

SIEMENS

MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

Guia rápido para uma especificação precisa

Edição 01.2006



1. INTRODUÇÃO

As máquinas de corrente contínua podem ser utilizadas tanto como motor quanto como gerador. Porém, uma vez que as fontes retificadoras de potência podem gerar tensão contínua de maneira controlada a partir da rede alternada, pode-se considerar que, atualmente, a operação como gerador fica limitada aos instantes de frenagem e reversão de um motor.

Atualmente, o desenvolvimento das técnicas de acionamentos de corrente alternada (CA) e a viabilidade econômica têm favorecido a substituição dos motores de corrente contínua (CC) pelos motores de indução acionados por inversores de frequência. Apesar disso, devido às suas características e vantagens, que serão analisadas adiante, o motor CC ainda se mostra a melhor opção em inúmeras aplicações, tais como:

- Máquinas de Papel
- Bobinadeiras e desbobinadeiras
- Laminadores
- Máquinas de Impressão
- Extrusoras
- Prensas
- Elevadores
- Movimentação e Elevação de Cargas
- Moinhos de rolos
- Indústria de Borracha
- Mesa de testes de motores

O objetivo deste texto é fornecer base técnica sobre o motor de corrente contínua – aspectos construtivos, princípio de funcionamento, controle de velocidade, vantagens e desvantagens –, e auxiliar o leitor em uma correta seleção. O capítulo 2 apresenta o motor CC e seus aspectos principais: aspectos construtivos, princípio de funcionamento, controle de velocidade, vantagens e desvantagens, oferecendo um conteúdo técnico suficiente para o leitor poder dimensionar um acionamento. O capítulo 3 contém uma série de fatores que influenciam a instalação do motor, tais como grau de proteção, tipos de refrigeração, forma construtiva, ciclo de carga, classes de temperatura, etc, com a finalidade de definir as características do motor que melhor se adequa ao ambiente de trabalho. Finalmente, o capítulo 4 mostra como selecionar corretamente um motor CC, a estrutura de códigos dos motores Siemens e um tutorial passo-a-passo na escolha do tipo adequado.

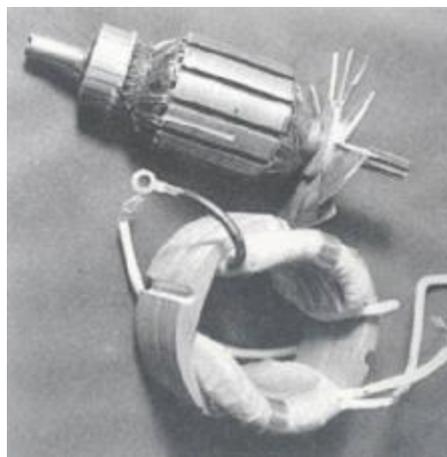
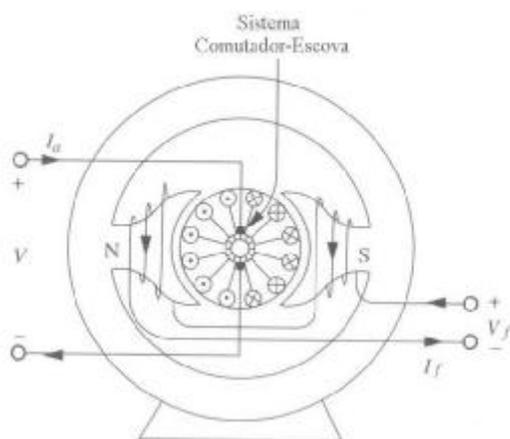
2. O MOTOR CC

2.1. Aspectos Construtivos

O motor de corrente contínua é composto de duas estruturas magnéticas:

- Estator (enrolamento de campo ou ímã permanente);
- Rotor (enrolamento de armadura).

O estator é composto de uma estrutura ferromagnética com pólos salientes aos quais são enroladas as bobinas que formam o campo, ou de um ímã permanente. A figura 1 mostra o desenho de um motor CC de 2 pólos com enrolamento de campo.



(a)

(b)

Fig. 1 –Desenho (a) e foto (b) de um motor CC de 2 pólos

O rotor é um eletroímã constituído de um núcleo de ferro com enrolamentos em sua superfície que são alimentados por um sistema mecânico de comutação (figura 2). Esse sistema é formado por um comutador, solidário ao eixo do rotor, que possui uma superfície cilíndrica com diversas lâminas às quais são conectados os enrolamentos do rotor; e por escovas fixas, que exercem pressão sobre o comutador e que são ligadas aos terminais de alimentação. O propósito do comutador é o de inverter a corrente na fase de rotação apropriada de forma a que o conjugado desenvolvido seja sempre na mesma direção.

Os enrolamentos do rotor compreendem bobinas de n espiras. Os dois lados de cada enrolamento são inseridos em sulcos com espaçamento igual ao da distância entre dois pólos do estator, de modo que quando os condutores de um lado estão sob o pólo norte, os condutores do outro devem estar sob o pólo sul. As bobinas são conectadas em série através das lâminas do

comutador, com o fim da última conectado ao início da primeira, de modo que o enrolamento não tenha um ponto específico.

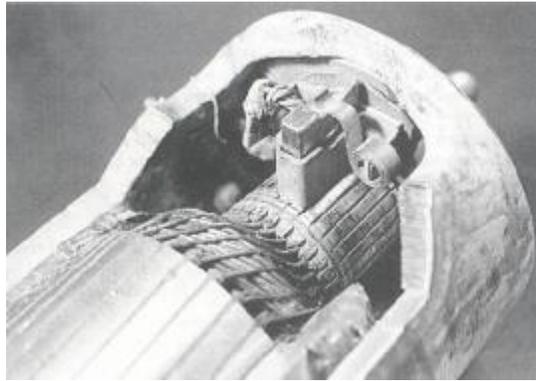


Fig. 2 – Sistema de Comutação

Todos os motores de corrente contínua da Siemens possuem uma estrutura magnética completamente laminada, sendo portanto adequados para utilização com conversor CA/CC, e no caso de processos com alta dinâmica, consegue-se uma taxa de aumento da corrente de até $250 \times I_N$ por segundo.

2.2. Princípio de Funcionamento

A figura 3 mostra, de maneira simplificada, o funcionamento do motor CC de dois pólos.

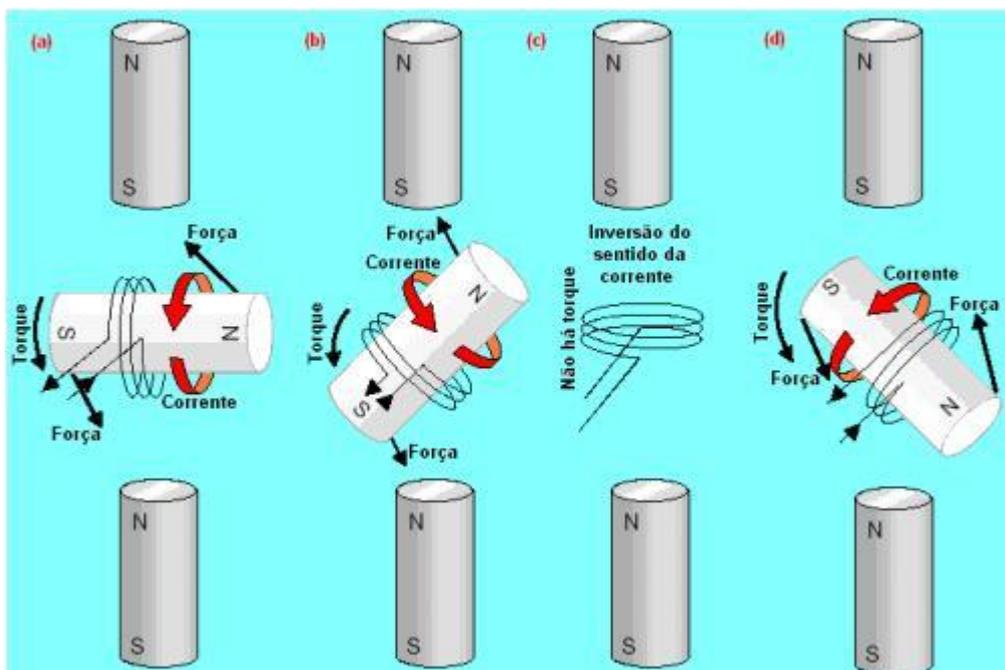


Fig. 3 – Princípio de funcionamento do motor CC

A figura acima é um desenho esquemático simples de um motor onde o estator é constituído por ímãs permanentes e o rotor é uma bobina de fio de cobre esmaltado por onde circula uma corrente elétrica. Uma vez que as correntes elétricas produzem campos magnéticos, essa bobina se comporta como um ímã permanente, com seus pólos N (norte) e S (sul) como mostrados na figura.

Começemos a descrição pela situação ilustrada em **(a)** onde a bobina apresenta-se horizontal. Como os pólos opostos se atraem, a bobina experimenta um torque que age no sentido de girar a bobina no sentido anti-horário. A bobina sofre aceleração angular e continua seu giro para a esquerda, como se ilustra em **(b)**.

Esse torque continua até que os pólos da bobina alcance os pólos opostos dos ímãs fixos (estator). Nessa situação **(c)** – a bobina girou de 90° – não há torque algum, uma vez que os braços de alavanca são nulos (a direção das forças passa pelo centro de rotação); o rotor está em equilíbrio estável (força resultante nula e torque resultante nulo). Esse é o instante adequado para inverter o sentido da corrente na bobina. Agora os pólos de mesmo nome estão muito próximos e a força de repulsão é intensa. Devido à inércia do rotor e como a bobina já apresenta um momento angular “para a esquerda”, ela continua girando no sentido anti-horário (semelhante a uma “inércia de rotação”) e o novo torque (agora propiciado por forças de repulsão), como em **(d)**, colabora para a manutenção e aceleração do movimento de rotação.

