

**REDE DOCTUM DE ENSINO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DE INVERSOR DE
FREQUÊNCIA NO BOOSTER MORRO DO ESCORPIÃO**

**ANDRÉ MONTEIRO SIQUEIRA
JHONATAN ALMEIDA SALES**

Trabalho de Conclusão de Curso

Caratinga/MG

2016

**ANDRÉ MONTEIRO SIQUEIRA
JHONATAN ALMEIDA SALES**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLATAÇÃO DE INVERSOR DE
FREQUÊNCIA NO BOOSTER MORRO DO ESCORPIÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Elétrica do Instituto Tecnológico de Caratinga da DOCTUM Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Professor Orientador: Joildo Fernandes Costa Júnior.

Caratinga/MG

2016

TÍTULO DO TRABALHO

ESTUDO DA INSTALAÇÃO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA NO BOOSTER DO ESCORPIÃO

Nome completo do aluno: **ANDRÉ MONTEIRO SIQUEIRA**
JHONATAN ALMEIDA SALES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado perante a Banca de Avaliação composta pelos professores Joildo Fernandes Costa Junior, Robson Da Silva e Daniel Mageste Butters, à 19:35 horas do dia 16 de dezembro de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica. Após a avaliação de cada professor e discussão, a Banca Avaliadora considerou o trabalho: APROVADO (aprovado ou não aprovado), com qualificação: SATISFATORIO (Excelente, Ótima, Bom, Satisfatório ou Insatisfatório).

Trabalho indicado para publicação: () SIM (X) NÃO

Caratinga, 16 de dezembro de 2016

Professor Orientador e Presidente da Banca

Robson da Silva
Professor Avaliador 1

Daniel Mageste Butters
Professor Avaliador 2

Jhonatan Almeida Sales
Aluno(a)

Coordenador(a) do Curso

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de nossas vidas, e não somente nestes anos como universitário, mas em todos os momentos é o maior que alguém pode conhecer. Agradeço a todos os professores por proporcionar o conhecimento, não apenas racional, mas manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a nós, não somente por terem nos ensinado, mas por terem nos feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão nossos eternos agradecimentos. Agradecemos as nossas mães, heroínas que nos deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. Ao meu pai que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu e que para mim foi muito importante.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus pela oportunidade de estarmos realizando este trabalho. A nossa família, pelo incentivo e colaboração, principalmente nos momentos de dificuldade. Aos nossos orientadores por estarem dispostos a ajudar sempre. Agradecemos aos meus colegas pelas palavras amigas nas horas difíceis, pelo auxílio nos trabalhos e dificuldades e principalmente por estarem conosco nesta caminhada tornando-a mais fácil e agradável.

“Inovadores e criadores são pessoas que estão dispostos a seguir sua própria visão, mesmo quando isso os leva longe do continente da comunidade humana. Lugares inexplorados não os amedrontam-ou não tanto quanto amedrontam aqueles a seu redor. Este é um dos segredos do seu poder. Aquilo que chamamos de 'genialidade' tem muito a ver com a coragem e ousadia, muito a ver com audácia.”

(NATHANIEL BRANDER)

SIQUEIRA; André, ALMEIDA; Jhonatan. **Estudo da Instalação do Inversor de Frequência no Booster do Morro do Escorpião**. Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

RESUMO

Os booster são denominados, para a COPASA (Empresa de Saneamento de Água e Esgoto), casa de bombas. A função dessas casas de bombas varia pouco para cada situação, nelas contém dois conjuntos motor-bomba, o qual são utilizados para bombear água de um ponto mais baixo para um ponto mais elevado em bairro ou cidade. Este estudo consiste em analisar a viabilidade da instalação de um inversor de frequência no sistema para a maior durabilidade, confiabilidade e praticidade do sistema de abastecimento de água.

A COPASA disponibiliza dois tipos de abastecimento de água para as residências, um por “marcha” e outro por “gravidade”. No sistema em marcha as residências são abastecidas pela rede principal que sai diretamente das bombas antes de passar por um reservatório, já o sistema por gravidade a água chega até o reservatório, por gravidade ou por bombeamento e logo após é distribuída para as residências. Nosso estudo se aplica no abastecimento por “marcha”, que após o bombeamento da água, as residências serão primeiramente abastecidas e por último o reservatório. Quando atingido o nível superior, ocasionará o desligamento do conjunto motor-bomba através do comando de boia existente, fazendo com que as residências sejam abastecidas apenas pelo reservatório durante a faixa de operação da boia, o sistema retornará ao seu funcionamento normal quando atingir seu nível inferior, tendo assim uma instabilidade do nível de água presente. Com a intenção de manter o nível do reservatório constante e fazer com que o sistema não ligue e desligue várias vezes ao dia, iremos analisar durante o estudo, a viabilidade técnica da instalação do inversor de frequência no sistema, assim eliminando a instabilidade de nível e as várias partidas do motor.

Com este estudo pretendemos aumentar a durabilidade do conjunto, eliminando a partida direta do motor, através da partida suave feita pelo inversor de frequência. Eliminar o constante desligamento do motor através da parametrização do inversor. Outro ganho seria a eliminação dos contadores auxiliares, relé falta de fase, relé de sobrecarga e relé de tempo, pois o inversor contém estas funções em seu sistema operacional.

Essa atividade compõe-se uma revisão bibliográfica que seleciona conceitos básicos para a construção teórica da pesquisa. Uma Pesquisa de Campo onde serão coletadas as informações de consumo nos laboratórios, o consumo atual dos equipamentos eletrônicos instalados para a projeção da instalação do Booster, análise das probabilidades, com apresentação de tabelas, gráficos relativos aos resultados do trabalho, os possíveis benefícios para a população e para a

empresa.

Palavras-chave: Abastecimento. reservatório. Inversor de Frequência. Booster.

SIQUEIRA; André, ALMEIDA; Jhonatan. **Estudo da Instalação do Inversor de Frequência no Booster do Escorpião**. Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

ABSTRACT

The booster are called, for COPASA (sanitation company of water and sewer), House bombs. The function of these houses of pumps varies little for each situation, they are used to pump water to a highest point of the district or town where contains a reservoir of water that will make the distribution home residence. This study is to examine the possibilities of installing a VFD on the system for extra durability, reliability and practicality of the supply system. The COPASA contains two types of supplies to homes, one by "March" and another for "gravity". In March the resistances are fed directly from the bombs before passing through a reservoir, already the gravity system water is pumped to the reservoir and then distributed. Our study applies the supply by "March" which depends on the pressure in the suction of the network, thus keeping the system on or off. With interest, which will be the improvement in the system after implementation? After application on the VFD, the system gained greater durability, due to constant and shutdown the game engine, with direct control of the frequency we avoid the increased wear on the engine. A gain to be the deletion of pressure switches, auxiliary contactors and time relays on frequency inverter operation. This activity comprises a literature review which selects fundamentals of theoretical construction of the survey. A field where consumer information will be collected in the laboratories and the current consumption of the installed equipment for the installation of the Booster and the analysis of probability, with the presentation of tables and graphs relating to the results of the work and the potential benefits for the population and for the company.

