

**Uso de Inversores de frequência em Aplicações de Bombeamento de Água para Instalações Prediais****Use of Inverters in Water Pumping Applications in Building Installations**

DOI:10.34115/basrv4n1- 002

Recebimento dos originais: 30/11/2019

Aceitação para publicação: 09/12/2020

**Mário Cesar Santana Alves**

Mestrando em Engenharia Mecânica

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia Elétrica.

Rua Oswaldo Cruz, 266 ,Boqueirão

11045-100 - Santos, SP - Brasil

E-mail:mario.csalves@gmail.com

**João Inácio da Silva Filho**

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia Elétrica.

Rua Oswaldo Cruz, 266 ,Boqueirão

11045-100 - Santos, SP – Brasil

E-mail: mario.csalves@gmail.com

**RESUMO**

Em geral, motores elétricos de indução trifásicos de baixa potência são diretamente conectados à rede elétrica. Os motores de média e grande potência possuem dispositivos que, conectados entre a rede e o motor, permitem uma redução temporária da tensão aplicada aos seus terminais, limitando a corrente elétrica de partida. O Inversor de frequência é um dispositivo que tem essa finalidade. Neste artigo mostra-se ensaios com o uso de inversores de frequência em motores elétricos de potência em aplicações de bombeamento em instalações prediais visando redução de consumo de energia elétrica, entre outras vantagens.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética; Inversores; Bombeamento.

**ABSTRACT**

In general, low-power three-phase induction motors are directly connected to the power supply. Medium and large power motors have devices that, connected between their mains supply and the motor, allow a temporary reduction of the voltage applied to their terminals, limiting the starting electric current. The frequency inverter is a device that has this purpose. This article shows essays

with the use of frequency inverters in electric power motors in pumping applications in building installations aiming at reducing electricity consumption, among other advantages.

**Keywords:** Energy Efficiency; Frequency inverters, Pumping.

## 1 INTRODUÇÃO

Quando um motor elétrico é ligado aparece nos instantes iniciais uma corrente de pico, que é o surto ou a explosão momentânea de corrente que flui para ele de valor suficiente para vencer a inércia. Como exemplo, considera-se um carro em cima de uma calçada plana, estacionado em ponto morto, motor desligado. Para movê-lo sem usar o motor, um ser humano precisaria dar um empurrão substancial, provavelmente um vigoroso impulso nas pernas. Uma vez em movimento, porém, as rodas do carro rolam mais cooperativamente com menos força física necessária. O movimento subsequente flui facilmente e é igual ao fluxo de corrente de estado estacionário que ocorre em um motor, uma vez que suas engrenagens e rotores foram sacudidos para fora da inércia e em movimento.

Para uma análise simplificada de funcionamento, um motor de indução pode ser considerado como um transformador, onde o enrolamento primário deste transformador é formado pelo estator e o enrolamento secundário pelo rotor [2]. O rotor é o único que pode se movimentar, pois está montado sobre rolamentos, disponibilizando assim energia mecânica (torque) no seu eixo [2]. De maneira simplificada pode-se considerar que aparecerá uma força entre o rotor e o estator que fará com que o rotor gire devido a existência dos dois campos magnéticos, um no estator e outro no rotor. O nome “motor de indução” se deve ao fato de que toda a energia requerida pelo rotor para a geração de torque é “induzida” pelo primário do transformador (estator) no secundário (rotor) [1][3].

O motor elétrico de indução trifásico (MIT) é o mais utilizado de todas as máquinas rotativas que transformam energia elétrica em energia mecânica, respondendo por mais de 90% das cargas motoras instaladas nas indústrias. O seu elevado emprego deve-se ao fato de possuir vantagens consideráveis em relação aos demais motores: maior robustez, baixo custo, facilidade na manutenção e simplicidade de controle [1].

