



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

Arthur Santos Silva das Neves

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA – ETA 006 DE PALMAS – TOCANTINS

Palmas – TO

2016/2

Arthur Santos Silva das Neves

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO DA ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE ÁGUA – ETA-006 DE PALMAS – TOCANTINS

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

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

Palmas – TO

2016/2

Arthur Santos Silva das Neves

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO DA ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE ÁGUA – ETA 006 DE PALMAS – TOCANTINS

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

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

Aprovada em _____ de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Fábio Moreira Spinola de Castro
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Edivaldo Alves dos Santos
Centro Universitário Luterano de Palmas

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, Senhor de minha vida, meu criador, meu guia. À minha mãe Delinan, às minhas tias e tios, Walderice, Joelma, Vânia, Rita, Joelson e Enoque, ao meu pai Raimundo, aos meus avós Raimundo e Maria, aos meus irmãos João Paulo, Romário e Lucas e à minha namora Laura.

AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu saúde, força e sabedoria durante toda a minha vida, nessa etapa não foi diferente, sem Ele eu não teria conseguido.

Ao meu orientador Profº M.Sc. Carlos Spartacus, companheiro e amigo, meu muito obrigado pelas orientações, sua ajuda foi de suma importância para a realização desse trabalho. Agradecer também ao ilustre Profº M.Sc. Edivaldo Santos, seus excelentes ensinamentos durante todo o curso são lições que levarei por toda a minha vida profissional.

À minha querida mãe Delinan, heroína, mulher que Deus criou, minha base, obrigado pelo incentivo nas horas difíceis, por se alegrar comigo nos momentos de alegria e por me amar incondicionalmente, tenho orgulho de ser seu filho.

À minha tia Walderice, palavras são poucas para agradecer tudo que a senhora fez e faz por mim, obrigado por você existir na minha vida, pelas palavras de apoio e carinho e por toda a ajuda que você me dá.

Ao meu pai Raimundo que apesar de todas as dificuldades me apoiou, incentivou e sempre me falou palavras de ânimo e encorajamento.

À minha tia Joelma, pelo carinho e cuidados médicos, mesmo que de longe. À minha tia Vânia, pela admiração e carinho. Ao meu tio Joelson por todo o apoio e carinho. Aos meus tios Enoque e Rita por me receber com tanto carinho em seu lar, no início dessa caminhada. Aos meus avós, Maria e Raimundo pelo carinho e cuidado que sempre tiveram por mim.

Aos meus queridos irmãos João Paulo, Romário e Lucas pelo carinho, admiração e pela existência de cada um em minha vida.

À minha namorada Laura, mulher que Deus colocou em minha vida. Meu muito obrigado por todas as suas correções feitas no decorrer desse trabalho e pelo companheirismo ao longo de todo o curso.

Aos meus amigos Laryssa e Jailson, companheiros de todas as horas, meu muito obrigado pelo cuidado e admiração. Aos meus amigos e irmãos da Igreja Batista Bíblica pelo carinho demonstrado e pelas orações, que Deus possa recompensá-los.

Aos grandes amigos que fiz durante o curso em especial, Tássio, Fabrício, José Guilherme, Sindy, Vanessa, Félix, Thyago, meu muito obrigado pela companhia, apoio e troca de conhecimento, que nossa amizade prossiga ao longo de toda a vida.

RESUMO

NEVES, Arthur Santos Silva das. **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA – ETA-006 DE PALMAS – TOCANTINS**. 2016. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2016.

O presente trabalho trouxe como temática a avaliação da eficiência do sistema de bombeamento da Estação de Tratamento de Água – ETA-006 de Palmas – Tocantins. Em particular, o estudo objetivou analisar como se encontra o rendimento dos conjuntos motobombas, os quais se encontram atualmente instalados na Elevatória de Água Bruta (EAB), da ETA-006 de Palmas - TO. Dentre o embasamento teórico utilizado, destacaram-se as argumentações dos seguintes autores: Armando Lencastre (1996); Rodrigo Porto (2001); Azevedo Netto *et. al.* (1998), sendo este último o maior contribuinte. Como procedimento metodológico, realizou-se uma visita *in loco*, seguida de uma sequência de cálculos, com o intuito de avaliar o rendimento dos conjuntos motobombas encontrados. Posteriormente, com base nos resultados alcançados, projetou-se uma nova estrutura capaz de atender à mesma vazão demandada, contudo, objetivando um melhor desempenho. Ao término do estudo, o trabalho revelou que o sistema de bombeamento atual se encontra expressivamente abaixo do esperado, porém constatou que é possível aumentar a eficiência deste, adotando medidas como aquelas apresentadas pelo projeto idealizado no presente estudo.

Palavras-chave: Motobombas. Rendimento. ETA-006.

RESUMO

NEVES, Arthur Santos Silva das. **EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE PUMPING SYSTEM OF THE WATER TREATMENT STATION - ETA-006 DE PALMAS - TOCANTINS**. 2016. 55 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas / TO, 2016.

The present work brought as a theme the evaluation of the efficiency of the pumping system of the Water Treatment Station - ETA-006 of Palmas - Tocantins. In particular, the study aimed to analyze the performance of the motor-pump assemblies, which are currently installed in the ETA-006 of Palmas - TO. Among the theoretical basis used, the arguments of the following authors stand out: Armando Lencastre (1996); Rodrigo Porto (2001); Azevedo Netto et. Al. (1998), the latter being the largest contributor. As a methodological procedure, an on-site visit was carried out, followed by a sequence of calculations, in order to evaluate the performance of the motor-pump assemblies found. Subsequently, based on the results achieved, a new structure was designed capable of meeting the same flow demanded, however, aiming at a better performance. At the end of the study, the work revealed that the current pumping system is significantly lower than expected, but found that it is possible to increase its efficiency, adopting measures such as those presented by the project idealized in the present study.

