

MANUAL DE MOTORES ELÉTRICOS

KCEL MOTORES E FIOS LTDA

www.kcel.com.br

ÍNDICE

1. Fundamentos gerais	5
1.1 Motores de corrente contínua.....	5
1.2 Motores de corrente alternada	5
Família de motores elétricos	5
1.2.1 Motores de indução	6
1.2.1.1 Motores de indução monofásicos.....	6
a) Motor monofásico de fase auxiliar ou fase dividida (ISR – <i>Inductive Start and Run – Split-Phase</i>)	6
b) Motor monofásico com capacitor de partida (CST – Capacitor Start).....	6
c) Motor monofásico com capacitor permanente (PSC – Permanent Split Capacitor)	7
d) Motor monofásico com capacitor de dois valores (CSR - Capacitor Start and Run)	7
e) Motor monofásico com campo distorcido ou pólos sombreados (Shaded-Pole)	7
1.2.1.2 Motores de indução trifásicos.....	8
Princípio de funcionamento.....	8
1.3 Principais componentes	9
a) Motor monofásico (IP21).....	9
b) Motor trifásico (IP56).....	10
1.4 Conceitos básicos da rede de alimentação.....	11
1.4.1 Corrente elétrica	11
Corrente contínua.....	11
Corrente alternada	11
Tensão e corrente máxima.....	11
Valor eficaz (tensão e corrente)	11
1.4.2 Frequência.....	11
1.4.3 A rede de distribuição	11
Ligação monofásica	11
Ligação trifásica	12
Ligação estrela.....	12
Ligação triângulo.....	12
1.4.4 Potência	13
Potência aparente (S) – [VA - Volt ampère]	13
Potência ativa (P) – [W - Watt].....	13
Potência reativa (Q) – [VAr - Volt ampère reativo]	13
1.4.5 Defasagem (φ).....	13
1.4.6 Fator de potência ($\cos \varphi$).....	13
1.5. Relações básicas dos motores elétricos	14
1.5.1 Velocidade síncrona (ns)	14
1.5.2 Escorregamento (s)	14
1.5.3 Conjugado (C).....	14
1.5.4 Relação entre conjugado e potência	14
1.5.5 Perdas	14
1.5.6 Rendimento (η).....	14
2. Características da alimentação	15
2.1 Tensão nominal.....	15
2.1.1 Tensões normais de alimentação	15
2.1.2 Tensão múltipla	15
2.2 Frequência nominal.....	16
2.2.1 Efeitos nos motores bobinados em 50Hz ligados na rede de 60Hz	16
2.3 Tolerância de variação de tensão e frequência	16
2.4 Efeitos aproximados da variação de tensão.....	16
2.5 Efeitos de um sistema de tensões desequilibrado sobre as características de funcionamento de um motor	16
2.6 Sistemas de partidas dos motores elétricos.....	17
2.6.1 Partida direta	17
2.6.2 Partida com chave estrela-triângulo	17
2.6.3 Partida com chave compensadora	18
2.6.4 Partida com chave série-paralela	19
2.6.5 Partida com bobinamento dividido.....	19
2.6.6 Partida com resistor primário.....	19
2.6.7 Partida com reator primário	19
2.6.8 Partida eletrônica (Soft-Starter).....	20
2.7 Comparação entre alguns métodos de partida	20

3. Características ambientais.....	21
3.1 Temperatura ambiente	21
3.1.1 Cuidados necessários para funcionamento com temperatura acima de 40°C ou abaixo de 0°C.	21
3.2 Altitude	21
3.2.1 Cuidados necessários para funcionamento em altitudes superiores a 1000m	21
3.3 Potência útil do motor nas diversas condições de temperatura e altitude	21
3.4 Áreas agressivas	21
3.5 Áreas perigosas	22
3.5.1 Classificação das áreas perigosas	22
3.5.1.1 Classe da área	22
3.5.1.2 Grupo de área e temperaturas de ignição.....	22
3.5.1.3 Zona de área	22
3.5.2 Classes de temperatura.....	22
3.5.3 Sequência para definição da classificação de áreas.....	23
3.5.4 Equipamentos para atmosferas explosivas	23
3.6 Graus de proteção.....	23
3.6.1 Graus de proteção	24
3.6.2 Graus de proteção usuais para motores elétricos	24
3.7 Motores a prova de intempéries	24
3.8 Ventilação.....	24
3.8.1 Motor aberto (ODP)	24
3.8.2 Motor totalmente fechado com ventilação externa	24
3.8.3 Motor totalmente fechado sem ventilação externa	24
4. Características de regime	25
4.1 Aquecimento do motor	25
4.1.1 Limite de potência devido ao aquecimento do motor	25
4.1.2 Dissipação do calor	25
a) A área total de dissipação da carcaça	25
b) Diferença de temperatura entre a superfície externa da carcaça e a temperatura ambiente	25
c) Eficiência do sistema de ventilação	25
4.2 Classes de isolamento	25
4.3 Medida da temperatura do enrolamento	25
4.4 Sistema de proteção	26
4.4.1 Principais dispositivos de proteção.....	26
Fusíveis	26
Disjuntores	26
Relé térmico	26
4.4.2 Proteção térmica para motores	26
Termostatos	26
Termoresistências (resistência calibrada).....	26
Protetores térmicos	26
Termistores	27
4.4.3 Grau de proteção oferecido por alguns dispositivos contra as principais ocorrências de sobreaquecimento	27
4.5 Regime de serviço.....	27
Regimes normalizados.....	27
4.5.1 Regime tipo S1 – Regime contínuo	27
4.5.2 Regime tipo S2 – Regime de tempo limitado	28
4.5.3 Regime tipo S3 - Regime intermitente periódico	28
4.5.4 Regime tipo S4 - Regime intermitente periódico com partidas.....	29
4.5.5 Regime tipo S5 - Regime intermitente periódico com frenagem elétrica.....	29
4.5.6 Regime tipo S6 - Regime de funcionamento contínuo periódico com carga intermitente	30
4.5.7 Regime tipo S7 - Regime de funcionamento contínuo periódico com frenagem elétrica	30
4.5.8 Regime tipo S8 - Regime de funcionamento contínuo periódico com mudanças correspondentes de carga e de velocidade.....	31
4.5.9 Regime tipo S9 - Regime com variações não periódicas de carga e de velocidade	31
4.5.10 Regime tipo S10 - Regime com cargas e velocidades constantes distintas	32
4.5.11 Regimes especiais.....	33
4.6 Caracterização do tipo de regime	33
4.7 Determinação da potência requerida pela carga	33
a) Potência variável, sem períodos de repouso	33
b) Potência variável, com períodos de repouso	33
4.8 Fator de serviço (FS).....	33
4.9 Fator de potência ($\cos \varphi$).....	34

5. Características de regime	35
5.1 Curva conjugado x velocidade	35
5.1.1 Categorias	35
5.2 Partida com carga de alta inércia	37
5.3 Tempo de aceleração	37
5.4 Número mínimo de partidas sucessivas	38
5.5 Valores das inércias acionadas	38
5.6 Corrente com rotor bloqueado em função da potência aparente	39
5.6.1 Codificação NEMA e EB-120 para corrente com rotor bloqueado	40
6. Características ambientais	41
6.1 Elementos comuns dos motores elétricos	41
6.2 Dimensões normalizadas	41
6.2.1 Formas construtivas normalizadas	41
6.2.2 Correspondência entre potência nominal, velocidade síncrona e carcaça	42
6.3 Caixa de ligação	43
6.4 Balanceamento	43
Tipos de balanceamento	43
6.5 Vibração	43
6.5.1 Suspensão livre	43
6.5.2 Chaveta	44
6.5.3 Pontos de medição	44
6.6 Níveis de ruído	44
6.7 Placa de identificação	45
6.8 Pintura	45
6.9 Terminais de aterramento	46
6.10 Transmissão da potência	46
6.10.1 Transmissão por acoplamento direto	46
a) Acoplamento rígido	46
b) Acoplamento elástico	46
a) Correia plana	46
b) Correia trapezoidal ou em "V"	46
c) Correia dentada	46
6.11 Esforços sobre mancais	47
6.12 Tipos de fixação	48
a) Bases deslizantes (trilhos)	48
b) Chumbadores	48
c) Base rígida	48
d) Flanges	48
7. Recepção e manutenção	50
7.1 Embalagens	50
7.2 Recebimento	50
7.3 Transporte e manuseio	50
7.4 Armazenamento	50
7.5 Manutenção	51
7.5.1 Manutenção preventiva	51
7.5.2 Limpeza	51
7.6 Rolamentos e mancais	52
7.7 Manutenção elétrica	53
7.7.1 Isolação	53
7.7.2 Conexões	53
7.8 Dimensionamento do condutor para alimentação de motores elétricos	54
7.8.1 Capacidade de condução de corrente	54
7.8.2 Máxima queda de tensão admissível	54
7.9 Manutenção corretiva	55
7.10 Defeitos causas e providências	55
7.9.1 Defeitos mais frequentes em motores	55
7.11 Roteiro de manutenção	56
8. Anexos	57

1. Fundamentos gerais

O motor elétrico é a máquina mais simples para se obter energia mecânica através da transformação de energia elétrica. Sendo que o motor de indução é o mais usado entre todos os tipos de motores, pois concilia robustez, grande versatilidade de aplicação, baixo custo, melhores rendimentos e não é poluente, aliados ao fato de se utilizar energia elétrica como fonte de alimentação (energia de fácil disponibilidade e baixo custo). Os tipos mais comuns de motores elétricos são:

1.1 Motores de corrente contínua

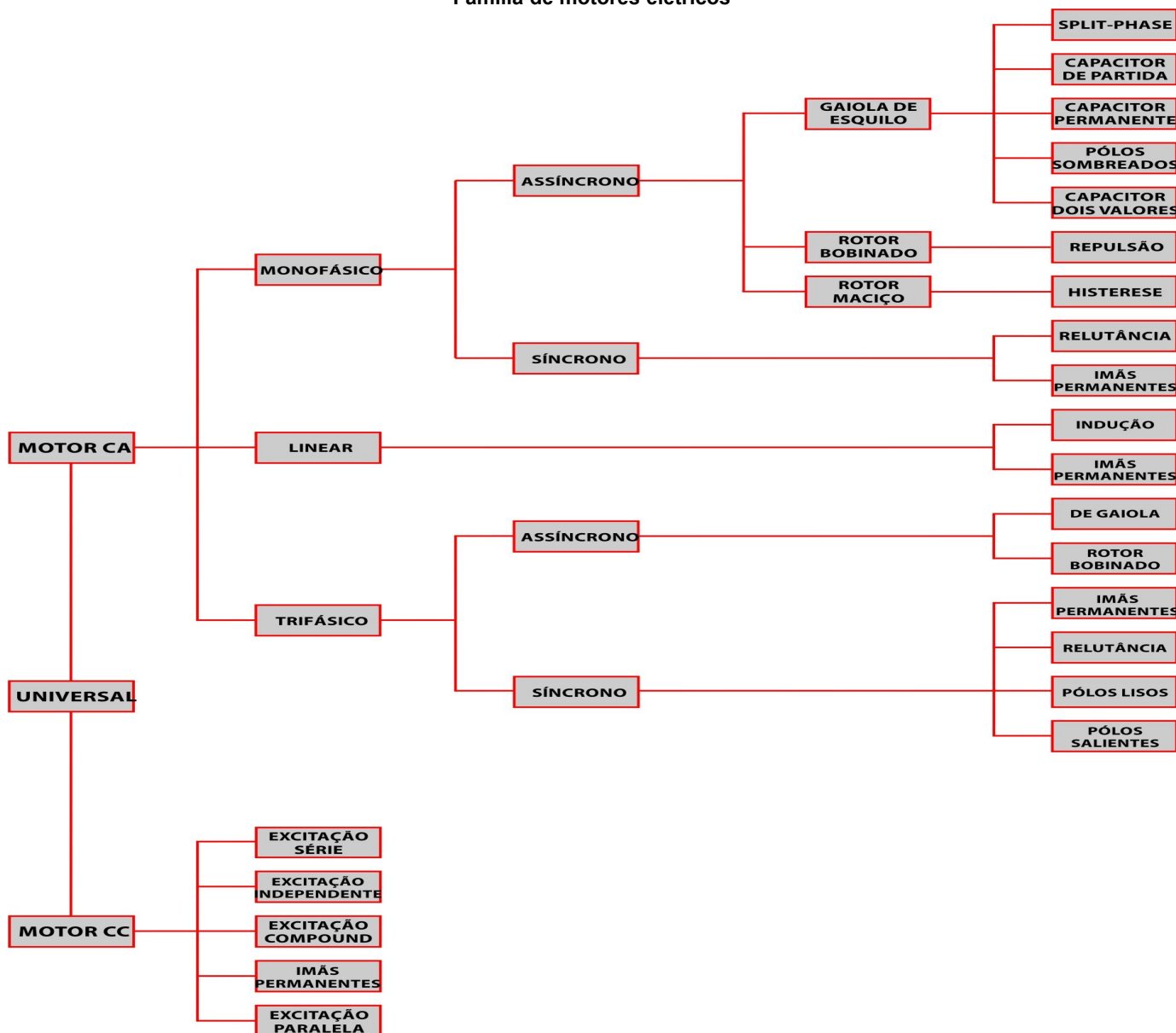
São motores que precisam de uma fonte de corrente contínua, ou de um dispositivo que converta a corrente alternada em contínua. Sua velocidade pode ser ajustada de acordo com a tensão aplicada. Tem sua utilização principal nas aplicações que requeiram elevado conjugado de partida

(como tração elétrica) e controle de velocidade sobre grandes faixas, principalmente em potências elevadas. Devido a necessidade de uma fonte de corrente contínua, tem o seu custo elevado.

1.2 Motores de corrente alternada

São motores que sua alimentação é feita através de uma fonte de corrente alternada. Podem ser classificados em assíncronos (indução) e síncronos. As máquinas síncronas possuem velocidade fixa e têm sua aplicação bastante limitada, devido ao alto custo. Já os motores de indução são utilizados na grande maioria das aplicações que necessitam de motores elétricos. Neste manual analisaremos somente os motores de indução com rotor de gaiola de esquilo.

Família de motores elétricos



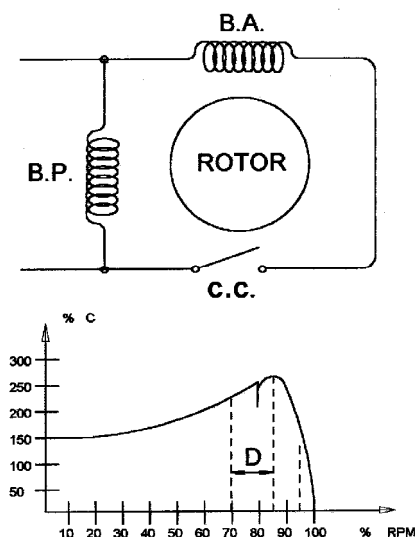
1.2.1 Motores de Indução

São as máquinas elétricas de maior aplicação. Devido a sua robustez e pouca manutenção exigida, os motores de indução são ideais para a indústria. Em função disso a Kcel tem concentrado seus esforços neste tipo de motor em particular, obtendo um motor de excelente qualidade e baixo custo. São caracterizados por somente o estator estar ligado à rede, e pelas correntes que circulam no rotor serem induzidas pelo estator.

1.2.1.1 Motores de indução monofásicos

a) Motor monofásico de fase auxiliar ou fase dividida (ISR – Inductive Start and Run – Split-Phase)

Motor de indução monofásico com um enrolamento principal conectado diretamente à rede de alimentação e um enrolamento auxiliar defasado, geralmente, em 90° elétricos do enrolamento principal. É um motor utilizado sem nenhuma outra impedância, senão aquela oferecida pelo próprio enrolamento do motor. O enrolamento auxiliar está inserido no circuito de alimentação somente durante o período de partida do motor e cria um deslocamento de fase que produz o conjugado necessário para a rotação inicial e a aceleração. Quando o motor atinge uma rotação pré-definida, o enrolamento auxiliar desconecta-se da rede através de uma chave que normalmente é acionada pela força centrífuga. Como o enrolamento auxiliar é dimensionado para atuação somente na partida, seu não desligamento provocará a sua queima. O ângulo de defasagem entre as correntes do enrolamento principal e do enrolamento auxiliar é pequeno e, por isso, estes motores têm conjugado de partida igual ou pouco superior ao nominal, o que limita a sua aplicação as potências fracionárias e as cargas que exigem reduzido conjugado de partida, tais como máquinas de escritórios, ventiladores e exaustores, pequenos polidores, compressores herméticos, bombas centrífugas, etc.



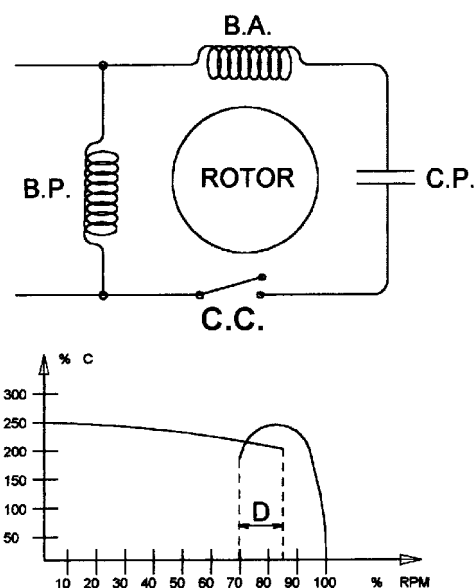
Legenda

- D Faixa onde a fase auxiliar desconecta-se
- B.P. Bobina Principal
- B.A. Bobina Auxiliar
- C.C. Conjunto Platinado e Centrífugo

Figura 1.1 – Esquema e curva de conjugado x velocidade do motor fase dividida (Split-Phase).

b) Motor monofásico com capacitor de partida (CST – Capacitor Start)

Motor de indução monofásico com um enrolamento principal conectado diretamente à rede de alimentação e um enrolamento auxiliar defasado, geralmente, em 90° elétricos do enrolamento principal e conectado em série com um capacitor. Tanto o enrolamento auxiliar quanto o capacitor estarão inseridos no circuito de alimentação somente durante o período de partida do motor. O capacitor permite um maior ângulo de defasagem entre as correntes dos enrolamentos principal e auxiliar, proporcionando assim, elevados conjugados de partida. Como no motor de fase dividida, o circuito auxiliar desconecta-se quando o motor atinge rotação pré-definida. Neste intervalo de velocidade, o enrolamento principal sozinho desenvolve quase o mesmo conjugado que os enrolamentos combinados. Para velocidades maiores, entre 80% e 90% da velocidade síncrona, a curva de conjugado com os enrolamentos combinados cruza a curva de conjugado do enrolamento principal de maneira que, para velocidades acima deste ponto, o motor desenvolve maior conjugado com o circuito auxiliar desligado. Devido ao fato de o cruzamento das curvas não ocorrer sempre no mesmo ponto, e ainda, a chave centrífuga não abrir exatamente na mesma velocidade, é prática comum fazer com que a abertura aconteça, na média um pouco antes do cruzamento das curvas. Após a desconexão do circuito auxiliar, o seu funcionamento é idêntico ao do motor de fase dividida. Com o 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 (bombas, compressores, lavadoras de roupa, geladeiras industriais).



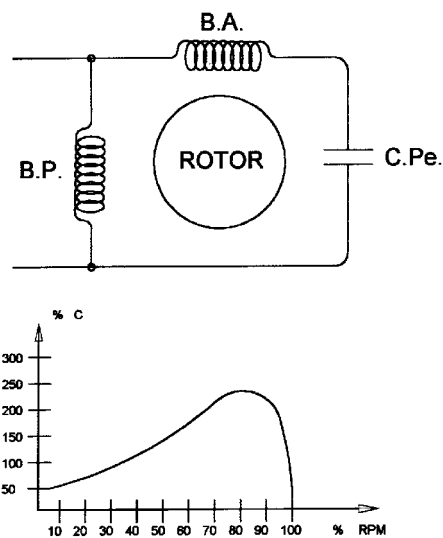
Legenda

- D Faixa onde a fase auxiliar desconecta-se
- B.P. Bobina Principal
- B.A. Bobina Auxiliar
- C.C. Conjunto Platinado e Centrífugo
- C.P. Capacitor de Partida

Figura 1.2 – Esquema e curva de conjugado x velocidade do motor de capacitor de partida.

c) Motor monofásico com capacitor permanente (PSC – Permanent Split Capacitor)

Motor de indução monofásico com um enrolamento principal conectado diretamente à rede de alimentação e um enrolamento auxiliar defasado, geralmente, em 90° elétricos do enrolamento principal e conectado em série com um capacitor. Durante todo período de funcionamento do motor o circuito auxiliar com o capacitor permanece conectado ao circuito de alimentação. O efeito deste capacitor é o de criar condições de fluxo muito semelhante às encontradas nos motores polifásicos, aumentando com isso, o conjugado máximo, o rendimento e o fator de potência, além de reduzir sensivelmente o ruído. Construtivamente são menores e isentos de manutenção, pois não utilizam contatos e partes móveis como os motores anteriores. Porém, seu conjugado de partida, normalmente é inferior ao do motor de fase dividida (50% a 100% do conjugado nominal), o que limita sua aplicação a equipamentos que não requeiram elevado conjugado de partida. São fabricados normalmente para potências de 1/50 à 3,0 cv.



Legenda

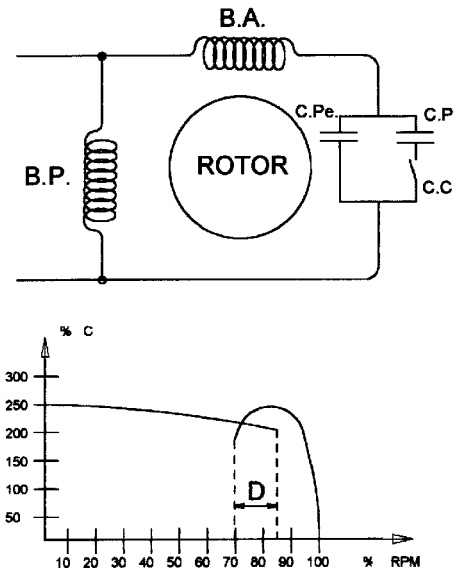
B.P.	Bobina Principal
B.A.	Bobina Auxiliar
C.Pe.	Capacitor Permanente

Figura 1.3 – Esquema e curva de conjugado x velocidade do motor de capacitor permanente.

d) Motor monofásico com capacitor de dois valores (CSR - Capacitor Start and Run)

Motor de indução monofásico com um enrolamento principal conectado diretamente à rede de alimentação e um enrolamento auxiliar defasado, geralmente, em 90° elétricos do enrolamento principal e conectado em série com dois ou mais capacitores, obtendo-se assim dois valores de capacitâncias, uma utilizada na condição de partida e outra na condição de regime.

É um motor que utiliza as vantagens dos motores monofásicos: capacitor de partida (CST) e capacitores permanente (PSC), caracteriza-se por obter um ótimo desempenho na partida e em regime. Porém, devido ao seu custo elevado, geralmente, são fabricados somente em potências superiores a 1 cv.



Legenda

D	Faixa onde a fase auxiliar desconecta-se
B.P.	Bobina Principal
B.A.	Bobina Auxiliar
C.C.	Conjunto Platinado e Centrífugo
C.P.	Capacitor de Partida
C.Pe.	Capacitor Permanente

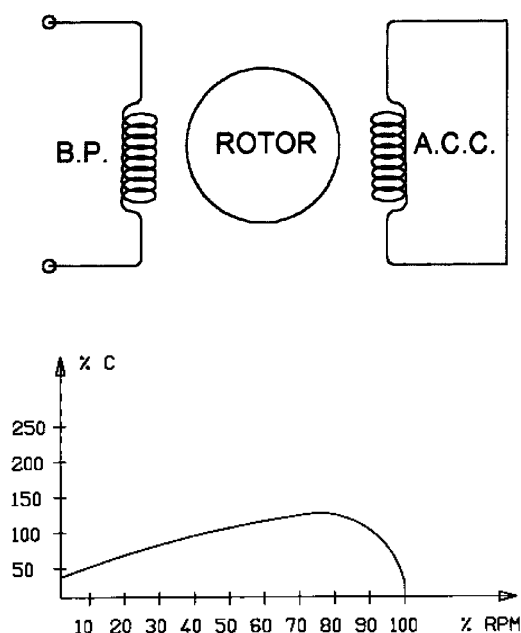
Figura 1.4 – Esquema e curva de conjugado x velocidade do motor com capacitor de dois valores.

e) Motor monofásico com campo distorcido ou pólos sombreados (Shaded-Pole)

Motor de indução monofásico com um enrolamento auxiliar curto-circuitado.

O motor de campo distorcido se destaca entre os motores de indução monofásicos, por seu método de partida, que é o mais simples, confiável e econômico. Uma das formas construtivas mais comuns é a de pólos salientes, sendo que cerca de 25 a 35% de cada pólo é enlaçada por uma espira de cobre em curto circuito. A corrente induzida nesta espira faz com que o fluxo que a atravessa sofra um atraso em relação ao fluxo da parte não enlaçada pela mesma. O resultado disto é semelhante a um campo girante que se move na direção da parte não enlaçada para a parte enlaçada do pólo, produzindo conjugado que fará o motor partir e atingir a rotação nominal. O sentido de rotação depende do lado que se situa a parte enlaçada do pólo, conseqüentemente o motor de campo distorcido apresenta um único sentido de rotação. Este geralmente pode ser invertido, mudando a posição da ponta de eixo do rotor em relação ao estator. Os motores de campo distorcido apresentam baixo conjugado de partida (15 a 50% do nominal), baixo rendimento (35%) e baixo fator de potência (0,45). Normalmente são fabricados para pequenas potências, que vão de alguns milésimos de cv até o limite de 1/4cv. Pela sua simplicidade, robustez e baixo custo, são

ideais em aplicações tais como: ventiladores, exaustores, purificadores de ambiente, unidades de refrigeração, secadores de roupa e de cabelo, pequenas bombas e compressores, projetores de slides, toca discos e aplicações domésticas.



Legenda

B.P. Bobina Principal
A.C.C. Anel de Curto Circuito

Figura 1.5 – Esquema e curva de conjugado x velocidade do motor de campo distorcido.

1.2.1.2 Motores de indução trifásicos

Princípio de funcionamento

O funcionamento de um motor de indução trifásico baseia-se no princípio do acoplamento eletromagnético entre o estator e o rotor, pois há uma interação eletromagnética entre o campo girante do estator e as correntes induzidas nas barras do rotor, quando estas são cortadas pelo campo girante.

O campo girante é criado devido aos enrolamentos de cada fase estarem espaçados entre si de 120° . Sendo que ao alimentar os enrolamentos com um sistema trifásico, as correntes I1, I2 e I3 originarão seus respectivos campos magnéticos H1, H2 e H3, também, espaçados entre si 120° . Além disso, como os campos são proporcionais às respectivas correntes, serão defasados no tempo, também de 120° entre si. A soma vetorial dos três campos H1, H2 e H3, será igual ao campo total H resultante.

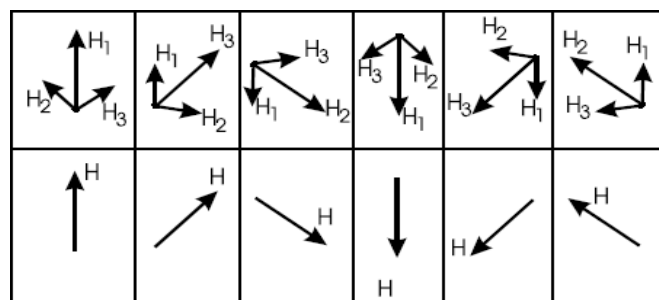


Figura 1.6a – Soma vetorial, em seis instantes, do campo Magnético produzido por cada fase separada, ao circular uma corrente defasada de 120° .

A composição do campo gerado pela corrente induzida no rotor com o campo girante do estator resulta em uma força de origem magnética que gera um conjugado no eixo do motor, tendendo a fazer o rotor girar no sentido do campo girante. Se o conjugado é suficiente para vencer o conjugado resistente aplicado sobre o eixo, o rotor começa a girar. A energia elétrica fornecida ao estator pela rede é transformada em energia mecânica através do eixo do motor.

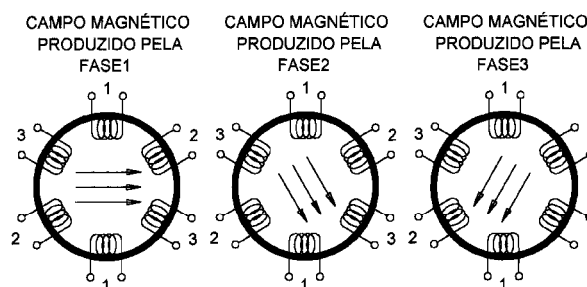


Figura 1.6b – Orientação do campo Magnético produzido por cada fase separada, ao circular uma corrente defasada de 120°

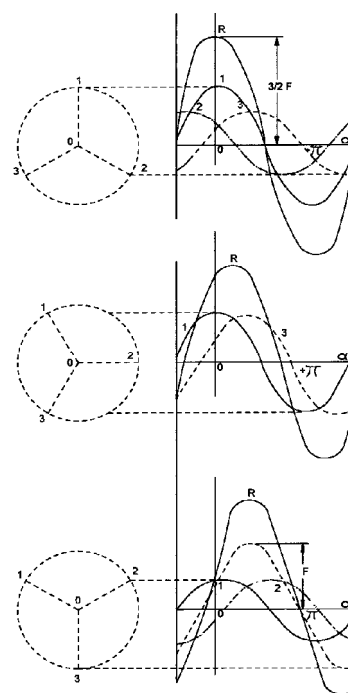
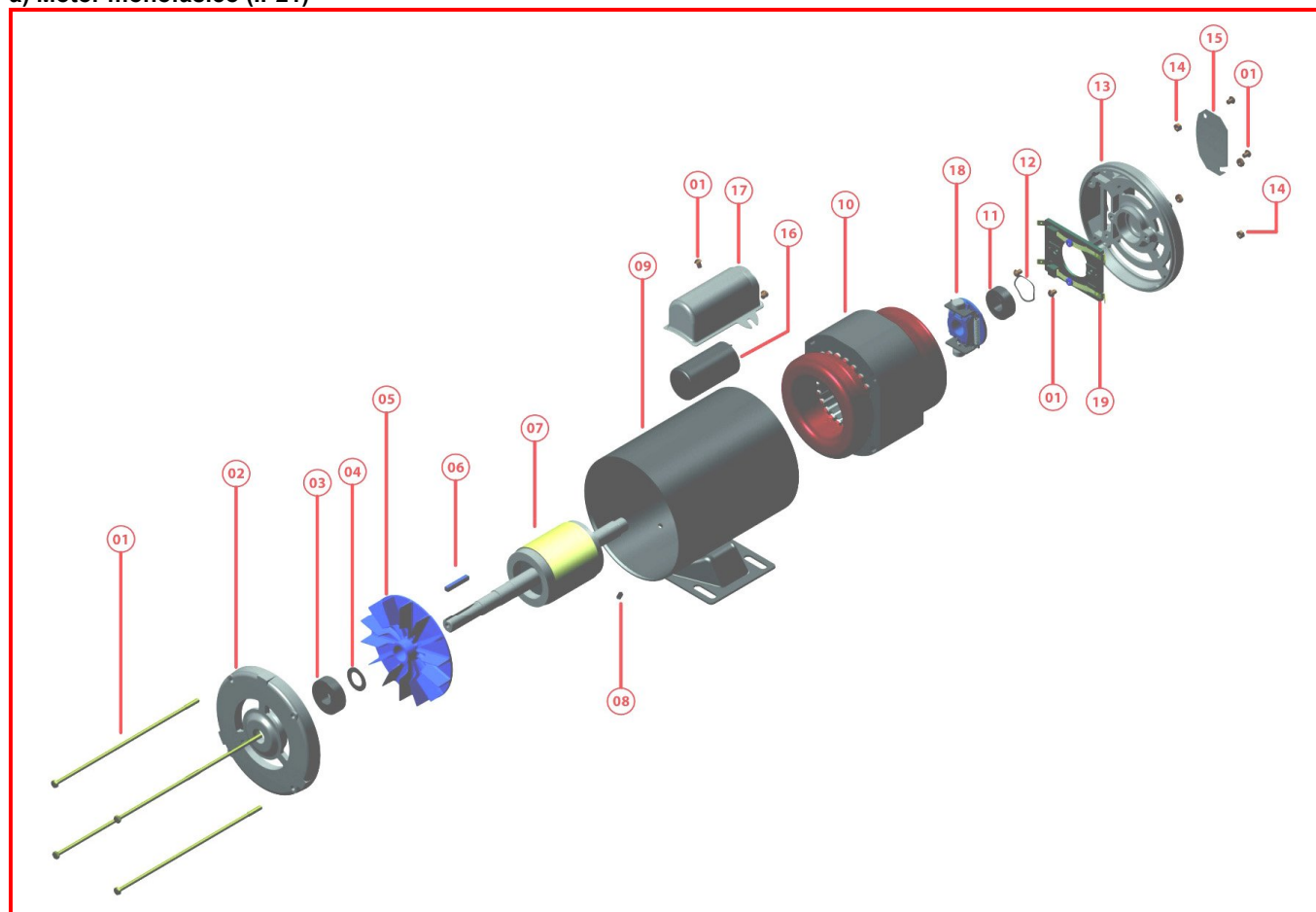


Figura 1.6c – Campo magnético resultante da composição das três ondas pulsantes defasadas no espaço e no tempo de 120° .