Em geral, motores de indução trifásicos do tipo gaiola de esquilo, os mais empregados industrialmente, ao serem conectados diretamente à rede elétrica, absorvem uma corrente de partida na ordem de 4 a 10 vezes maior que a corrente nominal. Para motores de grande potência, as altas correntes, interagindo com a impedância equivalente entre o ponto de fornecimento, na entrada do ambiente industrial (subestação) e o barramento em que o motor está conectado, provocam reduções de tensão temporárias (afundamentos de tensão), durante alguns segundos,

que podem influenciar o desempenho de outras máquinas e equipamentos sensíveis, conectados ao mesmo barramento. Com a intenção de diminuir a corrente de partida, a valores que podem chegar a um terço do valor que seria obtido com a partida direta, a tensão nos terminais do motor é reduzida, provocando, então, uma queda em seu torque durante o processo de aceleração, até que a sua tensão terminal seja normalizada [2].

O torque eletromagnético é diretamente proporcional ao quadrado da tensão nominal de alimentação do motor. Portanto, é importante que seja verificado se o torque eletromagnético do motor é suficiente para acelerar a carga mecânica acoplada ao seu eixo [3].

Entre os tipos de partida de motores de indução podem-se destacar os dois descritos a seguir:

**Partida Direta:** O método de partida direta somente é recomendável se a corrente de partida do motor de indução trifásicos (MIT) não provocar uma redução de tensão considerável na rede (convém não ser maior do que 10% da tensão nominal). Por isso, na maior parte dos casos esse tipo de partida é usado em motores de baixa potência [2].

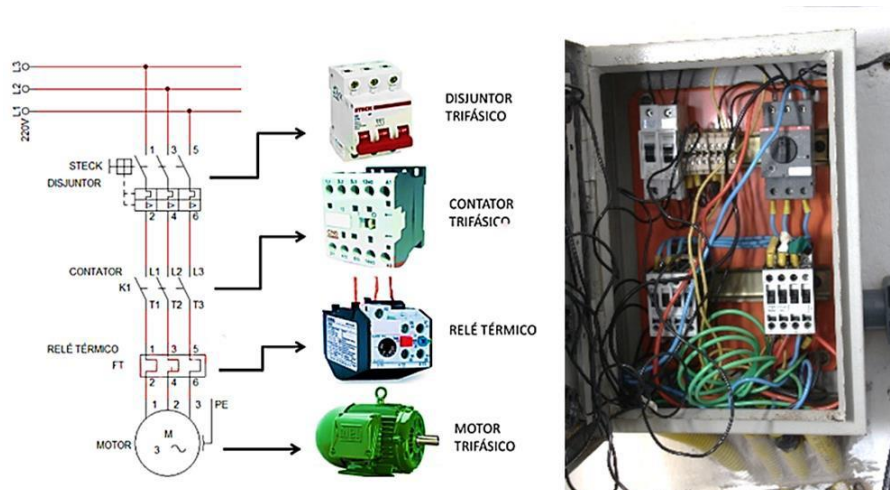


Figura 1 – Partida Direta [2].

No método de partida direta, o MIT é conectado diretamente à rede, por meio de um contator eletromecânico, com uma bobina acionada por um sinal de controle, sendo ainda acrescentados ao circuito de força, fusíveis ou disjuntores e relé térmico, como dispositivos de proteção.

**Partida com Inversor de Frequência:** É o método ideal para partida de motores elétricos visando redução da corrente, que é mantida constante e equivalente a corrente nominal do motor. Para aplicações de bombeamento o controle desse tipo de partida atua na eliminação de oscilações bruscas de pressão na saída da bomba. Este controle é obtido usando um conversor de frequência,

e como o nome sugere, um Inversor de frequência muda a frequência da corrente alternada e da tensão.

Como definição o **inversor de frequência** variável é um tipo de controlador que tem a função de acionar um motor elétrico e ao mesmo tempo variar a **frequência** e a tensão que é fornecida ao motor com o objetivo de controlar a sua velocidade e potência consumida [4].

