupados em classes de isolamento.

4) Fator de serviço (FS):

O fator que, aplicado à potência nominal, indica a carga permissível que pode ser aplicada continuamente ao motor sob condições especificadas.

Note que se trata de uma capacidade de sobrecarga contínua, ou seja, uma reserva de potência que dá ao motor uma capacidade de suportar melhor o funcionamento em condições desfavoráveis.

Fator de serviço também é uma grandeza que está impressa na placa de identificação de um motor elétrico. Em princípio, nenhum motor deve ser instalado para fornecer uma potência superior à nominal, no entanto, sob determinadas condições, isso pode vir a ocorrer acarretando um aumento de corrente e de temperatura que, dependendo da duração e da intensidade da sobrecarga, pode levar à redução da vida útil do motor ou até mesmo à sua queima.

Tipos de proteção térmica:

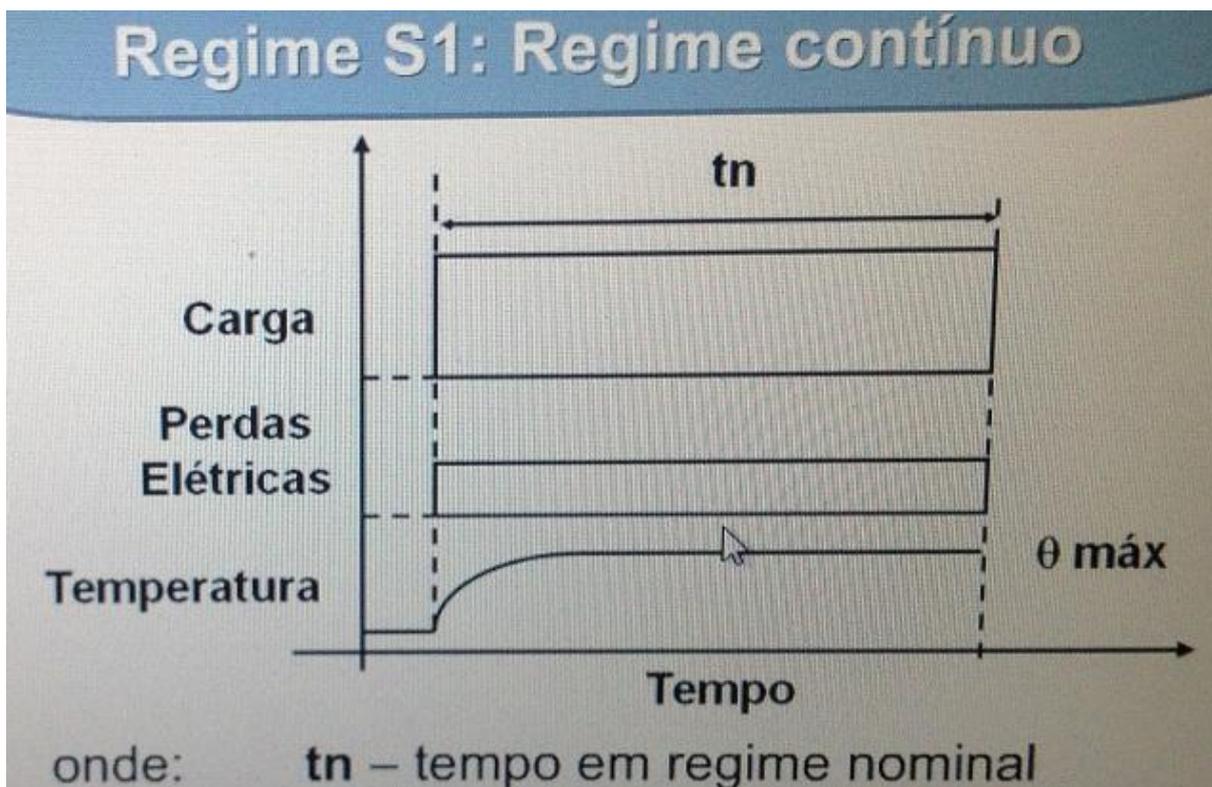
- Protetores térmicos: são do tipo bi metálico, com contato normalmente fechado, instalado em motores monofásicos.
- Termostatos: são do tipo bi metálico, com contato normalmente fechado.
- RTD: resistência calibrada (PT-100 platina 100 ohm a 0°C).
- Termistores: material semicondutor (silício), a resistência varia com o calor.
PTC – alta resistência para alta temperatura
NTC – baixa resistência para alta temperatura

Para algumas linhas de motores WEG, a proteção térmica é a padrão, ou seja, já está incorporada ao motor caso haja interesse do cliente na substituição, a fábrica deveser previamente consultada.

5) Regimes de serviço

a) Regime S1: regime contínuo é definido como sendo o grau de regularidade da carga a que o motor é submetido. Os motores normais são projetados para regime contínuo, (a carga é constante), por tempo indefinido e igual à potência nominal do motor. Ou seja, refere-se ao funcionamento a carga constante de duração suficiente para que o motor alcance o equilíbrio térmico.

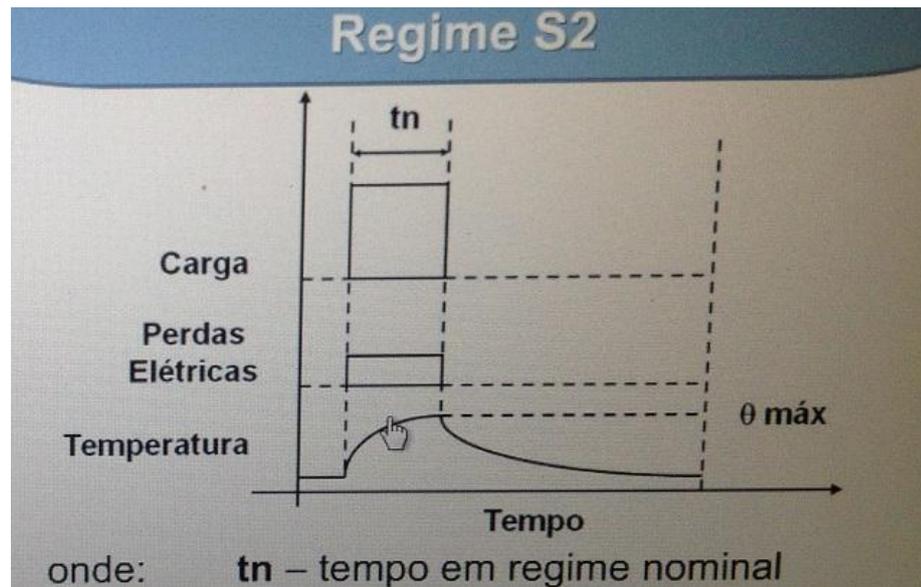
Figura 21: Regime S1



Fonte: WEG

b) Regime S2: é definido por norma como o funcionamento a carga constante durante um certo tempo, inferior ao necessário para que o motor possa atingir o equilíbrio térmico, seguido de um período de repouso de duração suficiente para restabelecer a igualdade de temperatura com o meio refrigerante.