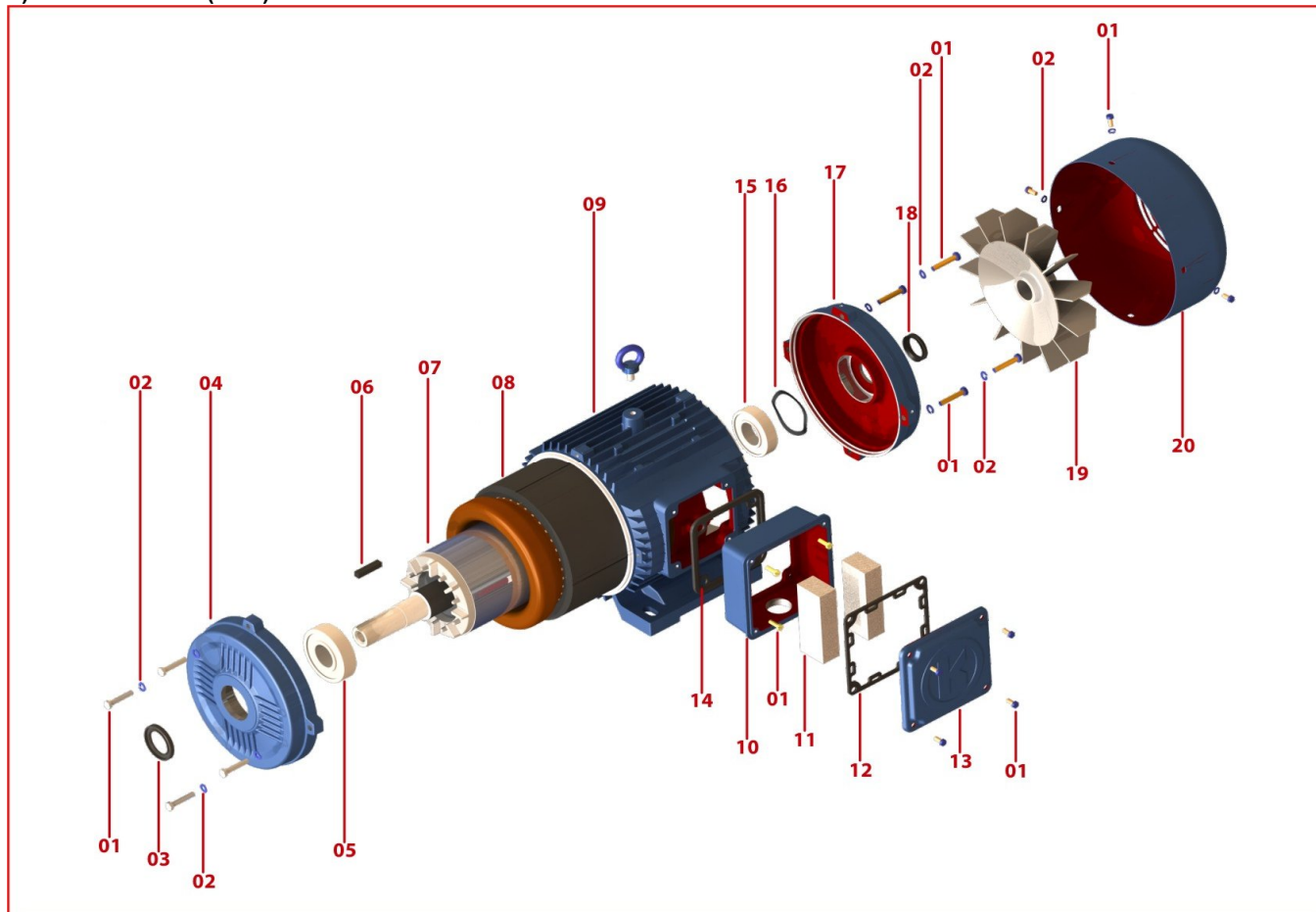
1.3 Principais componentes

a) Motor monofásico (IP21)



01	Parafuso: de aço zincado, com alta resistência à corrosão.	11	Rolamento traseiro: de esferas, dimensionado para suportar as piores solicitações sem danos para o motor e com dupla blindagem
02	Tampa dianteira: de ferro fundido com assento do mancal mandrilado, o que aumenta a vida útil dos rolamentos.	12	Arruela ondulada: de aço mola, dimensionada para que o motor tenha a mínima folga axial.
03	Rolamento dianteiro: de esferas, dimensionado para suportar as piores solicitações sem danos para o motor e com dupla blindagem	13	Tampa traseira: em ferro fundido, com assento do mancal mandrilado, o que aumenta a vida útil dos rolamentos
04	Arruela de encosto do rolamento: de aço zincado, com alta resistência à corrosão.	14	Porcas sextavadas: de aço zincado, com alta resistência à corrosão
05	Ventilador: de PP ou PA, projetado para mover grande quantidade de ar com pouco ruído.	15	Tampa da caixa de ligação: De chapa e de fácil remoção, facilitando a ligação do motor
06	Chaveta: de aço 1045, com alta precisão dimensional.	16	Capacitor: dimensionado para obter maior ângulo entre as correntes dos enrolamentos auxiliar e principal, proporcionando elevados torques de partida
07	Rotor completo: formado por lâminas com baixa perda elétrica. Os anéis e barras do circuito são de alumínio, o que torna o conjunto extremamente rígido	17	Capa do capacitor: fabricado em chapa de aço, utilizado para proteger o capacitor contra choques mecânicos
08	Pino elástico: de aço mola, utilizado para fixar o estator bobinado na carcaça	18	Centrifugo: conjunto responsável pelo chaveamento do enrolamento auxiliar durante a partida
09	Carcaça completa: fabricada em chapa de aço	19	Platinado: base em baquelite, contato em liga de prata e lâmina de bronze fosforoso
10	Estator bobinado: com lâminas tratadas termicamente, visando minimizar as perdas elétricas. Fio envernizado à base de poliéster, apresentando alta rigidez dielétrica entre as fases e excelentes propriedades mecânicas, com classe térmica "H" (180°C).		

b) Motor trifásico (IP56)



01	Parafuso: de aço zincado, com alta resistência a corrosão.	11	Espuma auto-extinguível: veda a saída dos cabos da carcaça para a caixa de ligação.
02	Arruela de pressão: de aço mola, com elevada resistência a corrosão.	12	Vedação da tampa da caixa de ligação: em borracha com dureza e perfil que garantem ótima vedação.
03	Retentor: tipo BR com mola interna, o que garante uma ótima vedação.	13	Tampa da caixa de ligação: em ferro fundido de fácil remoção, que facilita a ligação do motor.
04	Tampa dianteira: de ferro fundido com assento do mancal mandrilado, que aumenta a vida útil do rolamento.	14	Vedação da caixa de ligação: em borracha com dureza e perfil que garantem ótima vedação.
05	Rolamento dianteiro: de esferas, dimensionado para suportar as piores solicitações sem danos para o motor e com dupla blindagem para carcaças 63 à 160. A partir da carcaça 180, com graxeira nas tampas para relubrificação.	15	Rolamento traseiro: de esferas, dimensionado para suportar as piores solicitações sem danos para o motor e com dupla blindagem para carcaças 63 à 160. A partir da carcaça 180, com graxeira nas tampas para relubrificação.
06	Chaveta: de aço 1045, com alta precisão dimensional segundo ABNT NBR 5032.	16	Arruela ondulada: de aço mola, dimensionada para que o motor tenha a mínima folga axial. Usada nas carcaças 63 à 160. A partir da carcaça 180, o rolamento dianteiro é travado na tampa.
07	Rotor completo: formado por lâminas com baixa perda elétrica. Os anéis e barras do circuito são de alumínio, o que torna o conjunto extremamente rígido.	17	Tampa Traseira: em ferro fundido, com assento do mancal mandrilado, o que aumenta a vida útil do rolamento.
08	Estator bobinado: com lâminas tratadas termicamente, visando minimizar as perdas elétricas. Fio de cobre envernizado à base de poliéster, apresentando alta rigidez dielétrica entre as fases e excelentes propriedades mecânicas, com classe térmica "H" (180°C).	18	V'ring: em borracha com dureza e perfil que garantem ótima vedação
09	Carcaça: de ferro fundido resistente a corrosão, com aletas dimensionadas para fornecer o máximo de refrigeração ao motor.	19	Ventilador: de plástico até a carcaça 160 e liga de alumínio para as carcaças acima de 160. Com baixa inércia, projetado para mover grande quantidade de ar com pouco ruído. Ventilador plástico produzido em polipropileno copolímero.
10	Caixa de ligação: em ferro fundido, permitindo giro de 90° em 90°, o que facilita a instalação do motor, com furo para saída de cabos com rosca RWG. Rosca PG opcional para toda a linha das carcaças 63 à 315.	20	Tampa defletora: em aço até a carcaça 132 e ferro fundido para as carcaças acima da 132. Direciona o ar e otimiza a dissipação do calor.

1.4 Conceitos básicos da rede de alimentação

1.4.1 Corrente elétrica

Corrente contínua

A corrente gerada por uma fonte de tensão contínua, chama-se corrente contínua (C.C) e se caracteriza por fluir em apenas um sentido, determinado pela polaridade da fonte de tensão

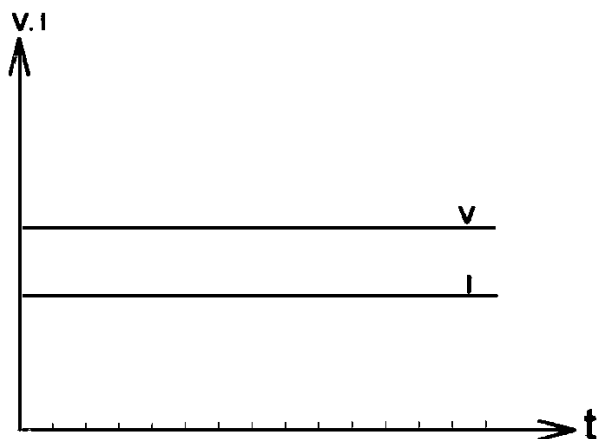


Figura 1.7 – Gráfico da tensão e corrente contínua

Corrente alternada

A corrente gerada por uma fonte de tensão alternada, chama-se corrente alternada (C.A) e se caracteriza por mudanças contínuas no sentido da corrente com o passar do tempo (figura 1.8).

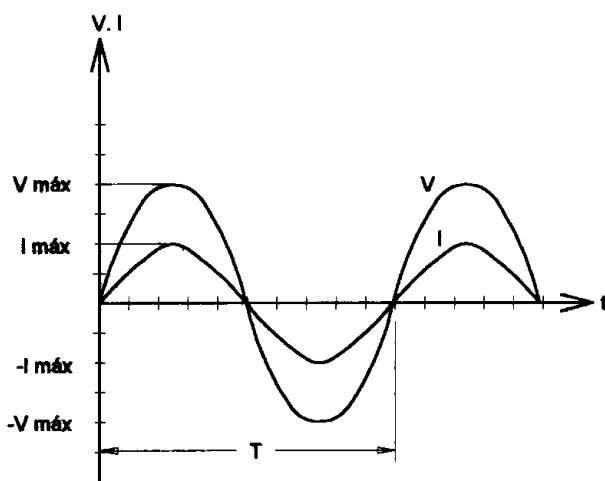


Figura 1.8 – Gráfico da tensão e corrente alternada no tempo

A relação entre a tensão e a corrente para cargas puramente resistivas é dada por:

$$V = R \cdot I$$

Tensão e corrente máxima

Esse é um termo para sistemas alternados que caracteriza o maior valor da tensão e corrente durante todo trajeto de variação (ciclo), também chamado de valor de pico (V_{max}) e (I_{max}), figura 1.8.

Valor eficaz (tensão e corrente)

Nos sistemas alternados, tanto a corrente como a tensão variam constantemente. Os valores obtidos através de instrumentos de medição, como amperímetros e voltímetros, são os valores eficazes e correspondem a tensão ou corrente alternada capaz de produzir potência, e é dado por:

$$V_{\text{eficaz}} = \frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{2}} \quad I_{\text{eficaz}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$$

1.4.2 Frequência

A frequência indica o quanto oscila um sistema. Para frequência de oscilação de onda elétrica, em corrente alternada, a unidade é dada em Hertz (Hz), isso quer dizer que se um sistema é de 60 Hz, em 1 segundo oscila 60 vezes. Sua relação com o período é:

$$f = \frac{1}{T}$$

Onde:

f = frequência (Hz)

T = período (s)

O período é o tempo necessário para que a onda de tensão ou corrente complete um ciclo completo, ver figura 1.8.

1.4.3 A rede de distribuição

A geração e a distribuição da energia elétrica normalmente são trifásicas, e as ligações aos consumidores poderão ser monofásicas ou trifásicas, de acordo com sua carga instalada.

Ligação monofásica

É para consumidores de pequeno porte. Para as ligações monofásicas a carga é alimentada através de dois condutores elétricos (fase - neutro), ver figura 1.9. Na figura 1.10, é mostrado a forma de onda da tensão (carga resistiva) a partir de um sistema monofásico

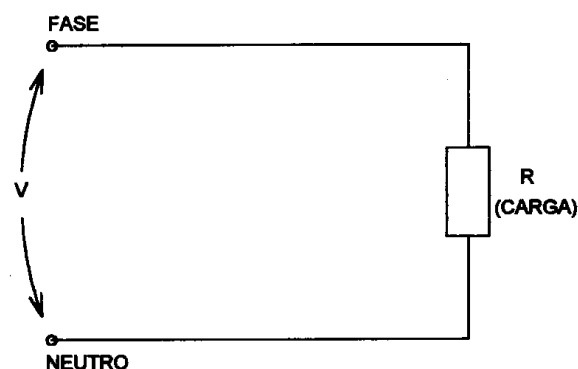


Figura 1.9 – Alimentação monofásica

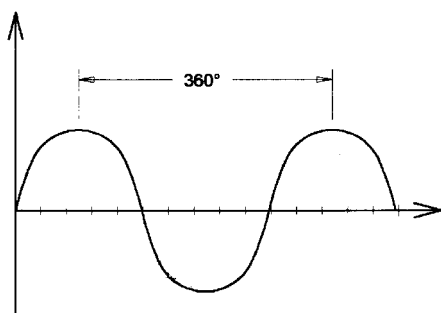


Figura 1.10 – Forma de onda da tensão e corrente monofásica

Ligação trifásica

Destinada para consumidores de médio e grande porte ou quando houver equipamento que necessite dessa ligação. O sistema trifásico é formado por três sistemas monofásicos cujas tensões estão defasadas entre si 120°, ver figura 1.11. A carga é alimentada por três ou quatro fios (três fases ou três fases e um neutro)

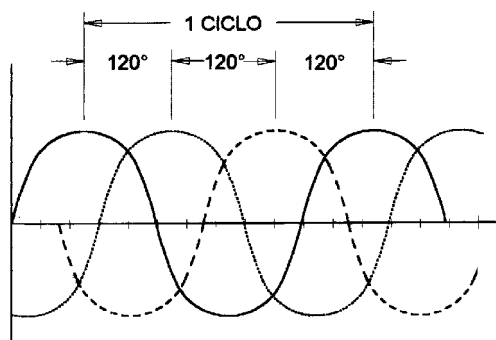


Figura 1.11 – Forma de onda da tensão e corrente trifásica

Existem duas maneiras de se ligar motores monofásicos em sistemas trifásicos:

- Tensão no bobinamento do motor é igual a tensão de fase (V_F), liga-se o motor entre fase e neutro, figura 1.12
- Tensão no bobinamento do motor é igual a tensão de linha (V_L), nesse caso liga-se o motor em duas fases quaisquer, não utilizando o neutro, figura 1.13

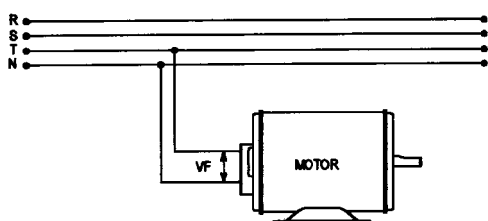


Figura 1.12 – Motor monofásico ligado à tensão de fase

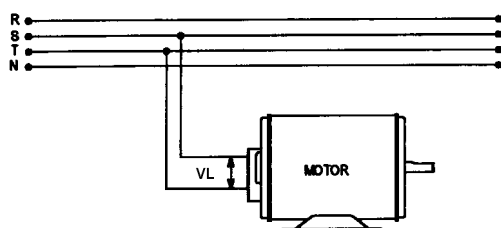


Figura 1.13 – Motor monofásico ligado a tensão de linha

Ligação estrela

Para esse tipo de ligação pode-se utilizar três ou quatro fios. Três cargas monofásicas são ligadas entre si por um ponto comum e, a esse ponto, conecta-se ou não, o quarto fio (neutro). Normalmente utilizamos o neutro quando as cargas são desequilibradas, isto é, consomem potências diferentes. Pela figura 1.14, podemos observar as relações de tensão e de corrente.

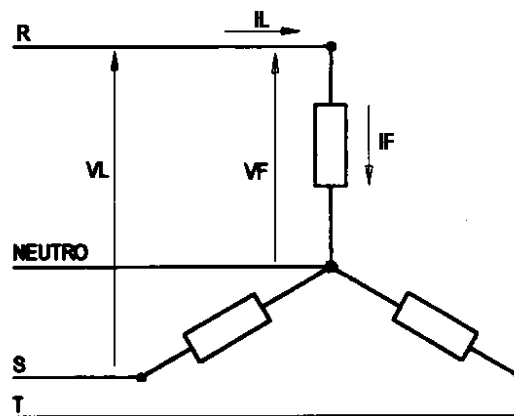


Figura 1.14 – Ligação estrela

A tensão entre duas fases (tensão de linha V_L) é $\sqrt{3}$ vezes a tensão entre fase e neutro (tensão de fase V_F).

$$V_L = \sqrt{3} \cdot V_F$$

A corrente que circula na linha (I_L) é igual a corrente que circula na carga (I_F).

$$I_L = I_F$$

Ligação triângulo

Utilizam-se três fios, ligando-se três cargas monofásicas em um circuito fechado. Pela figura 1.15 podemos observar as relações de tensão e de corrente.

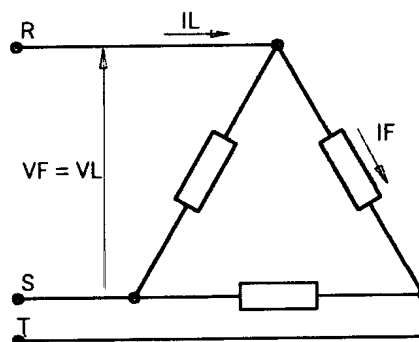


Figura 1.15 – Ligação triângulo

A tensão de linha V_L é igual a tensão de fase V_F

$$V_L = V_F$$

A corrente de linha I_L é $\sqrt{3}$ vezes a corrente de fase

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_F$$

1.4.4 Potência

Para corrente alternada, a potência elétrica é dada pelo produto entre a tensão e a corrente. É composta pela potência ativa (P), potência reativa (Q), sendo que ambas formam a potência aparente (S).

Potência aparente (S) – [VA - Volt ampère]

Corresponde ao total da potência entregue para o consumo.

Sistema monofásico

$$S = V_F \cdot I_F \quad (\text{VA})$$

Sistema trifásico

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \quad (\text{VA})$$

Potência ativa (P) – [W - Watt]

É a parcela da potência aparente que é transformada em energia e realiza trabalho.

Sistema monofásico

$$P = V_F \cdot I_F \cdot \cos \varphi \quad (\text{W})$$

Sistema trifásico

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad (\text{W})$$

Potência reativa (Q) – [VAr - Volt ampère reativo]

É a parcela da potência aparente que não realiza trabalho

Sistema monofásico

$$Q = V_F \cdot I_F \cdot \sin \varphi \quad (\text{VAr})$$

Sistema trifásico

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi \quad (\text{VAr})$$

Relação entre as potências (triângulo de potências)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

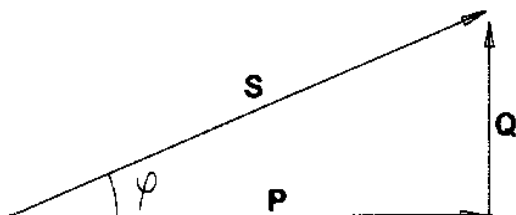


Figura 1.16 - Triângulo das potências

1.4.5 Defasagem (φ)

É a diferença (ângulo em graus) da onda de tensão com relação a onda de corrente. Essa diferença ocorre somente se tivermos no circuito cargas indutivas, capacitivas ou mistas. Para cargas puramente resistivas não ocorre a defasagem pois neste caso o fator de potência é igual a 1 ($\cos \varphi = 1$).

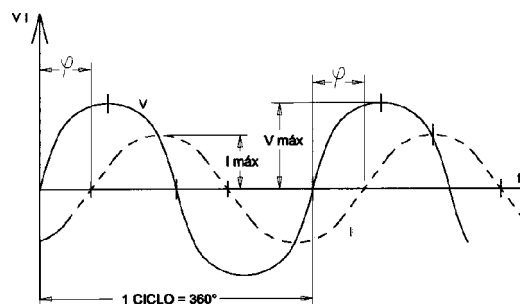


Figura 1.17 – Defasagem

1.4.6 Fator de potência ($\cos \varphi$)

O fator de potência ($\cos \varphi$) é o valor do cosseno do ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad \text{ou} \quad \cos \varphi = \frac{P(\text{kW}) \cdot 1000}{K \cdot V \cdot I}$$

Para sistemas monofásicos: $K=1$; $V=V_F$; $I=I_F$

Para sistemas trifásicos: $K = \sqrt{3}$; $V=V_L$; $I=I_L$

O valor do fator de potência é considerado importante, haja visto que existe um controle por parte das concessionárias de energia elétrica, penalizando os consumidores que tiverem um baixo fator de potência. Essa penalidade existe porque um baixo fator de potência indica que a concessionária terá que fornecer uma corrente maior, tendo custo com dimensionamento e fornecimento maior. O fator de potência mínimo exigido pelas concessionárias recentemente passou de 0,85 para 0,92.

Exemplo: Se tivermos um motor trifásico de 220 Volts e que consome 30 A, com $\cos \varphi$ igual a 0,78. Sua potência aparente será:

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 30 = 11431 \quad (\text{VA})$$

Enquanto sua potência ativa será:

$$P = S \cdot \cos \varphi = 11431 \cdot 0,78 = 8916,6 \quad (\text{W})$$

Se o fator de potência fosse 0,92 a corrente necessária para fornecer a mesma potência ativa seria:

$$I = \frac{30 \cdot 0,78}{0,92} = 25,4 \quad (\text{A})$$

1.5. Relações básicas dos motores elétricos

1.5.1 Velocidade síncrona (ns)

A velocidade síncrona de um motor (ns) é definida pela velocidade de rotação do campo girante, que depende diretamente do número de pólos (p) e da frequência (f) da rede, em Hertz.

Assim sendo, a velocidade síncrona de um motor é dada por:

$$ns = \frac{120 \cdot f}{p} \text{ (rpm)}$$

Nº de pólos	Rotação síncrona por minuto (rpm)	
	60 Hz	50 Hz
2	3.600	3.000
4	1.800	1.500
6	1.200	1.000
8	900	750
10	720	600

O rotor de um motor de indução em carga, jamais gira com velocidade síncrona. Pois se isso acontecesse a velocidade do rotor seria igual a do campo do estator. Sem o movimento relativo entre os dois, não haveria corrente induzida no rotor, e conseqüentemente não haveria conjugado.

1.5.2 Escorregamento (s)

Quando ligamos um motor de indução, o rotor acelera até próximo da velocidade síncrona e, em carga nominal, ele apresenta uma velocidade ligeiramente inferior a velocidade síncrona. Essa diferença em percentual é denominada escorregamento.

$$s(\text{rpm}) = \frac{ns - n}{ns} \quad \text{ou} \quad s(\%) = \frac{ns - n}{ns} \cdot 100$$

Onde:

s = escorregamento

ns = rotação síncrona (rpm)

n = rotação nominal (rpm)

Exemplo: Para um motor de seis pólos, 60 Hz, que gira a 1120 rpm com carga, o escorregamento será:

$$s(\%) = \frac{1200 - 1120}{1200} \cdot 100 = 6,7\%$$

1.5.3 Conjugado (C)

O conjugado (torque ou momento) é a medida do "efeito da rotação" produzida por uma força (F) a uma distância (d) do seu eixo de rotação.

$$C = F \cdot d \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

Onde:

C = Conjugado

F = Força

d = Distância do ponto de aplicação da força ao eixo de rotação

1.5.4 Relação entre conjugado e potência

Podemos relacionar a força disponível no eixo de rotação (conjugado) com a potência útil do motor, através das seguintes relações:

$$P(\text{cv}) = \frac{C(\text{kgf} \cdot \text{m}) \cdot n(\text{rpm})}{716} = \frac{C(\text{N} \cdot \text{m}) \cdot n(\text{rpm})}{7024}$$

$$P(\text{kW}) = \frac{C(\text{kgf} \cdot \text{m}) \cdot n(\text{rpm})}{974} = \frac{C(\text{N} \cdot \text{m}) \cdot n(\text{rpm})}{9555}$$

ou, inversamente:

$$C(\text{kgf} \cdot \text{m}) = \frac{716 \cdot P(\text{cv})}{n(\text{rpm})} = \frac{974 \cdot P(\text{kW})}{n(\text{rpm})}$$

$$C(\text{N} \cdot \text{m}) = \frac{7024 \cdot P(\text{cv})}{n(\text{rpm})} = \frac{9555 \cdot P(\text{kW})}{n(\text{rpm})}$$

1.5.5 Perdas

Verifica-se nos motores, que a potência absorvida da rede não é igual a potência disponível no eixo. Isso ocorre devido às diversas perdas existentes no motor como: Perdas no ferro, perdas mecânicas e perdas joule (no estator e no rotor), sendo dadas por:

$$Pe = P - Pu \text{ (W)}$$

Onde:

Pe = Perdas

P = Potência absorvida pelo motor (Potência ativa)

Pu = Potência útil

1.5.6 Rendimento (η)

É a relação entre a potência disponível no eixo do motor (Potência útil) e a potência (ativa) absorvida da rede, indicando a eficiência com que é feita a transformação da energia.

$$\eta = \frac{Pu(W)}{P(W)} = \frac{736 \cdot Pu(\text{cv})}{K \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi}$$

$$\eta = \frac{736 \cdot C(\text{kgf} \cdot \text{m}) \cdot n(\text{rpm})}{716 \cdot K \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi}$$

Onde:

Pu = Potência útil

P = Potência absorvida pelo motor

V, I = Tensão e corrente aplicada ao motor

Motores monofásicos: $K = 1$; $V = V_F$; $I = I_F$

Motores trifásicos: $K = \sqrt{3}$; $V = V_L$; $I = I_L$

2. Características da alimentação

2.1 Tensão nominal

É a tensão para a qual o motor foi projetado.

2.1.1 Tensões normais de alimentação

Tensão da rede (60Hz)	Tensão nominal do motor	Terminais de ligação	Ligação	Partida com chave estrela triângulo
220	220/380	6 cabos	Δ	sim
	220/440	9 cabos	YY	não
		12 cabos	Δ	sim
	220/380/440/760	12 cabos	$\Delta\Delta$	sim
380	220/380	6 cabos	Y	não
	380/660	6 cabos	Δ	sim
	220/380/440/760	12 cabos	YY	não
440	220/440	9 cabos	Y	não
		12 cabos	Δ	Sim
	220/380/440/760	12 cabos	Δ	Sim

Nota: 760V apenas na partida

2.1.2 Tensão múltipla

A maioria dos motores elétricos oferece a possibilidade de funcionamento em mais de uma tensão, bastando mudar as ligações de seus terminais. As ligações possíveis encontram-se marcadas na placa de identificação ou próximo à caixa de ligação (ou ainda no interior desta). Os principais tipos de ligações dos terminais, para funcionamento em mais de uma tensão, são:

a) Ligação série-paralela

Exige 9 terminais no motor, permitindo acesso externo a metade da bobina de cada fase.

Bobinas em série - (figura 2.1a e 2.2a); cada metade da bobina é ligada em série, ficando sujeita a apenas metade da tensão de fase da rede. Exemplo: Se a tensão admissível na bobina é de 220V, com a ligação em série podemos ligar o motor com tensão de 440V (fase)

Bobinas em paralelo - (figura 2.1b e 2.2b); Cada metade da bobina é ligada em paralelo, ficando sujeita à mesma tensão de fase da rede. Usa-se a ligação série-paralela sempre que as tensões forem uma o dobro da outra. Exemplo: 220/440V - 230/460V.

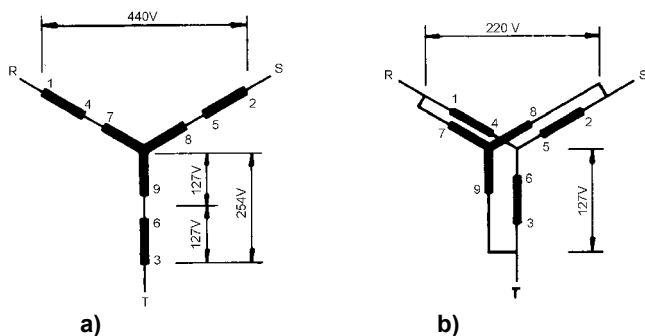


Figura 2.1 – Conversão série-paralela (ligação estrela)

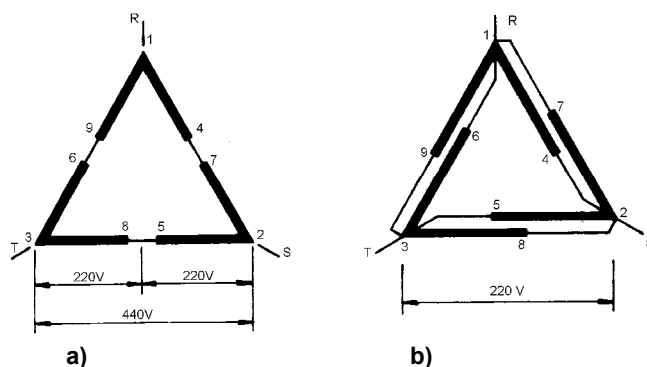


Figura 2.2 – Conversão série-paralela (ligação triângulo)

b) Ligação estrela-triângulo

Exige 6 terminais no motor, permitindo acesso externo às duas pontas da bobina de cada fase. Serve para qualquer tensão nominal dupla, desde que a segunda seja igual a primeira multiplicada por. Exemplos: 220/380V - 380/660V - 440/760V. Como mostra a figura 2.3, se a tensão admissível no enrolamento é de 220V, ligando em estrela podemos alimentar o motor com 380V (tensão de linha), já na ligação triângulo podemos ligar o motor com 220V (tensão de linha).

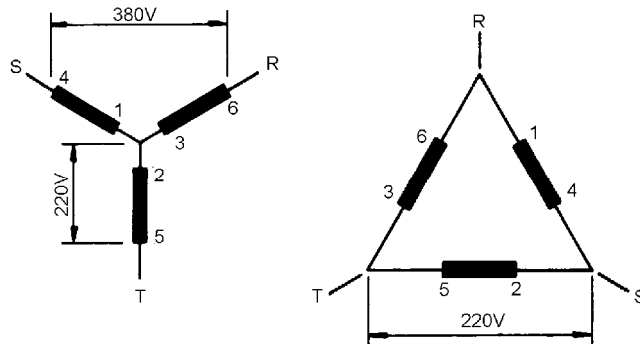


Figura 2.3 - Conversão estrela-triângulo

c) Quatro tensões

Combinando os dois casos anteriores, podemos obter a ligação série-paralela e também realizarmos as ligações das três fases em estrela ou triângulo.

Este caso exige 12 terminais no motor, permitindo ligar o motor nas seguintes tensões:

- 220V - Ligando as bobinas em paralelo e as fases em triângulo;
- 380V - Ligando as bobinas em paralelo e as fases em estrela;
- 440V - Ligando as bobinas em série e as fases em triângulo;
- 760V - Ligando as bobinas em série e as fases em estrela (utilizada apenas para a partida).

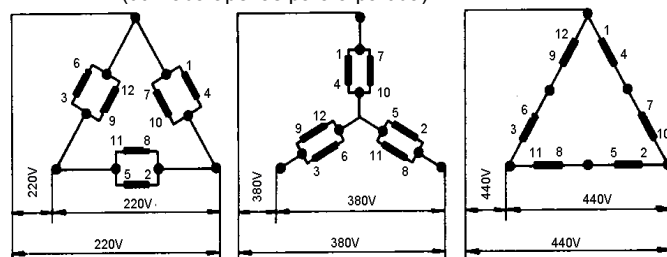


Figura 2.4 – Conversão em 4 tensões

2.2 Frequência nominal

É a frequência para a qual o motor foi projetado.

