

UTILIZAÇÃO DE CONVERSORES DE FREQUÊNCIA EM MOTORES ELÉTRICOS DA TORRE DE PEROLAÇÃO: um estudo de caso

Abrahão da Silva Fontes
Matias Marconi Menezes Silva Júnior

RESUMO

A utilização de conversores de frequência tornou-se um poderoso recurso nos processos industriais devido a uma série de vantagens que este traz para a produção. Controle de velocidade, aumento da eficiência energética, da confiabilidade, da vida útil e da campanha dos equipamentos são exemplos destes benefícios. O presente artigo consiste num estudo de caso sobre o uso de conversores de frequência na Fábrica de Fertilizantes de Sergipe, a FAFEN-SE, num dos principais processos da fábrica, a torre de perolação. Serão abordados os seguintes temas: os problemas encontrados atualmente neste processo, a escolha do conversor de frequência adequado para os tipos de máquinas elétricas utilizadas, importantes critérios de projeto e instalação dos conversores e as vantagens advindas da implementação dos conversores de frequência.

Palavras-chave: Conversores de frequência. Confiabilidade. Motores. Perolação.

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2015, o crescimento do PIB brasileiro foi fortemente impulsionado pelo setor do agronegócio (CANAL, 2015). Isso evidencia a necessidade dos grandes produtores, deste ramo da economia, de serem supridos com fertilizantes. Porém,

a produção nacional ainda não é suficiente para suprir a demanda do país (PETROBRAS, 2013) e grandes investimentos estão em andamento na área para atender este mercado, sendo a Petrobras um dos principais investidores no ramo.

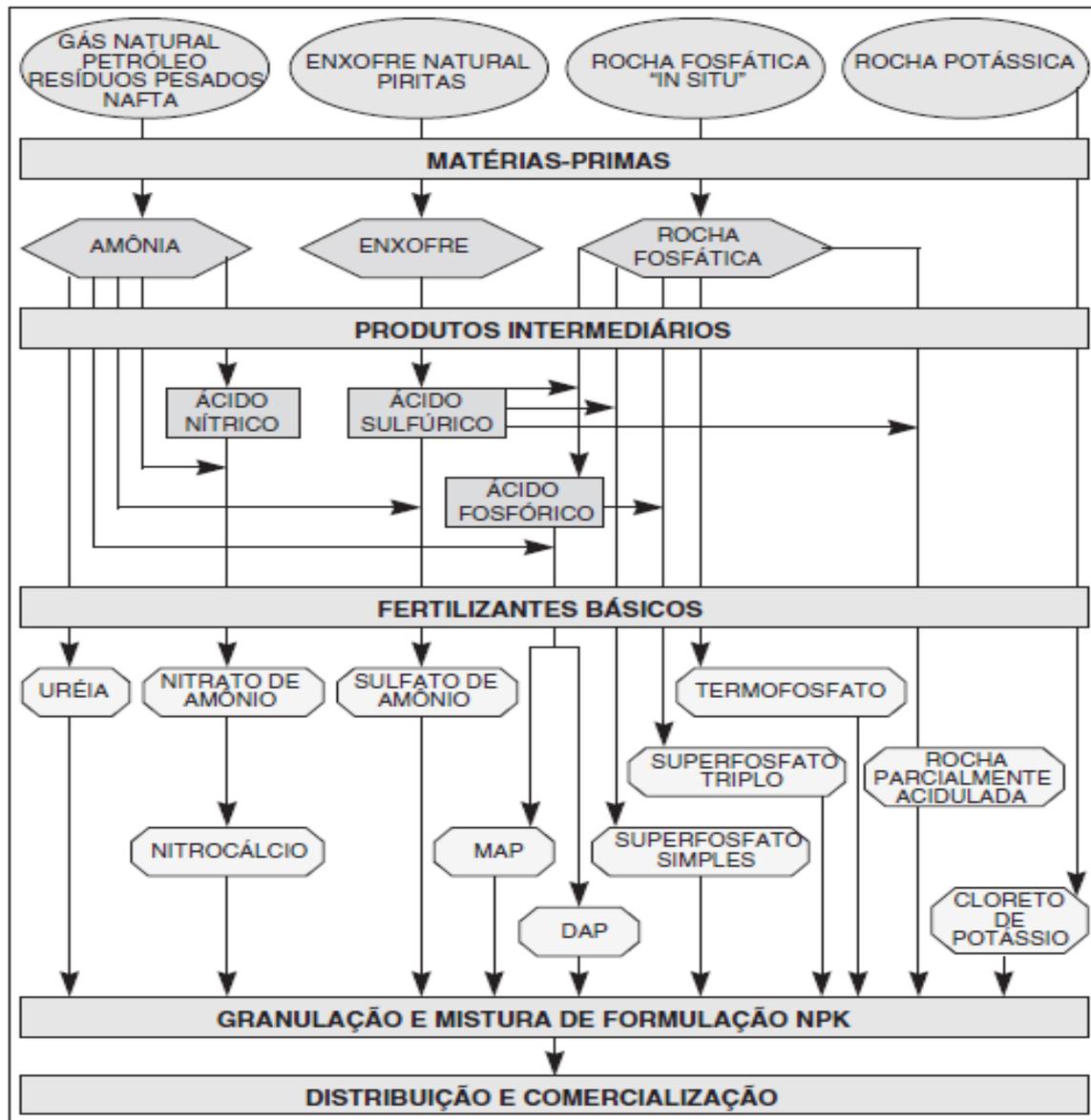
Na agricultura, a deficiência mais comum no solo é de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), os quais formam a mistura de fertilizantes NPK. De uma maneira geral, o fósforo e o potássio são de origem mineral, enquanto os fertilizantes nitrogenados são, basicamente, de origem fabril (DIAS; FERNANDES, 2006). Desta forma, o grande volume de investimento da Petrobras se destina a fábricas produtoras de fertilizantes nitrogenados, tais como ureia e amônia. A Figura 1 ilustra a cadeia produtiva dos fertilizantes nitrogenados na FAFEN-SE.