Keywords: Motor pumps. Yield. ETA-006.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – BOMBAS TRABALHANDO DE FORMA AFOGADA E NÃO AFOGADA.	
.....	24
FIGURA 2 – EXEMPLO DE UMA CURVA DE BOMBA.	30
FIGURA 3 – IMAGEM ÁREA MOSTRANDO A LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.	
.....	36
FIGURA 4 – FOTO DO BARRAGEM CONSTRUÍDA NO RIBEIRÃO TAQUARUSSU.	
.....	37
FIGURA 5 – PRIMEIRA GRELHA DE FILTRAGEM.	37
FIGURA 6 – SEGUNDA GRELHA DE FILTRAGEM.	38
FIGURA 7 – RESERVERTÓRIO DE E TUBULAÇÃO DE SUÇÃO.	38
FIGURA 8 – BOMBAS DA ELEVATÓRIA DE ÁGUA BRUTA.	39
FIGURA 9 – TUBULAÇÃO DE RECALQUE.	39
FIGURA 10 – LOCAL DE DESCARGA DA TUBULAÇÃO DE RECALQUE.	40
FIGURA 11 – CURVA CARACTERÍSTICA DA BOMBA DO SISTEMA ATUAL.	43
FIGURA 12 – LAYOUT DA NOVA ESTRUTURA.	45
FIGURA 13 – CURVA CARACTERÍSTICA DA BOMBA ESCOLHIDA.	48

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COEFICIENTES C DA FÓRMULA DE HAZEN-WILLIANS	27
TABELA 2 – VALORES APROXIMADOS DE K (PERDAS LOCALIZADAS)	27
TABELA 3 – COMPRIMENTOS EQUIVALENTES DE SINGULARIDADES PARA AÇO GALVANIZADO E FERRO FUNDIDO	28
TABELA 4 – PRESSÃO DE VAPOR E PESO ESPECÍFICO DA ÁGUA EM DIFERENTES TEMPERATURAS.	32
TABELA 5 – CÁLCULO DO COMPRIMENTO EQUIVALENTE (PROJETO ATUAL).	41
TABELA 6 – CÁLCULO DO COMPRIMENTO EQUIVALENTE (NOVO PROJETO).	46

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – CURVA CARACTERÍSTICA DA BOMBA ESCOLHIDA E A CURVA DE DUAS BOMBAS EM PARALELO.....	50
--	-----------

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ETA	- Estações de Tratamento de Água
SENASA	- Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento
EAB	- Elevatória de Água Bruta
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVOS	13
1.1.1. <i>Objetivo Geral</i>	13
1.1.2. <i>Objetivos Específicos</i>	13
1.2. JUSTIFICATIVA	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. ÁGUA	15
2.1.1. Distribuição de Água na Terra	15
2.1.2. Ciclo Hidrológico	15
2.2. ABASTECIMENTO DE ÁGUA	17
2.3. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	17
2.3.1. Manancial	18
2.3.2. Captação	18
2.3.4. Tratamento	20
2.3.5. Reservatório	21
2.3.6. Rede de Distribuição	21
2.3.7. Estação elevatória ou de recalque	22
2.4. BOMBAS	23
2.4.1. Altura Total de Elevação e Altura Manométrica	25
2.4.2. Perda de Carga	26
2.4.3. Potência dos Conjuntos Elevatórios	28
2.4.1. Curvas Características das Bombas Centrífugas	29
2.4.2. Cavitação	30
2.4.3. NPSH requerido e NPSH disponível	31
2.4.4. Escolha da Bomba	32
3. METODOLOGIA	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1. VISITA <i>IN LOCO</i>	36
4.2. SISTEMA ATUAL	40
4.3. NOVO SISTEMA	44
4.4. RESUMO DA NOVA ESTRUTURA	50
4.5. BENEFÍCIOS ENCONTRADOS	50
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais recursos naturais que gera a vida é a água, ela influencia a história, cultura e modo de viver da humanidade. Na sua falta, a vida humana se esvai e a Terra, também conhecida como Planeta Azul, pode até mudar de cor. (VIEIRA *et. al*, 2006, p. 5). Nesse sentido, a SENASA – Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento, de Campinas – SP (2006) trouxe dados que apontam como a água é distribuída no planeta. Revelando que de toda a água existente no mundo, apenas 3% é considerada água doce, dentre o qual 69% encontra-se em geleiras. Adicionalmente, elucida que boa parte dos 31% restantes estão debaixo da superfície do solo, ou seja, são águas subterrâneas. Desse modo, tem-se apenas 0,3% de toda a água doce na forma de rios e lagos, sendo que destes, se originam a grande maioria dos mananciais de captação de água bruta para as Estações de Tratamento de Água – ETA.

Quando se fala de recursos hídricos, o Brasil é o país mais rico do mundo. Pois conta com 13,7% de toda água doce disponível no planeta. Porém, não está sendo utilizada de forma correta e responsável, estão ocorrendo explorações de forma desenfreada, não há controle e preservação dos mananciais, os mesmos estão sendo poluídos e suas matas ciliares vem sendo desmatada de forma descontrolada. Isso pode acarretar sérios danos à população atua e para as gerações vindouras. (VIEIRA, 2006).

Nesse ensejo, o presente trabalho busca avaliar como se encontra o sistema pressurizado da ETA-006, buscando reconhecer o projeto atual e dentro das possibilidades, propor uma nova estrutura de forma a garantir a melhor eficiência, o que proporcionará melhores rendimentos.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo avaliar tecnicamente a eficiência do Sistema de Bombeamento da Estação de Tratamento de Água – ETA-006, em Palmas – TO.

1.1.2. Objetivos Específicos

Na intenção de avaliar como está o funcionamento do Sistema de Bombeamento da ETA-006, o presente estudo divide-se em 4 (quatro) menores objetivos, os quais estão listados abaixo:

- Reconhecer a situação da estrutura instalada atualmente, através de visita *in loco* e do projeto disponibilizado pela empresa responsável pelo abastecimento de água na cidade de Palmas – TO e calcular o rendimento das bombas instaladas atualmente;
- Projetar uma nova estrutura com base na demanda atual, procurando otimizar o desempenho do sistema de bombeamento, visando garantir melhores resultados;
- Apresentar a nova estrutura, juntamente com o modelo de bomba capaz de trabalhar fornecendo a vazão demandada, com o máximo de eficiência.
- Comparar os resultados obtidos e listar os benefícios.

1.2. Justificativa

Ao compor qualquer preço de venda de determinada mercadoria, quanto menor for os gastos com a confecção do produto menor será o seu preço de venda. Nesse sentido, no sistema de composição da tarifa cobrada por metro cúbico (m³) de água não é diferente, quanto menos a companhia de abastecimento gastar com a captação, tratamento e distribuição de água, menor será o preço por metro cúbico de água que a sociedade precisará pagar (RESENDE; LOPES; SIMÕES, 2010)

Sendo assim, a pesquisa em nota pode contribuir de forma significativa para a população de Palmas – TO, visto que, a mesma objetivou avaliar a eficiência do

sistema de bombeamento da ETA-006 e propôs alternativas que possibilitou minimizar tais ineficiências encontradas no transcorrer do estudo. Desse modo, pode contribuir com a diminuição dos gastos no processo de distribuição de água e, a consequente, possibilidade de diminuição na tarifa cobrada pela empresa responsável pelo abastecimento de água na cidade de Palmas – TO.