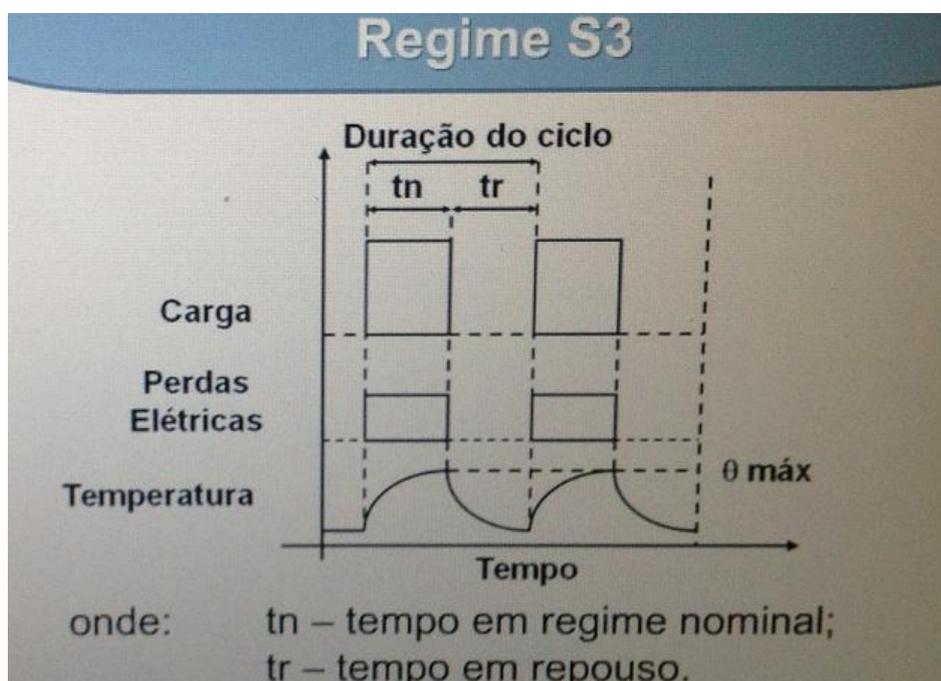
Figura 22: Regime S2



Fonte: WEG

c) Regime S3: seqüência de ciclos idênticos, sendo um período a carga constante e um período de repouso. O ciclo é tal que a corrente de partida não afeta significativamente a elevação de temperatura.

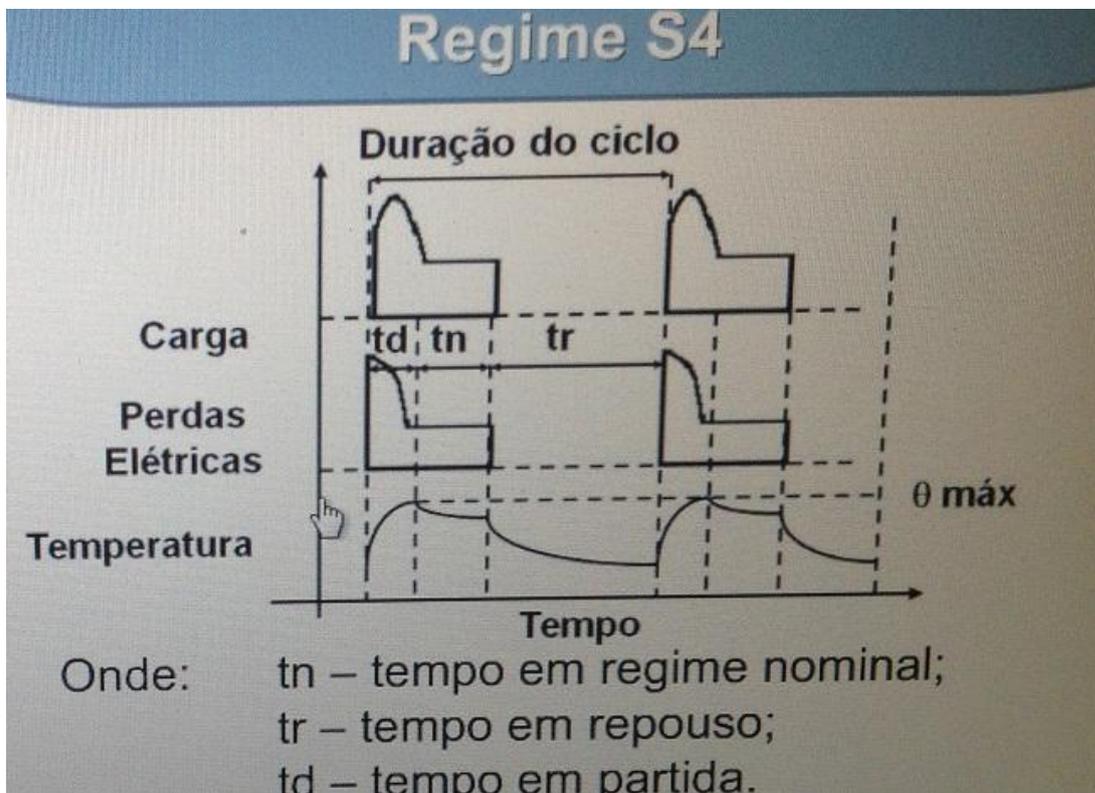
Figura 23: Regime S3



Fonte: WEG

d) Regime S4: seqüência de ciclos idênticos, sendo um período de partida, um período a carga constante e um período de repouso. O calor na partida é suficientemente grande para afetar o ciclo seguinte.