2.2.1 Efeitos nos motores bobinados em 50Hz ligados na rede de 60Hz

a) Com a mesma tensão nominal:

- potência	não se alterada
- corrente nominal	não se alterada
- corrente de partida	diminui 17%
- conjugado de partida	diminui 17%
- conjugado máximo	diminui 17%
- rotação	aumenta 20%

b) Alterando-se a tensão em proporção à frequência:

- potência	aumenta 20%
- corrente nominal	não se alterada
- corrente de partida	aproximadamente a mesma
- conjugado de partida	aproximadamente o mesmo
- conjugado máximo	aproximadamente o mesmo
- rotação	aumenta 20%

Nota: Não é recomendado o uso de motores bobinados para 60Hz ligados na rede 50Hz, a não ser que se altere a tensão, proporcionalmente, $V_{50Hz} = 5/6 \times V_{60Hz}$. Neste caso, o conjugado de partida, conjugado máximo e a corrente nominal permanecem constantes, a potência e a rotação diminuem 17 % e a corrente de partida diminui 5%.

2.3 Tolerância de variação de tensão e frequência

Conforme norma ABNT NBR 7094, para motores de indução, as combinações de variações de tensão e de frequência são classificadas como zona A ou zona B, de acordo com a figura 2.5.

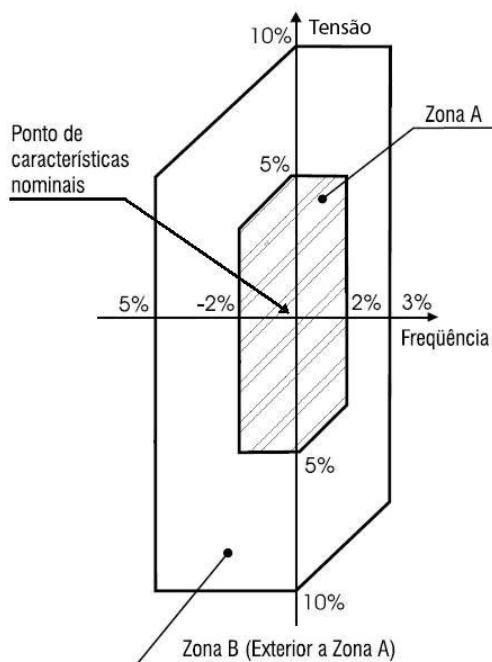
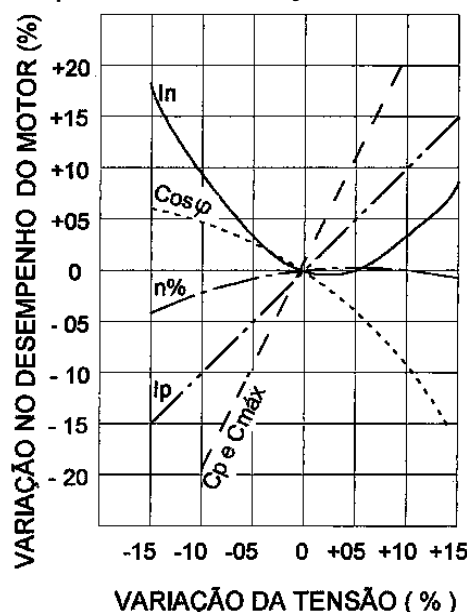


Figura 2.5 – Limites das variações de tensão e de frequência em funcionamento

Um motor de indução deve ser capaz de prover torque nominal continuamente dentro da **Zona A** da figura 2.5, mas pode não atender completamente as suas características de desempenho à tensão e frequência nominais (ver ponto de características nominais na figura 2.5), apresentando alguns desvios. As elevações de temperatura podem ser superiores àquelas obtidas à tensão e frequência nominais.

Um motor de indução deve ser capaz de prover torque nominal na **Zona B**, mas pode apresentar desvios superiores àquelas da Zona A, no que se refere às características de desempenho à tensão e frequência nominais. As elevações de temperatura podem ser superiores às verificadas com tensão e frequência nominais e muito provavelmente superiores àquelas da Zona A. O funcionamento prolongado na periferia da Zona B não é recomendado.

2.4 Efeitos aproximados da variação de tensão



Legenda

Cp	Conjugado de partida
Cmáx	Conjugado máximo
IP	Corrente de partida
η %	Rendimento
COSφ	Fator de potência
In	Corrente nominal

2.5 Efeitos de um sistema de tensões desequilibrado sobre as características de funcionamento de um motor

Também conhecido como efeitos do desbalanceamento de fases, os efeitos de desequilíbrio de tensões são graves para o funcionamento de um motor, no entanto é comum existir um desequilíbrio de 3 a 5%.

A percentagem de desequilíbrio das tensões é calculada facilmente a partir da medição das tensões nas três fases e utilizando a equação:

$$(\%) = \frac{D_{\text{máx}}V}{VM} \cdot 100$$

Onde:

$D_{\text{máx}}V$ = Desvio máximo das tensões em relação ao valor médio
 VM = Valor médio

Exemplo – Para os valores de tensões entre fases de 220 V, 215 V e 210 V, o valor médio da tensão é de 215 V e o desvio máximo da tensão em relação ao valor médio é de 5 V. Daí resulta:

$$(\%) = \frac{5}{215} \cdot 100 = 2,3\%$$

Nota: A equação é dada para comodidade do usuário do motor e é somente uma aproximação do valor relativo da componente de seqüência negativa da tensão. A determinação mais precisa pode ser feita pela decomposição do sistema trifásico em suas componentes simétricas. Para desequilíbrios das tensões superiores a 5% é necessário um estudo da componente de seqüência negativa das correntes.

Efeitos do desequilíbrio

O desequilíbrio provoca uma sobre-elevação da corrente e, por conseqüência, um superaquecimento na bobina, podendo levar à queima da mesma. Segundo a norma NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*), este aumento de temperatura será aproximadamente duas vezes o quadrado do percentual do desequilíbrio de tensões entre as fases.

% desequilíbrio entre fases	Aumento de corrente (%)	Aumento de temperatura (%)
2,5	21,0	12,5
2,0	16,7	8,0
1,5	12,5	4,5
1,0	8,0	2,0
0,5	3,8	0,5

O conjugado de partida fica reduzido, dificultando a entrada em funcionamento do motor.

O conjugado à plena carga fica igualmente reduzido, produzindo um escorregamento além do normal e diminuindo o rendimento do motor

Como minimizar os efeitos do desequilíbrio de tensões:

- Melhorar a distribuição das cargas nas redes trifásicas, procurando o melhor equilíbrio possível;
- Bitolas de cabos adequadas à rede e ao sistema;
- Localizar e avaliar equipamentos mal dimensionados;
- Proteção interna nas três fases com termistores ou termostatos e relé de sobrecarga com chave magnética;
- Manutenção preventiva nos quadros elétricos, verificando: o desgaste dos contatos dos contatores; a fixação dos terminais; o dimensionamento de cabos

2.6 Sistemas de partidas dos motores elétricos

2.6.1 Partida direta

Os motores de indução trifásicos devem, sempre que possível, partir por meio de contatores ligados diretamente à rede, ou seja, partida direta. Este sistema fornece o maior conjugado de partida e a máxima aceleração. Existem algumas limitações devido a corrente elevada na partida, que acarretará em:

- Elevada queda de tensão no sistema de alimentação da rede. Em função disto, provoca a interferência em equipamentos instalados no sistema;
- Insuficiência da instalação elétrica;
- O sistema de proteção (cabos, contatores) deverá ser superdimensionado ocasionando um custo elevado;
- Problemas com as concessionárias de energia elétrica

que limitam a queda de tensão da rede;

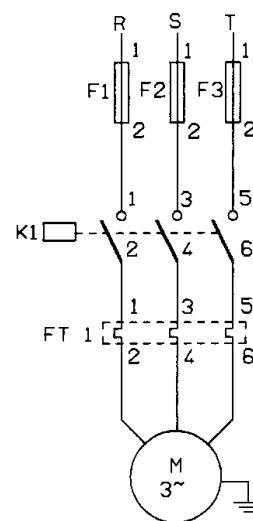


Figura 2.6 – Circuito de força para partida direta

2.6.2 Partida com chave estrela-triângulo

Este método de partida necessita que o motor tenha a possibilidade de ligação em duas tensões, sendo uma delas $\sqrt{3}$ vezes a outra, e que a tensão da rede de alimentação seja igual a menor delas. Exemplo: 220/380V; 380/660V; 440/760V.

Suponhamos que o motor seja 220/380V. Nesta situação, ele parte com conexão estrela, cuja tensão nominal seria de 380V. Como a rede fornece 220V, o motor parte com tensão reduzida. Para a rede, isso resulta em uma corrente de partida de 25% a 33% da que apresentaria, se fosse ligado diretamente em triângulo. O motor deve acelerar a carga até aproximadamente 85% da rotação nominal. Neste ponto podemos mudar para ligação triângulo. Para que isto seja possível a tensão nominal nesta ligação deve ser igual a tensão da rede.

Conjugado característico:

As figuras (2.8 e 2.9) representam o conjugado x velocidade do método de partida estrela-triângulo, sendo que para um motor a uma tensão constante, as curvas de conjugado e corrente são fixas e independem da dificuldade da partida. A aplicação deste método depende do conjugado resistente imposto pela carga e da corrente no instante da ligação triângulo, isto é, **o conjugado resistente não deve ultrapassar o conjugado de partida do motor** (figura 2.8), e nem a corrente “elevar-se” a um valor muito alto no instante da ligação triângulo, fatos que podem inviabilizar o método. O motor deverá acelerar a carga até aproximadamente 85% da rotação nominal na ligação estrela, isto é, na partida. **Este método só pode ser utilizado quando:**

- o motor parte em vazio e somente após atingir a rotação nominal aplica-se a carga;
- a carga que aumenta gradativamente com a rotação. Exemplo: Ventiladores, bombas centrífugas, etc...

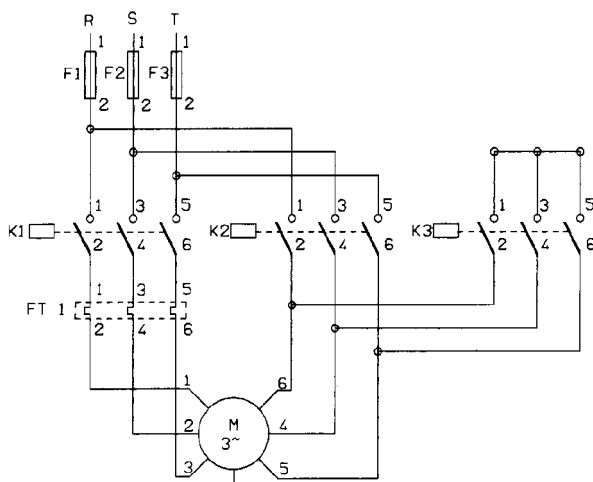


Figura 2.7 – Circuito de força para chave estrela triângulo

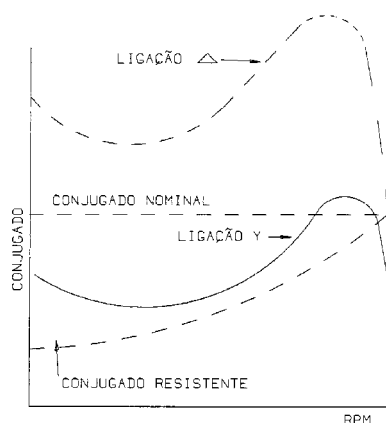


Figura 2.8 – Conjugado resistente menor que o conjugado de partida

Quando o conjugado resistente é maior que o conjugado desenvolvido na ligação estrela (figura 2.9), o motor acelera a carga até uma rotação N, menor que a nominal. Neste ponto muda-se para ligação triângulo, elevando-se repentinamente o conjugado e a corrente a valores altos referentes à rotação N, inviabilizando neste caso o método Estrela-Triângulo. Ou seja, existem casos onde este sistema de partida não pode ser usado.

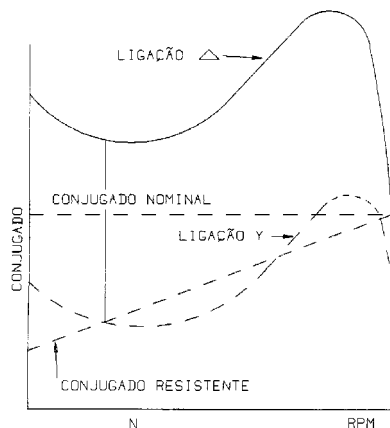


Figura 2.9 – Conjugado resistente maior que o conjugado de partida

2.6.3 Partida com chave compensadora (auto-transformador)

Este método de partida usa autotransformador para reduzir a tensão e a corrente durante a partida do motor, usualmente, sob carga. Evitando-se assim uma sobrecarga no circuito e permitindo que o conjugado seja suficiente para a partida e aceleração.

A tensão na chave compensadora é reduzida através de um autotransformador trifásico que possui, geralmente, taps de 50, 65 e 80% da tensão nominal.

1º Passo: Define-se o primeiro tap, em função do conjugado resistente. O motor deve acelerar a carga até a rotação nominal ou menor.

2º Passo: Em qualquer destes casos o segundo tap deve ser de 100% da tensão nominal (tensão de linha).

Conjugado característicos:

As curvas conjugado x velocidade da figura 2.11, mostram a variação do conjugado de partida (em porcentagem do conjugado com rotor bloqueado) em função do tap escolhido.

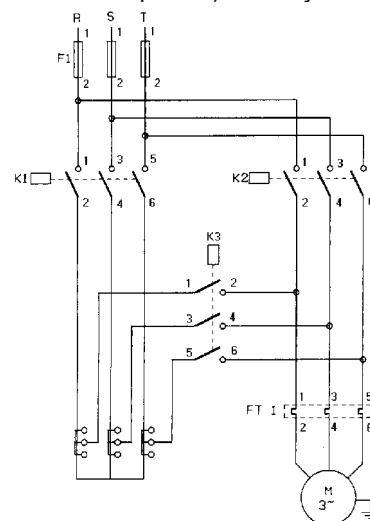


Figura 2.10 – Circuito de força para partida com chave compensadora

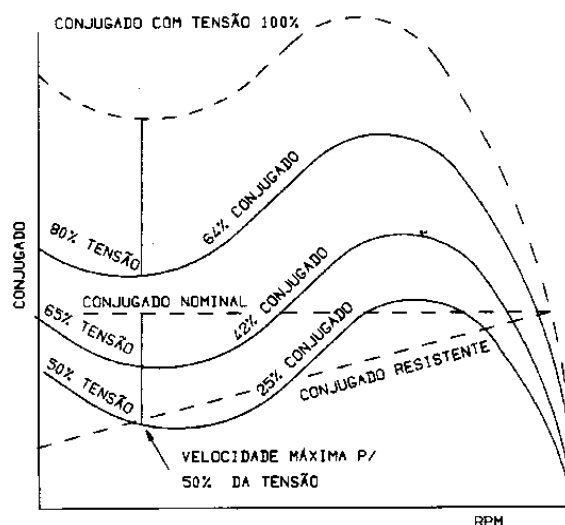


Figura 2.11 – Conjugado (tensão) x velocidade

2.6.4 Partida com chave série-paralela

Este método exige que o motor seja religável para duas tensões (9 terminais), sendo que a menor das tensões deve ser igual a da rede a outra duas vezes maior, normalmente 220/440V. Na partida, o motor é conectado na ligação série. O motor deve acelerar até, aproximadamente, 85% da rotação nominal ou atingi-la. Neste ponto deve-se fazer a comutação para ligação em paralelo; para que isso seja possível a tensão nominal nesta ligação (paralelo) deve ser igual à tensão da rede.

2.6.5 Partida com bobinamento dividido

Para aplicação deste método é necessário que o motor tenha dois circuitos em paralelo por fase. São usados dois passos para conectar o motor à rede de alimentação.

1º Passo

Um contator conecta parte do bobinamento à rede (normalmente metade do bobinamento), durante um curto espaço de tempo (aproximadamente 4 s).

2º Passo

Outro contator conecta o restante do bobinamento à rede, completando a ligação. As curvas da figura 2.12 e 2.13 representam o conjugado x velocidade do método de partida com bobinamento dividido.

O conjugado de partida desenvolvido pelo método do bobinamento dividido é consideravelmente menor que o conjugado com partida direta, sendo também menor que o conjugado a plena carga. Este fato deve ser uma vantagem quando deseja-se uma partida suave.

Neste método, o motor deve acelerar a carga até próximo da rotação nominal no 1º Passo, isto é, o conjugado resistente da carga deve ser sempre menor que o conjugado desenvolvido com o bobinamento dividido. Este método pode ser utilizado quando:

- 1) O motor parte a vazio, e somente após atingir a rotação nominal liga-se a outra parte do bobinamento e então aplica-se a carga.
- 2) A carga aumenta gradativamente com a rotação. Exemplo: Ventiladores, bombas centrífugas, etc...

Quando o conjugado resistente é maior que o conjugado desenvolvido pelo método de partida com bobinamento dividido, o motor acelera a carga até uma rotação N, menor que a nominal. Neste ponto o 2º contator deve ser ligado conectando todo o bobinamento à rede; isto eleva repentinamente o conjugado e a corrente aos valores referentes a rotação N (figura 2.13), tornando-se inviável, neste caso, o uso deste método.

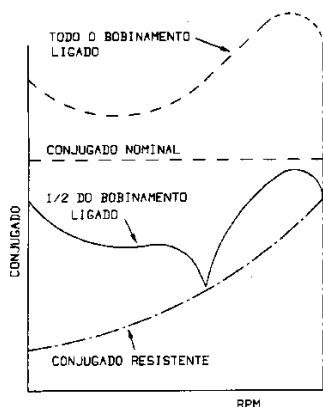


Figura 2.12 – Conjugado resistente menor que o conjugado de partida

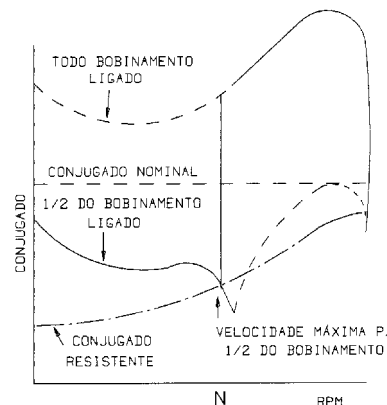


figura 2.13 Conjugado resistente maior que o conjugado de partida

Embora teoricamente qualquer motor de indução que possua bobinas em paralelo possa ser utilizado com esse método de partida, na prática fatores como quedas de conjugados em determinadas rotações, aquecimento anormal e tensões mecânicas nas bobinas, recomenda-se que somente motores especificados para partida com bobinamento dividido, utilizem tal método de partida.

2.6.6 Partida com resistor primário

Neste método de partida a inserção de resistores em cada fase da alimentação do motor leva a uma redução na tensão aplicada aos terminais e, conseqüentemente, a uma redução na corrente absorvida (figura 2.14) e no conjugado motor. O inconveniente desse método de partida é a perda de energia que ocorre nos próprios resistores. Na medida em que o sistema acelera, a queda na corrente absorvida pelo motor implica no aumento gradativo da tensão aplicada aos terminais do motor. É usual que a resistência inserida seja gradualmente reduzida, pela retirada de resistores ao longo do tempo de aceleração. É um método pouco utilizado na prática.

2.6.7 Partida com reator primário

Método de partida similar ao anterior, sendo inserida uma reatância indutiva nas fases de alimentação. Na prática, este método é utilizado apenas na partida de motores de grande porte e de média tensão (acima de 600V). Em relação ao método de partida por inserção de resistor, a inserção de reator apresenta um consumo de energia no elemento inserido comparativamente muito menor, porém implica num pior fator de potência na partida, já que a corrente absorvida, principalmente no início da aceleração, será essencialmente reativa. Para um processo de partida com redução gradual da reatância inserida torna-se necessário utilizar diferentes reatores, já que uma reatância não pode ser variada pelo simples ajuste de taps, como um resistor.

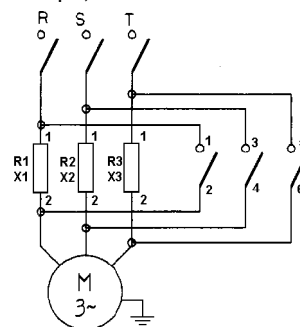


Figura 2.14 – Partida com resistor ou reator primário.

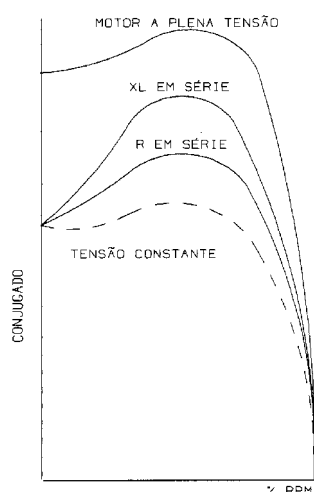


Figura 2.15 – Conjugado x velocidade para partida com resistor ou reator primário

2.6.8 Partida eletrônica (Soft-Starter)

Soft-Starter é um dispositivo eletrônico composto de pontes tiristorizadas (SCRs) na configuração antiparalelo acionadas por uma placa eletrônica, a fim de controlar a corrente de partida de motores de corrente alternada trifásica. Seu uso é comum em bombas centrífugas, ventiladores, e motores de elevada potência cuja aplicação não exija a variação de velocidade.

A **soft-stater** controla a tensão sobre o motor através do circuito de potência, constituído por seis SCRs, variando o ângulo de disparo dos mesmos e, consequentemente, 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.

No final do período de partida, ajustável, geralmente, entre 2 e 30 segundos, a tensão atinge seu valor pleno após uma aceleração suave ou uma rampa ascendente. Costumam funcionar com a tecnologia chamada "by-pass", a qual, 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.

2.7 Comparação entre alguns métodos de partida

Métodos de partida	Operações	Corrente de partida	Conjugado de partida	Características básicas	
				Vantagens	Limitações
Partida direta	Liga-se diretamente a rede (usar contadores)	100%	100%	- Baixo custo - Elevado conjugado de partida - Larga aplicação - Mínima manutenção	- Alta corrente de partida
Estrela-triângulo	Parte-se em estrela em seguida comuta-se para triângulo	25 – 33%	25 – 33%	- Médio custo - Baixa corrente de partida - Elevado N° de manobras	- Baixo conjugado de partida - Necessidade de 6 terminais - Deve atingir $\pm 85\%$ da rotação nominal na ligação estrela
Série paralela	Parte-se em série comutando para paralelo (chave série-paralelo)	25%	25%	- Médio custo - Baixa corrente de partida - Elevado N° de manobras	- Baixo conjugado de partida - Necessidade de 9 terminais - Deve atingir $\pm 85\%$ da rotação nominal
Auto transformador (chave compensadora)	Reduz a tensão aplicada ao motor. TAP: 50% 65% 80%	40% 55% 77%	15% 30% 54%	- Partida com carga - Regulagem do conjugado de partida - Larga aplicação - Baixa exigência do motor	- Custo elevado - Frequentes de manobras
Bobinamento dividido	Parte-se com apenas parte do bobinamento, ligando-o totalmente em seguida	70 – 80%	50 – 60% (Conjugado mínimo $\approx 35\%$ do conjugado de plena carga)	- Baixo custo - Médio conjugado de partida - Baixa manutenção	- Ruim para partidas frequentes - Requer bobinamento especial - Baixo conjugado mínimo - Partidas a vazio
Soft starter	"Partida suave" através de controle eletrônico de tensão e comutação "by-pass" após atingir a tensão plena.	até 20%	Alta flexibilidade na adaptação dos parâmetros do motor às condições de partida da máquina	- Partida e parada suave - Corrente de partida reduzida - Intervalo de manutenção mais longo - Maior vida útil do acionamento - Detecção, indicação e desarme contra falhas em geral - Pode ser interligado ao microcomputador.	- Custo elevado

Nota: Para usar os métodos de partida citados acima, o motor deve ter alto conjugado de partida, sendo capaz de acelerar a inércia da carga com o conjugado reduzido. Os motores Kcel preenchem este requisito, atendendo a maioria dos casos encontrados.

3. Características ambientais

Os motores de indução devem ser especificados considerando as condições ambientais a que estão sujeitos. Essas condições são especificadas pela norma da ABNT NBR-7094. O uso prolongado de motores em condições de funcionamento diferentes das especificadas pode acarretar riscos como, sobreaquecimento, falhas mecânicas, deterioração anormal do sistema de isolamento, fogo, explosão e etc.

3.1 Temperatura ambiente

De acordo com a norma ABNT NBR-7094 o motor deve funcionar normalmente quando a temperatura ambiente se situar entre 0 e 40°C. Fora dessa faixa de temperatura, não será considerada condição normal para funcionamento, podendo ocorrer danos ao motor, assim como redução na sua potência nominal.

3.1.1 Cuidados necessários para funcionamento com temperatura acima de 40°C ou abaixo de 0°C.

Motores que trabalham em temperaturas superiores a 40°C.

- Graxas especiais (alto ponto de ebulição)
- Rolamentos especiais (folga maior)
- Materiais isolantes especiais (resistente a temperaturas mais altas).
- Redução da potência nominal do motor.

Motores que trabalham em temperaturas abaixo de 0°C.

- Graxas especiais (anti-congelamento)
- Drenos (devida excessiva condensação)
- Resistência de aquecimento (caso motor fique longos períodos parado)

3.2 Altitude

De acordo com a norma da ABNT NBR-7094 o motor deve funcionar normalmente para altitude de até 1000 metros acima do nível do mar.

O funcionamento de motores em altitudes superiores a 1000 metros apresenta problemas de aquecimento causado pela rarefação do ar e, conseqüentemente, redução de sua capacidade de arrefecimento.

3.2.1 Cuidados necessários para funcionamento em altitudes superiores a 1000m

- Materiais isolantes de classe superior (resistente a temperatura mais alta).
- Motores com fator de serviço maior que 1,0 podem ser instalados a altitudes maiores que 1000 metros, desde que a carga exija apenas a potência nominal e que a temperatura ambiente seja de no máximo 40°C.
- A cada 100m de altitude acima de 1000m, o limite de elevação de temperatura para a classe de isolamento deve ser reduzido em 1%. Ver norma ABNT NBR-7094.

3.3 Potência útil do motor nas diversas condições de temperatura e altitude

Associando os efeitos da variação da temperatura e da altitude, um novo valor de potência nominal pode ser obtido multiplicando-se a potência útil pelo fator de multiplicação obtido na tabela 3.1.

T (°C)	Altitude (m)						
	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
10	1,16	1,13	1,11	1,08	1,04	1,01	0,97
15	1,13	1,11	1,08	1,05	1,02	0,98	0,94
20	1,11	1,08	1,06	1,03	1,00	0,95	0,91
25	1,08	1,06	1,03	1,00	0,95	0,93	0,89
30	1,06	1,03	1,00	0,96	0,92	0,90	0,86
35	1,03	1,00	0,95	0,93	0,90	0,88	0,84
40	1,00	0,97	0,94	0,90	0,86	0,82	0,80
45	0,95	0,92	0,90	0,88	0,85	0,82	0,78
50	0,92	0,90	0,87	0,85	0,82	0,80	0,77
55	0,88	0,85	0,83	0,81	0,78	0,76	0,73
60	0,83	0,82	0,80	0,77	0,75	0,73	0,70

Tabela 3.1 – Fator de multiplicação da potência útil em função da temperatura e da altitude.

3.4 Áreas agressivas

Determinadas aplicações de motores exigem que eles estejam sujeitos a áreas cujo ambiente contém agentes químicos, pós, poeiras, umidade, partículas abrasivas, etc. A aplicação de motores nestas áreas exigem uma determinada adequação do motor de forma a suportar tais ambientes sem danos ao motor, nem riscos como explosão e fogo. Podemos subdividir as áreas agressivas em:

Áreas mecanicamente agressivas

São áreas com presença de pós ou poeiras que provocam abrasão em partes dos equipamentos instalados ou diminuição do sistema de ventilação. Como exemplo de áreas mecanicamente agressivas destacam-se:

- Áreas de beneficiamento de soja, trigo, café, arroz, etc.
- Áreas de siderurgia e metalurgia com presença de cavacos e/ou partículas metálicas.
- Áreas de mineração com presença de poeira abrasiva ou pós de fina granulação.
- Áreas com presença de líquidos por características do processo ou lavagem sistemática dos equipamentos.

Áreas quimicamente agressivas

São áreas com presença de gases, vapores ou líquidos que possam atacar as superfícies ou partes do motor e comprometer o sistema de isolamento e lubrificação dos mancais. Como exemplo de áreas quimicamente agressivas destacam-se:

- Áreas a bordo de embarcações marítimas
- Áreas de processamento de bebidas como vinagre, leite, cerveja, etc.
- Áreas de tratamento de esgotos sanitários
- Áreas para processamento de substâncias químicas (solventes, voláteis, corrosivas, etc).

Áreas mecânica e quimicamente agressivas

São áreas onde a agressividade mecânica e química aparecem simultaneamente, destacando-se:

- Áreas de tratamento de esgotos sanitários, onde além da urina (agressividade química) pode acontecer a obstrução da ventilação por detritos sólidos (agressividade mecânica).
- Áreas de processamento de adubos onde além do pó e poeira (agressividade mecânica) há a presença de corrosão das partes metálicas pelos componentes dos fertilizantes (agressividade química).

3.5 Áreas perigosas

São áreas com presença certa ou provável, contínua ou intermitente de substâncias que podem levar a uma explosão ou incêndio como vapores, poeiras ou fibras inflamáveis. Nessas áreas é necessário que se adotem medidas de segurança de modo a evitar a ignição dessa atmosfera explosiva.

Entre os fenômenos capazes de desencadear a explosão podemos destacar:

- Faíscas elétricas, quando de um curto-circuito.
- Centelhas provocadas pelo atrito de partes móveis (ventiladores, comutadores, etc).
- Pontos do motor operando em temperaturas tais que seja atingido o ponto de fulgor da mistura presente.

Ao analisarmos as áreas perigosas é necessário entendermos alguns termos utilizados como:

Ponto de fulgor - É a temperatura mínima na qual um líquido inflamável à temperatura de ignição, em condições normais de pressão, começa a mudar de estado (vaporizar).

Temperatura de ignição - Temperatura mínima na qual ocorre a ignição espontânea da mistura, resultando em queima ou explosão.

Limite inferior de explosividade - É a concentração mínima de uma mistura acima da qual pode ocorrer a ignição.

3.5.1 Classificação das áreas perigosas

São estabelecidas através de três parâmetros:

Classe: Associado a natureza da mistura presente.

Grupo: Associado a composição da mistura presente e ao ambiente onde o equipamento será instalado.

Zona: Associado a continuidade da mistura presente e probabilidade de ocorrência da atmosfera inflamável.

3.5.1.1 Classe da área

Classe 1: Misturas compostas de gases e/ou vapores inflamáveis

Classe 2: Misturas compostas de pós e/ou poeiras inflamáveis

Classe 3: Misturas compostas de fibras e/ou partículas flutuantes inflamáveis.

3.5.1.2 Grupo de área e temperaturas de ignição

Grupo I: Instalações em minas.

Grupo II: instalações em indústrias de superfície (subdividido em grupos IIA, IIB e IIC).

A subdivisão do grupo II é determinada conforme as características de similaridade do ponto de vista de comportamento durante um processo de explosão das substâncias envolvidas

Substâncias típicas do grupo I

- Metano (Minas): 595°C

Substâncias típicas do grupo IIA

- Acetona: 533°C
- Metano industrial: 425°C
- Acetato de etila: 460°C
- Metanol: 455°C
- Butano: 365°C
- Decano: 205°C
- Benzeno: 560°C
- Xileno: 464°C
- Ciclohexano: 260°C
- Etil/Metil/Cetona: 505°C

- Hexano: 230°C
- Amoníaco: 630°C
- Monóxido de carbono: 605°C
- Pentano: 285°C
- Heptano: 215°C
- Iso-octano: 220°C
- Acetato de metila: 475°C
- Acetato N-propílico: 500°C
- Acetato de N-butila: 420°C
- Acetato de amila: 375°C
- Butanol: 340°C
- Nitrato de etila: 90°C

Substâncias típicas do grupo IIB

- Etileno: 425°C
- Butadieno 1.3: 425°C
- Éter dietílico: 170°C
- Óxido etileno: 440°C
- Gás de forno de coque: 560°C

Substâncias típicas do grupo IIC

- Hidrogênio: 560°C
- Dissulfeto de carbono: 100°C
- Acetileno: 305°C
- Etilnitrato: 90°C
- IIB + Hidrogênio: 560°C
- IIB + Etilnitrato: 100°C
- IIB + Acetileno: 305°C
- IIB + Sulfeto de carbono: 90°C

3.5.1.3 Zona de área

Zona 0: É a área onde apresenta continuamente a presença de mistura inflamável e/ou explosiva, ou existe por longos períodos.