Para um Inversor de frequência típico pode-se considerar como sendo consistido basicamente em três partes principais de funcionamento: 1) A corrente trifásica regular de 60 Hz é alimentada na parte retificadora, que a converte em corrente direta; 2) A tensão DC é alimentada no circuito de barramento DC, que filtra a tensão pulsante; 3) A unidade inversora conecta cada fase do motor ao barramento DC negativo ou positivo de acordo com uma determinada ordem.

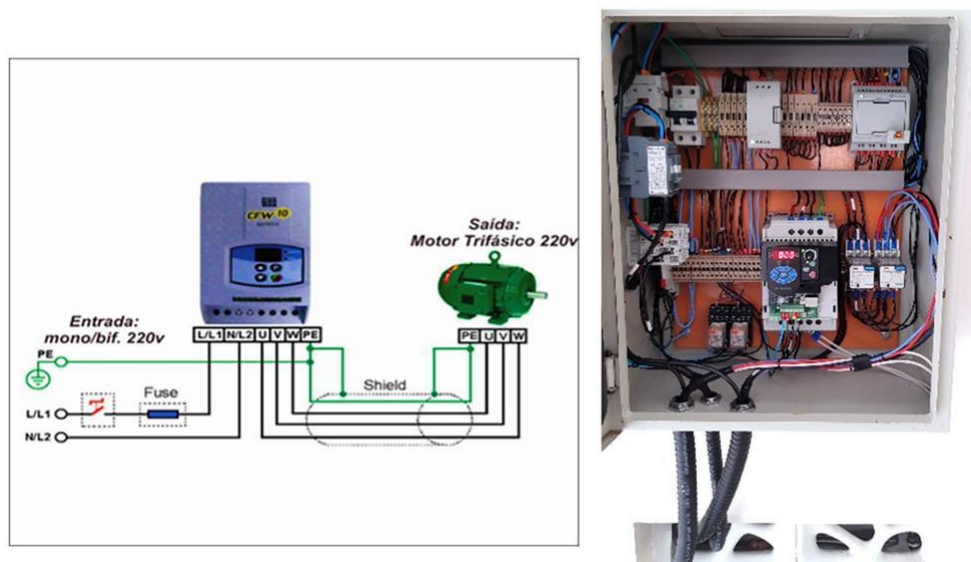


Figura 2 – Partida com inversor de frequência [2].

**Objetivos:** O presente trabalho tem como objetivo mostrar ensaios que comprovam a redução de energia elétrica e vantagens mecânicas em aplicações de bombeamento de água, utilizando inversores de frequência para partida e parada de motores de indução trifásicos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

No experimento utilizou-se um motor trifásico WEG de 5 cv, 220 VAC acoplado a uma bomba Schneider de dois estágios, conectada na entrada a uma caixa de água inferior, e na saída a caixa superior, que está instalada a uma altura manométrica de 42 metros de coluna d'água. Esta instalação experimental construída para os ensaios está mostrada na figura 3.



Figura 3 – Motobomba conectada nas caixas inferior e superior.

Inicialmente para a coleta de dados com partida direta foi utilizado um alicate amperímetro Fluke 376 [5] com garras duras e com o recurso *Inrush* que é usado para medir corrente de partida. Na figura 4 têm-se o exemplo de como o alicate amperímetro foi ligado ao motor.



Figura 4 – Medição de corrente. ©1995 - 2019 Fluke Corporation

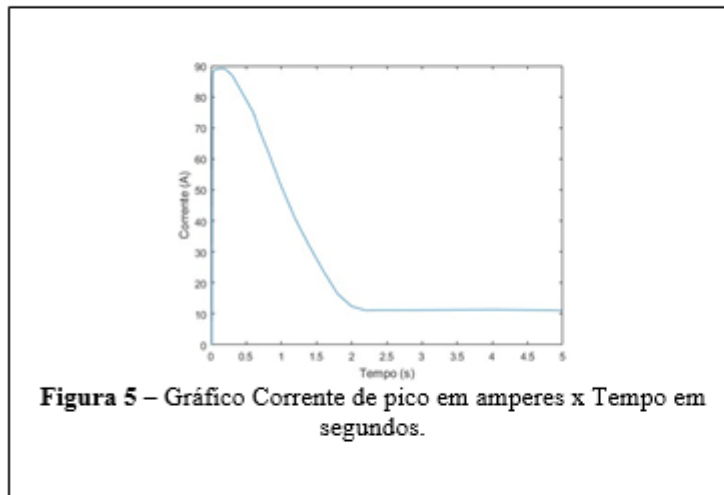
Antes de ligar o motor foi pressionado o botão *Inrush* do instrumento, a após foi ligado o motor e registrado a corrente de pico [5].