No âmbito acadêmico e profissional, o presente estudo foi relevante por permitir a vivência de saberes explorados ao longo da academia. Bem como, pelo aporte teórico e prático sobre o uso eficaz dos recursos hídricos. Igualmente, permitiu apresentar soluções capazes de torna-se uma prática no momento da concepção e execução de um projeto de sistema pressurizado para uma Estação de Tratamento de Água.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ÁGUA

2.1.1. Distribuição de Água na Terra

A água é o item que compõe a maior parte da matéria viva, no ser humano é responsável por mais de 60% do seu peso, chegando a 98% em certos animais aquáticos (UNESP, 2011). É um elemento natural, incolor e inodoro, cuja a falta impede a vida na Terra, consoante a isto, é relevante conhecer como ela se distribui no planeta (VIEIRA, 2006).

Essa fonte de vida, está presente em toda parte, nos oceanos, mares, geleiras, lagos e rios. Representa cerca de 75% da superfície terrestre, aproximadamente 340 quilômetros cúbicos e mais um milhão de quilômetros cúbicos que estão acomodados abaixo da superfície, infiltrado no solo. (REDE DAS ÁGUAS, 2015)

Em posse desses dados, é inevitável pensar que há água em abundância no Planeta, porém o maior volume, 97,3%, é água salgada e apenas 2,7% é água doce.

2.1.2. Ciclo Hidrológico

Depois de conhecer como a água está distribuída no planeta, torna-se importante saber como ela se transporta de um meio para o outro na Terra. Nesse sentido, Tucci, (2001) afirma que o processo de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a camada atmosférica, provocada pela ação dos raios solares associado à gravidade e a rotação da terra é conhecido como Ciclo Hidrológico.

Cordero (2013) explica que esse fenômeno dar-se-á pelo aquecimento do ar, do solo e da água superficial, pela energia solar resultando na evaporação da água e no movimento da massa de ar, que por sua vez é condensado na atmosfera formando as nuvens. Em determinadas circunstâncias específicas, esse vapor de água condensado pode voltar para a superfície terrestre em forma de precipitação. Essa, quando encontra o solo uma parte infiltra e outra escorre superficialmente até atingir um curso d'água.

Em síntese o ciclo hidrológico envolve 5 processos:

- Evapotranspiração;

- Evaporação;
- Precipitação;
- Infiltração;
- Escoamento Superficial.

Evapotranspiração

Processo de evaporação da água do solo, juntamente com o mecanismo que as plantas utilizam, o qual consiste na retirada da água do solo através das raízes, e posteriormente o transporte dessa para as folhas e onde ocorre a evaporação (PINTO, 1980).

Evaporação

Transferência da água superficial (rios, lagos, mares, oceanos) do estado líquido para o gasoso, com o a energia recebida pelo Sol ou por outras fontes (PINTO, 1980)

Precipitação

Compreende toda água que cai da atmosfera na superfície da Terra (UNESP, 2011). Cordeiro, 2013 afirma que precipitação é quando as gotículas de água, formadas por condensação, atingem determinado tamanho, precipitam-se em forma de chuva. E dependendo das condições de temperatura e pressão que a mesma passa durante sua queda, pode chegar à superfície em forma de granizo e neve.

Infiltração

Como o solo é um meio bastante poroso, infiltração consiste na percolação da precipitação da água para as camadas do subsolo até que a superfície do solo não sature. Essa água infiltrada, é que garante o abastecimento dos rios e lagos, nos tempos de seca (PINTO, 1980)

Escoamento Superficial

Freire, 2009 define escoamento superficial a parcela de água que não infiltra e sim perpassa pelo solo e se reúnem em córregos e rios até atingir os oceanos.

2.2. ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Dentre as necessidades que existem em uma população, Tsutiya, (2005) afirma que uma das mais importante é a disponibilidade de um sistema de abastecimento de água em quantidade e qualidade adequadas ao consumo humano.

Devido a relevância do sistema de abastecimento de água, grandes investimentos veem sendo feitos para fornecer ao maior número possível de usuário, um item básico de saúde que é a água em boa qualidade (TSUTIYA, 2005).

2.3. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Para Netto *et al.* (1998, p. 465) “define-se por sistema de abastecimento de água o conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável a uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos. ”

Ainda segundo Netto *et al.* (1998), um sistema de abastecimento público de água é composto por diversas partes, a saber:

- Manancial;
- Captação;
- Adução;
- Tratamento;
- Reservatórios;
- Rede de Distribuição;
- Estações elevatórias ou de recalque (quando necessárias)

Para que haja a implantação de um sistema de abastecimento de água, algumas atividades são necessárias para a elaboração de estudos e projetos com o objetivo de definir se a obra poderá ou não, ser empreendida (NETTO *et. al*, 1998). Dentre essas tarefas a norma da ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 12 211 (1992) cita:

I – Elementos necessários:

- a) Definição do objetivo;
- b) Definição do grau de detalhamento e de precisão geral das partes do sistema;

- c) Aspectos e condições econômicas e financeiras condicionantes;
- d) Definição de condições e parâmetros locais.

II – Atividades necessárias:

- a) Configuração topográfica e características geológicas da região;
- b) Consumidores a serem atendidos e sua distribuição na área a abastecer;
- c) Quantidade de água exigida e vazões de dimensionamento;
- d) Integração com eventual sistema já existente;
- e) Etapas de implantação;
- f) Comparação técnico-econômica entre as opções de concepção;
- g) Viabilidade econômico-financeira da concepção básica.

Netto (1998) ressaltar que, essas obras de infraestrutura urbana não devem ter capacidade de atender somente as necessidades atuais, mas também a comunidade futura, prevendo-se a construção por etapas. E que o alcance do plano, nome dado ao período de atendimento das obras projetadas, varia normalmente de 10 a 30 anos.

2.3.1. Manancial

Corpo de água superficial ou subterrânea, de onde é extraída a água para o abastecimento, assim Tsutiya (2006) define manancial. Frisa ainda que essa deva fornecer água em quantidade necessária e qualidade adequada sob o ponto de vista sanitário.

Netto *et. al.* (1998), classifica em dois grandes grupos:

- a) Manancial subterrâneo: todo aquele que cuja água provenha das camadas subterrâneas, podendo emergir a superfície ou ser elevada artificialmente através de conjuntos motobombas.
- b) Manancial superficial: como o próprio nome sugere, tem o espelho de água na superfície terrestre e é constituído pelos córregos, rios, lagos, represas, etc.

2.3.2. Captação

“Conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao sistema de abastecimento” (TSUTIYA, 2006, p. 10).

Para essa fase do sistema de abastecimento, Netto *et. al.* (1998), elucida que deverá ser considerado o manancial a ser utilizado, atentando-se para as seguintes seções.

1 – Captação de água subterrânea

Para o aproveitamento da água que se encontra no subsolo, é de suma importância a realização de estudos que permitam um conhecimento de como esse recurso hídrico se comportará no futuro.

