



## 7. ENSAIOS PARA A DETERMINAÇÃO DOS PARRÂMETROS DE UM MOTOR DE INDUÇÃO:

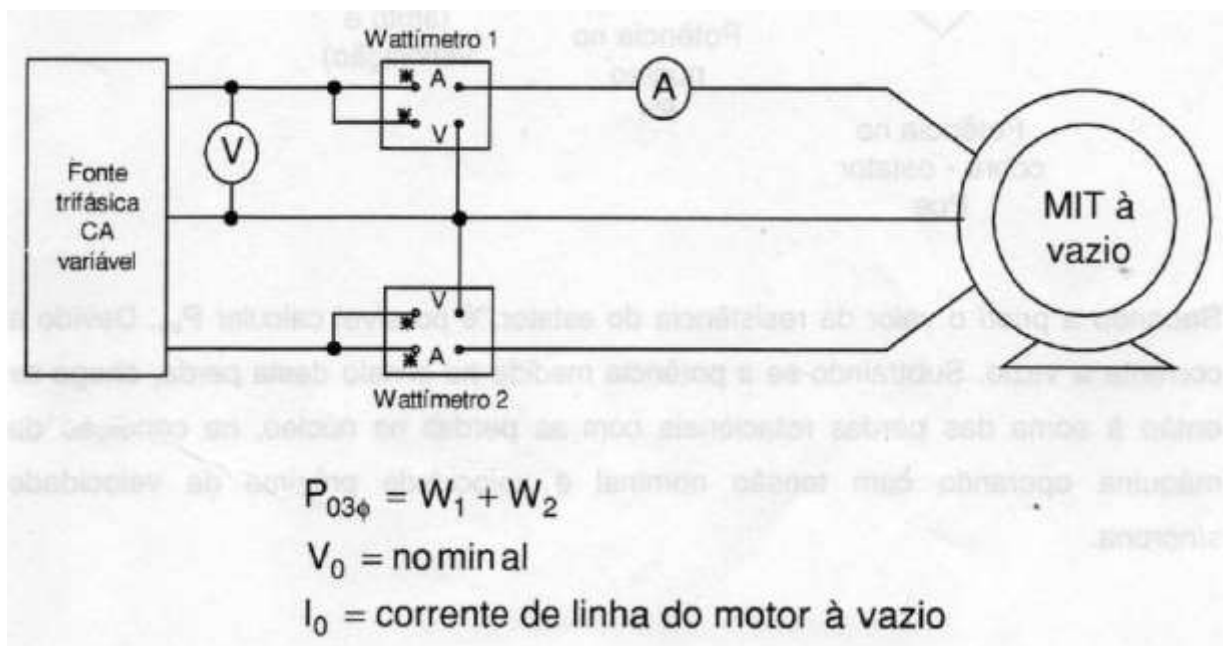
### 7.1 - Medição da resistência dos enrolamentos do estator:

Este procedimento pode ser realizado através de um equipamento apropriado, como por exemplo uma ponte de Wheatstone, ou através da aplicação de uma de uma tensão e medindo-se a corrente, em seguida aplicando-se a lei de Ohm,

Este parâmetro é importante para o cálculo das perdas joulicas nestes enrolamentos.

### 7.2 - Ensaio a vazio:

Neste ensaio aplica-se a tensão nominal nos enrolamentos do estator, deixando a máquina girar sem carga. Após um tempo suficiente para a lubrificação dos mancais é feita a medida de potência e corrente no motor. O esquema de ligação deste ensaio é mostrado na figura abaixo.

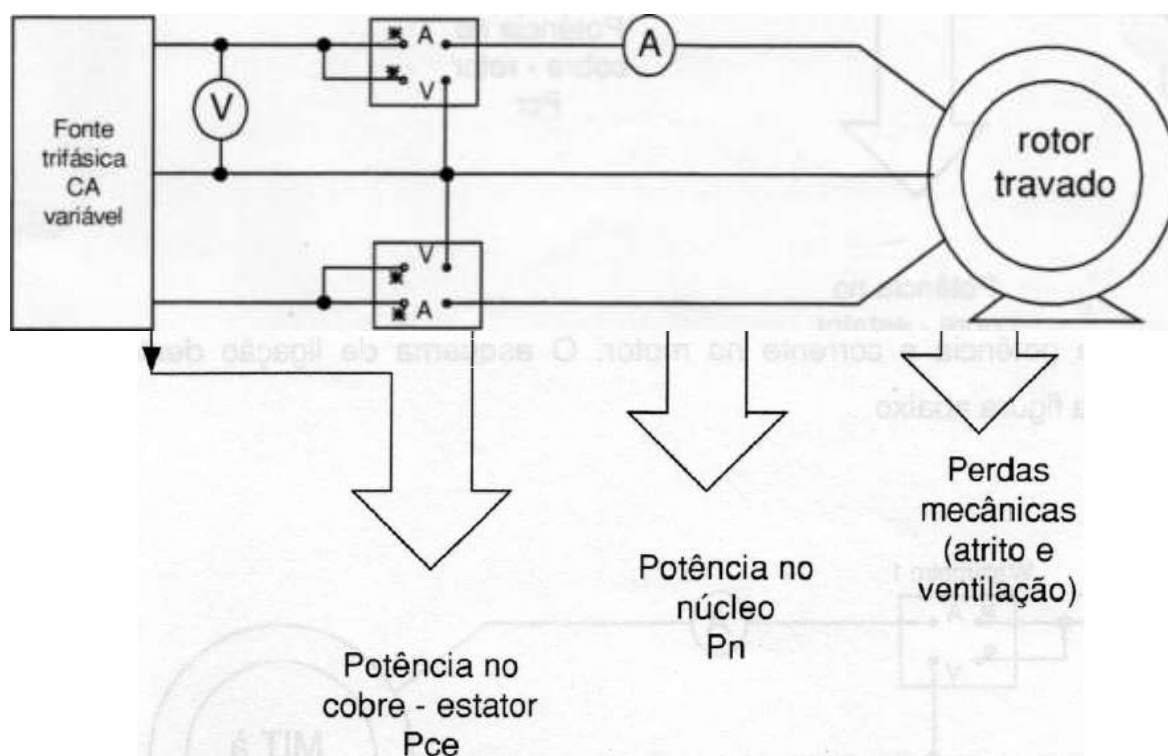


Estando a máquina a vazio, a velocidade do rotor é muito próxima da velocidade síncrona, o que nos permite afirmar que as correntes do rotor são muito pequenas, com isso neste ensaio podemos desprezar as perdas no cobre do rotor ( $P_{cr}$ ).

Não havendo carga acoplada ao motor, toda a potência ativa entregue à máquina é utilizada para vencer o atrito dos mancais e acionar o ventilador acoplado ao eixo ( $P_{rot}$ ), e ainda uma parte é dissipada nos enrolamentos do estator ( $P_{ce}$ ) e outra com o aquecimento do núcleo ferromagnético ( $P_n$ ). O diagrama de fluxo de potência para este ensaio pode ser visto abaixo:



Sabendo a priori o valor da resistência do estator, é possível calcular  $P_{ce}$ . Devido a corrente a vazio. Subtraindo-se a potência medida no ensaio desta perda, chega-se então à soma das perdas rotacionais com as perdas no núcleo, na condição da máquina operando com tensão nominal é velocidade próxima da velocidade síncrona.



### 7.3 - Ensaio de rotor travado:

Bloqueia-se o rotor da máquina e aplica-se uma tensão reduzida até que a corrente atinja o valor nominal. É feita então a medição de tensão ( $V_{rt}$ ), corrente ( $I_{rt}$ ) e potência ( $P_{rt}$ ). O esquema de ligação deste ensaio é mostrado na figura abaixo.

$$P_{rt3\Phi} = W_1 + W_2$$

$V_{rt}$  = tensão de rotor travado

$I_{rt}$  = corrente nominal de linha do motor

Como pode-se constatar, a tensão aplicada ao motor neste ensaio ( $V_{rt}$ ) tem um valor muito menor que a tensão nominal, o que nos permite concluir que as perdas no núcleo podem ser desprezadas, já que as mesmas dependem do quadrado da tensão.

Por outro lado, estando o rotor bloqueado, não existem as perdas rotacionais, logo toda potência entregue à máquina é dissipada por efeito joule nos enrolamentos do rotor e do estator, pois os mesmos operam com seus valores nominais de corrente. O diagrama de fluxo de potência deste ensaio pode ser visto abaixo:



Sabendo a priori o valor da resistência do estator, é possível calcular  $P_{ce}$ , devido a corrente nominal. Subtraindo-se a potência medida no ensaio desta perda calculada, chega-se então à perda nos enrolamentos do rotor quando circula corrente nominal.