Os fertilizantes nitrogenados são provenientes da fabricação da amônia anidra, NH_3 , que é a matéria-prima dos nitrogenados sintéticos. Este composto é obtido pela reação do gás de síntese, numa relação de 1:3 de nitrogênio (N), oriundo do ar, com o hidrogênio (H) provido de fontes diversas, como o gás natural, nafta, ou de outros derivados de petróleo. Na Petrobras o gás natural é o mais utilizado, tanto por ser, tecnicamente, a melhor fonte de hidrogênio para a produção de fertilizantes nitrogenados, como também

peço fato de a empresa ser uma grande produtora deste gás.

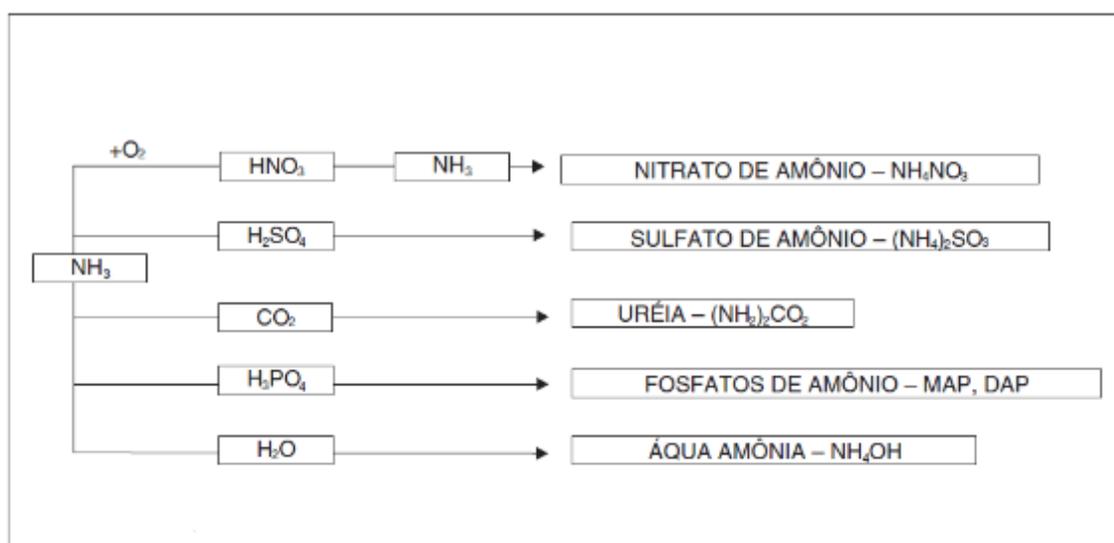
A rota de produção de fertilizantes nitrogenados pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 1 - Cadeia produtiva dos fertilizantes.



Fonte: DIAS; FERNANDES, 2006, p. 100.

Figura 2 - Rota de produção de Fertilizantes Nitrogenados.



Fonte: DIAS; FERNANDES, 2006, p. 106.