Key-words:System. Installation. VFD. Booster.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Booster Escorpião	21
Figura 2 – Booster Escorpião	22
Figura 3 – Diagrama simplificado de um inversor de frequência	24
Figura 4 – Interface do Inversor de Frequência	26
Figura 5 – Referências Multispeed	26
Figura 6 – Programação lógica feita na interface	29
Figura 7 – Transdutor de pressão	30
Figura 8 – Reta Corrente (mA) x Pressão (Bar)	31
Figura 9 – Curva de nível 1	32
Figura 10 – Curva de nível 2	32
Figura 11 – Curva de nível 3	33
Figura 12 – CIRCUITO SIMULADOR 1, 2 e 3 respectivamente	34
Figura 13 – Declaração Fornecida pela empresa	40

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RPM	Rotação por minuto
CV	Cavalo de Potência
Kgf/cm ²	Quilograma força por centímetros quadrados
VCC	Voltagem Corrente Contínua

LISTA DE SÍMBOLOS

Γ	Letra grega Gama
Λ	Lambda
ζ	Letra grega minúscula zeta
\in	Pertence

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
3.1 Descrição e conhecimento	21
3.1.1 BOOSTER MORRO DO ESCORPIÃO	21
3.1.2 INVERSOR DE FREQUÊNCIA	23
3.1.3 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS (PLC)	27
3.1.3.1 INTERFACE UTILIZADA	28
3.1.4 TRANSDUTOR DE PRESSÃO	30
3.2 Curva de nível da Bomba	32
3.3 Experimental	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5 CONCLUSÃO	36
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
ANEXO A Título do Anexo	40

1 INTRODUÇÃO

Diante das crises hídrica e energética pela qual passa o país, se faz necessário criar novas possibilidades de aproveitamento da energia, reduzir a perda da água e ao mesmo tempo melhorar o abastecimento para a sociedade, levando até elas um fornecimento de água potável de maior confiabilidade.

A criação dos boosters se justifica devido ao crescimento desordenado dos grandes centros urbanos que é apontando como um grande problema a ser vencido pelos sistemas de abastecimentos de água. As empresas de saneamento vêm lançando mão de diversos expedientes objetivando atender às demandas diversas com pressões adequadas. Neste sentido, as estações de bombeamento e os “boosters” têm sido utilizados em larga escala para manter o sistema de distribuição de água dentro de níveis de pressão e vazão compatíveis às necessidades.

Após analisar o funcionamento do booster morro do escorpião de Caratinga, estudamos a eficácia da implantação de um inversor de frequência, e ressaltamos as vantagens que esta inovação pode trazer levando em conta o custo-benefício do projeto e melhorias. Cujas finalidades é melhorar o desempenho de um dos vários boosters utilizados para a distribuição de água à população.

Para o desenvolvimento desta pesquisa realizaremos uma revisão bibliográfica, selecionando os conceitos básicos e reunindo diversos projetos que correlacionam a finalidade com o tema da pesquisa. Um segundo grupo de atividades realizará visitas a laboratórios de equipamentos eletrônicos, que correspondam às informações obtidas pela empresa em estudo, observando, configurando, instalando e apresentando os objetivos definidos como operacionais. Para detalhar os procedimentos adotados para o desenvolvimento tanto da realidade operativa, como da cognitiva optou-se pela seguinte caracterização metodológica:

- Durante todo o processo a revisão bibliográfica terá como marca fundamental a proximidade com o marco teórico, isto feito para definir bibliografia básica e complementar.
- A análise de reunião dos projetos afins será desenvolvida no sentido de permitir sintetizar novos fundamentos para a pesquisa, tendo como padrão a bibliografia.
- A seleção das visitas, das entrevistas e as observações permitirão uma representação empírica quantitativa do corpo teórico, porque foram estruturadas sob a seguinte pauta de interesse, avaliar e representar a importância e eficácia do inversor de frequência. Dando curso ao trabalho, após as visitas técnicas e as pesquisas bibliográficas para a descrição deste trabalho será feita uma divisão em três capítulos, a saber:
 - No primeiro capítulo será feita uma ampla análise de um inversor de frequência, abordando os conceitos, características e suas aplicações.

- O segundo capítulo apresentará o booster morro do escorpião propriamente dito, onde serão esclarecidas as necessidades de melhorar o abastecimento e diminuir os custos para a empresa pública responsável por esta prestação de serviços.
- O terceiro capítulo trata-se dos resultados do trabalho com a demonstração em gráficos os reais benefícios para a população e para a empresa prestadora de serviços.

Este trabalho tem como objetivo de estudo avaliar a eficácia da implantação de um inversor de frequência, ressaltando as vantagens que esta inovação pode trazer levando em conta o custo-benefício em um booster de um bairro em Caratinga MG, analisando as possíveis mudanças operacionais, os ganhos com a inserção deste dispositivo e ao mesmo tempo questionar em até que ponto este investimento tem resultado significativo na economia de energia elétrica.

A maior expectativa e novidade deste estudo, são:

- Redução de equipamentos
- Facilitar a manutenção
- Aumentar a vida útil dos motores e bombas
- Conter um sistema mais eficaz
- Obter uma economia de energia elétrica

2 REVISÃO DA LITERATURA

O Brasil enfrenta atualmente dois sérios problemas de abastecimento. O de água e o de energia elétrica, que na maioria dos casos para se ter água, é necessário ter energia elétrica. Especificamente no Brasil, a maior parte da produção energética é através de usinas hídricas, que enfrenta a escassez devido a falta de chuvas na maioria das regiões brasileiras.

A prática do consumo eficaz de energia e de água se tornou um grande desafio para o povo brasileiro. Atualmente o Brasil tem enfrentado uma crise de energia elétrica, considerada a maior crise da história, e conseqüentemente o aumento significativo na conta de luz dos brasileiros, com isso este estudo avalia a possibilidade da implantação do inversor de frequência com o objetivo de reduzir esses custos.

De acordo com informações cedidas pela COPASA,¹ até o ano de 1963, Minas Gerais não tinha uma política de saneamento. As condições dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário estavam longe do ideal. Foi nessa época, com a finalidade de definir e executar essa política, que o Governo do Estado criou a Companhia Mineira de Água e Esgotos – Comag.

Em 1973, mais um importante passo foi dado nessa história: o Governo Federal criou o Plano Nacional de Saneamento – Planasa, que definia metas a serem alcançadas pelo país na área de saneamento e destinava recursos financeiros para a implantação dessa política. O Departamento Municipal de Águas e Esgoto – Demae, que cuidava do saneamento em Belo Horizonte na época, aderiu à Comag, beneficiando-se dos recursos federais a serem repassados através do Planasa.

A adesão do Demae e as modificações introduzidas pelo Planasa, somadas com o incremento do suporte técnico-financeiro ao trabalho desenvolvido pelas empresas estaduais de saneamento, trouxeram um grande impulso à Comag. A partir daí, a Comag começou a passar por uma série de modificações, dentre elas, a alteração de seu nome para Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA MG, através da Lei 6.475, de 14 de novembro de 1974.

Hoje, é um dos exemplos do esforço do Governo de Minas Gerais em melhorar a infraestrutura e as condições de saúde no Estado, afirma o presidente da COPASA, Márcio Nunes. E ainda ressalta “assumindo papel decisivo na retomada do desenvolvimento econômico e social dos mineiros”.²

“A empresa agora trabalha com planejamento estratégico, combate às perdas de água, inova tecnologicamente, prioriza a melhoria, entre várias outras mudanças em curso”, ressalta o diretor de Planejamento e Gestão de empreendimentos da empresa, Marcos Antônio Teixeira.

¹ SOUZA, Diego Nascimento de. COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais – uma análise econômico-financeira após a abertura de capital social. TCC de Graduação, 2008. Disponível em dspace.faciplac.edu.br/bitstream/.../85/1/TCC200902COPASAFINAL.pdf. Acesso em 10/10/2015. p. 10.

² MINAS GERAIS. br.com.copasa.perfil.imprensa. Prêmio de Qualidade. Disponível em: www.copasa.com.br...04Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOJ9DLwd... Acesso em 10/10/2015. Sp.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), “saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeito nocivo sobre seu bem-estar físico, mental e social”³ .

Saúde Pública é a ciência e a arte de prevenir doenças, prolongar a vida, promover a saúde, a eficiência física e mental, através de esforços organizados pela comunidade, no sentido de realizar o saneamento do meio e o controle de doenças infectocontagiosas; promover a educação do indivíduo baseada em princípios de higiene pessoal; organizar serviços médicos e de enfermagem para diagnóstico precoce e tratamento preventivo de doenças ⁴. Água com qualidade e em quantidade adequada proporciona melhores condições de vida às pessoas, o que faz uma grande diferença no combate a diversos tipos de doenças. Ainda hoje, milhares de pessoas adoecem e até morrem por causa de doenças relacionadas à água.