#### 7.4 - Roteiro para procedimento experimental:

Após conhecido o motor sob teste, realizar os seguintes procedimentos:

12. Anotar os dados de placa do motor, verificado o tipo e como as bobinas estão conectadas.

2. Medir a resistência dos enrolamentos do estator utilizando a ponte de Wheatstone. Observe que a forma de ligação do motor e seus terminais disponíveis para medição e realize as adequações necessárias porá se obter a resistência de cada bobina.

3. Realizar o ensaio a vazio, conforme descrito no item 7.2:

$$P_{03\Phi} = W_1 + W_2 =$$

$$V_0 =$$

$$I_0 =$$

4. Realizar o ensaio de rotor travado, conforme descrito no item 7.3:

$$P_{rt3\Phi} = W_1 + W_2 =$$

$$V_{rt} =$$

$$I_{rt} =$$

**Determine:**

a) Fator de potência do motor no ensaio a vazio;

b) Fator de potência do motor no ensaio de rotor travado;

c) O que Você conclui a partir dos valores de fator de potência obtido nos dois ensaios?

d) Perdas nos enrolamentos do estator no ensaio a vazio;

e) Perdas no núcleo + Perdas rotacionais no ensaio a vazio; Perdas nos enrolamentos do estator no ensaio de rotor travado;

f) Perdas nos enrolamentos do rotor no ensaio de rotor travado;

g) Rendimento deste motor caso o mesmo operasse com tensão nominal e:

h.1 - carga nominal;

h.2 -  $\frac{1}{2}$  carga;

h.3 - sobrecarga de 25%

i) Corrente de partida deste motor caso fosse realizada uma partida direta (com tensão nominal).

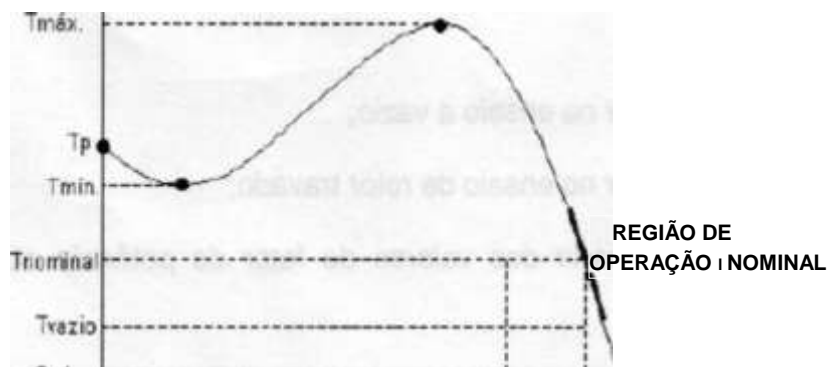


## 8. CONJUGADO X VELOCIDADE OU T X N

### 8.1 Curva característica

O motor de indução tem um conjugado nulo à velocidade síncrona ( $n_r = n_s$ )  $\rightarrow s = 0$  e  $T = 0$ . A medida que é aumentada a carga no eixo do motor, a sua velocidade diminui até um ponto onde o conjugado desenvolvido é máximo.

Qualquer acréscimo de carga além desse ponto ( $T_{\text{máx}} \rightarrow$  Região de operação instável) faz com a velocidade caia bruscamente, podendo algumas situações travar o rotor. sendo:



$T_p$  = conjugado de partida: é o conjugado com o motor travado, ou torque desenvolvido na partida do motor.

$T_{\text{mín}}$  = conjugado mínimo: é o menor valor de conjugado obtido desde velocidade zero até a velocidade correspondente ao conjugado máximo.

$T_{\text{máximo}}$  = conjugado máximo: é o máximo valor de conjugado que o rotor pode desenvolver *sem travar o eixo*.

$T_{\text{nominal}}$  = conjugado nominal: é o conjugado que o motor fornece com carga nominal no eixo. Normalmente  $T_{\text{nominal}}$  ocorre com  $S$  entre 2 e 5%.

$T_{\text{vazio}}$  = conjugado para o motor operando sem carga. Representa o conjugado sem carga no eixo.

### 8.2- Categorias

De acordo com as formas construtivas do rotor de motores de indução de gaiola podem apresentar diferentes características de conjugado e corrente de partida conforme o gráfico:



a) Categoria N: conjugado de partida  $T_p$  normal; corrente de partida  $I_p$  normal (6 a 7 vezes  $I_{nominal}$ ); Escorregamento baixo ( $2\% \leq S \leq 5\%$ ). Nesta categoria se enquadram a maioria dos motores que acionam cargas normais tais como: bombas centrífugas, máquinas operatrizes. O rotor possui uma única gaiola.

b) Categoria H: conjugado de partida  $T_p$  alto; corrente de partida  $I_p$  normal; escorregamento baixo. São motores adequados para cargas com elevada inércia, como: peneiras e transportadoras - carregadoras. O rotor é de Dupla Gaiola.

c) Categoria D:  $T_p$  alto;  $I_p$  normal; Salto (maior que 5%), motores para cargas que apresentam picos intermitentes, tais como: prensas excêntricas, tesouras e elevadores.

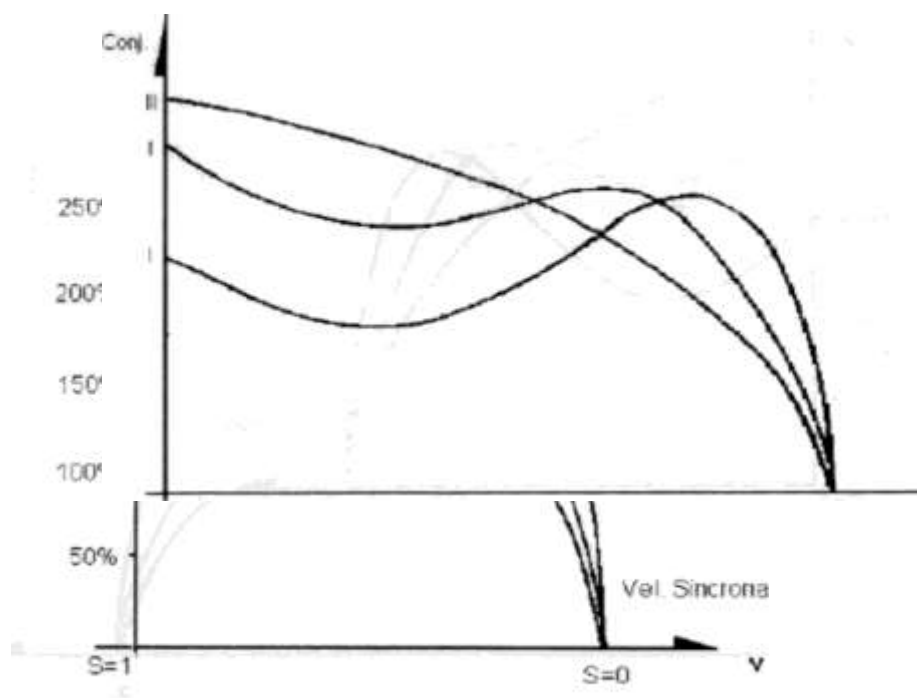
OBS.: O motor de rotor bobinado pode apresentar diferentes curvas conjugado x velocidade, de acordo com o valor da resistência externa acrescentada ao rotor.

I. Sem resistência externa no rotor (os anéis estão em curto-circuito, sendo o rotor bobinado, então, equivalente ao rotor de gaiola).

II. Com resistência externa no rotor.

III. Com resistência externa no rotor de maior valor.

## 9. PARTIDA DOS MOTORES DE INDUÇÃO



A forma mais simples de partida de um motor de indução é conhecida como partida direta, ou seja, ligar o motor à rede elétrica diretamente. Nesses casos as correntes de partida assumem valores elevados.

O tempo do processo de partida depende diretamente das características do conjugado do motor e da carga, o ideal seria partir um motor sem carga, pois reduziríamos o tempo de aceleração (tempo de permanência de correntes elevadas), entretanto na prática dificilmente esta condição existe, o que leva a necessidade de estabelecer métodos de partida que reduzam os valores de corrente.