A Fábrica de Fertilizantes de Sergipe (FAFEN-SE) produz atualmente Amônia, Ureia, Gás Carbônico e Sulfato de Amônio. Desde 1998, após uma modernização, a fábrica produz cerca de 1800 toneladas de ureia e 1250 de amônia. A produção de ureia na FAFEN-SE é dividida em quatro tipos de ureia:

- fertilizante perolada;
- granulada;
- Reforce N;
- industrial.

Esses produtos abastecem o mercado brasileiro de indústrias químicas e de fertilizantes, além de serem usados na agricultura.

Em um dos processos de formação de ureia, a perolação, existem quatro motores que acionam exaustores que operam, simultaneamente, quando um segundo processo da unidade está parado, a granulação. Quando este último entra em operação, a carga de produção da perolação é reduzida, pois parte da produção é transferida para o processo de granulação. Desta forma, um dos exaustores deve ser desligado, visto que a permanência dos quatro em operação

pode formar blocos de ureia devido à redução da temperatura, o que é indesejável. Porém, este exaustor continua com o seu eixo em rotação devido a sua forma de instalação, mas no sentido oposto à sua rotação nominal.

Desta forma, quando o processo de granulação é parado e se torna necessário partir o motor acionador do exaustor, o que é feito de forma direta, existe a possibilidade de queimar o motor por sobrecarga ou até danificar o eixo. Outro problema encontrado é na qualidade do produto; com a operação de apenas três dos quatro exaustores, a uniformização da retirada da umidade da ureia fica comprometida.

Diante dos problemas que foram expostos, a utilização de conversores de frequência possibilita a solução, pois é possível partir o motor de forma suave evitando quaisquer danos aos componentes internos do mesmo, como também possibilita o uso simultâneo dos quatro exaustores em carga reduzida, uniformizando a retirada de umidade da ureia na torre de

perolação e, conseqüentemente, melhorando a especificação do produto.

2 PROCESSO DE PEROLAÇÃO

A unidade de ureia pode ser dividida em seis seções:

- síntese;
- purificação;
- concentração;
- granulação;
- recuperação do condensado do processo;
- tratamento do condensado do processo.

Na seção de concentração e granulação, ocorre o processo de perolação, o qual é o foco deste artigo. A solução de ureia da seção de purificação é concentrada para formar ureia liquefeita e, então,

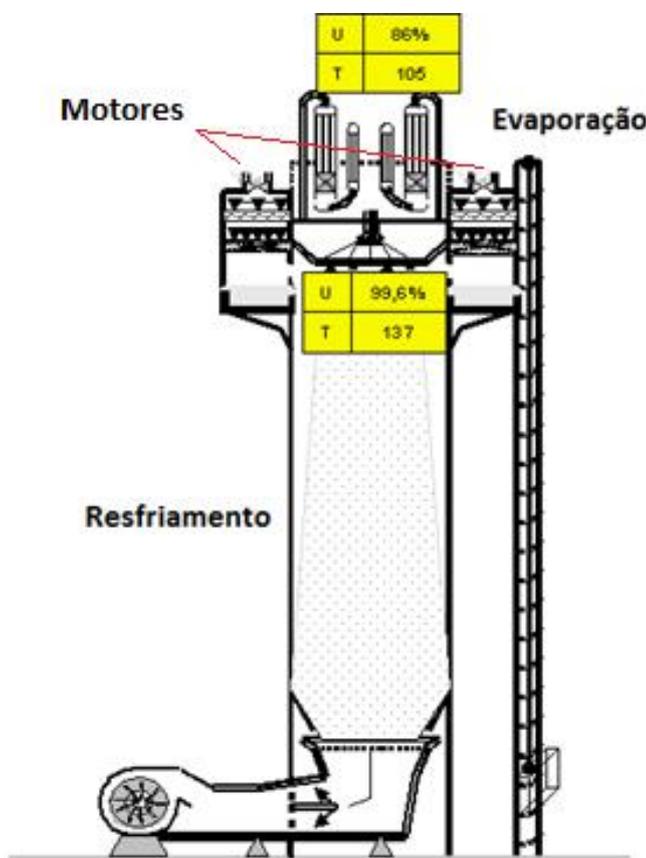
aspergida na torre de perolação para formar ureia perolada. A Figura 3 ilustra a torre de perolação e os processos envolvidos na mesma.

O produto chega ao topo da torre na forma líquida com grau de pureza de 86% e na temperatura de 105°C. No processo de evaporação, a ureia entra em contato com ar quente a 175°C, retirando água da ureia e elevando sua pureza para 99,6% e a deixando com 137°C.

