



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Thyanne Serpa da Silva Corado Bispo

ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO PRINCIPAL DO
PROJETO HIDROAGRÍCOLA SÃO JOÃO PORTO NACIONAL- TO

Palmas – TO

2017

Thayanne Serpa da Silva Corado Bispo
ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO PRINCIPAL DO
PROJETO HIDROAGRÍCOLA SÃO JOÃO PORTO NACIONAL- TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Carlos Spartacus da Silva Oliveira.

Palmas – TO

2017

Thyanne Serpa da Silva Corado Bispo
ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO PRINCIPAL DO
PROJETO HIDROAGRÍCOLA SÃO JOÃO PORTO NACIONAL- TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Carlos Spartacus da Silva Oliveira.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof.M.e Carlos Spartacus da Silva Oliveira

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. M.e Euzir Pinto Chagas

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof.a M.e Jacqueline Henrique

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2017

Dedico este trabalho àqueles que se fizeram presente ao longo desta jornada acadêmica tornando possível a conquista do título como Engenheira Civil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado força e persistência diante das dificuldades enfrentadas no decorrer do curso.

Aos meus pais, Bartolomeu Bispo e Edna Cássia Serpa da S. Bispo, e a minha irmã Thayres Serpa da S. C. Bispo, por incentivarem e apoiarem incondicionalmente minhas decisões, tornando possível a realização de um sonho. Agradeço também aos meus tios Clerivadson Serpa da Silva, Jacson Serpa da Silva e suas respectivas famílias por todo apoio oferecido.

Aos meus avós, amigos e familiares em geral, obrigada por todo incentivo e ensinamentos, por contribuírem de certa forma na minha formação e construção de caráter.

Ao meu orientador Carlos Spartacus da Silva Oliveira por todo suporte concebido, pelas correções e incentivo na elaboração deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que de forma direta ou indiretamente me ajudaram durante todo o curso.

“...O caráter universalizante dos direitos do homem (...) não é da ordem do saber teórico, mas do operatório ou prático: eles são invocados para agir, desde o princípio, em qualquer situação dada...”

(François JULIEN, filósofo e sociólogo)

RESUMO

BISPO, Thyanne Serpa da Silva Corado. **Estudo de caso e análise do sistema de bombeamento principal do Projeto Hidroagrícola São João Porto Nacional- TO.** 2017. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2017.

Um sistema de abastecimento consiste na captação e distribuição de água potável para uma determinada finalidade, essa captação é feita por bombeamento vencendo desníveis até o local de distribuição. Para tanto, a escolha correta do conjunto motor bomba é que oferece ao sistema a eficiência requerida bem como possível ganho econômico de acordo com a utilização correta dos dados coletados em campo. O presente trabalho aborda conceitos de dimensionamento de um sistema que se encontra em funcionamento, a fim de aumentar a eficiência na captação e distribuição de água na área delimitada pelo projeto de irrigação São João pertencente ao município de Porto Nacional. O conjunto motobomba existente na estação de bombeamento principal opera com certa dificuldade e precariedade, não sendo possível o abastecimento com vazão correta aos lotes irrigáveis. Com a aferição do sistema implantado, é possível então realizar estudos que comprovem a ineficiência em operação e as possíveis interferências a serem tomadas diante do sistema com parâmetros adequados de distribuição, alterando as potências instaladas, números de bombas e até mesmo a associação dos conjuntos na estação de bombeamento. Existem diversas variáveis que podem influenciar na escolha correta do tipo de bomba a ser implantado, as razões técnicas muitas vezes acabam sendo submissas as razões econômicas. Dessa forma, foi possível concluir que o melhor sistema a ser implantado, mantendo os parâmetros iniciais de dimensionamento, foi a substituição total dos conjuntos atuais por um conjunto composto de duas bombas de 200cv e quatro bombas de 300cv, com associação em paralelo.

Palavras-chave: Irrigação, estação de bombeamento, Projeto Hidroagrícola.

ABSTRACT

A system of supply consists of the abstraction and distribution of water for a certain purpose, this abstraction is made by pumping overcoming gaps to the place of distribution. For this, the correct choice of the motor pump assembly is that it offers the system the required efficiency as well as possible economic gain according to the correct use of the data collected in the field. The present work deals with the design concepts of a system that is in operation in order to increase the efficiency in the abstraction and distribution of water in the area bounded by the São João irrigation project belonging to the municipality of Porto Nacional. The pump assembly at the main pumping station operates with some difficulty and precariousness, and it is not possible to supply the correct flow to the irrigable lots. By measuring the implanted system, it is possible to carry out studies that prove the inefficiency in operation and the possible interferences to be taken in front of the system with adequate distribution parameters, changing the installed powers, pump numbers and even the association of sets in the pumping station. There are several variables that can influence in the correct choice of the type of pump to be implanted, the technical reasons often end up being submissive the economic reasons. In this way, it was possible to conclude that the best system to be implemented, maintaining the initial design parameters, was the total replacement of the current assemblies by a set consisting of two pumps of 200cv and four pumps of 300cv, with parallel association.

Keywords: Irrigation, pumping station, Hydro-agricultural Project.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Bomba centrífuga.....	18
Figura 02 – Tipos de rotor.....	18
Figura 03 – Escoamento dos líquidos.....	20
Figura04 – Perdas localizadas expressas em metros de canalização retilínea.....	22
Figura 05 – Bombas em série.....	23
Figura 06 – Curva do sistema em série.....	24
Figura 07: Bombas em paralelo.....	24
Figura 08- Curva do sistema em paralelo.....	24
Figura 09- Dimensionamento sistema de bombeamento.....	26
Figura 10- Perfil afogado.....	27
Figura 11- Perfil livre.....	27
Figura 12- Fluxograma Darcy.....	28
Figura 13- Diagrama de Moody	28
Figura 14: Região de validade para equação de Hazen-Williams.....	29
Figura 15- Alturas manométricas e geométricas	30
Figura 16- Curva do sistema.....	32
Figura 17- Dinâmica x Estática.....	32
Figura 18- Curva da bomba.....	33
Figura 19- Curva da bomba KSB.....	33
Figura 20- Gráfico do rendimento de uma bomba.....	34
Figura 21- Ponto de trabalho.....	34
Figura 22- Estação de bombeamento São João.....	36
Figura 23- Perímetro e localização do Projeto São João.....	37
Figura 24- Relação dos conjuntos motobomba das estações pressurizadoras.....	38
Figura 25- Resumo característico do perímetro irrigado.....	39
Figura 26- Canal de chamada.....	41
Figura 27- Comporta.....	41
Figura 28- Caixa de distribuição.....	42
Figura 29- Vista frontal caixa distribuição.....	42
Figura 30- Detalhe da caixa de distribuição.....	42
Figura 31- Canal.....	42
Figura 32- Esquema de distribuição de água.....	43
Figura 33- Linha de recalque Ø 1200mm.....	44

Figura 34- Tubulação de recalque Ø 850mm.....	44
Figura 35- Quadro dimensionamento para vazão de 0,7 m ³ /s sistema atual.....	45
Figura 36- Quadro dimensionamento para vazão de 1,4 m ³ /s sistema atual.....	46
Figura 37- Conjuntos motobomba.....	47
Figura 38- Dado dos motores.....	47
Figura 39- Quadro dimensionamento para vazão de 0,7 m ³ /s proposta I.....	47
Figura 40- Bomba centrífuga para vazão de 0,7 m ³ /s proposta I.....	49
Figura 41- Curva rendimento para vazão de 0,7 m ³ /s proposta I.....	50
Figura 42- Quadro dimensionamento para vazão de 1,4 m ³ /s proposta II.....	51
Figura 43- Bomba centrífuga para vazão de 1,4 m ³ /s proposta II.....	53
Figura 44- Curva rendimento para vazão de 1,4 m ³ /s proposta II.....	54
Figura 45- Quadro dimensionamento para vazão de 0,7 m ³ /s proposta III.....	55
Figura 46- Quadro dimensionamento para vazão de 1,4 m ³ /s proposta III.....	55
Figura 47- Bomba centrífuga para vazão de 0,70 m ³ /s proposta III.....	57
Figura 48- Curva rendimento para vazão de 0,70 m ³ /s proposta III.....	58
Figura 49- Vazões das estações pressurizadoras.....	60
Figura 50- Porcentagem requerida das estações pressurizadoras.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

cv	Cavalo-vapor
D	Diâmetro
EB	Estação de Bombeamento
EP's	Estações Pressurizadoras
G	Gravidade
HB	Altura manométrica no bombeamento (m)
Log	Logaritmo
hf	Perda de carga total na tubulação entre 1 e 2 (m)
mca	Metro coluna d'água
NPSH	Net Positive Suction Head
η	Eficiência da bomba (fornecida pelo fabricante)
p	Pressão do líquido (Pa)
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PNRH	Política Nacional dos Recursos Hídricos
Q	Vazão volumétrica (m ³ /s)
Re	Número de Reynolds
SEDAP	Secretaria do Desenvolvimento da Agricultura e Pecuária
SRHMA	Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente
v	Velocidade (m/s)
γ	Peso específico do líquido (N/m ³)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 PROBLEMA	14
1.2 HIPÓTESE	15
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivo Específico	15
1.4 JUSTIFICATIVA	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 LEI DAS ÁGUAS	17
2.2 NOÇÕES DE HIDRODINÂMICA E MECÂNICA DOS FLUIDOS	18
2.3 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	18
2.4 BOMBAS E VÁLVULAS	19
2.5 ESCOAMENTOS EM TUBULAÇÕES	21
2.5.1 Regime laminar	22
2.5.2 Regime turbulento	22
2.6 PERDAS DE CARGA	23
2.6.1 Perdas lineares	23
2.6.2 Perdas localizadas	23
2.7 ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS	24
2.7.1 Associação em série	25
2.7.2 Associação em paralelo	25
2.8 DIMENSIONAMENTO DE UM CONJUNTO MOTOBOMBA	26
2.8.1 Vazão do sistema	28
2.8.2 Perfil do sistema e peças utilizadas	28
2.8.3 Altura geométrica e perda de carga	29
2.8.4 Altura manométrica	31
2.8.5 Potência instalada e escolha do conjunto motobomba	32
2.9 SISTEMA DE BOMBEAMENTO	34
2.9.1 Curva do sistema	34

2.9.2 Curva da bomba	34
2.9.3 Curva de rendimento da bomba	36
2.9.4 Ponto de operação do sistema.....	36
2.10 ACIONAMENTO DOS CONJUNTOS MOTOBOMBAS	37
2.10.1 Efeito cavitação em bombas	37
3. MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO ESTUDO	39
3.2. LOCAL E PERÍODO DA REALIZAÇÃO DA PESQUISA	39
3.3. OBJETO DE ESTUDO	40
4. RESULTADOS E DISCURSÕES.....	44
4.1 ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO PRINCIPAL	44
4.1.1 Canal de interligação e dispositivo de controle de água	44
4.1.2 Caixa de distribuição e canal de distribuição	44
4.1.3 Dimensionamento do sistema em funcionamento atualmente.....	46
4.2 PROPOSTAS PARA O SISTEMA DE BOMBEAMENTO	50
4.2.1 Proposta 1: Substituição parcial dos conjuntos motobombas existentes 400cv	50
4.2.2 Proposta 2: Substituição parcial dos conjuntos motobombas existentes 750cv	54
4.2.3 Proposta 3: Substituição total dos conjuntos motobombas existentes.....	58
4.2.4 Proposta 4: Rearranjo na associação dos conjuntos motobombas existentes...	62
4.3 ANÁLISE DE VAZÃO POR ESTAÇÃO PRESSURIZADORA	62
4.4 ANÁLISE FINANCEIRA DO SISTEMA A SER IMPLANTADO	66
5. CONCLUSÃO.....	68
REFERÊNCIAS	70

1. INTRODUÇÃO

Um sistema de abastecimento consiste na retirada e transporte da água do seu leito natural, seja na forma de rios, lagos, represas, mananciais e lençóis subterrâneos até a população. A água deve ser acondicionada antes de seguir para distribuição, adicionando, caso julgue necessário, produtos a fim de tratá-la e qualificá-la para o seu consumo. A captação é feita por um sistema de adução próximo ao corpo d'água, sendo necessária a construção de uma casa de bomba, o qual comporta o conjunto motobomba, seus acessórios hidromecânicos, ferramentas necessárias para sua operação e parte de sua tubulação de sucção e recalque.

Nos últimos anos, houve uma grande repercussão quanto aos recursos hídricos, o que fez com que voltássemos às atenções as perdas hídricas em sistemas de distribuição concluídos e em funcionamento. Pensando nisso, se faz necessária a apresentação do estudo apontando possíveis melhorias passíveis a retomar a eficiência em um projeto específico, obtendo como foco a utilização adequada do sistema de distribuição em funcionamento.

Exemplifica-se também como um sistema de distribuição toda aquela estrutura destinada a irrigação que apresenta tubulações, canais, bombas ou reservatórios. No município de Porto Nacional, no estado do Tocantins, se encontra o projeto hidroagrícola, São João que se destina a irrigação de um polo de fruticultura que totaliza 576 lotes, com área total de 5.524 ha. É constituído por uma Estação de Bombeamento (EB) e oito Estações de Pressurização (EP's) que distribuem água por meio de um canal com mais de 10 km de extensão cobrindo todo o perímetro de irrigação, fornecendo vazões necessárias para a suficiência do projeto.

O estudo tem como foco analisar e ponderar os conjuntos motobomba presentes na estação de bombeamento, a fim de retomar a eficiência na distribuição de água aos lotes irrigáveis, garantindo vazões adequadas e operacionalidade ininterrupta, com manutenção facilitada entre as estações presentes por todo o projeto hidroagrícola.

1.1 PROBLEMA

Com a análise do sistema atual, a exposição de propostas para possíveis mudanças resultando na substituição do sistema em funcionamento, conservando as mesmas características necessárias de pressão e vazão iniciais, poderão contemplar benefícios para a atividade de irrigação do Projeto Hidroagrícola São João?

1.2 HIPÓTESE

A substituição dos conjuntos motobombas instalados atualmente no projeto hidroagrícola por conjuntos que promovem maior eficiência e menor desperdícios, tanto em rendimento quanto em perdas e vazão de distribuição, favorecem as características gerais de operação, manutenção e custo.

É possível que se retome as atividades normais da estação de bombeamento do projeto, para isso, a implantação de conjuntos motobomba com potências adequadas e ditas de menores dimensões permite a operação de bombas suficientes para o abastecimento necessário do canal de distribuição, estabelecendo uma proatividade no acionamento destas, levando água necessária a ser utilizada em um único setor, caso seja solicitado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Demonstrar a possibilidade da substituição ou rearranjo na associação das bombas do sistema de bombeamento existente na estação, com conjuntos motobomba trabalhando em precariedade e com elevadas potências, por um sistema de bombeamento com potências adequadas de acordo com a solicitação do Projeto Hidroagrícola São João.

1.3.2 Objetivo Específico

- Promover análises do sistema de captação existente, aferindo dados para poder assim chegar a resultados pertinentes ao conjunto em horário de funcionamento.
- Calcular novos sistemas de bombeamento e associações a serem adotados, baseados em formulações empíricas, a fim de se obter resultados que possam elevar a eficiência do sistema em geral.
- Apresentar o possível sistema calculado, promovendo a alternância das bombas e alcançando maior dinamicidade durante horário de trabalho.
- Realizar análise financeira em relação ao investimento e o possível sistema a ser implantado em substituição ao existente.

1.4 JUSTIFICATIVA

O estímulo para realização do presente estudo busca entender e reunir de forma direta, as intervenções que possam melhorar de maneira significativa a atividade de irrigação do projeto hidroagrícola São João.

Os setores existentes no projeto trabalham com diferentes culturas agrícolas exigindo diferentes períodos de irrigação com necessidades de vazões também diferenciadas. Com isso, a implantação de conjuntos motobombas com diferentes vazões bombeadas, e como consequência diferentes potências, oferecem ao projeto certa dinamicidade na obtenção de determinado volume de água para uma finalidade, o sistema atualmente opera em precariedade não fornecendo a vazão requerida pelo projeto, o que dificulta a distribuição correta de água entre os lotes irrigáveis.

Com a substituição dos conjuntos motobomba originalmente existente na estação de bombeamento do projeto São João, seria possibilitado o remanejamento dos já escassos recursos destinados à sua operação e manutenção, dos quais poderiam ser significativamente reduzidos sendo destinados a outros setores de mesma importância. A utilização de motobombas com maiores rendimentos e menores potências permitiria a operação individualizada dos equipamentos, poupando o sistema de operar e de se desgastar de maneira desnecessária, contudo sem sacrificar a capacidade de disponibilização da vazão ao canal.

Para fins acadêmicos, este estudo contempla um trabalho prático de dimensionamento que pode ser utilizado como referência, tanto para a confecção de estruturas semelhantes relacionadas à adução de água quanto para fins de pesquisas relacionadas a setores de irrigação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 LEI DAS ÁGUAS

Com o crescimento eventual da população urbana, estudos buscam alternativas que possibilitem a aquisição de fontes hídricas com intuito de obter resultados para as crises sofridas nos últimos anos. Sabe-se que estes recursos hídricos são fontes limitadas e que sua exagerada extração pode resultar em um grande impacto ambiental, visto que a base da manutenção vital necessita deles.

Para evitar, precaver e resguardar esse recurso natural fez-se necessária a criação de leis que amparam a sua utilização para inúmeros fins. Neste conceito, nasce então no Direito Ambiental, a Lei das Águas.

No Brasil, esta Lei se intitula como Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, formando a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH). De início, criou-se o Código das Águas de 1934 que atuava regularizando caracteres econômicos, sanitários e de propriedades, a água era tida como um bem, logo após, houve a necessidade de integrá-la ao meio ambiente, garantindo um equilíbrio deste recurso de modo sustentável, fundamentando a Lei das Águas (Lei nº 9.433/97).

A Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) assume então a água como um bem público, limitado, dotado de valor econômico e descentralizado, devendo assegurar a atuais e futuras gerações disponibilidade de água com padrões de qualidade adequados. Sua utilização, no entanto, deve ser de forma racional em defesa do seu uso inadequado (BRASIL, Lei 9.433/00, de 8 de janeiro de 1997). Após a criação da PNRH, surge a parte que define e aprova as questões que envolvem os recursos hídricos, sendo o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

As preocupações quanto a este recurso foram notórias apenas quando alguns estados brasileiros sofriam com sua escassez, fazendo com que planos surgissem partindo do pressuposto de que a água se apresentava de forma concentrada, sendo distribuída de modo irregular sobre o território.

O território brasileiro conta com um enorme volume de água, possuindo pontos positivos para a utilização desse recurso na obtenção de sistemas que o empreguem gerando benefícios à população.

Em se tratando deles, a indústria desenvolveu processos produtivos que os possuem como base, utilizando o modo de transmissão hidráulico como destaque, visto que eles otimizam os sistemas empregados servindo para inúmeras etapas dentro da produção.

2.2 NOÇÕES DE HIDRODINÂMICA E MECÂNICA DOS FLUIDOS

Em se tratando da hidrodinâmica, deve-se ter conhecimento do contribuinte para tal estudo, o fluido, e o que o diferencia de outros materiais sólidos. Diante de uma análise mais aprofundada, as estruturas moleculares dos materiais sólidos possuem espaços menores que os materiais fluidos, estando sujeitos a forças intermoleculares e coesivas, o que faz com que estes mantenham sua forma, resistindo a deformações, já nos fluidos, esses espaços são muito maiores, permitindo que haja deformações constantes devido a suas fracas ligações moleculares. Ao ser aplicada cargas externas, o fluido sofre deformações contínuas de cisalhamento, obtendo como consequência seu escoamento (MUNSON, et al. 2004).