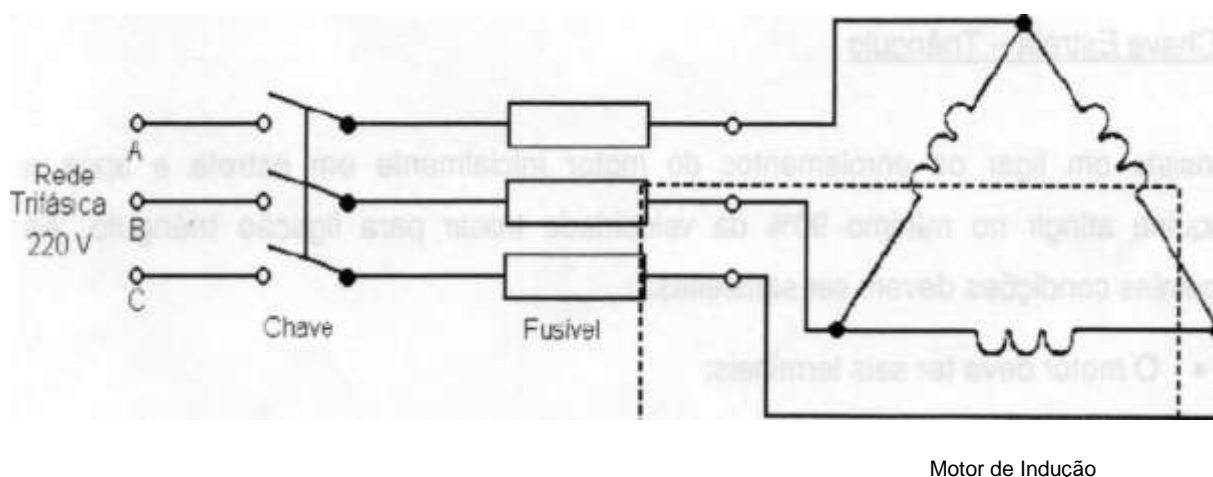
Portanto os métodos de partida podem ser divididos em dois grandes grupos: a partida direta e a partida indireta.



### 9.1 Partida Direta

Do ponto de vista do motor, esta é a forma mais adequada de se partir o motor de indução, desde que as condições locais permitam.

A máquina é ligada diretamente à rede de alimentação. A simplicidade e economia fazem desta partida a mais atraente, entretanto os seguintes requisitos devem ser satisfeitos:



Os dispositivos de partidas mais comuns são: chaves interruptoras, disjuntores e contadores eletromagnéticos.

A rede deve suportar a corrente de partida sem afetar outras cargas, esta corrente de partida está em torno de seis vezes a corrente nominal do motor.

O acoplamento entre o motor e a carga deve suportar o "tranco" provocado pela grande diferença entre o torque do motor e da carga. Este é o grande problema em muitas aplicações industriais. Este tipo de partida é usado em motor de potência pequena (< 5CV), especialmente para redes alimentadas diretamente por transformador de distribuição da concessionária. E ainda motor que parte em vazio.

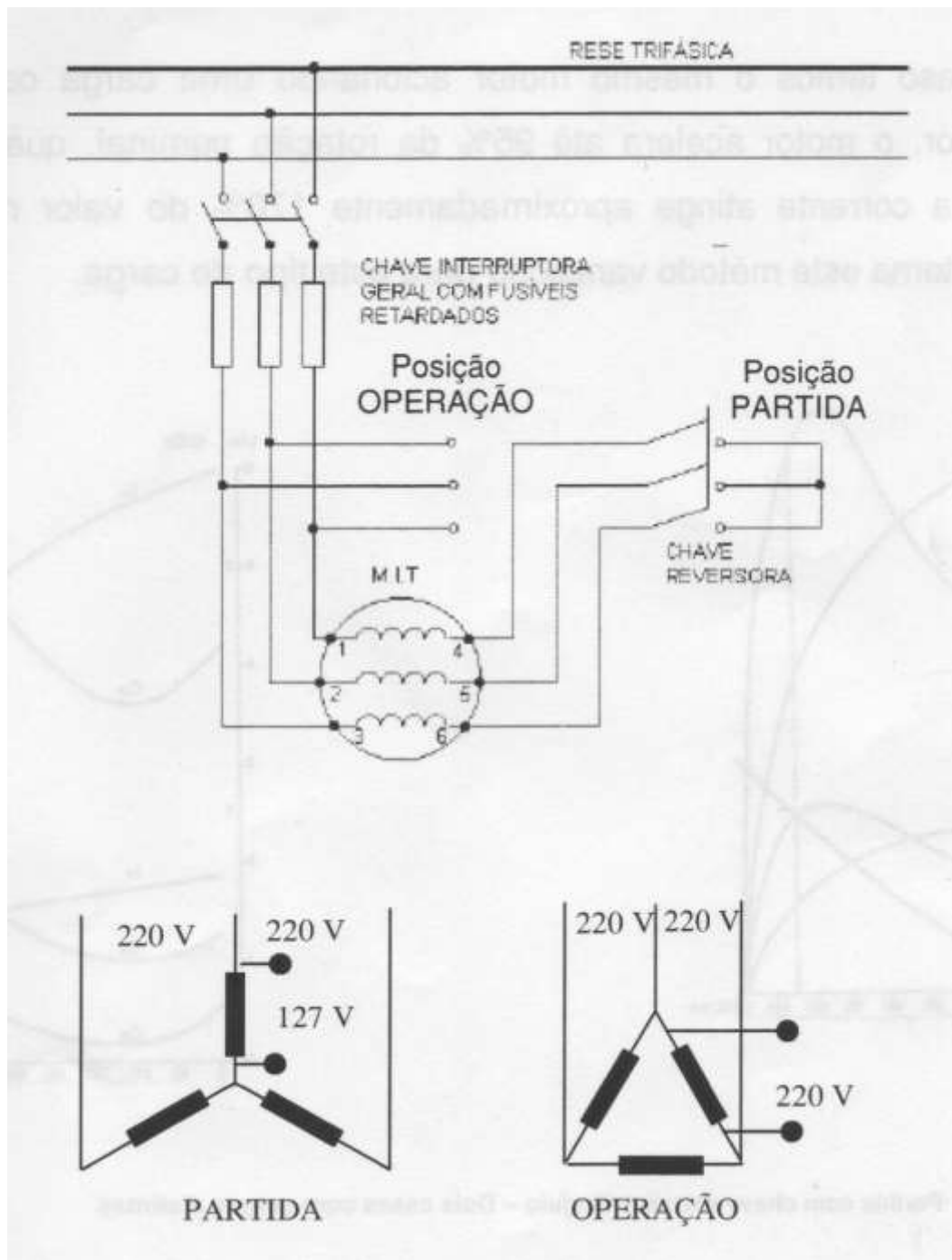
### 9.2 - Chave Estrela - Triângulo

Consiste em ligar os enrolamentos do motor inicialmente em estrela e após a máquina atingir no mínimo 90% da velocidade trocar para ligação triângulo. As seguintes condições devem ser satisfeitas:

- O motor deve ter seis terminais;
- A ligação dos enrolamentos do estator em triângulo deve ser compatível com a tensão da rede;
- A característica de conjugado de carga deve ser adequado a esta condição de partida, pois a tensão na partida é reduzida de raiz de 3 o torque é reduzido a 1/3.



A partida com chave estrela-triângulo de uma carga com alto conjugado resistente pode levar a



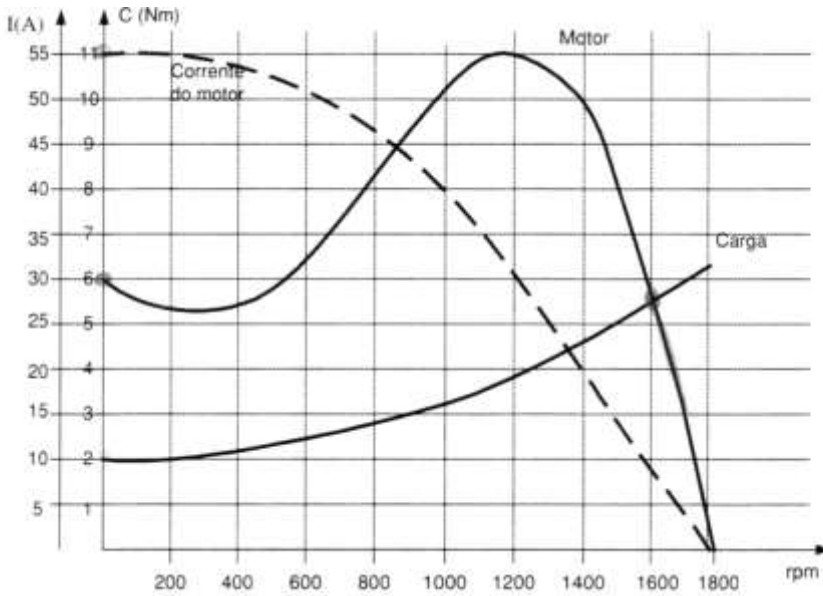
uma corrente de comutação elevada, tornando este método inútil. As figuras abaixo mostram as comutações da chave estrela triângulo para dois tipos de carga distintos.