Essas doenças podem ocorrer: por veiculação hídrica, quando se ingere água que contenha algum contaminante ou organismo patogênico; por higiene inadequada, quando não há água com qualidade e em quantidade suficiente para a população; por proliferação de vetores que têm seu ciclo, ou parte dele, na água e que, de alguma forma, contaminam o homem ou outros animais⁵.

Quando a água chega a nossa casa, ela já percorreu um longo caminho. Ela teve de ser captada, transportada do manancial para a estação onde foi tratada e, depois, conduzida ao local onde é distribuída ao consumidor. O transporte da água pode ser realizado por gravidade, aproveitando a topografia favorável do terreno, ou, quando isso não é possível, utilizam-se bombas. A necessidade de usar bombas para recalcar a água leva a gastos com energia elétrica, operação, instalação e manutenção de equipamentos. “A operação e a manutenção adequadas de uma estação elevatória contribuem para que não haja falta de água para a população, proporcionando mais qualidade de vida para todos” ⁶ .

Denomina-se elevatória de água o conjunto de bombas e acessórios que eleva a água de um ponto mais baixo para um mais elevado de um bairro ou cidade.

As elevatórias podem estar localizadas antes, dentro ou depois da estação de tratamento de água. Podem ser elevatórias de água bruta ou tratada, quando conduzem água bruta ou tratada, respectivamente. Quando a elevatória localiza-se entre um trecho e outro da rede de distribuição, ela recebe o nome de booster⁷.

³ ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. Disponível em: < <http://www.who.int/en/> > .Acesso em: 29 setembro. 2015.

⁴ BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para minimização de riscos à saúde. Brasília, 2005.

⁵ AZEVEDO Netto. Manual de Hidráulica. Edgard Blücher, São Paulo, 1998, 669 p.

⁶ HELLER, Léo e PÁDUA, Valter Lúcio (Organizadores). Abastecimento de Água para Consumo Humano. Belo Horizonte: UFMG, 2006. 859 p.

⁷ CARVALHO, Djalma Francisco. Instalações Elevatórias Bombas. Instituto Politécnico da Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1977. 355 p.

O Booster tem como objetivo aumentar a pressão, sem a necessidade de substituir ou adicionar outros troncos alimentadores. Consiste na inserção, “no sistema de distribuição, de um conjunto moto-bomba para adequar o abastecimento de uma determinada área às novas necessidades de fornecimento de água. O espaço requerido para sua instalação é pequeno, sendo esta uma de suas vantagens”⁸.

Atualmente, a necessidade de aumento de produção e diminuição de custos, se fez dentro deste cenário surgir uma grande infinidade de equipamentos que foram desenvolvidos para as mais diversas variedades de aplicações e setores industriais, um dos equipamentos mais utilizados nestes processos é o Inversor de Frequência⁹.

Um inversor de frequência é um dispositivo eletrônico capaz de variar a velocidade de rotação de motores elétricos trifásicos. O nome inversor de frequência é dado pela sua forma de atuação. O funcionamento de um motor elétrico de indução trifásico, embora altamente eficiente, é muito simples. Ele apenas “imita” a frequência da rede onde está ligado.

A frequência da rede de corrente alternada é a quantidade de vezes que ela alterna por segundo e é através da unidade Hertz (Hz), ou seja, uma rede de 60Hz alterna 60 vezes em um segundo. Essa tensão oscilante passa pelas bobinas do motor e forma um campo giratório e o motor tende a segui-lo, então, quanto mais alta for a frequência, mais rápido será esse campo e mais rápido o motor tenderá a girar¹⁰.

O inversor de frequência tem como principal função alterar a frequência da rede que alimenta o motor, fazendo com que o motor siga frequências diferentes das fornecidas pela rede, que é sempre constante. Desta forma podemos facilmente alterar a velocidade de rotação do motor de modo muito eficiente. O uso do inversor de frequência é responsável por uma série de vantagens, dependendo dos modelos oferecidos pelos fabricantes e a capacidade de variar a velocidade com controles especiais já implantados no equipamento.

Esses controles proporcionam além da total flexibilidade de controle de velocidade sem grande perda de torque do motor, aceleração suave através de programação, frenagem direta no motor sem a necessidade de freios mecânicos além de diversas formas de controles preferenciais e controles externos que podem ser até por meio de redes de comunicação. Ressaltando a excelente precisão de movimentos¹¹

⁸ FARACO, Rosemary. Proteção Acústica Em Estações De Bombeamento Experiência da Copasa. Belo Horizonte, 2013.

⁹ OLIVEIRA FILHO, M. E. et al. Um controlador de corrente de carga para o conversor em matriz trifásico para trifásico e para o inversor de frequência sem capacitor do elo de corrente contínua. SBA Controle & Automação, Out 2010, vol. 21, no. 5, p. 534-545. ISSN 0103-1759

¹⁰ CARVALHO, Jacinto de Assunção et al. Utilização do inversos de frequência em sistemas de irrigação para controle de vazão. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Abr 2000, vol.4, no.1, p.51-56. ISSN 1415-4366.

¹¹ OLIVEIRA FILHO, M. E. et al. Um controlador de corrente de carga para o conversor em matriz trifásico para trifásico e para o inversor de frequência sem capacitor do elo de corrente contínua. Sba Controle & Automação, Out 2010, vol.21, no.5, p.534-545. ISSN 0103-1759.

Além destas vantagens, os inversores ainda possuem excelente custo-benefício, pois proporcionam economia de energia elétrica, eliminando a partida direta, maior durabilidade do conjunto motor-bomba, válvulas e equipamentos eletrônicos. Trazendo maior confiabilidade e mantendo o reservatório sempre estável em seu nível superior.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 DESCRIÇÃO E CONHECIMENTO

3.1.1 BOOSTER MORRO DO ESCORPIÃO

O “Booster Morro do Escorpião” é considerado parte do centro da cidade, porém seu reservatório fica localizado no Bairro Esplanada, um dos mais populosos de Caratinga, que possui aproximadamente um total de 5 mil habitantes. A figura 1 identifica a parte externa do booster Escorpião.



Figura 1: Booster Escorpião

Fonte: Fonte o Autor

O booster do bairro Escorpião foi construído no ano de 1998, atende 450 ligações e fica situado na Rua João da Silva Araújo. Constituído por 02 conjuntos motor-bomba, 15 cv cada um, trifásico, 220 V, 3500rpm, corrente 38,22 A, vazão 10,4 l/s, 73 MCA, sistema de boia automático. O reservatório é elevado de concreto, possuindo um volume total de 14 m³ de água. O sistema de abastecimento é em marcha e o tempo de consumo do volume do reservatório é indefinido, não sendo específico denominado pela empresa. Na figura 2 podemos identificar os dois conjuntos motor-bomba de 15 CV cada, compondo a parte interna do booster.



Figura 2: Booster Escorpião

Fonte: Fonte o Autor

Com a pesquisa de campo, identificamos algumas falhas que o estudo de caso visa, para melhorar o funcionamento do conjunto, são elas:

- Reservatório sem estabilidade: Quando atinge o nível máximo, desliga a bomba, quando fica no nível mínimo liga a bomba, que começa a abastecer as residências e depois o reservatório. Por isso que ele é considerado instável, hora fica cheio e hora fica vazio.
- Potência do motor subdimensionada: O motor com a potência de 15 cv está no seu pior rendimento, fazendo com que a bomba consuma mais energia elétrica.