O principal fluido estudado na hidrodinâmica é a molécula composta por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, ou seja, a água, que por sua vez pode assumir estado sólido e gasoso, além do próprio estado líquido, dependendo das propriedades físico-químicas do local onde se encontra o que faz com que suas moléculas se arranjam passando de um estado ao outro em seus pontos de fusão e vaporização. Todo e qualquer fluido possui densidade, massa específica e peso específico, o que faz com que sejam diferentes entre si. O fator de compressibilidade é o que oferece ao corpo fluido propriedades de redução do seu volume devido a ações de pressão externas, possuindo aplicabilidade da lei de conservação da massa. O fenômeno de compressibilidade é observado na água apenas quando se tem o problema do golpe de aríete em específico, o que o torna célere. Em contrapartida, a elasticidade dá ao fluido a propriedade de expansão do seu volume ao reduzir as pressões externas, esse efeito já era bem comum aos gases (AZEVEDO NETTO, 1998).

A palavra hidráulica é derivada do grego, sendo “hidro” água e “aulos” cano, convertendo ao estudo dos fluidos limitados a um recipiente ou mesmo a uma tubulação. Sendo assim, temos sua aplicação para diversos fins, desde maquinários, a prensas e a indústria propriamente dita. A esse fluido quando aplicada uma força externa o que promove escoamento, nota-se certo movimento de suas partículas resultando em atrito entre elas ou simplesmente viscosidade, que torna responsável pela sua resistência a deformações. Um líquido é tido como perfeito quando sua densidade se torna constante e possui estado isotrópico de tensões, ou seja, não existe na prática, porém, para fins didáticos a água assume tal característica devido a casos de aplicabilidade.

2.3 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Entende-se por sistema de distribuição todo o mecanismo capaz de captar e promover adução do líquido para determinado serviço. Para conceder tal deslocamento é necessária a

utilização de tubulações ou canais que promovam tal distribuição de água para os pontos de consumo, sendo assim, devem-se assegurar princípios de vazão e pressão mínima por toda a extensão abastecida.

Em se tratando do projeto Hidroagrícola São João, a distribuição da água é feita em forma de canais, com inclinações mínimas, sofrendo apenas ação gravitacional que promove o deslocamento do líquido por toda sua extensão. A seção transversal do canal se dá na forma de um trapézio, com inclinação de talude de 1:1.5, revestido com uma manta de Polietileno Expandido de Alta Densidade (PEAD) de 1,0 mm de espessura e por placas de concreto.

Os canais são instalados em locais com características de relevo quase planos, com mínimas variações de altura por longas extensões, o que gera perdas de carga devido apenas a rugosidade das paredes do canal e ao elevado comprimento do percurso de transporte que o líquido faz, necessitando da instalação de estações pressurizadoras que retomam a pressão para que a água possa alcançar os setores de irrigação. Na locação dos canais, houve uma preocupação quanto às perdas de carga devido a curvaturas ocorrentes, optou-se então no projeto a utilização de canais os mais retilíneos possíveis, sem mudanças bruscas de direção de escoamento, para minimizar as perdas totais.

2.4 BOMBAS E VÁLVULAS

Todo e qualquer processo que envolva maquinários tem como objetivo aumentar a eficiência destes durante seu tempo ativo de trabalho, obtendo um maior rendimento do conjunto.

As bombas hidráulicas são divididas em dois grandes grupos, as máquinas geratrizes que convertem a energia hidráulica obtida em energia mecânica, através de pás que impelem o líquido para fora, e as máquinas motrizes que transformam o trabalho mecânico em energia hidráulica. As bombas centrífugas encaixam na classificação de bombas cinéticas, sendo fabricadas em diversos modelos.

- Bombas de fluxo radial, referem-se às bombas centrífugas propriamente ditas, onde a água adentra o conjunto moto bomba pelo eixo do rotor e sua saída é periférica, adquirindo velocidade graças à movimentação das pás do rotor. São mais utilizadas em situações onde a captação possui grande altura de recalque, de acordo com a pressão gerada, os rotores assumem estrutura aberta ou fechada, com duplo ou múltiplo estágio.

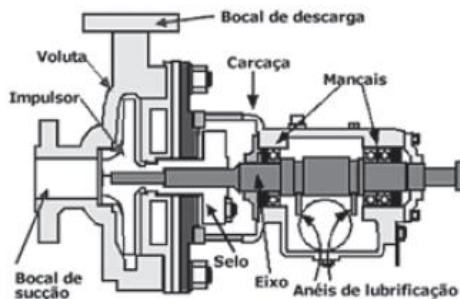
- Bombas de fluxo axial, são assim classificadas devido a movimentação da água no mesmo sentido que o rotor, assemelhando-se a uma hélice, o que também lhe dá tal classificação. Esse tipo de bomba possui limitações de trabalho que estão ligadas a elevadas alturas, porém trabalha muito bem com grandes vazões.

- Bombas de fluxo misto, como o próprio nome já diz, intercalam princípios das bombas radiais e axiais, seu caminhamento de água é helicoidal, empregados em maior escala para poços profundos, com vários estágios.

As bombas são escolhidas geralmente de acordo com a vazão que se quer ter de trabalho e a altura manométrica a ser vencida, além é claro das potências e eficiência. A escolha do tipo de bomba é essencial para se ter uma maior eficiência global do sistema, existem quatro tipos de classe de bombas: as centrífugas, rotativas, de êmbolo e de poço profundo (AZEVEDO NETTO, 1998).

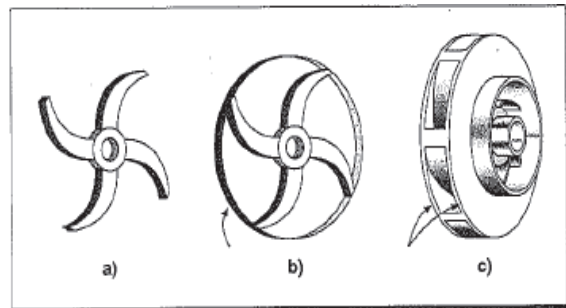
As bombas centrífugas (Fig. 01) se classificam de acordo com o tipo de movimentação do líquido (sucção simples ou dupla), admissão do líquido (radial, diagonal ou helicoidal), número de rotores (um estágio ou múltiplos estágios), pelo tipo de rotor (fechado, aberto, semifechado) (Fig. 02), posição do eixo (vertical, horizontal e inclinada) e pressão (baixa, média e alta pressão). O tipo de rotor a ser empregado para promover cinética ao líquido se diferencia quanto ao tipo de água a ser transportado, no caso das águas limpas utiliza-se rotores fechados, já para águas residuais faz-se o uso de rotores abertos. Cada bomba possui uma curva característica, o que permite relacionar dados de vazão e pressão com a potência absorvida, rendimento e até com alturas máximas de sucção.

Figura 01- Bomba centrífuga



Fonte: Eletrobrás (2009)

Figura 02-Tipos de rotor: a) aberto, b) semifechado, c) fechado



Fonte: Manual de hidráulica (1998)

As bombas não trabalham sozinhas em um sistema, elas são apenas uma parte que se acopla ao motor, que gera o torque fazendo-a funcionar. Em geral se utilizam motores elétricos de indução trifásica, por trabalharem com acionamento de forma contínua. A potência do conjunto motobomba é obtida de acordo com seu rendimento, características do líquido escoado e a altura manométrica.

Existem peças a serem locadas que auxiliam na captação e distribuição da água, essas peças devem ser implantadas a fim de promover segurança enquanto o conjunto motobomba se encontra em trabalho. Além dessas peças essenciais, todo o sistema de tubulação deve ser previamente calculado e escolhido, de modo a minimizar perdas de carga por acessórios, o que diminui a eficiência do sistema.

Acessórios empregados na instalação de sistemas de bombeamento:

- Válvula de pé: semelhante à válvula de retenção, com acréscimo de um crivo, empregada na entrada da tubulação de aspiração, com intuito de impedir o esvaziamento da tubulação de sucção, ou seja, impede a perda de escorva da bomba, são empregadas em sistemas de perfil não afogado. O crivo é colocado antes da válvula e impede também a entrada de corpos sólidos estranhos que podem afetar a funcionalidade da bomba. Esta válvula possui uma elevada perda de carga, o que faz com que seja evitada ao máximo sua instalação.
- Válvula de fechamento ou saída: empregada no início da linha de recalque, geralmente para pequenas unidades, serve para bloquear e regular a descarga de água. Serve como uma válvula de gaveta.
- Válvula de retenção: colocada entre a bomba e a válvula de saída, podendo ser usada após a junção dos tubos de recalque de duas bombas, quando uma delas é a de reserva. Sua principal função é regular a passagem de água em um único sentido, evitando que a mesma retorne esse retorno geralmente ocorre quando a bomba é desligada, evitando o golpe de aríete.
- Dispositivo de escorva: possui forma de um funil ou copo, colocado na parte mais alta da bomba, onde é despejado um líquido que promove a escorva para acionar a bomba. A escorva da bomba é essencial para não haver danificações dela, visto que durante a aspiração se não houver líquido a ser succionado logo de início, são criadas bolhas de ar e ocorre o fenômeno de cavitação, prejudicando seus rotores.
- Torneira de purga: torneira localizada na parte mais alta da bomba destinada a promover liberação do ar na fase da escorva, evitando a formação de bolsões de ar. O ar que é eliminado pela torneia, poderia ocasionar a perda da escorva quando acionada a bomba.
- Válvula de alívio: instalada após a válvula de retenção, onde a pressão do golpe de aríete é mais elevada, abrindo-se quando necessário para descarga da água excessiva para um poço ou reservatório.
- Manômetro e vacuômetro: dispositivos disponíveis para medir as pressões relativas na tubulação. O manômetro mede a variação de pressão entre absoluta e atmosférica, tendo que ser somada a atmosférica para se ter a pressão absoluta, enquanto o vacuômetro mede a diferença de pressão entre a atmosférica e absoluta. Os locais de instalação destes dispositivos também se diferenciam, o manômetro é instalado na linha de recalque e o vacuômetro na linha de sucção. (MACINTYRE, 1997)

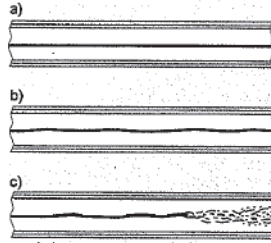
2.5 ESCOAMENTOS EM TUBULAÇÕES

Na engenharia, mais precisamente da parte da hidráulica, Azevedo Netto (1998) afirma que a utilização de tubulações para deslocamento de líquidos é aplicada de forma que se atenda a necessidade de uma determinada vazão, admitindo que para água limpa o líquido escoado ocupe cerca de 75% da seção do tubo, funcionando sempre por gravidade.

Para tanto, Osborne Reynolds observou o comportamento dos líquidos enquanto escoavam, por meio de um dispositivo criado pelo mesmo onde se regulava a vazão, dividindo assim o regime do líquido entre movimento laminar e turbulento, de acordo com o

filamento criado pelas partículas criando um trajeto bem definido (Fig. 3-a) ou por um trajeto desordenado (Fig. 3-c).

Figura 3- Escoamento dos líquidos: a) laminar, c) turbulento



Fonte: Manual de hidráulica (1998)

Com isso, Reynolds concluiu que a melhor forma de representar tal experiência vivenciada seria a criação de uma equação que classificasse o tipo de escoamento (Eq. 01), onde os resultados se prendem a velocidade e viscosidade do líquido.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{v D}{\nu} \quad (\text{Eq. 01})$$

v = velocidade do fluido (m/s)

D = diâmetro da canalização (m)

ν = viscosidade cinemática (m²/s)

μ = viscosidade dinâmica do fluido (kg/(m·s))

ρ = massa específica do fluido (kg/m³)

$Re > 4\,000$, o movimento se classifica como turbulento.

2.5.1 Regime laminar

Segundo Azevedo Netto (1998), para este caso, admite-se que as partículas do líquido possuem velocidades constantes dentro de uma tubulação, exceto aquelas que se encontram próximas a parede da tubulação, pois estas sofrerão retardamento devido a rugosidade do material, assim, conforme há o escoamento do líquido, as partículas em posição central dentro da tubulação assumem movimento acelerado. Por se tratar de um regime laminar, a velocidade se mantém em perfil parabólico com posicionamento em equilíbrio, a energia cinética então se iguala a $2x \frac{v^2}{2g}$.

2.5.2 Regime turbulento

Quando um fluido assume regime turbulento, de acordo com Azevedo Netto (1998), isso significa que suas partículas, em um determinado ponto, possuem uma camada laminar que se torna espessa e alcança um ponto crítico com condição de equilíbrio definido, sendo

atingido muito mais rápido que no regime laminar, podendo desordenar a trajetória das partículas centrais e as partículas extremas permanecerão então em regime laminar.

2.6 PERDAS DE CARGA

Na instalação de todo e qualquer sistema de canalização, é necessário que se preveja as perdas de cargas existentes devido ao atrito interno gerado pelo escoamento do líquido, fator que se relaciona principalmente pela rugosidade (aspereza das paredes da tubulação, variável de acordo com o tipo de material) dos tubos, e pelas perdas ocasionadas por peças especiais e acessórios na instalação de um sistema de distribuição de água.

2.6.1 Perdas lineares

As perdas de carga do tipo lineares são ocasionadas devido a movimentação do líquido ao longo de sua extensão, admite-se então como uma perda unitária que se multiplica ao seu comprimento (Eq. 02).

$$\Delta h_f = j \times L \quad (\text{Eq. 02})$$

Δh_f = variação de perda de carga (m)

j = perda de carga unitária (adimensional)

L = comprimento da tubulação (m)

2.6.2 Perdas localizadas

Perdas locais ou acidentais são resultado da introdução de peças especiais na instalação de tubulações, essas perdas são de tamanha relevância se instaladas em sistemas cujo comprimento de tubulação é curto, para tubulações longas se tornam quase que irrelevantes devido as altas perdas lineares. Tal perda de carga também é aplicada quando se tem um alargamento ou redução brusca na seção dos tubos e na entrada ou saída de uma canalização.

Para se tornar mais prático o cálculo das perdas localizadas, o prof. Azevedo Netto (1998) em seu livro “Manual de Hidráulica” oferece uma tabela com valores para comprimentos fictícios correspondente as peças e perdas mais frequentes (Fig. 04).

Figura 04- Perdas localizadas expressas em metros de canalização retilínea

Diâmetro D		COTOVELO 90° RAIO LONGO		COTOVELO 90° RAIO MÉDIO		COTOVELO 90° RAIO CURTO		COTOVELO 45°		CURVA 90° RD - 1 1/2"		CURVA 90° RD - 1"		CURVA 45°		ENTRADA NORMAL		ENTRADA DE BORDA		VÁLVULA DE GAVETA ABERTO		VÁLVULA DE GLOBO ABERTO		VÁLVULA DE ÂNGULO ABERTO		TÉ PASSAGEM DIRETA		TÉ SAÍDA DE LABO		TÉ SAÍDA LATERAL		VÁLVULA DE PÉ E CRIVO		SAÍDA DA CANALIZAÇÃO		VÁLVULA DE RETIÇÃO TIPO LEVE		VÁLVULA DE RETIÇÃO TIPO PESADO	
mm	pol																																						
13	1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6																			
19	3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4																			
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,8	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2																			
32	1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0																			
38	1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8																			
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4																			
63	2 1/2	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1																			
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7																			
100	4	2,1	2,8	3,4	1,5	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	8,4	12,9																			
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1																			
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3																			
200	8	4,3	5,6	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0																			
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0																			
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0																			
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0																			

* Os valores indicados para registros de globo aplicam-se também às torneiras, válvulas para chuveiros e válvulas de descarga

Fonte: Manual de Hidráulica (1998)

O livro Manual de Hidráulica de Azevedo Netto possui tabelas que mostram as perdas de carga de acordo com o diâmetro utilizado, porém essas tabelas são limitadas a determinado diâmetro, o que deixa vaga a obtenção das perdas de diâmetros superiores, torna-se necessário então a utilização de equações para o cálculo destas perdas de carga por meio de equações definidas, baseadas principalmente no diâmetro dos tubos, seu comprimento e na vazão requerida, aplicando assim a fórmula de Hazen-Williams (Eq. 03).

$$hd = Lx \frac{10,641 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \quad (\text{Eq. 03})$$

L= comprimento do tubo (m)

Q= vazão (m/s)

D= diâmetro do tubo (m)

C= coeficiente de perda de carga de acordo com o material empregado (adimensional)

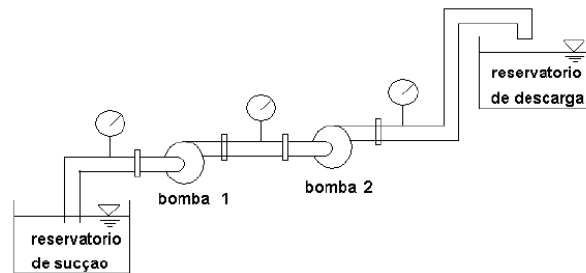
2.7 ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS

Em se tratando da organização dos conjuntos motobombas dentro de estações elevatórias, estas podem assumir posição em paralelo ou em série para se obter uma melhor funcionalidade do sistema de modo geral.

2.7.1 Associação em série

Ao se tratar de elevadas alturas, a solução na maioria das vezes, está no posicionamento das bombas, colocando-as em série (Fig. 05), logo sua altura de recalque é somada. Este tipo de associação é o mais ideal caso haja uma altura de recalque elevada, é aconselhável também que a associação seja com bombas idênticas, havendo flexibilidade quanto a manutenção e reposição das peças em caso de danificação.

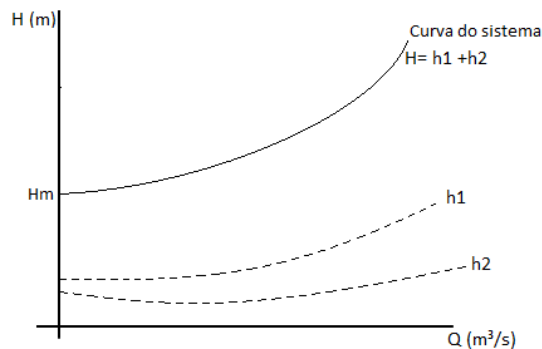
Figura 05- Bombas em série



Fonte: Unesp (2012)

Para se obter a curva de uma associação em série, deve-se dobrar as ordenadas de altura manométrica mantendo sua vazão (Fig. 06).

Figura 06- Curva do sistema em série

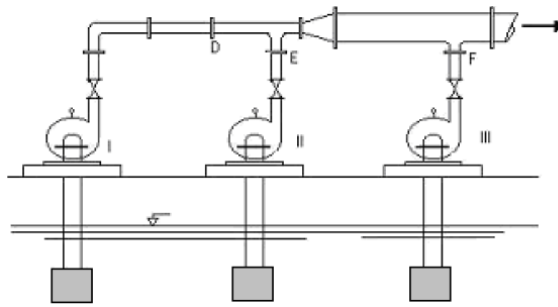


Fonte: Autor (2017)

2.7.2 Associação em paralelo

Para bombas posicionadas em paralelo (Fig. 07), a sua vazão é somada, logo, seria ideal para sistemas que demandam de elevadas vazões. A utilização de uma associação em paralelo em um sistema de abastecimento, ou qualquer outro fim, é o mais comum, porém não é exclusivo, isso dependerá da vazão solicitada e a necessidade das variáveis locais em que o sistema será empregado.