Zona 1: Áreas onde a probabilidade de ocorrência de mistura inflamável e/ou explosiva está associada à operação normal do equipamento e do processo. A atmosfera explosiva está freqüentemente presente.

Zona 2: Áreas onde a presença de mistura inflamável e/ou explosiva não é provável de ocorrer, e se ocorrer, é por poucos períodos. Está associada à operação anormal do equipamento e do processo, perdas ou uso negligente. A atmosfera explosiva pode acidentalmente estar presente

3.5.2 Classes de temperatura

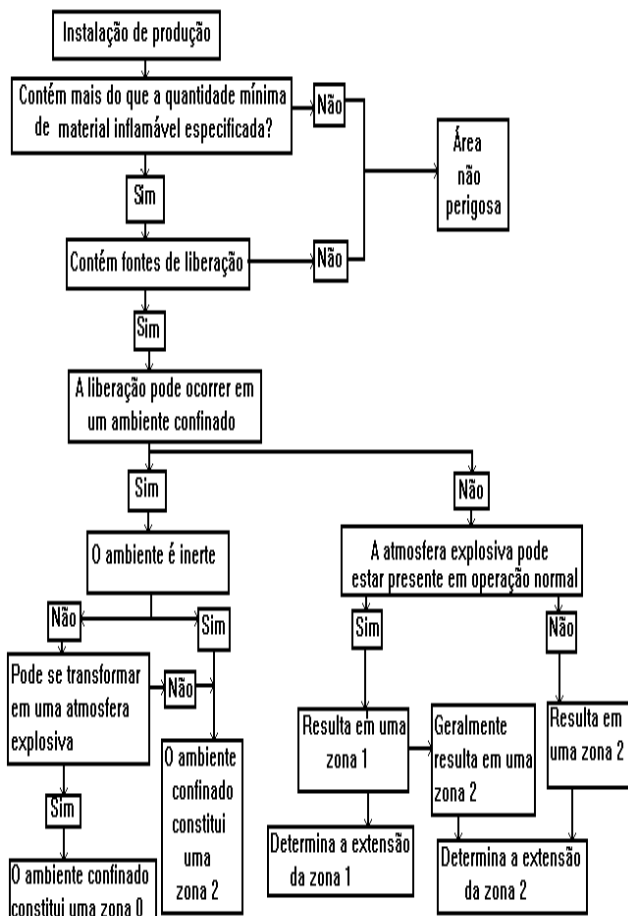
A classe de temperatura máxima de superfície para equipamentos elétricos deve ser sempre menor que a temperatura de ignição do gás ou vapor, é representado por símbolos como mostra a tabela 3.2

ABNT/IEC	NEC	Limite de temperatura (°C)
T1	T1	450
T2	T2	300
280 T2	T2-A	280
260 T2	T2-B	260
230 T2	T2-C	230
215 T2	T2-D	215
T3	T3	200
180 T3	T3-A	180
165 T3	T3-B	165
160 T3	T3-C	160
T4	T4	135
120 T4	T4-A	120
T5	T5	100
T6	T6	85

Tabela 3.2 – Classes de temperatura conforme as temperaturas de ignição

3.5.3 Seqüência para definição da classificação de áreas

Realizar estudo de Classificação de Áreas para determinação do tipo de equipamento pertinente a área onde este será instalado. Este estudo demanda cálculos de dispersão de produtos inflamáveis e ventilação da área. A seqüência abaixo demonstra uma forma de se proceder para classificar a área e escolher corretamente o tipo de motor adequado para o local.



3.5.4 Equipamentos para atmosferas explosivas

As letras (Ex) correspondem ao símbolo utilizado para designar que o equipamento é apropriado para uso em atmosferas explosivas. O tipo de proteção é identificado por uma letra minúscula como mostra a tabela 3.3

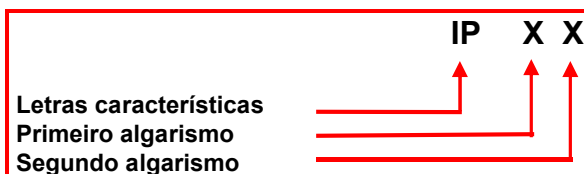
Simbologia ABNT/IEC	Tipo de proteção	Definição	Área de aplicação
Ex e	Segurança aumentada	Equipamentos onde a possibilidade de faiscamento ou superaquecimento em condições normais de operação é reduzida.	Zonas 1 e 2
Ex i	Segurança intrínseca	Equipamentos em que a ocorrência de faíscas ou aquecimentos são de tal ordem que não possuem potência suficiente para deflagrar a mistura explosiva.	Zonas 0 1 e 2
Ex d	A prova de explosão (à prova de chama)	Invólucro capaz de confinar uma explosão que ocorra em seu interior.	Zonas 1 e 2
Ex n	Não acendível	Dispositivo ou circuitos que apenas em condições normais de operação, não possuem energia suficiente para inflamar a atmosfera explosiva.	Zona 2
Ex h	Invólucro hermético	Invólucro com fechamento hermético (por fusão do material).	Zona 2

Tabela 3.3 – Equipamentos para áreas explosivas

- Prova de Explosão (Ex-d)
- Segurança Aumentada (Ex-e)
- Proteção Combinada (Ex-de)
- Equipamentos Elétricos Imersos em Óleo (Ex-o)
- Equipamentos Pressurizados (Ex-p)
- Equipamentos Imersos em Areia (Ex-q)
- Equipamento Elétrico Encapsulado (Ex-m)
- Equipamentos e Dispositivos de Segurança Intrínseca (Ex-ia ou ib)
- Equipamento Elétrico Não Acendível (Ex-n)
- Proteção Especial (Ex-s)

3.6 Graus de proteção

A norma da ABNT NBR 9884 especifica os graus de proteção para equipamentos elétricos, proporcionados pelos invólucros, da seguinte forma:



Primeiro algarismo	Proteção contra contato de pessoas e penetração de corpos sólidos no equipamento
0	sem proteção
1	Protegido contra objetos sólidos maiores que 50mm
2	Protegido contra objetos sólidos maiores que 12mm
3	Protegido contra objetos sólidos maiores que 2,5mm
4	Protegido contra objetos sólidos maiores que 1mm
5	Protegido contra poeira
6	Totalmente protegido contra poeira

Segundo algarismo	Proteção contra penetração de água no equipamento
0	sem proteção
1	Pingos de água na vertical
2	Pingos de água até a inclinação de 15º com a vertical
3	Águas de chuva até a inclinação de 60º com a vertical
4	Projeção de água de todas direções
5	Jatos de água de todas as direções
6	Água de vagalhões
7	Imersão temporária
8	Imersão permanente

3.6.1 Graus de proteção

Motor	Grau de proteção	1º algarismo		2º algarismo
		Proteção contra contato	Proteção contra corpos estranhos	Proteção contra água
Motores abertos	IP 00	não possui	não possui	não possui
	IP 02	não possui	não possui	pingos de água com uma inclinação de até 15° com a vertical
	IP 11	toque acidental com a mão	corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 50mm	pingos de água na vertical
	IP 12	toque acidental com a mão	corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 50mm	pingos de água com uma inclinação de até 15° com a vertical
	IP 13	toque acidental com a mão	corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 50mm	pingos de água ou chuva com inclinação de até 60° com a vertical
	IP 21	toque acidental com os dedos	Corpos estranhos sólidos de até 12mm	pingos de água na vertical
	IP 22			pingos de água com inclinação de até 15° com a vertical
	IP 23			pingos de água ou chuva com inclinação de até 60° com a vertical
Motores fechados	IP 44	proteção contra contato de ferramenta	corpos estranhos de dimensões acima 1mm	respingos de todas as direções
	IP 54	proteção completa contra toques	proteção contra acúmulo de poeiras nocivas	respingos de todas as direções
	IP 55			jatos de água em todas as direções
	IP(W)55			chuva maresia
	IP 56			água de vagalhões

3.6.2 Graus de proteção usuais para motores elétricos

Os graus de proteção aplicados a casos usuais/normais, são: IP21, IP22, IP23, IP44, IP55 e IP56. Para aplicações rigorosas e especiais é comum a utilização do grau de proteção IPW55 ou IPW56, sendo que ambos são destinados para proteção contra intempéries (IP56 para proteção contra “água de vagalhões”) e IP65, totalmente protegido contra poeiras.

3.7 Motores a prova de intempéries

A letra “W” colocada entre as letras IP e os algarismos, indica que o motor é protegido contra intempéries (maresia, chuva, etc). Os motores fechados fabricados com grau de proteção IPW55 ou IPW56 possuem proteção adicional contra intempéries. Também conhecidos como motores de uso naval.

Motores para uso naval

A construção de embarcações marítimas e seus equipamentos, seguem as normas, prescrições e exigências das “Sociedades Classificadoras”. As principais delas são:

ABS→ American Bureau of Shipping (USA)

BV → Bureau Veritas (França)

GL → Germanischer Lloyd (Alemanha)

LRS→ Lloyd's Norske Veritas (Noruega)

Os requisitos de conjugado dependerão das características do equipamento. Por outro lado é necessário ter em mente as eventuais limitações do sistema de geração do navio, o que pode implicar na necessidade de baixas correntes de partida. O grau de proteção dos motores Kcel para uso naval é IPW55 ou IPW56, tendo as seguintes características e acessórios:

- Placa de identificação em aço inox;
- Anéis V'Ring ou Retentores de vedação entre eixo e tampa dianteira, bem como na tampa traseira;
- Elementos de fixação zincados;
- Espuma auto-extinguível na passagem dos cabos de ligação pela carcaça;
- Pintura anticorrosiva (alquídica);
- Enrolamentos duplamente impregnados;

Opcionais

- Drenos para saída de água condensada;
- Resistência interna de aquecimento para retirar umidade;
- Proteção contra sobre temperatura (protetor térmico, termostato ou termistor);
- Plano de pintura especial de acordo com o cliente;

- Placa de bornes;
- Prensa cabos;
- Classe de isolamento 155°C (F) ou 180° (H);
- Eixo em aço inox;
- Rolamento de esferas com folga especial e/ou graxa especial.

3.8 Ventilação

São utilizados nos motores com a finalidade de auxiliar na dissipação do calor gerado devido às perdas. O sistema de ventilação utilizado depende da maneira que é realizada a troca de calor entre as partes aquecidas do motor e o ar ambiente.

3.8.1 Motor aberto (ODP)

Nesse tipo de motor não existe nenhum impedimento para circulação do ar ambiente no bobinamento do motor. O ventilador é acoplado ao eixo do motor e força a passagem do ar ambiente pelas partes aquecidas do motor, causando assim o seu resfriamento.

3.8.2 Motor totalmente fechado com ventilação externa

(TFVE) O motor é fechado de maneira a impedir que o ar ambiente entre em contato com a sua parte interna. Ocorre a penetração do ar ambiente no motor, somente pelas folgas de montagem. O ventilador é acoplado ao eixo, externamente a carcaça, é utilizado uma tampa (tampa defletora) envolto ao ventilador para proteger e direcionar o ar sobre a superfície do motor aumentando a eficiência da troca de calor.

3.8.3 Motor totalmente fechado sem ventilação externa

(TFSV) Igual ao anterior, não possuindo no entanto nenhum meio especial para forçar a circulação do ar ambiente contra a superfície da carcaça. Somente utilizado em pequenos motores ou em ambientes em que a ventilação externa seria prejudicial, devido as impurezas do ar, nesse caso os motores são projetados em carcaças maiores que a normal e/ou utilizado materiais isolantes de classes mais altas.

4. Características de regime

4.1 Aquecimento do motor

Parte da potência fornecida ao motor é dissipada em forma de calor (perdas), esse calor gerado atua de forma a deteriorar o material isolante, fazendo que, com o tempo, ele perca a sua propriedade dielétrica (propriedade de isolamento). Pode-se dizer que a vida útil do motor depende basicamente da vida útil do material isolante.

Normalmente, quando o material isolante é utilizado dentro do seu limite de temperatura especificada, o envelhecimento ocorre de forma tão lenta que se pode dizer que sua vida útil é ilimitada, mas a medida que esse limite é ultrapassado sua vida cai rapidamente. Por exemplo, um aumento de 8 a 10 graus na temperatura da isolamento reduz sua vida útil pela metade.

Para prolongarmos a vida útil do isolamento devemos evitar:

- Sobrecarregar o motor continuamente
- Expô-lo a ambientes agressivos e vibrações excessivas.

4.1.1 Limite de potência devido ao aquecimento do motor

Chama-se de potência nominal, a potência que o motor pode fornecer dentro das suas características nominais e que produza um aquecimento dentro do limite suportável do material isolante. Considerando ainda, que o motor pode suportar cargas que exigem potência acima da sua potência nominal, causando dessa forma sobreaquecimento, reduzindo a vida útil do material isolante e consequentemente a do motor.

4.1.2 Dissipação do calor

Devido aos problemas relacionados com o aquecimento do motor, é necessário que a dissipação do seu calor interno ao meio externo ocorra da forma mais eficiente possível. Alguns fatores influenciam nessa dissipação:

a) A área total de dissipação da carcaça

A área de dissipação deve ser a maior possível, tendo em vista também o custo do material e do peso do motor. A área de dissipação é mais bem aproveitada por meio de aletas de resfriamento fundidas com a carcaça como mostra a figura 4.1

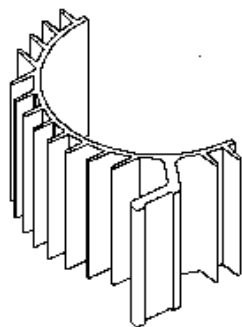


Figura 4.1 – Aletas de resfriamento

b) Diferença de temperatura entre a superfície externa da carcaça e a temperatura ambiente

Considerando o ar ambiente como meio refrigerante, quanto menor for a temperatura dele, mais facilmente ocorrerá a troca de calor.

c) Eficiência do sistema de ventilação

Além de um ventilador eficiente, o sistema deve ser capaz de movimentar grande volume de ar sobre toda a área da superfície de dissipação da carcaça, de maneira a propiciar uma melhor troca de calor entre carcaça e o ar ambiente.

4.2 Classes de isolamento

Um sistema de isolamento é formado, muitas vezes, pela associação de vários materiais isolantes e depende do tipo de material empregado. Estes sistemas são divididos em classes de acordo com a maior temperatura que o material isolante pode suportar continuamente sem causar danos à sua vida útil. A classificação térmica de materiais isolantes elétricos é especificada na norma ABNT NBR 7034, os limites são os seguintes:

- 105°C – Classe A;
- 120°C – Classe E;
- 130°C – Classe B;
- 155°C – Classe F;
- 180°C – Classe H;

A norma ABNT NBR 7094 especifica as classes de isolamento aplicadas em máquinas elétricas, e seus respectivos limites de temperatura.

Temperatura	Classe de isolamento				
	A	E	B	F	H
TA (°C)	40	40	40	40	40
ΔT (°C)	60	75	80	105	125
αT (°C)	5	5	10	10	15
Total (°C)	105	120	130	155	180

Tabela 4.1 – temperatura admissível para cada classe de isolamento

Onde:

TA = Temperatura ambiente

ΔT = Elevação de temperatura (método da Resistência)

αT = Diferença entre o ponto mais quente e a temperatura média

Total = Temperatura do ponto mais quente

4.3 Medida da temperatura do enrolamento

O método da resistência é o meio mais simples, preciso e confiável de se medir a temperatura do enrolamento, além de os outros métodos para medir a temperatura serem mais complicados (termopares e termômetros). Pode-se determinar a variação da temperatura realizando medidas da resistência ôhmica do enrolamento a frio e a quente, utilizando a fórmula abaixo:

$$\Delta t = t_2 - t_A = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (K + t_1) + t_1 - t_A$$

Onde:

Δt = elevação da temperatura

t₁ = temperatura do enrolamento antes do ensaio

t₂ = temperatura do enrolamento no fim do ensaio

t_A = temperatura do meio refrigerante no fim do ensaio

R₁ = resistência do enrolamento a frio

R₂ = resistência do enrolamento a quente

K = 234,5 para cobre puro e 225 para alumínio com condutividade de 62% IACS

Exemplo: Para temperatura ambiente de 30 °C.

Temperatura do enrolamento no fim do ensaio 130 °C

Temperatura do meio refrigerante no fim do ensaio 30 °C

$$\Delta t = 130 - 30 = 100\text{ °C}$$

Através da tabela 4.1 verificamos que para este motor devemos usar material isolante da classe F (155 °C).

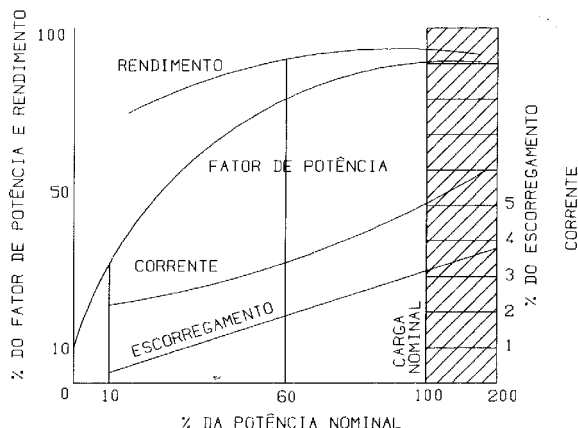


Figura 4.2 – Curvas típicas para categoria N

Obs: A área com hachura indica a região onde ocorre sobrecarga. A corrente e a temperatura elevam-se exponencialmente pondo em risco o sistema de isolamento.

4.4 Sistema de proteção

Tendo em vista a importância do material isolante para a vida útil do motor, é necessário que existam meios de protegê-lo contra eventuais sobreaquecimentos que venham a ocorrer:

Para uma correta aplicação de um determinado tipo de proteção deve-se levar em conta: O tamanho do motor; o nível de tensão da rede de alimentação; o método da partida; o custo da proteção em relação ao custo do motor e o custo de uma paralisação no processo industrial.

Os principais motivos de sobreaquecimento são:

- Sobrecarga contínua
- Sobrecarga intermitente (elevado número de partidas, reversões e/ou frenagens por hora)
- Variação da tensão de alimentação
- Rotor bloqueado
- Temperatura ambiente elevada
- Variação da frequência da rede
- Circulação deficiente do meio refrigerante
- Falta de fase

4.4.1 Principais dispositivos de proteção

Fusíveis

São dispositivos destinados a proteção contra sobrecorrente de circuitos da rede de alimentação, agindo de forma a desconectar o motor da rede, no caso de ocorrência de curto-circuito, possui um elemento térmico que se funde quando percorrido por uma corrente de valor superior àquela do projeto. Sua função é simplesmente abrir o circuito.

Disjuntores

São dispositivos eletromecânicos de manobra e proteção que podem conduzir e interromper correntes em condições

normais de um circuito ou por tempo determinado e interrompem correntes de curto-circuito. Os disjuntores podem ser abertos (ou “de força”) ou em caixa moldada. Os abertos são geralmente tripolares, enquanto que em caixa moldada podem ser tripolares, bipolares ou unipolares. Os disjuntores mais usados possuem disparadores eletromagnéticos para proteção contra curto-circuito e disparadores térmicos para proteção contra sobrecarga. Os disjuntores tem uma vantagem em relação aos fusíveis que é a capacidade de interrupção da corrente nas três fases simultaneamente, enquanto nos fusíveis existe a possibilidade de interrupção em apenas uma fase tendo como consequência o funcionamento do motor em apenas duas fases. Outra vantagem dos disjuntores é a proteção contra sobrecargas.

O custo elevado e a menor velocidade de atuação em curto-circuito são as desvantagens dos disjuntores em relação aos fusíveis.

Relé térmico

São dispositivos que quando percorridos por um determinado valor de corrente (que pode ser ajustado) provoca a operação de um contato móvel. Permitem ajustes da corrente nominal dentro de determinadas faixas, conforme o valor da corrente nominal do motor. Quanto maior for o valor da corrente de sobrecarga, menor será o tempo decorrido para atuação do relé térmico. Normalmente são acoplados a contadores, e destinados à proteção de motores trifásicos.

4.4.2 Proteção térmica para motores

A proteção térmica de motores pode ser realizada através de sondas térmicas (termoresistência, termistores e termostatos) e protetores térmicos dependendo da aplicação. São equipamentos sensíveis a temperatura e/ou a corrente e que em conjunto com dispositivos de comando ou diretamente, podem abrir o circuito de alimentação do motor de forma a evitar sobreaquecimentos. Esses dispositivos são instalados a pedido do cliente.

Termostatos

São dispositivos do tipo bimetalico com contatos normalmente fechados. Seu funcionamento baseia-se na atuação do material bimetalico que possui a característica de causar deflexões a partir de determinada temperatura, causando assim, a abertura do contato normalmente fechado. Usualmente, são utilizados em motores trifásicos, instalados na cabeça de bobina, ligados em série com o equipamento de comando, geralmente são utilizados três termostatos (um por fase). Em casos especiais é utilizado em motores monofásicos ligados diretamente em série com a alimentação do motor.

Termoresistências (resistência calibrada)

São detetores térmicos que se baseiam no princípio da variação da resistência com a temperatura, normalmente são feitos de cobre ou platina.

Protetores térmicos

São dispositivos que possuem elementos bimetalicos com contatos normalmente fechados. Usualmente, são aplicados em motores monofásicos para proteção contra sobreaquecimentos sendo sensível a temperatura e a corrente. Existem dois tipos de protetores térmicos.

- Com religamento automático
- Com religamento manual

Termistores

Os termistores são detetores térmicos compostos de sensores semicondutores que variam sua resistência bruscamente ao atingirem determinada temperatura (sensíveis a temperatura). Em motores são utilizados termistores PTC (coeficiente de temperatura positiva), e são instalados nas ranhuras ou nas cabeças de bobinas. Os termistores são ligados em série ou paralelo, dependendo do tipo, a uma unidade de controle que interromperá a alimentação do motor ou acionará uma sinalização em função da atuação do termistor. A figura 4.3 mostra um termistor colocado na cabeça de bobina.

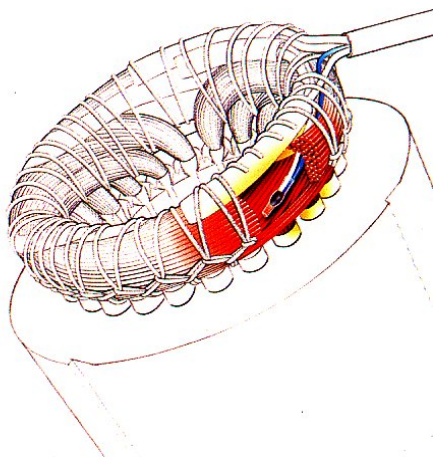


Figura 4.3 – Termistor colocado na cabeça de bobina

4.4.3 Grau de proteção oferecido por alguns dispositivos contra as principais ocorrências de sobreaquecimento

Causas do sobreaquecimento	Ação em função da corrente		Ação em função da temperatura
	Fusíveis	Relé térmico	Sondas térmicas
Sobrecorrentes 20% da corrente nominal	.	■	■
Aceleração seguida de reversão pesada	.	▨	■
Serviço intermitente até 30 part./hora	.	▨	■
Rotor bloqueado	▨	▨	■
Falta de uma fase	.	▨	■
Variação na tensão	.	■	■
Variação na frequência	.	■	■
Resfriamento do motor insuficiente	.	.	■
Falha num mancal	.	.	▨

Onde:

- → Nenhuma proteção
- ▨ → Proteção limitada
- → Proteção muito boa

4.5 Regime de serviço

Indicação das cargas às quais a máquina é submetida, incluindo, se aplicável, períodos de partida, de frenagem elétrica, de funcionamento em vazio e de repouso, bem como as suas durações e a sua sequência no tempo.

Os motores normalmente são fabricados para regime contínuo, isto é, para uma carga constante num limite de tempo indefinido e exigindo a potência nominal do motor. A norma ABNT NBR 7094 especifica que o comprador deverá indicar o regime real do motor através dos símbolos alfanuméricos normalizados ou através de gráficos.

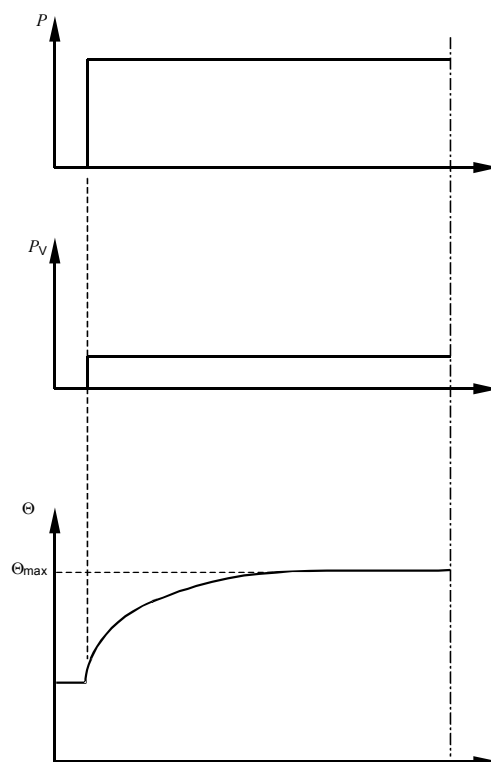
Para caracterizar os diferentes tipos de regimes a que um motor é solicitado, as normas brasileiras e internacionais tentam enquadrá-los em alguns tipos normalizados.

Regimes normalizados

A norma ABNT NBR 5457 define os tipos de regime e a norma ABNT NBR 7094 apresenta o comportamento da carga, das perdas elétricas e da temperatura do motor. O parâmetro de diferenciação dos regimes é a variação da carga com o tempo, paradas e frenagens elétricas. As normas acima citadas identificam os regimes pela letra S seguida de um algarismo de 1 a 10.

4.5.1 Regime tipo S1 – Regime contínuo

Funcionamento à carga constante, com duração suficiente para que o equilíbrio térmico seja alcançado, ver figura 4.4. A abreviação apropriada é S1.



Legenda

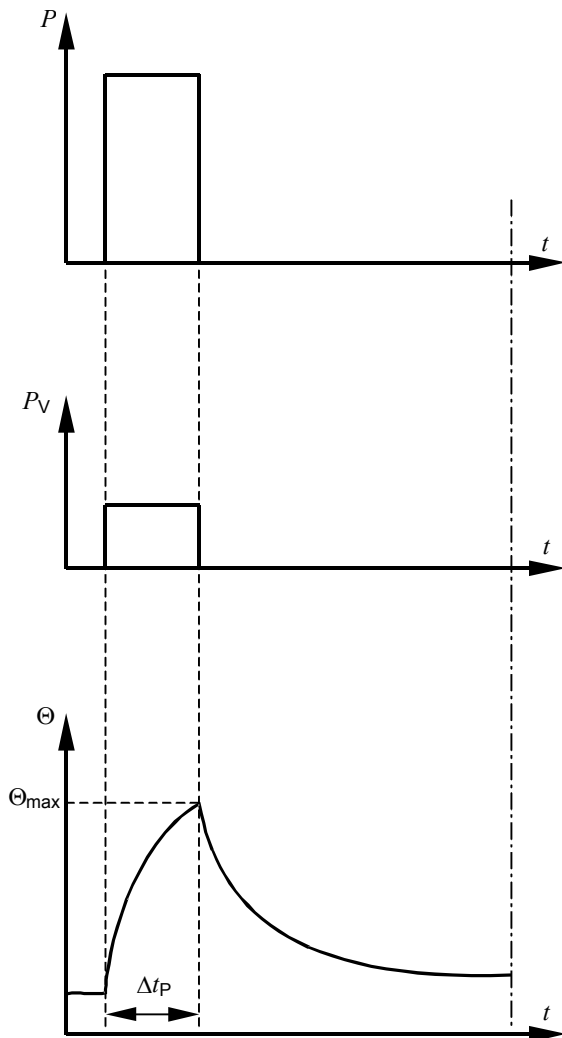
- P carga
- P_v perdas elétricas
- Θ temperatura
- Θ_{max} temperatura máxima atingida durante o ciclo
- t Tempo

Figura 4.4 – Regime contínuo – Regime tipo S1

4.5.2 Regime tipo S2 – Regime de tempo limitado

Funcionamento à carga constante por um tempo determinado, inferior ao necessário para atingir o equilíbrio térmico, seguido por um tempo de repouso de duração suficiente para restabelecer a temperatura da máquina dentro de + 2 K em relação à temperatura do fluido refrigerante, ver figura 4.5.

A abreviação apropriada é S2, seguida por uma indicação da duração do regime. Exemplo: S2 60min.



Legenda

P	carga
P_v	perdas eléctricas
Θ	temperatura
Θ_{\max}	temperatura máxima atingida durante o ciclo
t	tempo
Δt_p	tempo em funcionamento à carga constante

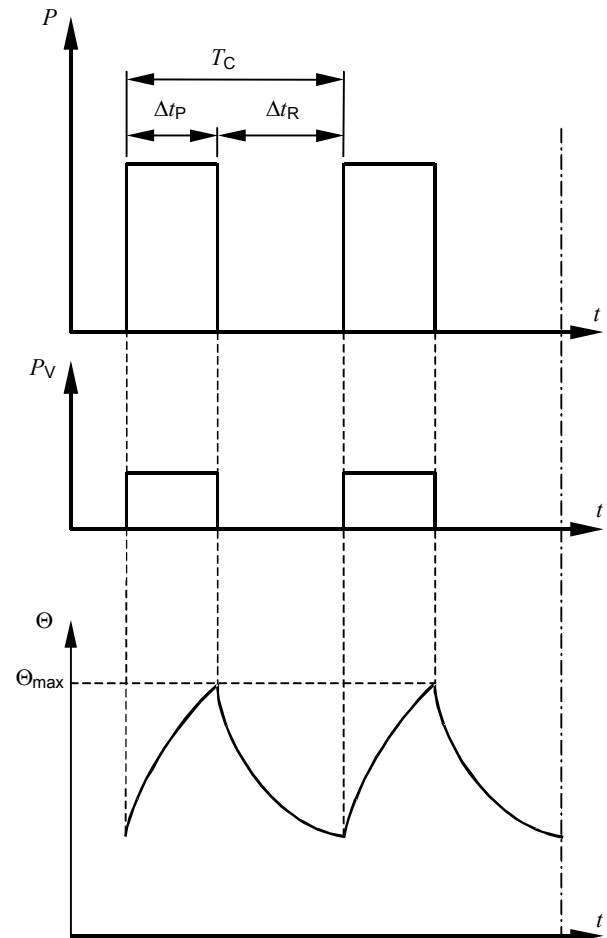
Figura 4.5 – Regime de tempo limitado – Regime tipo S2

4.5.3 Regime tipo S3 - Regime intermitente periódico

Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual incluindo um tempo de funcionamento com carga constante e um tempo desenergizado e em repouso, ver figura 4.6. Neste regime o ciclo é tal que a corrente de partida não afeta significativamente a elevação de temperatura.

A abreviação apropriada é S3, seguida pelo fator de duração do ciclo. Exemplo: S3 25%.

NOTA: Regime periódico implica que o equilíbrio térmico não seja alcançado durante a operação com carga.



Legenda

P	carga
P_v	perdas eléctricas
Θ	temperatura
Θ_{\max}	temperatura máxima atingida durante o ciclo
t	tempo
T_c	duração de um ciclo
Δt_p	tempo de funcionamento à carga constante
Δt_R	tempo desenergizado e em repouso

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \Delta t_p / T_c$$

Figura 4.6 – Regime intermitente periódico – Regime tipo S3

4.5.4 Regime tipo S4 - Regime intermitente periódico com partidas

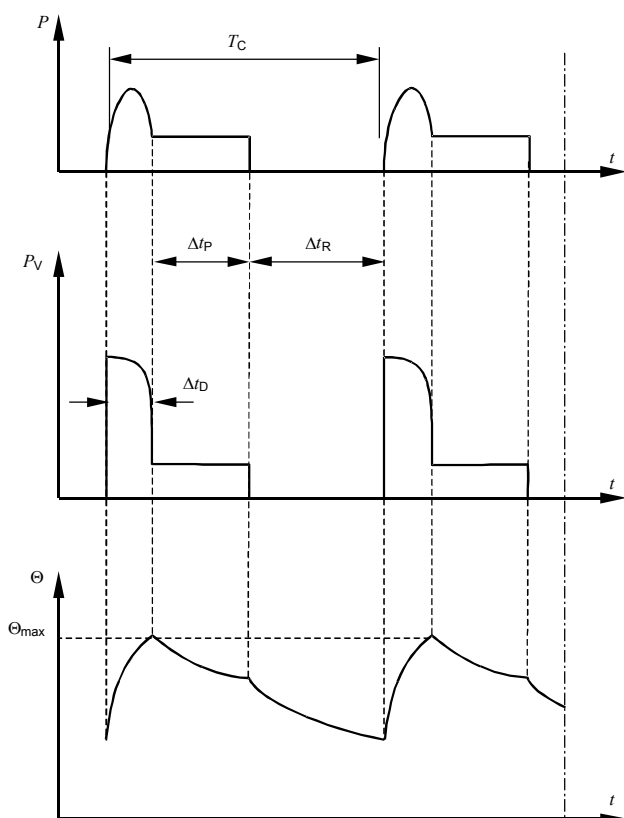
Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual incluindo um tempo de partida significativo, um tempo de funcionamento com carga constante e um tempo de repouso, ver figura 4.7.