Figura 24: Regime S4



Fonte: WEG

6) Potência nominal:

Potência que o motor pode fornecer está intimamente ligada à elevação de temperatura do enrolamento. Sabe-se que o motor pode acionar cargas de potências bem acima de sua potência nominal até quase atingir o conjugado máximo. O que acontece, porém, é que se esta sobrecarga for excessiva, isto é, for exigida do motor uma potência muito acima daquela para a qual foi projetado, o aquecimento normal será ultrapassado e a vida do motor será diminuída podendo ele até mesmo queimar-se rapidamente.

Capítulo VIII

Características do ambiente

1) Características

a) Condições normais de operação: para analisar a viabilidade do uso de um motor em uma determinada aplicação devem-se levar em consideração alguns parâmetros.

- 1- Altitude em que o motor será instalado.
- 2- Temperatura do meio refrigerante (temperatura ambiente).

As condições usuais de serviço são:

- 1- Altitude não superior a 1000m acima do nível do mar
- 2- Meio refrigerante (na maioria dos casos, o ar ambiente) com temperatura não superior a 40°C e isenta de elementos prejudiciais

Até estes valores de altitude e temperatura ambiente, consideram-se condições normais e o motor deve fornecer a sua potência nominal sem sofrer sobreaquecimento.

b) Influência da altitude: motores funcionando em altitudes acima de 1000m apresentam problemas de aquecimento causado pela rarefação do ar e, conseqüentemente, diminuição do seu poder de arrefecimento. A insuficiente troca de calor entre o motor e o ar circundante leva à exigência de redução de potência. Os motores têm aquecimento diretamente proporcional às perdas e estas variam, aproximadamente numa razão quadrática com a potência.

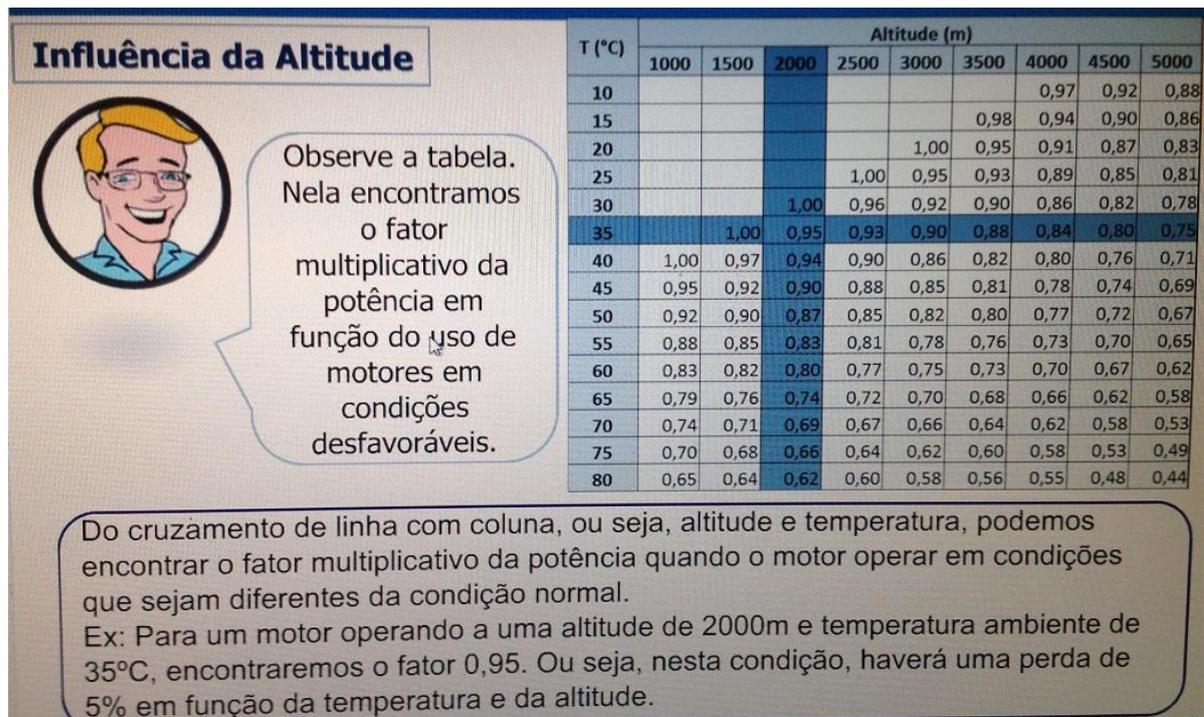
Para que a altitude não influencie negativamente no funcionamento do motor existem 3 soluções possíveis:

- 1- A instalação de um motor em altitudes acima de 1000m pode ser feita usando-se material isolante de classe superior
- 2- Motores com fator de serviço maior que 1,0 (1,15 ou maior) trabalharão satisfatoriamente em altitudes acima de 1000m com temperatura ambiente de

40°C desde que seja requerida pela carga, somente a potência nominal do motor

- 3- Segundo a norma NBR-17094, a redução necessária na temperatura ambiente deve ser de 1% dos limites de elevação de temperatura para cada 100m de altitude acima de 1000m. Esta regra é valida para altitudes ate 5000m.

Figura 25: Influência da altitude



Fonte: WEG

c) Ambientes agressivos: exigem que os equipamentos que neles trabalham sejam perfeitamente adequados para suportar tais circunstâncias com elevada confiabilidade sem apresentar problemas de qualquer espécie. Ex: estaleiros, instalações portuárias, indústria de pescados e múltiplas aplicações navais, indústria química e petroquímica.

Os motores que trabalharão em ambientes agressivos deverão ter algumas características especiais:

- Enrolamento duplo impregnado
- Pintura anti-corrosiva alquídica interna e externa
- Placa de identificação de aço inoxidável

- Juntas de borracha para vedar a caixa de ligação
- Caixa de ligação de ferro fundido
- Elementos de montagem zincados
- Ventilador de material não faiscante
- Retentores de vedação entre o eixo e as tampas
- Resina epóxi na passagem dos cabos de ligação pela carcaça

d) Ambientes perigosos: os motores à prova de explosão destinam-se a trabalhar em ambientes classificados e perigosos por conterem gases, vapores, poeiras ou fibras inflamáveis ou explosivas.