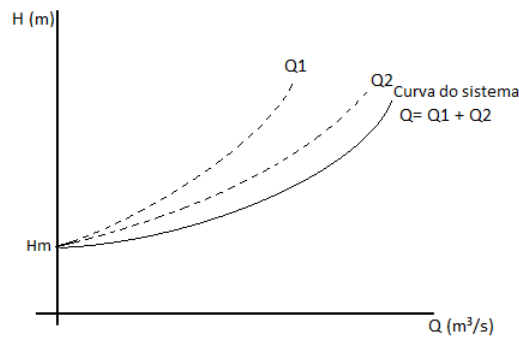
Figura 07: Bombas em paralelo



Fonte: Unesp (2012)

Na composição da curva do sistema em paralelo, a altura manométrica permanece a mesma, somando-se as vazões para cada bomba em trabalho (Fig. 08).

Figura 08- Curva do sistema em paralelo



Fonte: Autor (2017)

As características de associação das bombas podem ser alteradas, dependendo do comportamento da curva característica da bomba e do sistema. Em particularidade, o sistema em paralelo possui vantagem em relação ao sistema em série, caso haja falha no funcionamento de uma das bombas, a funcionalidade geral da distribuição de água não será afetada, permanecendo ininterrupto reduzindo apenas a vazão bombeada.

Para ser empregado o sistema de associação de bombas requer alguns cuidados que devem ser levados em consideração, quando a bomba trabalha isoladamente, fornece maior vazão do que em paralelo, pois por ser composto por mais de uma bomba, estas possuem perdas diferentes no recalque. Sua potência também será alterada, dependendo do fluxo nas bombas, para o caso de bombas que trabalham com fluxo radial, sua potência é superior ao fluxo axial, no caso de fluxo misto, deve ser calculado em particular sua potência.

2.8 DIMENSIONAMENTO DE UM CONJUNTO MOTOBOMBA

Segundo Daker (1983), um sistema de bombeamento é composto basicamente por: conjunto motobomba, cabeçal de controle, rede de distribuição e emissores.

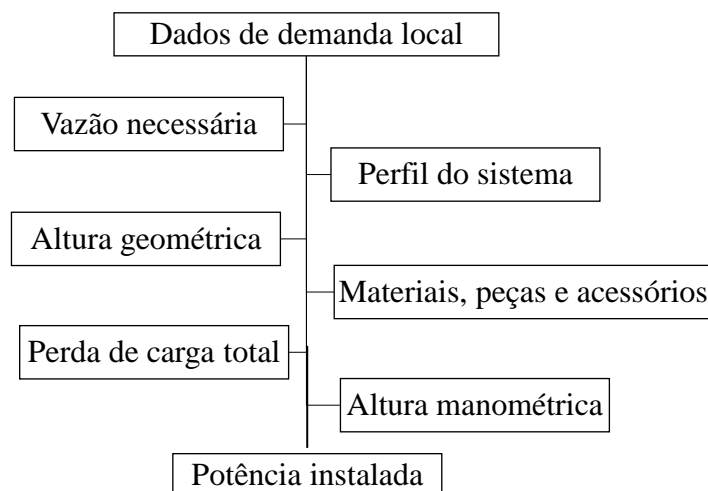
O conjunto motobomba é responsável pela pressurização do sistema, o mais comum para utilização são as do tipo centrífuga, de eixo horizontal, movido a energia elétrica ou motores a diesel. O cabeçal de controle se refere ao sistema de filtragem, com limpeza manual ou automática, medidores de vazão, válvulas de controle de vazão e pressão, etc. A rede de distribuição é composto por tubulações ou canais que promovem a intercepção entre o ponto de captação ao local de fornecimento, podendo possuir ramificações ao longo da distribuição, já os emissores são as derivações até o local a ser irrigado, podendo ser pelo sistema de gotejamento, aspersão, alagamento, entre outros, a fim de se manter vazão e pressão constantes durante período de irrigação.

As estações elevatórias fazem parte do sistema de bombeamento hidráulico, servindo de abrigo para proteger o conjunto motor-bomba. Estas estações são próprias para este fim, se adaptando ao tipo de bombeamento a ser instalado, normalmente são construídas sobre a cota do terreno natural, mas podem sofrer alteração devido ao tipo de captação envolvido.

De início, para ser dimensionado um sistema de bombeamento são requeridos alguns dados de acordo com a finalidade de trabalho ao qual será empregado, temos então o levantamento sobre a demanda de vazão necessária para abastecer todas as localidades, as condições de trabalho em que o sistema de bombeamento estará sujeito durante período de funcionamento, o perfil do sistema de acordo com os desníveis locais, a altura geométrica das partes de sucção e recalque, os tipos de materiais empregados, peças e acessórios, perdas de carga destes materiais, comprimento das tubulações implantadas, altura manométrica e por fim a potência necessária para colocar o sistema em funcionamento.

Partindo do que foi abordado anteriormente, o fluxograma abaixo (Fig. 09) demonstra todas as etapas para um correto dimensionamento do sistema de bombeamento.

Figura 09- Dimensionamento sistema de bombeamento



Fonte: Autor (2017)

2.8.1 Vazão do sistema

Para se ter noção da vazão de necessária para abastecimento do empreendimento a ser instalado, deve-se realizar um estudo hidrológico local, bem como a demanda de cada setor para que sejam comparados, resultando em uma vazão que supra as necessidades sem afetar os componentes hídricos. Após levantamento dos dados iniciais, a vazão é calculada pela relação entre volume necessário em um determinado tempo, ou pela velocidade e área a ser abastecida (Eq. 04).

$$Q = \frac{V}{t} \text{ ou } Q = v \times A \quad (\text{Eq. 04})$$

Onde: Q = vazão (m³/s)

V = volume (m³)

t = tempo (s)

v = velocidade (m/s)

A = área (m²)

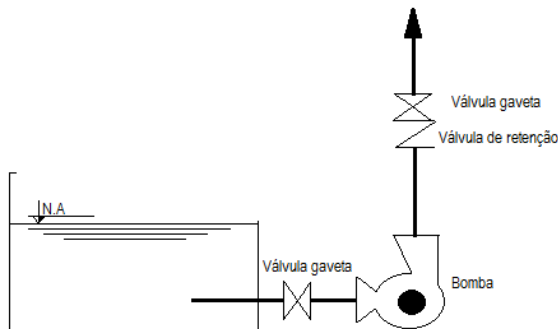
2.8.2 Perfil do sistema e peças utilizadas

Um sistema de bombeamento pode assumir perfil de trabalho afogado (Fig. 10) ou livre (Fig. 11), de acordo com o nível da água do local de sucção.

Em se tratando do perfil livre, o reservatório de sucção se encontra abaixo da linha do eixo da bomba, possuindo uma altura de sucção que se soma à altura de recalque, resultando na altura manométrica que é utilizada para cálculo da potência da bomba. Já o perfil afogado, o reservatório se encontra acima do eixo da bomba, sua altura então passa a ser subtraída a altura de recalque.

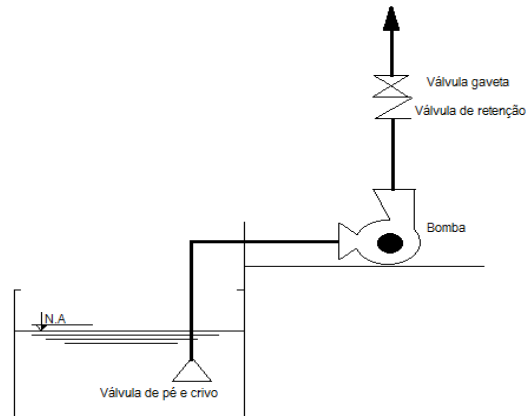
No perfil livre, temos conexões a mais que o perfil de sucção do tipo afogada, algumas peças são diferenciadas de um sistema para o outro, há o acréscimo da válvula de pé e crivo que no perfil livre trabalha para manter a tubulação de sucção sempre escorvada, evitando assim o surgimento de bolhas de ar que promovem o efeito de cavitação no rotor da bomba.

Figura 10- Perfil afogado



Fonte: Autor (2017)

Figura 11- Perfil livre



Fonte: Autor (2017)

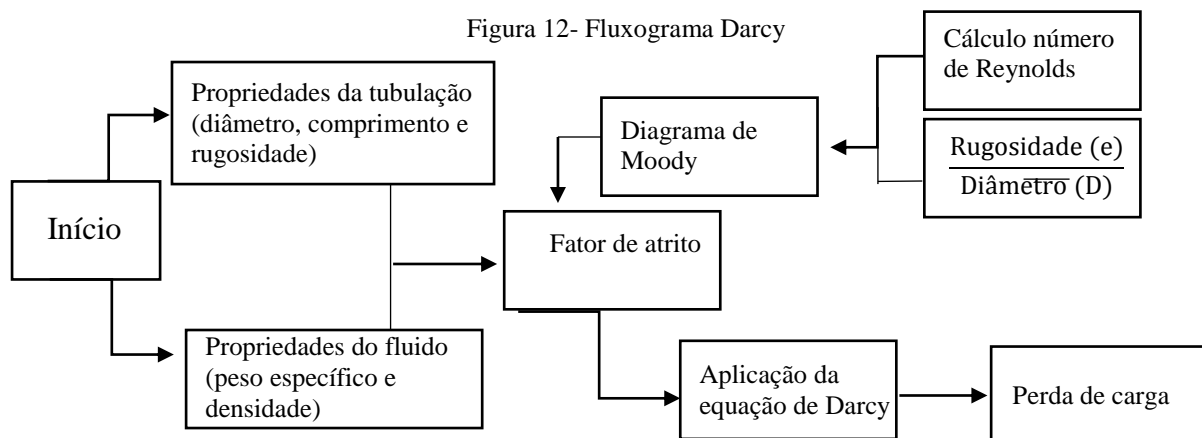
Além das peças mostradas na ilustração, é de fundamental importância a colocação de válvulas (manômetros e vacuômetros) para aferição da pressão em que o sistema trabalha.

2.8.3 Altura geométrica e perda de carga

A altura geométrica de um bombeamento afogado é a diferença entre a altura de recalque e a altura de sucção, já em um bombeamento livre as alturas serão a somatória das mesmas.

Os valores das perdas de carga podem ser retirados por tabelas direto do livro Manual de Hidráulica de Azevedo Netto, porém, tais tabelas são limitadas em relação aos diâmetros empregados, obrigando a utilização de formulações empíricas, baseadas no tipo de material empregado, diâmetro a ser implantado, rugosidade e as propriedades do líquido escoado. Existem duas principais fórmulas para se obter tais perdas de carga, são a fórmula de Darcy-Weisbach (Universal) e a fórmula de Hazen-Williams.

- Cálculo pela fórmula de Darcy (Fig. 12):

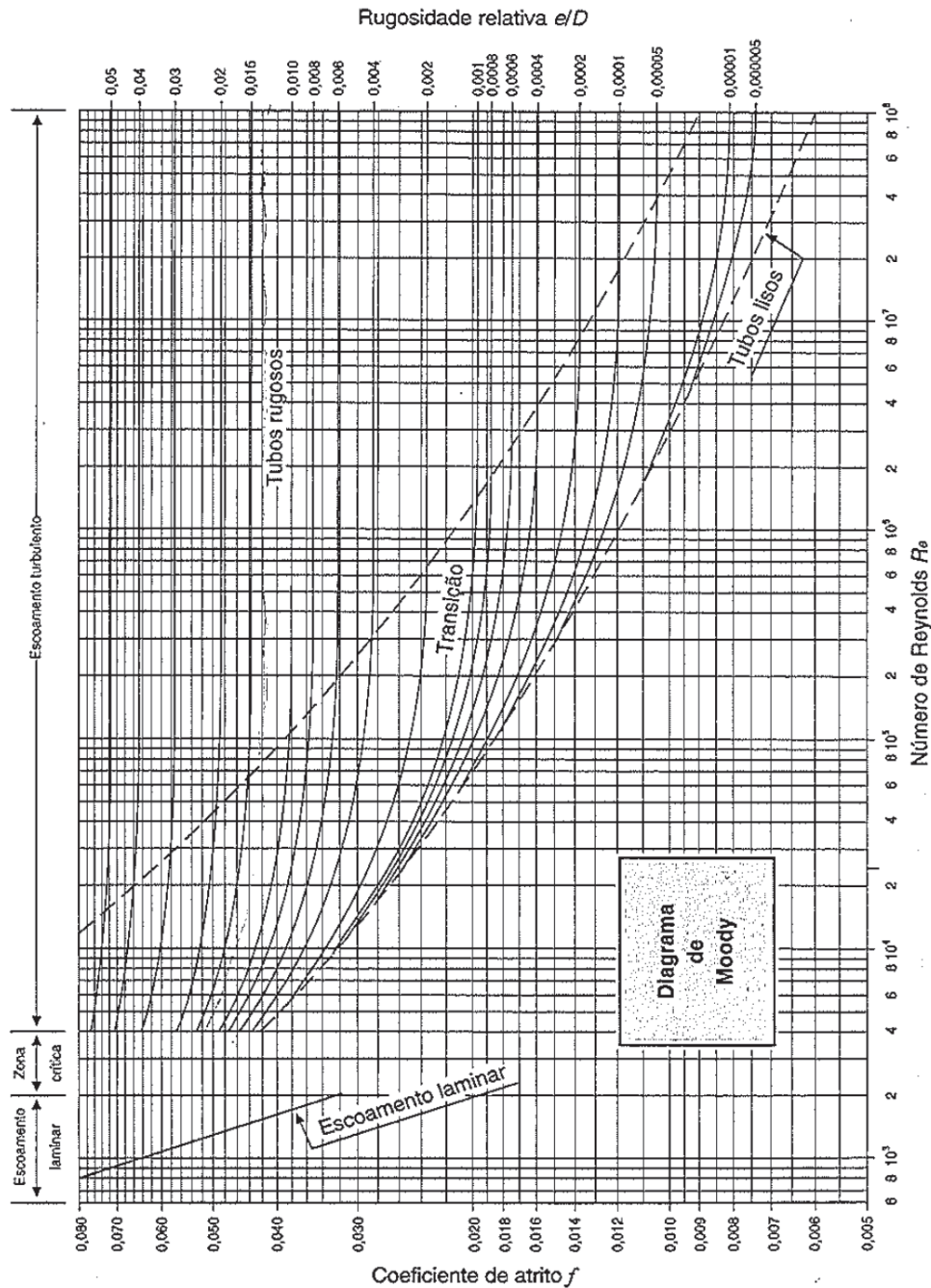


Fonte: Autor (2017)

Número de Reynolds (Eq. 05), diagrama de Moody (Fig. 13) e equação de Darcy (Eq. 06):

$$Re = \frac{pvD}{\mu} = \frac{vD}{\nu} \rightarrow Re = \frac{4 \times Q}{\nu \times \pi \times D} \quad (\text{Eq. 05})$$

Figura 13- Diagrama de Moody



Fonte: Manual de hidráulica (1998)

$$h = \frac{f \times L \times v^2}{D \times 2 \times g} \quad (\text{Eq. 06})$$

Onde: f = fator resultante do número de Reynolds
 L = comprimento da tubulação (m)
 v = velocidade (m/s)

D= diâmetro (m)
g= aceleração gravitacional (~ 9,81 m/s²)
v= viscosidade cinemática do líquido (m²/s)

- Cálculo pela fórmula de Hazen- Williams (Eq. 03):

$$h = L \times \frac{10,641 \times Q^{1,852}}{C^{1,852} \times D^{4,87}} \quad (\text{Eq. 03})$$

Onde: L= comprimento do tubo (m)

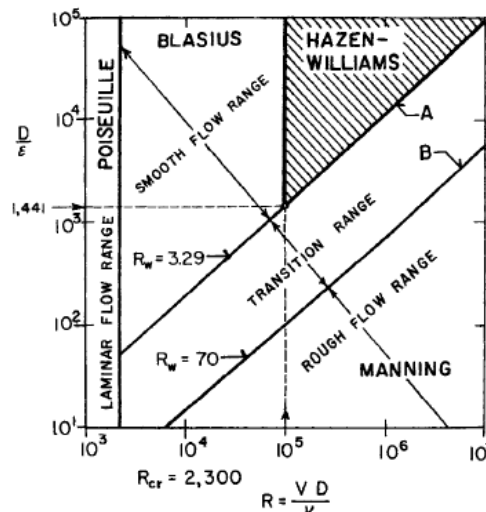
Q= vazão (m³/s)

D= diâmetro do tubo (m)

C= coeficiente de perda de carga de acordo com o material empregado (adimensional)

O método de Hazen-Williams é classificado como o mais simplificado, porém, não considera as variações de temperatura e viscosidade do fluido. De acordo com Christensen (2000), essa fórmula possui restrições para determinadas condições (Fig. 14).

Figura 14: Região de validade para equação de Hazen-Williams



Fonte: Christensen (2000)

Segundo Bombardelli e Garcia (2003), para tubulações com grandes diâmetros o emprego e aplicação da fórmula de Hazen-Williams seria o mais indicado, já Diskin (1960) afirma que o dimensionamento por tal equação somente seria ideal quando $C > 100$, caso situe fora desse parâmetro, pode ocorrer de sair regime turbulento não havendo sentido a realização do seu cálculo.

2.8.4 Altura manométrica

Para cálculo da altura manométrica (Fig 15), leva-se em conta os desníveis geométricos de sucção e recalque, a perda de carga devido escoamento do fluido pela tubulação, perdas de carga localizadas devido as peças e acessórios empregados, perda de carga linear pela tubulação e por fim a necessidade de pressão no final da linha de distribuição (Eq. 07).

$$H_{man} = h_s + h_r + h_{ds} + h_{dr} \quad (\text{Eq. 07})$$

Onde: H_{man} = altura manométrica (m)

h_s = altura de sucção (m)

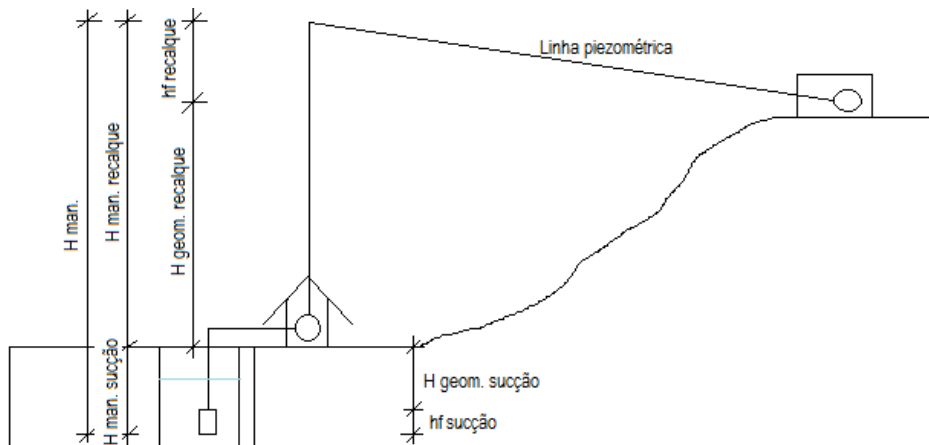
h_r = altura de recalque (m)

h_{ds} = perda de carga total de sucção com peças, acessórios e comprimento da tubulação (m)

h_{dr} = perda de carga total de recalque com peças, acessórios e comprimento da tubulação (m)

Caso o sistema implantado trabalhe no perfil do tipo afogado, sua altura de sucção (h_s) na equação 10 possuirá sinal negativo sendo subtraído em relação as alturas existentes.