Fontes ou bicas de água (água aflorante ou surgente)

Nesse tipo de corpo hídrico, as obras são constituídas basicamente de uma caixa receptora e acumuladora, visto que fornece pouca vazão.

Lençol freático ou subsuperficial

Normalmente o aproveitamento ocorre no fundo de vale ou em suas proximidades, podendo ser executado horizontalmente, através de um sistema de drenos coletores, ou verticalmente, mediante a perfuração de poços rasos com no mínimo 3 m de profundidade.

Lençol profundo ou artesianos

Esse lençol encontra-se geralmente entre duas camadas impermeáveis de terreno que o protege contra contaminação. A extração de água desse tipo de lençol acontece mediante a perfuração de poços tubulares profundos.

2 – Captação de águas superficiais

Para a captação de mananciais superficiais, devem ser analisados todos os dados e elementos que diz respeito às características qualitativas e quantitativas dos mesmos, tais como:

- a) Dados hidrológicos da bacia em estudo ou das bacias próximas;
- b) Dados fluviométricos do curso d'água a ser aproveitado;
- c) Elementos referentes às características físicas, químicas e bacteriológicas da água a ser aproveitada.

2.3.3. Adução

Tsutiya (2006, p. 155) define adutora como, “as canalizações dos sistemas de abastecimento de água que conduzem a água para as unidades que precedem a rede de distribuição.” Complementando essa definição Netto *et. al* (1998, p. 480) disserta que são “as canalizações principais destinadas a conduzir água entre as unidades de um sistema público de abastecimento que antecedem a rede de distribuição.”

Netto *et. al* (1998) e Tsutiya (2006) recomendam que deve haver uma criteriosa análise no traçado em planta e perfil de uma adutora, a fim de verificar a correta colocação de órgãos acessórios (válvulas de parada, válvulas de descarga e ventosas), como também em pontos onde o deslocamento das peças é possível (curvas, por exemplo).

As adutoras podem ser classificadas sob os seguintes critérios: quanto à natureza da água conduzida e quanto à energia para a movimentação da água (Netto *et. al*, 1998).

Quanto à natureza da água conduzida

- a) de água bruta;
- b) de água tratada.

Quanto à energia para a movimentação da água

- a) por gravidade;
- b) por recalque;
- c) mistas: combinação das duas anteriores.

2.3.4. Tratamento

O tratamento é feito para garantir a comunidade uma água potável, em qualidade satisfatória para o consumo humano e outros usos, nos quesitos químicos, biológicos e bacteriológico. Para tal e dependendo do tipo e das qualidades do manancial o qual ocorre a captação, o tratamento da água é realizado em instalações denominadas Estações de Tratamento de Água – ETA (NETTO *et. al*, 1998).

Para Netto *et. al.*, 1998, os principais métodos de purificação adotados, são: micro-peneiramento; aeração; coagulação e floculação; decantação; filtração; desinfecção; tratamento por contato; controle da corrosão.

2.3.5. Reservatório

Os reservatórios de distribuição visam garantir a segurança no abastecimento, (fornecendo água de forma contínua), compensar as variações horárias de vazão, promover uma reserva de água para combate a incêndios e funcionar como regulador de pressão. Desse modo, é configurado como um dos elementos de maior relevância no sistema de abastecimento de água (NETTO *et. al.*, 1998; TSUTIYA, 2006).

Tsutiya (2006) ressalta ainda outras vantagens além dessas citadas acima, como: bombeamento de água fora do horário de pico elétrico e aumento no rendimento dos conjuntos elevatórios. Porém, destaca três desvantagens, a saber: custo elevado de implantação; localização, pois deve estar localizado em cota adequada, visando atender as variações de pressão e por último e não menos importante a ocorrência de grandes impactos ambientais dependendo da localização.

Além disso, os reservatórios de distribuição de água podem ser classificados segundo alguns critérios, são eles (NETTO *et. al.*, 1998; TSUTIYA, 2006):

Quanto à localização no sistema

- a) montante;
- b) jusante.

Quanto à localização no terreno

- a) enterrado;
- b) semi-enterrado;
- c) apoiado;
- d) elevado.

2.3.6. Rede de Distribuição

Entende-se por rede de distribuição o conjunto de dispositivos (tubulações e peças especiais) capazes de conduzir a água para todos os pontos de consumos. Estes, por sua vez são prédios, indústrias, hospitais, residências, etc. (PORTO, 2001; NETTO *et. al.*, 1998).

Tsutiya (2006) apresenta essa parte do sistema de abastecimento de água como a mais onerosa, correspondendo cerca de 50 a 70% do custo total de todas as obras do projeto. Pensando nisso e na complexidade do projeto é que Porto (2001) enfatiza que nessa etapa, o projetista deve demonstrar mais atenção no que se refere

aos padrões exigidos pelas normas, hipóteses de cálculo assumidas e metodologias, buscando garantir um projeto o mais eficiente possível.

As redes de distribuição são compostas basicamente por tubulações que são classificadas em:

- Principal: “também denominada de conduto tronco ou canalização mestra, são tubulações de maior diâmetro que tem por finalidade abastecer as canalizações secundárias” (TSUTIYA, 2006 p.299).
- Secundária: tubulação de menor diâmetro, que “têm a função de abastecer os pontos de consumo do sistema” (PORTO, 2001 p. 169)

Porto (2001) classifica as redes de distribuição em *ramificada* e *malhada*, tendo como critério o arranjo das tubulações principais e o sentido de escoamento que as tubulações secundárias estão apresentando.

A rede é considerada ramificada quando seu abastecimento é feito por meio de uma tubulação tronco, alimentada de um reservatório de montante ou sob pressão através de uma elevatória, e a distribuição de água é realizada diretamente para os condutos secundários, e em qualquer trecho da rede o sentido do fluxo é conhecido (PORTO, 2001; TSUTIYA, 2006).

Já a rede classificada como malhada são formadas por várias tubulações principais que formam anéis ou malhas, de modo que, há a possibilidade de abastecer qualquer ponto da rede por mais de um caminho, o que proporciona uma maior flexibilidade em atender a demanda e manutenção da rede, com o mínimo de interrupções no fornecimento de água (PORTO, 2001; TSUTIYA, 2006).

2.3.7. Estação elevatória ou de recalque

Quando o assunto é sistema de abastecimento de água as estações elevatórias aparecem como uma das componentes essenciais, visto que, estão presentes na captação, adução, tratamento e distribuição de água (TSUTIYA, 2006).

Porto (2001), define como sendo o conjunto de tubulações, acessórios, bombas e motores que são utilizados para levar um certo volume de água, em um determinado espaço de tempo, de um reservatório inferior para um outro reservatório superior.