A abreviação apropriada é S4, seguida pelo fator de duração do ciclo, pelo momento de inércia do motor (JM) e pelo momento de inércia da carga (Jext), ambos referidos ao eixo do motor.

Exemplo: S4 25% JM = 0,15 kg.m²

Jext = 0,7 kg.m²

NOTA: Regime periódico implica que o equilíbrio térmico não seja alcançado durante a operação com carga.



Legenda

P	carga
P_V	perdas eléctricas
Θ	temperatura
Θ_{max}	temperatura máxima atingida durante o ciclo
t	tempo
T_C	duração de um ciclo
Δt_D	tempo de aceleração/ partida
Δt_P	tempo de funcionamento à carga constante
Δt_R	tempo desenergizado e em repouso
Fator de duração do ciclo = $(\Delta t_D + \Delta t_P)/T_C$	

Figura 4.7 – Regime intermitente periódico com partida – Regime tipo S4

4.5.5 Regime tipo S5 - Regime intermitente periódico com frenagem eléctrica

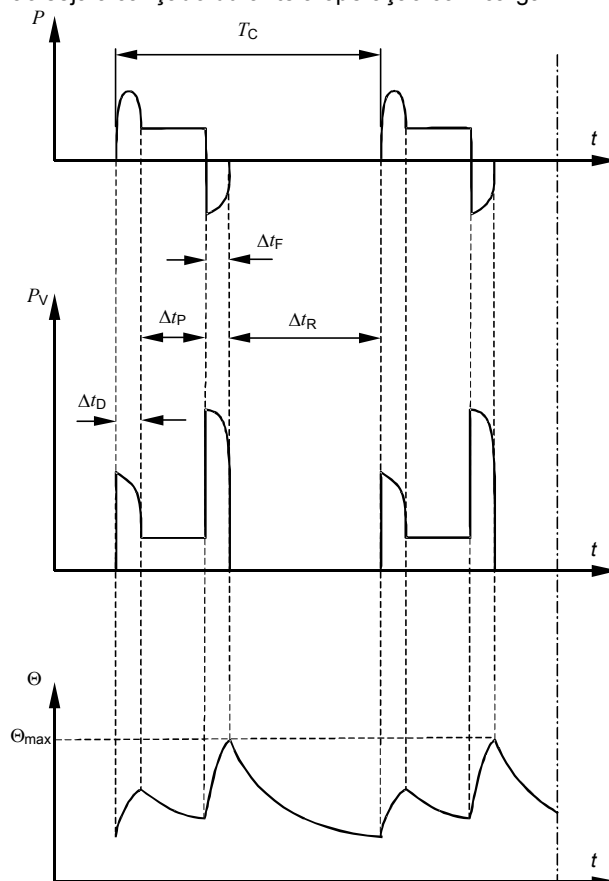
Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual incluindo um tempo de partida, um tempo de funcionamento à carga constante, um tempo de frenagem eléctrica rápida e um tempo desenergizado e em repouso, ver figura 4.8.

A abreviação apropriada é S5, seguida pelo fator de duração do ciclo, pelo momento de inércia do motor (JM) e pelo momento de inércia da carga (Jext), ambos referidos ao eixo do motor.

Exemplo: S5 25% JM = 0,15 kg.m²

Jext = 0,7 kg.m²

NOTA: Regime periódico implica que o equilíbrio térmico não seja alcançado durante a operação com carga.



Legenda

P	carga
P_V	perdas eléctricas
Θ	temperatura
Θ_{max}	temperatura máxima atingida durante o ciclo
t	tempo
T_C	duração de um ciclo
Δt_D	tempo de aceleração/ partida
Δt_P	tempo de funcionamento à carga constante
Δt_F	tempo de frenagem eléctrica
Δt_R	tempo desenergizado e em repouso

Fator de duração do ciclo = $(\Delta t_D + \Delta t_P + \Delta t_F)/T_C$

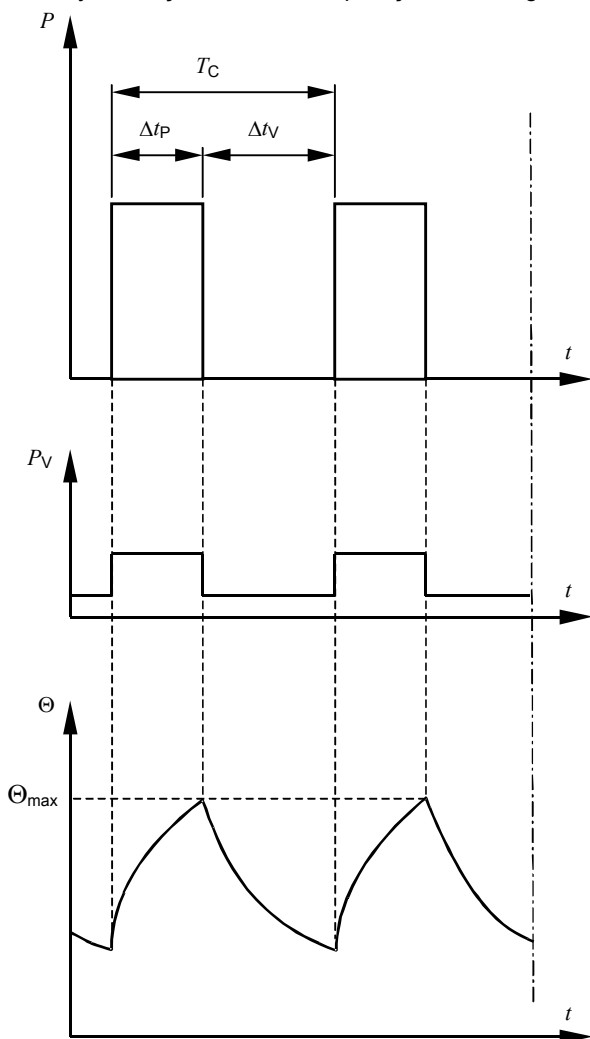
Figura 4.8 – Regime intermitente periódico com frenagem eléctrica – Regime tipo S5

4.5.6 Regime tipo S6 - Regime de funcionamento contínuo periódico com carga intermitente

Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual incluindo um tempo de funcionamento à carga constante e um tempo de funcionamento em vazio. Não existe tempo desenergizado e em repouso, ver figura 4.9.

A abreviação apropriada é S6, seguida pelo fator de duração do ciclo. Exemplo: S6 40%

NOTA: Regime periódico implica que o equilíbrio térmico não seja alcançado durante a operação com carga.



Legenda

P	carga
P_V	perdas elétricas
Θ	temperatura
Θ_{\max}	temperatura máxima atingida durante o ciclo
t	tempo
T_C	duração de um ciclo
Δt_P	tempo de funcionamento à carga constante
Δt_V	tempo de funcionamento em vazio

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \Delta t_P / T_C$$

Figura 4.9 – Regime de funcionamento contínuo periódico com carga intermitente – Regime tipo S6

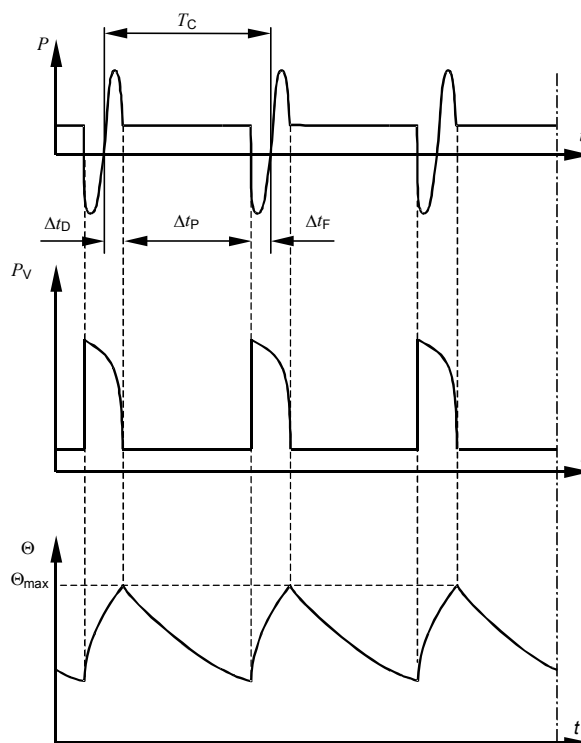
4.5.7 Regime tipo S7 - Regime de funcionamento contínuo periódico com frenagem elétrica

Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual incluindo um tempo de partida, um tempo de funcionamento à carga constante e um tempo de frenagem elétrica. Não existe tempo desenergizado e em repouso, ver figura 4.10.

A abreviação apropriada é S7, seguida pelo momento de inércia do motor (J_M) e o momento de inércia da carga (J_{ext}), ambos referidos ao eixo do motor.

Exemplo: S7 $J_M = 0,4 \text{ kg.m}^2$ $J_{ext} = 7,5 \text{ kg.m}^2$

NOTA: Regime periódico implica que o equilíbrio térmico não seja alcançado durante a operação com carga.



Legenda

P	carga
P_V	perdas elétricas
Θ	temperatura
Θ_{\max}	temperatura máxima atingida durante o ciclo
Δt_F	tempo de frenagem elétrica
t	tempo
T_C	duração de um ciclo
Δt_D	tempo de aceleração/ partida
Δt_P	tempo de funcionamento à carga constante

Fator de duração do ciclo = 1

Figura 4.10 – Regime de funcionamento contínuo periódico, com frenagem elétrica – Regime tipo S7

4.5.8 Regime tipo S8 - Regime de funcionamento contínuo periódico com mudanças correspondentes de carga e de velocidade

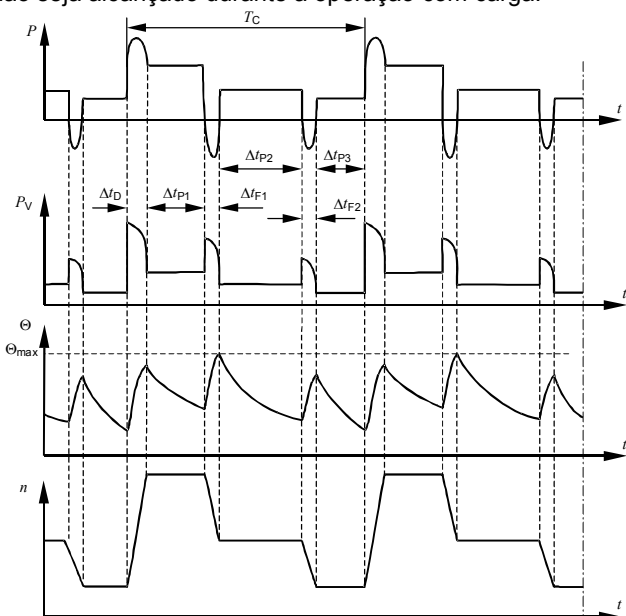
Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual incluindo um tempo de funcionamento à carga constante correspondente a uma determinada velocidade de rotação, seguido de um ou mais tempos de funcionamento a outras cargas constantes correspondentes a diferentes velocidades de rotação (realizados, por exemplo, pela mudança do número de pólos, no caso de motores de indução). Não existe tempo desenergizado e em repouso, ver figura 4.11.

A abreviação apropriada é S8, seguida pelo momento de inércia do motor (JM) e pelo momento de inércia da carga (Jext), ambos referidos ao eixo do motor, juntamente com a carga, velocidade e fator de duração do ciclo para cada condição de velocidade.

Exemplo: S8 JM = 0,5 kg.m²

Jext = 6 kg.m ²	16kW	740 rpm	30%
	40kW	1460 rpm	30%
	25kW	980 rpm	40%

NOTA: Regime periódico implica que o equilíbrio térmico não seja alcançado durante a operação com carga.



Legenda

P	carga
P _V	perdas elétricas
Θ	temperatura
Θ _{max}	temperatura máxima atingida durante o ciclo
n	velocidade
t	tempo
T _C	duração de um ciclo
Δt _D	tempo de aceleração/ partida
Δt _p	tempo de funcionamento à carga constante
Δt _F	tempo de frenagem elétrica

Fator de duração do ciclo =

$$(\Delta t_D + \Delta t_{p1})/T_C; (\Delta t_{F1} + \Delta t_{p2})/T_C; (\Delta t_{F2} + \Delta t_{p3})/T_C$$

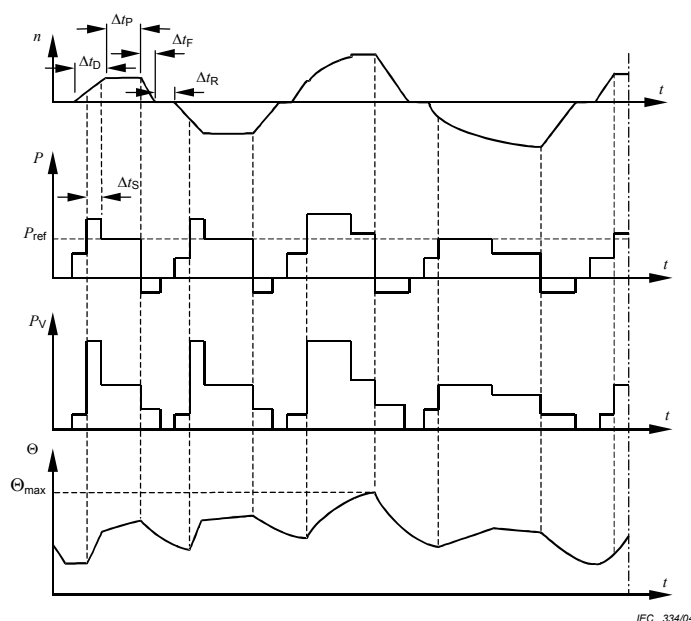
Figura 4.11 – Regime de funcionamento contínuo periódico, com mudanças correspondentes de carga e de velocidade – Regime tipo S8

4.5.9 Regime tipo S9 - Regime com variações não periódicas de carga e de velocidade

Regime no qual geralmente a carga e a velocidade variam não periodicamente, dentro da faixa de funcionamento admissível. Este regime inclui frequentemente sobrecargas aplicadas que podem ser muito superiores à carga de referência, ver figura 4.12.

A abreviação apropriada é S9.

Para este tipo de regime, uma carga constante apropriadamente selecionada e baseada no regime tipo S1 é tomada como carga de referência ("Pref" na figura 4.12) para o conceito de sobrecarga.



Legenda

P	carga
P _{ref}	carga de referência
P _V	perdas elétricas
Θ	temperatura
Θ _{max}	temperatura máxima atingida durante o ciclo
n	velocidade
t	tempo
Δt _D	tempo de aceleração/ partida
Δt _p	tempo de funcionamento à carga constante
Δt _F	tempo de frenagem elétrica
Δt _R	tempo desenergizado e em repouso
Δt _S	tempo de funcionamento com sobrecarga

Figura 4.12 – Regime com variações não periódicas de carga e velocidade – Regime tipo S9

4.5.10 Regime tipo S10 - Regime com cargas e velocidades constantes distintas

Regime consistindo de um número específico de valores distintos de cargas (ou cargas equivalentes) e se aplicável, velocidade, sendo cada combinação carga/velocidade mantido por um tempo suficiente para permitir que a máquina alcance o equilíbrio térmico, ver figura 4.13. A carga mínima durante um ciclo de regime pode ter o valor zero (funcionamento em vazio ou repouso desenergizado).

A abreviação apropriada é S10, seguida pelo valor por unidade (pu) $p/\Delta t$ para a carga e sua duração respectiva e pelo valor por unidade TL para a expectativa de vida térmica relativa do sistema de isolamento. O valor de referência para a expectativa de vida térmica é a expectativa de vida térmica na condição nominal para regime de operação contínuo e no limite permitido de elevação de temperatura baseado no regime tipo S1. Para um período de repouso, a carga deverá ser indicada pela letra "r".

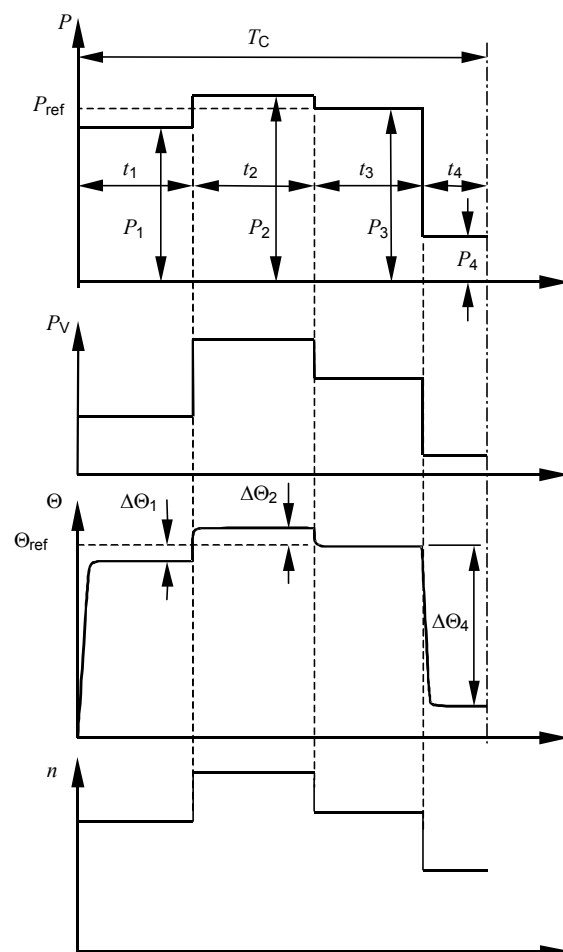
Nota: $p_i = P_i / P_n$ = carga em p.u.

Exemplo: S10 $p/\Delta t = 1,1/0,4 ; 1/0,3 ; 0,9/0,2 ; r/0,1$ TL = 0,6

O valor de TL deve ser arredondado para um valor múltiplo de 0,05. Informações sobre o significado deste parâmetro e a determinação de seu valor é dado no anexo B.

Para este tipo de regime, uma carga constante adequadamente escolhida e baseada no regime tipo S1 deve ser tomada como carga de referência ("Pref" na figura 4.13) para as cargas distintas. Na conversão para valores em p.u., considerar para p e Δt os valores de base Pref e T_C , respectivamente.

NOTA Os valores distintos de carga são usualmente cargas equivalentes baseadas na integração de valores em um período de tempo. Não é necessário que cada ciclo de cargas seja exatamente o mesmo, mas somente que cada carga dentro de um ciclo seja aplicada por tempo suficiente para que o equilíbrio térmico seja atingido, e que cada ciclo de cargas possa ser integrado para dar a mesma expectativa de vida térmica.



legenda

P	carga
P_i	carga constante de um período de carga dentro de um ciclo de cargas
P_{ref}	carga de referência baseado no regime tipo S1
P_v	perdas elétricas
Θ	temperatura
Θ_{ref}	temperatura na carga de referência baseado no Regime tipo S1
t	tempo
t_i	tempo de uma carga constante dentro de um ciclo
T_C	duração de um ciclo
$\Delta\Theta_i$	diferença entre a elevação de temperatura do enrolamento para cada variação de carga dentro de um ciclo, e a elevação de temperatura baseada no regime tipo S1 com carga de referência
n	velocidade

Figura 4.13 – Regime com cargas constantes distintas – Regime tipo S10

4.5.11 Regimes especiais

Onde a carga pode variar durante os períodos de funcionamento, existe reversão ou frenagem por contracorrente, etc., a escolha do motor adequado, deve ser feita mediante consulta a fábrica e depende de uma descrição completa do ciclo:

- Potência necessária para acionar a carga ou, se ela variar conforme um gráfico de potência requerida durante um ciclo.

- Conjugado resistente da carga.
- Momento de inércia total (GD^2 ou J) da máquina acionada, referida a sua rotação nominal.
- Número de partidas, reversões, frenagens em contra corrente, etc.
- Duração dos períodos em carga e em repouso ou vazio

4.6 Caracterização do tipo de regime

A perfeita caracterização do regime afim de se selecionar o motor adequado, exige (se for possível) que se enquadre o ciclo em um dos regime-tipo (S1 a S10). Uma vez enquadrado o tipo de regime é aconselhável que se preste algumas informações complementares de acordo com cada regime tipo conforme a tabela 4.2

Regime tipo	Dados complementares	Exemplo
S1 e S9	Somente o próprio símbolo é suficiente	S1 ou S9
S2	Selecionar os tempos de funcionamento a carga constante de preferência em 10, 30, 60 ou 90 minutos	S2 60 min
S3 a S6	O fator de duração do ciclo	S3 20%
S4, S5	Fator de duração do ciclo, momento de inércia do motor (J_M) e da carga (J_{EXT}), ambos referidos ao eixo do motor.	S4 25% $J_M = 0,15 \text{ kgm}^2$ $J_{EXT} = 0,7 \text{ kgm}^2$
S7	Momento de inércia do motor (J_M) e da carga (J_{EXT}), ambos referidos ao eixo do motor.	S7 $J_M = 0,15 \text{ kgm}^2$ $J_{EXT} = 0,7 \text{ kgm}^2$
S8	Momento de inércia do motor (J_M) e da carga (J_{EXT}) ambos referidos ao eixo do motor, carga, velocidade e o fator de duração do ciclo para cada condição de velocidade.	S8 $J_M = 0,5 \text{ kgm}^2$ $J_{EXT} = 6 \text{ kgm}^2$ 16 kW 850 rpm 30% 40 kW 1750 rpm 40%
S10	Os valores de Δt em p.u. para as diferentes cargas e suas durações respectivas, o valor de T.L em p.u, os períodos de repouso (se houver) indicado pela letra "r"	$p/\Delta t = 1,1/0,4; 1,0/0,3;$ $0,9/0,2; r/0,1; TL = 0,6$

Onde TL → significa a expectativa de vida térmica do sistema de isolamento

Tabela 4.2 – Dados complementares para caracterização do regime tipo

4.7 Determinação da potência requerida pela carga

O motor elétrico deve fornecer à carga a potência necessária, sendo recomendável uma margem de folga para prevenir sobrecargas ocasionais. Para cargas de potência constante deve-se especificar o motor com potência nominal igual ou imediatamente superior à requerida pela carga.

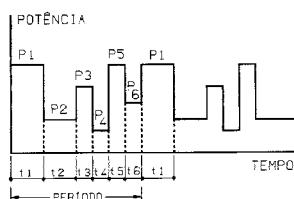
No caso de cargas que requeiram potência variável determina-se a potência necessária do motor pelas seguintes fórmulas.

a) Potência variável, sem períodos de repouso

$$P_M = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3 + P_4^2 \cdot t_4 + P_5^2 \cdot t_5 + P_6^2 \cdot t_6}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6}}$$

ou aproximadamente em função da corrente

$$I_{eq} = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + I_3^2 \cdot t_3 + I_4^2 \cdot t_4 + I_5^2 \cdot t_5 + I_6^2 \cdot t_6}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6}}$$

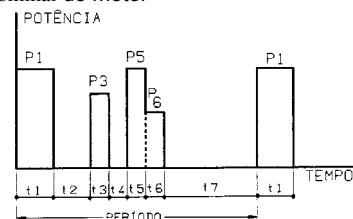


b) Potência variável, com períodos de repouso

$$P_M = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3 + P_4^2 \cdot t_4 + P_5^2 \cdot t_5 + P_6^2 \cdot t_6}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + \frac{1}{3}(t_2 + t_4 + t_7)}}$$

$$I_{eq} = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + I_3^2 \cdot t_3 + I_4^2 \cdot t_4 + I_5^2 \cdot t_5 + I_6^2 \cdot t_6}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + \frac{1}{3}(t_2 + t_4 + t_7)}}$$

Onde $I_{eq} \leq I$ nominal do motor



4.8 Fator de serviço (FS)

Chama-se 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. O fator de serviço não deve ser confundido com a capacidade de sobrecarga momentânea, durante alguns minutos. O fator de

serviço FS=1,0 significa que o motor não foi projetado para funcionar continuamente acima de sua potência nominal. Isto, entretanto, não muda a sua capacidade para sobrecargas momentâneas. A norma ABNT NBR 7094 especifica os fatores de serviço usuais por potência.

Exemplo: Se tivermos um motor de 5cv, 60Hz e 220V com fator de serviço (FS) 1,2, este pode ser usado com sobrecarga de até 20% mantido os 60Hz e os 220V, isto é, pode ser usado normalmente até 6.0cv sem prejuízo nenhum para o motor.

4.9 Fator de potência ($\cos\phi$)

Como já foi mencionado no item 1.2.5 o $\cos\phi$ é um item importante quando se trata do uso de motores elétricos. Devido a natureza indutiva dos motores, normalmente é necessário corrigir o fator de potência (aumentá-lo). Essa correção é feita com a ligação de uma carga capacitiva, em geral, um capacitor ou motor síncrono super excitado em paralelo com a carga.

A escolha de capacitores adequados e o cálculo da potência reativa necessária pode ser feita utilizando-se as equações:

$$C = \frac{10^9 \cdot P_N \cdot k}{2 \pi \cdot f \cdot \eta \cdot V^2}$$

Onde:

C = Capacitância total do banco de capacitores (μF)

P_N = Potência nominal (kW)

η = Rendimento (p.u)

f = Frequência (Hz)

V = Tensão da rede (V)

k = Constante (ver tabela 4.3) ou

k = $\tan\phi - \tan\phi_1$

ϕ ângulo de defasagem original

ϕ_1 ângulo de defasagem corrigido

Potência reativa total, necessária para correção do fator de potência

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V^2 \cdot C}{10^9} \quad (\text{kVar})$$

f.p. original	Fator de potência corrigido															
	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
0,50	1,112	1,139	1,165	1,192	1,220	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,440	1,481	1,529	1,589	1,732
0,51	1,067	1,094	1,120	1,147	1,175	1,203	1,231	1,261	1,292	1,324	1,358	1,395	1,436	1,484	1,544	1,687
0,52	1,023	1,050	1,076	1,103	1,131	1,159	1,187	1,217	1,248	1,280	1,341	1,351	1,392	1,440	1,500	1,643
0,53	0,980	1,007	1,033	1,060	1,088	1,116	1,144	1,174	1,205	1,237	1,271	1,308	1,394	1,397	1,457	1,600
0,54	0,939	0,966	0,992	1,019	1,047	1,075	1,103	1,133	1,164	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416	1,559
0,55	0,899	0,926	0,952	0,979	1,007	1,035	1,063	1,093	1,124	1,156	1,190	1,227	1,268	1,316	1,376	1,519
0,56	0,860	0,887	0,913	0,940	0,968	0,996	1,024	1,054	1,085	1,117	1,151	1,188	1,229	1,277	1,337	1,480
0,57	0,822	0,849	0,875	0,902	0,930	0,958	0,986	1,016	1,047	1,079	1,113	1,150	1,191	1,239	1,299	1,442
0,58	0,785	0,812	0,838	0,865	0,893	0,921	0,949	0,979	1,010	1,042	1,076	1,113	1,154	1,202	1,262	1,405
0,59	0,749	0,776	0,802	0,829	0,857	0,885	0,913	0,943	0,974	1,006	1,040	1,077	1,118	1,166	1,226	1,369
0,60	0,713	0,740	0,766	0,793	0,821	0,849	0,877	0,907	0,938	0,970	1,004	1,041	1,082	1,130	1,190	1,333
0,61	0,679	0,706	0,732	0,759	0,787	0,815	0,843	0,873	0,904	0,936	0,970	1,007	1,048	1,096	1,156	1,299
0,62	0,646	0,673	0,699	0,726	0,754	0,782	0,810	0,840	0,871	0,903	0,937	0,974	1,015	1,063	1,123	1,266
0,63	0,613	0,640	0,666	0,693	0,721	0,749	0,777	0,807	0,838	0,870	0,904	0,941	0,982	1,030	1,090	1,233
0,64	0,581	0,608	0,634	0,661	0,689	0,717	0,745	0,775	0,806	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,201
0,65	0,549	0,576	0,602	0,629	0,657	0,685	0,713	0,743	0,774	0,806	0,840	0,877	0,918	0,966	1,026	1,169
0,66	0,518	0,545	0,571	0,598	0,626	0,654	0,682	0,712	0,743	0,775	0,809	0,846	0,887	0,935	0,995	1,138
0,67	0,488	0,515	0,541	0,568	0,596	0,624	0,652	0,682	0,713	0,745	0,779	0,816	0,857	0,905	0,965	1,108
0,68	0,458	0,485	0,511	0,538	0,566	0,594	0,622	0,652	0,683	0,715	0,749	0,786	0,827	0,875	0,935	1,078
0,69	0,429	0,456	0,482	0,509	0,537	0,565	0,593	0,623	0,654	0,686	0,720	0,757	0,798	0,846	0,906	1,049
0,70	0,400	0,427	0,453	0,480	0,508	0,536	0,564	0,594	0,625	0,657	0,691	0,728	0,769	0,817	0,877	1,020
0,71	0,372	0,399	0,425	0,452	0,480	0,508	0,536	0,566	0,597	0,629	0,663	0,700	0,741	0,789	0,849	0,992
0,72	0,344	0,371	0,397	0,424	0,452	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821	0,964
0,73	0,316	0,343	0,369	0,396	0,424	0,452	0,480	0,510	0,541	0,573	0,607	0,644	0,685	0,733	0,793	0,936
0,74	0,289	0,316	0,342	0,369	0,397	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766	0,909
0,75	0,262	0,289	0,315	0,342	0,370	0,398	0,426	0,456	0,487	0,519	0,553	0,590	0,631	0,679	0,739	0,882
0,76	0,235	0,262	0,288	0,315	0,343	0,371	0,399	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,604	0,652	0,712	0,855
0,77	0,209	0,236	0,262	0,289	0,317	0,345	0,373	0,403	0,434	0,466	0,500	0,537	0,578	0,626	0,686	0,829
0,78	0,182	0,209	0,235	0,262	0,290	0,318	0,346	0,376	0,407	0,439	0,473	0,510	0,551	0,599	0,659	0,802
0,79	0,156	0,183	0,209	0,236	0,264	0,292	0,320	0,350	0,381	0,413	0,447	0,484	0,525	0,573	0,633	0,776
0,80	0,130	0,157	0,183	0,210	0,238	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,609	0,750
0,81	0,104	0,131	0,157	0,184	0,212	0,240	0,268	0,298	0,329	0,361	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,724
0,82	0,078	0,105	0,131	0,158	0,186	0,214	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,555	0,698
0,83	0,052	0,079	0,105	0,132	0,160	0,188	0,216	0,246	0,277	0,309	0,343	0,380	0,421	0,469	0,529	0,672
0,84	0,026	0,053	0,079	0,106	0,134	0,162	0,190	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646
0,85	0,000	0,027	0,053	0,080	0,108	0,136	0,164	0,194	0,225	0,257	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,620
0,86		0,000	0,026	0,053	0,081	0,109	0,137	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,342	0,390	0,450	0,593
0,87			0,000	0,027	0,055	0,083	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567
0,88				0,000	0,028	0,056	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,540
0,89					0,000	0,028	0,056	0,086	0,117	0,149	0,183	0,220	0,261	0,309	0,369	0,512
0,90						0,000	0,028	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,233	0,281	0,341	0,484
0,91							0,000	0,030	0,061	0,093	0,127	0,164	0,205	0,253	0,313	0,456
0,92								0,000	0,031	0,063	0,097	0,134	0,175	0,223	0,283	0,426
0,93									0,000	0,032	0,066	0,103	0,144	0,192	0,252	0,395
0,94											0,000	0,034	0,071	0,112	0,160	0,303
0,95												0,000	0,037	0,079	0,126	0,269
0,96													0,000	0,041	0,089	0,149
0,97														0,000	0,048	0,108
0,98															0,000	0,060
0,99																0,000
1,00																0,000

Tabela 4.3 – Fatores de multiplicação (k) para determinar a potência capacitiva (kVar) necessária à correção do fator de potência.

5. Características de regime

5.1 Curva conjugado x velocidade

É a curva que mostra a dependência entre o conjugado desenvolvido por um motor elétrico e a sua rotação. Na velocidade síncrona o conjugado é zero. Conforme a carga for aumentando, a rotação do motor cai gradativamente e o conjugado aumenta até atingir um valor máximo. Se este valor for ultrapassado, a rotação cairá bruscamente, podendo até travar o rotor (figura 5.1).