No processo de resfriamento, a ureia líquida desce pela torre e solidifica-se em forma de pérolas, chegando numa temperatura final de, aproximadamente, 10°C acima da temperatura ambiente. O ar de resfriamento é puxado por quatro exaustores colocados no topo da torre, os quais serão abordados neste artigo.

111

Figura 3 - Torre de Perolação.



Fonte: FAFEN-SE, 1981, p. 01.

3 DETALHAMENTO DO PROBLEMA

As últimas quatro falhas que ocorreram neste motor, que são o foco deste artigo, estão compreendidas entre os anos de 2008 a 2015, em média de uma falha a cada dois anos. Conforme já fora mencionado, os motores estão localizados no topo da torre de perolação, acionando os exaustores. Estes possuem dois modos principais de operação: ficam os quatro motores em 100% ou três motores em 100% e um desligado, de acordo com a demanda do processo. Porém, quando um destes motores está desligado, o seu eixo continua em rotação devido ao fluxo de vapor que passa por dentro de uma tubulação ao qual o motor está instalado, ver Figura 4. Entretanto, nesta situação o eixo do motor gira no sentido inverso da operação normal, ocasionando um problema na partida do motor.

Em máquinas elétricas a corrente de partida é maior que a nominal, normalmente seis vezes maior (FITZGERALD; UMANS; KINGSLEY JUNIOR, 2006), porém na situação acima mencionada, a corrente de partida pode superar e muito esse valor, ocasionando um superaquecimento nos enrolamentos do motor e, conseqüentemente, uma queima dos mesmos. Vale ressaltar que o aumento da corrente de partida ocasiona, também, um aumento no torque (FITZGERALD; UMANS; KINGSLEY JUNIOR, 2006), podendo levar o eixo a partir, devido às forças as quais este estará submetido, agravada pelo fato de que a inércia do rotor está no sentido oposto da rotação nominal. Além do eixo, estas forças podem danificar outros componentes do motor, como as barras do rotor, os mancais ou rolamentos, ver Figura 5.

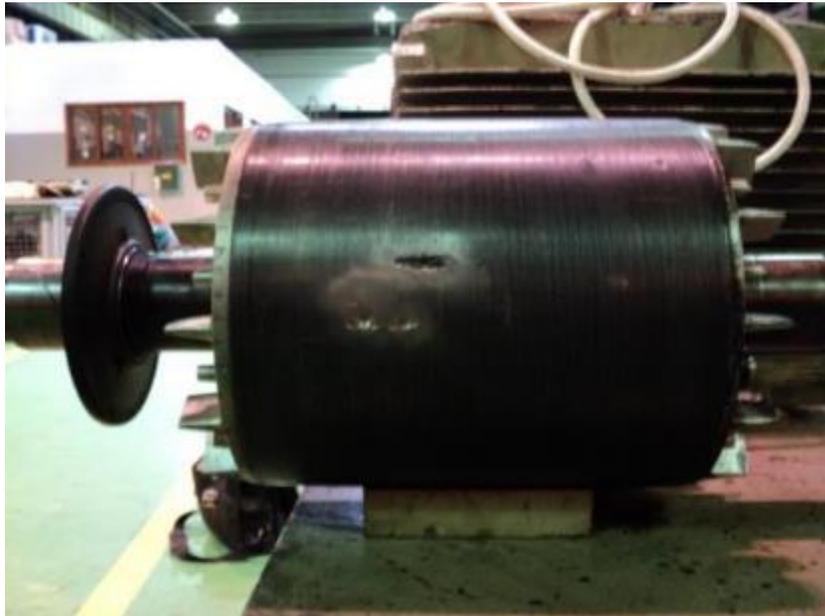
112

Figura 4 - Instalação dos motores.



Fonte: FONTES, 2014.

Figura 5 - Rotor do motor danificado devido à alta corrente de partida.



Fonte: SILVA JÚNIOR, 2011.

113

3.1 PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Para estes problemas, relatados no tópico anterior, uma possível solução é a utilização dos conversores de frequência. O advento deste recurso possibilita a partida suave destes motores, o que eliminaria as altas correntes de partida, e, do ponto de vista da manutenção, traz maior confiabilidade operacional, diminuição nos custos de manutenção corretiva, aumento da campanha entre falhas dos motores, aumento da vida útil e eficiência energética.

Vale ressaltar que a utilização dos conversores de frequência permite que os quatro motores operem simultaneamente com uma carga mais baixa quando a demanda diminui, conforme mencionado anteriormente. Do ponto de vista da produção, neste modo de operação, o processo de perolação estaria no seu ponto ótimo, visto que uniformiza a retirada de umidade da ureia, melhorando a especificação do produto e agregando valor a este.