- Conjunto liga e desliga várias vezes ao dia: Devido à instabilidade do reservatório que quando liga fica cheio e quando desliga fica vazio, quando vazio liga através do comando de boia, dependendo do consumo, o sistema liga e desliga várias vezes ao dia.
- Operação manual das válvulas: Quando acontece uma eventualidade falta de água e acaba a água da rede e do reservatório, o sistema desliga, quando retorna a água na sucção o conjunto liga e utiliza sua potência máxima, fazendo assim que zere a pressão da sucção, desligando o sistema através do pressostato. Para evitar que isso ocorra é feita a manobra de válvula estrangulando o registro para que não zere a pressão da sucção, mantendo o sistema de forma estável, porém com o registro estrangulando até atingir a pressão normal do recalque. Podendo o operador logo após abrir o registro.
- Partida direta do motor: Com a partida direta, força o motor e a bomba tendo um desgaste maior e gerando um pico de corrente na rede, consumindo mais energia na partida do motor.

3.1.2 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

O Inversor de frequência é um equipamento eletrônico que controla a velocidade de motores elétricos de corrente alternada. São equipados com tiristores e microprocessadores digitais que aumentam a sua eficácia, diminuindo o seu volume com preços mais acessíveis. Os inversores são utilizados pela indústria objetivando controlar a velocidade dos motores elétricos trifásicos de corrente alternada, sendo desenvolvido obedecendo a dois princípios básicos: Inversores desenvolvidos sem um circuito intermediário conhecidos com conversores diretos e inversores de frequência com um circuito intermediário variável ou fixo¹.

O circuito de controle, que é a Inteligência artificial do dispositivo, obtida pelo uso de microprocessadores, é o responsável por fornecer o disparo que proporciona a frequência ajustada. Ele pode também conter a entrada monofásica e saída trifásica para aplicações rurais onde a rede de alimentação é monofásica, ou pode possuir entrada trifásica e saída trifásica, para aplicações industriais ou onde o sistema de suprimento de energia é trifásico.

O método de controle da tensão mais utilizado é o da modulação por largura de pulso, Pulse Width Modulation, método que consiste na variação da largura dos pulsos dos transistores de potência de modo a obter na saída uma forma de onda de corrente próxima a senoidal².

Nos casos onde a modulação é por largura de pulso simples a forma de onda da tensão de saída consiste em um único pulso a cada semiciclo de tensão de saída requerida. Para uma

¹ MATHEUS, Henrique. Conversores de Frequência e Soft-Starters. EJM Engenharia. Disponível em: www.ejm.com.br/download/Inversores.pdf. Acesso em 30/09/2015.

² FONSECA, André Luiz Amorim da. Análise do Uso de Conversor de Frequência na Ventilação Forçada de Sistemas de Resfriamento Evaporativo Visando à Eficiência Energética. Dissertação de Mestrado. UFMT. Cuiabá, 2012. 144 ps.

determinada frequência, que é inverso do período, a largura do pulso pode variar a fim de controlar a tensão de saída AC. Dessa forma os inversores podem apresentar modulação por largura de pulso simples ou múltipla, onde vários pulsos são utilizados, ou ainda ser senoidal utilizando uma onda senoidal como referência para produzir o sinal de saída. Portanto a classificação também pode ser pelo método de controle do inversor de frequência, que pode ser escalar, mantendo a relação constante entre tensão e frequência na saída ou de controle vetorial para processos com maior necessidade de controle dinâmico e precisão.

O inversor é composto basicamente de quatro blocos: um retificador, um circuito intermediário, um inversor e um circuito de controle, que geralmente é microprocessador, podendo ser analisado na figura 3.

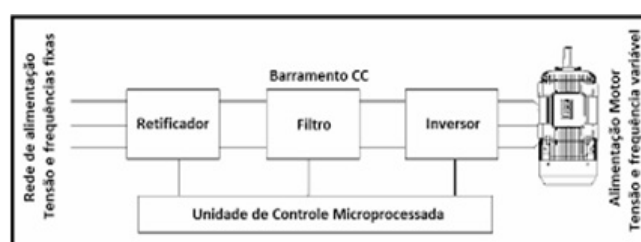


Figura 3: Diagrama simplificado de um inversor de frequência

Fonte: sociesc.org.br

O retificador tem a função de executar a primeira etapa do processo. Ele transforma o sinal da tensão alternada senoidal em corrente contínua. Através de um circuito intermediário, a tensão contínua é regulada na entrada do inversor e na maioria das vezes é utilizado apenas um filtro passivo, que filtra a tensão retificada diminuindo seu ripple e fornece corrente contínua de saída, além de fazer a troca de reativos com o motor. Também podendo ser feito por circuitos reguladores de tensão contínua. Com a função de regulação da frequência de saída para o motor, o inversor possibilita a modulação do sinal de forma com que o sistema adapta ao melhor parâmetro de funcionamento. A fonte variável de velocidade acionando o motor de indução altera seu rendimento para várias frequências, onde a potência elétrica útil do motor pode ser calculada de acordo com a frequência de acionamento do inversor. Para isso, a potência é convertida em trabalho mecânico pelo motor quando acionado em sua frequência nominal (no Brasil é 60Hz) em partida direta e regime permanente³.

A potência útil é utilizada para estabilizar a frequência em 60Hz. A partir daí ela é dispensada com a constância da frequência. Isso se reveste de importância porque as perdas do motor de indução são compostas basicamente de perdas por efeito joule e perdas no núcleo dos enrolamentos do estator e também que a primeira é muito maior que a segunda, pode-se

³ WEG. Guia Técnico - Motores de Indução Alimentados por Inversor de Frequência PWM. Santa Catarina: Weg Equipamentos Elétricos S.A, 2009. Disponível em <http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-motores-de-inducaoalimentados-por-nversores-de-frequencia-pwm-027-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>. Acesso em 30/09/2015.

concluir que o rendimento do motor deve cair nas baixas frequências. Isto se deve ao fato de que, a potência mecânica é diminuída em função da redução da velocidade e embora as perdas no ferro diminuam um pouco, até mesmo por serem função da frequência de acionamento. As perdas por efeito joule se mantêm instável para uma carga de torque constante, de tal forma que as perdas podem ser consideradas constantes. Assim com a potência útil diminuindo e as perdas permanecendo praticamente constantes o rendimento percentual cai com a diminuição da frequência de acionamento. Através de ensaio também se pode demonstrar a queda de rendimento com a diminuição de frequência de acionamento e isso ocorre para diferentes percentuais de carga mecânica aplicada ao eixo.

Assim se a relação entre tensão e frequência de acionamento for mantida o torque também o será, pois o fluxo será constante e a corrente do motor também será mantida constante por ser em função do fluxo. O inversor de frequência de mercado geralmente mantém essa relação por meio de controle da tensão. Nele também podemos contar com várias funções de proteção ao circuito. Ele indica em seu visor quando algum erro ocorre, assim facilita a operação do usuário e a manutenção do sistema. Estes erros aparecem em forma de indicações como:

- E00 sobrecorrente, curto-circuito, falta à terra na saída
- E01 sobretensão no circuito intermediário
- E02 subtensão no circuito intermediário
- E04 sobretemperatura
- E05 sobrecarga na saída
- E06 erro externo
- E24 erro de parametrização
- E2X erro da comunicação serial

Estes são alguns erros que o inversor identifica afim de proteger o sistema e torná-lo mais duradouro. Além de proteção, os inversores contém uma HMI que faz interface com seu circuito, facilitando a operação do usuário. Nela o usuário pode determinar a parametrização do inversor. A HMI apresenta algumas funções em sua interface mostrada na figura 4⁴.

⁴ WEG. Guia Técnico - Motores de Indução Alimentados por Inversor de Frequência PWM. Santa Catarina: Weg Equipamentos Elétricos S.A, 2009.



Figura 4: Interface do Inversor de Frequência
Fonte: Manual do Inversor

Com o grande campo de funções do inversor de frequência, este nos possibilita utilizar a função multispeed. Ela contém 3 entradas digitais que após comutadas podem executar até 8 variáveis de velocidade. Parametrizando o inversor para permanecer em uma determinada faixa de operação, pode-se manter um sistema de rotação estável ou controlado por alguma variável. Através da figura 5 podemos reconhecer estas variáveis através de suas saídas digitais.