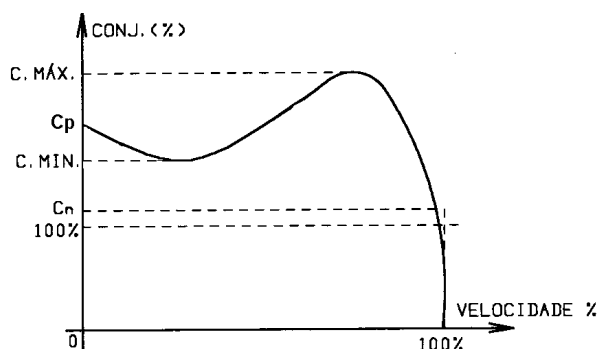


Figura 5.1 – Curva conjugado X velocidade

5.1.1 Categorias

Os motores de indução trifásicos são classificados em categorias de acordo com as suas características de conjugado em relação a velocidade e a corrente de partida. Estas categorias estão definidas em norma e são divididas em:

Categoria		Corrente de partida	Conjugado com rotor bloqueado	Conjugado máximo	% Escorregamento
NEMA MG1	NBR 7094				
A	--	Normal	Normal	Alto	Máximo 5%
B	N	Normal	Normal	Normal	Máximo 5%
C	H	Normal	Alto	Normal	Máximo 5%
D	D	Normal	Muito alto	--	Maior que 5%

Tabela 5.1 – Características das categorias

Para motores da categoria D

Esta categoria inclui motores com conjugado de rotor bloqueado elevado e escorregamento elevado, previstos para partida direta, com quatro ou mais pólos, de 0,37 kW a 110 kW.

O conjugado com rotor bloqueado (C_p) expresso pela razão para o conjugado nominal (C_n) deve ter o valor mínimo, à tensão nominal, de **2,75**

O conjugado mínimo de partida e o conjugado máximo não são fornecidos porque nestes motores o conjugado diminui continuamente quando a velocidade aumenta.

O escorregamento na potência nominal deve ser igual ou superior a 5%. São fornecidas três variações diferentes de motores quanto ao valor do escorregamento: uma com 5% a 8%, outra acima de 8% a 13% para utilização em prensas de perfuração, tesouras e outras máquinas de inércia elevada, onde é desejado utilizar a energia armazenada em um volante sob flutuações severas de carga e para diminuir o elevado pico de demanda do sistema, e a terceira incluindo motores com escorregamento acima de 13%, para aplicações geralmente em regimes de tempo limitado, devido às perdas elevadas no rotor, como, por exemplo, pontes rolantes, guinchos, elevadores, etc.

Alguns pontos caracterizados na curva são importantes, pois seus valores são normalizados pela norma ABNT NBR 7094.

• Conjugado com rotor bloqueado (C_p)

Menor conjugado medido que o motor desenvolve em sua ponta de eixo, com o seu rotor bloqueado em qualquer posição angular, sob tensão e frequência nominais.

• Conjugado mínimo de partida (C_{\min})

Menor valor do conjugado assíncrono, em regime permanente, que o motor desenvolve entre a velocidade zero e a velocidade correspondente ao conjugado máximo, sob tensão e frequência nominais.

• Conjugado máximo (C_{\max})

Maior valor do conjugado assíncrono, em regime permanente, que o motor desenvolve sem queda abrupta de velocidade, sob tensão e frequência nominais.

• Conjugado nominal (C_n)

Conjugado que o motor desenvolve no seu eixo sob potência e velocidade nominais.

Nota: Os motores Kcel, a exemplo da tendência do mercado, enquadram-se na categoria N. Mas, na prática, os motores Kcel ultrapassam em muito os valores mínimos fixados em norma para esta categoria.

Isto significa:

- Alto conjugado de partida com rápida aceleração.
- Partida com sistemas de tensão reduzida.
- Suportam picos de carga e quedas de tensão momentâneas.

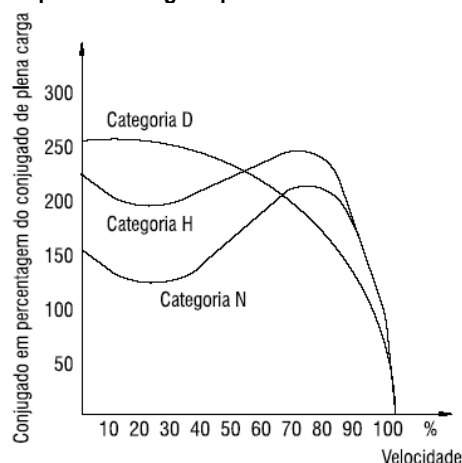


Figura 5.2 Curvas Conjugado X Velocidade, das categorias (D, H e N)

Os valores dos conjugados máximo, mínimo e de rotor bloqueado para as categorias N e H são especificados pela norma ABNT NBR 7094, esses valores normalizados constam nas tabelas 5.2 e 5.3.

Faixa de potência kW	Número de pólos											
	2			4			6			8		
	C_p/C_n	$C_{mín}/C_n$	$C_{máx}/C_n$	C_p/C_n	$C_{mín}/C_n$	$C_{máx}/C_n$	C_p/C_n	$C_{mín}/C_n$	$C_{máx}/C_n$	C_p/C_n	$C_{mín}/C_n$	$C_{máx}/C_n$
$0,37 \leq P_n \leq 0,63$	1,9	1,3	2,0	2,0	1,4	2,0	1,7	1,2	1,7	1,5	1,1	1,6
$0,63 < P_n \leq 1,0$	1,8	1,2	2,0	1,9	1,3	2,0	1,7	1,2	1,8	1,5	1,1	1,7
$1,0 < P_n \leq 1,6$	1,8	1,2	2,0	1,9	1,3	2,0	1,6	1,1	1,9	1,4	1,0	1,8
$1,6 < P_n \leq 2,5$	1,7	1,1	2,0	1,8	1,2	2,0	1,6	1,1	1,9	1,4	1,0	1,8
$2,5 < P_n \leq 4,0$	1,6	1,1	2,0	1,7	1,2	2,0	1,5	1,1	1,9	1,3	1,0	1,8
$4,0 < P_n \leq 6,3$	1,5	1,0	2,0	1,6	1,1	2,0	1,5	1,1	1,9	1,3	1,0	1,8
$6,3 < P_n \leq 10$	1,5	1,0	2,0	1,6	1,1	2,0	1,5	1,1	1,8	1,3	1,0	1,7
$10 < P_n \leq 16$	1,4	1,0	2,0	1,5	1,1	2,0	1,4	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
$16 < P_n \leq 25$	1,3	0,9	1,9	1,4	1,0	1,9	1,4	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
$25 < P_n \leq 40$	1,2	0,9	1,9	1,3	1,0	1,9	1,3	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
$40 < P_n \leq 63$	1,1	0,8	1,8	1,2	0,9	1,8	1,2	0,9	1,7	1,1	0,8	1,7
$63 < P_n \leq 100$	1,0	0,7	1,8	1,1	0,8	1,8	1,1	0,8	1,7	1,0	0,7	1,6
$100 < P_n \leq 160$	0,9	0,7	1,7	1,0	0,8	1,7	1,0	0,8	1,7	0,9	0,7	1,6
$160 < P_n \leq 250$	0,8	0,6	1,7	0,9	0,7	1,7	0,9	0,7	1,6	0,9	0,7	1,6
$250 < P_n \leq 400$	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6
$400 < P_n \leq 630$	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6
$630 < P_n \leq 1\ 600$	0,5	0,3	1,6	0,5	0,3	1,6	0,5	0,3	1,6	0,5	0,3	1,6

Tabela 5.2 – Conjugado com rotor bloqueado (C_p), conjugado mínimo de partida ($C_{mín}$), Conjugado máximo ($C_{máx}$) para motores da categoria N conforme norma ABNT NBR 7094.

Faixa de potência kW	Número de pólos								
	4			6			8		
	C_p/C_n	$C_{mín}/C_n$	$C_{máx}/C_n$	C_p/C_n	$C_{mín}/C_n$	$C_{máx}/C_n$	C_p/C_n	$C_{mín}/C_n$	$C_{máx}/C_n$
$0,37 \leq P_n \leq 0,63$	3,0	2,1	2,1	2,55	1,8	1,9	2,25	1,65	1,9
$0,63 < P_n \leq 1,0$	2,85	1,95	2,0	2,55	1,8	1,9	2,25	1,65	1,9
$1,0 < P_n \leq 1,6$	2,85	1,95	2,0	2,4	1,65	1,9	2,1	1,5	1,9
$1,6 < P_n \leq 2,5$	2,7	1,8	2,0	2,4	1,65	1,9	2,1	1,5	1,9
$2,5 < P_n \leq 4,0$	2,55	1,8	2,0	2,25	1,65	1,9	2,0	1,5	1,9
$4,0 < P_n \leq 6,3$	2,4	1,65	2,0	2,25	1,65	1,9	2,0	1,5	1,9
$6,3 < P_n \leq 10$	2,4	1,65	2,0	2,25	1,65	1,9	2,0	1,5	1,9
$10 < P_n \leq 16$	2,25	1,65	2,0	2,1	1,5	1,9	2,0	1,4	1,9
$16 < P_n \leq 25$	2,1	1,5	1,9	2,1	1,5	1,9	2,0	1,4	1,9
$25 < P_n \leq 40$	2,0	1,5	1,9	2,0	1,5	1,9	2,0	1,4	1,9
$40 < P_n \leq 160$	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9

NOTAS

1 Os valores de C_p/C_n são iguais a 1,5 vez os valores correspondentes da categoria N, não sendo, porém, inferiores a 2,0.

2 Os valores $C_{mín}/C_n$ são iguais a 1,5 vez os valores correspondentes da categoria N, não sendo, porém, inferiores a 1,4.

3 Os valores de $C_{máx}/C_n$ são iguais aos valores correspondentes da categoria N, não sendo, porém, inferiores a 1,9 ou ao valor correspondente de $C_{mín}/C_n$.

Tabela 5.3 – Conjugado com rotor bloqueado (C_p), conjugado mínimo de partida ($C_{mín}$) e conjugado máximo ($C_{máx}$) para motores da categoria H, conforme norma ABNT NBR 7094.

Notas:

a) os valores de C_p são iguais a 1,5 vezes os valores correspondente da categoria N, não sendo, porém inferiores a 2,0;

b) os valores de $C_{mín}$ são iguais a 1,5 vezes os valores correspondentes da categoria N, não sendo, porém, inferiores a 1,4;

c) os valores de $C_{máx}$ são iguais aos valores correspondentes da categoria N, não sendo, porém inferiores a 1,9 ou ao valor correspondente de $C_{mín}$.

Outras categorias

• **Categoria NY:** semelhante a categoria N, porém para categoria N se prevê partida direta e na NY partida estrela-triângulo. Para essa categoria os valores mínimos do conjugado com rotor bloqueado e do conjugado mínimo de partida são iguais a 25% dos valores para categoria N, tabela 5.2.

• **Categoria HY:** semelhante a categoria H, porém para categoria H se prevê partida direta e na HY partida estrela-triângulo. Os valores mínimos do conjugado com rotor bloqueado e do conjugado mínimo de partida são iguais a 25% do previsto para categoria H, tabela 5.3.

Mediante consulta, a Kcel pode fornecer motores nas outras categorias.

5.2 Partida com carga de alta inércia

O momento de inércia é um parâmetro que define a dificuldade de um corpo de realizar um movimento de rotação em torno de um determinado eixo.

É necessário se avaliar a dificuldade imposta ao motor devido a cargas de alta inércia, para se determinar se o tempo necessário para se acelerar a carga não causará sobreaquecimento ou outros danos ao motor.

O momento de inércia do sistema (motor, carga) é a soma dos momentos de inércia do motor e da carga.

$$J_T = J_M + J_C \quad (\text{kg.m}^2)$$

Para cargas cuja rotação é diferente do motor, ligados por polias ou engrenagens por exemplo, o momento de inércia da carga referido ao eixo do motor será dado por:

$$J_{CR} = J_C \times \left(\frac{nc}{n} \right)^2 \quad (\text{kg.m}^2)$$

Onde:

J_{CR} = momento de inércia da carga referido ao eixo do motor

J_M = momento de inércia do motor + inércia do dispositivo D1

J_C = momento de inércia da carga + inércia do dispositivo D2

n = velocidade nominal do motor

nc = velocidade da carga

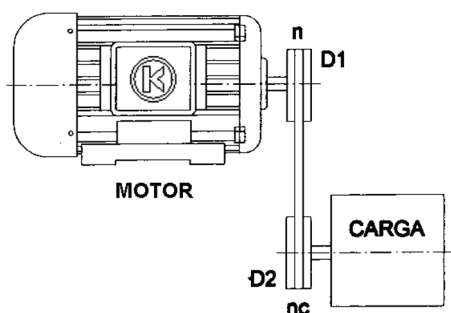


Figura 5.3 – Momento de inércia em rotações diferentes

Nos casos em que existir entre o motor e a carga mais do que uma redução de velocidade, deverá ser considerado os momentos de inércia de cada dispositivo de redução, sendo o momento de inércia referido ao eixo do motor dado por:

$$J_{CR} = J_C \times \left(\frac{nc}{n} \right)^2 + J_1 \times \left(\frac{n_1}{n} \right)^2 + J_2 \times \left(\frac{n_2}{n} \right)^2$$

onde:

J_1 → momento de inércia do dispositivo D3

J_2 → momento de inércia do dispositivo D4

Obs: Para a figura 5.4, $n_1 = n_2$ pois estão no mesmo eixo de rotação.

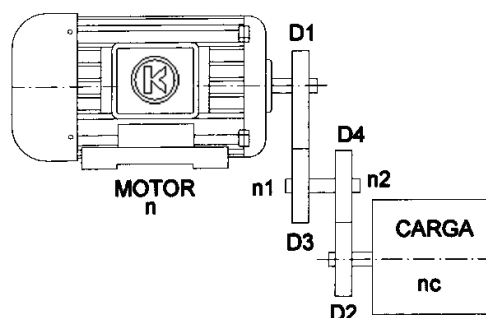


Figura 5.4 – Momento de inércia para mais de uma redução

5.3 Tempo de aceleração

É o tempo necessário para o motor atingir a rotação nominal a partir do seu acionamento. Seu valor é importante para determinar se o motor é capaz de acionar a carga sem sobreaquecer. Determinados equipamentos de proteção dependem desse valor para o seu correto dimensionamento. O tempo de aceleração pode ter seu resultado aproximado pela seguinte equação:

$$t_a = \frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot \frac{J_M + J_C}{C_{M\acute{E}D} - C_{R\acute{M}E\acute{D}}}$$

Onde:

t_a = tempo de aceleração em s.

J_M = momento de inércia do motor em kgm².

n = rotação nominal em rpm.

$C_{M\acute{E}D}$ = conjugado médio de aceleração do motor em N.m.

$C_{R\acute{M}E\acute{D}}$ = conjugado médio de aceleração da carga em N.m.

Ou de maneira prática pode ser determinado por:

$$t_a = \frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot \frac{J_M + J_C}{K \left[\left(\frac{C_P}{C_N} + \frac{C_{MAX}}{C_N} \right) \cdot C_N \cdot 9,81 - C_{R\acute{M}E\acute{D}} \cdot 9,81 \right]} \quad \text{Ond}$$

e:

$K = 0,45$ para categoria N ou H

$K = 0,60$ para categoria D

C_N = conjugado nominal do motor em kgf.m

$C_{R\acute{M}E\acute{D}}$ = conjugado médio de aceleração da carga em kgf.m

A diferença entre os conjugados ($C_{MÉD} - C_{RMÉD}$) é chamado de conjugado médio de aceleração. Seu valor deveria ser calculado para cada intervalo de rotação. Na prática, porém, o conjugado médio pode ser obtido graficamente, como mostra a figura 5.5. Para se determinar graficamente o valor médio do conjugado motor basta que a soma das áreas A_1 e A_2 seja igual a área A_3 e para o conjugado de carga que a área B_1 seja igual a B_2 .

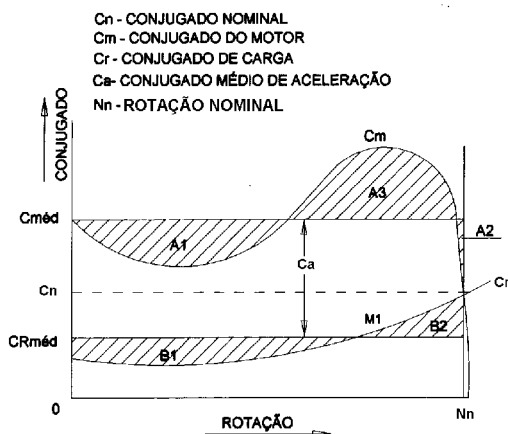


Figura 5.5– Determinação gráfica do conjugado médio de aceleração

5.4 Número mínimo de partidas sucessivas

Durante o tempo de partida a corrente dos motores de indução atinge valores elevados causando elevação na temperatura do motor. A carga é acelerada até atingir a rotação nominal do motor, ocorrendo então uma estabilização da corrente em um valor muito menor do que na partida. Mas se antes de ocorrer essa estabilização, houver sucessivas partidas no motor a elevação de temperatura resultante pode danificar ou reduzir a vida útil do motor.

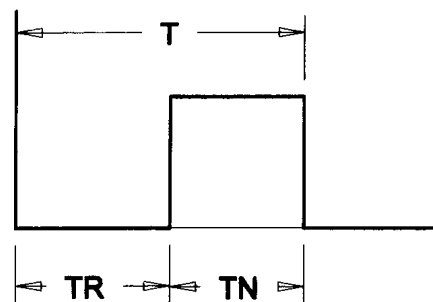
A norma NBR 7094 estabelece um regime de partida mínima que os motores devem suportar:

- Duas partidas consecutivas a frio, sendo a segunda somente após o motor ter atingido o repouso.
- Uma partida a quente após ter funcionado nas condições nominais.
- Nos dois casos, uma partida adicional é permitida somente se a temperatura do motor antes da partida não exceder a temperatura de equilíbrio térmico sob carga nominal.

Através da formula seguinte é possível determinar se o motor suporta a quantidade de partidas imposta.

$$I_{EQ} = I_N \cdot \sqrt{\frac{(I_P / I_N)^2 \cdot t_A + t_N}{T_N + T_R / 3}}$$

I_N → corrente nominal do motor



$$T = \frac{3600}{N^\circ \text{ partida / hora}}$$

T_N → período de funcionamento

T_R → período de repouso

Se $I_{EQ} \leq I_N$ o motor suporta o numero de partidas impostas.

Observação: O regime de partida é previsto para inércias de acordo com a tabela 5.4.

5.5 Valores das inércias acionadas

A norma ABNT NBR 7094 fixa os valores de inércia que devem ser acionados em função da potência nominal do motor. Na tabela 5.4 constam os valores do momento de inércia externo (J) dado em termos de mr^2 , onde m é a massa e r é o raio médio de rotação.

Número de pólos	2	4	6	8
Potência kW	Momento de inércia kg.m ²			
0,37	0,012	0,069	0,191	0,392
0,55	0,018	0,099	0,273	0,561
0,75	0,023	0,131	0,361	0,741
1,10	0,033	0,185	0,510	1,046
1,50	0,043	0,244	0,674	1,383
2,20	0,061	0,345	0,951	1,952
3,00	0,081	0,456	1,257	2,580
3,70	0,097	0,551	1,518	3,116
5,50	0,139	0,787	2,169	4,452
7,50	0,184	1,041	2,867	5,886
11,0	0,260	1,469	4,047	8,309
15,0	0,343	1,942	5,351	10,984
18,5	0,415	2,345	6,462	13,266
22,0	0,485	2,741	7,553	15,504
30,0	0,641	3,623	9,985	20,497
37,0	0,774	4,376	12,059	24,754
45,0	0,923	5,219	14,382	29,523
55,0	1,105	6,252	17,229	35,367
75,0	1,461	8,265	22,776	46,755
90,0	1,722	9,739	26,838	55,092
110	2,062	11,667	32,150	65,997
132	2,430	13,747	37,883	77,766
150	2,726	15,423	42,502	87,248
160	2,890	16,346	45,044	92,465
185	3,293	18,627	51,331	105,372
200	3,532	19,981	55,062	113,031
220	3,849	21,771	59,994	123,155
250	4,318	24,425	67,309	138,171
260	4,473	25,303	69,727	143,135
280	4,781	27,048	74,536	153,008
300	5,088	28,781	79,311	162,810
315	5,316	30,073	82,871	170,118
330	5,543	31,359	86,415	177,392
355	5,920	33,489	92,285	189,442

NOTAS

1 Os valores de inércia são dados em termos de mr^2 , em que m é a massa e r é o raio médio de giração

2 O momento de inércia é definido na ISO 31/3 1992, número 3-7.

3 Para valores de potência intermediários e maiores, o momento de inércia externo deve ser calculado pela seguinte equação, com a qual os valores da tabela 3 foram obtidos:

$$J = 0,027 P_n^{0,81} p^{2,5}$$

Onde:

J é o momento de inércia externo em kg.m²

P_n é a potência de saída nominal, em kW;

p é o número de pares de pólos.

5.6 Corrente com rotor bloqueado em função da potência aparente

A norma ABNT NBR 7094 fixa os valores máximos da potência aparente com rotor bloqueado, esse valor consta como dado de placa, expresso pela relação entre a corrente com o rotor bloqueado e a corrente nominal do motor (I_p/I_N). A corrente com rotor bloqueado se relaciona com a potência aparente com rotor bloqueado através da seguinte relação:

$$\frac{kVA}{cv} = \frac{I_p / I_N \times 0,736}{\eta \cos \varphi}$$

e

$$\frac{kVA}{cv} = \frac{\sqrt{3} \times I_p \times V_L}{P_{(cv)} \times 1000} \quad \text{para motores trifásicos}$$

$$\frac{kVA}{cv} = \frac{I_p \times V_F}{P_{(cv)} \times 1000} \quad \text{para motores monofásicos}$$

Onde:

I_p = Corrente com rotor bloqueado

I_N = Corrente nominal

V_F = Tensão de fase

V_L = Tensão de linha

Na tabela 5.5 constam os valores máximos da potência aparente com rotor bloqueado fixados pela norma ABNT NBR 7094.

Faixa de potência kW	Sp/Pn kVA/ kW
$P_n \leq 0,4$	22
$0,4 < P_n \leq 0,63$	19
$0,63 < P_n \leq 1,0$	17
$1,0 < P_n \leq 1,8$	15
$1,8 < P_n \leq 4,0$	14
$4,0 \leq P_n \leq 6,3$	13
$6,3 < P_n \leq 25$	12
$25 < P_n \leq 63$	11
$63 < P_n \leq 630$	10
$630 < P_n \leq 1\,600$	9

NOTA: Para obter a relação I_p/I_N deve-se multiplicar o valor de kVA/kW pelo produto do rendimento e fator de potência à plena carga.

I_p é a corrente com rotor bloqueado;

I_N é a corrente nominal.

Tabela 5.5 – Potência aparente com rotor bloqueado

Onde:

Sp= Potência aparente de entrada

Sn= Potência nominal de saída

Tabela 5.4 – Valores das inércias acionadas

5.6.1 Codificação NEMA e EB-120 para corrente com rotor bloqueado

De acordo com a norma NEMA (Americana), na placa do motor deve constar a indicação da corrente com rotor bloqueado através de letras que indicam a faixa de valores em que se encontram. A norma ABNT NBR 7094 especifica que o valor seja indicado diretamente na placa do motor, isto é, não necessita de nenhuma codificação. A tabela 5.6 mostra as letras correspondentes da codificação para norma NEMA e suas respectivas faixas de valores.

Código	kVA/cv	Código	kVA/cv
A	0 - 3,14	L	9,0 - 9,99
B	3,15 - 3,54	M	10,0 - 11,09
C	3,55 - 3,99	N	11,2 - 12,49
D	4,0 - 4,49	P	12,5 - 13,99
E	4,5 - 4,99	R	14,0 - 15,99
F	5,0 - 5,59	S	16,0 - 17,99
G	5,6 - 6,29	T	18,0 - 19,09
H	6,3 - 7,09	U	20,0 - 22,09
J	7,1 - 7,99	V	22,4 ou mais
K	8,0 - 8,99		

Tabela 5.6 – Codificação NEMA e EB-120 para I_P/I_N

6. Características ambientais

Todos os motores elétricos têm em comum vários elementos construtivos. Alguns desses elementos possuem suas dimensões e formas construtivas padronizadas de acordo com a norma ABNT NBR 5432, com a finalidade de possibilitar o intercâmbio entre os vários fabricantes de motores.

6.1 Elementos comuns dos motores elétricos

Entre os elementos comuns a todos os tipos de motores, estão as partes estruturais como: carcaça, tampas laterais, porta-mancais, mancais, eixo, chavetas, guias de ar, ventiladores externos e internos, trocadores de calor, caixa de ligação.

6.2 Dimensões normalizadas

A tabela 6.1 identifica todas dimensões padronizadas, assim como, compara os valores normalizados através da ABNT/IEC com os valores normalizados pela NEMA

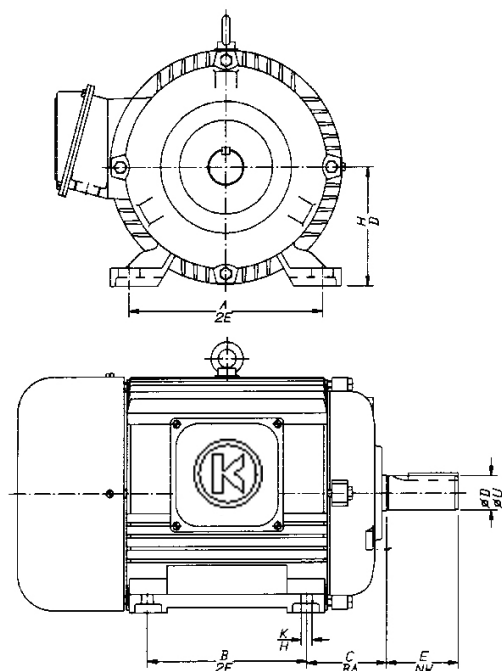


Figura 6.1 – Representação no motor das dimensões padronizadas

ABNT/IEC NEMA	H D	A 2E	B 2F	C BA	K H	Ø D Ø U	E NW
63	63	100	80	40	7	11j6	23
71	71	112	90	45	7	14j6	30
80	80	125	100	50	10	19j6	40
90 S	90	140	100	56	10	24j6	50
143 T	88,9	139,6	101,6	57,15	8,7	22,2	57,15
90 L	90	140	125	56	10	24j6	50
145 T	88,9	139,6	127	57,15	8,7	22,2	57,15
100 L	100	160	140	63	12	28j6	60
112 S	112	190	114	70	12	28j6	60
182 T	114,3	190,4	114,4	70	10,7	28,6	69,9
112 M	112	190	140	70	12	28j6	60
184 T	114,3	190,4	136,4	70	10,7	28,6	69,9
132 S	132	216	140	89	12	38k4	80
213 T	133,4	216	139,6	89	10,7	34,9	85,7
132 M	132	216	178	89	12	38k6	80
215 T	133,4	216	177,6	89	10,7	34,9	85,7
160 M	160	254	210	108	15	42k6	110
254 T	158,8	254	209,6	108	13,5	41,3	101,6
160 L	160	254	254	108	15	42k6	110
256 T	158,8	254	254	108	13,5	41,3	101,6
180 M	180	279	241	121	15	48k6	110
284 T	177,8	279,6	241,2	121	13,5	47,6	117,5
180 L	180	279	279	121	15	48k6	110
286 T	177,8	279,6	279,6	121	13,5	47,6	117,5
324 T	203,2	317	266,8	133	16,7	54	133,4
200 L	200	318	305	133	19	55m6	110
326 T	203,2	317,6	304,8	133	16,7	54	133,4
225 S	225	356	286	149	20	60m6	140
364 T	228,5	355,6	285,6	149	16,7	60,3	149,2
225 M	225	356	311	149	20	60m6	140
365 T	228,5	355,6	311,2	149	16,7	60,3	149,2
250 S	250	406	311	168	25	65m6	140
404 T	254	406,4	311,2	168	20,6	73	184,2
250 M	250	406	349	168	25	65m6	140
405 T	254	406,4	349,2	168	20,6	73	184,2
280 S	280	457	368	190	25	75m6	140
444 T	279,4	457,2	368,4	190	20,6	85,7	215,9
280 M	280	457	419	190	25	75m6	140
445 T	279,4	457,2	419,2	190	20,6	85,7	215,9
315 S	315	508	406	216	30	80m6	170
504 Z	317,5	508	406,4	215,9	31,8	92,1	269,9
315 M	315	508	457	216	30	80m6	170
505 Z	317,5	508	457,2	215,9	31,8	92,1	269,9

Tabela 6.1 Correspondência ABNT/IEC e NEMA

- Nota: 1. As dimensões não normalizadas podem variar entre os fabricantes.
2. Sob consulta à fábrica, a Kcel poderá fornecer motores conforme a norma NEMA.
3. As carcaças ABNT/IEC 63, 71, 80 e 100L não tem correspondente NEMA e a carcaça NEMA 324 T não tem correspondente ABNT/IEC.

6.2.1 Formas construtivas normalizadas

A tabela 6.2 identifica as diversas formas construtivas com sua simbologia, localização da ponta do eixo (com relação a carcaça e a caixa de ligação) e o tipo de fixação.

Forma construtiva	Designação	Carcaça	Ponta de eixo	Fixação
	B3	com pés	(E) á esquerda (D) á direita	bases ou trilhos
	B6	com pés	para frente	parede
	B7	com pés	para frente	parede
	B8	com pés	para frente	teto
	B5	sem pés	(E) á esquerda (D) á direita	flange F
	B35	com pés	(E) á esquerda (D) á direita	base ou flange F
	B14E	sem pés	á esquerda	flange C
	B34	com pés	(E) á esquerda (D) á direita	base ou flange C
	B14D	sem pés	á direita	flange C
	V5	com pés	para baixo	parede
	V6	com pés	para cima	parede
	V1	sem pés	para baixo	flange F
	V3	sem pés	para cima	flange F
	V15	com pés	para baixo	parede ou flange F
	V36	com pés	para cima	parede ou flange F
	V18	sem pés	para baixo	flange C
	V19	sem pés	para cima	flange C

Tabela 6.2 – Formas construtivas normalizadas – ABNT NBR 5031

6.2.2 Correspondência entre potência nominal, velocidade síncrona e carcaça

Para os motores de indução de aplicação geral, trifásicos, rotor de gaiola, grau de proteção IP44, IP54 ou IP55(IP56), classe térmica B ou F, categoria N, frequência nominal 60Hz, tensão nominal inferior ou igual a 600 V e altura de eixo 63 mm a 355 mm, as carcaças são padronizadas para cada combinação de potência nominal em regime contínuo e velocidade síncrona, conforme consta na tabela 6.3.

Potência nominal		Velocidade síncrona rpm			
kW	cv	3 600	1 800	1 200	900
		Carcaça			
0,18	1/4	63	63	71	80
0,25	1/3	63	63	71	80
0,37	1/2	63	71	80	90S
0,55	3/4	71	71	80	90L
0,75	1	71	80	90S	90L
1,1	1,5	80	80	90S	100L
1,5	2	80	90S	100L	112M
2,2	3	90S	90L	100L	132S
3,0	4	90L	100L	112M	132M
3,7	5	100L	100L	132S	132M
4,5	6,0	112M	112M	132S	160M
5,5	7,5	112M	112M	132M	160M
7,5	10	132S	132S	132M	160L
9,2	12,5	132M	132M	160M	180M/L
11	15	132M	132M	160M	180L
15	20	160M	160M	160L	180L
18,5	25	160M	160L	180L	200L
22	30	160L	180M	200L	225S
30	40	200M	200M	200L	225M
37	50	200L	200L	225M	250S
45	60	225S	225S	250S	250M
55	75	225M	225M	250M	280S
75	100	250M	250M	280S	280M
90	125	280S	280S	280M	315M
110	150	280M	280M	315M	315M
132	175	315S	315S	315M	355
150	200	315S	315S	315M	355
185	250	315M	315M	355	355
220	300	355	355	355	355
260	350	355	355	355	355
300	400	-	355	355	
330	450	-	355	355	
370	500	-	355		

Tabela 6.3 – Relação entre Carcaça x (Potência e velocidade)

6.3 Caixa de ligação

As caixas de ligação, ou caixas de terminais, são empregadas para ligação dos motores aos circuitos de alimentação. As caixas de ligação dos motores Kcel permitem fácil acesso com amplo espaço para as ligações, são de ferro fundido (da carcaça 63 a 315 S/M) deslocáveis de 90° em 90° com furos roscados "RWG". Opcionalmente pode-se ter a placa de bornes, utilizada para facilitar a ligação, figura 6.2.

Carcaça	Standard	Opcional	Opcional
63	1/2" RWG	PG 13,5	-
71	1/2" RWG	PG 13,5	-
80	1/2" RWG	PG 16	-
90S	3/4" RWG	PG 16	3/4" NPT
90L	3/4" RWG	PG 16	3/4" NPT
100L	3/4" RWG	PG 16	3/4" NPT
112M	1" RWG	PG 21	3/4" NPT
132S	1" RWG	PG 21	1" NPT
132M	1" RWG	PG 21	1" NPT
160M	1 1/2" RWG	2x PG 29	1 1/4" NPT
160L	1 1/2" RWG	2x PG 29	1 1/4" NPT
180M	1 1/2" RWG	2x PG 29	1 1/2" NPT
180L	1 1/2" RWG	2x PG 29	1 1/2" NPT
200M/L	2x 2" RWG	2x PG 29	2" NPT
225S/M	2x 2" RWG	2x PG 42	3" NPT
250S/M	2x 2" RWG	2x PG 42	3" NPT
280S/M	2x 2" RWG	2x PG 42	2x 3" NPT
315S/M	2x 3" RWG	2x PG48	2x 3" NPT

Tabela 6.4 – Relação entre a carcaça e o tipo de rosca de ligação

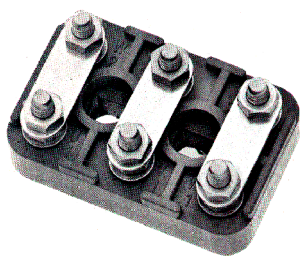


Figura 6.2 – Placa de bornes

6.4 Balanceamento

Conforme a norma ABNT NBR-8008, balanceamento é o processo que procura melhorar a distribuição de massa de um corpo, de modo que este gire em seus mancais sem forças de desbalanceamento.