Mesmo após a bobina ter sido girada de 180° , situação não ilustrada na figura, o movimento continua, a bobina chega na “vertical” – giro de 270° –, o torque novamente se anula, a corrente novamente inverte seu sentido, há um novo torque e a bobina chega novamente à situação **(a)** – giro de 360° . E o ciclo se repete.

Essas atrações e repulsões bem coordenadas é que fazem o rotor girar. A inversão do sentido da corrente (comutação), no momento oportuno, é condição indispensável para a manutenção dos torques “favoráveis”, os quais garantem o funcionamento dos motores.

A comutação consiste na mudança de uma lâmina do comutador, onde as bobinas são ligadas em série, para a próxima. Durante esta comutação a bobina é momentaneamente curto-circuitada pelas escovas, o que ajuda a liberar energia a armazenada, antes de a corrente fluir no sentido oposto. Porém, como essa inversão de corrente não é instantânea, uma força eletromotriz é induzida na espira $\left(-L_a \frac{di_a}{dt}\right)$, o que origina uma corrente de curto-circuito que circula no coletor, nas espiras e nas escovas. Após o curto-circuito, a interrupção dessa corrente dá origem ao aparecimento de faíscas nos contatos das escovas com o coletor, que podem gerar arcos elétricos perigosos e que danificam o coletor, tendo portanto que ser eliminadas.

A fim de eliminar as faíscas, torna-se necessário induzir na espira, durante o curto-circuito, uma força eletromotriz que anule a resultante do processo de comutação, conseguido através dos pólos de comutação, de menores dimensões e situados sobre a linha neutra e percorridos pela mesma corrente do rotor. No entanto estes pólos, além de anularem o fenômeno da comutação,

enfraquecem o fluxo do estator – fenômeno chamado de “reação magnética do rotor”. Nas máquinas de grandes dimensões esse fenômeno é eliminado através dos enrolamentos de compensação que, ligados em série com o rotor e colocados na periferia dos pólos do estator, geram um fluxo com a mesma intensidade e sentido contrário do fluxo de reação, anulando-o.

A figura 4 mostra um desenho esquemático bastante simplificado de um motor CC com apenas uma bobina, o comutador e as escovas.

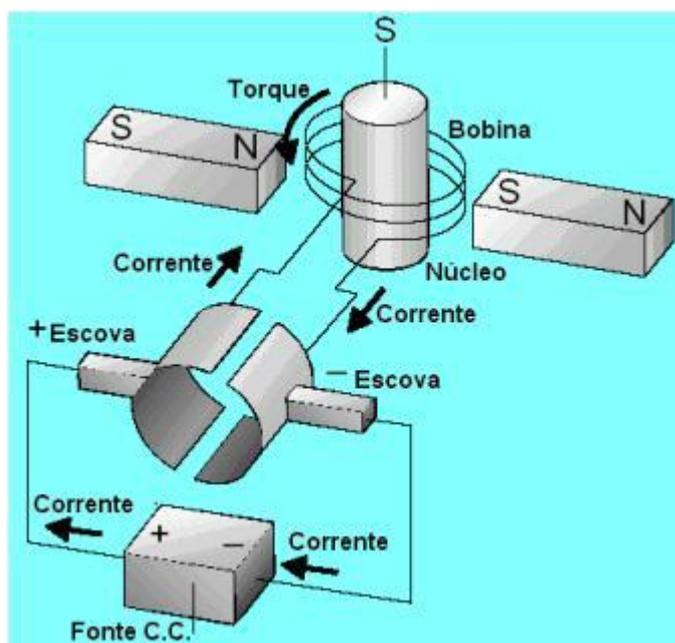


Fig. 4 – Comutador e escovas

Em sua forma mais simples, o comutador apresenta duas placas de cobre encurvadas e fixadas (isoladamente) no eixo do rotor; os terminais do enrolamento da bobina são soldados nessas placas. A corrente elétrica “chega” por uma das escovas (+), “entra” pela placa do comutador, “passa” pela bobina do rotor, “sai” pela outra placa do comutador e “retorna” à fonte pela outra escova (-). Nessa etapa o rotor realiza sua primeira meia-volta. Nessa meia-volta, as placas do comutador trocam seus contatos com as escovas e a corrente inverte seu sentido de percurso na bobina do rotor. E o motor CC continua girando, sempre com o mesmo sentido de rotação.

2.3. Controle de Velocidade nos Motores CC

O modelo do circuito elétrico do motor CC é ilustrado na figura 5.

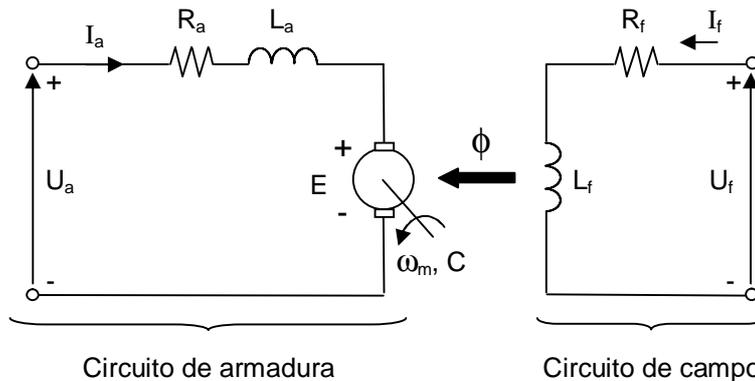


Fig. 5 – Modelo do circuito elétrico do motor CC

A Lei de Kirchhoff aplicada ao circuito de armadura resulta em:

$$U_a = R_a \cdot I_a + E \quad (1)$$

Onde: U_a = Tensão de armadura

R_a = Resistência da armadura

I_a = Corrente de armadura

E = Força Eletromotriz induzida ou Força Contra-Eletromotriz da armadura

Pela Lei da Indução de Faraday, a força eletromotriz induzida é proporcional ao fluxo e à rotação, ou seja:

$$E = k_1 \cdot f \cdot n \quad (2)$$

Combinando as eq. (1) e (2), a expressão para a velocidade do motor CC é dada por:

$$n = k_1 \frac{U_a - R_a \cdot I_a}{f} \quad (3)$$

Onde: n = velocidade de rotação

k_1 = constante que depende do tamanho do rotor, do número de pólos do rotor, e como essas pólos são interconectados.

ϕ = fluxo no entreferro

Admitindo-se que a queda de tensão na armadura é pequena, ou seja, $R_a \cdot I_a \cong 0$, a expressão (1) se reduz a:

$$n = k_1 \frac{U_a}{f} \quad (4)$$

Portanto, a velocidade é diretamente proporcional à tensão de armadura, e inversamente proporcional ao fluxo no entreferro.

O controle da velocidade, até a velocidade nominal¹, é feito através da variação da tensão de armadura do motor, mantendo-se o fluxo constante.

Velocidades superiores à nominal podem ser conseguidas pela diminuição do fluxo, mantendo-se a tensão de armadura constante.

Sabendo que o fluxo é proporcional à corrente de campo, ou seja:

$$f = k_2 \cdot I_f \quad (5)$$

Onde: $k_2 =$ constante

$I_f =$ corrente de campo

Tais velocidades são atingidas através da diminuição da corrente de campo, mantendo-se a tensão de armadura constante.

O conjugado do motor é dado por:

$$C = k_3 \cdot I_a \cdot f \quad (6)$$

Onde: $C =$ conjugado eletromagnético do motor

$k_3 =$ constante

Como dito anteriormente, o controle de velocidade, até à rotação nominal é feito através da variação da tensão da armadura, mantendo-se o fluxo constante. Dessa forma, observando-se a eq. (6) a corrente de armadura se eleva transitoriamente, de forma apreciável, de modo a produzir o conjugado total requerido pela carga, mais o conjugado necessário para a aceleração.

O conjugado acelerador incrementa a velocidade da máquina e, de acordo com a eq. (2), a força eletromotriz induzida no motor também aumenta. Assim, segundo a eq. (1), a corrente transitória cai até um ponto de equilíbrio, que corresponde à manutenção do torque exigido pela carga. Esse ponto de equilíbrio é definido pelo valor da tensão de armadura aplicado e pela queda

¹ A velocidade nominal do motor é definida através da corrente de armadura nominal pelos aspectos térmicos do dimensionamento do motor.

de tensão na resistência de armadura, como mostra a eq. (1). Se o conjugado requerido pela carga for constante, o motor tenderá a supri-lo, sempre absorvendo uma corrente de armadura também praticamente constante. Somente durante as acelerações provocadas pelo aumento da tensão, que transitoriamente a corrente se eleva para provocar a aceleração da máquina, retornando após isso, ao seu valor original. Portanto, em regime, o motor CC opera a corrente de armadura essencialmente constante também. O nível dessa corrente é determinado pela carga no eixo. Assim, no modo de variação pela tensão de armadura, até a rotação nominal, o motor tem a disponibilidade de acionar a carga exercendo um torque constante em qualquer rotação de regime estabelecida, como mostra a figura 6, que representa as curvas características dos motores CC. Esse torque pode ser qualquer, até o limite do valor nominal, que corresponde a uma corrente de armadura nominal, definida por aspectos térmicos de dimensionamento do motor.