No primeiro caso temos um alto conjugado resistente, o motor acelera até 85% da rotação nominal, quando é feita a comutação, e a corrente atinge aproximadamente 320% do valor nominal neste instante, o que não é nenhuma vantagem, uma vez que a corrente na partida era de somente 190%.







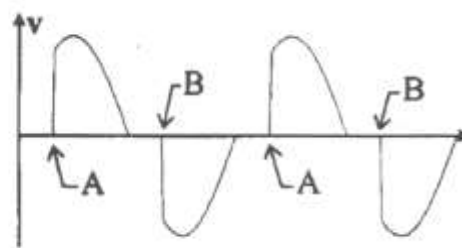
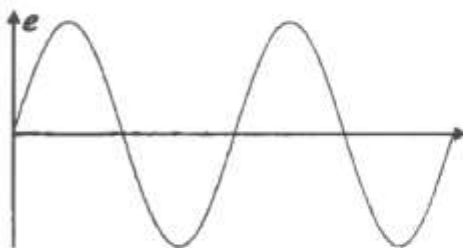
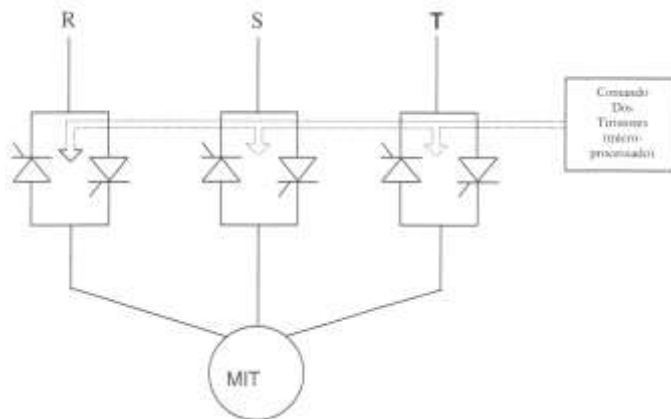


#### 9.4 - Chave Eletrônica (Soft-Starter)

É um método moderno efetivo e de baixo custo, baseado em dispositivos eletrônicos controlados por microprocessador.

Possibilita variar continuamente a tensão aplicada sobre a máquina, desde um pequeno valor até a tensão nominal sem envolver partes mecânicas móveis. Esta variação é feita através do controle do ângulo de disparo de semicondutores (tiristores).

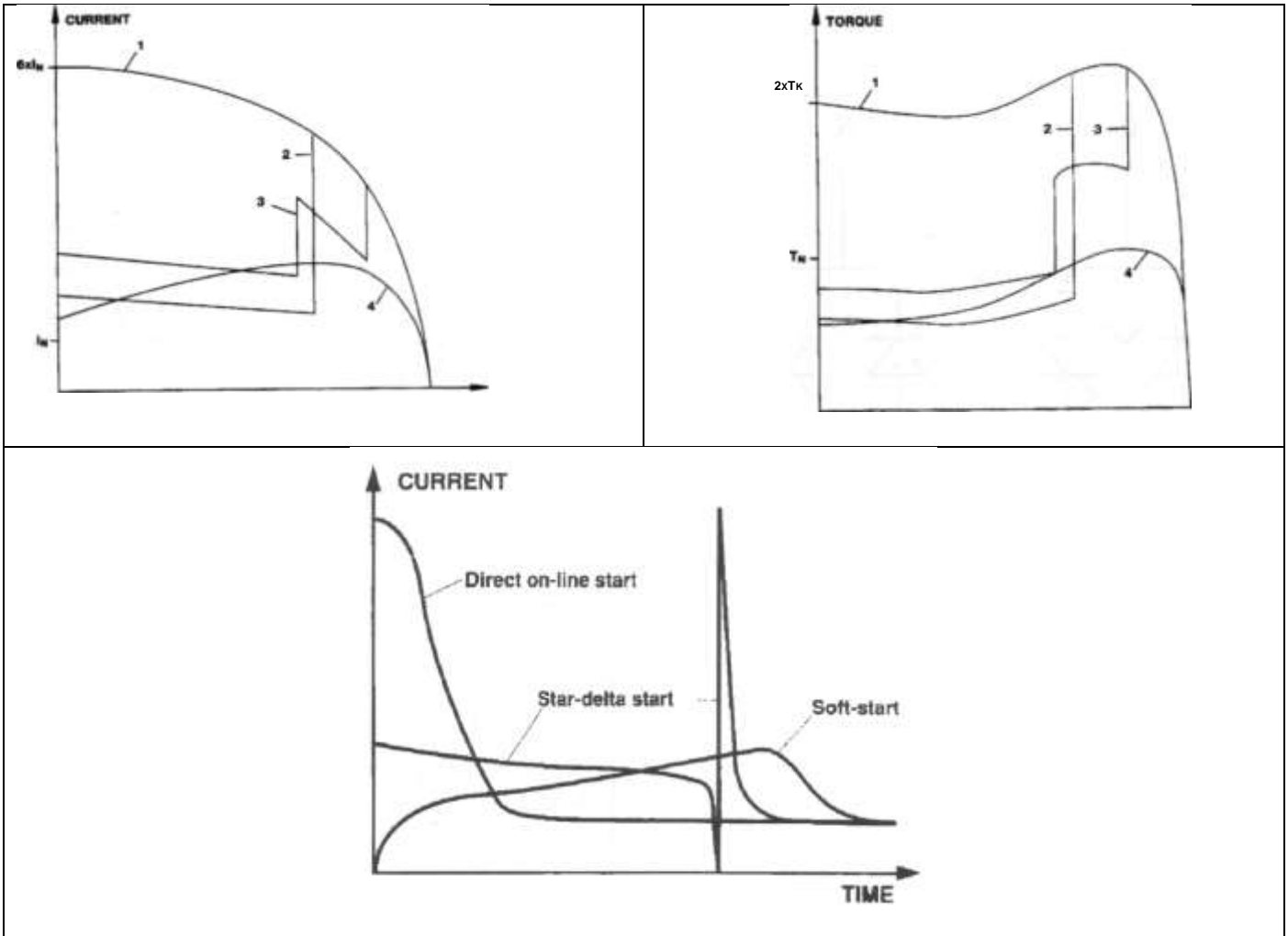
**Esquema típico de um soft-starter e formas de onda de tensão na entrada e saída**





Este equipamento possui programação flexível, permitindo controlar torque, corrente e tempos de partida, evita *stresses* mecânicos nos motores e nas cargas, podendo ainda Ter uma parada suave, especialmente importante no acionamento de bombas pois evita choques hidráulicos nas tubulações.

As figuras abaixo mostram as curvas típicas de torque e corrente dos motores para os quatro tipos de partida mencionados acima.



Formas de onda típicas de corrente e torque em função da velocidade dos esquemas de partida: 1- partida direta, 2- chave estrela triângulo, 3- chave compensadora, 4-Soft-starter.

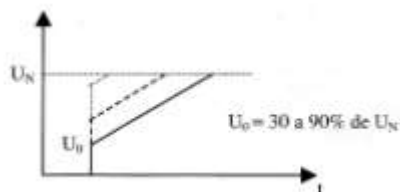
Os soft-starters microprocessados permitem que sejam programadas suas diversas funções, dependendo do tipo de aplicação, comportamento da carga e etc.



**As funções básicas são:**

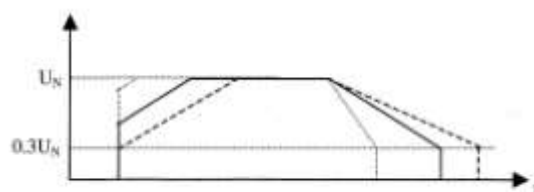
**1. Controle da Tensão Inicial ( $U_0$ ):**

A tensão inicial ( $U_0$ ) pode ser programada de 30 a 90% do valor nominal, o que dá uma variação de torque de 10 a 80%.



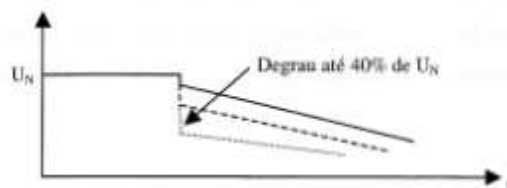
**2. Rampa de Partida e Parada**

Podem ser controlados individualmente os tempos das rampas de partida e parada. Esses tempos vão depender das necessidades da carga.