Figura 15- Alturas manométricas e geométricas



Fonte: Autor (2017)

2.8.5 Potência instalada e escolha do conjunto motobomba

Quando iniciou a utilização de motores elétricos, a preocupação quanto a redução do seu peso e aumento do seu rendimento foram marcos para iniciar uma mudança na tecnologia empregada, incluindo seus materiais constituintes.

Ao ser dimensionado, de acordo com Delly Filho e Marcos Ribeiro (2010), a potência requerida é adicionada a uma potência extra, resultado da inserção de fatores de segurança que garantem seu funcionamento quando submetido a trabalho. Quando se dimensiona um sistema de bombeamento, as potências resultantes dos cálculos efetivados possuem folgas técnicas que se acumulam obtendo um possível superdimensionamento, elevando o capital investido havendo posteriormente, um desperdício de energia, assim, o motor trabalha com um baixo rendimento e baixo fator de potência.

O cálculo da potência dá-se então pela relação entre vazão, altura manométrica e rendimento do conjunto de bombeamento escolhido (Eq. 08). Quando se tem um aumento da

vazão, há também um aumento da potência requerida do sistema, visto que são grandezas diretamente proporcionais.

$$\text{Pot (cv)} = \frac{\gamma \times Q \times H_{\text{man}}}{75 \times n} \quad (\text{Eq. 08})$$

Onde: γ = peso específico do líquido (N/m³)

Q = vazão (m³/s)

H_{man} = altura manométrica (m)

n = rendimento conjunto motobomba (adimensional)

Em geral, os motores de indução possuem rendimentos em torno de 75% e 100% de sua capacidade nominal, enquanto fator de potência atinge 100% de carregamento nominal. Entende-se por fator de serviço as cargas de trabalho superior à nominal, sobrecarga que o motor elétrico suporta.

As bombas são as responsáveis por converter a energia mecânica em energia hidráulica, podendo classificar-se quanto ao seu fluxo em positivas e não-positivas. Bombas de deslocamento não positivo são raramente utilizadas, pois elas trabalham de modo que a resistência criada é resultado do peso do fluido e o atrito gerado pelo deslocamento, o que pode ser facilmente interrompido de modo brusco enquanto a bomba está em trabalho (PARKER, 1999).

Todo processo de transformação energética gera perdas, a partir disso é necessário rever o rendimento da bomba relacionando sua potência hidráulica e consumida, gerando um gráfico de vazão e potência com ponto máximo de vazão. Com o rendimento da bomba, pode-se obter a potência consumida por ela, que depende basicamente do peso específico do líquido, da vazão requerida, da variação de altura e claro, do rendimento da bomba. O funcionamento da bomba pode ser alterado diante de diversas condições, essas alterações podem ocorrer devido ao aumento ou diminuição da altura manométrica, resultando em variações de pressão internas às bombas.

Como visto anteriormente, o sistema de bombeamento pode ser posicionado em série ou em paralelo, de acordo com a locação e o número de bombas. Se as bombas estiverem trabalhando em paralelo, a sua altura manométrica é admitida como a mesma para cada bomba, somando apenas as vazões destas. As bombas que possuem eixo horizontal devem ser assentadas de forma que mantenham o nível e perfeito alinhamento com o motor, já as de

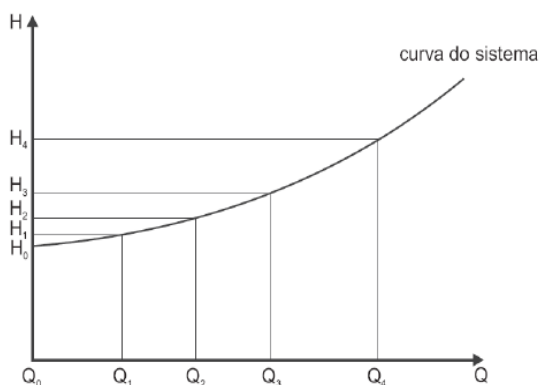
eixo vertical devem ser montadas a prumo, evitando deslocamentos verticais que ocasionem possíveis tombamentos ou desgaste da estrutura de assentamento. A velocidade da água na entrada da bomba deve ser monitorada e estar entre 1,5 e 5 m/s, não admitindo valores superiores a estes (AZEVEDO NETTO, 1998).

2.9 SISTEMA DE BOMBEAMENTO

2.9.1 Curva do sistema

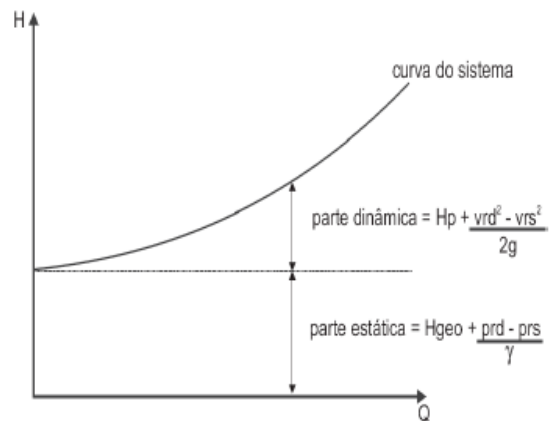
A curva do sistema nada mais é do que a relação de várias vazões e alturas manométricas, que ao traçar uma linha entre seus pontos de interseção gera-se uma curva indicando o comportamento do sistema na medida em que a vazão aumenta (Fig. 16). Essa curva obtida é dividida em duas partes, uma parte dinâmica e a outra estática. A parte dinâmica corresponde ao fluido estando em movimento, com velocidade gerando perdas de carga, que aumentam de acordo com a vazão do sistema, já a parte estática independe da vazão inserida, pois se relaciona a altura geométrica e as cargas de pressão (Fig. 17).

Figura 16- Curva do sistema



Fonte: Manual de Hidráulica (1998)

Figura 17- Dinâmica x Estática



Fonte: Manual de Hidráulica (1998)

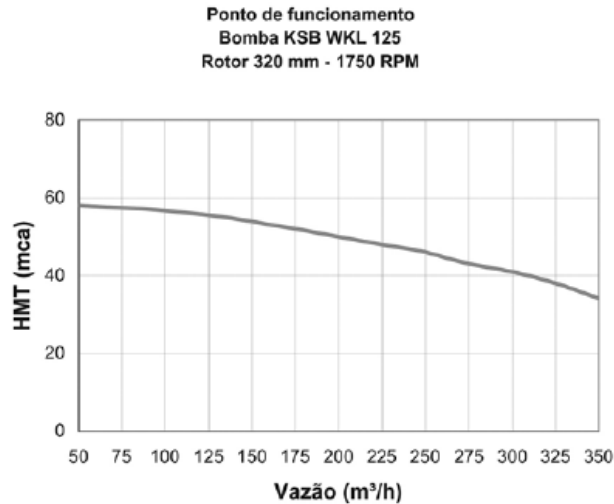
2.9.2 Curva da bomba

Cada bomba possui uma curva característica fornecida pelo fabricante, que informam exatamente seu desempenho esperado quando submetida ao funcionamento. Em geral, são utilizadas bombas disponíveis na linha de fabricação de cada fornecedor, porém, em casos específicos pode ser solicitada uma bomba especial, sendo fabricada e testada em laboratório para obtenção da curva. Ao se projetar uma bomba, deve-se atender uma determinada solicitação de vazão e altura manométrica, dentro dos valores de rendimento e NPSH requerida.

São basicamente 3 curvas características da bomba, com relações entre: altura manométrica x vazão; potência x vazão e rendimento x vazão, nota-se que todas as curvas são

baseadas na vazão requerida de projeto (Fig. 18). As curvas características das bombas centrífugas são em geral obtidas por equações de 2º grau, gerando pontos que ao serem ligados forma-se uma curva de ordem parabólica, compondo o plano cartesiano por dados relacionados à altura.

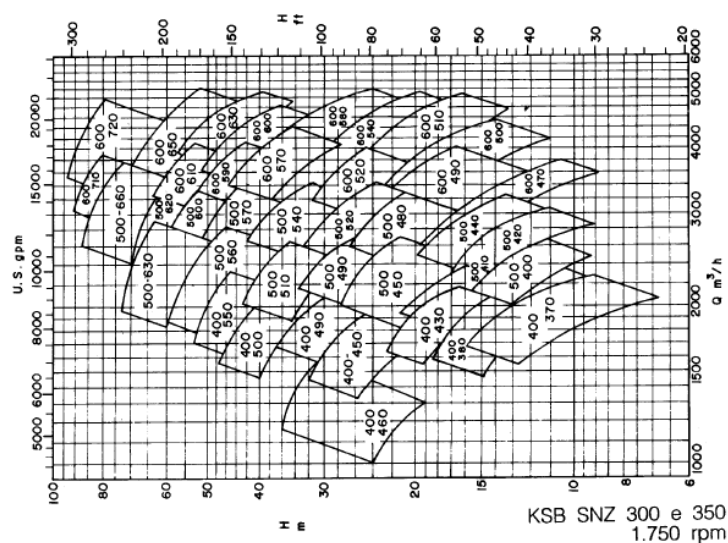
Figura 18- Curva da bomba



Fonte: Eletrobrás (2005)

As curvas da bomba são em sua maioria fornecidas pelo vendedor, sendo apresentada em forma de plano cartesiano com diversas vazões e alturas manométricas, a fim de oferecer diversidade ao cliente no momento da escolha correta, para que possa atender seus requisitos de serviço (Fig. 19).

Figura 19- Curva da bomba KSB

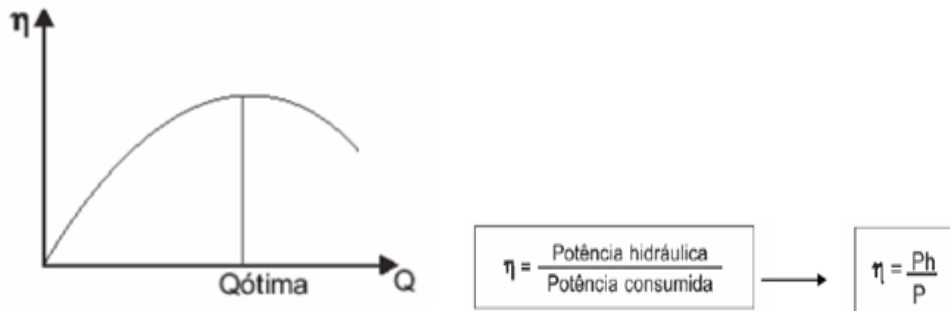


Fonte: Manual KSB (2009)

2.9.3 Curva de rendimento da bomba

A curva de rendimento de uma bomba nada mais é que a relação da potência hidráulica e a potência consumida em relação à imposição de várias vazões de trabalho, cujo em seu ponto máximo é chamado de vazão ótima (Fig. 20 e Eq. 09). Para cálculo de tais potências, temos as seguintes equações (Eq. 10 e 08):

Figura 20- Gráfico do rendimento de uma bomba



(Eq. 09)

Fonte: KSB (2009)

$$HP = \frac{1000 \times Q \times H}{75} \quad (\text{Eq. 10})$$

$$\text{Pot.} = \frac{1000 \times Q \times H}{75 \times n} \quad (\text{Eq. 08})$$

HHP= Potência Hidráulica (cv)

Pot.= Potência Consumida (cv)

Q= vazão (m/s)

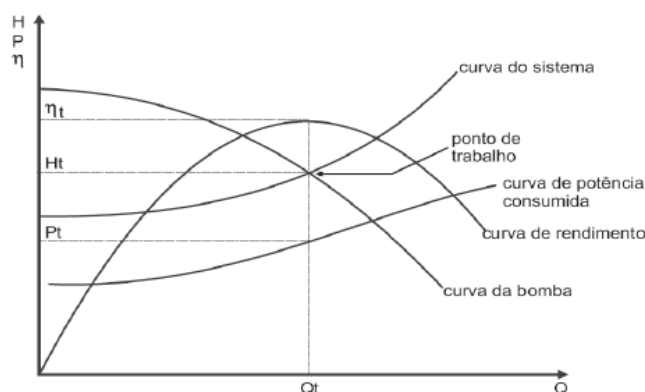
H= perda de carga (m)

n= rendimento (decimal)

2.9.4 Ponto de operação do sistema

Diz-se potência de trabalho ou operação, os pontos de interseção entre as curvas do sistema, curva característica da bomba e de rendimento (Fig. 21). É de suma importância a aferição deste ponto, pois ele dirá se com a vazão disponível o sistema poderá trabalhar de forma correta dentro dos parâmetros exigidos em norma.

Figura 21- Ponto de trabalho



Fonte: KSB (2009)

2.10 ACIONAMENTO DOS CONJUNTOS MOTOBOMBAS

Ao acionar uma bomba hidráulica, seu momento mais crítico se concentra nos minutos iniciais, pois é quando a bomba requer energia de trabalho para variar a pressão e promover a sucção o fluido. Assim que entra em funcionamento, o líquido adquire energia cinética (movimento) podendo resultar no temível golpe de aríete que prejudica todo o sistema de bombeamento instalado, afrouxando as conexões chegando a alguns casos a romper as tubulações locais.

Para um perfeito funcionamento do sistema, a escolha da tubulação e peças corretas implicará na redução de perdas de carga, além da escolha correta, a aferição real da distância, alturas manométricas e vazão também influenciam no critério eficiência, resultando em possíveis economias com a escolha ideal para o sistema.

2.10.1 Efeito cavitação em bombas

O efeito de cavitação se refere ao processo em que há formação de bolhas de ar no interior da bomba devido a vaporização, elevada temperatura em contato com o líquido, ou a possível variação de pressão interna. Este efeito se dá também devido ao não posicionamento correto da tubulação de sucção liberando a entrada de ar atmosférico, geralmente quando não se respeita a altura mínima de 50% da sua pressão, sendo essa altura de pressão de aproximadamente 10,33 mca e 50% correspondente a 5,165 mca. Ao serem levados pela biela de água, esses bolsões de ar implodem contra o rotor, mudando bruscamente do estado gasoso para o estado líquido, fazendo com que haja a criação de orifícios na parte atingida. Quando inúmeras cavidades (bolhas) se chocam contra o rotor, aparecem então corrosões que diminuem o rendimento da sua funcionalidade (MACINTYRE, 1997).

Para evitar o mecanismo de cavitação é necessário que se faça a determinação das condições de cavitação pelos fatores de altura denominado Net Positive Suction Head (NPSH)

disponível e requerido, sendo o disponível uma comparação que deve assumir valor maior que o requerido. Tomando como base para o NPSH disponível a pressão atmosférica absoluta, altura estática de sucção, perda de carga na sucção e pressão de vapor do líquido à temperatura de operação da instalação. O NPSH requerido é fornecido pelo fabricante da bomba, catalogado de acordo com a variação de altura de pressão e a vazão.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO ESTUDO

A metodologia utilizada e apresentada auxiliou o estudo no que tange a realização do projeto para que haja certa preferência em se tratando da escolha do sistema de bombeamento que melhor se adeque ao local estudado. No que refere à finalidade metodológica, o projeto assume características de pesquisa do tipo aplicada, visto que busca compreender e resolver os problemas então abordados de modo prático, sendo dependente de dados coletados em campo.

A pesquisa aborda características quantitativas, tomando rumo a uma abordagem compostas por cálculos específicos, com base em números a serem levantados in loco requerendo determinada veracidade e exatidão numérica palpável.

Quanto ao objetivo metodológico, assume o tipo exploratório, onde se mostra o estudo de caso a ser explorado, tomando como foco à realização de pesquisas bibliográficas com apresentação de formulações, procurando de modo abstrato obter resultados coerentes e aplicáveis a realidade do sistema de bombeamento existente.

3.2. LOCAL E PERÍODO DA REALIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada na região do Projeto Hidroagrícola São João, situado entre as coordenadas geográficas 10°25'00" e 10°27'30" de latitude sul e 48°20'00" e 48°22'30" de longitude oeste, a 25 km do município de Palmas- TO, compreendendo em específico o estudo e análise do sistema de bombeamento da casa de bomba principal (Fig. 22), no período do primeiro e segundo semestre de 2017.

Figura 22- Estação de bombeamento São João



Fonte: Autor (2017)

3.3. OBJETO DE ESTUDO

Mello (2007) afirma a técnica de irrigação como uma aplicação artificial de água no solo, proporcionando umidade suficiente para o desenvolver normal das plantas cultivadas, suprimindo a falta ou a má distribuição das chuvas locais.

De acordo com Mendonça (2007), a estimativa da demanda de água deve ser realizada com apoio do balanço hídrico calculando o déficit hídrico da região a ser irrigada.

O Polo de Fruticultura Irrigada São João tem por principal objetivo promover o desenvolvimento socioeconômico do Estado por meio da distribuição de água potável para irrigação do perímetro produtor agrícola (Fig 23). O projeto conta com uma Estação de Bombeamento (casa de bomba principal) e oito estações pressurizadas, a captação da água é feita diretamente do reservatório criado pela represa formada pela Usina Hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães, e distribuída por meio de um canal para as estações pressurizadas (SEDAP, 2015). Tal projeto teve início de operação no período de maio de 2011, a estação de bombeamento principal por sua vez, é composta por quatro grupos de eletrobombas aptas a trabalhar com potências de 750 CV e 400 CV, sendo duas bombas para cada potência instalada, as demais estações pressurizadoras possuem conjuntos motobomba com potências de 150, 200, 250 e 300cv conforme mostra a figura 24.