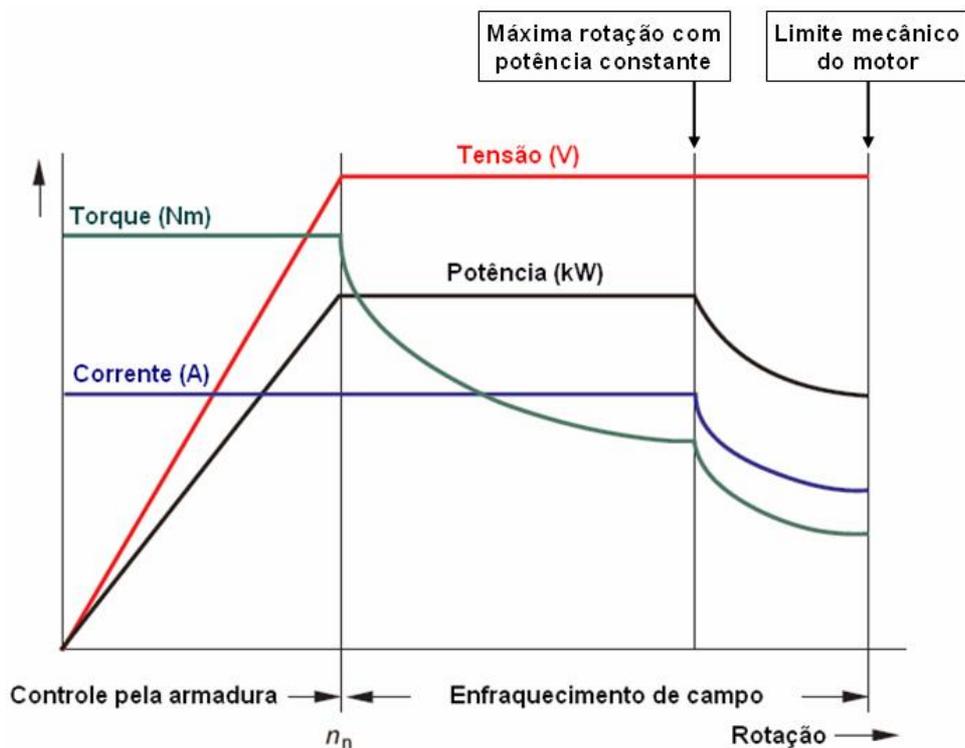


Fig. 6 – Curvas características de um motor CC

O controle da velocidade após a rotação nominal é feito variando-se o fluxo e mantendo a tensão de armadura constante e, por isso, chama-se zona de enfraquecimento de campo.

Pela eq. (4), para se aumentar a velocidade, deve-se reduzir o fluxo, existindo entre ambos, uma relação hiperbólica. Ainda, combinando as equações (4) e (6), tem-se:

$$C = \frac{k_4 \cdot U_a \cdot I_a}{n} \quad (7)$$

Portanto, acima da rotação nominal, como tensão e corrente de armadura são constantes, o conjugado é inversamente proporcional à rotação, como também pode ser visto na figura 6.

2.4. Tipos de Excitação

As características dos motores de corrente contínua são profundamente afetadas pelo tipo de excitação prevista. A tabela 1 apresenta os diferentes tipos de excitação e suas respectivas características.

Tabela 1 – Tipos de excitação dos motores CC

Tipo de excitação	Representação	Características
Série		<ul style="list-style-type: none"> • Bobinas de campo estão em série com o enrolamento da armadura • Só há fluxo no entreferro da máquina quando a corrente da armadura for diferente de zero (máquina carregada) • Conjugado é função quadrática da corrente, uma vez que o fluxo é praticamente proporcional à corrente de armadura • Conjugado elevado em baixa rotação • Potência constante • Velocidade extremamente elevada quando o motor é descarregado, por isso não se recomenda utilizar transmissões por meio de polias e correias
Paralelo		<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade praticamente constante • Velocidade ajustável por variação da tensão de armadura
Independente		<ul style="list-style-type: none"> • Motor excitado externamente pelo circuito de campo • Velocidade praticamente constante • Velocidade ajustável por variação da tensão de armadura e também por enfraquecimento de campo • São os motores mais aplicados com conversores CA/CC na indústria • Aplicações mais comuns: máquinas de papel, laminadores, extrusoras, fornos de cimento, etc.
Composta		<ul style="list-style-type: none"> • Enrolamento de campo independente • Apresenta um fluxo mínimo mesmo com o motor em vazio.

2.5. Vantagens e desvantagens dos acionamentos em corrente contínua

Dependendo da aplicação, os acionamentos em corrente contínua são geralmente os que apresentam os maiores benefícios, também em termos de confiabilidade, operação amigável e dinâmica de controle. Por outro lado, esse tipo de acionamento apresenta algumas desvantagens.

2.5.1 Vantagens

- Operação em 4 quadrantes com custos relativamente mais baixos
- Ciclo contínuo mesmo em baixas rotações
- Alto torque na partida e em baixas rotações
- Ampla variação de velocidade
- Facilidade em controlar a velocidade
- Os conversores CA/CC requerem menos espaço
- Confiabilidade
- Flexibilidade (vários tipos de excitação)
- Relativa simplicidade dos modernos conversores CA/CC

2.5.2 Desvantagens

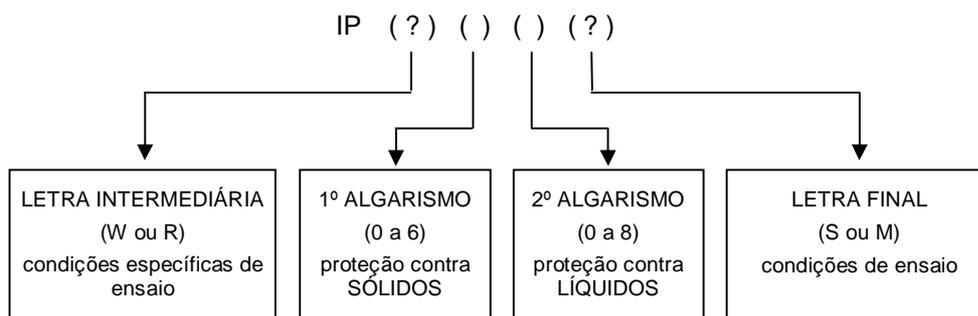
- Os motores de corrente contínua são maiores e mais caros que os motores de indução, para uma mesma potência
- Maior necessidade de manutenção (devido aos comutadores)
- Arcos e faíscas devido à comutação de corrente por elemento mecânico (não pode ser aplicado em ambientes perigosos)
- Tensão entre lâminas não pode exceder 20V, ou seja, não podem ser alimentados com tensão superior a 900V, enquanto que motores de corrente alternada podem ter milhares de volts aplicados aos seus terminais.
- Necessidade de medidas especiais de partida, mesmo em máquinas pequenas.

3. FATORES QUE INFLUENCIAM A SELEÇÃO DO MOTOR CC

3.1. Grau de proteção

As normas internacionais, tais como a DIN 40050, IEC 34-5 e VDE 0530/5, classificam os diferentes graus de proteção mecânica para os equipamentos elétricos. No Brasil, a norma vigente é a ABNT NBR 6146 (baseada na IEC 34-5), que além de classificar os graus de proteção, fornece os métodos de ensaio correspondentes.

O grau de proteção mecânica é identificado pelas letras "IP" seguidas de 2 algarismos característicos (tabela 2), podendo ainda, ou não, ser complementado por letras adicionais:



ALGARISMOS CARACTERÍSTICOS

Tabela 2 – Algarismos característicos que definem o Grau de Proteção

1º ALGARISMO	2º ALGARISMO
0 – máquina aberta	0 – máquina aberta
1 – sólidos ≤ 50mm	1 – pingos verticais
2 – sólidos ≤ 12mm	2 – pingos de 15°
3 – sólidos ≤ 2,5mm	3 – pingos de 60°
4 – sólidos ≤ 1mm	4 – pingos / respingos de qualquer direção
5 – proteção contra pó	5 – jatos d'água moderados
6 – blindagem contra pó	6 – jatos d'água potentes
	7 – sujeita à imersão
	8 – submersível

LETRAS SUPLEMENTARES

Intermediárias

- **W:** utilizada para condições atmosféricas específicas, segundo um acordo entre fabricante e usuário. Comumente utilizada para designar “máquinas a prova de tempo”, IPW 23, IPW 24 ou IPW 55.
- **R:** Utilizada especificamente para designar máquinas com ventilação através de dutos (IPR 23 ou IPR 44). Esta letra não está padronizada pela ABNT NBR 6146.

Finais

- **S:** indica que a máquina deve resistir ao ensaio de penetração de água em condições estáticas.
- **M:** Idem, em funcionamento.

3.2. Tipos de refrigeração

O tipo de refrigeração do motor, em conjunto com o grau de proteção, é determinado pelas exigências do ambiente de instalação. A seleção adequada do motor garante uma operação confiável e segura.

A figura 7 ilustra os tipos de motores de corrente contínua, de acordo com o tipo de refrigeração e grau de proteção, que a Siemens disponibiliza ao mercado.

Característica do Motor	Tipo	Tipo de Refrigeração			Grau de Proteção	
Motores abertos		De acordo com DIN IEC 34, Part 6			De acordo com DIN IEC 34, Part 5	
		1GF	Circuito aberto de ventilação Unidade de ventilação separada montada axialmente	IC 05	IP 23	
	Adequados para uso em ambientes internos, secos e com pouca poeira	1GG	Circuito aberto de ventilação Unidade de ventilação separada montada radialmente	IC 06	IP 23	
	1GH	Circuito aberto de ventilação Unidade de ventilação separada através dutos de ar	IC 17 IC 37	IP 23 IP 54		
Motores totalmente fechados	1HA	Circuito fechado de ventilação Auto-ventilado através de trocador de calor AR-AR	IC A01 A61	IP 54		
	1HC	Totalmente Fechado Sem ventilação forçada	IC 0041	IP 54		
	Adequados para uso externo ou ambientes com umidade ou poeira elevados	1HQ	Circuito fechado de ventilação Ventilação forçada através de trocador de calor AR-AR	IC A06 A66	IP 54	
	1HS	Circuito fechado de ventilação Ventilação forçada através de trocador de calor AR-ÁGUA	IC W37 A86	IP 54		

Fig. 7 – Tipos de motores de corrente contínua Siemens

3.3. Ciclo de carga

Muitas vezes, em lugar de um funcionamento contínuo, o motor elétrico (e a máquina elétrica em geral, incluindo os transformadores), é solicitado a diferentes potências durante diferentes intervalos de tempo.