**3. Degrau de Desligamento de Tensão:**

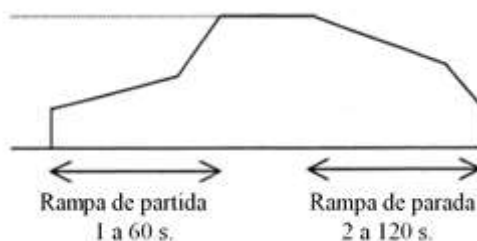
Quando se requer uma parada mais rápida, pode-se programar um degraú de tensão entre 100 a 40% da tensão nominal antes do início da rampa de parada.



**Funções Especiais:**

**4. Dupla Rampa de Partida e Parada:**

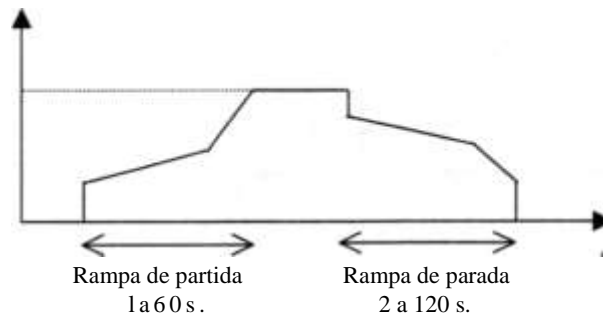
Permite programar dupla rampa de partida ou parada. Esta função se aplica quando se necessita aceleração e desaceleração mais linear.



**5. Aplicação para Bombas:**

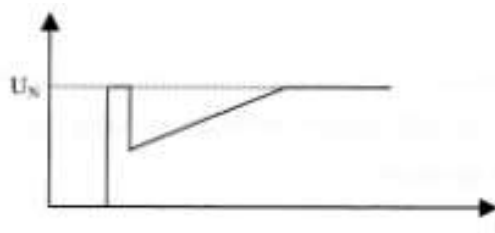


Esta função é usada para minimizar os choques nas linhas hidráulicas, O microprocessador ajusta os parâmetros do gráfico abaixo a partir dos tempos de rampa de partida e parada.



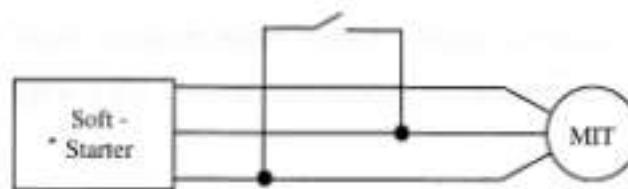
### 6. Elevação de Torque na Partida (Torque Booster):

Permite aplicar torque máximo, aplicando tensão nominal, durante um pequeno intervalo de tempo programável de 0,1 a 2 segundos. É aplicável por exemplo em trituradores. Terminado o sobretorque, a partida continua de acordo com a rampa programada.



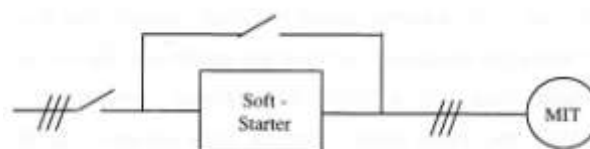
### 7. Frenagem CC:

Quando se necessita de paradas rápidas em cargas de grande inércia, pode-se aplicar uma tensão contínua no estator da máquina. Nestes casos um contator externo deve curto-circuitar uma das bobinas do motor.



### 8. Contador de By-pass

Utilizando-se um contator externo pode-se *by-passar* soft-starter. Normalmente isto não é necessário, exceto em casos de ambientes com temperaturas elevadas ou outras situações em que seja necessário minimizar as perdas joulicas no equipamento.





#### 9. Controle Analógico Remoto:

Para aplicações especiais o soft-starter possui entradas analógicas de tensão ou corrente (0 a 10V ou 4 a 20 mA) que pode ser usado para controlar a tensão de saída do equipamento.

#### 10. Partida com Tensão Plena:

Em casos de emergência ou outro motivo como alto atrito ou mecanismo emperrado pode-se partir o motor através do soft-starter como sendo uma partida direta, sem a necessidade de um contator de by-pass.

#### 11. Controle do Fator de Potência

Em casos de motores operando em baixa carga (carga parcial) por longos períodos, pode-se programar a função controle de fator de potência para ajustar a tensão de saída do soft-starter automaticamente para melhorar o fator de potência. Com tensão reduzida são menores as demandas de potência reativa.

#### 12. Relés Programáveis:

O soft - starter pode possuir internamente relés programáveis que podem acionar alarmes, indicar máxima tensão ou algum outro sinal para programável durante sua operação.

#### 13. Conjunto de Parâmetros:

Quando se usa um único soft-starter para acionar mais de um motor ou um único motor com diferentes condições de carga, utiliza-se esta função. Onde quatro conjuntos de parâmetros são armazenados e são selecionados para operar através de programação por entradas digitais.

#### 14. Limitação de Corrente:

Em casos especiais, onde a carga requer máximo torque, mas a corrente não pode ultrapassar um limite pré estabelecido deve ser usado o limite de corrente. Este limite pode ser ajustado entre 150 a 500% da corrente nominal. Após um tempo de aproximadamente 6 segundos após a partida, se a corrente não diminuir abaixo do valor ajustado, um regulador PI assume o controle, mantendo o valor ajustado. Se o tempo de partida tiver decorrido e a corrente não tiver diminuído abaixo do limite, o alarme de excesso de tempo em limite de corrente é acionado. U réle K pode ser utilizado para o comando de parada.

#### 15. Proteção dos Motores

Os soft-starter podem ser fornecidos com proteção eletrônica térmica opcional. Neste caso um proteção externa pode ser excluída. O microprocessador continuamente calcula a temperatura do motor baseado sobre um modelo térmico do motor. A atuação da proteção pode ocorrer tanto para pequenas sobrecargas com longa duração tanto para grandes sobrecargas de curta duração. Atuação da proteção é indicada no display.



## 10. CONTROLE DE VELOCIDADE DE MOTORES DE INDUÇÃO:

O controle de velocidade dos motores de indução podem ser obtidos por:

- Controle do escorregamento
- Controle da velocidade do campo girante

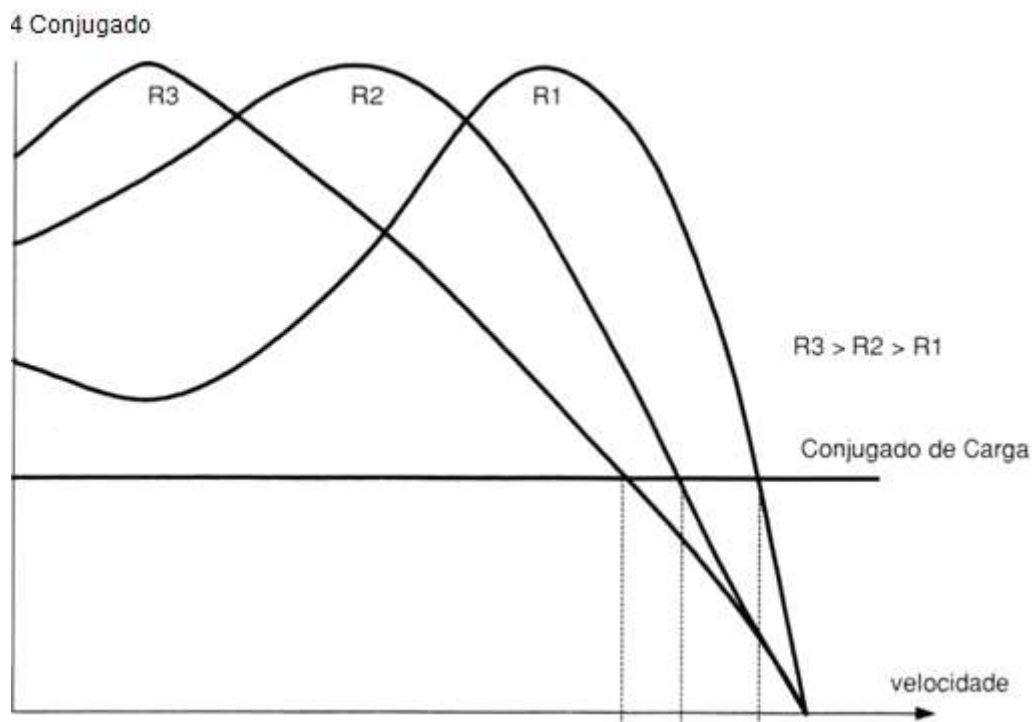
### 10.1 - Variação da velocidade pelo controle do escorregamento:

Neste caso, a velocidade do campo girante é mantida constante, e a velocidade do rotor é alterada da seguinte forma:

#### 10.1.1 Variação da resistência do rotor:

Pode ser utilizada em motores de rotor bobinado. A inserção de resistências altera a característica torque x velocidade do motor alterando a velocidade de operação, conforme mostra a Figura abaixo.