Uma atmosfera é explosiva quando a proporção de gás, vapor, pó ou fibras é tal que uma faísca proveniente de um circuito elétrico ou aquecimento de um aparelho provoca a explosão. Para que se inicie uma explosão, 3 elementos são necessários: combustível, oxigênio e faísca.

Líquido inflamável: uma instalação onde produtos inflamáveis são continuamente manuseados, processados ou armazenados, necessita, obviamente, de cuidados especiais que garantam a manutenção do patrimônio e preservem a vida humana. Os equipamentos elétricos, por suas próprias características, podem representar fontes de ignição, quer seja pelo centelhamento normal, devido à abertura e fechamento de contatos ou por superaquecimento de algum componente.

e) Grau de proteção: é a proteção do motor contra a entrada de corpos estranhos (poeira, fibras etc.), contato acidental e entrada de corpos líquidos.

Assim, por exemplo, um equipamento a ser instalado num local sujeito a jatos d'água, deve possuir um invólucro capaz de suportar tais jatos sob determinados valores de pressão e ângulo de incidência sem que haja penetração de água que possa ser prejudicial ao funcionamento do motor. O grau de proteção é definido por 2 letras (IP) seguido de 2 números. O primeiro número indica proteção contra entrada de corpos estranhos e contato acidental enquanto o segundo indica a proteção contra entrada de corpos líquidos.

Grau de proteção IP21 ou IP23: são motores especificados para trabalhar em ambientes limpos e abrigados (protegidos).

Grau de proteção IP55 / 56 / 65 / 66: são motores especificados para trabalhar em ambientes desabrigados. Trata-se de motores totalmente protegidos contra toques humanos acidentais, corpos sólidos e líquidos.

O 1º algarismo refere-se a proteção do motor contra a entrada de corpos sólidos e o 2º algarismo refere-se a proteção do motor contra a entrada de corpos líquidos

1º algarismo

Algarismo Indicação

0 Semproteção

1 Proteção contra a entrada de corpos estranhos de dimensões acima de 50mm

2 Proteção contra a entrada de corpos estranhos de dimensões acima de 12mm

3 Proteção contra a entrada de corpos estranhos de dimensões acima de 2,5mm

4 Proteção contra a entrada de corpos estranhos de dimensões acima de 1,0mm

5 Proteção contra acumulo de poeiras prejudiciais ao motor

6 Totalmente proteção contra a poeira

2º algarismo

Algarismo Indicação

0 Semproteção

1 Proteção contra pingos de água na vertical

2 Proteção contra pingos de água até a inclinação de 15° com relação à vertical

3 Proteção contra pingos de água até a inclinação de 60° com relação à vertical

4 Proteção contra respingos vindos de todas as direções

5 Proteção contra jatos de água vindos de todas as direções

6 Proteção contra água de vagalhões

7 Imersão temporária

8 Imersão permanente

f) Resistência de aquecimento: tem por objetivo evitar a condensação de umidade no interior dos motores quando os mesmos não estão em funcionamento. A

resistência de aquecimento jamais deverá ser energizada com o motor ligado. As resistências de aquecimento são utilizadas quando o motor elétrico é instalado em ambientes muito úmidos, umidade >95%, e/ou com possibilidade de ficar desligado por longos períodos, acima de 24 horas, impedindo o acúmulo de água no interior do motor pela condensação do ar. Esta proteção nunca deve ser energizada com o motor em funcionamento, pois o motor estará gerando o calor suficiente para evitar a condensação de água ou ainda poderá danificá-la completamente. Poderá ser instalada na parte dianteira e na parte traseira do motor (cabeças de bobina).

Figura 26: Resistência de aquecimento



Fonte: WEG

As resistências de aquecimento devem ser especificadas de acordo com o tamanho da carcaça.

Figura 27: Resistência de aquecimento

Carcaça	Quantidade x Potência
63 / 71 / 80	1 x 7,5 W
90 / 100	1 x 11 W
112	2 x 11 W
132 / 160	2 x 15 W
180 / 200	2 x 19 W
225 / 250	2 x 28 W
280 / 315	2 x 70 W
315B / 355	2 x 87 W



• Prolonga a vida útil do isolamento do motor e auxilia na prevenção da oxidação dos rolamentos, pois evita o ataque da umidade;

• Se utilizar duas resistências (para o total da potência), uma será colocada na cabeça de bobina (dianteira) e a outra na cabeça de bobina (traseira).

Fonte: WEG

CAPÍTULO IX

Placas de identificação

Pode ser considerada como a “identidade” do motor elétrico. Todos os dados que são necessários ao usuário estão disponíveis nela. A placa de identificação serve para orientar o operador sobre os valores de tensão do motor, corrente nominal, rendimento, fator de potencia e muitos outros. Em ambientes agressivos e/ou corrosivos a placa de identificação deve ser protegida.

~: corrente alternada

3: numero de fases (trifásico)

KW (HP-cv): potencia mecânica nominal: 370 kw (500HP-cv)