DI6	DI5	DI4	Ref. de Veloc.
0V	0V	0V	P124
0V	0V	24V	P125
0V	24V	0V	P126
0V	24V	24V	P127
24V	0V	0V	P128
24V	0V	24V	P129
24V	24V	0V	P130
24V	24V	24V	P131

Figura 5: Referências Multispeed
Fonte: Manual do Inversor

Em estudo, desejamos interligar um transdutor de pressão e um PLC em nosso inversor de frequência, para que o mesmo modele o conjunto motor-bomba em uma faixa de operação

ideal. O ponto de operação se torna uma área variável, fazendo a necessidade da parametrização JOG. Esta função possibilita que haja uma rampa de aceleração ou desaceleração entre cada rotação pré-definida e mantém o conjunto em uma constância dentro de sua faixa de operação desejada. Através de um sinal de referência a função JOG pode controlar o sistema quando entrar em uma zona morta, esta por sua vez, tem o objetivo de operar o motor em uma baixa rotação. As pesquisas de campo possibilitaram encontrar um sinal de referência, que é, quando o reservatório atingir seu ponto de extravasamento, com a finalidade de manter o sistema abastecido sem que ocorra perda de água.

3.1.3 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS (PLC)

Os controladores lógicos programáveis, conhecidos como PLCs, são computadores digitais usados para a automação de processos específicos, com diferentes aplicações⁵. Os PLCs atualmente são considerados o auge da automação industrial, servindo como ligação entre máquinas e humanos. Como controladores universais, podem ser programados para executar várias tarefas, desde operações pneumáticas à computação matemática. Com o poder de processamento, o armazenamento de dados e as capacidades de comunicação dos computadores modernos, eles fornecem um nível completo de controle de aplicativos. Eles são projetados para oferecer operações de alta confiabilidade em algumas das situações mais difíceis, tais como em altas temperaturas, ruído elétrico, choque e impacto de vibração. Eles interagem através da conexão direta com equipamentos de entrada e de saída. Os sinais originários dos sensores, interruptores e outros dispositivos de controle, providenciam dados físicos externos sobre as operações ambientais do PLC⁶.

Os principais benefícios são a flexibilidade de um único PLC poder executar facilmente vários tipos de máquinas. Correção de Erros: antes dos PLCs, os painéis necessitariam ser fisicamente alterados para alcançar um novo desenho do circuito. Com eles, alterar-se facilmente uma corrução no desenho do circuito, bastando para isso, reprogramar o controlador. A correção de erros nos controladores é de duração extremamente curta e de baixo custo.

Eficiência de Espaço: com o desenvolvimento da memória do PLC, a oportunidade de utilizar contadores, bobinas, temporizadores, sequenciadores e contadores em um único controlador cresceram consideravelmente. Milhares de instrumentos podem ser conectados a um único controlador, diminuindo a necessidade de várias caixas de painel para diversos sistemas.

Baixo Custo: o custo do PLC varia de algumas centenas a alguns milhares. A redução do número de componentes externos para operar um único sistema através da compra de um único

⁵ LEITE, Vinicius, AUTOMAÇÃO DE UMA MÁQUINA ENVASADORA: ESTUDO, SIMULAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE HOMEM-MÁQUINA, p.13, Ceara – 2014.

⁶ PETRUZELLA, Frank D. PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS. 4. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2010. 385 p. [3] versão traduzida.

PLC pode economizar dinheiro sobre os custos diretos e de instalação. Testes: eles podem ser testados e avaliados em laboratório seguro. O programa pode ser testado, validado e corrigido, o que economiza um tempo bastante valioso⁷

Sua implantação apresenta inúmeros benefícios de desempenho, tais como condições reduzidas de hardware, aumento da eficiência e menos resíduos do produto. Os modelos mais modernos são altamente personalizáveis e podem ser projetados para aplicações de controle individuais, reduzindo significativamente o uso da produção de manual. Com controladores introduzidos, tornam a instalação mais fácil, porque ele precisa de menos espaço. Além disso, apresenta melhor interação com o operador, o que leva ao aumento de eficiência na produção⁸.

Na conservação e na solução de problemas, os reparos são reduzidos devido aos componentes de plug-in e aos módulos de substituição. As probabilidades de falhas do PLC e o tempo necessário para corrigir os erros são significativamente reduzidos, o que leva à eliminação total de religação de painéis e de componentes acessórios. Além disso, os circuitos de detecção de falhas e a integração do indicador de diagnóstico nos principais componentes podem monitorar quando os componentes estão funcionando corretamente. Eles normalmente possuem os seguintes componentes: Fonte de alimentação e rack, Unidade de processamento central, Sistema de Entrada/Saída.

Os PLCs garantiram seu espaço em indústrias de automação com a sua taxa de produção de alta velocidade e flexibilidade de sistema. Estão no mercado há um bom tempo, mas ainda encontram-se ampliando em ferramentas potentes para todos os tipos de aplicação industrial⁹.

3.1.3.1 INTERFACE UTILIZADA

O controlador programável TPW3 WEG que será utilizado em nosso trabalho tem como principais características:

- Unidades básicas com 14, 20, 30, 40 e 60 pontos de E/S (I/O) - todos com capacidade de expansão analógica e digital.
- Unidades de expansão com entradas e saídas digitais e analógicas.
- Configurável até 256 pontos de E/S digitais e 64 pontos de E/S analógicas.
- Saídas digitais a relé (2 A) e transistor (0,3 A).
- Relógio de tempo real incorporado no modelo “H”.

⁷ LEITE, Vinicius, AUTOMAÇÃO DE UMA MÁQUINA ENVASADORA: ESTUDO, SIMULAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE HOMEM-MÁQUINA, p.13, Ceara – 2014.

⁸ ALLEN-BRADLEY. MICROLOGIX 1200 AND MICROLOGIX 1500 PROGRAMMABLE CONTROLLERS: Instruction set referre manual. [S.l.]: [s. n.], 2000. Versão traduzida.

⁹ LEITE, Vinicius, AUTOMAÇÃO DE UMA MÁQUINA ENVASADORA: ESTUDO, SIMULAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE HOMEM-MÁQUINA, p.13, Ceara – 2014.

- Modbus (mestre e escravo) incorporado;
- Entradas Rápidas até 100 KHz;
- Saída trem de pulso e PWM; 9- Função PID;
- Comunicação entre TPW e PC através de RS232;
- Memória de programa 8K e 16K (passos);
- Comunicação com IHMs inteligentes (linha PWS)
- Compatibilidade com módulos de Expansão da linha TP-02.

A figura abaixo demonstra a Descrição de Hardware TPW03:

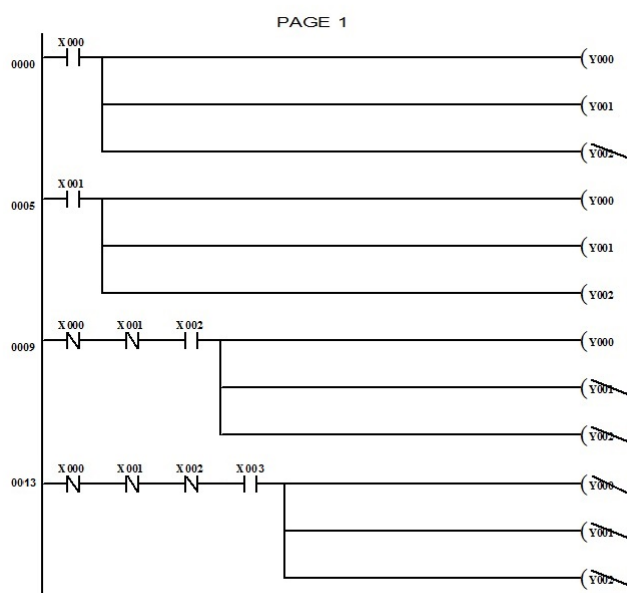


Figura 6: Programação lógica feita na interface

Fonte: Catálogos WEG

Através da função multispeed o inversor de frequência reconhece três entradas digitais, com a parametrização do inversor conseguimos assim determinar através destas a função que o mesmo irá atuar. Com atuação de uma entrada o PLC nos fornece três sinais de saída. Como exemplo a primeira entrada que sai 001, o inversor reconhecerá e irá modular o motor de acordo com a parametrização. O mesmo acontece com as demais programações 000, 011 e 111 respectivamente.