Figura 23- Perímetro e localização do Projeto São João



Fonte: SEDAP (2005)

Figura 24- Relação dos conjuntos motobomba das estações pressurizadoras

EB e EP	Setor que irriga	Início da Operação	Número de Grupos Eletrobombas	Potência dos Motores (CV)	Número de Grupos Eletrobombas Aptos*
EB	Todos	16/05/2011	04	750 (2) e 400 (2)	04
EP1	SJ1	-	04	150	-
EP2	SJ2	-	04	250	-
EP3	SJ3	19/07/2012	04	300	01
EP4	SJ4	16/05/2011	03	300	03
	SJ5	26/07/2012	03	250	02
EP5	SJ6	25/05/2011	04	200	02
EP6	SJ7	08/05/2012	04	200	01
EP7	SJ8	12/07/2012	03	200	01
	SJ9	19/06/2013	03	250	03
EP8	SJ10	08/06/2012	04	200	04

Fonte: SEDAP (2005)

O projeto é de âmbito público, firmado por meio de convênio pelo Ministério da Integração Nacional- MI, a Secretaria de Infraestrutura Hídrica e o Estado do Tocantins através da Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente- SRHMA. Em período de operação, o reservatório mantém o nível de água regular na cota 212m, fazendo com que opere a fio d'água, sem redução de cota. Todo o projeto conta com uma área bruta de 5.129 ha, com 3.541,4 ha de área loteada e 3.361,4 ha irrigáveis. Ao todo, a área irrigável é dividida em 336 lotes, onde possui 329 destes ocupados por pequenos agricultores e 37 por empresas agrícolas. Parâmetro climáticos (SEDAP, 2015):

- Precipitação média anual: 1.603 mm
- Evaporação média anual: 1.740 mm
- Temperatura: média 26,9 °C, máxima 33,0 °C e mínima 20,8 °C.
- Altitude média: 250m

O sistema de irrigação se dá por microaspersão e gotejamento, o local onde está instalado o empreendimento possui predominância de solo do tipo Latossolo vermelho-amarelo e Latossolo amarelo, ocupando mais de 60% da área total. A estação de bombeamento foi prevista para atuar com quatro conjuntos moto bombas, vazão máxima de 4,20 m³/s, potência total instalada de 2.300cv (Fig. 25). Os conjuntos motobomba descarregam em duas linhas adutoras independentes, com tubulações em aço soldado que levam a água até uma estrutura de dissipação, de lá a condução da água é feita por canais, sendo dois canais ao todo, com extensões de 4.044m e 6.706m, seção transversal trapezoidal,

taludes de 1:1,5 revestidos com placas de concreto sobre uma manta impermeabilizante de PEAD com espessura de 1,0 mm. Ao todo, o projeto conta com uma estação de bombeamento e oito estações pressurizadoras, onde cada estação pressurizadora se conecta aos lotes por tubulações subterrâneas, sendo externa apenas a ligação da tubulação de distribuição aos lotes individuais (SEDAP, 2015).

Figura 25- Resumo característico do perímetro irrigado

Fonte de Recursos: Ministério da Integração Nacional Estado do Tocantins	Tipo de Projeto: Público	Ano de Implantação: 2001
Captação: Reservatório UHE Luís Eduardo Magalhães Rio Tocantins		
Área Bruta: 5.129 ha	Área Loteada: <u>3.541,4 ha</u>	Área Irrigável: <u>3.384,80 ha</u>
Setores Hidráulicos: <u>10</u>	Número de Lotes: <u>364</u>	
Tipo de lotes:		
Empresarial (> 19 ≤ 85 ha): <u>38</u>	Pequeno Produtor Qualificado (≥ 4 ≤ 19 ha): <u>326</u>	
Número de Estações:		
01 Estação de Bombeamento 2x300 CV	08 Estações de Pressurização (Duas são duplas, atendem a dois setores)	
Sistema de Irrigação:		
Microaspersão	Gotejamento	
Rede de Drenagem (Superficial): 49.146,42 m		
Rede Viária:		
Estradas de Serviço Principais:	6 m (L) 49,26 km	
Estradas de Serviço Secundárias:	3,5 m (L) 25,96 km	
Estradas de Operação e Manutenção:	3,5 m (L) 11,43 km	
Total	<u>86,65 km</u>	

Fonte: SEDAP (2015)

Tal projeto tem contribuído de forma significativa para o desenvolvimento socioeconômico do estado. O plantio e exportação dos produtos cultivados geram emprego

aos residentes além de promover educação ambiental, de modo que desperte o interesse individual e coletivo pelo bem natural que os sustentam.

A manutenção do projeto é feita pelo governo estadual do Tocantins, que disponibiliza técnicos especializados para acompanhamento, relatando possíveis incoerências existentes a fim de saná-las para que se mantenha a normalidade do fluxo de abastecimento das áreas agricultáveis.

Baseado nisto, o projeto aqui proposto busca uma readequação no sistema implantado de modo que seja retomada sua eficiência na distribuição, propondo substituição ou rearranjo na associação dos conjuntos de bombeamento, se possível havendo elevação do rendimento dos conjuntos e redução das potências para uma mesma vazão de transporte.

Tal substituição, caso necessária, deve prever uma padronização das potências da estação de bombeamento principal com as demais estações pressurizadoras permitindo a permutação de peças e acessórios entre os sistemas de bombeamento instalados.

A necessidade mais relevante observada no sistema de distribuição de água envolve a parte de cada setor em utilizar certa demanda de abastecimento em que na maioria das vezes, e em horários opostos, a vazão requerida para abastecer um determinado setor se faz atendida com o acionamento de apenas um conjunto motobomba, que por possuir potências superiores acabam a trabalhar com maior desperdício que se acionado um conjunto de potência com menores dimensões, reduzindo impactos de âmbito global de funcionalidade.

O estudo e cálculos dos sistemas propostos, promovem uma redução das perdas hídricas, com potências também reduzidas e a possibilidade de acionamento de conjuntos alternados durante um longo período de trabalho.

Para obtenção dos dados pertinentes ao projeto de pesquisa, foram realizadas visitas in loco, a fim de se ter um levantamento dos materiais, peças, quantidade e estado dos conjuntos de bombeamento, de modo que os resultados das propostas sejam plausíveis e coerentes quanto sua real implantação. Foram aferidos dados reais de vazão de captação, potências instaladas de motores, quantidade em volume para abastecimento das estações pressurizadoras, etc.

No memorial de cálculo consta todo o desenvolver e formulações até obtenção dos resultados, além da exposição do sistema de bombeamento e associação proposta.

Toda coleta dos dados foi realizada de modo observatório, a partir destes dados foi feita uma análise com a vazão de trabalho atual e posteriormente a realização dos cálculos para propostas de substituição do sistema de bombeamento.

4. RESULTADOS E DISCURSÕES

4.1 ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO PRINCIPAL

4.1.1 Canal de interligação e dispositivo de controle de água

A ligação entre a barragem e a estação de bombeamento é feita por um canal aberto revestido por blocos de pedra amarrada, com largura de 8,0m, altura de 7,0m e comprimento de 880m, com taludes de inclinação de 1 (V):2 (H), onde o líquido escoar a uma velocidade proporcionada pela ação gravitacional, sendo limitada a 1,00 m/s e uma vazão máxima de 4,20 m³/s, tal canal é denominado de canal de chamada (Fig. 26).

O dispositivo de controle de água (Fig. 27) deve ser localizado na entrada do reservatório ou de tubulações de grandes diâmetros, constituído por uma placa que desliza em sulcos ou canaletas verticais (ANDRADE, 2011).

Caso o dispositivo de controle de água se situe em local de difícil acesso, deve-se prever a instalação de uma passagem exclusiva de acesso direto para promover sua limpeza constante periódica.

Figura 26- Canal de chamada



Fonte: Autor (2017)

Figura 27- Comporta



Fonte: Autor (2017)

4.1.2 Caixa de distribuição e canal de distribuição

A caixa de distribuição é locada a fim de fornecer determinada vazão de água da linha de recalque ao canal de distribuição, mantendo a cota de nível d'água constante (Fig. 28 e 29). Tal estrutura possui uma parede de concreto entre a tubulação de recalque e o canal, com o intuito de minimizar a velocidade com que o líquido é expelido, fazendo com que o canal mantenha sua velocidade normal, sem influências externas (Fig. 30).

Figura 28- Caixa de distribuição



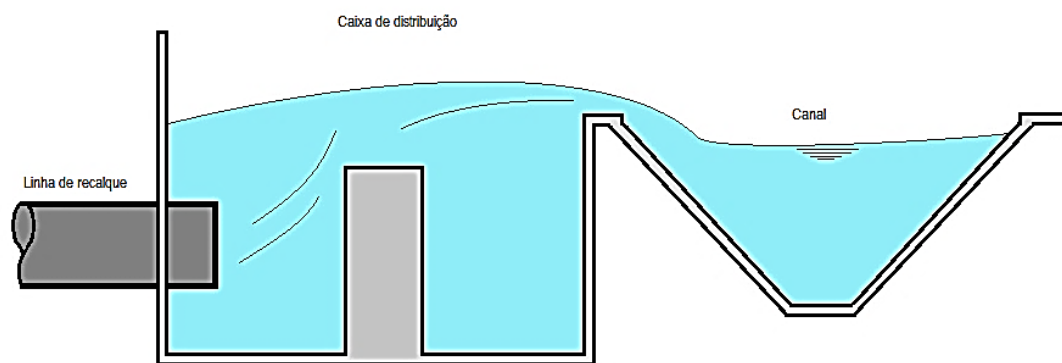
Fonte: Autor (2017)

Figura 29- Vista frontal caixa distribuição



Fonte: Autor (2017)

Figura 30- Detalhe da caixa de distribuição



Fonte: Autor (2017)

O canal de distribuição (Fig. 31) é o responsável por levar a água para as estações pressurizadoras que farão a distribuição pelos lotes irrigáveis. Existem dois canais responsáveis por tal distribuição, o canal CP1 possui extensão de 4.044m, conduzindo uma vazão de 1,563 m³/s, irrigando cerca de 11 lotes agrícolas, já o canal CP2 possui extensão de 6.706m, com vazão máxima de 2,800 m³/s, irrigando 255 lotes (Fig. 32).

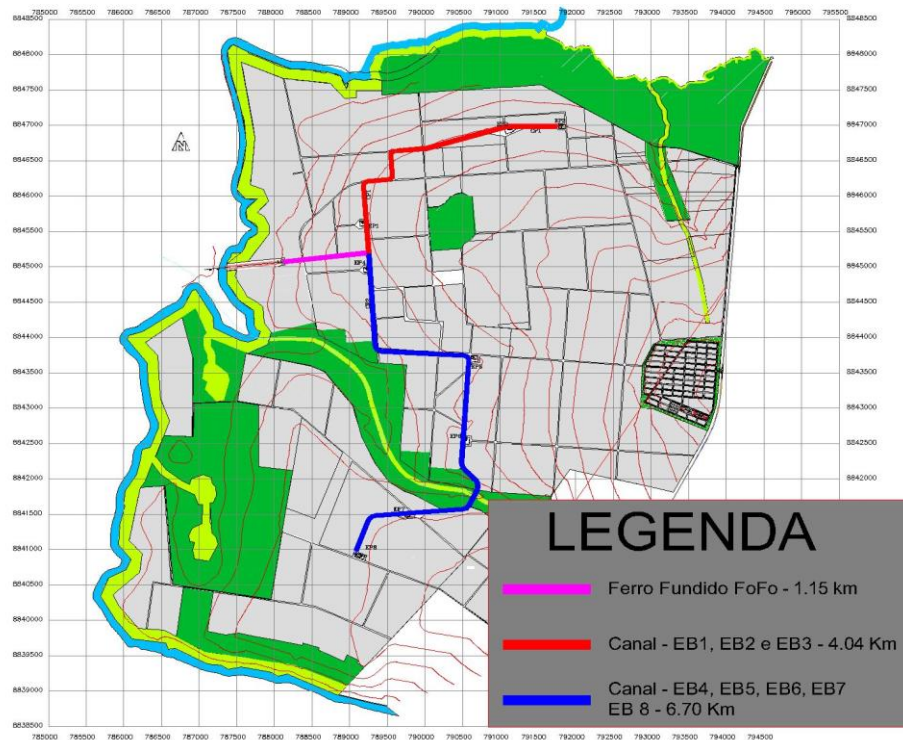
Os canais de distribuição possuem seção transversal do tipo trapezoidal, com talude de 1 (V): 1,5 (H), revestido por placas de concreto de espessura de 5cm e uma manta impermeabilizante de PEAD com espessura de 1,0mm (Fig. 31).

Figura 31- Canal



Fonte: Autor (2017)

Figura 32- Esquema de distribuição de água



Fonte: Autor (2017)

4.1.3 Dimensionamento do sistema em funcionamento atualmente

Para facilitar a exposição dos dados, foi composto uma tabela com levantamentos aferidos em campo dos equipamentos e relações numéricas do sistema existente no Projeto São João.

Atualmente, o projeto não trabalha com sua capacidade máxima, a vazão de abastecimento está em torno de 2,1 m³/s, com apenas dois conjuntos motobomba em trabalho, um de 750cv e um de 400cv, o que prejudica todo o sistema de abastecimento. Além disso, a estrutura sofre precariedade quanto a equipamentos e peças, tal escassez afeta de modo direto a produção agrícola local, já que toda cultura implantada necessita de irrigação constante para se desenvolver.

Como a linha de recalque se dá por duas tubulações de 1200mm (Fig. 33), aplicando a relação entre áreas, encontrou-se as tubulações instaladas baseada no diâmetro da linha de recalque (Eq. 11):

$$\frac{\pi x D1^2}{4} = \frac{\pi x D2^2}{4} \quad (\text{Eq. 11})$$

$$\frac{\pi x 1,2^2}{4} = \frac{2x \pi x Dr^2}{4} \rightarrow Dr \sim 0,850m$$

A tubulação de recalque possui então um diâmetro de 850mm, logo o diâmetro da tubulação de sucção é de 900mm (Fig. 34).

Figura 33- Linha de recalque Ø 1200mm



Fonte: Autor (2017)

Figura 34- Tubulação de recalque Ø 850mm



Fonte: Autor (2017)

Para tais diâmetros, foram calculadas as velocidades de acordo com a vazão solicitante, temos então (Eq. 12):

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde: D= diâmetro (m)

Q= vazão (m³/s)

v= velocidade (m/s)

Para uma vazão de 0,7 m³/s:

$$0,850 = \sqrt{\frac{4 \times 0,7}{\pi \times v}} \rightarrow v = 1,25 \text{ m/s para tubulação de recalque}$$

$$0,900 = \sqrt{\frac{4 \times 0,7}{\pi \times v}} \rightarrow v = 1,10 \text{ m/s para tubulação de sucção}$$

Para uma vazão de 1,4 m³/s:

$$0,850 = \sqrt{\frac{4 \times 1,4}{\pi \times v}} \rightarrow v = 2,50 \text{ m/s para tubulação de recalque}$$

$$0,900 = \sqrt{\frac{4 \times 1,4}{\pi \times v}} \rightarrow v = 2,20 \text{ m/s para tubulação de sucção}$$

Observa-se que as velocidades calculadas para vazão de 0,70 m³/s, baseada no diâmetro implantado, são inferiores ao valor admissível que varia de 1,5 a 5,0 m/s, porém, se aumentarmos a velocidade na entrada da bomba, reduzirá o diâmetro e aumentará a perda de carga, resultando em uma potência maior do conjunto motobomba, visto que são grandezas diretamente proporcionais. Já para a tubulação com vazão de 1,4 m³/s possuem velocidades dentro do intervalo admissível, com 2,20 e 2,50 m/s.

Para o diâmetro de 900mm, o valor do número de Reynolds foi de $\sim 5,55 \times 10^5$, com a relação $\frac{e}{D}$ de 0,0017 e para o diâmetro de 850mm o número de Reynolds foi de $\sim 5,88 \times 10^5$ com a relação $\frac{e}{D}$ de 0,0018, sendo aplicados ao diagrama de Moody e posteriormente a fórmula de Darcy, obtendo as perdas de carga.

Aplicando o quadro de perdas presente no Manual de Hidráulica, Azevedo Netto (1998), e as alturas pertinentes ao perfil afogado, obteve-se alturas manométricas de 12,095 pela fórmula de Darcy e 12,674 pela de Hazen-Williams (Fig. 35).

Figura 35- Quadro dimensionamento para vazão de 0,7 m³/s sistema atual

DIMENSIONAMENTO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS				
Q= 0,70 m/s				
Sucção		Valores adotados	Perda de carga Darcy	
Velocidade sucção (m/s)	1,10			f
Diâmetro sucção (mm)	900	900	g	9,81
Comprimento vertical sucção (m)	5,00		h	0,022
Comprimento horizontal sucção (m)	3,00		Perda de carga Hazen-Williams	
Válvula gaveta (m)	6,21		C	90
Curvas sucção (m)	0,00		D	0,9
Comprimento equivalente (m)	14,21		Q	0,7
			h	0,032
Recalque		Valores adotados	Perda de carga Darcy	
Velocidade recalque (m/s)	1,25			f
Diâmetro recalque (mm)	845	850	g	9,81
Comprimento vertical recalque (m)	14,00		h	3,073
Comprimento horizontal recalque (m)	1150,00		Perda de carga Hazen-Williams	
Válvula retenção (m)	67,76		C	90
Válvula gaveta (m)	5,87		D	0,85
Curvas recalque (m)	0,00		Q	0,7
Comprimento equivalente (m)	1237,63		h	3,642

Fonte: Autor (2017)

Já para a vazão de 1,4 m³/s, o valor do número de Reynolds foi de $\sim 1,11 \times 10^6$ para o diâmetro de 900mm, com a relação $\frac{e}{D}$ de 0,0017 e para o diâmetro de 850mm o número de Reynolds foi de $\sim 1,17 \times 10^6$ com a relação $\frac{e}{D}$ de 0,0018. As alturas manométricas foram de 21,380 pela fórmula de Darcy e 22,245 pela de Hazen-Williams (Fig. 36).

Figura 36- Quadro dimensionamento para vazão de 1,4 m³/s sistema atual

DIMENSIONAMENTO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS				
Q= 1,40 m/s				
Sucção		Valores adotados	Perda de carga Darcy	
Velocidade sucção (m/s)	2,20			f
Diâmetro sucção (mm)	900	900	g	9,81
Comprimento vertical sucção (m)	5,00		h	0,089
Comprimento horizontal sucção (m)	3,00		Perda de carga Hazen- Williams	
Válvula gaveta (m)	6,21		C	90
Curvas sucção (m)	0,00		D	0,9
Comprimento equivalente (m)	14,21		Q	1,4
			h	0,114
Recalque		Valores adotados	Perda de carga Darcy	
Velocidade recalque (m/s)	2,50			f
Diâmetro recalque (mm)	845	850	g	9,81
Comprimento vertical recalque (m)	14,00		h	12,291
Comprimento horizontal recalque (m)	1150,00		Perda de carga Hazen- Williams	
Válvula retenção (m)	67,76		C	90
Válvula gaveta (m)	5,87		D	0,85
Curvas recalque (m)	0,00		Q	1,4
Comprimento equivalente (m)	1237,63		h	13,131

Fonte: Autor (2017)

Comparando os valores de altura e potência finais, dentre as duas fórmulas, obtivemos resultados semelhantes, concluindo que mesmo com a restrição pela aplicação da fórmula de Hazen-Williams a potência comercial a ser instalada seria a mesma, pois o líquido ainda se encontra dentro dos parâmetros de regime turbulento.

Com os resultados obtidos pela aplicação das fórmulas então expostas, as potências requeridas para alimentação são inferiores as potências instaladas, o que faz com que haja certo “desperdício” quando se tem como referência o funcionamento geral do sistema. As potências comerciais solicitadas então seriam 200cv e 600cv, diferente das potências instaladas que são 400cv e 750cv (Fig. 37 e 38).

O rendimento das bombas, pelo fato de suas potências serem diferentes, são de cerca de 30% para 400cv e 55% para 750cv. Quanto menor o rendimento de uma bomba, maior é sua solicitação de trabalho para uma mesma vazão.

Figura 37- Conjuntos motobomba



Fonte: Autor (2017)

Figura 38- Dado dos motores



Fonte: Autor (2017)

4.2 PROPOSTAS PARA O SISTEMA DE BOMBEAMENTO

4.2.1 Proposta 1: Substituição parcial dos conjuntos motobombas existentes 400cv

Foram fixados os diâmetros do sistema implantado a fim de haver alteração apenas nas potências dos conjuntos motobomba, já que tal projeto restringe apenas ao seu estudo. Os dados de altura, perdas de carga, etc. foram os mesmos utilizados como cálculo do sistema existente para vazão de $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (Fig 39).