Numa operação em regime intermitente, a carga varia com o tempo havendo, porém, repetição periódica de um ciclo de carga, dentro do qual a potência assume valores conhecidos. Em geral, um ciclo qualquer pode ser reduzido a uma sucessão de ciclos básicos compostos de duas etapas: a primeira, de aquecimento com temperatura final em regime permanente Θ_N , duração t_N e constante de tempo τ_N ; a segunda, de resfriamento, com valores correspondentes Θ_R , t_R e τ_R . A duração total do ciclo básico é t_N+t_R .

A fim de caracterizar os diferentes tipos de regimes a que uma máquina pode ser submetida, as normas brasileiras e internacionais tentam enquadrá-los em alguns tipos normalizados.

Regimes normalizados

A ABNT NBR 5457 define os regimes-tipo. O parâmetro de diferenciação dos regimes é a variação da carga com o tempo; paradas e frenagens elétricas também constituem um parâmetro de classificação desses regimes, mas reversões não são consideradas. Regimes reais são usualmente mais irregulares que os regimes tipo, porém, quando testando e estabelecendo o desempenho de um motor ou procedendo a sua seleção, o regime-tipo considerado é aquele que mais se aproxima do regime real do ponto de solicitação térmica.

3.5.1 O regime contínuo S1

No regime S1 (figura 8), o acionamento permanece em operação com potência constante por períodos muito maiores que muitas constante térmicas de tempo do motor que, quando é desligado, somente volta a ser religado após o motor ter entrado em equilíbrio térmico com o ambiente.

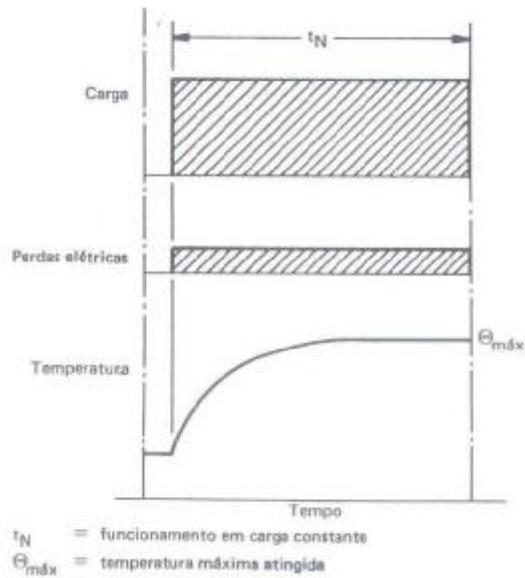


Fig. 8 – Regime contínuo (S1)

3.5.2 O regime de tempo limitado S2

No regime S2 (figura 9), as operações são de curta duração, e tão pouco freqüentes que certamente a temperatura do motor retornará a do ambiente antes de uma operação subsequente. Uma perfeita caracterização do regime S2 para a seleção do motor mais recomendado exige o conhecimento do tempo de funcionamento com carga constante (a ABNT NBR 7094 recomenda a seleção de tempos de 10, 30, 60 ou 90 minutos).

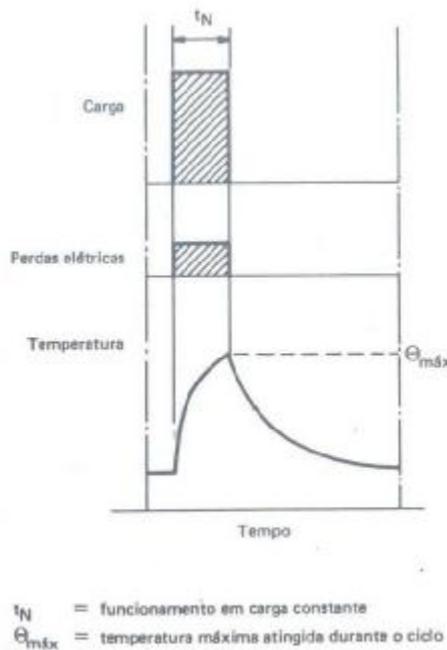


Fig. 9 – Regime de tempo limitado (S2)

3.5.3 Os regimes intermitentes S3 a S8

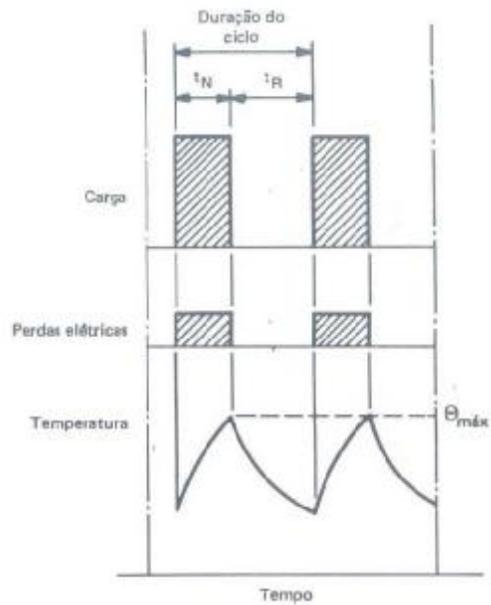
Nos regimes S3 a S8 (figuras 10 a 15) define-se o fator de duração do ciclo: é a relação entre o tempo de um ciclo em que o motor permanece fornecendo potência à carga (ou fica sendo frenado) e a duração total do ciclo.

A partir do conceito de fator de duração do ciclo, é usual caracterizar os regimes intermitentes S3 a S5 como de “carga com longa duração”, “carga de curta duração” e “de tempo curto”, respectivamente; este último verifica-se quando o número de manobras é muito grande por intervalo de tempo, mas quando a carga é solicitada por pouco tempo. Por outro lado, o regime intermitente S6 é usualmente caracterizado como contínuo com carga intermitente “por períodos longos” ou “por períodos curtos” ou ainda “com carga de curta duração”.

Deve-se notar que os regimes tipo S1 a S3 e S6 consideram não haver influência térmica no motor devido à partida.

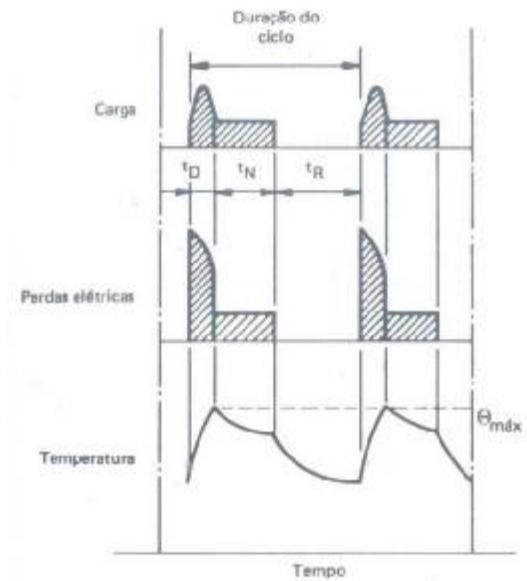
De maneira análoga ao exposto no regime S2, uma perfeita caracterização do regime para a seleção do motor mais recomendado exige o conhecimento de:

- Ø Para os regimes S2 a S6: o fator de duração do ciclo (15%, 25%, 40% e 60% são os mais recomendados)
- Ø Para o regime S7: cada uma das velocidades que compõem o ciclo, as correspondentes velocidades nominais e tempos de duração (10 min é o mais usual)
- Ø Para os regimes S4, S5, S7 e S8, pode ser necessário adicionalmente:
 - § O número de partidas por hora
 - § O número de frenagens por hora e forma de frenagem
 - § A inércia acionada (a ABNT NBR 7094 recomenda expressar este parâmetro pela constante de energia cinética H e pelo fator de inércia FI).



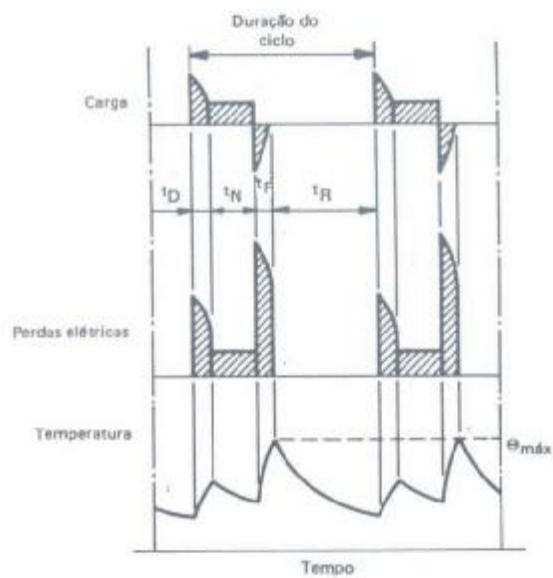
t_N = funcionamento em carga constante
 t_R = repouso
 $\theta_{máx}$ = temperatura máxima atingida durante o ciclo
 Fator de duração do ciclo = $\frac{t_N}{t_N + t_R} \cdot 100\%$

Fig. 10 – Regime intermitente periódico (S3)



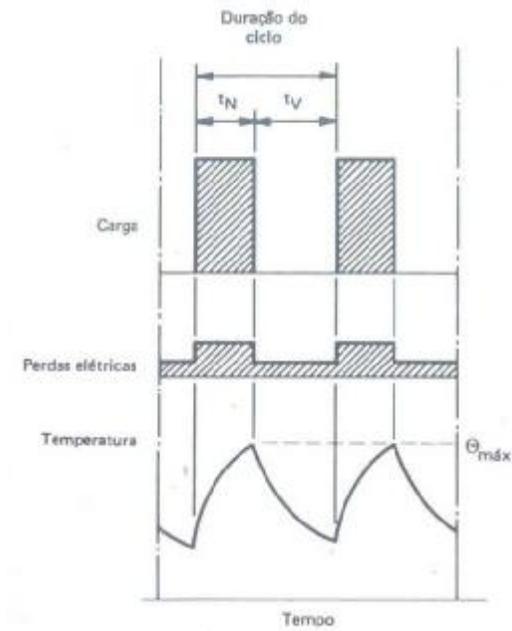
t_D = partida
 t_N = funcionamento em carga constante
 t_R = repouso
 $\theta_{máx}$ = temperatura máxima atingida durante o ciclo
 Fator de duração do ciclo = $\frac{t_D + t_N}{t_D + t_N + t_R} \cdot 100\%$