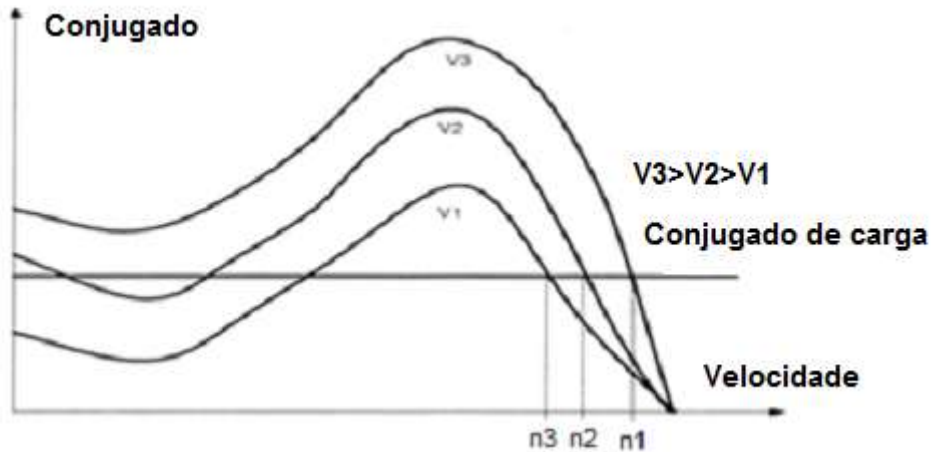
Este método possui uso restrito e apresenta pobre regulação de velocidade e baixo rendimento.





### 10.1.2 Variação da tensão do estator:

O torque desenvolvido por um motor de indução é proporcional ao quadrado da tensão aplicada a seus terminais. A característica torque x velocidade de um motor para tensões de alimentação diferentes pode ser vista na figura abaixo, ou seja é possível alterar a velocidade de operação do motor. Este método de controle é comum em motores pequenos que acionam ventiladores, e apresenta baixo rendimento e pobre regulação de velocidade.

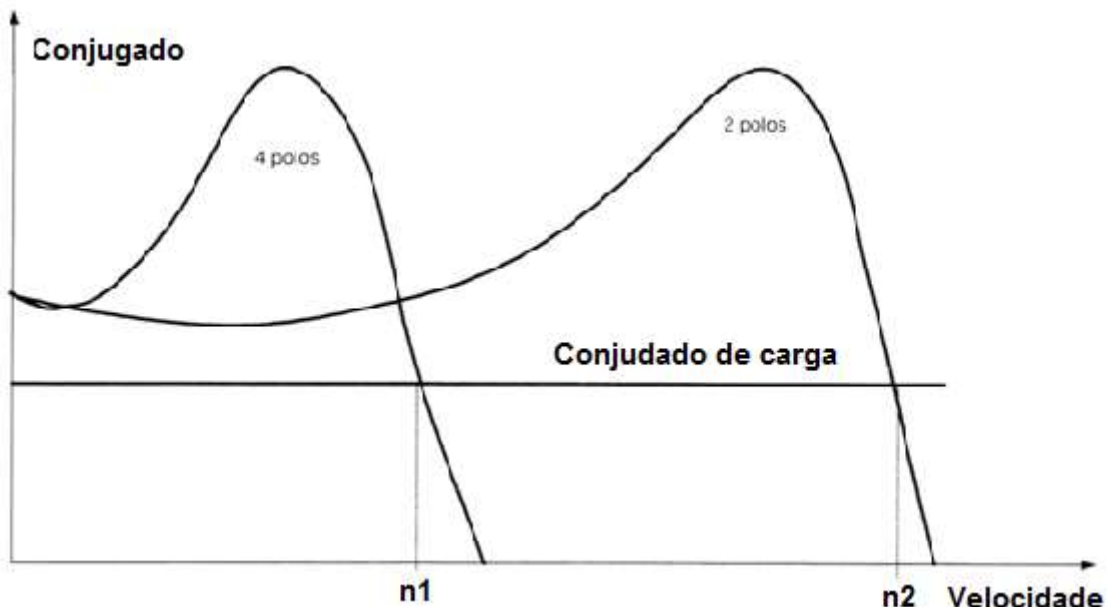


### 10.2 Variação da velocidade pelo controle do campo girante

#### 10.2.1 Variação do número de polos:

Ao se variar o número de polos do motor de indução, varia-se sua velocidade síncrona. O comportamento do conjugado assume a característica mostrada abaixo. A desvantagem deste método é que a regulação de velocidade somente pode ser realizada de forma discreta ( $n$ ,  $2xn$ ,  $4xn$ ) e ainda o motor deve ser preparado para isto.

O sistema mais comum é denominado Ligação Dahlander, onde a relação do número de polos é de 1:2.







### **10.2.2 Variação da frequência de alimentação:**

A variação da frequência de alimentação da máquina pode ser obtida por meio de um conversor de frequência, popularmente conhecido no mercado por inversor. Com este dispositivo é possível controlar continuamente a frequência e portanto a velocidade dos motores de indução.

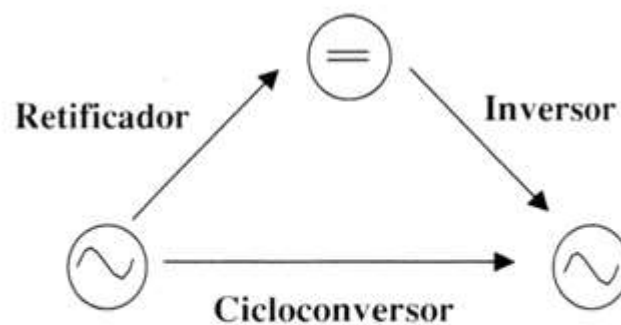
A seguir serão detalhados os conversores de frequência.



## CONVERSORES DE FREQUÊNCIA

A utilização de conversores de frequência permitem que uma rede de tensão e frequências fixas se transforme numa rede de tensão e frequências variáveis. Em outras palavras, acionar uma máquina com este equipamento possibilita controlar a velocidade e / ou o torque através da variação da tensão e / ou frequência de alimentação do motor.

Os conversores de frequência podem ser constituídos de duas formas: conversão direta ou conversão em duplo estágio, conforme mostra o esquema abaixo.



Conversores de Frequência

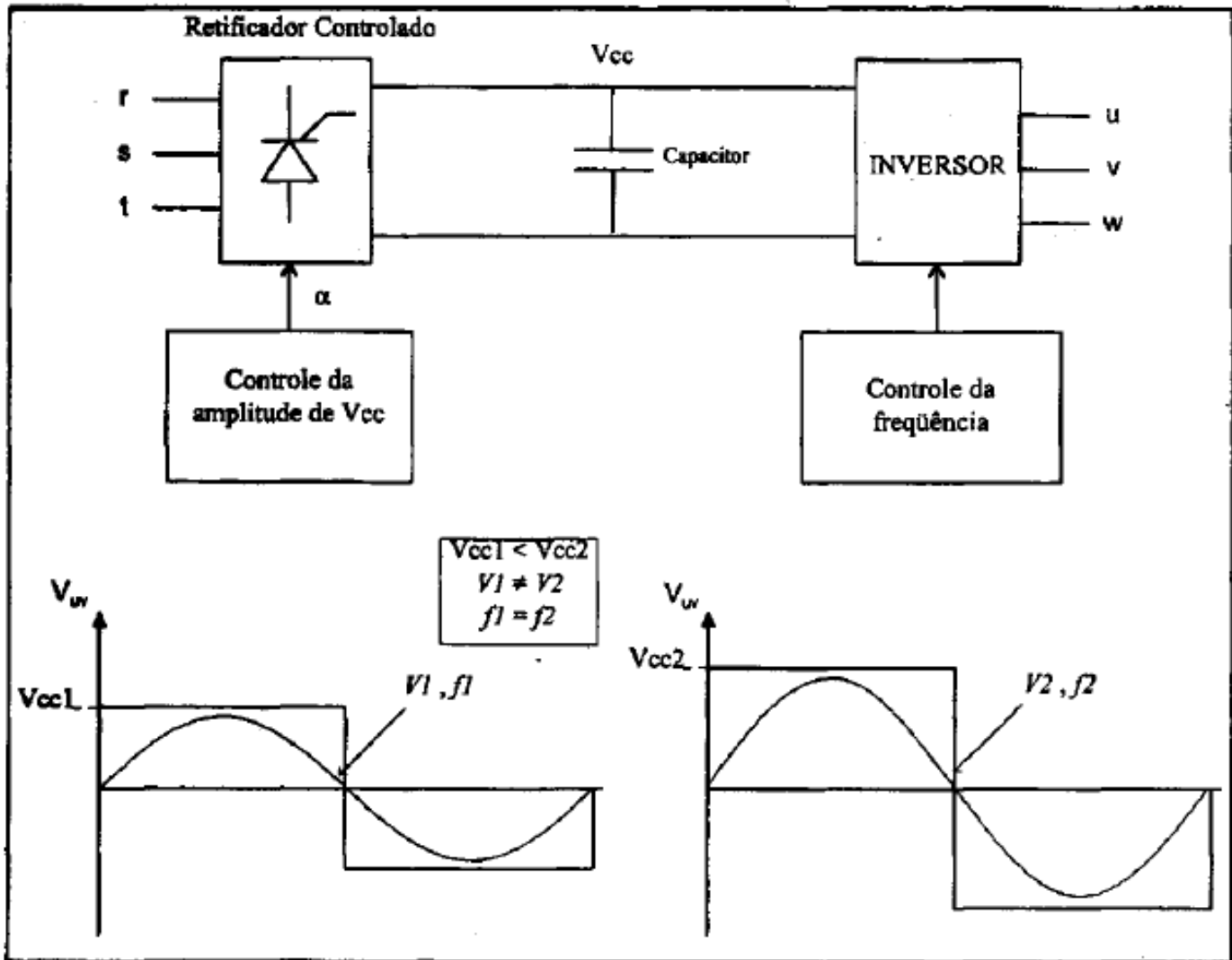
No primeiro caso o equipamento é conhecido como **cicloconversor**, a tensão CA e a frequência de saída são obtidos diretamente da tensão CA de entrada, sem necessidade da etapa de corrente contínua. A desvantagem deste tipo de acionamento é a limitação da frequência de saída, cujos valores ficam abaixo dos 20 Hz.