Tipos de balanceamento

As principais aplicações por tipo de balanceamento são apresentadas na tabela abaixo:

Balanceamento	Tipo de máquina
Normal (N)	Máquinas sem requisitos especiais, tais como: Máquinas gráficas, laminadores, britadores, bombas centrífugas, máquinas têxteis, transportadores, etc.
Reduzido (R)	Máquinas de precisão para trabalho sem vibração. Tais como: Máquinas a serem instaladas sobre fundamento isolado a prova de vibração, mandriladoras e fresadoras de precisão, tornos, furadeiras de coordenadas, etc.
Especial (S)	Máquinas para trabalho de alta precisão, tais como: retíficas, balanceadoras, mandriladora de coordenadas, etc.

Tabela 6.5 – Tipos de balanceamento

A tabela 6.6 especifica a classe de qualidade aplicável a alguns tipos de rotores.

Classe de qualidade	Exemplo de aplicação em rotores
G. 6,3	rotores normais de motores elétricos
G. 2,5	rotores de motores elétricos médios e grandes com requisitos especiais
G. 1 (balanceamento de precisão)	rotores de motores pequenos com requisitos especiais

Tabela 6.6 – Principais aplicações de classe de balanceamento para rotores

6.5 Vibração

A vibração de uma máquina elétrica está intimamente relacionada com sua montagem e por isso é geralmente desejável efetuar as medições de vibração nas condições reais de instalação e funcionamento. Contudo, para permitir a avaliação do balanceamento e da vibração de máquinas elétricas girantes, é necessário efetuar tais medições, com a máquina desacoplada, sob condições de ensaio determinadas conforme itens 6.5.1 a 6.5.2 de forma a permitir a reprodutibilidade dos ensaios e obtenção de medidas comparáveis.

6.5.1 Suspensão livre

Esta condição é obtida pela suspensão da máquina por uma mola ou pela montagem desta máquina sobre um suporte elástico (molas, borrachas, etc.). A deformação da base elástica em função da rotação da máquina deve ser no mínimo igual aos valores da tabela 6.7, e no máximo igual a 50% da altura total da base. A massa efetiva do suporte elástico não deve ser superior a 1/10 daquela da máquina, afim de reduzir a influência da massa e dos momentos de inércia das partes do suporte elástico sobre o nível de vibração medido.

Rotação nominal (rpm)	Deformação elástica (mm)
3600	1,0
1800	4,5
1200	10
900	18

Tabela 6.7 – Deformação da base elástica

6.5.2 Chaveta

Para o balanceamento e medição da severidade de vibração de máquinas com o rasgo de chaveta na ponta de eixo, este rasgo deve ser preenchido com meia chaveta, recortada de maneira a preenchê-lo até a linha divisória entre o eixo e o elemento a ser acoplado.

Nota: Uma chaveta retangular de comprimento idêntico ao da chaveta utilizada na máquina em funcionamento normal e meia altura normal (que deve ser centrada no rasgo de chaveta a ser utilizado) são aceitáveis como práticas alternativas.

6.5.3 Pontos de medição

As medições da severidade de vibração devem ser efetuadas sobre os mancais, na proximidade do eixo, em três direções perpendiculares, com a máquina funcionando na posição que ocupa sob condições normais (com eixo horizontal ou vertical).

A localização dos pontos de medição e as direções a que se referem os níveis da severidade de vibração estão indicadas na figura 6.3.

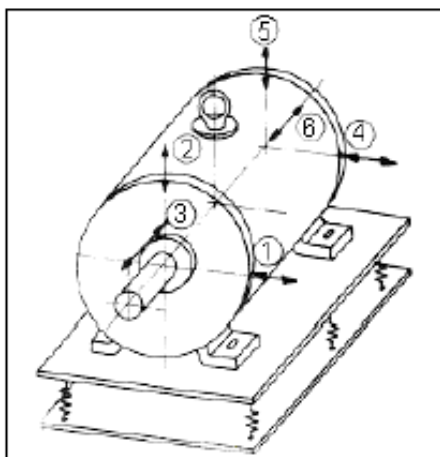


Figura 6.3 – Pontos de medição de vibração

Apesar do processo de balanceamento, sempre ocorre um desbalanceamento residual que gera vibrações nos motores. A tabela 6.6. indica o limite máximo de vibração para motores elétricos (suspensão livre, suporte elástico) em função da altura do eixo e da sua velocidade nominal, dentro dos 3 graus de qualidade denominados por "N" (normal), "R" (reduzido) e "S" (especial), conforme NBR 11.390 e IEC 60.034-14

Grau de qualidade	Velocidade nominal (rpm)	Máximo valor de velocidade efetiva de vibração (mm / s)		
		56 ≤ H ≤ 132	160 ≤ H ≤ 225	250 ≤ H ≤ 400
"N"	600 a 1800	1,8	1,8	2,8
	1800 a 3600	1,8	2,8	4,5
"R"	600 a 1800	0,71	1,12	1,8
	1800 a 3600	1,12	1,8	2,8
"S"	600 a 1800	0,45	0,71	1,12
	1800 a 3600	0,71	1,12	1,8

Tabela 6.8 – Limite recomendados de severidade de vibração

"H" distância da base do motor até a ponta do eixo

6.6 Níveis de ruído

As normas NEMA, IEC e NBR especificam limites máximos de níveis de potência sonora em decibéis na escala de ponderação A, dB (A) para ruídos de máquinas girantes transmitidos através do ar:

As tabelas 6.9A e 6.9B especificam a potência sonora máxima de acordo com as normas NEMA e IEC (ABNT NBR 7565).

CARCAÇA		Tipo de proteção e rotação							
		IP 55 (IP56)				IP 21			
NEMA	IEC	3600	1800	1200	900	3600	1800	1200	900
134T - 145T	90	87	70	64	67	76	70	65	67
182T - 184T	112	91	74	67	69	80	72	67	69
213T - 215T	132	94	79	71	72	82	76	72	70
254T - 256T	160	96	84	75	76	84	80	76	73
284T - 286T	180	98	88	80	80	86	80	81	76
324T - 326T	200	100	92	83	83	89	84	83	79
364T - 365T	225	101	95	87	86	94	86	86	81
404T - 405T	250	102	98	91	89	98	89	88	84
444T - 445T	280	104	102	96	93	101	93	91	87

Tabela 6.9A – Potência sonora máxima de acordo com a norma NEMA MG 1.12-49

Graus de proteção		IP 21	IP 54	IP 21	IP 54	IP 21	IP 54	IP 21	IP 54	IP 21	IP 54	IP 21	IP 54
Velocidade nominal - rpm		N < 960		960 < N ≤1320		1320< N≤1900		1900<N≤ 2360		2360<N≤3150		3150< N ≤ 3750	
Faixas de potências nominais. P		Nível de potência sonora dB (A)											
Motores													
kW	cv												
P < 1,1	P < 1,5	71	76	75	78	78	80	80	82	82	84	85	88
1,1 < P < 2,2	1,5 < P< 3,0	74	79	78	80	81	83	83	86	85	88	89	91
2,2 < P < 5,5	3,0 < P < 7,5	77	82	81	84	85	87	86	90	89	92	93	95
5,5 < P < 11	7,5 < P < 15	81	85	85	88	88	91	90	94	93	96	97	99
11 < P < 22	15 < P < 30	84	88	88	91	91	95	93	98	96	100	99	102
22 < P < 37	30 < P < 50	87	91	91	94	94	97	96	100	99	103	101	104
37 < P < 55	50 < P < 75	90	93	94	97	97	99	98	102	101	105	103	106
55 < P < 110	75 < P < 150	94	96	97	100	100	103	101	105	103	107	104	108
110 < P < 220	150 < P < 300	97	99	100	103	103	106	103	108	105	109	106	110
220 < P < 630	300 < P < 860	99	101	102	105	106	108	106	110	107	111	107	112
630 < P < 1100	860 < P < 1500	101	103	105	108	108	111	108	112	109	112	109	114
1100 < P < 500	1500 < P < 3400	103	105	108	110	110	113	109	113	110	113	110	115
250 < P < 6300	3400 < P < 8600	105	108	110	112	111	115	111	115	112	115	111	116

Tabela 6.9B – Potência sonora máxima de acordo com a norma IEC 34-9 e NBR 7565

6.7 Placa de identificação

A placa de identificação deve estar fixada ao motor em local de fácil visualização e de acordo com a norma NBR 7094, e deve conter:

- nome e/ou marca do fabricante;
- modelo (MOD) atribuído pelo fabricante;
- número de série (nº) e/ou código de data de fabricação;
- denominação principal do equipamento: "motor de indução" e tipo do motor (de gaiola ou de anéis);
- número de fases;
- número desta Norma (ABNT NBR 7094), quando o motor nela se enquadrar;
- designação da carcaça da máquina, quando esta se enquadrar na ABNT NBR 5432;
- grau de proteção proporcionado pelo invólucro conforme a ABNT NBR 9884 (IP-XX);
- classificação térmica (ISOL). Quando as classificações térmicas do estator e do rotor forem diferentes, ambas devem ser marcadas com a do estator em primeiro lugar;
- classe de características nominais ou regime-tipo do motor (REG), quando esta(s) for(em) diferente(s) do regime contínuo (regime-tipo S1);
- potência(s) nominal(is);
- tensão(ões) nominal(is). Duas tensões nominais X e Y devem ser marcadas X/Y;
- frequência nominal;
- corrente(s) nominal(is), com marcação similar à das tensões;
- velocidade(s) de rotação nominal(is);
- diagrama de ligações, para motores cuja ligação possa ser feita de vários modos. Este diagrama deve estar marcado na placa de identificação ou marcado próximo à caixa de ligações ou no interior desta;
- sobre velocidade admissível, quando diferente de 1,2 vez a velocidade nominal;
- fator de potência nominal;
- tensão entre anéis coletores em circuito aberto e corrente rotórica sob condições nominais, para motores de anéis (SEC);
- rendimento nominal para motores categorias N e H;
- categoria, quando aplicável, conforme seção 8 (CAT);

- razão da corrente com rotor bloqueado para a corrente nominal, devendo ser indicada a maior razão no caso de motores de várias velocidades (Ip/In);
- 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 na norma ABNT NBR 7094;
- altitude para a qual o motor foi projetado, quando superior a 1 000 m (ALT);
- fator de serviço, quando diferente de 1,0;
- massa total aproximada do motor, quando superior a 30 kg;
- números dos rolamentos;
- sentido de rotação para motores previstos para funcionamento em um único sentido de rotação;





				Motor de Indução				Cos ϕ 0,82															
				Trifásico de Gaiola				Rend 91,0%															
				ALTO RENDIMENTO																			
CV	10,0	kW	7,5	Hz	60	25,9 A				14,9 A				12,9 A									
MOD	132 S	<Empty>				ME- 3995				29,6 AFS				17,0 AFS				14,8 AFS					
Cód: 40753420000												ΔΔ 220 V				YY 380 V				Δ 440 V			
RPM	1780	REG	S1	ISOL	B	10 11 12				10 11 12				10 11 12									
CAT	N	FS	1,15	AMB	40 °C	4 5 6				4 5 6				4 5 6									
IP	56	IP/IN	8,5	Kg	65	8 9 7				8 9 7				8 9 7									
RoILA	6308	RoILOA 6207				2 3 1				2 3 1				2 3 1									
<Empty>												L1 L2 L3				L1 L2 L3				L1 L2 L3			
												PROCEL				NBR 7094							
REGULAMENTO - RESP/004-MOT												RENDIMENTO E FATOR DE POTENCIA APROVADOS PELO INMETRO											

Figura 6.3 – Placa de identificação

6.8 Pintura

Motores Standard

- Fundo: pintura por imersão com tinta fundo alquídica.
 - Acabamento: pintura por pistola com esmalte sintético alquídico.
- Em casos especiais, sob consulta à fábrica, o cliente pode solicitar pintura exclusiva.

6.9 Terminais de aterramento

Os motores de indução devem ser fornecidos com um terminal de aterramento ou outro dispositivo para permitir a conexão de um condutor de proteção ou um condutor de aterramento. Os motores Kcel fechados possuem dentro de sua caixa de ligação um terminal de aterramento composto por um parafuso cilíndrico com arruela, para os motores abertos, o aterramento é feito através de um terminal. Deve-se realizar o aterramento afim de se prevenir (evitar) os riscos de choque-elétrico.

6.10 Transmissão da potência

Existem diversas formas de se transmitir a potência gerada no eixo do motor para a carga. A forma utilizada determinará o rendimento mecânico e a vida útil dos mancais. Deve-se prever no projeto a utilização de transmissões que não causem grandes esforços sobre os mancais, observar que os mancais não sejam submetidos a cargas desnecessárias.

Os tipos de transmissões relacionando suas características e cuidados são:

6.10.1 Transmissão por acoplamento direto

Dividem-se em rígidos e elásticos e suas principais características são: baixo custo, segurança, ausência de deslizamento e a não ocorrência de cargas radiais sobre os rolamentos, para isto o eixo do motor deve estar perfeitamente alinhado com o eixo da máquina acionada.

a) Acoplamento rígido

Exige precisão no alinhamento entre o eixo do motor e o eixo do equipamento. Caso contrário, provoca vibração excessiva, grandes esforços sobre os rolamentos e, em casos mais críticos, a ruptura do eixo. Para verificar desalinhamento axiais e radiais deve-se fazer o alinhamento utilizando relógios comparadores colocados um em cada semilua, conforme figura 6.4

A melhor forma de se conseguir um alinhamento correto é usar relógios comparadores, colocados um em cada semilua, um apontando radialmente e outro axialmente. Assim é possível verificar simultaneamente o desvio de paralelismo (figura 6.4a) e o desvio de concentricidade (figura 6.4b), ao dar-se uma volta completa nos eixos. Os mostradores não devem ultrapassar a leitura de 0,03mm.

Importante: Alinhar cuidadosamente as pontas de eixos, usando acoplamento flexível, sempre que possível, deixando folga mínima de 3mm entre os acoplamentos

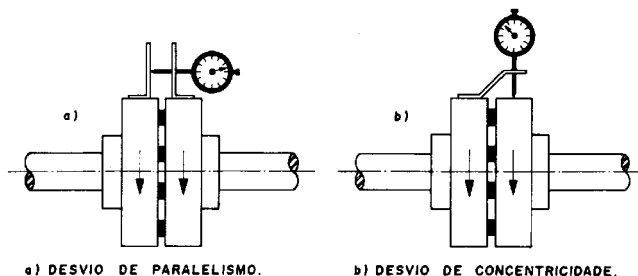


Figura 6.4 – Verificação de desalinhamentos axiais e radiais

b) Acoplamento elástico

É a melhor opção porque compensa pequenos movimentos longitudinais, radiais e diferenças angulares dos eixos, além de absorver choques de partida e reversão.

6.10.2 Transmissão por polia/correia

Existem basicamente três tipos; correia plana, trapezoidal ou em “V” e dentada. Estas são usadas quando se deseja transmissão de potência com relação de velocidade a baixo custo.

a) Correia plana

Deve ser evitada por causar maior força radial sobre os rolamentos. Necessita estar perfeitamente tencionada para não ocorrerem deslizamentos e requer o uso de tensores.

b) Correia trapezoidal ou em “V”

É a mais recomendada devido a pequena tensão para transmitir o movimento. Não desliza devido ao efeito de cunha sobre a polia.

c) Correia dentada

Utilizadas quando se deseja sincronismo entre a polia motora e a polia conduzida, não exigem pré-tensão devido ao engrenamento entre polia e correia.

A tensão correta para as correias, pode ser verificada pressionando e medindo conforme indica a figura 6.5. A deflexão deverá ser de 1,6mm aproximadamente para cada 100mm de distância entre os centros dos eixos.

x → Deflexão máxima (mm)

L → Distância entre centros dos eixos (mm)

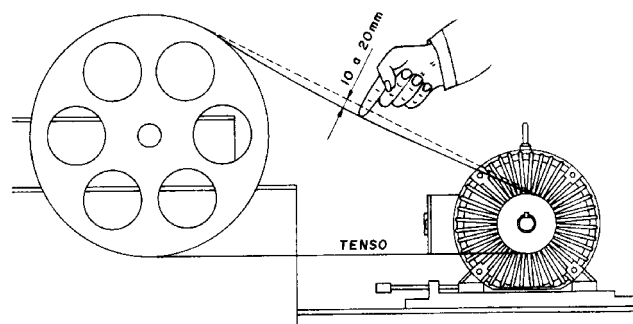


Figura 6.5 – Verificação da tensão na correia

Importante:

Montagem de polias: para a montagem de polias em pontas de eixo com rasgo de chaveta e furo roscado na ponta, a polia deve ser encaixada até na metade do rasgo da chaveta apenas com esforço manual do montador.

Para eixos sem furo roscado, recomenda-se aquecer a polia cerca de 80°C. Deve ser evitado o uso de martelos na montagem de polias e rolamentos para evitar marcas nas pistas dos rolamentos. Estas marcas, inicialmente são pequenas, crescem durante o funcionamento e podem evoluir até danificar totalmente.

Deve-se evitar esforços radiais desnecessários nos mancais, situando os eixos paralelos entre si e as polias perfeitamente alinhadas.

Correias que trabalham lateralmente enviesadas, transmitem batidas de sentido alternante ao rotor, e poderão danificar os encostos do mancal. O escorregamento da correia poderá ser evitado com aplicação de um material resinoso, como o breu.

A tensão na correia deverá ser apenas suficiente para evitar o escorregamento no funcionamento.

Deve ser evitado o uso de polias demasiadamente pequenas porque estas provocam flexões no eixo do motor, devido ao fato de que a tração na correia aumenta a medida que diminui o diâmetro da polia.

É indicado na tabela 6.8 os valores de diâmetros mínimos recomendados para correias trapezoidais ou em "V".

Carcaça	Rolamento	Distância "d" em (mm) da carga radial "F1"					
		20	40	60	80	100	120
		Diâmetro mínimo primitivo da polia					
63	6201 - ZZ	40					
71	6203 - ZZ	40	40				
80	6204 - ZZ	40	40				
90	6205 - ZZ	63	71	80			
100	6206 - ZZ	71	80	90			
112	6306 - ZZ	71	80	90			
132	6308 - ZZ		100	112	125		
160	6309 - ZZ		140	160	180	200	
180	6310 - Z			160	180	200	221
200	6312 - Z			200	224	250	280

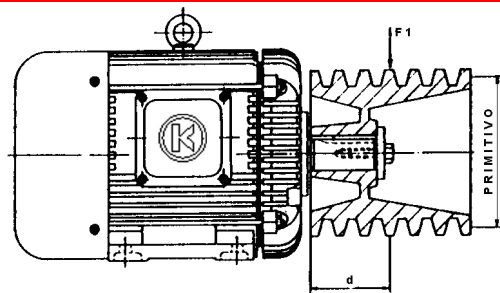


Figura 6.8 Representação das dimensões "d" e do diâmetro mínimo que constam na tabela.

Velocidade máxima para correias "V" 35 m/s.

Velocidade periférica maiores que 35 m/s usar polias de aço.

Carcaça	d em (mm)		50	80	110	140
	Rolamento	Pólos	Diâmetro mínimo primitivo			
225	6313	2	190	200	212	224
	6313	4, 6 e 8	250	265	280	300
250	6314 Z	2	224	233	250	265
	6314 Z	4, 6 e 8	375	400	425	450
280	6314	2	300	315	335	355
	6316	4, 6 e 8	500	530	560	600

Tabela 6.10 – Diâmetro mínimo primitivo

Obs.: Para motores de 50 Hz multiplica-se o diâmetro obtido na tabela 6.8 por 0,83.

6.11 Esforços sobre mancais

São divididos em dois tipos; segundo o sentido de aplicação da força:

Carga axial → Quando a força atua no sentido do eixo

Carga radial → Quando a força atua perpendicularmente.

Deve-se evitar cargas excessivas, porque reduzem a vida útil dos rolamentos.

A vida útil de um rolamento é aproximadamente 20.000 horas em 60Hz e 24.000 horas em 50Hz, respeitando as cargas axiais e radiais máximas admissíveis, conforme mostram as tabelas 6.9 e 6.10.

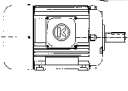
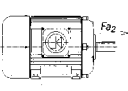
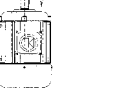
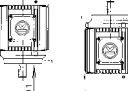
CARCAÇA	FORMA CONSTRUTIVA															
																
	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
63	20	30			20	30			20	30			20	30		
71	25	30			30	40			30	40			30	40		
80	30	40	45	50	35	50	60	70	25	35	40	45	35	45	55	70
90	40	50	60	70	40	55	65	75	35	45	55	65	35	50	60	70
100	40	55	65	90	55	75	90	100	35	45	55	80	50	70	80	95
112	55	75	90	100	75	110	125	145	45	65	75	90	65	100	115	135
132	70	100	115	130	115	155	185	210	55	70	90	100	100	150	160	185
160	115	155	185	210	145	235	240	270	90	130	160	185	120	210	215	245
180	115	155	185	210	130	175	210	240	70	110	140	165	85	130	165	195
200	170	225	270	310	220	300	360	410	110	165	210	250	160	240	300	350
225	170	225	270	310	250	335	400	455	80	135	180	220	160	245	310	365

Tabela 6.11 – Carga axial máxima admissível em (kgf) motores totalmente fechados IP55(IP56)

CARCAÇA	nº de pólos				Rolamentos utilizados	
	2	4	6	8	Lado Acionado	Lado não Acionado
63	25	30			6201 ZZ	6201 ZZ
71	35	40			6203 ZZ	6202 ZZ
80	40	55			6204 ZZ	6203 ZZ
90	40	55	60	70	6205 ZZ	6204 ZZ
100	60	80	90	100	6206 ZZ	6205 ZZ
112	106	130	150	170	6306 ZZ	6206 ZZ
132	130	160	190	200	6308 ZZ	6207 ZZ
160	160	200	230	260	6309 ZZ	6308 ZZ
180	210	270	310	350	6310 Z	6308 Z
200	240	320	370	420	6312 Z	6310 Z
225	310	420	450	510	6313 Z	6213 Z

Tabela 6.12 – Carga radial máxima admissível em (kgf), motores totalmente fechados IP55(IP56)

Obs: Os valores da tabela 6.10 mostra a carga radial máxima permitida concentrada na extremidade da ponta de eixo.

6.12 Tipos de fixação

A base de fixação deve ser perfeitamente plana para não danificar a estrutura dos pés. A base deve ser isenta de vibrações para não danificar os mancais e afrouxar os elementos de fixação.

O motor poderá ser fixado através dos seguintes dispositivos:

a) Bases deslizantes (trilhos)

Utilizadas quando a transmissão é feita por correia, pois permitem um ajuste perfeito da tensão da correia. A figura 6.7 mostra um motor em base deslizante.

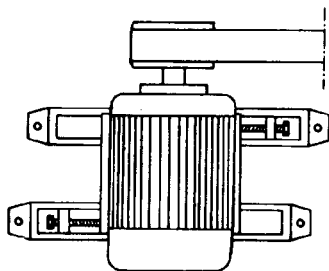


Figura 6.7 Motor montado sobre trilhos

b) Chumbadores

Usados quando o acionamento da carga é feito através de acoplamento elástico.

O controle de altura do eixo do motor em relação ao eixo do equipamento deve ser feito de calços colocados entre a fundação e os pés do motor.

Após correto alinhamento e nivelamento do motor, os chumbadores são concretados.

c) Base rígida

Usada quando o motor é fixado em bases metálicas ou diretamente no equipamento. Devem ser observados o perfeito alinhamento e nivelamento, antes da concretagem da mesma.

d) Flanges

Para correta fixação utilizando as flanges do motor deve-se prever um correto posicionamento dos furos de fixação, todos os furos da flange devem ser utilizados, para não haver concentração de esforços.

As dimensões da flange são normalizadas, e de acordo com a norma NBR 5432, podemos dividi-la em dois grupos:

1) Flange tipo C - Dimensões do flange tipo "C" (NEMA MG-1e DIN-42677) constam nas tabelas 6.11 e 6.12

The image shows a technical drawing of a centrifugal pump assembly. The left view is a front view showing the pump housing with a circular flange. The right view is a side view showing the pump motor and the pump housing. Dimensions are indicated: C (mm) for the flange diameter, øM (mm) for the motor shaft diameter, øN (mm) for the pump shaft diameter, øP (mm) for the pump housing diameter, S (mm) for the pump housing thickness, T (mm) for the motor shaft length, and 4 Furos (4 holes) for the mounting holes. The pump housing is labeled 'K'.

Forma Construtiva B 34 D

Carcapa ABNT	Flange	C (mm)	øM (mm)	øN (mm)	øP (mm)	S (mm)	T (mm)	Quant. Furos
63	C-90	40	75	60	90	M5	2,5	4 Furos
71	C-105	45	85	70	105	M6	3,0	
80	C-120	50	100	80	120	M8		
90 S	C-140	56	115	95	140			
90 L								
100 L	C-160	63	130	110	160	M10	3,5	
112 M		70						
132 S	C-200	89	165	130	200			
132 M								

Forma Construtiva B 34 D

Tabela 6.13 – Dimensões para flange tipo "C" conforme DIN-42677

Forma Construtiva B 34 D

Carcasa ABNT	Flange	C (mm)	øM (mm)	øN (mm)	øP (mm)	S (mm)	T (mm)	Quant. Furos		
63	FC-95	40	95.2	76.2	143	1/4"-20 UNC	4	4 Furos		
71		45								
80		50								
90 S	FC-149	56	149.2	114.3	165	3/8"-16 UNC				
90 L		63								
100 L										
112 M	FC-184	70	184.2	215.9	225	1/2"-13 UNC	6.3			
132 S		89								
132 M										
160 M	FC-228	108	228.6	266.7	280					
160 L										
180 M		121								
180 L	FC-279	133	279.4	317.5	358				5/8"-11 UNC	8 Furos
200 L										
225 S/M		149								
250 S/M	FC-355	168	355.6	406.4	455					
280 S/M		190								

Tabela 6.12 – Dimensões para flange tipo "C" conforme norma NEMA MG-1

2) Flange tipo F - Dimensões do flange tipo "F" conforme norma (NBR 5432) constam na tabela 6.13.

Forma Construtiva B 34 D

Carcasa ABNT	Flange	C (mm)	øM (mm)	øN (mm)	øP (mm)	S (mm)	T (mm)	Quant. Furos			
63	FC-95	40	95.2	76.2	143	1/4"-20 UNC	4	4 Furos			
71		45									
80		50									
90 S	FC-149	56	149.2	114.3	165	3/8"-16 UNC	4		4 Furos		
90 L		63									
100 L											
112 M	FC-184	70	184.2	215.9	225	1/2"-13 UNC	6.3			4 Furos	
132 S		89									
132 M											
160 M	FC-228	108	228.6	266.7	280	5/8"-11 UNC	6.3				4 Furos
160 L											
180 M		121									
180 L	FC-279		133	279.4	317.5	358	5/8"-11 UNC				
200 L											
225 S/M		149									
250 S/M	FC-355	168	355.6	406.4	455	5/8"-11 UNC	8 Furos				
280 S/M		190									

Tabela 6.13 – Dimensões para flange tipo "F" (NBR 5432)

7. Recepção e manutenção

7.1 Embalagens

Os motores Kcel são embalados de maneira a facilitar o manuseio e transporte, assim como protegê-los contra danos que possam ser causados durante estas operações. Dependendo do modelo, os motores são embalados em caixas de papelão e identificados externamente ou fixados pelos pés ou flanges em engradados de madeira com livre acesso aos dispositivos de suspensão, assim como a visualização dos dados constantes na placa de identificação (figura 7.1 e figura 7.2).

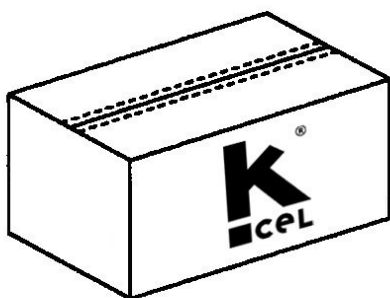


Figura 7.1 – Embalagens em caixa de papelão

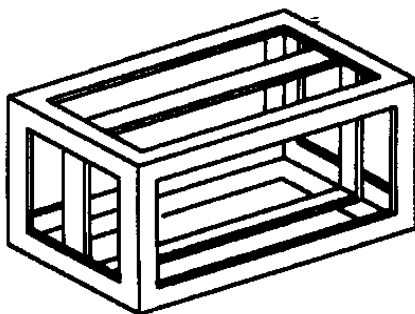


Figura 7.2 – Embalagens em engradado

7.2 Recebimento

Quando do recebimento do motor Kcel deve-se verificar se o produto corresponde ao especificado, e observar a existência de eventuais danos devidos ao transporte, tais como:

- mancais danificados;
- penetração de água;
- peças trincadas ou quebradas;
- falta de peças e/ou acessórios;
- pintura danificada;
- flange ou eixo danificados.

Antes de colocar o motor em funcionamento checar os seguintes itens:

- Observar se as ligações estão de acordo com o esquema de ligação impresso na placa de identificação;

- Verificar se a tensão e frequência estão de acordo com o indicado na placa de identificação;
- Verificar se o motor está devidamente aterrado;
- Com a carga desconectada, dar partida no motor e verificar o sentido de rotação. Se for preciso inverter o sentido de rotação, trocando de posição (na ligação) duas fases quaisquer para motores trifásicos, e para motores monofásicos verificar o esquema de ligação na placa de identificação;
- Com o sentido de rotação certo, acoplar o motor à carga.

Caso haja alguma irregularidade, entrar em contato imediatamente com o representante mais próximo ou fábrica.

7.3 Transporte e manuseio

Para o recebimento e transporte dos motores para depósito, devem ser tomados alguns cuidados especiais, os principais são:

- Transportar pequenas unidades preferencialmente em carrinhos com rodas de câmara de ar e em piso uniforme;
- Acondicionar grandes unidades em estrados de madeira, transportando-os com empilhadeira ou ponte rolante, suspendendo-os pelos olhais;
- Ao deslocar os motores, fazê-lo suavemente, pois existe o risco de danos nos rolamentos ou quebra de caixa de bornes, pés, tampa defletora, etc. A figura 7.3 ilustra uma das maneiras corretas de transporte.

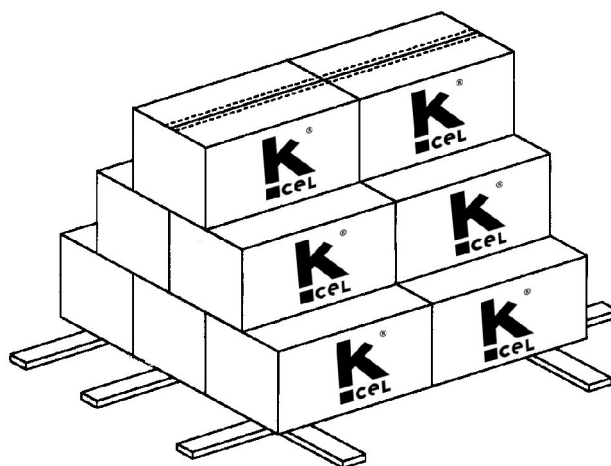


Figura 7.3 – Acondicionamento correto de motores

7.4 Armazenamento

O armazenamento de motores deve ser feito em lugar fresco, isento de gases, fungos, corrosivos, carvão, óleo, partículas abrasivas e excesso de poeira. Não deve-se permitir a presença de roedores ou insetos que possam danificar peças ou componentes dos motores. Evitar a proximidade de máquinas que provoquem excessivas vibrações, pois isto pode afetar os rolamentos dos motores. O armazenamento deve ser feito na posição de trabalho dos motores.

Os motores que forem armazenados por um período prolongado poderão sofrer desgaste prematuro e corrosão. Pode-se evitar a corrosão dos rolamentos girando o eixo com a mão em intervalos periódicos.

O tempo prolongado de armazenamento também provoca uma diminuição da resistência de isolamento, deve-se manter o controle com testes periódicos.

7.5 Manutenção

7.5.1 Manutenção preventiva

Manter um motor elétrico é preservar que as condições de uso sejam aproximadamente as mesmas que foram fixadas na sua seleção, projeto e instalação ou verificar que na utilização do motor as suas características nominais sejam mantidas.

Cuidados periódicos que prolongarão a vida útil do motor e que evitarão problemas futuros devem ser feitos de acordo com o tamanho, tipo, potência e ambiente onde está instalado o motor.