Figura 39- Quadro dimensionamento para vazão de $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ proposta I

DIMENSIONAMENTO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS				
Q= 0,70 m/s				
Sucção		Valores adotados	Perda de carga Darcy	
Velocidade sucção (m/s)	1,10		f	0,0228
Diâmetro sucção (mm)	900	900	g	9,81
Comprimento vertical sucção (m)	5,00		h	0,022
Comprimento horizontal sucção (m)	3,00		Perda de carga Hazen- Williams	
Válvula gaveta (m)	6,21		C	90
Curvas sucção (m)	0,00		D	0,9
Comprimento equivalente (m)	14,21		Q	0,7
			h	0,032
Recalque			Perda de carga Darcy	
Velocidade recalque (m/s)	1,25		f	0,0265
Diâmetro recalque (mm)	845	850	g	9,81
Comprimento vertical recalque (m)	14,00		h	3,073
Comprimento horizontal recalque (m)	1150,00		Perda de carga Hazen- Williams	
Válvula retenção (m)	67,76		C	90
Válvula gaveta (m)	5,87		D	0,85
Curvas recalque (m)	0,00		Q	0,7
Comprimento equivalente (m)	1237,63		h	3,642

Fonte: Autor (2017)

A proposta 1 se restringe a substituição apenas dos conjuntos motobomba de potência igual a 400cv mantendo as de 750cv, com os resultados obtidos pela figura e aplicação do quadro de perdas presente no Manual de Hidráulica, Azevedo Netto (1998), e as alturas pertinentes ao perfil afogado, obteve-se alturas manométricas de 12,095 pela fórmula de Darcy e 12,674 pela de Hazen-Williams, com potências finais de 150,52 e 157,72 respectivamente.

Aferida as potências, pode-se assim calcular os rendimentos aplicando a equação da potência instalada (Eq. 08):

$$\text{Pot (cv)} = \frac{\gamma \times Q \times H_{\text{man}}}{75 \times \eta} \quad (\text{Eq. 08})$$

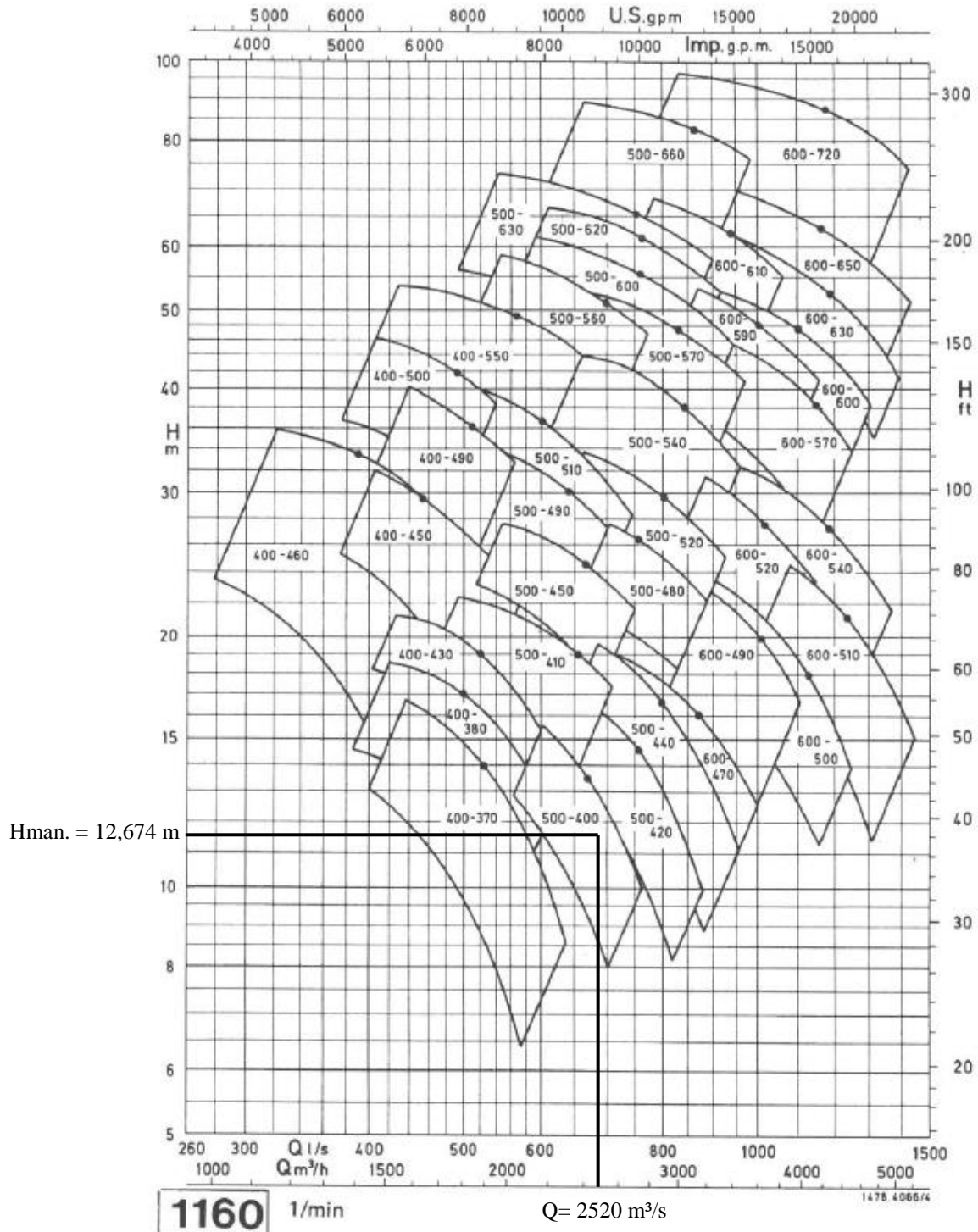
$$400 = \frac{1000 \times 0,7 \times 12,674}{75 \times \eta} \rightarrow \eta = 29,57\%$$

$$200 = \frac{1000 \times 0,7 \times 12,674}{75 \times \eta} \rightarrow \eta = 59,14\%$$

Observa-se que o rendimento aumenta cerca de 20% se alterada a potência da bomba, o que implica em uma eficiência superior e um ganho energético elevado.

Com a potência alterada é necessário a obtenção de uma nova curva da bomba, para avaliar se tal substituição seria pertinente. Com isso, no manual de bombas da KSB existem inúmeras soluções de bombas centrífugas para tal vazão e potência solicitada, como na estação de bombeamento há um tipo de bomba específico, optou-se por manter as características do conjunto alterando apenas sua potência instalada, assim temos o seguinte tipo de bomba:

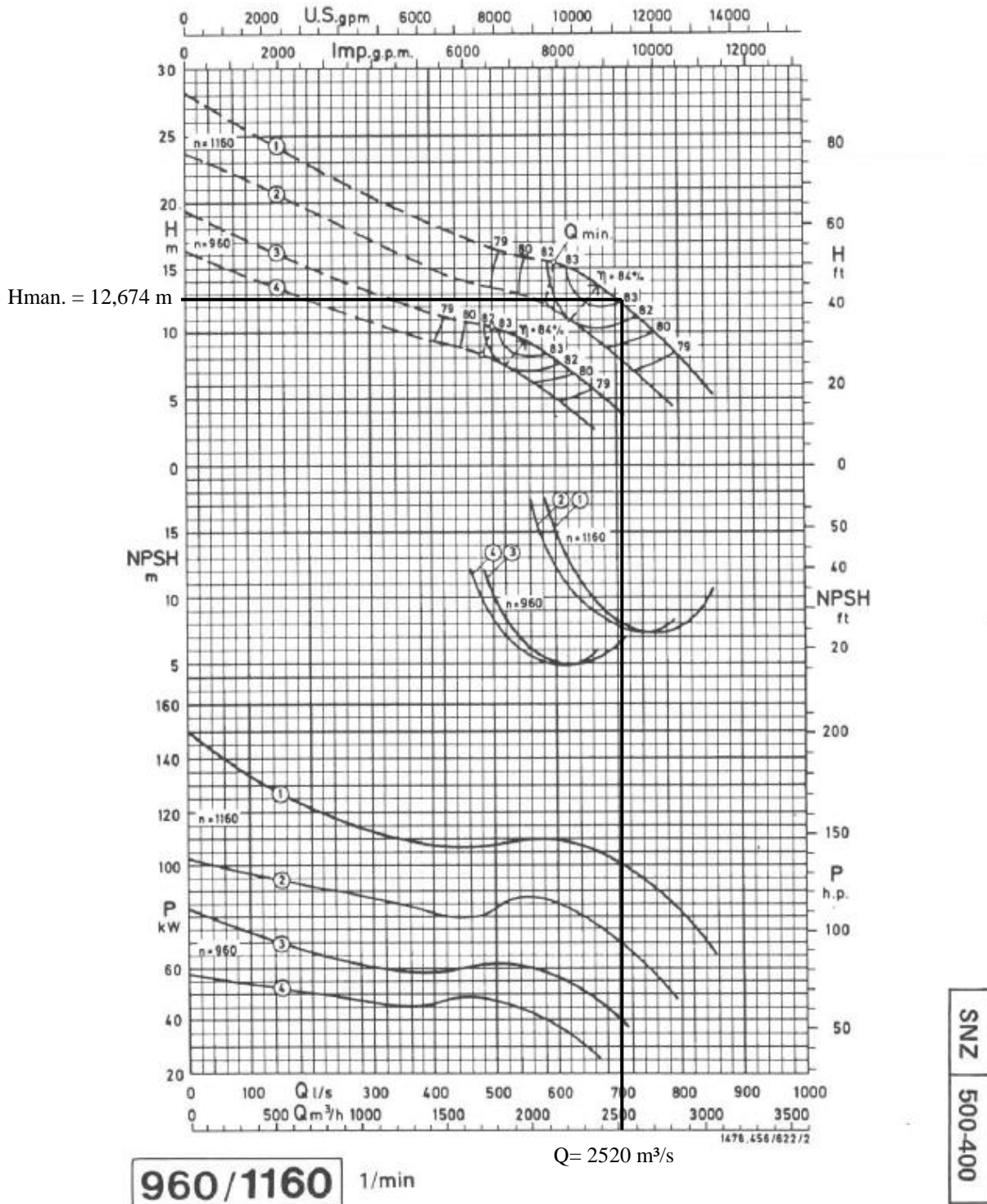
- Bomba KSB SNZ com frequência de serviço de 6000 h/ano, frequência de rede elétrica de 60 Hz e 1160 rotações por minuto (rpm) (Fig. 40).

Figura 40- Bomba centrífuga para vazão de 0,7 m³/s proposta I

Fonte: Manual KSB (2009)

Traçando as linhas de vazão e altura manométrica temos o tipo de bomba a ser utilizada, neste caso a bomba 500-400 é a ideal para suprir a necessidade de vazão e altura a ser escoado o líquido. O manual da KSB também fornece o rendimento do conjunto de acordo com a curva da bomba, logo para a bomba traçada acima, temos um rendimento de aproximadamente 82,8% (Fig. 41).

Figura 41- Curva rendimento para vazão de 0,7 m³/s proposta I



Fonte: Manual KSB (2009)

O rendimento para tal bomba chega a ser muito superior pelo manual em relação ao calculado anteriormente que possuía valor em torno de 59%. Com esse rendimento, aplicando a equação da potência, chega-se ao valor de ±143cv, comercialmente uma bomba de potência 150cv atenderia ao sistema tranquilamente, porém, o manual KSB impõe uma folga de 10%

em relação a potência motriz calculada, assim, a potência final é multiplicada por 1,10 resultando na potência a ser instalada de 157,30cv, comercialmente uma potência de 200cv.

Com a potência calculada para uma vazão de 0,7 m³/s, requer um conjunto motobomba trabalhando a uma potência comercial de 200cv, substituindo os dois conjuntos de 400cv por dois de 200cv a vazão de abastecimento continuará a mesma, porém o conjunto motobomba trabalhará com maior eficiência, maior rendimento e sem perdas exageradas por parte do bombeamento.

A configuração final da estação de bombeamento com substituição parcial seriam 2 bombas de 200cv e 2 bombas de 750cv, com associação em paralelo, tubulação de sucção de 900mm e recalque 850mm.

4.2.2 Proposta 2: Substituição parcial dos conjuntos motobombas existentes 750cv

A proposta anterior consistia em substituir parcialmente as bombas da estação principal, alterando apenas as potências de 400cv, agora na proposta 2 irão ser alteradas apenas as bombas com potência de 750cv, mantendo as de 400cv existentes.

Para isso, o quadro abaixo expõe dados pertinentes para proceder tal dimensionamento para substituição das bombas de 750cv (Fig. 42).

Figura 42- Quadro dimensionamento para vazão de 1,4 m³/s proposta II

DIMENSIONAMENTO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS				
Q= 1,40 m/s				
Sucção		Valores adotados	Perda de carga Darcy	
Velocidade sucção (m/s)	2,20		f	0,0228
Diâmetro sucção (mm)	900	900	g	9,81
Comprimento vertical sucção (m)	5,00		h	0,089
Comprimento horizontal sucção (m)	3,00		Perda de carga Hazen- Williams	
Válvula gaveta (m)	6,21		C	90
Curvas sucção (m)	0,00		D	0,9
Comprimento equivalente (m)	14,21		Q	1,4
			h	0,114
Recalque			Perda de carga Darcy	
Velocidade recalque (m/s)	2,50		f	0,0265
Diâmetro recalque (mm)	845	850	g	9,81
Comprimento vertical recalque (m)	14,00		h	12,291
Comprimento horizontal recalque (m)	1150,00		Perda de carga Hazen- Williams	
Válvula retenção (m)	67,76		C	90
Válvula gaveta (m)	5,87		D	0,85
Curvas recalque (m)	0,00		Q	1,4
Comprimento equivalente (m)	1237,63		h	13,131

Fonte: Autor (2017)

Para a vazão de 1,4 m³/s as alturas manométricas foram de 21,380 pela fórmula de Darcy e 22,245 pela de Hazen-Williams e potências de 532,13 e 553,65 respectivamente. Comercialmente a potência a ser instalada seria uma de 600cv.

Com as potências acima, calcula-se os rendimentos aplicando a equação da potência instalada (Eq. 08):

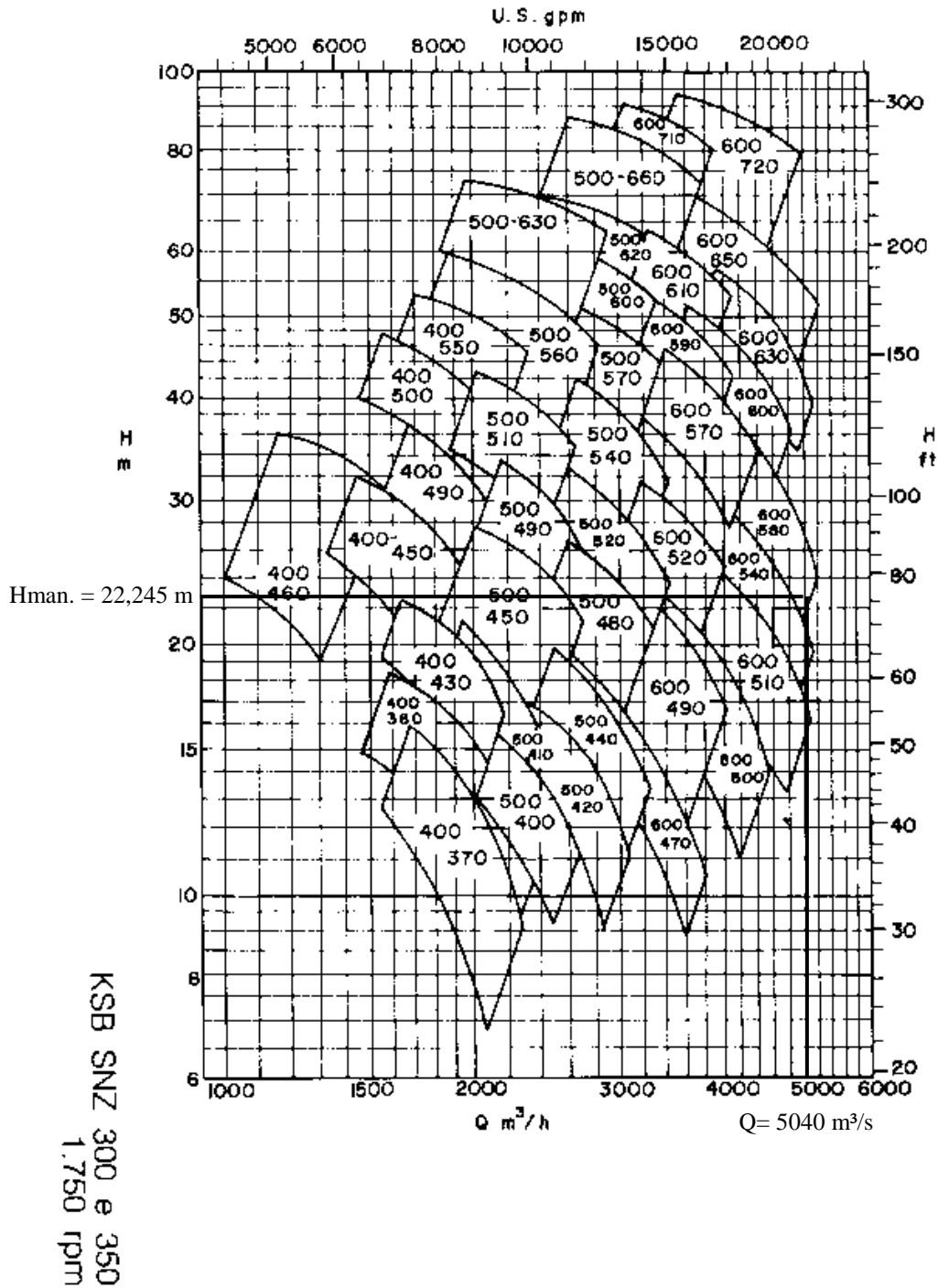
$$\text{Pot (cv)} = \frac{\gamma \times Q \times H_{\text{man}}}{75 \times \eta} \quad (\text{Eq. 08})$$

$$750 = \frac{1000 \times 1,4 \times 22,245}{75 \times \eta} \rightarrow \eta = 55,36\%$$

$$600 = \frac{1000 \times 1,4 \times 22,245}{75 \times \eta} \rightarrow \eta = 69,21\%$$