Fig. 11 – Regime intermitente periódico com partidas (S4)



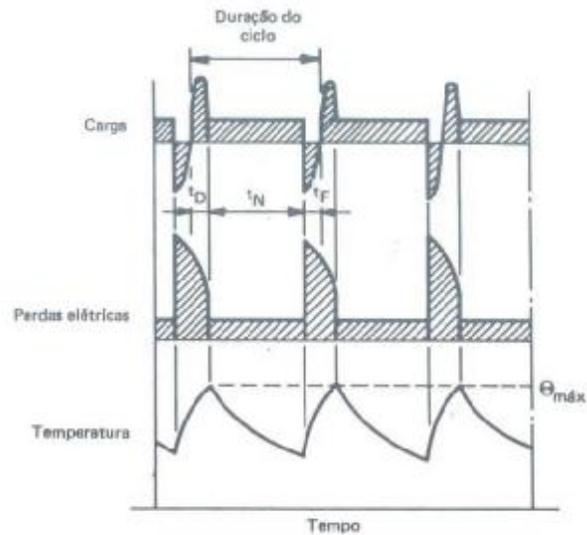
- t_D = partida
 - t_N = funcionamento em carga constante
 - t_F = frenagem elétrica
 - t_R = repouso
 - $\Theta_{máx}$ = temperatura máx. atingida durante o ciclo
- $$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_D + t_N + t_F}{t_D + t_N + t_F + t_R} \cdot 100\%$$

Fig. 12 – Regime intermitente periódico com frenagem elétrica (S5)



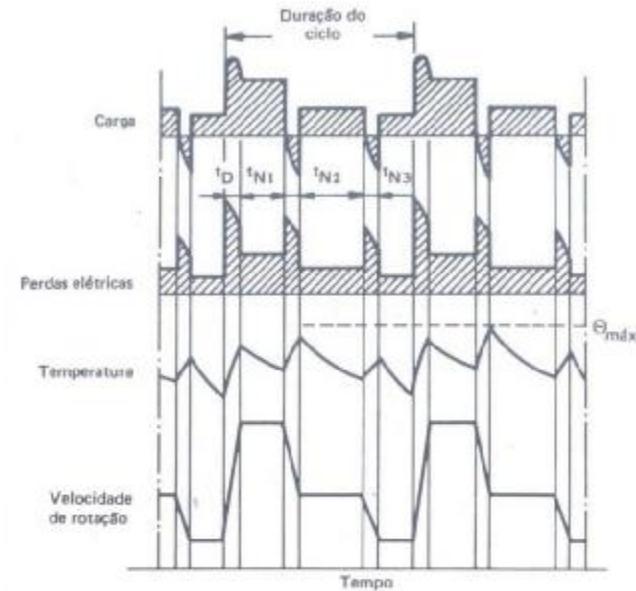
- t_N = funcionamento em carga constante
 - t_V = funcionamento em vazio
 - $\Theta_{máx}$ = temperatura máxima atingida durante o ciclo
- $$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_N}{t_N + t_V} \cdot 100\%$$

Fig. 13 – Regime de funcionamento contínuo com carga intermitente (S6)



- t_D = partida
- t_N = funcionamento em carga constante
- t_F = frenagem elétrica
- $\Theta_{máx}$ = temperatura máxima atingida durante o ciclo
- Fator de duração do ciclo = 1

Fig. 14 – Regime de funcionamento contínuo com frenagem elétrica (S7)



- t_{F1} t_{F2} = frenagem elétrica
- t_D = partida
- t_{N1} t_{N2} t_{N3} = temperatura máxima atingida durante o ciclo
- $\Theta_{máx}$ = funcionamento em carga constante

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_D + t_{N1}}{t_D + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}}$$

$$\frac{t_{F1} + t_{N2}}{t_D + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}} \cdot 100\%$$

$$\frac{t_{F2} + t_{N3}}{t_D + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}} \cdot 100\%$$

Fig. 15 – Regime de funcionamento contínuo com mudança periódica na relação carga/velocidade de rotação (S8)

3.4. Classe de Temperatura

As perdas elétricas e mecânicas em motores elétricos ocorrem com a subsequente transformação de tais perdas em energia térmica ocasionando o aquecimento das diversas partes da máquina. Para assegurar adequada operação da máquina, o aquecimento de cada uma de suas partes necessita ser mantido dentro de valores compatíveis.

A maior limitação é garantir adequado desempenho do sistema isolante dos enrolamentos, pois todos os materiais isolantes conhecidos começam a deteriorar a uma temperatura relativamente baixa. Dessa forma, a máxima potência disponível em dado motor é limitada pela máxima temperatura permissível para os materiais isolantes empregados. Os materiais isolantes que são presentemente utilizados em máquinas elétricas podem ser classificados termicamente, segundo a IEC Publ. 85, nas seguintes classes:

- **Classe A** – abrange materiais fibrosos, à base de celulose ou seda (tipicamente), impregnados com líquidos isolantes e outros materiais similares. A temperatura característica é de 105° C.
- **Classe E** – abrange algumas fibras orgânicas e sintéticas e outros materiais; sua temperatura característica é de 120° C.
- **Classe B** – abrange materiais à base de poliéster e poli-imídicos aglutinados com materiais orgânicos ou impregnados com estes. A temperatura característica dessa classe é de 130° C.
- **Classe F** – abrange materiais à base de mica, amianto e fibra de vidro, aglutinados com materiais sintéticos, usualmente silicones, poliésteres e epóxis. Temperatura característica de 155° C.
- **Classe H** – abrange materiais à base de mica, asbestos ou fibra de vidro, aglutinados tipicamente com silicones de alta estabilidade térmica, apresentando temperatura característica de 180° C.

Os materiais de classes B e F são usuais hoje, nos mercados nacional e internacional de motores elétricos; por razões econômicas, a utilização de materiais classe H é restrita principalmente a máquinas de corrente contínua, onde a redução na massa dos motores obtida com a utilização de materiais dessa classe apresenta vantagens de custo.

Sempre que se aborda a questão “temperatura do motor”, é necessário distinguir três parâmetros:

- A temperatura ambiente, associada à temperatura do meio refrigerante;
- A temperatura do enrolamento, ou seja, a temperatura média nas diferentes regiões do mesmo;
- A temperatura do ponto mais quente.

Na ausência de qualquer informação específica sobre a área onde serão instalados os motores, admite-se uma temperatura ambiente de 40° C. Considerações sobre a temperatura ambiente serão feitas no item 3.5.

A figura 16 ilustra as classes de temperatura dos motores descritas acima.

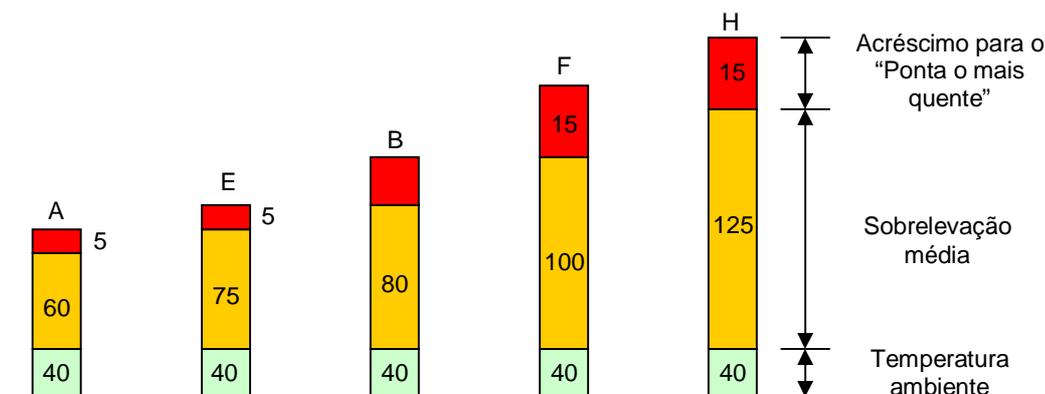


Fig. 16 – Classes de temperaturas dos motores elétricos

Os motores de corrente contínua da Siemens utilizam o sistema de isolamento **DURIGNIT 2000**, composto de materiais plásticos com alta capacidade de sobrecarga térmica e resistência mecânica. Além disso, ele atende aos requerimentos dos motores que operam em condições tropicais (clima quente e úmido).

Os motores dos tipos 1G.5 e 1H.5 pertencem à classe de temperatura F (sobrelevação de 100° C, com temperatura ambiente de 40° C). Para utilização como classe de temperatura B (sobrelevação de 80° C), deve-se aplicar um de-rating de 13%, ou seja, a potência fica limitada em 87% da potência nominal (106% da velocidade, apenas para as carcaças 100 a 160).

Os motores dos tipos 1G.6/1G.7 e 1H.6/1H.7 pertencem à classe de temperatura H (sobrelevação de 125° C, com temperatura ambiente de 40° C). Para utilização como classe de temperatura F (sobrelevação de 100° C), deve-se aplicar um de-rating de 8%, ou seja, a potência fica limitada em 92% da potência nominal (103% da velocidade).

3.5. Temperatura ambiente e altitude da instalação

Dois fatores extremamente importantes na caracterização do ambiente são a temperatura e a altitude de instalação do motor. A primeira define a temperatura do meio refrigerante no caso de motores que trocam calor com o ar ambiente; a segunda, como está relacionada com a densidade do ar, impõe condições à eficiência da dissipação.