355m/l: modelo da carcaça

Motor de indução – gaiola: tipo do motor

FS: fator de serviço: 1,15

Hz: freqüência: 60Hz

V: tensão nominal de operação: 220/380/440V

A: corrente nominal de operação: 1158A em 220V, 670A em 380V e 579A em 440V

RPM: rotação nominal do motor: 1790 rpm

IP/IN: relação de corrente de partida pela nominal: 6,6

FP: fator de potencia: 0,87

REG: regime de serviço: S1

Rend: rendimento: 96,3%

Amb: temperatura ambiente: 40°C

Isol: classe de isolamento: F

ΔT: elevação de temperatura: 80K

Cat: categoria de conjugado: N

IFS: corrente no fator de serviço

IP55W: grau de proteção

Alt: altitude: 1000m.anm

1929 kg: carga

$\Delta\Delta$: esquema de ligação para tensão nominal em 220V

YY: esquema de ligação para tensão nominal em 380V

Δ : esquema de ligação para tensão nominal em 440V

Y: esquema de ligação para partida do motor

6322-C3: especificação do rolamento dianteiro

Mobil polirex em 103: tipo de graxa utilizada nos rolamentos

6319-C3: especificação do rolamento traseiro

60g5138h: quantidade de graxa e intervalo de relubrificação em horas

Capítulo X

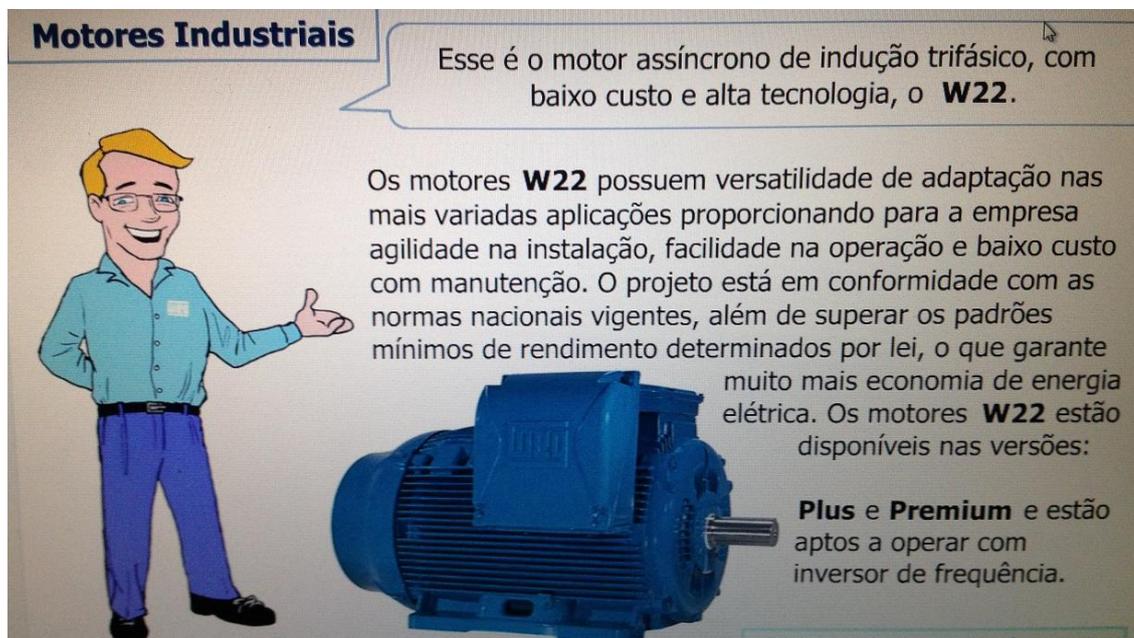
Linhas de motores

Figura 28: Linhas de motores industriais WEG



Fonte: WEG

Figura 29: Motores W22



Fonte: WEG

Figura 30: Características dos motores W22

CARACTERÍSTICAS:

Potência: 0,16 cv a 550 cv
Polaridade: II, IV, VI e VIII
Carcaça: 63 a 355M/L
Tensão: 220/380 V; 380/660 V (carcaças 63 a 200L)
 220/380/440 V (carcaças 225S/M a 355M/L)
Cor padrão: Plus: azul (RAL 5009)
 Premium: verde (RAL 6002)

APLICAÇÕES: Bombas, ventiladores, exaustores, britadores, moinhos, talhas, compressores, entre outras.

Fonte: WEG

Figura 31: Linha dos motores W22 premium

Motores Industriais

Essa é a linha de motores **W22 Premium**.



Carcaça 63 a 112 Carcaça 132 a 200 Carcaça 225 a 355

Os motores **W22 Premium** são motores de altíssima eficiência e possuem o maior nível de rendimento do mercado, superando o W22 Plus.

Fonte: WEG

Características da linha de motores W22 premium

Excedem os níveis de rendimento definidos na Portaria 553 da Lei de Eficiência Energética 10.295 em vigor desde 15 de Dezembro de 2009. Excelente relação custo-benefício, redução do consumo de energia elétrica, baixos níveis de ruído e vibração e fácil manutenção são algumas das características que definem esse novo produto. Um motor que surge antecipando conceitos sobre eficiência energética, desempenho e produtividade.

Figura 33: Motores Wmagnet



Motores Industriais

Essa é a linha de motores industriais **Wmagnet**. O motor de maior eficiência e economia do mercado. Clique nos motores para conhecer a linha.

O rotor com ímãs permanentes garante o elevado desempenho, sendo possível extrair mais potência por carcaça reduzindo assim, o espaço de instalação e ruídos, além de garantir níveis de rendimento superiores ao dos motores de alto rendimento definidos por norma.

Fonte: WEG

Figura 34: Motores Wmagnet

Motores Industriais

Essa é a linha de motores industriais **Wmagnet**. O motor de maior eficiência e economia do mercado. Clique nos motores para conhecer a linha.



O motor Wmagnet é acionado por inversor de frequência WEG e fornece torque constante em ampla faixa de rotação garantindo a operação em baixas velocidades dispensando o uso de ventilação forçada.

Fonte: WEG

Figura 35: Motores Wmagnet

Motores Industriais

Essa é a linha de motores industriais **Wmagnet**. O motor de maior eficiência e economia do mercado. Clique nos motores para conhecer a linha.



O motor Wmagnet opera com temperaturas mais baixas prolongando o intervalo entre lubrificações e aumentando a vida útil dos mancais.

Fonte: WEG

Figura 36: Características da linha de motores Wmagnet

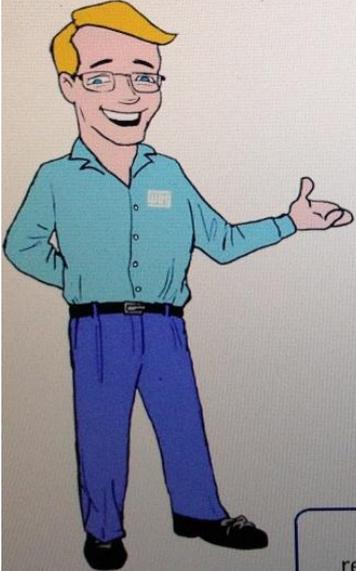
Motores Industriais Veja as características dos motores industriais **Wmagnet**.