Conforme foi visto na figura 2, no diagrama de ligação usando um inversor de frequência para partida, o alicate amperímetro permaneceu ligado ao motor.

Com uma configuração de rampa de aceleração de partida e parada de 5s, ligou-se o inversor de frequência pelo teclado frontal e registraram-se os valores de corrente (Amperes) a cada intervalo de tempo (segundos).

### 3 RESULTADOS

No primeiro ensaio foram obtidos os resultados relacionando a variação do tempo pela respectiva corrente nominal e corrente de pico de uma partida direta do motor instalado na configuração mostrada na figura 3. Os resultados estão mostrados na Tabela 1 e figura 5.



Tempo (s)	Corrente (A)
0	0
0,01	1,00
0,02	86,00
0,03	88,50
0,10	89,00
0,20	89,00
0,30	87,00
0,40	83,00
0,50	79,00
0,60	75,00
0,70	68,50
0,80	63,00
0,90	57,00
1,00	51,00
1,20	40,50
1,40	31,75
1,60	23,70
1,80	16,40
2,00	12,40
2,20	11,10
2,40	11,20
2,60	11,20
3,00	11,20
4,00	11,35
5,00	11,10

**Tabela 1**

Na Tabela 2 e figura 6, mostra-se os resultados obtidos nos ensaios relacionados a variação do tempo pela respectiva corrente, em condições de uma partida do motor com inversor de frequência.





Tempo (s)	Corrente (A)
0,00	0,00
0,01	1,00
0,02	2,50
0,03	3,80
0,10	11,40
0,20	7,00
0,30	7,80
0,40	7,60
0,50	7,40
0,60	7,20
0,70	7,00
0,80	6,80
0,90	6,60
1,00	6,20
1,20	6,10
1,40	6,09
1,60	6,08
1,80	6,07
2,00	6,00
2,20	6,01
2,40	6,02
2,60	6,03
3,00	6,10
4,00	7,00
5,00	8,80
6,00	11,50

**Tabela 2**

#### 4 CÁLCULOS

Os cálculos para comparação de eficiência com uso do inversor de frequência são feitos a partir dos dados da placa do motor de indução trifásico utilizado na instalação experimental. São estes: motor de indução trifásico - tipo gaiola WEG – modelo W22 Plus:

- Potência kW(cv) - 3,7 (5)
- Tensão (Vac) – 220
- Corrente Nominal(A) – 12,8
- In/Ia -relação corrente nominal /corrente de pico – 8,8
- Cos  $\phi$  - 0,87
  - Cálculo da potência de pico de acordo com a tabela 1.

Calculada a média aritmética da curva do motor no Excel no instante 0,02 a 2 segundos (1,8s) – 61,22 A

$$P(W) = In(pico) \cdot V \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \phi \cdot n$$

$$P(W) = 61,22 \cdot 220 \cdot 1,73 \cdot 0,87 \cdot 0,876 = 17.757,649 \text{ W}$$

Convertendo em kW - 17,757

Calculando uso de 4 partidas no mínimo por dia do motor

$$1,8(s) \cdot 4(n^\circ \text{ partidas}) = 7,2 \text{ segundos /dia}$$

Convertendo para horas – 7,2 / 3600 = 0,002 horas

Consumo (kW/h) = Potência(kW) . horas de funcionamento . Quantidade de dias

Consumo (kW/h) mês = 17,757 . 0,002 . 30 = 10,6542 kWh/mês

Cálculo da tarifa CPFL

Base Tarifária coletada em agosto de 2019 com impostos:

- Consumo uso sistema (kWh) - TUSD – R\$ 0,29311010
- Consumo – TE - R\$ 0,42852569
- Adicional bandeira Amarela - R\$ 5,15
- Adicional bandeira Vermelha - R\$ 43,24
- Quantidade de kWh no período - 1090
- Total da conta no período - R\$ 836,39
  - Custo do kW/h em reais = 1090 / 836,39 = 1,303219

Custo = kWh/mês . tarifa CPFL(reais) = 10,6542 . 1,303219 = 13,885 reais / mês

O cálculo com uso do inversor é desnecessário visto que a média aritmética da curva do motor extraída da tabela 2 no mesmo período ficou em 6,591A, portanto muito abaixo da corrente nominal do motor, consistindo-se, praticamente em uma rampa de subida.



Figura 7 – Medição de pressão, saída da bomba.

Registrado picos de pressão de acordo com o gráfico da figura 8 e Tabela 3 com um manômetro instalado na linha, figura 7.



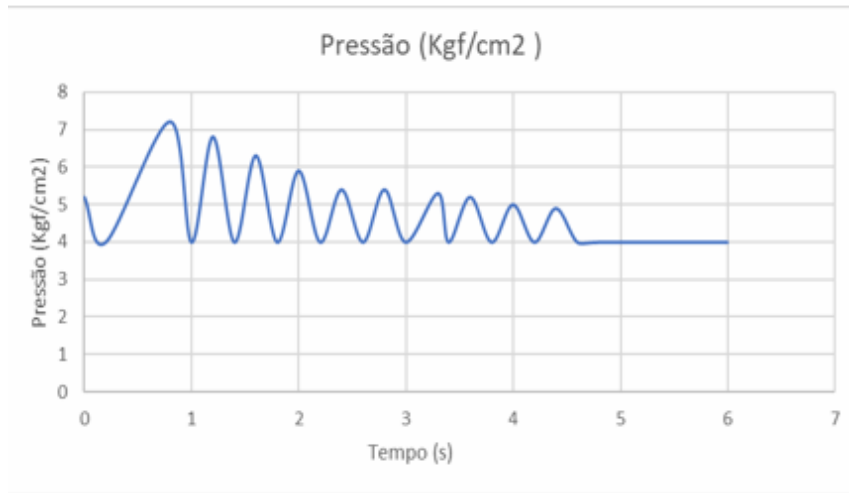


Figura 8 – Gráfico Pressão x Tempo.

Tempo(segundos)	Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )
0	5,2
0,2	4
0,8	7,2
1	4
1,2	6,8
1,4	4
1,6	6,3
1,8	4
2	5,9
2,2	4
2,4	5,4
2,6	4
2,8	5,4
3	4
3,3	5,3
3,4	4
3,6	5,2
3,8	4
4	5
4,2	4
4,4	4,9
4,6	4
4,8	4
6	4

Tabela 3

Nos experimentos verificou-se um aumento da pressão da linha de até 80% após desligamento sem o inversor. Este aumento causou danos as tubulações (foram registrados dois rompimentos na tubulação de pvc) e demais equipamentos hidráulicos.

## 5 DISCUSSÃO

Neste item são abordados os comparativos entre as técnicas de partidas, direta e com uso do inversor de frequência.

Verifica-se pelos gráficos das figuras 5 e 6 que a tendência da potência ativa e da potência mecânica desenvolvida segue o mesmo comportamento. Então, para cada frequência de alimentação do motor e conseqüentemente, para cada velocidade do acionamento, houve redução na energia consumida pelo motor. Verifica-se também que para determinada pressão de trabalho, de 70% a 100% da vazão nominal, a velocidade do motor é proporcional a carga requerida pelo sistema de bombeamento, ou seja, qualquer redução de vazão (carga) da bomba, acompanhada de uma redução de velocidade do motor resulta em economia no consumo de energia elétrica do motor para um mesmo trabalho.