3.5.4 A temperatura

Os sistemas isolantes, como já vistos, são idealizados para uma temperatura ambiente máxima de 40° C. Para temperaturas acima de 40° C, devem-se utilizar motores isolados com

materiais de classe de temperatura superior a sobrelevação. Observe a tabela 3 para calcular o decréscimo nos valores limites da sobrelevação nesses casos.

3.5.5 A altitude

À medida que os motores têm que operar a altitudes maiores, o decréscimo na densidade do ar leva a uma dissipação de calor inferior àquela verificada ao nível do mar; praticamente, na faixa de 0 a 1000m de altitude assume-se a dissipação constante, para uma dada temperatura ambiente.

Deve-se portanto, ter em mente que motores com sistemas isolantes de mesma classe de temperatura, operando em ambientes de mesma temperatura, mas de altitudes diferentes, desde que ambas sejam acima de 1000m, ou pelo menos uma delas, devem ter sobrelevações diferentes, isto é, aquele instalado à maior altitude deve ser solicitado a uma potência menor.

A tabela 3 procura sintetizar situações possíveis, quer para ambientes de até 1000m de altitude, como para aqueles acima de 1000m.

Tabela 3 - Efeitos da variação combinada da temperatura e altitude ambientes

Temperatura ambiente (do meio refrigerante)	Altitude ≤ 1000 m	1000 m < altitude ≤ 4000 m
$\theta < 30^\circ \text{ C}$	Os limites de sobrelevação são acrescidos de 10° C .	Os limites de elevação são acrescidos de 10° C e decrescidos de 1% para cada 100m acima de 1000m.
$30^\circ \leq \theta < 40^\circ \text{ C}$	Os limites de sobrelevação são acrescidos de $(40^\circ \text{ C} - \text{temperatura ambiente})$	Os limites de sobrelevação são acrescidos de $(40^\circ \text{ C} - \text{temperatura ambiente})$ e decrescidos de 1% para cada 100m acima de 1000m.
$\theta = 40^\circ \text{ C}$	Condição padrão	Os limites de sobrelevação são decrescidos de 1% a cada 100m acima de 1000m.
$40^\circ < \theta \leq 60^\circ \text{ C}$	Os limites de sobrelevação são decrescidos de $(\text{temperatura ambiente} - 40^\circ \text{ C})$	Os limites de sobrelevação são decrescidos de $(\text{temperatura ambiente} - 40^\circ \text{ C}) + 1\%$ do limite para cada 100m acima de 1000m.
$\theta > 60^\circ \text{ C}$	Exige projeto específico	Exige projeto específico

Para a seleção do motor CC na prática, a Siemens disponibiliza as curvas de redução de potência para instalações com temperaturas ambientes superiores a 40° C e altitudes superiores a 1000m (vide figura 17).

Além disso, como a redução da potência é resultado da redução das correntes de armadura e de campo, o motor passa a trabalhar na região de enfraquecimento de campo, tendo, portanto, sua velocidade de operação aumentada.

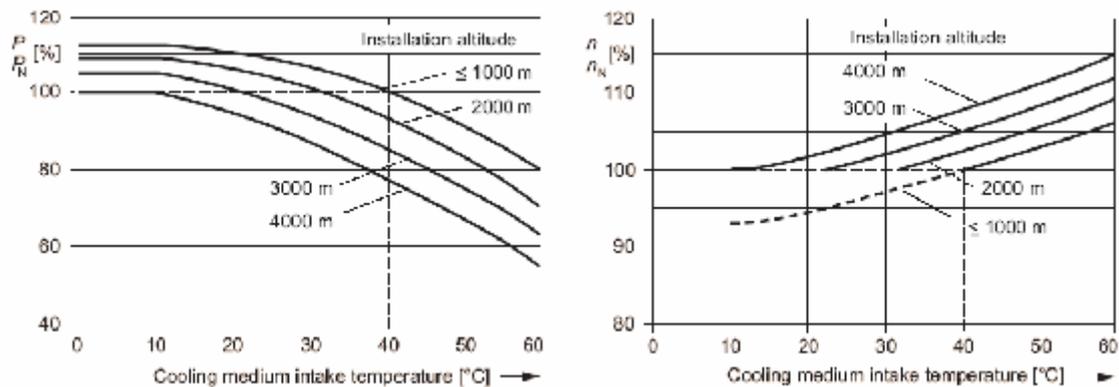


Fig. 17 – Curvas de redução da potência (dir.) e aumento da rotação (esq.) para temperaturas ambientes >40° C e altitudes >1000m.

3.6. Forma construtiva

Quando da instalação de motores elétricos, um aspecto primordial a ser considerado é a análise dos requisitos da máquina acionada quanto ao acoplamento e quanto ao tipo de transmissão de movimento. Por outro lado, a posição em que o motor deverá ser instalado é função não só das características mecânicas do equipamento acionado, mas também da disponibilidade de espaço no interior ou nos arredores da máquina acionada ou do local de instalação.

A norma internacional IEC Publ. 34-7 e ABNT NBR 5031 prescrevem recomendações quanto à identificação e classificação das formas construtivas e montagem. Tanto as recomendações internacionais IEC como a ABNT adotam como parâmetros para a classificação da forma construtiva:

- a) A forma de fixação do motor (a uma base, a trilhos, à própria máquina acionada)
- b) A existência ou não de mancais e de tampas laterais (ambas ou somente uma) e a própria disposição desses mancais e tampas, se existentes
- c) A existência ou não, de uma segunda ponta de eixo, além da existência ou não do eixo como parte do motor e não da máquina acionada (em alguns acionamentos o rotor do motor não tem eixo incorporado, sendo montado em extensão ou prolongamento do eixo da máquina acionada).

A tabela 4 apresenta a designação dos tipos de formas construtivas, associadas a um algarismo que constitui o primeiro dígito do denominado “Sistema de codificação II” (de formas construtivas e montagens). Este sistema é constituído das letras IM (abreviatura de “International Mounting Arrangement”) seguida de quatro algarismos, onde:

- O 1º algarismo indica o tipo de forma construtiva, conforme a tabela 4.
- O 2º algarismo está associado à forma de fixação:
 - § Existência de pés e/ou flanges;
 - § Existência ou não de tampas laterais (uma ou duas), ou utilização de mancais de pedestal.
- O 3º algarismo está associado à direção da linha do eixo e montagem, à existência de base comum à máquina e aos mancais de pedestal (havendo um ou dois mancais de pedestal), e à existência e posição de mancal de guia (quando o primeiro algarismo for 8).
- O 4º algarismo está associado ao tipo de ponta de eixo, conforme a tabela 5.

Tabela 4 – Designação dos tipos de formas construtivas (ref. Item 3.2.1 da ABNT NBR 5031). Sistema de Codificação II

1º algarismo	Descrição
1	Máquinas com pés e tampas com mancais, somente
2	Máquinas com pés e flanges com mancais, somente
3	Máquinas sem pés, com flange em uma tampa e tampas com mancais, somente
4	Máquinas sem pés, com flange na carcaça e tampas com mancais, somente
5	Máquinas sem mancais
6	Máquinas com tampas, com mancais e mancais de pedestal
7	Máquinas sem mancais nas tampas e com mancais de pedestal, somente
8	Máquinas verticais não abrangidas pelos primeiros algarismos de 1 a 4
9	Máquinas com montagem especial

Tabela 5 – Designação dos tipos de pontas de eixo (ref. Item 3.3.1 da ABNT NBR 5031). Sistema de Codificação II

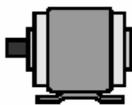
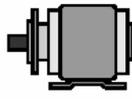
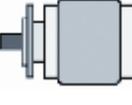
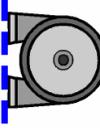
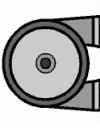
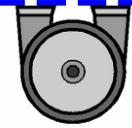
4º algarismo	Descrição
0	Sem ponta de eixo
1	Com ponta de eixo cilíndricas
3	Com uma ponta de eixo cônica
4	Com duas pontas de eixo cônicas
5	Com uma ponta de eixo com flange de acoplamento
6	Com duas pontas de eixo com flange de acoplamento
7	Com ponta de eixo LA com flange e ponta de eixo LOA cilíndrica
9	Todos os outros tipos de ponta de eixo

O sistema assim descrito constitui o usualmente denominado “sistema completo”; para a grande maioria das situações, contudo, o “sistema simplificado” (Sistema de codificação I) é suficiente para a perfeita caracterização da forma construtiva e montagem.

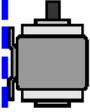
No sistema simplificado, após as letras “IM” segue-se a letra B para motores de eixo horizontal e a letra V para motores de eixo vertical e em seguida um número com um dois algarismos que definem a existência ou não de pés e/ou flanges, tipo da ponta de eixo e direção (para cima/para baixo no caso de motores de eixo vertical), acessibilidade da flange, existência ou não de tampas laterais e a fixação (no piso, no teto, em paredes, etc.)

A tabela 6 apresenta algumas formas construtivas usuais, assim como sua codificação pelo sistema “simplificado”, para motores de eixo horizontal e eixo vertical.

Tabela 6 – Formas construtivas usuais

Sistema Simplificado	Sistema Completo	Ilustração	Descrição
IM B3			Com pés, sem flange Ponta de eixo livre à esquerda/direita Montada sobre estrutura ²
IM B35	IM 2001		Com pés, com flange do lado do acionamento, acessível pela sua traseira Ponta de eixo livre à esquerda/direita Montada sobre estrutura pelos pés, com fixação suplementar pelo flange
IM B5	IM 3001		Sem pés, com flange do lado do acionamento, acessível pela sua traseira Ponta de eixo livre à esquerda/direita Montada sobre estrutura pelos pés, com fixação suplementar pelo flange
IM V1	IM 3011		Sem pés, com flange do lado do acionamento, acessível pela sua traseira Ponta de eixo livre para baixo Fixação pelo flange em baixo
IM B6	IM 1051		Com pés, sem flange Ponta de eixo livre à esquerda Montada em parede, pés à esquerda olhando-se do lado do acionamento
IM B7	IM 1061		Com pés, sem flange Ponta de eixo livre à direita Montada em parede, pés à direita olhando-se do lado do acionamento
IM B8	IM 1071		Com pés, sem flange Ponta de eixo livre à direita/esquerda Montada em parede, pés para cima olhando-se do lado do acionamento
IM V15			Com pés, com flange do lado do acionamento, acessível pela sua traseira Ponta de eixo livre para baixo Montada em parede ou sobre estrutura com fixação suplementar pelo flange em baixo

² Bases, placas de base, fundações, trilhos, pedestais, etc.