- ⇒ Motor Síncrono de Imãs Permanentes, acionado por Inversor de Frequência CFW11;
- ⇒ Tensão de alimentação 380V à 440V;
- ⇒ Pino graxeiro nos mancais;
- ⇒ Vedação dos mancais V'Ring (IP55) ou W3Seal® (IPW66 opcional);
- ⇒ Proteção térmica PTC, 01 por fase, atuação 155°C;
- ⇒ Potências de 11kW à 150kW;
- ⇒ Motores aptos para trabalhar na faixa de rotação:
1800rpm - 240 à 1800rpm
3600rpm - 240 à 3600 rpm

Fonte: WEG

Figura 37: Aplicações




Existem outras aplicações em que a variação de velocidade, alto rendimento, baixo nível de ruído e tamanho reduzido são essenciais.

Fonte: WEG

Figura 38: Motores WEG extra long life

Motores Industriais

Esse é o motor **WEG Extra Long Life** da linha **WELL**. Ele é de confiabilidade a toda prova para a indústria. Clique sobre ele e conheça as características e aplicações.

A linha **WELL** foi projetada com foco nas principais exigências dos clientes: maior vida útil, maior intervalo entre as manutenções, resistência em ambientes corrosivos, rigidez mecânica e menor custo operacional.

Clique na imagem em destaque.



Fonte: WEG

Figura 39: Características dos motores WEG extra long life

CARACTERÍSTICAS: Um conjunto de características criteriosamente desenvolvidas pela WEG para atender às exigências da sua aplicação. O motor WELL é Alto Rendimento Plus e está apto a operar com inversor de frequência.

Potência: 0,75 cv a 350 cv
Polaridade: II, IV, VI e VIII
Carcaça: 90 a 355M/L
Tensão: 220/380 V (carcaças 90S a 200L)
 440 V (225S/M a 355M/L)
Cor: Amarelo Munsell YR 8/14

APLICAÇÕES: Atende toda e qualquer aplicação onde redução de intervenções para manutenção é essencial.

Fonte: WEG

Figura 40: Motores Wwash



Fonte: WEG

Figura 41: Características dos motores Wwash

O motor é pintado com a exclusiva tinta WEG NOBAC® que não permite a proliferação de bactérias garantindo a qualidade nos processos e produtos da sua empresa.

Os motores **Wwash** estão aptos a operar com inversor de frequência.

CARACTERÍSTICAS:

- Potência:** 0,16 cv a 50 cv
- Polaridade:** II, IV, VI e VIII
- Carcaça:** 63 a 200L (outras carcaças sob consulta)
- Tensão:** 220/380 V, 380/660 V, 440 V, 220/380/440 V
- Cor:** Branca RAL 9003 - PU (NOBAC®)

APLICAÇÕES:

Bombas, ventiladores, exaustores, moinhos, talhas, compressores, entre outras.

Fonte: WEG

Figura 42: Linha de motores Rollertable

Motores Industriais

A linha **Roller table** foi desenvolvida com características específicas para atender a severidade da área de siderurgia.

As principais aplicações são laminadores e mesas de rolos onde na maior parte dos casos os motores operam por acionamento direto e enfrentam agentes corrosivos, água, vapor e poeira sobre o motor, sobreaquecimento, excessivos números de partida e frequentes inversões de rotação. Condições extremas de operação que precisam de motores mais resistentes e robustos.

O motor **Roller table** possui aletas radiais que evitam o acúmulo de resíduos na superfície da carcaça, avançado sistema de vedação, proteção contra corrosão, rigidez mecânica que garantem um baixo custo com manutenção, durabilidade e a produtividade para a empresa.

Clique na imagem em destaque.



Fonte: WEG

Figura 43: Motores Wmining

Motores Industriais

Uma preocupação constante da indústria de mineração é reduzir custos de exploração e elevar a qualidade dos produtos.

Pensando nisso, a WEG desenvolveu a linha **Wmining**, um motor com performance otimizada desenvolvido para operar em ambientes severos.



Fonte: WEG

Figura 44: Características dos motores Wmining

O projeto tem características eletromecânicas diferenciadas que garantem durabilidade, resistência mecânica e robustez em todas as etapas do processo, desde a extração do material, transporte e processamento. Os motores **Wmining** estão aptos a operar com inversor de frequência.

CARACTERÍSTICAS:

Potência: 0,5 cv a 500 cv

Polaridade: II, IV, VI e VIII

Carcaça: 90S a 355M/L

Tensão: 220/380 V (até a carcaça 200L)

220/380/440 V (a partir da carcaça 225S/M)

Cor: Laranja Segurança (Musell 2.5 YR 6/14)

APLICAÇÕES: Extração do material, transporte e processamento na indústria de mineração.

Fonte: WEG

Figura 45: Características dos motores Rollertable

CARACTERÍSTICAS:

Potência: sob consulta

Fator de serviço: 1,00

Polaridade: II, IV, VI e VIII

Carcaça: 132M, 160L, 180M, 200L e 225S/M
(demais carcaças sob consulta)

Cor: Verde (RAL 6002)

APLICAÇÕES:

Mesas de rolos e laminadores da indústria siderúrgica.

Fonte: WEG

Figura 46: Motores motofreio WEG

Motores Industriais

O motor **motofreio WEG** é perfeito para equipamentos onde são exigidas paradas rápidas por questão de segurança, posicionamento preciso e economia de tempo.

As soluções em frenagem WEG promovem a sinergia no processo de produção colaborando com a agilidade e com a segurança. Os motores **motofreio WEG** estão aptos a operar com inversor de frequência.

Clique na imagem em dest



Fonte: WEG

Figura 47: Características dos motores motofreio WEG

CARACTERÍSTICAS:

Potência: 0,16 cv a 30 cv
Polaridade: II, IV, VI e VIII
Carcaça: 71 a 200L
Tensão: 220/380 V
Tensão do Freio: 220 V
Cor: Padrão azul (RAL 5007)
 Alto rendimento plus verde (RAL 6002)

APLICAÇÕES: Elevadores de carga, talhas, máquinas operatrizes, ferramentas, teares, máquinas de embalagem, transportadores, máquinas de lavar e engarrafar, dobradeiras.