3.1.4 TRANSDUTOR DE PRESSÃO

Com a finalidade de aferir a pressão interna da rede de distribuição de água, utilizaremos um transdutor de pressão. Este transdutor tem a funcionalidade de aferir a pressão mecânica sobre uma superfície e modifica estes dados para um sinal elétrico equivalente, disponibilizando estes dados no formato de um loop de corrente em 32 mili ampères. Ele possui como qualidade principal a sensibilidade de compreender a variação de pressão entre 0 e 10 bar, com um retorno em corrente no intervalo de 4 – 20 mA, e alimentação através do próprio circuito entre 8 VCC e 30 VCC. A figura 7, é o modelo selecionado do transdutor de pressão para o estudo.



Figura 7: Transdutor de pressão

Fonte: Manual do usuário

Este mesmo transdutor de pressão será instalado no recalque do conjunto motor-bomba e conectado a placa do circuito elétrico através de um cabo de duas vias até o PLC, que irá receber o sinal de 4 – 20 mA. Através deste sinal de saída conseguimos plotar uma reta de comparação entre o sinal de saída em mA e a pressão aferida na rede .

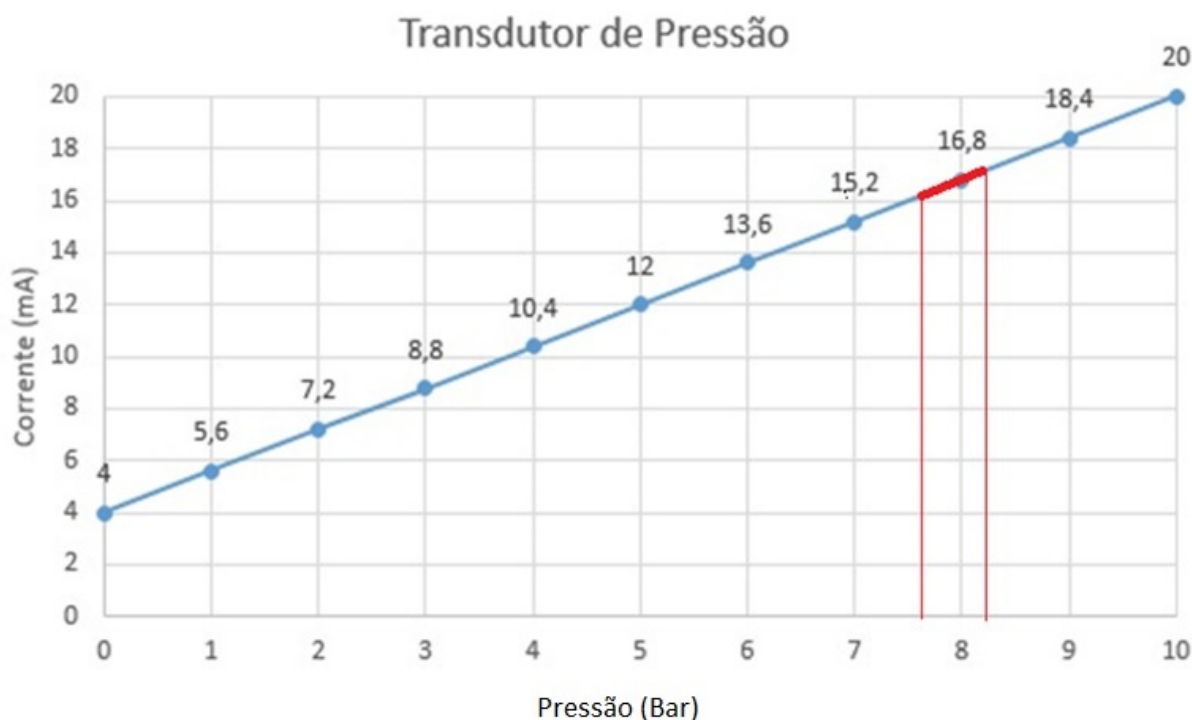


Figura 8: Reta Corrente (mA) x Pressão (Bar)

Fonte: O Autor

Com as análises em campo, identificamos uma pressão de 7,6 Kgf/cm² quando houver um menor consumo de água e o reservatório estiver em seu nível superior. Com tudo 7.6 kgf será a menor pressão necessária para abastecer todas as residências e posteriormente o reservatório. Tendo assim uma faixa de operação entre 7,6 a 8,2Kgf/cm², sendo 8,2 Kgf/cm² a pressão medida quando o reservatório atingir o limite de seu nível de segurança evitando o extravasamento. Obtendo a faixa de operação através da pressão encontrada em campo, pode ser concluído na reta do transdutor de pressão que o sinal de saída deverá ser entre 16 a 17 mA. Com uma leitura superior a 8,2 Kgf/cm² o reservatório atingirá seu limite de operação, podendo chegar até 8,6 Kgf/cm² entrando assim em sua zona morta, fazendo com que o conjunto trabalhe em baixa rotação, evitando o extravasamento.

A pesquisa realizada em campo nos possibilita a concluir que o consumo de água pode chegar a quase zero entre 2 às 4 horas da madrugada. Tendo conhecimento que o sistema poderá atingir o nível máximo do reservatório devido ao baixo consumo de água, permanecerá o sistema em boia, para evitar com que o mesmo extravase através da paralização temporária de todo o sistema. Permanecendo o sistema em repouso, quando houver novamente a necessidade de controle de pressão o mesmo atuará novamente.

3.2 CURVA DE NÍVEL DA BOMBA

Com o modelo da bomba utilizada, obtemos suas curvas de nível para maior especificação da faixa de operação do novo sistema. Em análise as curvas 1 e 2 presentes nas figuras 9 e 10, podemos chegar à conclusão de que o motor operando em sua potência nominal o mesmo está trabalhando na pior faixa de operação.