Elas são utilizadas em ocasiões que o escoamento por gravidade não é possível, ou seja, quando não existe cotas topográficas favoráveis para garantir que o fluxo do líquido seja do ponto mais alto para o ponto mais baixo, sendo necessário

injetar energia no fluido através de um sistema eletromecânico, como as bombas centrífugas, por exemplo (PORTO, 2001)

Em contrapartida, o uso intensivo de bombas no sistema de abastecimento de água, é fator determinante para os altos consumo de energia elétrica, o que consequentemente elevam o custo operacional das concessionárias de fornecimento de água a população (TSUTIYA, 2006).

As partes que compõe um sistema de recalque (estação elevatória), Porto (2001) divide em três, a saber:

- a) *Tubulação de sucção*, canalização que comunica o reservatório inferior à bomba, incluindo todas as suas conexões e acessórios (válvula de pé com crivo, registro, curvas, redução excêntricas, etc.;
- b) *Conjunto elevatório*, composto por um ou mais conjuntos motobomba;
- c) *Tubulação de recalque*, semelhante à tubulação de sucção, porém esta liga a bomba ao reservatório superior.

2.4. BOMBAS

Bomba é “uma máquina hidráulica capaz de elevar a pressão de um fluido, isto é, de lhe comunicar energia”, através de uma roda ou rotor a qual se localiza no corpo ou caixa da máquina, que gira ao ponto de lhe transferir uma aceleração centrífuga e consequentemente gera um aumento de pressão. (LENCASTRE, 1996 p. 349; PORTO, 2001).

Dependendo da maneira que ocorre a trajetória do líquido, no seu interior, as bombas são classificadas da seguinte maneira, a saber (PORTO, 2001):

- a) Bombas centrífugas ou de escoamento radial – neste tipo de bomba, o desenvolvimento da pressão ocorre fundamentalmente pela ação da força centrífuga. Nelas, o líquido bombeado entra axialmente pelo centro e sai radialmente pela periferia. São destinadas, geralmente, a vencer grandes alturas de elevação (PORTO, 2001; LENCASTRE, 1996);
- b) Bombas de escoamento misto ou diagonal – nessas a pressão é desenvolvida, em parte, pela força centrífuga e, em parte, pela ação da sucção das pás do rotor sobre o líquido. Neste tipo de bomba o líquido entra axialmente e sai em uma direção média entre axial e diagonal, ou seja, na

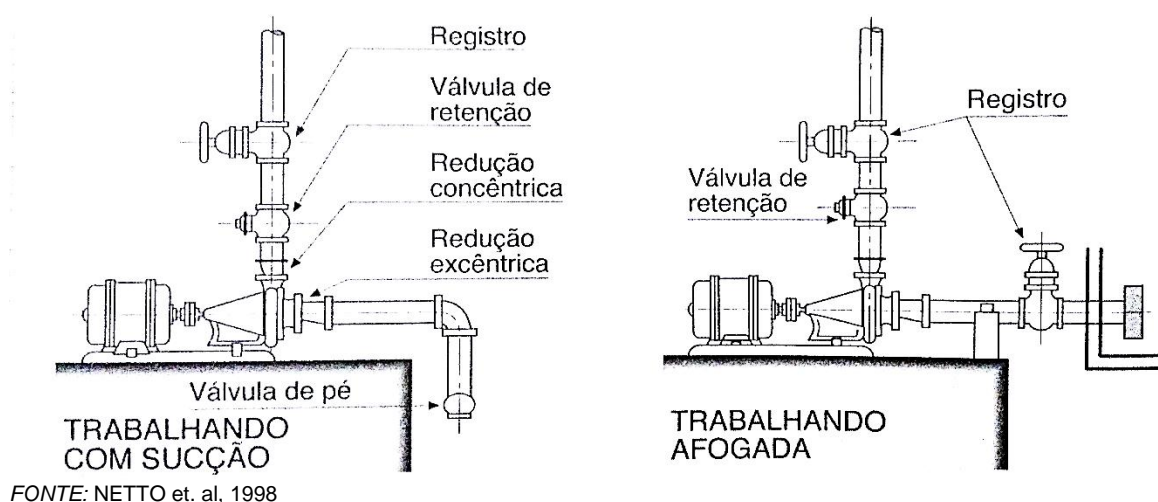
diagonal. São indicadas quando se pretende recalcar o líquido a alturas médias (PORTO, 2001; LENCASTRE, 1996);

- c) Bombas de escoamento axial – “o líquido entra axialmente e sai em movimento helicoidal em direção praticamente axial” (PORTO, 2001 p.133).

Estas adaptam-se bem a vazões altas e pequenas alturas.

Em um sistema elevatório, as bombas podem ser classificadas de duas formas, afogada e não afogada, a primeira é quando a bomba é instalada com seu nível abaixo do nível de água do reservatório de sucção. Já a segunda ocorre quando a bomba é fixada com seu nível acima do nível do reservatório, havendo assim uma sucção propriamente dita (PORTO, 2001; NETTO *et. al*, 1998). A figura abaixo detalha bem como é feita as duas instalações.

Figura 1 – Bombas trabalhando de forma afogada e não afogada.



No caso das bombas centrífugas, como sua aplicação é feita em diversos campos da engenharia, elas são fabricadas em vários modelos, permitindo que sua classificação seja feita sob vários critérios a saber (NETTO *et. al*, 1998):

- Movimento do líquido: sucção simples (rotor simples) e dupla sucção (rotor de dupla admissão);
- Admissão do fluido: radial; diagonal e helicoidal;
- Números de rotores ou estágios: um estágio (um rotor) e estágios múltiplos (dois ou mais rotores);
- Tipo de rotor: rotor fechado; semifechado; aberto e rotor a prova de entupimento;
- Posição do eixo: vertical; horizontal e inclinado;

- Pressão: baixa ($H_{\text{man}} \leq 15$ m); média (H_{man} de 15 a 50 m) e alta ($H_{\text{man}} \geq 15$ m).

2.4.1. Altura Total de Elevação e Altura Manométrica

Lencastre (1996) afirma que “a altura de elevação é o aumento de pressão que a bomba pode comunicar ao fluido”. Costuma exprimir-se em metros de coluna do líquido, no caso em estudo, metros de coluna de água (mca). Geralmente, seu símbolo é H_m .