No uso da partida direta (figura 5) a corrente alcançou um valor próximo a 9 vezes o valor da sua corrente nominal.

Vê-se pelo gráfico na figura 6 uma redução significativa na corrente de pico do motor com o uso de inversor de frequência que registrou um pico de corrente (igual a nominal do motor) nos primeiros centésimos de segundos suficientes para superar a inércia da bomba e da coluna de água. Após 5 segundos o motor alcança sua corrente nominal.

## 6 CUSTOS

A partir dos resultados obtidos é verificado o custo de um único motor de indução trifásico aplicado a uma edificação de 9 andares, o que pode ser extrapolados para edifícios mais altos, os quais, sendo necessário motores e bombas mais potentes, têm aumentando ainda mais a despesa com corrente de pico. Nestes casos têm-se ainda um esforço de controle por parte das concessionárias para evitar eventual afundamento de tensão, considerando-se a condição de que grande parte destes motores poderiam ser ligados ao mesmo tempo.

Estes dados estão mostrados na tabela 3 para duas cidades de grande porte:

Cidade	Nº de edificações	KWh/mês(motores de 5cv)	Custo em Reais/Mês
Santos - SP	+ 5.000	53.271	<b>69.423,77</b>
São Paulo - SP	+ 50.000	532.710	<b>694.236,79</b>

Verifica-se que grandes quantidades de edificações tem-se um retorno maior para o uso eficiente de energia. Portanto as altas correntes de partida em um motor de indução trifásico implicam a necessidade de utilização de métodos de acionamento que possibilitem a sua redução, para que a rede elétrica não sofra reduções consideráveis em seus níveis de tensão, por causa da atuação dessas altas correntes na impedância existente entre a fonte e o barramento ao qual o motor está conectado. Dessa forma, o uso de inversor de frequência resulta não somente em eficiência energética, mas também em mecânica, devido a partida e parada em rampa, prolongando a vida útil dos componentes hidráulicos e mecânicos, constatados no desligamento abrupto do motor .

## 7 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados ensaios de partida direta e partida com Inversor de frequência nos quais os resultados experimentais indicam vantagens na utilização de motores de indução quando se aplica em bombeamento de água similar a instalação utilizada no experimento. Verificou-se que, neste caso pode-se então aplicar o inversor de frequência no projeto, ou ainda se o objetivo for iniciar a partida do motor com rotação gradual também é

possível obter este controle com o inversor de frequência. Os ensaios demonstraram que as principais vantagens apresentadas no experimento que utiliza o Inversor de frequência estão relacionadas com as seguintes condições: 1) resultam em menor consumo de energia elétrica; b) apresenta boa capacidade de Automatização dos processos; c) se mostra uma excelente forma de evitar golpe de aríete devido a parada suave. Além destas pode-se destacar o aumento da vida útil da máquina devido a baixas correntes de partida e da própria instalação de bombeamento de água predial devido ao menor número de incidências de golpe de aríete nas tubulações da rede.

### REFERÊNCIAS

- MORAES, C. C. de; FALCONE, A. G. Comportamento dos motores assíncronos em regime de tensão e frequência variáveis. 1978. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1978.
- WEG. Guia de aplicação de inversores de frequência. Jaraguá do Sul, 2003, 2007.
- IEEE Recommended Practices and requirements for Harmonic Control in Electrical Power System, IEEE Standard 519, 1992
- S. Bhattacharya, T. M. Frank, D. M. Divan and B. Banerjee, "Active Filter System Implementation", IEEE Industry Application Magazine, September/October 1996, pp. 47-63
- Almeida, A. B. - "O Golpe de Aríete e o Projeto de Conduas Elevatórias" - Seminário 238 - LNEC, Lisboa, 1979
- CARVALHO, G.. Máquinas elétricas. São Paulo: Érica, 2007.
- Fluke Incorporation .
- WEG - Guia de Especificação de Motores Elétricos