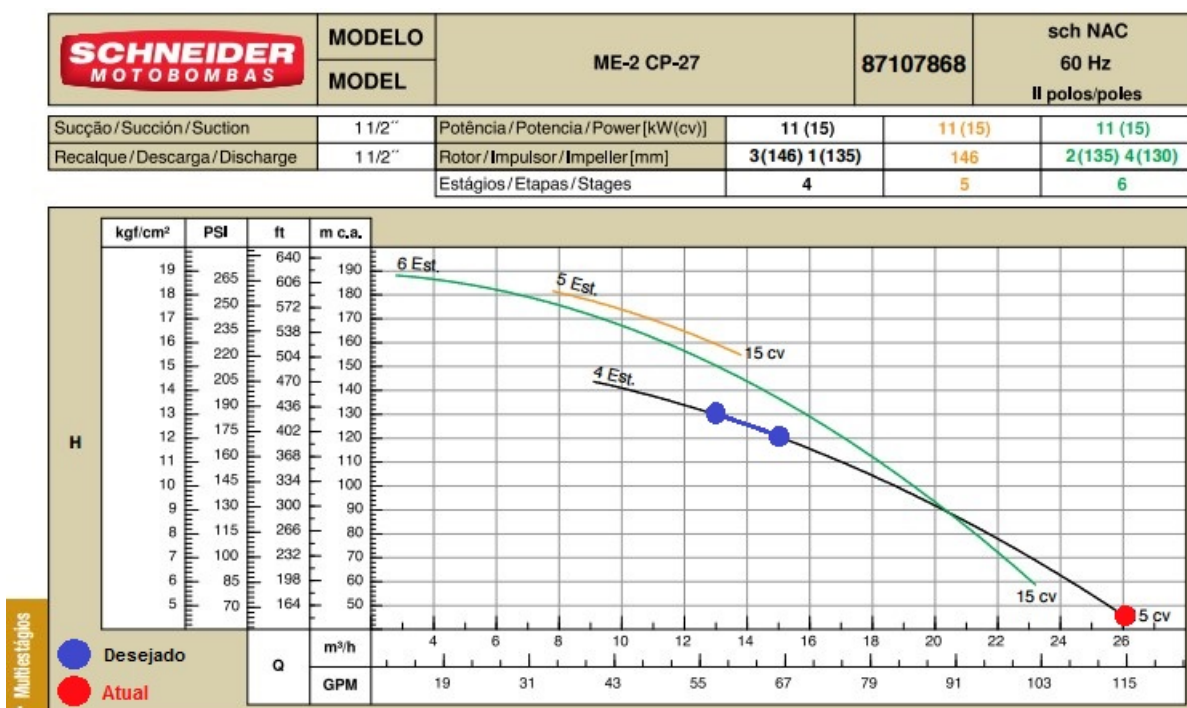


Figura 9: Curva de nível 1

Fonte: Manual do usuário

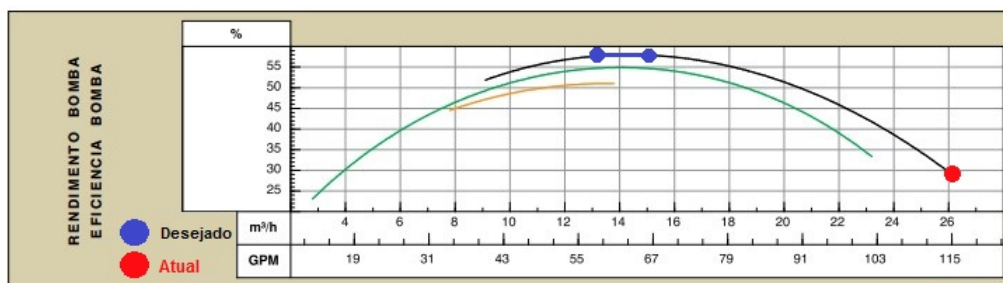


Figura 10: Curva de nível 2

Fonte: Manual do usuário

A marcação do sistema atual apresenta um pior rendimento da bomba, no qual está operando abaixo de 30 % de seu rendimento, representado em cor vermelha na figura 10. Tendo em vista a melhoria do rendimento da bomba, através da curva de nível 2 conseguimos obter um

valor de 13 m³/h a 15 m³/h como melhor faixa de operação, acima de 55 %, representado na cor azul através da figura 10.

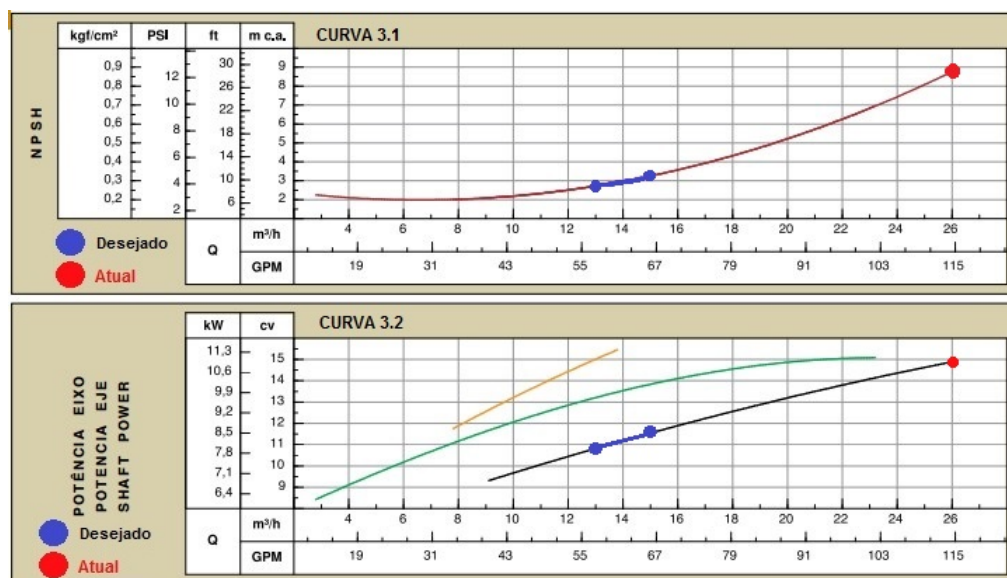


Figura 11: Curva de nível 3
Fonte: Manual do usuário

Determinando a faixa de operação é possível determinar a nova potência de trabalho do motor, através da curva de nível 3.2 determinado na figura 11. Já na curva 3.1 pode-se definir a pressão mínima exigida na sucção no sistema atual e no sistema desejado. Uma das falhas analisadas através da pesquisa de campo foi a instabilidade do sistema quando ocorre alguma eventualidade, como falta de água ou manutenção na rede. Esta falha por si, pode ser eliminada através da nova faixa de operação do conjunto, que necessita de uma menor pressão na sucção, contém uma menor potência do motor e através da rampa de aceleração, a bomba não irá recalcar toda a água da sucção, mantendo o sistema operando normalmente após alguma eventualidade.

3.3 EXPERIMENTAL

Após a instalação do transdutor de pressão no recalque da bomba, o mesmo emite um sinal ao PLC, que através deste sinal emitido, obtém a leitura e executa a programação. Esta programação é enviada ao inversor de frequência para que seja possível controlar a rotação do motor conforme a pressão exercida no recalque da bomba.

Simularemos no laboratório como funcionaria o circuito para definirmos os parâmetros necessários. Nestes testes utilizamos um circuito contendo uma fonte 5v, quatro potenciômetros, dois relé 5V, dois leds, e dois transistores para simularmos o transdutor de pressão, já que não foi possível obtê-lo devido seu alto custo.

O sinal emitido pelo potenciômetro foi reconhecido pela base do transistor e elevado para a atuação dos relés. Com a leitura de 4 à 16 mA, o sistema foi informado para aumentar a rotação

do motor. Como apresentado no simulador 1, o primeiro circuito está ativo como demonstrado através do led verde.

Entre 16 e 17 mA (simulador 2), o led desliga fazendo o inversor reconhecer o sinal e manter o motor em uma rotação constante. Já com a leitura de 17 à 18 mA (simulador 3), o segundo led ativa e o sistema reduz a rotação do motor, com o objetivo de retornar a sua faixa de operação ideal. Acima de 18 mA o inversor entra em sua zona morta, fazendo o sistema trabalhar em baixa rotação.



Figura 12: CIRCUITO SIMULADOR 1, 2 e 3 respectivamente

Fonte: O autor

Com o sistema dentro da faixa de operação iremos obter uma constante rotação do conjunto. Esta rotação constante irá permitir que o sistema trabalhe dentro da pressão estipulada para que possa ter um melhor rendimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A expectativa de melhoria, nos leva a querer produzir a mesma quantidade de trabalho com o menor consumo e maior eficiência do sistema. O trabalho foi dividido em etapas para primeiro analisar a necessidade, pesquisar e simular a melhoria, e por fim poder esclarecer qual a melhor forma de operação.

Conforme analisado em campo, o sistema trabalha com uma potência de 15 CV, que confrontada com a curva de nível da bomba temos uma análise que o sistema está fora do melhor rendimento. A bomba está rendendo apenas 30%, como mostrado na figura 10, concluindo que está desperdiçando energia quando trabalha com ele em sua potência total.

Em campo foi identificado que quando ocorre uma paralização no sistema por falta d'água, o operador deve fazer a manobra com válvula para evitar que a bomba utilize toda a água da sucção. Caso ocorra a queda de pressão na sucção a válvula deve ser estrangulada até o sistema trabalhar dentro de sua corrente máxima.