Fazer uma inspeção periódica visando principalmente a resistência do isolamento, desgastes mecânicos, elevação de temperatura, limpeza, lubrificação dos mancais.

A inspeção periódica deve ser feita por pessoas qualificadas, o motor deve estar desligado da rede de alimentação, o ambiente de trabalho limpo e todo o material utilizado deve ser o recomendado pelo fabricante.

7.5.2 Limpeza

Os motores elétricos devem ser mantidos limpos, isentos de poeiras, detritos e óleos. Em ambientes muito sujos ou com partículas em suspensão é recomendado instalar motores com grau de proteção adequado.

Para limpar os motores é recomendado utilizar escovas, jateamento de ar comprimido ou panos limpos de algodão, procurando sempre desobstruir as entradas e passagens de ar para melhor refrigeração do motor. O acúmulo de sujeira é uma provável causa de sobreaquecimento comprometendo a qualidade do motor.

7.5.3 Lubrificação

O objetivo da lubrificação dos rolamentos é a redução do atrito e do desgaste interno para evitar o superaquecimento. A graxa serve como veículo para o óleo adicionado, que efetivamente faz as funções de lubrificação. A falha mais freqüente não é a falta de lubrificação, mas a lubrificação excessiva, feita com quantidade de graxa maior que o recomendável.

A lubrificação em excesso acarreta elevação de temperatura, devido à grande resistência que oferece ao movimento das partes rotativas e principalmente devido ao batimento da graxa, que acaba por perder completamente suas características de lubrificação.

Isto pode provocar vazamento, penetrando a graxa no interior do motor e depositando-se sobre as bobinas ou outras partes do motor.

A graxa utilizada nos motores Kcel é a Polyrex EM, graxa de poliuréia especialmente desenvolvida para mancais de motores elétricos. Esta graxa apresenta boa compatibilidade com as graxas de lítio convencionais.

Importante:

- Não é recomendada a mistura de graxas;
- Caso seja utilizado outro tipo de graxa, consultar o fabricante.

Tipo	Fabricante	Carcaça	Temperatura
Polyrex EM	Mobil	63 a 315	-30°C a 170°C

7.5.3.1 Instruções para lubrificação

Injeta-se aproximadamente metade da quantidade total estimada da graxa e coloca-se o motor a girar durante aproximadamente 1 minuto a plena rotação, em seguida desliga-se o motor e coloca-se o restante da graxa.

A injeção de toda a graxa com o motor parado pode levar a penetração de parte do lubrificante no interior do motor.

É importante manter as graxas limpas antes da introdução da graxa a fim de evitar a entrada de materiais estranhos no rolamento.

Para lubrificação use exclusivamente pistola engraxadeira manual.

ETAPAS DE LUBRIFICAÇÃO DOS ROLAMENTOS

1. Limpar com pano de algodão as proximidades do orifício da graxeira;
2. Com o motor em funcionamento, adicionar a graxa por meio de uma pistola engraxadeira até ter sido introduzida a quantidade de graxa recomendada na tabela 7.1;
3. Deixar o motor funcionando durante o tempo suficiente para que se escoie todo o excesso de graxa;

Para motores com rolamentos do tipo ZZ (blindados) não há necessidade de relubrificação, pois, eles já vêm lubrificados de fábrica para sua vida útil normal e usam graxa Polyrex EM.

Em motores instalados na posição vertical (forma construtiva tipo "V"), a vida útil da graxa é reduzida em 50% e conseqüentemente, também, a do rolamento. A temperatura máxima de trabalho para estes rolamentos é de 70°C, havendo uma redução de 50% em sua vida útil para cada 15°C excedentes.

- Os períodos de lubrificação dependem da temperatura máxima de trabalho, do tipo do rolamento, da carga, da velocidade (rpm) e de outros fatores que podem afetar as propriedades da graxa.
- A tabela abaixo se destina ao período de relubrificação considerando temperatura do rolamento de até 70°C para motores da carcaça 180 a 200; e até 85°C para motores da carcaça 225 a 315. Para cada 15°C de elevação, o período de relubrificação deve ser reduzido pela metade.
- Os motores, quando utilizados na posição vertical, têm seu intervalo de relubrificação reduzidos em 50% em relação aos motores utilizados na posição horizontal.

Modelo/ carcaça	Rol. dianteiro	Rol. traseiro	Quantidade de graxa em gramas		Intervalo de lubrificação em horas para motores com rotação (rpm) de							
			Rol. dianteiro	Rol. traseiro	3600		1800		1200		900	
					D	T	D	T	D	T	D	T
180M e L	6310z	6308z	15	11	11500	15700	20000	20000	20000	20000	20000	20000
200M/L	6312z	6310z	21	15	9800	11500	20000	20000	20000	20000	20000	20000
225S/M	6313	6213	24	14	3600	9800	9700	20000	14200	20000	17300	20000
250S/M	6314z	6314z	27	27	3600	3600	9700	9700	14200	14200	17300	17300
280S/M	6314	6314	27	27	3600	3600	-----	-----	-----	-----	-----	-----
280S/M	6316	6316	34	34	-----	-----	8500	8500	12800	12800	15900	15900
315S/M	6314	6314	27	27	3600	3600	-----	-----	-----	-----	-----	-----
315S/M	6319	6316	45	34	-----	-----	7000	8500	11000	12800	14000	15900

Tabela 7.1 – Intervalo de lubrificação indicado para graxa Polyrex EM

Onde: D=Dianteiro e T=Traseiro.

7.6 Rolamentos e mancais

Em motores com lubrificação permanente (Rolamentos ZZ), por serem blindados, não devem ser relubrificados e sim substituídos.

Para rolamentos não blindados que não tenham condições de uso deve-se realizar a substituição dos mesmos, considerando que algumas peças podem ou não existir dependendo do modelo e ano de fabricação.

Os tipos de rolamentos utilizados nos motores Kcel são mostrados na tabelas 7.3a e 7.3b.

Carcaças	Rolamentos	
	Lado acionado	Lado não acionado
NEMA		
48	6203 Z	6202 Z
56	6203 Z	6202 Z
56H	6204 Z	6203 Z
182/4T	6206 Z	6204 Z

Tabela 7.3a – Rolamentos dos motores IP- 21

Carcaças	Rolamentos	
	Lado acionado	Lado não acionado
ABNT/IEC		
63	6201 ZZ	6201 ZZ
71	6203 ZZ	6202 ZZ
80	6204 ZZ	6203 ZZ
90 S	6205 ZZ	6204 ZZ - (*6203 ZZ)
90 L	6205 ZZ	6204 ZZ - (*6203 ZZ)
100 L	6206 ZZ	6205 ZZ - (*6204 ZZ)
112 M	6306 ZZ	6206 ZZ - (*6204 ZZ)
132 S	6308 ZZ	6207 ZZ - (*6204 ZZ)
132 M	6308ZZ	6207 ZZ - (*6204 ZZ)
160 M	6309 ZZ	6209ZZ
160 L	6309 ZZ	6308ZZ
180 M	6310 Z	6308Z
180 L	6310 Z	6308Z
200 L	6312 Z	6310Z
225 S/M	6313	6213
250 S/M	6314 Z	6314Z
280 S/M – 2 pólos	6314	6314
280 S/M – 4, 6 e 8 pólos	6316	6316
315 S/M – 2 pólos	6314	6314
315 S/M – 4, 6 e 8 pólos	6319	6316

Tabela 7.3b – Rolamentos dos motores IP55(IP56).

*Motores monofásicos.

7.6.1 Substituição de rolamentos

A desmontagem de um motor para trocar um rolamento somente deverá ser feita por pessoal qualificado.

A fim de evitar danos aos núcleos, será necessário, após a retirada da tampa do mancal, calçar o entreferro entre o rotor e o estator, com cartolina de espessura correspondente.

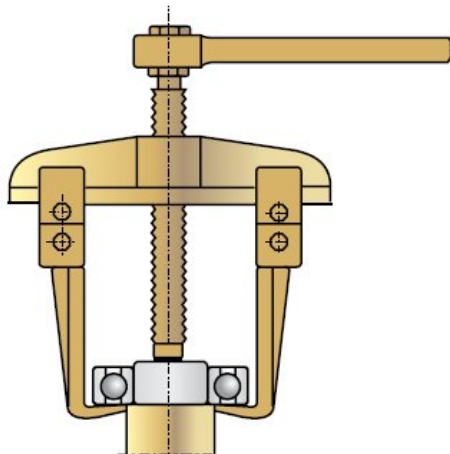


Figura 7.4 – Extrator de rolamentos

A desmontagem dos rolamentos não é difícil, desde que sejam usadas ferramentas adequadas (extrator de rolamentos). As garras do extrator deverão ser aplicadas sobre a face lateral do anel interno a ser desmontado, ou sobre uma peça adjacente. É essencial que a montagem dos rolamentos seja efetuada em condições de rigorosa limpeza e por pessoal qualificado, para assegurar um bom funcionamento e evitar danos. Rolamentos novos somente deverão ser retirados da embalagem no momento de serem montados. Antes da colocação do rolamento novo, se faz necessário verificar se o encaixe no eixo não apresenta sinais de rebarba ou sinais de pancadas. Os rolamentos não podem receber golpes diretos durante a montagem. O apoio para prensar ou bater o rolamento deve ser aplicado sobre o anel interno. Após a limpeza, proteger as peças aplicando uma fina camada de vaselina ou óleo nas partes usinadas, a fim de evitar a oxidação. Tomar o cuidado quanto às batidas e/ou amassamento dos encaixes das tampas e da carcaça e na retirada da caixa de ligação, evitando quebras ou rachaduras na carcaça.

7.7 Manutenção elétrica

7.7.1 Isolação

Um indicador do estado da isolação é a resistência de isolamento das bobinas. Não existe um valor mínimo de resistência de isolamento, pois este varia com o tipo, tamanho, tensão nominal, qualidade e condições do material isolante utilizado, etc.

A verificação do valor da resistência de isolamento pode ser feita por ohmímetros especiais de alta tensão, também conhecido por "megômetro". A medição é feita entre os terminais das bobinas e a carcaça, cuidando para que não sejam incluídas na medição outros componentes do motor, tais como: capacitores, contatos do platinado, protetores térmicos, etc.

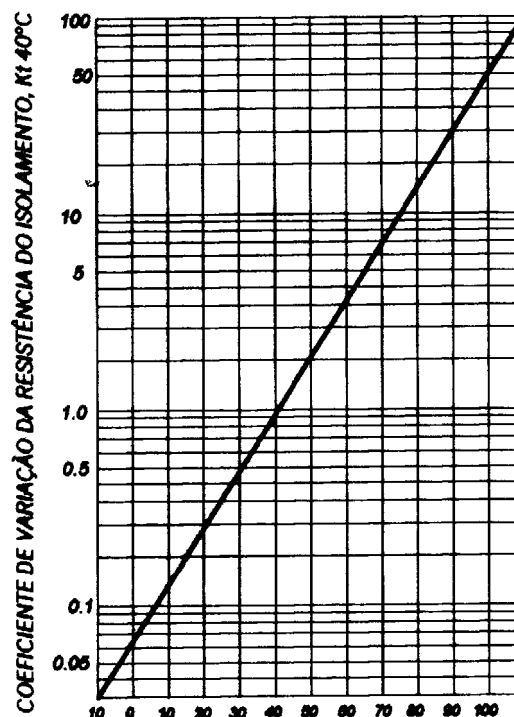
A expressão que segue é utilizada para indicar a ordem de grandeza, dos valores que podem ser esperados em máquina limpa e seca, a 40° C.

$$R_m = U_n + 1 \quad (M.\Omega)$$

R_m → Resistência mínima recomendada (1 M. Ω)

U_n → Tensão nominal da máquina, em kV

Caso o valor da temperatura ambiente seja diferente de 40° C, deve-se corrigir o valor obtido conforme o gráfico mostrado na figura 7.5



$$R(40^{\circ}C) = R_T \cdot K_T(40^{\circ}C)$$

Figura 7.5 – Gráfico para correção da resistência, $t_a \neq 40^{\circ}C$

No caso de não atingir o valor mínimo indicado, deve-se limpar as bobinas com jatos de ar comprimido.

Na hipótese da causa ser o excesso de umidade no isolamento pode-se usar um dos métodos seguintes:

- Luzes infravermelhas com incidência direta, cuidando para que a temperatura não ultrapasse 75° C.
- Circulação de corrente contínua ou alternada, aplicando um valor de tensão inferior ao nominal.
- Estufa.

Em todos os casos deve-se controlar a temperatura das bobinas para que não supere os valores limites correspondentes a sua classe de isolação.

7.7.2 Conexões

Deve-se controlar periodicamente as conexões e a rigidez dos terminais, para garantir a ausência de elementos frouxos que provoquem aquecimentos localizados excessivos, que inclusive pode provocar a inutilização da caixa de ligação, cabos de alimentação, dispositivos de partida e controle, através da elevação da temperatura.

7.8 Dimensionamento do condutor para alimentação de motores elétricos.

A seção dos condutores para alimentação de motores elétricos pode ser dimensionada a partir de dois métodos.

- Máxima queda de tensão admissível (utilizado, quando o motor é instalado longe do ponto de fornecimento de energia).

- Capacidade de condução de corrente.

A seção escolhida deve ser o maior resultado obtido para os dois casos.

7.8.1 Capacidade de condução de corrente

Para utilização desse método é necessário ter a corrente nominal do motor, estabelecer a maneira de como os condutores serão instalados, assim como, o tipo de isolamento dos cabos. Utilizando as tabelas 7.4a e 7.4b, pode-se obter a seção nominal do condutor para alimentação do motor. A seção mínima recomendada é de 1,5mm² e a capacidade de condução de corrente do condutor não deve ser inferior a corrente nominal do motor.

7.8.2 Máxima queda de tensão admissível

Admitindo uma queda de tensão máxima de 5% através das fórmulas abaixo, pode-se obter diretamente a seção nominal do condutor que será utilizado.

Motores monofásicos

$$S = \frac{2 \cdot k \cdot L \cdot I}{0,05 \cdot V_N}$$

Motores trifásicos

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot k \cdot L \cdot I}{0,05 \cdot V_N}$$

Onde: S = Seção do condutor em mm²

I = Corrente nominal do motor em (A)

V_N = Tensão de ligação do motor em (V)

k = Resistividade do material

$$\text{Cobre} \quad \frac{1}{56} \cdot \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{m}$$

$$\text{Alumínio} \quad \frac{1}{32} \cdot \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{m}$$

Obs.: Sempre que este método for utilizado, é necessário verificar se a seção calculada admite a corrente nominal do motor, caso não, deve-se utilizar o método da capacidade de condução de corrente

Seção mm ²	ISOLAÇÃO TIPO PVC 70°C				ISOLAÇÃO TIPO XLPE ou EPR			
	Maneiras de instalar							
	(1 a 7)		(8 a 13)		(1 a 7)		(8 a 13)	
	2 Cond.	3 Cond.	2 Cond.	3 Cond.	2 Cond.	3 Cond.	2 Cond.	3 Cond.
1,5	17,5	15,5	19,5	17,5	23	20	24	22
2,5	24	21	27	24	31	28	33	30
4	32	28	36	32	42	37	45	40
6	41	36	46	41	54	48	58	52
10	57	50	63	57	75	66	80	71
16	76	68	85	76	100	88	107	96
25	101	89	112	101	133	117	138	119
35	125	110	138	125	164	144	171	147
50	151	134	168	151	198	175	209	179
70	192	171	213	192	253	222	269	229
95	232	207	258	232	306	268	328	278
120	269	239	299	269	354	312	382	322
150	309	275	344	309	407	358	441	371
185	353	314	392	353	464	408	506	424
240	415	370	461	415	546	481	599	500
300	473	426	530	477	628	553	693	576

Tabela 7.4a – Capacidade de condução de corrente para 2 ou 3 condutores carregados.


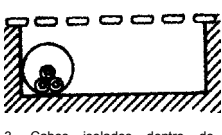

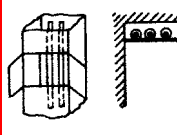
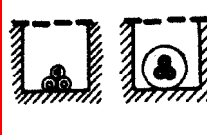
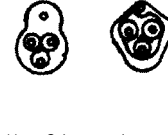
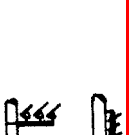
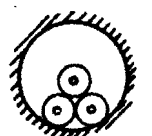
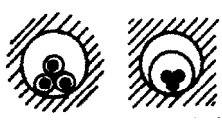
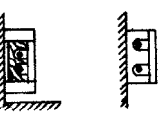
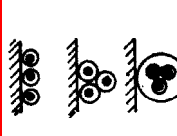
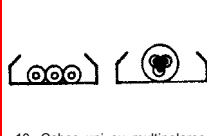

						
1. Cabos isolados dentro de eletrodutos em montagem aparente	3. Cabos isolados dentro de eletrodutos em canaleta (aberta ou ventilada)	5. Cabos isolados em calhas	7. Cabos uni ou multipolares em espaços de construção ou poços	9. Cabos uni ou multipolares com canaleta (aberto ou ventilada)	11. Cabos uni ou multipolares suspensos em cabo mensageiro	13. Cabos isolados em linhas aéreas
						
2. Cabos isol. dentro de eletr. embut. em gesso, alvenaria ou parede de cimento	4. Cabos uni ou multipolares em condutores formados na estrutura do prédio	6. Cabos isolados em molduras ou rodapés	8. Cabos uni ou multipolares fixados às paredes	10. Cabos uni ou multipolares em bandeja ou prateleiras	12. Cabos isolados instalados sobre isoladores	

Tabela 7.4b – Maneiras de instalar os cabos conforme - NBR 5410.

Exemplo 1: Motor trifásico, 5cv, 4 pólos, 220/380 Volts, ligado em 220 Volts com corrente nominal de 13,7 Ampéres a 100 metros de distância do ponto de fornecimento da energia.

Pelo método da queda de tensão (condutor de cobre)

$$S = \frac{1}{56} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 13,7}{0,05 \cdot 220}$$

$$S = 3,85 \text{ mm}^2$$

Pelo método da capacidade de condução de corrente

Instalação através de cabos isolados em linhas aéreas (tabela 7.4b) item nº 13, eletroduto de PVC - 70°C verificamos pela tabela 7.4a, que a seção necessária é de 1,5mm². Logo deve-se considerar o maior resultado encontrado, arredondando para a bitola imediatamente superior (encontrada comercialmente) utilizaremos 4,00mm².

Exemplo 2: Motor monofásico, 1,5cv, 110/220 Volts, ligado em 110 Volts, com corrente nominal de 20,0 Ampéres, a 10 metros de distância do ponto de fornecimento de energia.

Pelo método da queda de tensão

$$S = \frac{1}{56} \cdot \frac{2 \cdot 10 \cdot 120}{0,05 \cdot 110}$$

$$S = 1,3 \text{ mm}^2$$

Pelo método da capacidade de condução de corrente

Considerando a mesma maneira de instalar do exemplo anterior, encontramos pela tabela 7.4a

$$S = 2,5 \text{ mm}^2$$

A bitola utilizada deve ser de 2,5 mm².

Obs: As regras para dimensionamento de condutores citadas nesse manual, estão simplificadas, não servindo de orientação para instalações complexas, nesse caso deve-se procurar livros técnicos especializados em instalações elétricas.

7.9 Manutenção corretiva

Este tipo de manutenção é a mais elementar. Utilizada após o surgimento do problema, ocasionando a paralisação da máquina ou do setor inteiro dependendo da gravidade do problema.

Este modelo de manutenção não é o mais adequado para um sistema industrial organizado que precisa de uma segurança do setor produtivo, garantindo assim, o plano de produção.

7.10 Defeitos causas e providências

Os motores assíncronos são máquinas que quando funcionam de acordo com as condições para as quais foram projetados e fabricados e com uma manutenção adequada, praticamente não apresentam problemas ao usuário e oferece uma vida útil prolongada.

Quando o motor apresenta problemas geralmente são por falhas elétricas (bobinamento) e em menor escala por falhas mecânicas.

Quando for necessário o conserto, principalmente o rebobinamento, deve-se recorrer à assistência técnica Kcel mais próxima, ou consultar a assistência técnica da própria fábrica.

7.9.1 Defeitos mais freqüentes em motores

MOTOR NÃO PARTE	
Causas prováveis	Reparo
Fusível interrompido	Trocar fusível
Queda de tensão na linha do motor	Aumentar a seção do condutor
Sem tensão de alimentação	Verificar todas as ligações desde a alimentação, comando até a placa de bornes do motor
Chave manual ou disjuntor, mecanismo ou contato danificado	Abrir o aparelho revisar e consertar ou trocar
Rede fornece uma tensão muito baixa	Garantir que a tensão varie no máximo 10% da nominal do motor
Sobrecarga	Reduzir a carga ou trocar o motor
Ligações erradas	Seguindo a indicação do fabricante modificar a ligação

ALTO NÍVEL DE RUÍDO	
Causas prováveis	Reparo
Desbalanceamento	Rebalancear o rotor e a carga se necessário
Eixo torto	Trocar o conjunto do rotor. Rebalancear o rotor
Alinhamento incorreto	Fazer o alinhamento entre o motor e a máquina acionada
Sujeira no entreferro e ou no ventilador	Retirar a sujeira ou pó com um jato de ar seco.
Fixações do motor frouxas	Corrigir a fixação e substituir o rolamento se o ruído for persistente e excessivo
Rolamento	Limpar e lubrificar; se necessário substituir

SOBREAQUECIMENTO DO MOTOR	
Causas prováveis	Reparo
Sobrecarga	Reduzir a carga ou substituir o motor por outro de maior potência
Obstrução do sistema de ventilação	Limpar (desobstruir)
Partidas e reversões freqüentes	Substituir o motor por um adequado a aplicação
Desequilíbrio de fases	Verificar se há fusível queimado ou comando errado

Outros exemplos:**A) Curto-circuito**

A.1) Entre espiras: pode ser consequência de coincidirem casualmente dois pontos defeituosos na isolamento dos fios, ou resultarem de defeitos provocados simultaneamente em dois fios que correm lado a lado.

Dependendo da intensidade do curto, produz-se um zumbido magnético, além do motor sofrer um superaquecimento.

A.2) Contra a massa: Pode ser consequência da deterioração térmica, absorção de umidade, contaminação por substâncias químicas e vibração. Para localizar este defeito deve-se medir a resistência de isolamento, colocando um pólo em uma das fases e outro na massa. Na prática, admite-se como valor mínimo 1 M. Ω .

A.3) Entre fases: São consideradas as mesmas causas que no item anterior. Para a localização do defeito coloca-se um pólo em uma fase e outro pólo em outra fase.

B) Queima das fases

B.1) Uma fase do bobinamento queimada: Geralmente ocorre quando existe falta de tensão em uma das fases, enquanto o motor estiver em funcionamento e ligado em triângulo. A corrente diminui em duas fases, porém aumenta consideravelmente na outra, ao mesmo tempo em que a rotação cai acentuadamente, devido a queda de rotação a corrente aumentará mais até a queima total da fase.

Na maioria das vezes esses problemas são provocados pelo mal dimensionamento ou falta de proteção.

B.2) Duas fases do bobinamento queimadas: Ocorre quando existe falta de tensão em uma das fases, enquanto o motor estiver em funcionamento e ligado em estrela. Uma das fases não terá circulação de corrente, enquanto as outras duas passam a conduzir uma corrente demasiadamente elevada que provocará a queima das duas fases. As causas normalmente são idênticas ao item anterior.

B.3) Três fases do bobinamento queimadas: Ocorre geralmente quando existe sobrecarga mecânica ou elétrica, erro nas ligações, motores subdimensionados, sobre tensões e motores mal especificados no que se refere ao regime de trabalho.

As causas e as correções devem ser feitas de acordo com o problema, deve-se realizar uma análise cuidadosa sobre a proteção para evitar estes tipos de problema

C) Danos causados ao rotor

Quando o motor girar lentamente na partida, gerando ruído de intensidade variada e um valor de corrente alto a causa será quase sempre, interrupção em uma ou mais barras do rotor. Esta interrupção pode ser causada por excessivo número de partidas e reversões, ou por período de partida muito prolongado.

A solução consiste na troca do conjunto do rotor, analisar as causas que provocam os danos e eliminá-las.

7.11 Roteiro de manutenção

Não é possível definir um programa de manutenção, nem o período, para os diferentes modelos de motores elétricos. A experiência sobre o assunto, assim como o conhecimento do lugar de instalação, são fatores fundamentais para a seleção dos procedimentos e o período de realizá-los.

ROTEIRO DE MANUTENÇÃO		
Verificação	Procedimento	Periodicidade
Local da instalação	Verificar a presença de água, vapores, excesso de poeira e objetos obstruindo a ventilação do motor	Quinzenal
Condições mecânicas	Verificar ruídos ou vibrações nas tampas, junto aos rolamentos ou dentro do motor, examinar o sistema de transmissão verificando a lubrificação e alinhamento	Quinzenal
Terminais e parafusos	Verificar se há afrouxamento de terminais e parafusos	Mensal
Rolamentos	Trocar a graxa e verificar possíveis vazamentos	Semestral
Bobinas	Medir resistência do isolamento. Verificar possíveis aquecimentos e eliminar toda a poeira	Semestral
Condições mecânicas	Verificar as correias ou outro tipo de acionamento, se necessário efetuar a troca do mesmo, limpar as tampas, e a carcaça do motor. Verificar se o eixo está torto, o alinhamento, se há peças em atrito	Semestral
Cargas	Verificar se as cargas sofreram alterações de condições, ajustes errados, utilização errada ou problemas de comando, bem como as condições mecânicas da máquina acionada.	Semestral
Geral	Executar limpeza interna do motor, eliminando pontos de oxidação, substituir peças defeituosas e pintar.	Anual

Obs.: Recomenda-se que cada motor possua um registro, como fichas, cartões ou etiquetas, para que possam ser anotadas todas as manutenções executadas, peças trocadas e controle das datas dos reparos efetuados.

8. Anexos

Grandezas fundamentais

Abreviação	Prefixo	Ordem da grandeza	Abreviação	Prefixo	Ordem da grandeza
da	deca	10^1	d	deci	10^{-1}
h	hecto	10^2	c	centi	10^{-2}
k	quilo	10^3	m	mili	10^{-3}
M	mega	10^6	μ	micro	10^{-6}
G	giga	10^9	n	nano	10^{-9}
T	tera	10^{12}	p	pico	10^{-12}
P	peta	10^{15}	f	fento	10^{-15}
E	exa	10^{18}	a	atto	10^{-18}

Grandeza	unidade	símbolo	termo	unidade	símbolo
comprimento	metro	m	força	newton	N
massa	kilograma	kg	frequência	Hertz	Hz
tempo	segundo	s	potência	watt	W
corrente elétrica	ampère	A	carga elétrica	coulomb	C
temperatura	celsius	°C	resistência elétrica	ohm	Ω
intensidade luminosa	Candela	cd	tensão elétrica	volt	V
energia	joule	J			

Conversão de unidades

Unidades de comprimento

	mm	m	km	pol	pé	jarda
mm	1	0,001	10^{-6}	0,0393	$3281 \cdot 10^{-6}$	$1094 \cdot 10^{-6}$
m	1000	1	0,001	39,37	3,281	1,094
km	10^6	1000	1	39370	3281	1094
pol	25,4	0,0254	$25,4 \cdot 10^{-6}$	1	0,08333	0,02778
pé	304,8	0,3048	$304 \cdot 10^{-6}$	12	1	0,3333
jarda	914,4	0,9144	$914 \cdot 10^{-6}$	36	3	1

Unidades de área

	cm ²	dm ²	m ²	pol ²	pé ²	jarda ²
cm ²	1	0,01	0,0001	0,155	$1,076 \cdot 10^{-3}$	$1,197 \cdot 10^{-4}$
dm ²	100	1	0,01	15,5	0,1076	0,01196
m ²	10^4	100	1	1550	10,76	1,196
pol ²	6,452	0,06452	$64,5 \cdot 10^{-5}$	1	$6,94 \cdot 10^{-3}$	$0,772 \cdot 10^{-3}$
pé ²	929	9,29	0,0929	144	1	0,1111
jarda ²	8361	83,61	0,8361	1296	9	1

Unidades de volume

	cm ³	dm ³	m ³	pol ³	pé ³	jarda ³
cm ³	1	0,001	10^{-6}	0,06102	$3531 \cdot 10^{-6}$	$1,31 \cdot 10^{-6}$
dm ³	1000	1	0,001	61,02	0,03531	0,00131
m ³	10^6	1000	1	61023	35,31	1,307
pol ³	16,39	0,01639	$16,39 \cdot 10^{-6}$	1	-	-
pé ³	28320	28,32	0,0283	1728	1	0,037
jarda ³	765400	765,4	0,7654	46656	27	1

Unidades de massa

	g	kg	Mg	dracma	onça	lb
g	1	0,001	10^{-6}	0,5644	0,03527	0,002205
kg	1000	1	0,001	564,4	35,27	2,205
Mg	10^6	1000	1	$564,4 \cdot 10^3$	35270	2205
dracma	1,772	0,00177	-	1	0,0625	0,003906
onça	28,35	0,02835	-	16	1	0,0625
lb	453,6	0,4536	-	256	16	1

Unidades de potência

	W	kW	kp m/s	kcal/h	cv	HP
W	1	10^{-3}	0,102	0,860	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,341 \cdot 10^{-3}$
kW	1000	1	102	860	1,36	1,341
kp m/s	9,81	$9,81 \cdot 10^{-3}$	1	8,43	$13,3 \cdot 10^{-3}$	0,0131
kcal/h	1,16	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,119	1	$1,58 \cdot 10^{-3}$	$1,56 \cdot 10^{-3}$
cv	736	0,736	75	633	1	0,986
HP	746	0,746	76,04	642	1,014	1

Unidades de pressão

	Pa	N/mm ²	bar	kp/cm ²	Torr
Pa=1N/m ²	1	10^{-6}	10^{-5}	$1,02 \cdot 10^{-5}$	0,0075
N/mm ²	10^6	1	10	10,2	$7,5 \cdot 10^3$
bar	10^5	0,1	1	1,02	750
kp/cm ² =1at	98100	$9,81 \cdot 10^{-2}$	0,981	1	736
Torr	133	$0,133 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	1

Unidades de trabalho (energia)

	kW h	kcal	Btu	lb pé	kp m	J=Ws	Hp h
kW h	1	860	3413	$2,655 \cdot 10^6$	$367,1 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^6$	1,36
kcal	$1,163 \cdot 10^{-3}$	1	3,968	$3,087 \cdot 10^3$	426,9	4187	$1,58 \cdot 10^{-3}$
Btu	$293 \cdot 10^{-6}$	0,252	1	778,6	107,6	1055	-
lb pé	$376,8 \cdot 10^{-9}$	$324 \cdot 10^{-6}$	$1,286 \cdot 10^{-3}$	1	0,1383	1,356	-
kp m	$2,725 \cdot 10^{-6}$	$2,344 \cdot 10^{-3}$	$9,301 \cdot 10^{-3}$	7,233	1	9,807	$3,70 \cdot 10^{-6}$
J=Ws	$277,8 \cdot 10^{-9}$	$239 \cdot 10^{-6}$	$948,4 \cdot 10^{-6}$	0,7376	0,102	1	$0,378 \cdot 10^{-6}$
Hp h	0,746	641	-	-	$0,27 \cdot 10^6$	$2,65 \cdot 10^6$	1

Unidades de temperatura

$$t_c = \frac{5}{9}(t_f - 32) \quad \text{onde } t_c \text{ em } ^\circ\text{C (Celsius)}$$

$$t_k = t_c + 273,15 \quad t_k \text{ em K (Kelvin)}$$

$$t_f = \frac{9}{5} t_c + 32 \quad t_f \text{ em } ^\circ\text{F (Fahrenheit)}$$

Normas brasileiras aplicadas em motores elétricos

NBR - 5031 - Formas construtivas e montagens
NBR - 5110 - Métodos de resfriamentos
NBR - 5363 - Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas
NBR - 5383 - Máquinas de indução - Determinação das características - Métodos de ensaio
NBR - 5418 - Instalação elétrica em ambiente inflamável
NBR - 5432 - Dimensões e potências nominais
NBR - 9884 - Invólucros de equipamentos elétricos - Proteção
NBR - 7034 - Materiais isolantes elétricos - Classificação térmica
NBR - 7094 - Motores de indução
NBR - 7565 - Limites de ruídos
NBR - 7566 - Ruído - Método de medição
NBR - 8089 - Ponta de eixo cilíndrica e cônica de conicidade 1 : 10
NBR - 8441 - Correspondência entre potência nominal e dimensões
NBR - 8839 - Identificação dos terminais e do sentido de rotação

Linha de Produtos



Atualizado em 07/2008

KCEL MOTORES E FIOS LTDA
Divisão Motores e Geradores
Condomínio Perini Business Park

Rua Dona Francisca, 8300 - Bloco C - Módulos 5 e 6 - Distrito Federal - 89239-270

Fone: (47) 3481-3800 - Fax: (47) 3481-3899 - vendasmotores@kcel.com.br

www.kcel.com.br - 0800 47 53 44 - atendimento@kcel.com.br