IM V3	IM 3031		Sem pés, com flange do lado do acionamento, acessível pela sua traseira Ponta de eixo livre para cima Fixação pelo flange em cima
IM V36			Com pés, com flange do lado do acionamento, acessível pela sua traseira Ponta de eixo livre para cima Montada em parede ou sobre estrutura com fixação suplementar pelo flange em cima
IM V5	IM 1011		Com pés, sem flange Ponta de eixo livre para baixo Montada sobre parede ou sobre estrutura
IM V6	IM 1031		Com pés, sem flange Ponta de eixo livre para cima Montada em parede ou sobre estrutura

3.7. Posição da caixa de ligações

A correta especificação da posição da caixa de ligações é importante, principalmente em motores de grande porte, pois usualmente a posição dos cabos de alimentação é definida quando da realização da obra civil de preparo da base do motor antes, portanto, de sua disponibilidade física na obra ou instalação.

Segundo a norma brasileira ABNT, a posição da caixa de ligação é codificada **olhando-se para a caixa de ligação** e verificando-se o lado (esquerdo ou direito) onde está a ponta de eixo; no primeiro caso, para um motor com pés e eixo horizontal (vide item 3.6) ter-se-á um motor **B3E** (ou B35E, etc); no segundo caso, ter-se-á um motor **B3D** (ou B35D, etc). Caso a caixa de ligações seja instalada no plano paralelo ao plano dos pés, na parte superior da carcaça, ter-se-á uma forma construtiva **B3T** (ou B35T, etc).

Cuidado! A norma IEC codifica a posição da caixa de ligação **olhando-se para a ponta de eixo**, sendo, dessa forma, o contrário da norma ABNT. Portanto, a caixa de ligação à esquerda (código K10) para os motores de corrente contínua da Siemens corresponde à forma construtiva B3D, e vice-versa.

4. SELECIONANDO UM MOTOR CC

4.1. Estrutura do código dos motores Siemens

O código do motor Siemens é composto de uma combinação de letras e números, divididos em três blocos separados por hífen. O primeiro bloco (posições 1 a 7) identifica o tipo da máquina; o segundo e terceiro blocos (posições 8 a 12, e 13 a 16, respectivamente) definem outras características do motor.

Além disso, a presença de opcionais é identificada com a letra “Z”, seguida de um hífen, à direita do terceiro bloco. Cada opcional é descrito por um conjunto de três dígitos (uma letra e dois números).

A tabela 7 ilustra a estrutura e o significado do código dos motores Siemens.

Tabela 7 – Estrutura do código dos motores Siemens

	Posição:	1	2	3	4	5	6	7	-	8	9	10	11	12	-	13	14	15	16		
Posições 1 a 3	Refrigeração interna																				
número,	• Ventilação forçada com ventilador padrão montado axialmente	1	G	F																	
letra,	• Ventilação forçada com ventilador padrão montado radialmente	1	G	G																	
letra	• Ventilação através de ventilador externo (não incluso), conectado via duto	1	G	H																	
	Refrigeração de superfície																				
	• Auto-ventilado	1	H	A																	
	• Auto-refrigerado	1	H	C																	
	• Ventilação em separado utilizando um trocador de calor ar/ar	1	H	Q																	
	• Ventilação em separado utilizando um trocador de calor ar/água	1	H	S																	
Posição 4	Série 5				5																
número	Série 6				6																
	Série 7				7																
Posições 5 a 7	Carcaça do motor																				
números	(a carcaça é representada pelas posições 5 e 6)																				
Posição 8	Conexão e modo de operação																				
número																					
Posição 9	Nível da potência de campo																				
letra																					
Posição 10	Tipo construtivo do circuito de armadura																				
letra																					
Posição 11	Tensão nominal de campo																				
número																					
Posição 12	Forma construtiva																				
número																					
Posição 13	Circuito conversor e dados dos terminais																				
número																					
Posição 14	Tensão nominal de armadura																				
número																					
Posição 15	Faixa de controle da armadura																				
número																					
Posição 16	Característica de torque da carga, dados de desempenho																				
número																					
	Opcionais:																				
	<u>com código</u>																				Z
	é necessário o código de três dígitos																				
	<u>sem código</u>																				
	é necessário um texto explicativo																				

4.2. TUTORIAL: Como selecionar um motor CC

Esta seção tem o objetivo de fornecer um guia passo-a-passo simplificado de como selecionar um motor de corrente contínua utilizando, para tanto, os motores tipo 1GG e 1GH como exemplo.

4.2.1. Dados necessários

Para se selecionar um motor CC deve-se dispor de todos os dados necessários, quais são:

1. Tipo de Refrigeração e Grau de Proteção
2. Tensão de armadura
3. Potência/Conjugado e Rotação requeridos pela carga
4. Tensão de Campo
5. Forma Construtiva
6. Posição da Caixa de Ligações e Entrada de Cabos
7. Temperatura Ambiente e Altitude da Instalação
8. Opcionais

Com os dados acima, passa-se a selecionar o motor no catálogo de motores CC Siemens.

O seguinte catálogo está disponível para os motores CC:

- **DA12–2004**

Ele pode ser encontrado em: www.siemens.com.br/motores

4.2.2. Tipos de Refrigeração e Grau de Proteção

O tipo de refrigeração e grau de proteção determinam o tipo do motor.

Os motores 1GG possuem ventilação forçada através de **ventilador** montado radialmente e possuem grau de proteção IP 23.

Os motores 1GH vêm preparados para que um **duto entrada de ar** seja acoplado; Eles possuem grau de proteção IP 23 (entrada de ar por duto, saída de ar por persianas laterais). Se for necessário, o grau de proteção pode ser aumentado para IP 54 com o opcional K48. Nesse caso, a saída de ar também é realizada por duto.



Fig. 18 – Motores 1GG (dir.) e 1GH (esq.)

Escolhido o tipo de refrigeração, é preciso definir:

- Para o caso de motor 1GG:
 - a. Localização do ventilador, se no lado do comutador ou no lado da ponta de eixo. Isso determina o sentido do fluxo interno de ar pelo motor.
 - b. Posição do ventilador, se no topo, direita ou esquerda.
 - c. Sentido da tomada de ar do ventilador.

- Para o caso de motor 1GH:
 - a. Se os dutos de ar serão conectados em apenas um lado do motor (IP 23), ou em ambos os lados (IP 54), dependendo do grau de proteção requerido.
 - b. Sentido do fluxo interno de ar pelo motor.
 - c. Posição de conexão dos dutos, se no topo, direita ou esquerda.

Cada uma das escolhas acima se refere a um opcional (-Z), que deve ser incluído no código (MLFB) do motor, a menos que a versão selecionada seja padrão. Vide página 3/137 e 3/138 do catálogo DA 12-2004.

4.2.3. Tensão de Armadura

Como visto no tópico 2, a tensão de armadura é proporcional à velocidade do motor até à rotação nominal.

Com a tensão de armadura e a rotação requeridas, deve-se proceder da seguinte forma:

- Se a tensão de armadura requerida for igual a uma das tensões disponíveis, é preciso apenas selecionar a rotação pelo catálogo.
- Se a tensão de armadura requerida for diferente das tensões disponíveis, deve-se selecionar um motor com uma tensão imediatamente acima. Assim fazendo, deve-se verificar se a rotação atenderá à especificação, uma vez que ela é reduzida proporcionalmente com a tensão.

Por exemplo:

Tensão de armadura requerida: 440V. Rotação nominal requerida: 2100RPM.

Tensão de armadura disponível: 470V. Rotação nominal em 470V: 2260rpm.

Se esse motor for ligado em 460V, irá fornecer uma rotação nominal de 2212rpm, e, portanto, atende à especificação.

4.2.4. Potência/Conjugado e Rotação requeridos

Do ponto de vista da carga, o motor deve **atender ao conjugado requerido na rotação especificada**. Geralmente, os dados fornecidos pelo cliente são POTÊNCIA E ROTAÇÃO. O torque pode ser deduzido pela expressão:

$$P = T \cdot w \Rightarrow T = \frac{P}{w} \Rightarrow T = \frac{60}{2\pi} \frac{P}{N} \Rightarrow T = 9,55 \cdot \frac{P}{N} \quad (8)$$

Onde: T é dado em N.m

P deve ser dado em W

N deve ser dado em RPM

Neste ponto, cabe uma observação sobre a curva de conjugado do motor (figura 6).

Atente para o fato de que um motor pode atender à especificação do cliente na região de conjugado constante, **OU** na região de enfraquecimento de campo. Isso é extremamente importante para se evitar um superdimensionamento do motor. Acima da velocidade nominal, o conjugado pode ser deduzido da eq. (8), uma vez que nessa região a potência é constante. Se o motor atender à especificação na região de enfraquecimento de campo, deve ser levado à APROVAÇÃO DO CLIENTE.

4.2.5. Tensão de Campo

A tensão de campo refere-se ao 11º dígito do código do motor.

Os valores da tensão de campo, recomendados pela norma DIN 40 030, podem ser selecionados segundo mostra a tabela 8, utilizando o respectivo número para o 11º dígito ou o código suplementar.