Com a implantação do sistema conseguimos trabalhar com o maior rendimento da bomba que é acima de 55%, como mostrado na figura 10, o aumento de rendimento da bomba, possibilita o motor trabalhar em uma menor potência, sendo ela de 10,8 a 11,5 CV, como determinado na figura 11, curva 3.2.

Reduzindo a potência do motor e evitando que ele ligue e desligue várias vezes por dia, e quando acionado elimine a partida direta do motor através de uma rampa de aceleração, conseguimos reduzir o consumo de energia do booster e fazer um sistema mais confiável, estável e como esperado, garantindo que o reservatório fique sempre cheio em caso de alguma manutenção na rede ou falta d'água.

As vantagens são extensas quanto a facilidade de operação e a não operação de válvulas manuais. Com a implantação, reduziremos o número de equipamentos presente no quadro de comando dos conjuntos motor-bomba. Como dito ao longo do estudo, o inversor de frequência nos fornece as mesmas funções de leitura e proteção para o sistema, substituindo os equipamentos eliminados.

5 CONCLUSÃO

É de suma importância destacar as vantagens que será remetida ao funcionamento do sistema com a implantação do projeto realizado neste estudo. Essas vantagens podem ser pontuadas como.

Colocar o motor em seu melhor ponto de operação, reduzindo a potência trabalhada, que resulta em uma menor perda de energia. Evitar a partida direta do motor, através da rampa de aceleração feita pelo inversor de frequência, evitando danos na rede e um maior desgaste do conjunto. Eliminar manobras manuais através da redução da potência do motor, que utilizará um menor volume de água da sucção. Evitar a partida do conjunto várias vezes ao dia, com constante modulação do sistema, resultando numa maior estabilidade. Manter o reservatório e residências sempre abastecidos, mesmo em casos de manutenção ou eventualidade falta d'água na cidade.

Assim podemos concluir que a implantação do inversor no sistema de abastecimento de água é viável e eficiente, promovendo a redução de equipamentos no quadro de comando e facilitando a manutenção. Atende todas as normas exigidas pela empresa, que é fornecer ao cliente no mínimo 1KgF/cm^2 , mantendo a pressão na rede constante, reduzindo a energia consumida no booster, através da redução da potência do motor e com a rampa de aceleração/desaceleração, diminuindo a conta de energia.

A finalidade desejada foi manter o reservatório e a rede sempre cheios para alguma eventualidade de falta de água ou em caso de manutenção, sendo alcançada através da modulação do motor de acordo com a pressão aferida no recalque da bomba.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABASTECIMENTO DE ÁGUA: operação e manutenção de estações elevatórias de água: guia do profissional em treinamento : nível 1/ Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte: RECESA, 2008.
- AHMED, A. Eletrônica de Potência. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2000.
- AZEVEDO Netto. Manual de Hidráulica. Edgard Blücher, São Paulo, 1998, 669 p. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Comentários sobre a Portaria MS 518/2004: subsídios para implementação. Brasília, 2005.
- BRASIL. Lei 8.078. Proteção do Consumidor. Brasília, 1990.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para minimização de riscos à saúde. Brasília, 2005.
- BRASIL. Lei 10.406/2002, atualizada em 29/07/2015. Código Civil Brasileiro. 8ª Edição. Brasília, 2015.
- CAPELLI, A., Inversores de Frequência Vetorial, Revista Saber Eletrônica nº 337, Fevereiro de 2001.
- CAPELLI, A., Inversores de Frequência, Revista Mecatrônica Atual nº 2, Fevereiro de 2002.
- CARVALHO, Djalma Francisco. Instalações Elevatórias Bombas. Instituto Politécnico da Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1977. 355 p.
- CARVALHO, Jacinto de Assunção et al. Utilização do inversos de frequência em sistemas de irrigação para controle de vazão. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Abr 2000, vol.4, no.1, p.51-56. ISSN 1415-4366
- DIAS, Adriano Batista. Crise energética e a perspectiva de aumento da dependência tecnológica. Trabalho apresentado ao XI Encontro Nacional de Economia dezembro de 1983. Publicação Revista Brasil Econômico. Vol. 38, Nº 4, P.387,307. Rio de Janeiro, 1984.
- FARACO, Rosemary. Proteção Acústica Em Estações De Bombeamento Experiência Da Copasa. Belo Horizonte, 2013.
- FONSECA, André Luiz Amorim da. Análise do Uso de Conversor de Frequência na Ventilação Forçada de Sistemas de Resfriamento Evaporativo Visando à Eficiência Energética. Dissertação de Mestrado. UFMT. Cuiabá, 2012.
- FRANCHI, C. M. Inversores de Frequência: Teoria e Prática. São Paulo: Érica, 2010.

- HELLER, Léo e PÁDUA, Valter Lúcio (Organizadores). Abastecimento de Água para Consumo Humano. Belo Horizonte: UFMG, 2006.
- MANUAL do Inversor de Frequência CFW-08. Disponível em www.weg.net. Acesso em 08/10/2015.
- MATHEUS, Henrique. Conversores de Frequência e Soft-Starters. EJM Engenharia. Disponível em: www.ejm.com.br/download/Inversores.pdf. Acesso em 30/09/2015
- MINAS GERAIS. br.com.copasa.perfil.imprensa. Prêmio de Qualidade. Disponível em: www.copasa.com.br. Acesso em 10.10.2015.
- OLIVEIRA FILHO, M. E. et al. Um controlador de corrente de carga para o conversor em matriz trifásico para trifásico e para o inversor de frequência sem capacitor do elo de corrente contínua. Sba Controle e Automação, Out 2010, vol.21, no.5, p.534-545. ISSN 0103-1759.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. Disponível em: < <http://www.who.int/en/> > .Acesso em: 29 de setembro de 2015.
- REIS, Lineu Bélico dos; FADIGAS, Eliane A. Amaral; CARVALHO, Cláudio Elias. Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável. Manole. Barueri, SP, 2005
- RODRIGUES, Wlamir; LUVIZOTTO, Edevar Júnior. Inversor De Frequência Em Sistemas De Bombeamento, São Bernardo, 2002
- SOUSA e SILVA. Inversor de frequência e a sua contribuição para a eficiência energética em sistemas de bombeamento. Revista de Engenharia e Indústria, Uberlândia, 2012.
- SOUZA, Diego Nascimento de. COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais – uma análise econômico-financeira após a abertura de capital social. TCC de Graduação, 2008. Disponível em dspace.faciplac.edu.br/bitstream/.../85/1/TCC200902COPASAFINAL.pdf. Acesso em 10/10/2015.
- TSUTIYA, M. T., Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água, ABES, 1.ed., 2001.
- WEG. Guia Técnico - Motores de Indução Alimentados por Inversor de Frequência PWM. Santa Catarina: Weg Equipamentos Elétricos S.A, 2009. Disponível em <http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-motores-de-inducaoalimentados-por-nversores-de-frequencia-pwm-027-artigo-technico-portugues-br.pdf>. Acesso em 30/09/2015.
- LEITE, Vinicius, AUTOMAÇÃO DE UMA MÁQUINA ENVASADORA: ESTUDO, SIMULAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE HOMEM-MÁQUINA, p.13, Ceara – 2014.
- ALLEN-BRADLEY. MICROLOGIX 1200 AND MICROLOGIX 1500 PROGRAMMABLE CONTROLLERS: Instruction set referenrece manual. [S.l.]: [s. n.], 2000. Versão traduzida.
- LEITE, Vinicius, AUTOMAÇÃO DE UMA MÁQUINA ENVASADORA: ESTUDO, SIMULA-

ÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE HOMEM-MÁQUINA, p.13, Ceara – 2014.

ANEXO A TÍTULO DO ANEXO

Figura 13: Declaração Fornecida pela empresa
Fonte: Fonte o Autor