A conversão em duplo estágio pode ser de dois tipos:



### Modulação por Amplitude de Pulso (PAM):

Nesta configuração, o retificador, normalmente constituído por tiristores, faz o controle da amplitude da tensão, enquanto o inversor faz o controle da frequência. A figura abaixo mostra em diagrama de blocos esta configuração, bem como as formas de onda típicas.

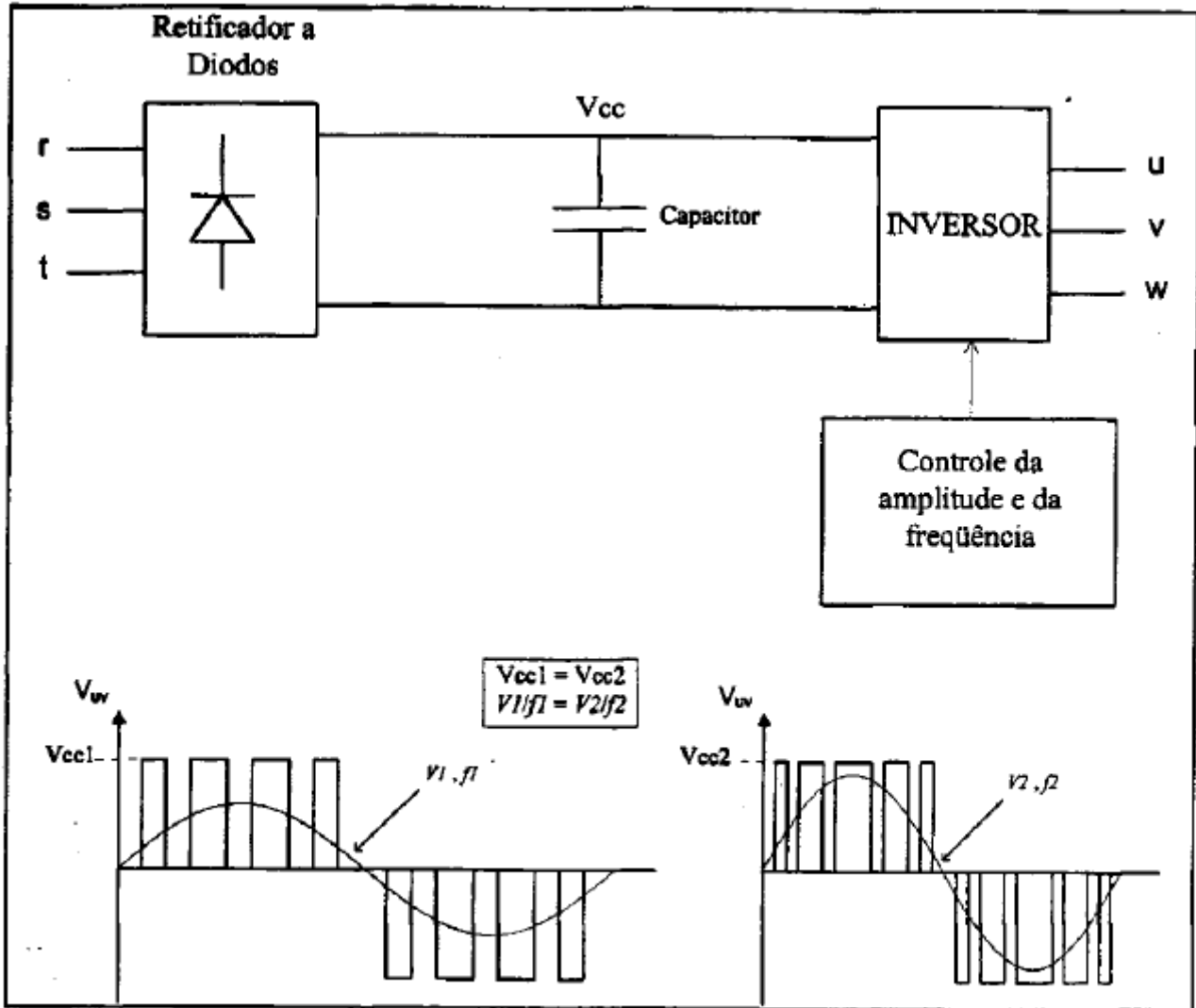


Esquema básico e principais formas de onda de um conversor de frequência PAM



### Modulação por Largura de Pulso (PWM)

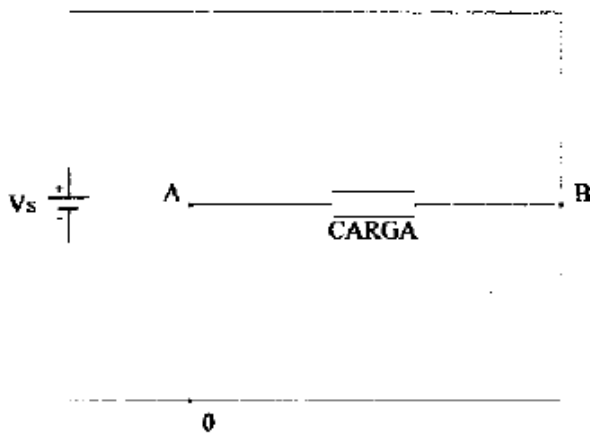
Trata-se do tipo mais comum comercialmente, e neste caso o retificador a **díodo** fornece uma tensão CC de amplitude constante. O inversor fica responsável pelo controle da amplitude e da frequência da tensão CA de saída. A figura abaixo mostra em diagrama de blocos esta configuração, bem como as formas de ondas típicas.



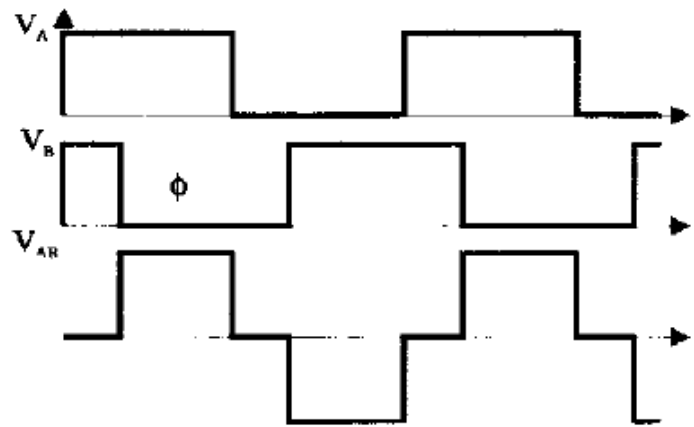
Esquema básico e principais formas de onda de um conversor de frequência PWM

### **Modulação PWM**

A modulação PWM nos permite controlar o valor RMS da tensão de saída do inversor, regulando a largura dos pulsos de comando dos interruptores de potência. A maneira mais simples de se efetuar este controle é com pulso único. Neste caso a regulação da tensão de saída é obtida pela variação do ângulo conforme mostrado a seguir, aplicado a um inversor monofásico em ponte completa.