3.1.1 DADOS DO MOTOR

A Tabela 1 mostra a especificação dos motores instalados na torre de perolação.

Os motores estão instalados no topo da torre de perolação a, aproximadamente, 70m de altura. Conforme mencionado anteriormente, estes motores estão instalados dentro de tubulações conforme já mostrado na Figura 4. A localização destes motores é um grande complicador para a manutenção, tanto na questão do acesso com ferramentas, peças e equipamentos de maior porte como para a retirada do local e envio para a oficina. Desta maneira, o aumento da campanha entre falhas deste motor é uma necessidade de caráter urgente, pois diminuem os custos e os prazos da manutenção

Tabela 1 - Dados elétricos do motor

| Tipo | Motor de indução gaiola de esquilo |
|-------------------|------------------------------------|
| Tensão | 440 V |
| Corrente Nominal | 162 A |
| Potencia | 90 kW / 125 HP |
| Rotação | 890 rpm |
| Ip/In | 7,8 |
| Fator de Serviço | 1,00 |
| Fator de Potencia | 0,79 |
| Rendimento | 92,5% |
| Regime | S1 |

Fonte: OS AUTORES, 2014.

3.1.2 CONVERSOR DE FREQUÊNCIA

Nesta seção será detalhado o conversor de frequência especificado para o problema, como também a definição do seu local de instalação.

Como exemplo neste artigo, o conversor de frequência que será especificado é o modelo CFW11 da WEG (2013). A escolha foi baseada apenas para fins didáticos, sem nenhuma definição do fabricante do conversor que será utilizado, por se tratar de um equipamento usual na FAFEN-SE e de conhecimento da manutenção elétrica.

O conversor de frequência deverá ser instalado, preferencialmente, na gaveta de cada motor, localizada no PN-129403 da subestação da unidade de Ureia. Isto devido à falta de espaço na subestação e pelas dimensões favoráveis da gaveta (ver Figura 6), 1150 x 600 x 700 mm, Altura, Largura e Profundidade, respectivamente. Para tal, será necessária uma adequação do espaço interno e seus componentes, além da porta frontal da gaveta. Assim, é necessária uma readequação da mesma: definir topologia, especificar e dimensionar componentes. Atualmente, são utilizados seccionadora com fusíveis,

contator e relé térmico. Para o uso com o conversor de frequência, a topologia será disjuntor tipo caixa moldada, para seccionamento, e fusível para proteção do inversor.

Segundo o fabricante WEG (2013), o conversor de frequência trabalha a temperatura ambiente de -10°C a 45°C . A subestação é climatizada e sua temperatura fica em torno dos 20°C a 23°C . Considerando que o ambiente no qual o conversor de frequência será instalado é a própria gaveta do painel, foi necessário fazer uma imagem térmica da gaveta na sua condição de operação nominal.

Na imagem térmica da Figura 7 nota-se que a temperatura varia de 27°C , nos pontos mais frios, a $53,4^{\circ}\text{C}$, nos pontos mais quentes. Vale salientar que as temperaturas maiores são nos locais em que há condução de corrente. Assim, os pontos mais frios são aqueles que estão com menor contato com as partes aquecidas. Como pode se observar nas figuras, foram ilustrados vários pontos internos da gaveta. Desta forma, pode-se assumir uma temperatura média na gaveta de 30°C , o que não inviabiliza a

instalação dos conversores de frequência internamente à gaveta. Para viabilizar a dissipação de calor na gaveta, faz-se necessário a abertura de janelas tipo aletas na parte superior do painel. Como o

painel não possui certificação devido à época em que foi construído, na década de 80, a instalação das janelas não é impeditiva.

Tabela 2 - Dados do conversor de frequência.

| Tipo | CFW11 padrão |
|-----------------------|-----------------------------------|
| N° fases | 3 |
| Tensão de Entrada | 380-480 V |
| Tensão de Saída | 440 V |
| Frequência de Entrada | 60 Hz |
| Corrente de Saída | 180 A |
| Potencia | 110 kW / 150 cv |
| Tipo de sobrecarga | ND - sobrecarga normal |
| Grau (IP) | IP 21 |
| Tamanho do gabinete | E (675 x 334,4 x 358,3mm) - AxLxP |

Fonte: WEG, 2013, p. 09 e 10.

115

Figura 6 - Gaveta aberta padrão do motor.



Fonte: FONTES, 2014.

Figura 7 - Imagem térmica da gaveta do motor.