Ou seja, para vencer um desnível topográfico o conjunto motobomba terá que imprimir ao fluido, determinada pressão que o mesmo possa vencer essa diferença de cotas, acrescidas das perdas de cargas tanto ao longo das tubulações de sucção e recalque, quanto nas peças especiais, como curvas, joelhos, válvulas, etc. (PORTO, 2001)

Esse desnível topográfico entre o nível de água dos reservatórios inferior e superior é conhecido como altura geométrica e é representado pela sigla H_g . Sendo expressa pela fórmula abaixo (NETTO *et. al*, 1998):

$$H_g = H_s + H_r \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

H_g = altura geométrica;

H_s = altura de sucção, isto é, altura do eixo da bomba sobre o nível inferior;

H_r = altura de recalque, ou seja, altura do nível superior em relação ao eixo da bomba.

A altura manométrica pode ser compreendida como a altura geométrica somada com todas as perdas de cargas ao longo de toda a tubulação (NETTO *et. al.*, 1998):

$$H_m = H_g + h_f \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

H_m = altura manométrica;

H_g = altura geométrica;

h_f = perda de carga.

2.4.2. Perda de Carga

Netto *et. al.* (1998) explica que ao ser transportado dentro de um tubo, qualquer líquido que seja, tende a perder energia, denominada de perda de carga, que se explica pelo atrito que existe entre o líquido e a parede do tubo.

Ainda Netto *et. al.* (1998) adverte que nem sempre as canalizações são projetadas e executadas com apenas um diâmetro e de forma retilínea. São necessárias a utilização de curvas e joelhos para o alcance da forma e tamanho total desejado, isso implica no aumento do atrito e causam choque entre as partículas do fluido, consequentemente, elevando a perda de carga.

Sendo assim, deve ser considerado as perdas a seguir:

- a) Perda por resistência ao longo dos tubos;
- b) Perdas locais, localizadas ou acidentais, que são as provocadas pelas peças especiais empregadas ao longo da canalização.

Para determinar as perdas de cargas ocorridas ao longo das tubulações Gomes (1999) e Netto *et. al.*, (1998) afirmam que para grandes diâmetros até 3500 mm e velocidades de escoamento de até 3 m/s, a fórmula de Hazen-Williams é a mais indicada.

$$hf = \frac{10,643 * Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,87}} * Leq \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

hf = perda de carga (m);

Q = vazão (m³/s);

C = coeficiente adimensional que depende da natureza das paredes do tubo;

D = diâmetro do tubo (m)

Leq = Comprimento Equivalente (m).

Esse coeficiente C da fórmula da Hazen-Williams, pode ser extraído da tabela abaixo:

Tabela 1 – Coeficientes C da fórmula de Hazen-Willians

TUBO	C
Aço corrugado (chapa ondulada)	60
Aço com juntas lock-bar, novos	130
Aço galvanizado (novos e em uso)	125
Aço rebitado, novos	110
Aço rebitado, em uso	85
Aço soldado, novos	120
Aço soldado, em uso	90
Aço soldado com revestimento especial, novos e em uso	130
Chumbo	130
Cimento-amianto	140
Cobre	130
Concreto, bom acabamento	130
Concreto, acabamento comum	120
Ferro fundido, novos	130
Ferro fundido em uso	90
Plástico	140

FONTE: GOMES (1999)

Já para a determinação da perda de carga ocorrida nas peças utilizadas (joelhos, válvulas, registros, reduções, etc.) é utilizada a equação geral apresentada abaixo (Porto, 2001):

$$h_f = K \frac{v^2}{2g} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

h_f = perda de carga localizada;

K = coeficiente de perda de carga;

v = velocidade (m/s)

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²)

Esse coeficiente K é determinado em laboratório através de experimento e pode ser estimado por meio da tabela abaixo:

Tabela 2 – Valores aproximados de K (perdas localizadas)

Peça	K	Peça	K
Ampliação gradual	0,30*	Junção	0,40
Bocais	2,75	Medidor Venturi	2,50**
Comporta aberta	1,00	Redução gradual	0,15*
Controlador de vazão	2,50	Saída de canalização	1,00
Cotovelo de 90°	0,90	Tê, passagem direta	0,60
Cotovelo de 45°	0,40	Tê, saída de lado	1,30
Crivo	0,75	Tê, saída bilateral	1,80
Curva de 90°	0,40	Válvula de ângulo aberta	5,00
Curva de 45°	0,20	Válvula de gaveta aberta	0,20
Curva de 22,5°	0,10	Válvula borboleta aberta	0,30
Entrada normal em canalização	0,50	Válvula-de-pé	1,75
Entrada de Borda	1,00	Válvula de retenção	2,50
Existência de pequena derivação	0,03	Válvula de globo aberta	10,00
		Velocidade	1,00



















* Com base na velocidade maior (seção menor)

** Relativa à velocidade na canalização

FONTE: NETTO et. al, 1998

Porém, existe outro método de determinação da perda de carga localizada, o que Netto *et. al.* (1998) define como método dos comprimentos virtuais ou equivalentes de singularidade. No qual, parte do princípio que as conexões podem ser substituídas por comprimentos equivalentes (Le), no momento do cálculo, que resultam na mesma perda de carga. Na busca do comprimento equivalente de singularidade para o aço galvanizado e ferro fundido, pode-se adotar as equações listadas na tabela abaixo:

Tabela 3 – Comprimentos Equivalentes de Singularidades para Aço Galvanizado e Ferro Fundido

			(n° de diâmetros)
Cotovelo 90° raio longo	$Le = 0,068 + 20,96 D$		22
Cotovelo 90° raio médio	$Le = 0,114 + 26,56 D$		28,5
Cotovelo 90° raio curto	$Le = 0,189 + 30,53 D$		34
Cotovelo 45°	$Le = 0,013 + 15,14 D$		15,4
Curva 90° R/D = 1,5	$Le = 0,036 + 12,15 D$		12,8
Curva 90° R/D = 1	$Le = 0,115 + 15,53 D$		17,5
Curva 45°	$Le = 0,045 + 7,08 D$		7,8
Entrada normal	$Le = -0,23 + 18,63 D$		14,7
Entrada de Borda	$Le = -0,05 + 30,98 D$		30,2
Registro de gaveta aberto	$Le = 0,010 + 6,89 D$		7
Registro de globo aberto	$Le = 0,01 + 340,27 D$		342
Registro de ângulo aberto	$Le = 0,05 + 170,69 D$		171,5
Tê 90° passagem direta	$Le = 0,054 + 20,90 D$		21,8
Tê 90° saída lateral	$Le = 0,396 + 62,32 D$		69
Tê 90° saída bilateral	$Le = 0,396 + 62,32 D$		69
Válvula de pé com crivo	$Le = 0,56 + 255,48 D$		265
Saída de canalização	$Le = -0,05 + 30,98 D$		30,2
Válvula de retenção, leve	$Le = 0,247 + 79,43 D$		83,6

FONTE: MARTINS (2004)