(a)



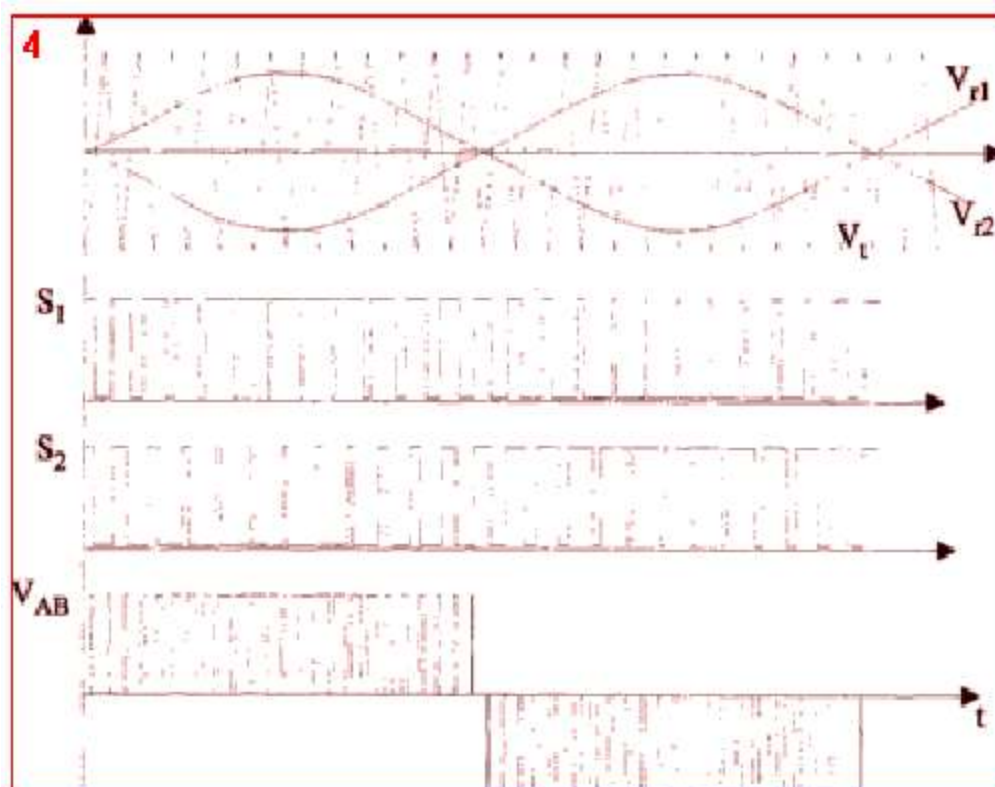
(b)

a) Inversor monofásico em ponte completa,

b) modulação por único pulso

Esta implementação é bastante simples, entretanto neste modo de operar o conteúdo harmônico da tensão de saída do inversor é elevado, causando pulsação de torque, queda do rendimento e interferências eletromagnéticas.

Para contornar estes problemas existem outras técnicas de modulação PWM, para reduzir o conteúdo harmônico da tensão de saída, sendo a mais usual a PWM senoidal. Neste caso a largura dos pulsos são moduladas por uma senoide, através da comparação da mesma com uma onda triangular, conforme mostrado a seguir.



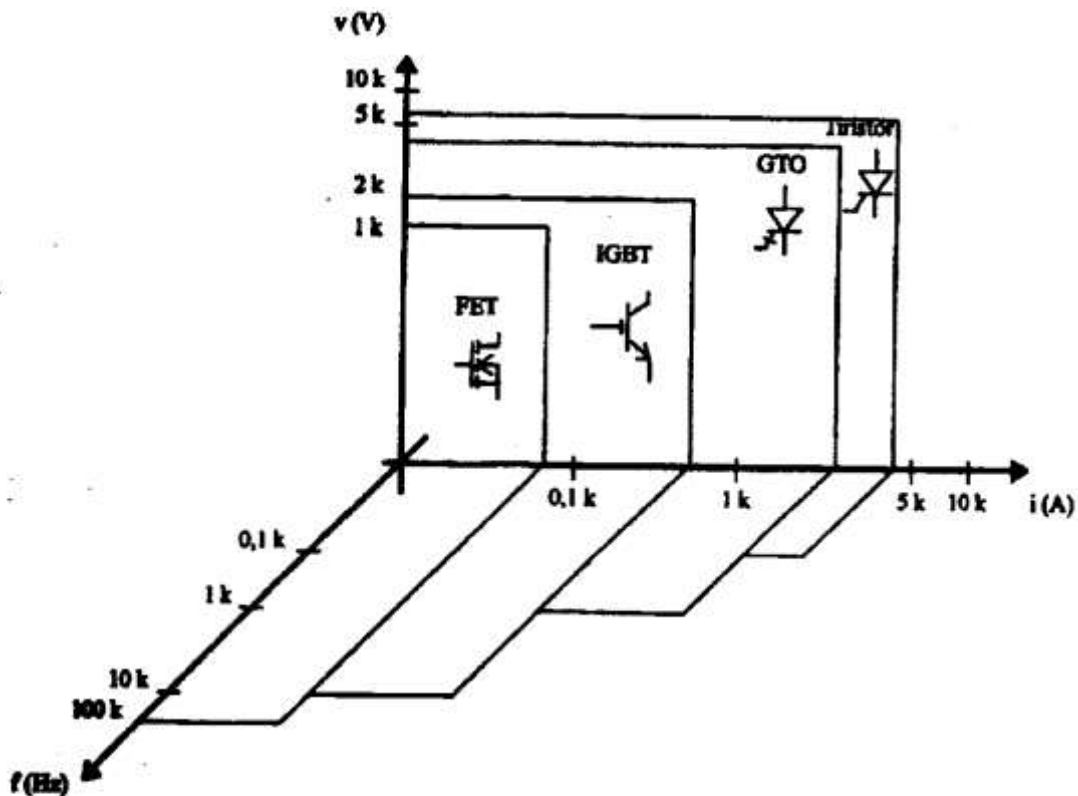


### Modulação PWM senoidal a tres níveis

O valor RMS e a frequência da tensão de saída, são definidos a partir da senóide de referência. O número de pulsos da modulação define a ordem dos harmônicos mais significativos e é controlada pela frequência da onda triangular.

Quanto maior o número de pulsos, maior será a frequência do harmônico mais significativo, portanto serão filtrados através de filtros passivos (indutores e capacitores) com reduzido peso e volume. A limitação deste número de pulsos está na velocidade de comutação das chaves semicondutoras de potência utilizadas.

A aplicação dos semicondutores operando como chaves em eletrônica de potência depende das frequências e potências envolvidas. A figura abaixo resume a aplicação destes elementos, segundo esta classificação.



**Aplicação das chaves semicondutoras de potência**



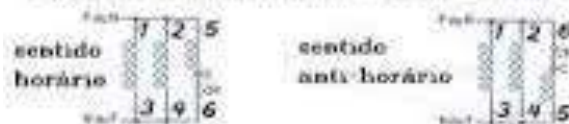
### 11. PLACA DE IDENTIFICAÇÃO

<b>WEG</b> ALTO Plus RENDIMENTO NBR7094	
~ 3 100L	
MOTOR INDICAD - GIGLA	AC 60 cat N
kW(e) 3.7(5.0) rpm 3500	
rs 1.15	ms B ΔI k w/m 9.6
220/380 V	13.0/7.53 A
RE S 1	MSI MB
220 V	380 V
6206-ZZ	A BASE DE LITO
6205-ZZ	34.0 kg
PNCEE REND.S= 87.5% cos φ 0.85	

<b>WEG</b> W22 Premium	
21SEP19 1000000000	
3 kW(HP-cv) 1 1 (15)	CAV. RESULT 132M/L MOTOR INDICAD - GIGLA
220/380 V	A 37.6/21.8 MOTOR INDICAD - MOTOR-SOLITUS CAGE
1760 Hz	60 1.25 M/N 8.3
92.4 AMB 40°C	100 F ΔT 80 K 1/3 47/27.2 A
N IP55	ROD DUTY S1 All. 1000
220 V	380 V
W2 U2 V2	W2 U2 V2
U1 V1 W1	U1 V1 W1
L1 L2 L3	L1 L2 L3
79 kg	
-6308-ZZ	
-6207-ZZ	
MOBIL POLYREX EM	
RENDIMENTO E FATOR DE POTENCIA APROVADOS PELO INMETRO	
PROCEL	
NBR - 17094-1:2005	

### Ligação de Motor Monofásico

Ligação em redes monofásicas a dois fios (P+N), 127 volts.



Ligação em redes monofásicas a dois fios (2F), 220volts.