Fonte: FONTES, 2014.

3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE HARMÔNICOS

Uma das desvantagens do uso dos conversores de frequência é a injeção de componentes harmônicas na rede. Porém, a norma IEEE 519 (1992) define valores aceitáveis desses componentes na rede.

Segundo catálogo do fabricante do conversor de frequência, WEG (2004), valores típicos de injeção de harmônicos na rede podem ser adotados segundo Tabela 3 a seguir:

116

Tabela 3 - Valores característicos do circuito de entrada de inversores de frequência para redes trifásicas. Valores expressos em percentual da corrente nominal de saída do inversor.

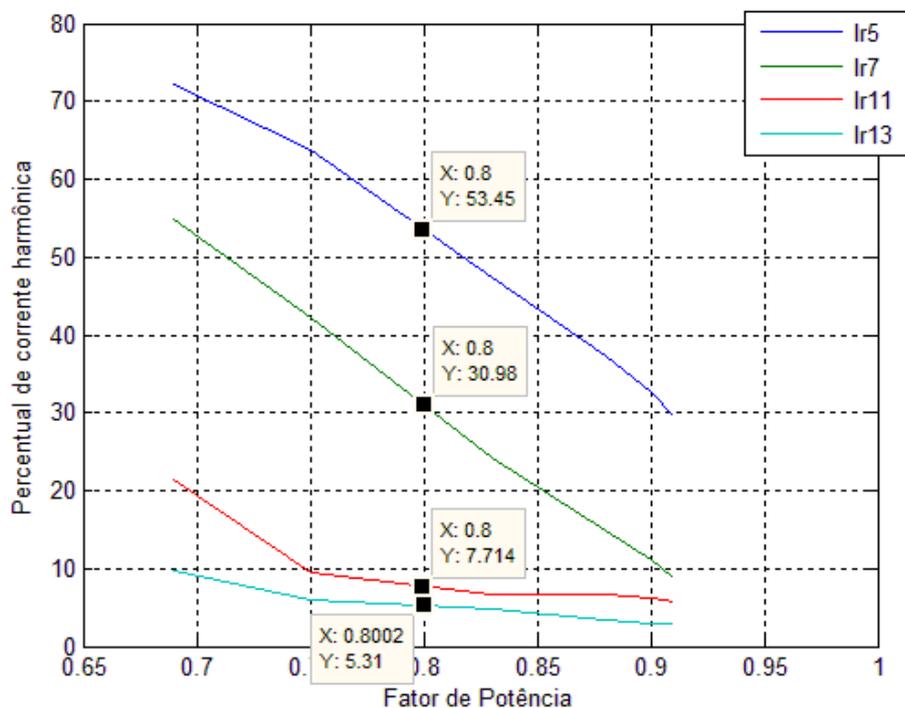
| X | Ir1 | Ir5 | Ir7 | Ir11 | Ir13 | Irms | FP |
|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| 0,5 | 93 | 72,2 | 54,8 | 21,4 | 9,8 | 131 | 0,69 |
| 1 | 93 | 63,7 | 42,3 | 9,4 | 6 | 121 | 0,75 |
| 2 | 93 | 47,3 | 24,2 | 6,7 | 4,9 | 106 | 0,83 |
| 3 | 93 | 37,3 | 14,9 | 6,7 | 3,4 | 99 | 0,88 |
| 4 | 93 | 32,7 | 11 | 6,3 | 3 | 96 | 0,9 |
| 5 | 93 | 29,6 | 8,7 | 5,8 | 3 | 96 | 0,91 |

Fonte: WEG, 2014, p. 173.

Segundo o fabricante WEG (2004), o fator de potência calculado na tabela é baseado na indutância da rede somado às indutâncias do inversor de frequência. O painel, em que os motores estão instalados, alimentam, predominantemente, motores elétricos.

Assim, pode-se assumir que a fator de potência do painel é em torno de 0,8. Desta forma, foi feita uma interpolação linear para aproximar os valores percentuais de correntes harmônicas, ver Figura 8 e Tabela 4:

Figura 8 - Interpolação exponencial.



117

Fonte: OS AUTORES, 2014.

Tabela 4 - Valores de interpolação aproximados.

| Ir1 | Ir5 | Ir7 | Ir11 | Ir13 | Irms | FP |
|-----|-------|-------|------|------|--------|------|
| 93 | 53,45 | 30,98 | 7,71 | 5,31 | 112,04 | 0,80 |

Fonte: OS AUTORES, 2014.