2.4.3. Potência dos Conjuntos Elevatórios

O sistema projetado, formado pela combinação da bomba com o motor que lhe fornece energia, deverá transportar o líquido de um ponto mais baixo, para outra mais

elevado, vencendo essa diferença de cota como também as perdas de cargas em toda a canalização. Para tal, é necessário que o motor exerça uma potência determinada pela equação abaixo (NETTO *et. al.*, 1998):

$$P = \frac{\gamma * Q * H_{man}}{75 * \eta} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

P = Potência (cv)

γ = peso específico do líquido a ser elevado, em N/m³;

Q = vazão, em m³/s;

H_{man} = altura manométrica em m;

η = rendimento global do conjunto elevatório;


$\eta = \eta_{motor} * \eta_{bomba}$

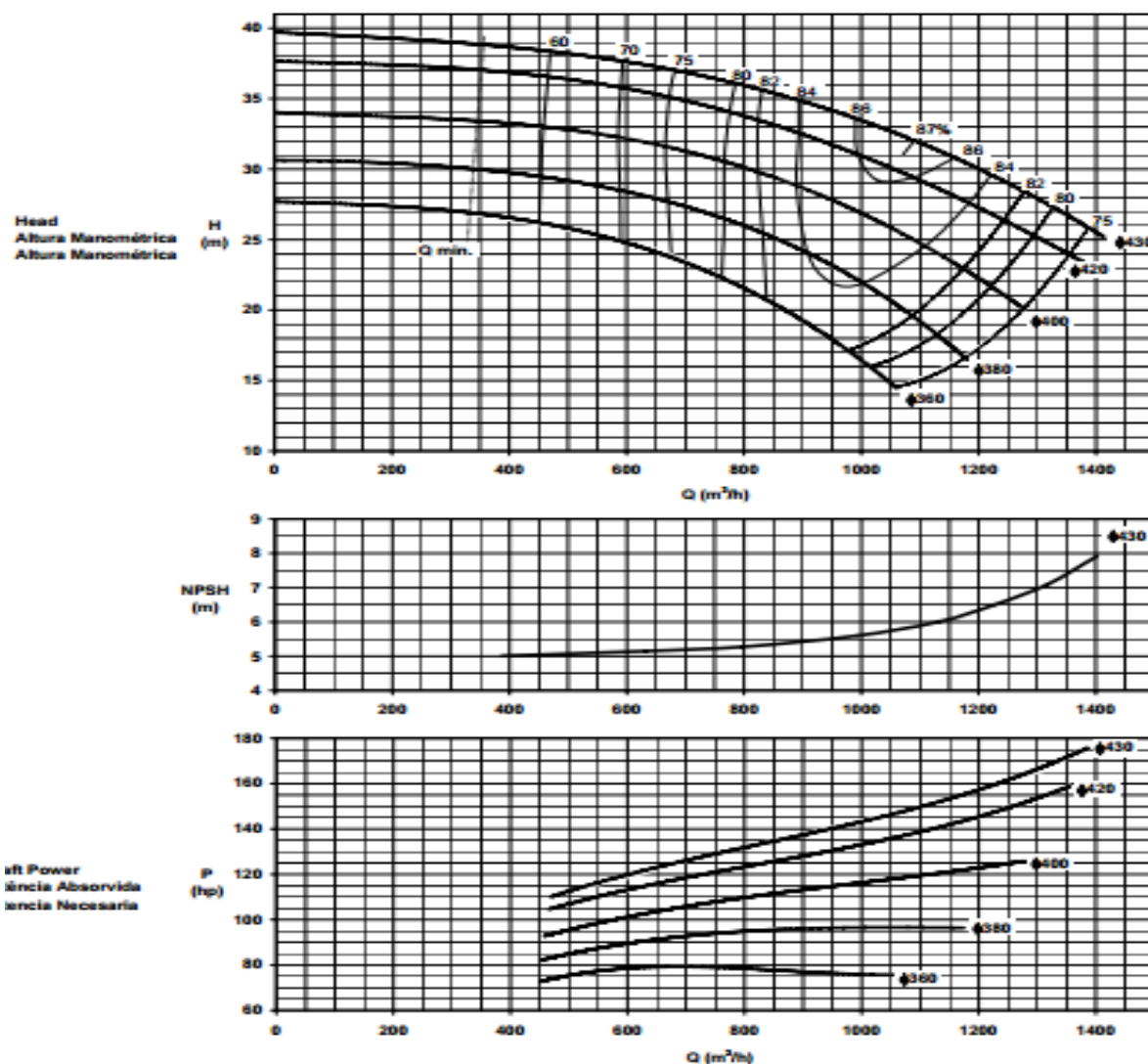
2.4.1. Curvas Características das Bombas Centrífugas

A curva característica de bomba, é obtida a partir de ensaios realizados em laboratórios que resultam em dados, como: altura manométrica, rendimento, potência absorvida. Com essas informações é possível traçar um gráfico fixando no eixo horizontal a vazão e variando no eixo vertical os dados citados acima. (NETTO *et. Al.*,1998) como exemplo, tem-se a figura 2 apresentada abaixo.

Tsutiya (2006), complementa afirmando que muitos fabricantes fornecem essas curvas com diversos tamanhos de diâmetros nos quais uma determinada bomba pode operar. E o referido autor ainda adverte que o conhecimento pleno dessa curva é de suma importância, pois elas são fabricadas para elevar um líquido, a uma determinada vazão, para uma altura manométrica com o maior rendimento possível. E quando o projetista se afasta dessa curva o rendimento tende a cair.

Figura 2 – Exemplo de uma curva de bomba.

Pump Type Bomba Tipo Tipo de Bomba	KSB MEGANORM	Size Tamanho Tamanho	300-400	60 hz	
Project - No. Obra nº Obra - nº	Item - No. Item nº Pos. nº	Nominal Speed Velocidade Nominal Velocidad Nominal			
		1160 rpm			



FONTE: Catálogo KSB (2005)

2.4.2. Cavitação

NETTO *et. al*, (1998), explicam que quando o ponto de ebulição da água é alcançado em determinada pressão, existe a formação de bolsas de vapor dentro de condutos e/ou peças, visto que, a água começa a entrar no estado de vapor. Ao processo de formação e destruição destas bolsas de ar é denominado, pelo referido autor, como cavitação. Oliveira (s.d), sustenta tal argumentação quando define a

cavitação como sendo o fenômeno de vaporização de um líquido pela redução da pressão, durante seu movimento a uma temperatura constante.

2.4.3. NPSH requerido e NPSH disponível

NPSH do inglês “Net Positive Suction Head” é a sigla universalmente adotada para designar a energia disponível na sucção, em outras palavras, seria a carga positiva e efetiva na sucção (Netto *et. al.*, 1998).