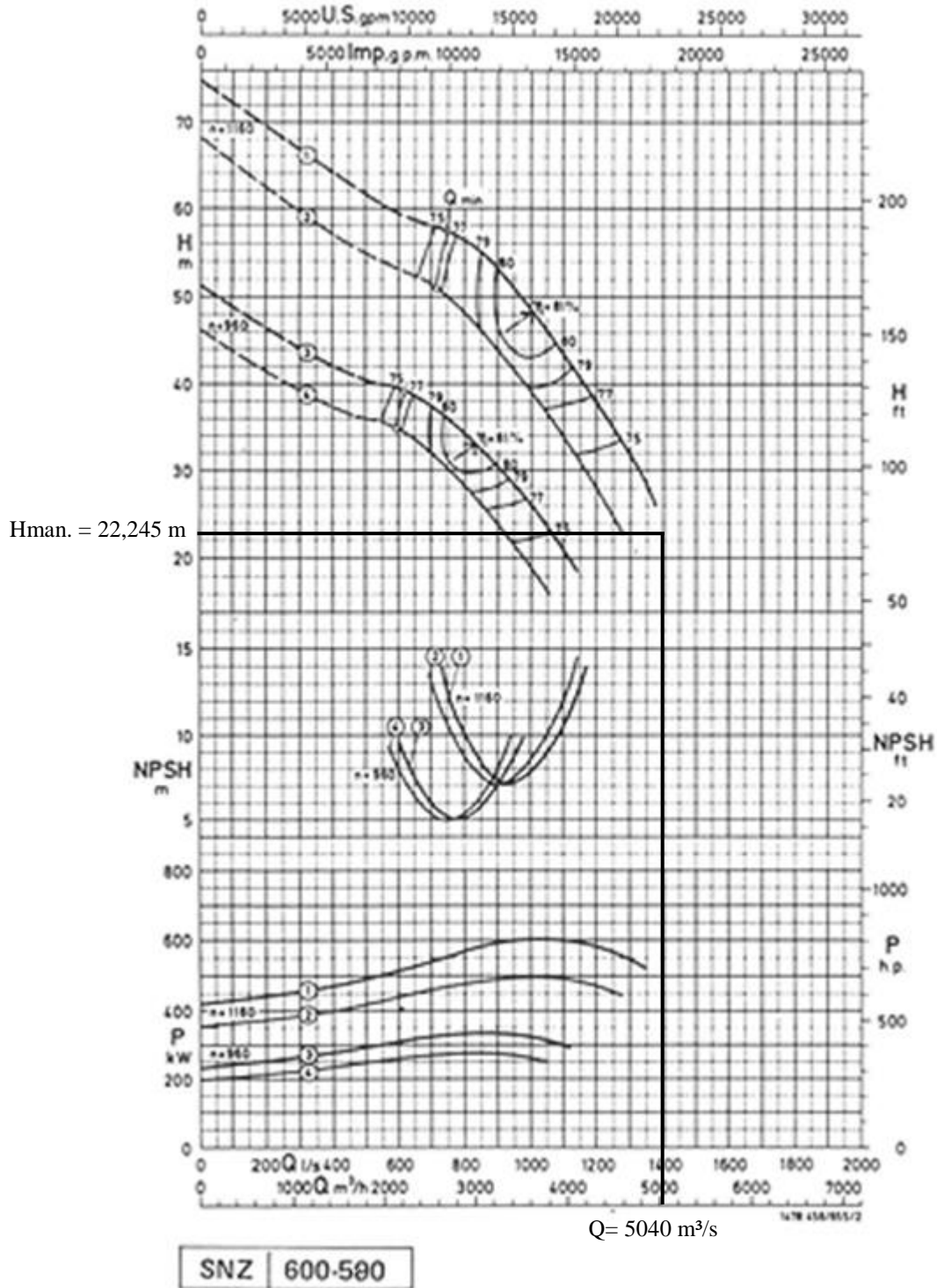
A diferença entre os rendimentos é de aproximadamente 14%, mesmo com um valor não tão discriminante, essa diferença se torna significativa ao se tratar de perdas hídricas em um sistema, podendo afetar as pressões finais não atendendo a necessidade de abastecimento solicitada.

Por haver alteração das potências, deve-se refazer a curva da bomba como visto na proposta 1, utilizando uma bomba KSB SNZ com frequência de serviço de 6000 h/ano, frequência de rede elétrica de 60 Hz e 1750 rotações por minuto (rpm) (Fig. 43).

Figura 43- Bomba centrífuga para vazão de 1,4 m³/s proposta II

Fonte: Manual KSB (2009)

Traçando as linhas de vazão e altura manométrica temos a bomba a ser utilizada, neste caso 600-580. O manual da KSB também fornece o rendimento do conjunto de acordo com a curva da bomba, ao traçar os dados no gráfico, o rendimento se encontra abaixo da curva de oferecida pelo manual, admite-se então que seu rendimento fique em torno de 60% (Fig. 44).

Figura 44- Curva rendimento para vazão de 1,4 m³/s proposta II

Fonte: Manual KSB (2009)

Se comparado tais rendimentos, são superiores ao rendimento da bomba de 750cv, o que confirma que ao diminuir a potência instalada, o sistema de bombeamento trabalhará com maior segurança e maior folga, atendendo as necessidades impostas.

Com isso, para uma vazão de 1,4 m³/s a potência ideal a ser instalada é de 600cv, substituindo os dois conjuntos de 750cv por dois de 600cv o sistema trabalhará com maior eficiência, maior rendimento e sem perdas exageradas por parte do bombeamento.

A configuração final da estação é de 2 bombas de 400cv e 2 bombas de 600cv, com associação em paralelo, tubulação de sucção de 900mm e recalque 850mm.

4.2.3 Proposta 3: Substituição total dos conjuntos motobombas existentes

Diferente das propostas anteriores a proposta 3 sugere a substituição total do sistema, com os dados de vazão de 0,7 e 1,4 m³/s (Fig. 45 e 46).

Figura 45- Quadro dimensionamento para vazão de 0,7 m³/s proposta III

DIMENSIONAMENTO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS				
Q= 0,70 m/s				
Sucção		Valores adotados	Perda de carga Darcy	
Velocidade sucção (m/s)	1,10		f	0,0228
Diâmetro sucção (mm)	900	900	g	9,81
Comprimento vertical sucção (m)	5,00		h	0,022
Comprimento horizontal sucção (m)	3,00		Perda de carga Hazen-Williams	
Válvula gaveta (m)	6,21		C	90
Curvas sucção (m)	0,00		D	0,9
Comprimento equivalente (m)	14,21		Q	0,7
			h	0,032
Recalque			Perda de carga Darcy	
Velocidade recalque (m/s)	1,25		f	0,0265
Diâmetro recalque (mm)	845	850	g	9,81
Comprimento vertical recalque (m)	14,00		h	3,073
Comprimento horizontal recalque (m)	1150,00		Perda de carga Hazen-Williams	
Válvula retenção (m)	67,76		C	90
Válvula gaveta (m)	5,87		D	0,85
Curvas recalque (m)	0,00		Q	0,7
Comprimento equivalente (m)	1237,63		h	3,642

Fonte: Autor (2017)

Figura 46- Quadro dimensionamento para vazão de 1,4 m³/s proposta III

DIMENSIONAMENTO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS				
Q= 1,40 m/s				
Sucção		Valores adotados	Perda de carga Darcy	
Velocidade sucção (m/s)	2,20		f	0,0228
Diâmetro sucção (mm)	900	900	g	9,81

Comprimento vertical sucção (m)	5,00		h	0,089
Comprimento horizontal sucção (m)	3,00		Perda de carga Hazen- Williams	
Válvula gaveta (m)	6,21		C	90
Curvas sucção (m)	0,00		D	0,9
Comprimento equivalente (m)	14,21		Q	1,4
			h	0,114
Recalque			Perda de carga Darcy	
Velocidade recalque (m/s)	2,50		f	0,0265
Diâmetro recalque (mm)	845	850	g	9,81
Comprimento vertical recalque (m)	14,00		h	12,291
Comprimento horizontal recalque (m)	1150,00		Perda de carga Hazen- Williams	
Válvula retenção (m)	67,76		C	90
Válvula gaveta (m)	5,87		D	0,85
Curvas recalque (m)	0,00		Q	1,4
Comprimento equivalente (m)	1237,63		h	13,131

Fonte: Autor (2017)

Como visto anteriormente, os cálculos sugerem que as potências de 200cv e 600cv são o suficiente para suprir as necessidades de abastecimento de água aos lotes irrigáveis, porém, o intuito da pesquisa é substituir o sistema de grandes dimensões implantado atualmente por um sistema de menores dimensões, o que implica a não utilização da potência de 600cv. Porém, pode-se alterar a potência de 600cv por bombas com potência de 300cv mantendo a equivalência de bombeamento da vazão solicitada.

Para manter uma vazão total de 4,20 m³/s com potências de 200cv e 300cv, são necessárias algumas alterações, as potências de 200cv são o suficiente para bombear a vazão de 0,70 m³/s, mas para as potências de 300cv sua vazão deve ser alterada, para isso é necessário que se recalcule tal vazão.

Admitindo um rendimento inicial conforme o livro Manual de Hidráulica, sendo este em torno de 75%, e aplicando diretamente dados de altura e potência temos a vazão para uma bomba de 300cv (Eq. 08).

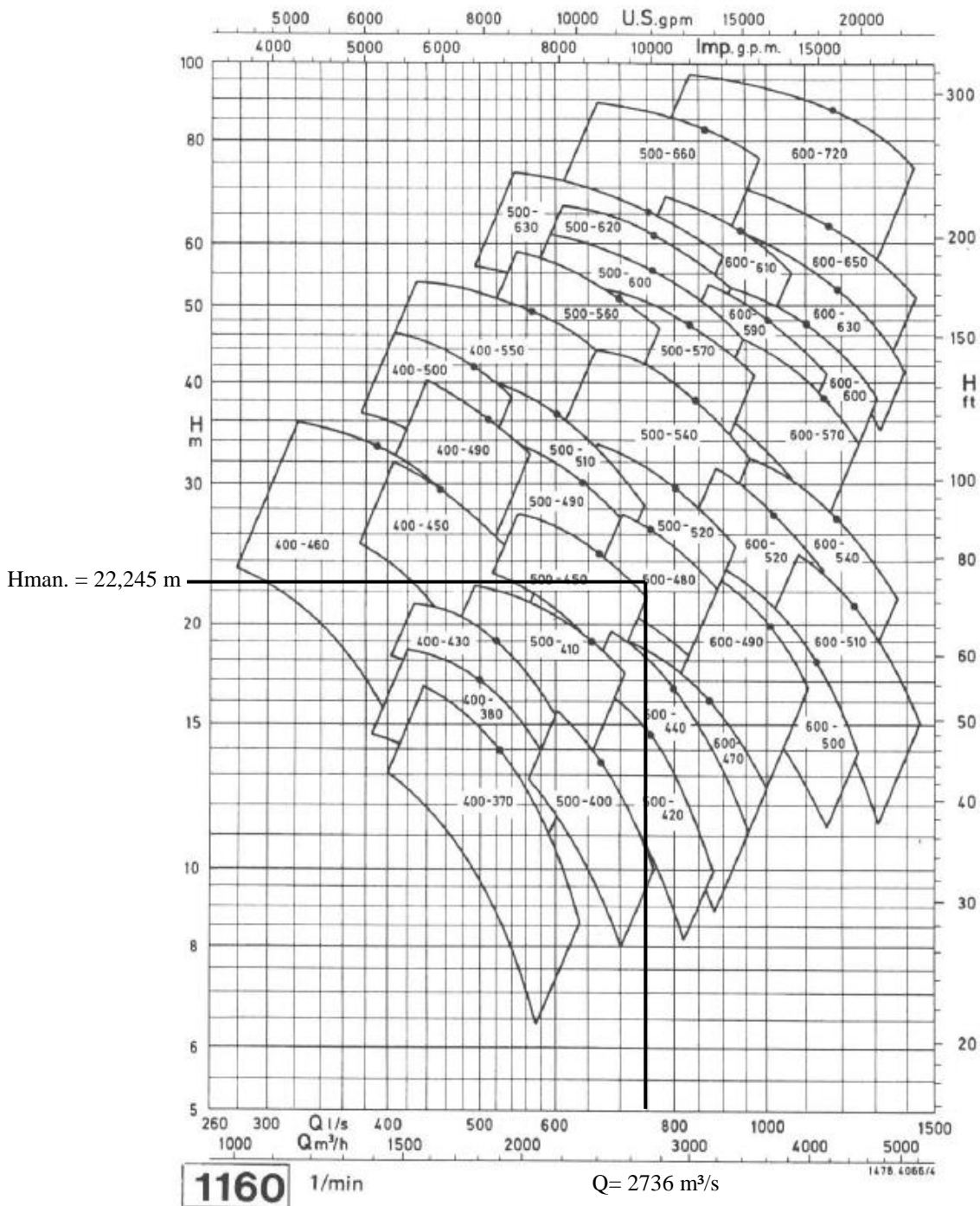
$$\text{Pot (cv)} = \frac{\gamma \times Q \times H_{\text{man}}}{75 \times \eta} \quad (\text{Eq. 08})$$

$$300 = \frac{1000 \times Q \times 22,245}{75 \times 0,75} \rightarrow Q = 0,76 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sabe-se que as bombas de 750cv possuem vazão total de 2,80 m³/s, enquanto uma bomba de 300cv possui vazão de 0,76 m³/s, com isso, seriam necessárias 4 bombas de 300cv para suprir a vazão necessária do conjunto de 750cv.

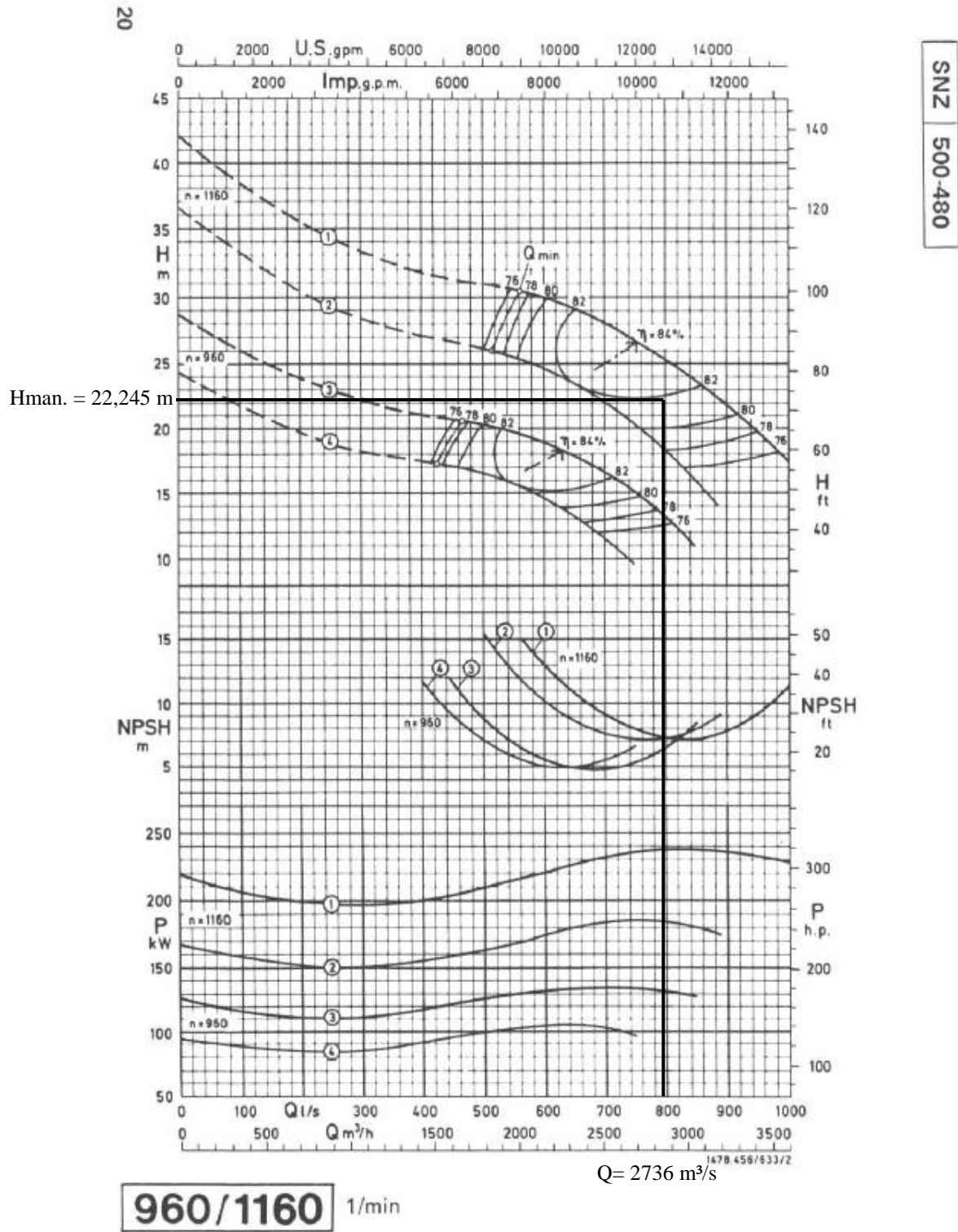
De acordo com o manual KSB, a bomba para utilização da potência de 300cv seria então uma KSB SNZ com frequência de serviço de 6000 h/ano, frequência de rede elétrica de 60 Hz e 1160 rotações por minuto (rpm) (Fig. 47).

Figura 47- Bomba centrífuga para vazão de 0,70 m³/s proposta III



Com a vazão e altura manométrica temos a bomba a ser utilizada, neste caso 500-480 e um rendimento do conjunto de acordo com a curva da bomba em torno de 81,8% (Fig. 48).

Figura 48- Curva rendimento para vazão de 0,70 m³/s proposta III



O rendimento obtido pelo gráfico é superior ao imposto inicialmente conforme o Manual de Hidráulica indica, com novo rendimento a potência é de cerca de 275cv multiplicada a folga de 10% resulta em uma potência de 300cv, sendo igual a calculada anteriormente.

A escolha pelas potências de 200cv e 300cv (respeitando a folga técnica a sua potência final) se baseia na facilidade quanto ao remanejamento de peças e acessórios com as demais estações existentes no projeto, visto que tais potências já são empregadas no projeto.

Temos então uma configuração final da estação com 2 bombas de 200cv e 4 bombas de 300cv, com associação em paralelo, tubulação de sucção de 900mm e recalque 850mm.

4.2.4 Proposta 4: Rearranjo na associação dos conjuntos motobombas existentes

Atualmente o sistema de bombeamento trabalha com o tipo de associação em paralelo, sendo o mais comum para sistemas de irrigação e abastecimento de água. A proposta então se encontra no rearranjo desse sistema, passando a ser do tipo em série.

De acordo com o Manual de Hidráulica do autor Azevedo Netto (1998), as bombas do tipo em série são mais indicadas a projetos que requerem o deslocamento do fluido a elevadas alturas, visto que para esse tipo de associação as alturas de recalque são somadas.

4.3 ANÁLISE DE VAZÃO POR ESTAÇÃO PRESSURIZADORA

Sabe-se que cada estação pressurizadora necessita de uma vazão adequada para fornecer irrigação ininterrupta aos setores agrícolas, com isso, é possível realizar uma análise do sistema de modo a aferir a eficiência na distribuição de água pelo conjunto motobomba. Para cada estação foi feito um levantamento dos setores de irrigação e suas áreas irrigáveis, promovendo o cálculo de volume necessário de água de acordo com o seguimento frutífero, resultando na vazão de irrigação diária.

O cálculo para aferição de tal vazão por estação se baseia no mesmo cálculo de demanda de um projeto de irrigação inicial. Segundo o site da Embrapa (2005), o consumo anual de plantas cítricas varia entre 600 a 1200 mm de lâmina d'água, sendo que no inverno tem-se 1,55 mm/dia e no verão de 3,2 a 4,7 mm/dia em escala mundial, isso em relação a um hectare de plantio.