O painel está na configuração secundário seletivo e trabalha, normalmente, em duplo I, ou seja, cada transformador alimentando uma barra do painel e o disjuntor de interligação fica aberto. Desta forma, cada barra fica com dois motores em condições normais; e, em condições de emergência, ficam os quatro motores apenas em uma barra, na configuração em L, sendo alimentado apenas por um transformador. A corrente nominal do painel é de 3000 A, a corrente de curto-circuito máxima é de 50 kA,

como mencionado anteriormente, e a tensão do painel é de 480 V.

O cálculo de injeção de harmônico foi feito para dois casos: quando o painel está em condição normal de operação e em condição de emergência, ambos para o fator de potência atual. A Tabela 5 mostra os valores de corrente para cada harmônica, o THD de corrente, o THD de tensão e os limites determinados pela IEEE 519 (1992) para cada um dos casos.

Os valores percentuais de corrente são em relação à corrente nominal do painel. A relação I_{sc}/I_L mencionada na norma IEEE 519 (1992) define os valores máximos permitidos de distorção harmônica numa instalação elétrica, onde I_{sc} é a corrente de curto circuito máxima e I_L é a corrente

de carga máxima. Assim, a relação I_{sc}/I_L é de $50/3 \text{ kA/kA} = 16,67$. Logo, para a tensão de 480 V e para a relação de 16,67, os limites são dados pela tabela 10.3 da referida norma.

Tabela 5 - Percentuais de harmônicos e seus limites.

| FP = 0,80 | | | | | | |
|------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Harmônica | 5 | 7 | 11 | 13 | THDI | THDV |
| IEEE | 4% | 4% | 2% | 2% | 5% | 5% |
| Normal | 6,41% | 3,72% | 0,93% | 0,64% | 7,50% | 2,60% |
| Emergência | 12,83% | 7,44% | 1,85% | 1,27% | 15,00% | 5,20% |

Fonte: OS AUTORES, 2014.

Conforme a Tabela 5, nota-se que alguns limites estabelecidos pela IEEE são ultrapassados. Desta forma, para este fator de potência atual, o uso dos conversores de frequência neste painel exige a utilização de um filtro passivo. Este filtro consiste na inserção de uma indutância de rede a montante do conversor de frequência, o qual melhora o fator de potência, diminuição da corrente eficaz de entrada e diminuição no THD de tensão.

Porém, para que o filtro passivo venha a atender os requisitos da norma e seja especificado adequadamente para tal, o fabricante exige informações da instalação, como, por exemplo: a impedância, impedância de curto-circuito dos transformadores, corrente de demanda nominal, bitolas e comprimento de cabos, tipo e localização das cargas, entre outros; e também necessita das informações dos inversores de frequência (amplitude das harmônicas de corrente), que é de responsabilidade do próprio fabricante. Assim, durante a fase de especificação do filtro passivo, todas essas informações da instalação devem ser passadas ao fabricante, as quais são

levantadas através de medições de campo (fator de potência, THD de corrente e tensão) e de análise da documentação da instalação (impedâncias do transformador, bitolas e comprimentos de cabos, etc).

4 CONCLUSÃO

Neste artigo, foi abordado um problema existente com os motores exaustores da torre de perolação, que é um dos principais processos da unidade de ureia da FAFEN-SE. Para solucioná-lo foi necessária uma revisão bibliográfica dos principais conceitos envolvidos na resolução deste. Desta forma, foi feita de forma conceitual a especificação técnica dos principais problemas envolvidos na solução: escolha do conversor de frequência, readequação da gaveta do painel e considerações sobre harmônicas.

Portanto, pode-se concluir que com o uso de conversores de frequência é possível partir o motor de forma suave, evitando possíveis danos ao motor, como também utilizar 4 exaustores simultaneamente, uniformizando a retirada de umidade da ureia na torre de perolação e, assim,

melhorar a especificação do produto. Dessa forma, a implementação destes conversores mostrou-se viável tecnicamente.

Além disso, o uso de conversores de frequência possibilita um aumento da eficiência energética, da confiabilidade, da vida útil e da campanha dos equipamentos.

ABSTRACT

The use of frequency converters has become a powerful tool in industrial processes due to a number of advantages that it brings to production. Rotation controls, increased energy efficiency, reliability, raises service life and spread equipment campaign, are examples of these benefits. This paper is a case study on the use of frequency converters at the plant of fertilizer in Sergipe (FAFEN-SE), one of the main processes of the plant, perolação tower. The following topics will be discussed: the problems currently encountered in this process, choosing the right frequency converter for the types of electrical machines used, important design and installations criteria and the benefits of the implementation of frequency converters.