Fonte: WEG

Figura 48: Motores bomba monobloco



Fonte: WEG

Figura 49: Características dos motores bomba monobloco

CARACTERÍSTICAS: Os motores para bomba monobloco garantem maior economia de energia com a mais elevada *performance*. O projeto mecânico é versátil e compacto o que garante maior rigidez, alinhamento perfeito e vida útil prolongada. E estão aptos a operar com inversor de frequência.

Potência: 1 cv a 100 cv
Polaridade: II e IV
Carcaça: 71 a 250S/M
Tensão: 220/380 V (até carcaça 200L) e 220/380/440 V (a partir da carcaça 225S/M)
Cor: Padrão azul (RAL 5007)
 Alto rendimento plus verde (RAL 6002)

APLICAÇÕES: Bombas monobloco

Fonte: WEG

Figura 50: Motores redutores de velocidade

Motores Industriais

Os motores para **redutores de velocidade** são de baixo custo e alta tecnologia o que garante a versatilidade de adaptação as mais variadas aplicações.

Os motores para redução proporcionam para a empresa agilidade na instalação, facilidade na operação e baixo custo com manutenção.

O projeto está em conformidade com as normas nacionais vigentes, além superar os padrões de rendimento determinados por lei, o que garante muito mais economia de energia elétrica. Os motores para redutores estão aptos a operar com inversor de frequência.



Clique na imagem em destaque

Fonte: WEG

Figura 51: Características dos motores redutores de velocidade

CARACTERÍSTICAS:

Potência: 0,16 cv a 15 cv
Polaridade: II, IV, VI e VIII
Carcaça: 63 a 100L
Tensão: 220/380 V, 380/660 V ou 220/380/440 V
Cor: Padrão azul (RAL 5007)
 Alto rendimento plus verde (RAL 6002)

APLICAÇÕES:
 Nos redutores utilizados em talhas, pontes rolantes, elevadores, polias automáticas, guinchos, e diversas máquinas operatrizes de uso geral.

Fonte: WEG

Figura 52: Motores à prova de explosão

Motores Industriais

Para proporcionar plena performance com garantia de proteção para as unidades industriais e trabalhadores, a WEG desenvolveu os **motores à prova de explosão**.

A instalação de motores elétricos onde produtos inflamáveis são continuamente manuseados, processados ou armazenados, deve atender às mais exigentes normas de segurança para proteção da vida, das máquinas e do meio ambiente. Seguindo os mais altos padrões de segurança, os **motores à prova de explosão WEG** possuem a construção robusta, moderno sistema de retenção de chamas com interstícios entre peças cuidadosamente projetados, usinagem de precisão da caixa de ligação eliminando imperfeições na junção das peças e fixação com parafusos de alta resistência mecânica.

Os motores à prova de explosão WEG estão certificados para operar com inversor de frequência.



Fonte: WEG

Figura 53: Características dos motores à prova de explosão

CARACTERÍSTICAS:

Potência: 0,5 cv a 500 cv
Polaridade: II, IV, VI e VIII
Carcaça: 90S a 355M/L
Tensão: 220/380 V, 380/660 V (até carcaça 200L) e 220/380/440 V (a partir da carcaça 225S/M)

APLICAÇÕES: Bombas, centrais de ar condicionado, ventiladores, britadores, talhas, compressores, transportadores contínuos, máquinas operatrizes, bobinadeiras, moinhos, trefiladeiras, centrífugas, prensas, guindastes, pontes rolantes, cavalos mecânicos para prospecção de petróleo, elevadores, teares, trituradores, picadores de madeira, injetores, mesas de rolos, torres de resfriamento, embaladeiras e onde houver presença de produtos inflamáveis com áreas classificadas que exigem proteção Gb.

Fonte: WEG

Figura 54: Motores motofreio à prova de explosão



Fonte: WEG

Figura 55: Características dos motores motofreio à prova de explosão

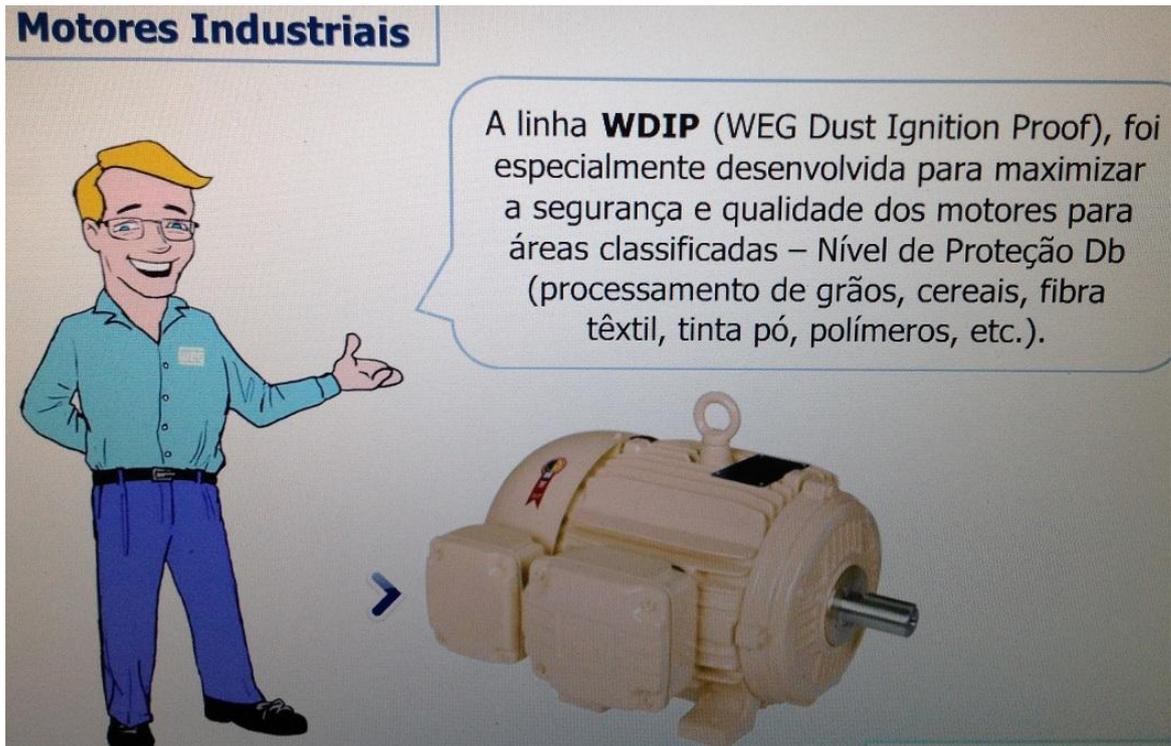
CARACTERÍSTICAS:
 Solução perfeita para equipamentos onde são exigidas paradas rápidas e posicionamento preciso com segurança. Atende às áreas classificadas que exigem a proteção Gb e Gc e garantem a proteção para as unidades industriais e trabalhadores. Os motores motofreio à prova de explosão WEG estão disponíveis na versão Alto Rendimento Plus e estão certificados para operar com inversor de frequência.