Tabela 8 – Tensões de campo padrão

Tensão de campo	Posição:																Código	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
110 Vcc											3							
180 Vcc											1							
190 Vcc											9							L5C
200 Vcc											9							L5A
210 Vcc											6							
220 Vcc											2							
310 Vcc											4							
325 Vcc											9							L5D
330 Vcc											9							L5F
340 Vcc											9							L5E
350 Vcc											9							L5B
360 Vcc											7							
500 Vcc											5							

Se for necessária uma tensão de campo que não se encontra na tabela 8, o número “9” deve ser selecionado para a 11^o posição, o código conforme a tabela 9 deve ser especificado e o valor da tensão deve ser dado como texto explicativo.

Tabela 9 – Tensões de campo **fora do padrão**

Tensão de campo	Posição:																Código*
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Motores carcaças 100 a 160:																	
< 110 Vcc										9							L2Y
de 110 Vcc a 440 Vcc										9							L1Y
de > 440 Vcc a 500 Vcc										9							L2Y
Motores carcaças 180 a 630:																	
< 110 Vcc										9							L4Y
de 110 Vcc a 500 Vcc										9							L3Y
> 500 Vcc										9							L4Y

* Também é necessária a informação da tensão de campo desejada

4.2.6. Forma Construtiva

A forma construtiva é definida pelo 12^o dígito do código do motor.

A tabela 10 fornece os valores da 12^o posição para as respectivas formas construtivas. No caso do número “9”, o código para a forma construtiva também deve ser especificado.

Tabela 10 – Formas construtivas para os motores com carcaças 100 a 280. Os motores com carcaças 355 a 630 são fornecidos no catálogo apenas em IM B3.

Forma construtiva	Posição:																Código
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Motores carcaça 100 a 280																	
IM B 3											0						
IM B 35											6						
IM B 5											1						
IM V 1											4						
IM B 6											9						M1A
IM B 7											9						M1B
IM B 8											9						M1C
IM V 15											9						M1H
IM V 3											9						M1G
IM V 36											9						M1J
IM V 5											9						M1D
IM V 6											9						M1E

4.2.7. Posição da Caixa de Ligações e Entrada de Cabos

A posição da Caixa de Ligações deve ser escolhida em conjunto com a posição do ventilador ou da conexão do duto de refrigeração para que não haja incompatibilidade na construção mecânica do motor. A caixa de ligações pode ser estar no topo, no lado direito, ou esquerdo do motor.

IMPORTANTE! A posição da caixa de ligações descrita no catálogo é sempre vista da ponta de eixo do motor. Dessa forma, caixa de ligações à esquerda, equivale, por exemplo, ao código ABNT IM B3D, e vice-versa.

A posição da entrada de cabos na caixa de ligações também deve ser especificada.

Cada uma das escolhas acima se refere a um opcional (-Z), que deve ser incluído no código (MLFB) do motor, a menos que a versão selecionada seja padrão. Vide página 3/137 do catálogo DA 12-2004.

4.2.8. Temperatura ambiente e Altitude de Instalação

Os motores 1GG e 1GH são preparados para operar em ambientes com temperaturas menores que 40°C (inclusive) e altitudes abaixo de 1000m (inclusive).

Caso as características da instalação sejam diferentes das citadas acima, deve-se observar os gráficos de potência e rotação em função da temperatura ambiente e da altitude de instalação para se prever o de-rating. Vide página 2/2 do catálogo DA 12-2004.

4.2.9. Opcionais

À versão padrão dos motores CC, podem ser adicionadas uma ampla variedade de opcionais, de acordo com a necessidade da aplicação. Chamamos a atenção para os mais freqüentemente consultados.

- a. Dispositivos de Proteção e Monitoramento (pág. 3/139 do catálogo DA 12-2004)
 - § Termistor PTC para alarme e/ou desligamento
 - § Sensor de temperatura tipos KTY 84-130 ou PT100
 - § Monitoramento do comprimento das escovas

- b. Tacômetros e Geradores de Pulso (pág. 3/140 do catálogo DA 12-2004)
 - § Tacômetros são definidos por Volts/1000RPM.
 - § Geradores de pulso (encoder) são definidos por PULSOS/REVOLUÇÃO.

Outros opcionais estão disponíveis, tais como (pág. 3/137-3/140 do catálogo DA 12-2004):

- Rolamentos especiais, para cargas radiais elevadas (acoplamento polia/correia)
- Resistência de desumidificação;
- Monitoramento do fluxo de ar de refrigeração (para motores 1GG);
- Grau de severidade de vibração aumentado;
- Pintura em cor especial;
- Filtro e silenciador;
- Freios.

5. ALGUMAS INFORMAÇÕES ADICIONAIS IMPORTANTES:

Pintura padrão:

- RAL 7016, para carcaças até 400, inclusive
- RAL 7030, para carcaças 500 e 630.

Características do ventilador padrão para os motores 1GG5.

- 1GG5 100 e 1GG5 102: 0,28/0,16 A em 254/440 V, 60 Hz, 3450 RPM
- 1GG5 104 a 1GG5 116: 0,55/0,32 A em 254/440 V, 60 Hz, 3370 RPM
- 1GG5 118 a 1GG5 136: 0,92/0,53 A em 254/440 V, 50 Hz, 3400 RPM
- 1GG5 162 a 1GG5 166: 1,37/0,79 A em 254/440 V, 60 Hz, 3175 RPM

Obs.: Os motores com carcaça superior a 250 (inclusive), são fornecidos com ventilador para operar somente a 50 Hz. Para 60 Hz, o opcional Y81 é necessário.

6. EXEMPLO

Dados fornecidos pelo cliente:

MOTOR CC DE 50CV, 1800RPM, IP 23, TENSÃO DE ARMADURA DE 440V, TENSÃO DE CAMPO DE 310V, IM B3D, ENTRADA DE CABOS POR BAIXO, VENTILAÇÃO FORÇADA COM VENTILADOR MONTADO NO TOPO, FLUXO DE AR DA PARTE TRASEIRA PARA A FRONTAL, TOMADA DE AR NO VENTILADOR A PARTIR DA PARTE FRONTAL, TEMPERATURA AMBIENTE < 40°C, ALTITUDE < 1000M. COM TACOGERADOR 60V/1000RPM E PROTEÇÃO TÉRMICA DOS ENROLAMENTOS PTC PARA ALARME E DESLIGAMENTO.

Solução:

1. Tipo de Refrigeração

Por ventilador. Isso define o motor tipo **1GG**.

2. Tensão de armadura

440V

3. Potência, Rotação e Torque requeridos

Com a potência e a rotação fornecidas, calcula-se o torque:

$$T = 9,55 \frac{P}{N} \Rightarrow T = 9,55 \frac{50 \cdot 0,735 \cdot 1000}{1800} \Rightarrow \boxed{T = 195Nm}$$

Olhando-se o catálogo, o motor deve ser selecionado dentro da família 1GG5 164.

Passemos a analisar as alternativas:

i. **1GG5 164-0GG..-6WV1**

Tensão nominal de armadura: 470 V

Rotação nominal em 470 V: 2010 RPM

Rotação nominal em 440 V: 1882 RPM

Torque nominal abaixo de 2010 RPM: 201 Nm

Portanto, esse motor ATENDE ÀS ESPECIFICAÇÕES.

ii. **1GG5 164-0GF..-6WV1**

Tensão nominal de armadura: 470 V

Rotação nominal em 470 V: 1720 RPM

Rotação nominal em 440 V: 1610 RPM. Esse motor deverá operar na região de enfraquecimento de campo para atingir os 1800 RPM.

Potência nominal em 440 V: 35,1 kW

Torque em 1800 RPM (com enfraquecimento de campo): 186,3Nm

Portanto, esse motor NÃO ATENDE ÀS ESPECIFICAÇÕES.

Dessa forma, o motor selecionado é o **1GG5 164-0GG..-6WV1**.

4. Tensão de Campo

310 V \Rightarrow **1GG5 164-0GG4.-6WV1**

5. Forma Construtiva

IM B3 ⇒ **1GG5 164-0GG40-6WV1**

6. Grau de Proteção

IP 23, oferecido como **padrão** pelo motor 1GG5.

7. Dados adicionais sobre o ventilador

Posição, montado no topo.

Sentido do fluxo de ar, da parte traseira para frontal, com tomada de ar a partir da parte frontal: Ventilador montado na parte traseira ⇒ **G05**.



8. Posição da Caixa de Ligações e Entrada de Cabos

Posição da caixa de ligações: IM B3D, lado esquerdo visto da ponta de eixo ⇒ **K10**

Entrada de cabos por baixo ⇒ **versão padrão**.

9. Temperatura Ambiente e Altitude de Instalação

Temperatura ambiente < 40°C e altitude de instalação < 1000m. ⇒ **não há de-rating**.

10. Opcionais

Tacômetro: 60V/1000RPM ⇒ **H14**

Proteção térmica dos enrolamentos: PTC para alarme e desligamento ⇒ **A12**.

Código final do motor: **1GG5 164-0GG40-6WV1-Z, Z=G05+K10+H14+A12**

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COGDELL, J.R. "FOUNDATIONS OF ELECTRIC POWER". Prentice Hall.
- [2] LOBOSCO, O. S., DIAS, J. L. C. "SELEÇÃO E APLICAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS". McGraw-Hill, Volume 1.
- [3] STMicroelectronics – Total System Solutions for Motor Control
<http://www.us.st.com/stonline/products/support/motor/>
- [4] Feira de Ciências
<http://www.feiradeciencias.com.br/>

Sobre o autor:

Eng. FLAVIO HONDA

Gerente de Produto, no departamento "Acionamentos e Motores Elétricos", da Siemens LTDA, Unidade Automação e Controle.

Engenheiro Mecatrônico pela Escola Politécnica da USP (EPUSP).



SIEMENS Drive Technology: Mundo em Movimento

Siemens LTDA

Unidade Automação e Controle – Acionamentos e Motores Elétricos

www.siemens.com.br/motores