Keywords: *Frequency converters. Reliability. Motors. Pearlring.*

NOTAS EXPLICATIVAS

O objetivo deste artigo foi o desenvolvimento de uma solução que atendesse tanto o problema da manutenção elétrica como os anseios de melhorias na produção.

REFERÊNCIAS

- CANAL DO PRODUTOR. **PIB do Agronegócio cresce 3,8% em 2014**. Disponível em: <www.canaldoprodutor.com.br/comunicacao/noticias/pib-do-agronegocio-cresce-38-em-2014>. Acesso em: 25 set. 2015.
- DIAS, Victor Pina; FERNANDES, Eduardo. **Fertilizantes: uma visão global sintética**. **BNDS Setorial**, Rio de Janeiro, n. 24, p. 97-138, 2006.
- FAFEN-SE. **Instruções operacionais da Unidade de Ureia**. Laranjeiras, 1981.
- FITZGERALD, A. E.; UMANS, S. D.; KINGSLEY JUNIOR, C. **Máquinas elétricas com introdução à eletrônica de potência**. Tradução: Anatólio Laschuk. 6. ed. São Paulo: Bookman, 2006.
- FONTES, A. **DSC01215.JPG**: Gaveta aberta padrão do motor. 2014. Altura: 4320 pixels. Largura: 3240 pixels. 72 dpi. 3,74 Mb. Formato JPEG. Disponível em: <V:\FAFEN-SE_MI_EI\NP-2\Eletrica\Monorafia_Abrahao_MSP-403_torre_conv\Fotos>. Acesso em: 12 out. 2016.
- _____. **IMG_20130809_142659_891.JPG**: instalação dos motores. 2014. Altura: 3264 pixels. Largura: 1836 pixels. 72 dpi. 1,76 Mb. Formato JPEG. Disponível em: <V:\FAFEN-SE_MI_EI\NP-2\Eletrica\Monorafia_Abrahao_MSP-403_torre_conv\Fotos>. Acesso em: 12 out. 2016.
- _____. **TERMOGRAFIA01.PNG**: imagem térmica da gaveta do motor. 2014. Altura: 375 pixels. Largura: 622 pixels. 210 Kb. Formato PNG. Disponível em: <V:\FAFEN-SE_MI_EI\NP-2\Eletrica\Monorafia_Abrahao_MSP-403_torre_conv\Fotos>. Acesso em: 12 out. 2016.
- IEEE. **519-2014: IEEE recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems**. New York, 1992. Versão corrigida em 2014.

PETROBRAS. Entenda por que a Petrobras investe em fertilizantes. **Fatos e dados.** Rio de Janeiro, jul. 2013. Disponível em: <<http://fatosedados.blogspot.com.br/2013/07/07/entenda-por-que-a-petrobras-investe-em-fertilizantes/>>. Acesso em: 25 set. 2015

SILVA JÚNIOR, M. **DSC01084.JPG**: rotor do motor danificado devido à alta corrente de partida. 2014. Altura: 768 pixels. Largura: 1024 pixels. 96 dpi. 320 Kb. Formato JPEG. Disponível em: <V:\FAFEN-SE_MI_EI\NP-2\Elétrica\Monografia_Abrahao_MSP-403_torre_conv\Fotos >. Acesso em: 12 out. 2016.

WEG. **Automação**: inversores de frequência: guia. 2. ed. Jaraguá do Sul, 2014.

_____. **CFW11**: inversor de frequência: catálogo. Jaraguá do Sul, 2013. 20 p. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw-11-completo-10510201-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2015.

Abrahão da Silva Fontes

Graduação (2011) em Engenharia Elétrica pela UFRN. Especialização (2013) em Sistemas Elétricos pela Universidade Petrobras. Petrobras. FAFEN-SE/MI/EI - Laranjeiras, SE - E-mail: abrahaofontes@petrobras.com.br

Matias Marconi Menezes Silva Junior

Graduação (1994) em Engenharia Elétrica pela UFPB - Campus II. Especialização (2013) em Proteção de Sistemas Elétricos pela UNIFEI. Petrobras. FAFEN-SE/MI/EI - Laranjeiras, SE - E-mail: matias.marconi@petrobras.com.br

Como referenciar este artigo:

FONTES, Abrahão da Silva; SILVA JÚNIOR, Matias Marconi Menezes. Utilização de conversores de frequência em motores elétricos da torre de perolação: um estudo de caso. **Rev. Técnica da Universidade Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 4, p. 110-121 jan. 2017. ISSN: 2359-134X.