Potência: 0,5 cv a 50 cv
Polaridade: II, IV, VI e VIII
Carcaça: 90S a 200L
Tensão: 440 V
Cor: Alto Rendimento Plus verde (RAL 6002)

APLICAÇÕES: Talhas, pontes rolantes e demais.

Fonte: WEG

Figura 56: Motores WDIP



Fonte: WEG

Figura 57: Características dos motores WDIP

CARACTERÍSTICAS:
 Confiabilidade e segurança na presença de poeira combustível em suspensão no ar (nuvem) ou presença em camada (até 5 mm), de acordo com a norma NBR IEC.

Potência: 0,5 cv a 500 cv
Polaridade: II, IV, VI e VIII
Carcaça: 90S a 355
Tensão: 220/380 V ou 440 V com 6 cabos
Cor: Bege RAL 1002

APLICAÇÕES: Talhas, pontes rolantes, elevadores, polias automáticas, guinchos e diversas máquinas operatrizes de uso geral.

Fonte: WEG

Figura 58: Motores não acendível

Motores Industriais

A instalação de motores elétricos onde a presença de mistura inflamável pode representar riscos deve atender às mais exigentes normas de segurança.

Atendendo aos padrões de segurança, a WEG desenvolveu a linha de motores **Não Acendível**.



Clique na imagem em destaque

Fonte: WEG

Figura 59: Características dos motores não ascendíveis

CARACTERÍSTICAS:

Os motores Não Acendíveis WEG estão disponíveis nas versões: Padrão e Alto Rendimento Plus e estão certificados para operar com inversor de frequência.

Potência: 0,5 cv a 450 cv
Polaridade: II, IV, VI e VIII
Carcaça: 90S a 355M/L
Tensão: até 660 V

APLICAÇÕES: Bombas, ventiladores, exaustores, britadores, transformadores, moinhos, talhas, compressores e outras aplicações que requeiram motores assíncronos de indução trifásicos para áreas classificadas que exigem proteção Gc.

Fonte: WEG

Figura 60: Motores Water Cooled



Fonte: WEG

Figura 61: Características dos motores Water Cooled



Fonte: WEG

Figura 62: Motores comerciais WEG



Fonte: WEG

Figura 63: Motor



rural

Fonte: WEG

Figura 64: Motor motoserra



Fonte: WEG

Figura 65: Motor steel motor monofásico



Fonte: WEG

Figura 66: Motor steel motor



trifásico

Fonte: WEG

Figura 67: Motor Jet Pump monofásico



Fonte: WEG

Figura 68: Motor Jet Pump trifásico



Fonte: WEG

Figura 69: Motores para condicionadores de ar



Fonte: WEG

Figura 70: Motores para portão eletrônico



Fonte: WEG

Figura 71: Motores para movimentação de ar

Motores Comerciais

Além dos motores comerciais que você viu, há também, os motores para movimentação de ar e para lava-roupas automáticas e semi-automáticas. Veja!

Motores para movimentação de ar

A photograph showing three air movement motors with fans. One is larger and has a yellow fan, while the other two are smaller and have white fans. They are arranged in a cluster.

Motores para lava-roupas automáticas e semiautomáticas

Fonte: WEG

Figura 72: Motores para lava-roupas automáticas e semi-automáticas



Fonte: WEG

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou mostrar o funcionamento dos motores elétricos trifásicos e informar suas principais características. Pudemos também ver suas aplicações no uso geral. No acionamento de cargas mecânicas utilizam-se motores elétricos, que são máquinas capazes de promoverem uma transformação de energia elétrica em energia mecânica com algumas perdas de energia. Como essas perdas de energia são pequenas, o motor elétrico apresenta a vantagem de ser uma máquina com um rendimento energético elevado. Entre os diversos tipos de motores elétricos, o motor de indução trifásico é uma máquina com um princípio de funcionamento simples, com uma construção robusta, com pequena manutenção e age devido à automação do seu processo de fabricação ter um preço pouco elevado. Como o progresso tecnológico permitiu o desenvolvimento de métodos de controle desta máquina elétrica que, não sendo dissipativos de energia, contribuem para uma utilização racional da energia elétrica, o domínio de aplicações do motor trifásico tem vindo alargar-se. No acionamento de uma carga mecânica podem ser utilizados outros motores elétricos como os motores de corrente contínua, os motores de corrente alternada síncronos, os motores de indução monofásicos ou motores elétricos especiais. Devido às suas características de funcionamento serem diferentes, cada tipo de motor elétrico tem, normalmente, um tipo de aplicação específico. No entanto, atualmente, com a alimentação dos motores elétricos por conversores eletrônicos de potência, é possível, através da estratégia de controle desses conversores, adaptar as características de funcionamento naturais de um determinado tipo de motor elétrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPELLI, A **Automação Industrial: Controle do Movimento e Processos Contínuos**. 1ª Ed. São Paulo: Érica, 2006. 236 p.

WEG. Curso online de motores elétricos de indução trifásicos.2013 Dispon[ível em: www.weg.csod.com.br Acessado em JUN-2103

WEG. **Motores de indução alimentados por inversores de frequência PWM**. Guia Técnico WEG. 2013

WEG. **Catálogo de motores elétricos**. Jaraguá do Sul; 2006. Módulo I, Comando e Proteção, WEG Indústrias S.A. Disponível em: <<http://www.weg.com.br>. Acessado em: JUN02013