Levando em consideração toda a área em hectare por estação pressurizadora e a vazão total bombeada pela estação principal, chegou-se aos seguintes valores de vazão:

Figura 49- Vazões das estações pressurizadoras

EP1	0,41 m ³ /s	EP5	0,42 m ³ /s
EP2	0,58 m ³ /s	EP6	0,29 m ³ /s
EP3	0,45 m ³ /s	EP7	0,83 m ³ /s
EP4	0,69 m ³ /s	EP8	0,52 m ³ /s

Fonte: Autor (2017)

De acordo com as vazões requeridas de cada estação, a vazão máxima ficou em torno de 0,8 m³/s o que garante que uma bomba com potência de 200 cv é suficiente para abastecer, em uma excepcionalidade, uma estação pressurizadora.

Se passarmos esses valores de vazão total de 4,20 m³/s, temos em porcentagem a solicitação por estação da seguinte forma:

Figura 50- Porcentagem requerida das estações pressurizadoras

EP1	9,76%	EP5	10,00%
EP2	13,81%	EP6	6,90%
EP3	10,71%	EP7	19,76%
EP4	16,43%	EP8	12,38%

Fonte: Autor (2017)

Nota-se que a solicitação não passa de 20% do que é bombeado, tornando mais viável a utilização de conjuntos motobombas com menores potências, visto que as perdas geradas por potências para bombas de maiores portes são superiores às perdas de bombas de menores portes.

Outro fator que se atrela à potência é o rendimento, cada conjunto possui uma faixa de valores de rendimento para que esse valor se mantenha no intervalo ideal, é necessário que se façam manutenções periódicas regulares para retomada de eficiência por conjunto, o que garante economia se relacionado ao sistema de modo geral.

Com os rendimentos que se encontram atualmente nas estações, não são suficientes para abastecer 30% dos setores agrícolas, em razão da falta de manutenção e as perdas geradas pelo sistema em estado precário. A manutenção de bombas desse porte é de elevado custo, se houver a substituição destas por bombas de menores potências tem-se a possibilidade de alternância das bombas em trabalho, bem como a redução de custo durante período de funcionamento.

Com as vazões obtidas podemos dimensionar as potências que cada estação pressurizadora necessitaria, segue então dimensionamento para tal:

- Estação pressurizadora 1 (EP 1): Abastece o setor SJ1

Comprimento do canal 600m

Hf inicial 20,116m

Hf final 20,616m

$$\text{Pot (cv)} = \frac{\gamma \times Q \times H_{\text{man}}}{75 \times n} \quad (\text{Eq. 08})$$

$$\text{Pot (cv)} = \frac{1000 \times 0,41 \times 20,616}{75 \times 0,75} = 150 \text{ cv}$$

- Estação pressurizadora 2 (EP 2): Abastece o setor SJ2

Comprimento do canal 4920m

Hf inicial 30,118m

Hf final 34,218m

$$\text{Pot (cv)} = \frac{\gamma \times Q \times H_{\text{man}}}{75 \times n} \quad (\text{Eq. 08})$$

$$\text{Pot (cv)} = \frac{1000 \times 0,58 \times 34,218}{75 \times 0,75} = 350 \text{ cv}$$

- Estação pressurizadora 3 (EP 3): Abastece o setor SJ3

Comprimento do canal 5280m

Hf inicial 22,206m

Hf final 26,606m

$$\text{Pot (cv)} = \frac{\gamma \times Q \times H_{\text{man}}}{75 \times n} \quad (\text{Eq. 08})$$

$$\text{Pot (cv)} = \frac{1000 \times 0,45 \times 22,606}{75 \times 0,75} = 250 \text{ cv}$$

- Estação pressurizadora 4 (EP 4): Abastece os setores SJ4 e SJ5

Comprimento do canal 300m

Hf inicial 38,120m

Hf final 38,620m

$$\text{Pot (cv)} = \frac{\gamma \times Q \times H_{\text{man}}}{75 \times n} \quad (\text{Eq. 08})$$

$$\text{Pot (cv)} = \frac{1000 \times 0,69 \times 38,620}{75 \times 0,75} = 500 \text{ cv}$$

- Estação pressurizadora 5 (EP 5): Abastece o setor SJ6

Comprimento do canal 3990m

Hf inicial 26,263m

Hf final 29,588m

$$\text{Pot (cv)} = \frac{\gamma \times Q \times H_{\text{man}}}{75 \times n} \quad (\text{Eq. 08})$$

$$\text{Pot (cv)} = \frac{1000 \times 0,42 \times 29,588}{75 \times 0,75} = 250 \text{ cv}$$

- Estação pressurizadora 6 (EP 6): Abastece o setor SJ7

Comprimento do canal	6323m
Hf inicial	14,858m
Hf final	20,127m

$$\text{Pot (cv)} = \frac{\gamma \times Q \times H_{\text{man}}}{75 \times n} \quad (\text{Eq. 08})$$

$$\text{Pot (cv)} = \frac{1000 \times 0,29 \times 14,127}{75 \times 0,75} = 150 \text{ cv}$$

- Estação pressurizadora 7 (EP 7): Abastece os setores SJ8 e SJ9

Comprimento do canal	8390m
Hf inicial	49,983m
Hf final	56,975m

$$\text{Pot (cv)} = \frac{\gamma \times Q \times H_{\text{man}}}{75 \times n} \quad (\text{Eq. 08})$$

$$\text{Pot (cv)} = \frac{1000 \times 0,83 \times 56,976}{75 \times 0,75} = 850 \text{ cv}$$

- Estação pressurizadora 8 (EP 8): Abastece o setor SJ10

Comprimento do canal	9923m
Hf inicial	26,255m
Hf final	34,524m

$$\text{Pot (cv)} = \frac{\gamma \times Q \times H_{\text{man}}}{75 \times n} \quad (\text{Eq. 08})$$

$$\text{Pot (cv)} = \frac{1000 \times 0,52 \times 34,524}{75 \times 0,75} = 350 \text{ cv}$$

De acordo com os resultados dos cálculos das potências de vazão de cada estação pressurizadora, nota-se que a maior potência instalada é de 850 cv, vale ressaltar que tal dimensionamento aqui exposto foi calculado com a vazão total necessitada por setor irrigado, bem como por sua área de irrigação. Se dividirmos tal potência para conjuntos de 200 e 300 cv, seriam necessários apenas 2 conjuntos de 200 cv com vazão de 0,17 m³/s e 2 conjuntos de 300 cv com vazão de 0,25 m³/s ou 4 conjuntos de 200 cv com vazão de 0,21 m³/s ou 3

conjuntos de 300 cv com vazão de 0,28 m³/s para abastecer a maior vazão diária de uma estação que abastece dois setores de irrigação.

4.4 ANÁLISE FINANCEIRA DO SISTEMA A SER IMPLANTADO

Diante das inúmeras variáveis a interferir diretamente no funcionamento de um sistema de abastecimento de água, deve-se fazer cálculos de previsão de gasto com energia elétrica, visto que os motores necessitam da mesma para promover o torque para que o conjunto entre em trabalho.

O cálculo para tal previsão de gasto de energia leva em conta principalmente a potência do conjunto motobomba a ser instalado, a quantidade de horas por dia, os dias em que o conjunto vai estar em funcionamento e por fim o valor do quilowatt hora da empresa fornecedora de energia local (Eq. 13). Na equação temos a inserção da potência em cavalo-vapor e se faz necessária a conversão deste dado para que o resultado seja em reais, esse fator numérico tem valor de 0,736.

$$\text{Custo (R\$)} = \text{Pot} \times 0,736 \times h \times d \times \text{kW.h} \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde: Pot= potência instalada (cv)

h= horas de funcionamento por dia

d= número de dias de funcionamento por mês

kW.h= valor pago por kW.h

Com o levantamento das potências das bombas em análise e aplicação da equação temos os custos por bomba de:

$$\text{Custo (R\$)} = 200 \times 0,736 \times 16 \times 30 \times 0,48 = \text{R\$ } 33.914,88$$

$$\text{Custo (R\$)} = 300 \times 0,736 \times 16 \times 30 \times 0,48 = \text{R\$ } 50.872,32$$

$$\text{Custo (R\$)} = 400 \times 0,736 \times 16 \times 30 \times 0,48 = \text{R\$ } 67.829,76$$

$$\text{Custo (R\$)} = 600 \times 0,736 \times 16 \times 30 \times 0,48 = \text{R\$ } 101.744,64$$

$$\text{Custo (R\$)} = 750 \times 0,736 \times 16 \times 30 \times 0,48 = \text{R\$ } 127.180,80$$

Admitindo que os horários de funcionamento das bombas são de dezesseis horas por dia, horário em que possui o menor valor cobrado por quilowatt hora, o conjunto ficará em funcionamento trinta dias por mês, em média.

De acordo com as propostas expostas, os números de conjuntos e suas potências, fez-se a simulação do valor a ser gasto mensalmente com energia elétrica para cada situação:

- SISTEMA ATUAL:

$$\text{Custo (R\$)} = 2 \times 400 \times 0,736 \times 16 \times 30 \times 0,48 = \text{R\$ } 135.659,52$$

$$\text{Custo (R\$)} = 2 \times 750 \times 0,736 \times 16 \times 30 \times 0,48 = \text{R\$ } 254.361,60$$

$$\text{Total mensal} = \text{R\$ } 390.021,12$$

- PROPOSTA 01:

$$\text{Custo (R\$)} = 2 \times 200 \times 0,736 \times 16 \times 30 \times 0,48 = \text{R\$ } 67.829,76$$

$$\text{Custo (R\$)} = 2 \times 750 \times 0,736 \times 16 \times 30 \times 0,48 = \text{R\$ } 254.361,60$$

$$\text{Total mensal} = \text{R\$ } 322.191,36$$

- PROPOSTA 02:

$$\text{Custo (R\$)} = 2 \times 400 \times 0,736 \times 16 \times 30 \times 0,48 = \text{R\$ } 135.659,52$$

$$\text{Custo (R\$)} = 2 \times 600 \times 0,736 \times 16 \times 30 \times 0,48 = \text{R\$ } 203.489,28$$

$$\text{Total mensal} = \text{R\$ } 339.148,80$$

- PROPOSTA 03:

$$\text{Custo (R\$)} = 2 \times 200 \times 0,736 \times 16 \times 30 \times 0,48 = \text{R\$ } 67.829,76$$

$$\text{Custo (R\$)} = 4 \times 300 \times 0,736 \times 16 \times 30 \times 0,48 = \text{R\$ } 203.489,28$$

$$\text{Total mensal} = \text{R\$ } 271.319,04$$

Dentre tais as propostas, nota-se que a quantidade de conjuntos motobombas instalados pode não interferir negativamente no gasto total de energia por mês, visto que a potência por conjunto é que define diretamente tal preço.

5. CONCLUSÃO

Conforme visto, a vazão de 4,20 m³/s é suficiente para suprir as necessidades atuais e futura ampliação do projeto hidroagrícola, porém, tal sistema de abastecimento se encontra em desgaste, contando com uma vazão de apenas 2,10 m³/s sendo bombeada. A ineficiência do sistema se encontra em estado relativamente avançado, de modo que a vazão hoje bombeada não é capaz de fornecer água suficiente para abastecer uma estação pressurizadora. Tal ineficiência tem gerado alta nas perdas hídricas e gastos com energia elétrica.

Com isso, como proposta de hipótese, a avaliação e possível substituição dos conjuntos de bombeamento retoma a eficiência no abastecimento do projeto, mesmo que isso implique em uma reorganização na estação de bombeamento principal. Em virtude dos fatos mencionados, existem diversas variáveis que influenciam na escolha correta do tipo de bomba a ser implantado num sistema de bombeamento, as razões técnicas muitas vezes acabam sendo submissas as razões econômicas.

Tomando rumo as circunstâncias do projeto encontradas atualmente, a preferência por se utilizar conjuntos de menores potências busca economia diante do custo de energia e manutenção da estação de bombeamento. Bombas de elevadas dimensões potencializam o desgaste e perda hídrica no sistema de abastecimento, cabendo a escolha correta diante de variáveis técnicas e econômicas podendo prolongar a vida útil do projeto. Dessa forma, o Projeto Hidroagrícola São João no olhar técnico requer um rotor de grande diâmetro e alta rotação, com alta aceleração centrífuga acarretando em dificuldade nos materiais empregados, já por razões econômicas, o custo de uma bomba de grande potência é maior que se comparada a duas bombas de menores dimensões para executar um mesmo serviço.

O dimensionamento exposto durante o decorrer do trabalho levou em consideração inúmeros fatores que estariam ligados diretamente ao sistema de irrigação implantado, para que se reduzissem as perdas e houvesse um ganho no que diz respeito ao abastecimento de modo geral. Diante disso, o melhor sistema proposto em relação ao atual se mostrou na alteração total dos conjuntos motobomba, implantando potências de 200cv e 300cv, constituindo um sistema com 6 conjuntos, havendo alternância de período de trabalho entre estes no caso do abastecimento a um setor específico, sem que haja desperdício de água em seu acionamento. Os rendimentos obtidos pelos conjuntos a serem substituídos foram superiores ao imposto em trabalho no sistema atual, a escolha pelas potências de 200cv e 300cv (respeitando a folga técnica a sua potência final) se baseia na facilidade quanto ao remanejamento das peças e acessórios com as demais estações existentes no projeto, visto que tais potências já são empregadas em outras estações, além de que tais potências menores

promovem uma economia energética em relação a elevadas potências. Temos então uma configuração final da estação com duas bombas de 200cv e quatro bombas de 300cv, com associação em paralelo, tubulação de sucção de 900mm e recalque 850mm, obtendo uma economia de R\$ 118.702,08 por mês em relação ao sistema implantado atualmente.

REFERÊNCIAS

Abordagem multi objetiva de reabilitação de redes hidráulicas. Disponível em: <https://www.ufpe.br/eccaa/images/documentos/TCC/2012.2/tcc2_versaofinal201202%20-%20raomax%20charlles%20moreira%20matias.pdf>

ANDRADE, J. B. de. **Notas de aula – Saneamento básico sistema de abastecimento de água.** Disponível em: <<https://rmdaveiga.files.wordpress.com/2011/01/sb-agua-ucg.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2017.

AZEVEDO NETTO, J. M., *et al.* **Manual de Hidráulica.** ed. Edgard Blucher Ltda, 8ª Edição, São Paulo, 1998.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>

BRASIL. Secretaria do Desenvolvimento da Agricultura e Pecuária- SEDAP. Palmas- TO. **Execução dos Serviços da Gestão Integrada, do perímetro Polo de Fruticultura Irrigada São João, Localizada à Margem Direita do Rio Tocantins Município de Porto Nacional (TO).** Palmas- TO, 2015.

BLACK, P. O. **Bombas.** Livro Técnico AS- LTC. Rio de Janeiro, 1979

BOMBARDELLI, F. A., García, M. H. (2003). “**Hydraulic Design of Large-Diameter Pipes.**” *J. Hydraul. Eng.*, 129(11), 839-846.

CHEUNG, P. B. 2004. **Análise de reabilitação de redes de distribuição de água para abastecimento via Algoritmos Genéticos Multi objetivo.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.

CHOP. **Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas.** Disponível em: <<http://187.17.2.135/orse/esp/ES00102.pdf>>

CHRISTENSEN, B. A. (2000). “**Discussion on ‘Limitation and proper use of the Hazen-Williams equation,’** by C. P. Liou.” *J. Hydraul. Eng.*, 126(2), 167-168.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA GERAL. **Associação de bombas.** UNESP, 2012. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/nestorproenzaperez/asociacao-bombas-serie-paralelo-modificado-nestor.pdf>>.

DISKIN, M. H. (1960). “**The limits of applicability of the Hazen-Williams formula.**” *Houille Blanche*, 6, 720-723.

DUTRA, J. B. A. **Eficiência energética no controle da vazão de sistemas de bombeamento de água-** uso de válvula e controle de velocidade. Paraíba do Sul, agosto de 2005. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/APOSTILA_MH/eficiencia_bombeamento_CU RVA%20DA%20INSTALA__O.pdf>

Eficiência energética em sistema de bombeamento. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/LivroBombeamento.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2017.

EMBRAPA. **Sistema de Produção para Pequenos Produtores de Citros do Nordeste.** Dez. 2005. ISSN: 1678-8796. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Citros/CitrosNEPequenosProdutores/irrigacao.htm>>

FILHO, O. D., RIBEIRO, M. C., et al. **Dimensionamento de motores para bombeamento de água.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n6/a03v30n6>>. Acesso em 09 de abril de 2017.

GARCEZ, L.N. **Elementos de Mecânica dos Fluidos.** Ed. Edgard Blucher Ltda, 2.ed. São Paulo, 1977.

HELOU, GUALTER, NEWTON. **Tópicos de Física.** 21. Ed. Saraiva. Vol 1. 2012.

KSB, **Manual de Treinamento: Seleção e Aplicação de Bombas Centrífugas.** Centro de Treinamento da KSB, 2003. Disponível em: <http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/segundo2008/manual_de_treinamento.pdf>.

KSB, **Dimensionamento de bombas.** Centro de Treinamento da KSB, 2003. Disponível em: <<https://easysselect.ksb.com/camosHtml/camosHtmlServlet>>.

LENCASTRE, A. **Hidráulica Geral.** Edição Luso-Brasileira da HIDRO-PROJECTO, Lisboa, 1983.

LOPES, R. E. **Irrigação pressurizada: Aspersão.** 2011. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/relopes10/aspersores-tipos-e-classificacao>>.

MACINTYRE, A. J. **Bombas e instalações de bombeamento.** 2. ed. rev. LTC, Rio de Janeiro, 1997.

MANUAL MULTQUIP. **Manual para escolha de bomba.** Disponível em: <http://www.multiquip.com.br/download/2192010132144_566.pdf>

MELLO, J. L. P. **Irrigação.** Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Tecnologia. Departamento de engenharia. 2007.

MENDONÇA, F. C. *et al.* **Boletim de pesquisa e desenvolvimento: Dimensionamento de sistema de irrigação para pastagens em propriedades de agricultura familiar.** São Carlos: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- Embrapa Pecuária Sudeste. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007.

MUNSON, B. R., YOUNG, D. F., & OKIISHI, T. H. 2004. **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos.** 4ª ed. São Paulo: Blucher.

_____. **NBR 12214**: Projeto de sistemas de bombeamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

PARKER, T. **Tecnologia hidráulica industrial**. Apostila M2001-1 BR.ParkerHannifin Ind. Com. Ltda, 1999.

POTTER, M. C., & WIGGERT, D. C. 2010 **Mecânica dos fluidos**. 1ª ed. São Paulo: Cengage Learning.

ROUSE, H. & INCE, S. **History of Hydraulics**. Dover Publications, Inc, New York, 1963.

SEMINÁRIO IBEROAMERICANO SOBRE SISTEMA DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA, 2006, João Pessoa. Anais. **Otimização econômica para a reabilitação de rede de distribuição, considerando a instalação de boosters**. Disponível em: <[http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoO%20\(4\).pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoO%20(4).pdf)>

SILVA, Robert G. **Dimensionamento e Levantamento de Custos de Fontes Energéticas, Considerando os Recursos Hídricos para Uso em Sistemas de Bombeamento**. 2014. 230 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

TELLES, P. C. S. **Tubulações industriais**: materiais, projeto, montagem. 9. ed. Rio de Janeiro: JC, 1997.

VENNARD, J. K. e STREET, ROBERT L. **Elementos de Mecânica dos Fluidos**. Ed. Guanabara Dois, 1978.