Na análise do NPSH, existem dois valores a serem considerados, a saber:

- NPSH requerido – é a carga energética líquida requerida pela bomba para promover a sucção. Este é uma característica hidráulica fornecida pelo fabricante (MELLO; YANAGI, 2001)
- NPSH disponível – diz respeito à carga energética líquida e disponível na instalação, ou seja, refere-se a uma característica das instalações de sucção e deve pode ser calculada através da fórmula abaixo (MELLO; YANAGI, 2001 e NETTO *et. al.*, 1998):

$$NPSH_{disponível} = \pm H + \frac{P_a - P_v}{\gamma} - hf \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

H = carga ou altura de água na sucção: positiva quando a bomba está afogada e negativa em caso contrário (m);

P_a = pressão atmosférica no local (Pa)

P_v = pressão de vapor (Pa) (ver Tab. 4)

γ = peso específico (N/m³)

H_f = soma de todas as perdas de carga na sucção (m).

Para o bom funcionamento da bomba é necessário que a energia disponível na instalação para a sucção deve ser maior que a energia requerida pela bomba, ou seja:

$$NPSH_{disponível} \geq NPSH_{requerido}$$

Tabela 4 – Pressão de vapor e peso específico da água em diferentes temperaturas.

Temperatura °C	Peso específico γ (N/m ³)	Pressão de Vapor (Pa)
15	9798	1703
20	9789	2336
25	9777	3167
30	9764	4491
30	9730	7375

FONTE: Mello; Yagini, 2001 e Netto *et. al.* 1998)

2.4.4. Escolha da Bomba

O processo de escolha de um conjunto motor bomba é direcionado a partir de determinadas condições de operação, manutenção e também visando garantir uma melhor economia, tanto na instalação quanto no funcionamento do conjunto. Para isso, é necessário o conhecimento de duas das principais características de operação de uma bomba que é a vazão de bombeamento e a altura manométrica. Tendo em vista que, na escolha de uma bomba, o projetista sempre está interessado em instalar um sistema pressurizado capaz de garantir a vazão desejada de um fluido para uma determinada altura. (NETTO, *et. al.*,1998; TSUTIYA, 2005)

3. METODOLOGIA

O trabalho em pauta teve como objetivo avaliar a eficiência do sistema de bombeamento da ETA-006, em Palmas – TO, particularmente as bombas que trabalham na captação de água bruta.

Para alcançar o objetivo supracitado, o trabalho seguiu metodologicamente os passos a seguir:

Foi elaborado e enviado um documento para a empresa Odebrecht Ambiental | Saneatins, a fim de obter a devida autorização para a coleta e uso dos dados, abaixo listados:

- Há quanto tempo as bombas não são trocadas;
- Periodicidade nas manutenções;
- Período de funcionamento das bombas;
- Potência instalada;
- Vazão de demanda;
- Diâmetro de sucção;
- Diâmetro de recalque;
- Altura de Sucção;
- Altura de Recalque.

Em resposta a esse documento a concessionário proporcionou uma visita as instalações internas da Estação de Tratamento de Água – ETA-006, em Palmas – TO.

No dia 04 de agosto de 2016 foi realizada uma visita *in loco*, acompanhada pelo Gerente de Manutenção Eletromecânica da ETA-006, com o intuito de conhecer o funcionamento do local, objeto de estudo do presente trabalho. A visita compreendeu em apresentar o sistema de captação de água bruta, desde a entrada de água até o início do processo de tratamento, passando pelo poço de sucção e a casa de bombas. Sendo assim, foi possível a caracterização da estrutura que está instalada no momento, com todas as suas particularidades de execução e instalação.

No decorrer dessa visita, foram capturadas imagens, com o auxílio de um celular, desde a captação até o ponto de descarga da tubulação de recalque, evidenciando os principais pontos da instalação, como: peças utilizadas na sucção; tubulação; local e forma de assentamento das bombas; estrutura da casa de bombas; tubulação de recalque e as peças especiais utilizadas.

Nesta visita foi fornecido alguns dados como: vazão demandada; periodicidade de manutenção; dados das bombas; diâmetro de recalque; diâmetro de sucção, curvas características das bombas que serviram para embasar o presente estudo.

Após ter conhecido o local através da visita e com as imagens capturadas, foi possível realizar uma caracterização, identificando as principais peculiaridades do local, começando no manancial, passando pelo canal, chegando ao reservatório de sucção, posteriormente a casa de bombas e findando no ponto de descarga da tubulação de recalque.

Em posse dos dados cedido pela empresa de saneamento, o trabalho prosseguiu para a etapa dos cálculos, ou seja, foi calculado e identificado como se encontra a estrutura de bombeamento instalada atualmente. Assim, possibilitou o reconhecimento da eficiência e os possíveis pontos em que há a oportunidade de alteração.

As etapas de cálculos foram conforme a seguinte sequência: primeiramente foi encontrada a altura geométrica, utilizando a equação apresentada abaixo:

$$H_g = H_s + H_r \quad \text{Equação 1}$$

Logo após, foram determinadas as perdas de cargas, tanto a perda ao longo da tubulação, quanto as localizadas. Para o cálculo da perda ao longo da tubulação foi aplicada a fórmula de Hazen-Williams:

$$hf = \frac{10,643 * Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,87}} * Leq \quad \text{Equação 3}$$

Para o cálculo das perdas de carga localizadas, ou seja, aquela provocada pelo encurtamento da seção da tubulação ou pela mudança de direção (NETTO *et. al*, 1998), através das peças utilizadas na canalização de sucção e de recalque (válvula de pé com crivo, curvas, redução, etc.) foi usado o método de comprimento equivalente de singularidade (Tabela 3).

Isso possibilitou ser conhecida a altura manométrica através da fórmula abaixo:

$$H_m = H_g + hf \quad \text{Equação 2}$$

A etapa seguinte consistiu em conhecer o rendimento o qual os conjuntos motobombas estão trabalhando, para tal foi aplicada a fórmula abaixo:

$$P = \frac{\gamma * Q * H_{man}}{75 * n} \quad \text{Equação 4}$$

Posteriormente, foi projetado uma nova estrutura (cálculo de novas bombas, instalação de forma afogada ou não afogada, etc.), quando algumas decisões foram

tomadas, como: qual será o número de bombas, qual será sua potência, entre outros. Visando, a garantia de um projeto com maior eficiência.

Nesse novo projeto, as etapas seguidas foram as mesmas apresentadas anteriormente, ou seja, cálculo da altura geométrica, perdas de cargas, altura manométrica e potência, respectivamente, acrescida do cálculo do NPSH disponível, através da equação 6 apresentada abaixo. Contudo, no intuito de conhecer a potência ideal para o novo sistema, que possa recalcar a mesma vazão do sistema anterior, porém com maior rendimento. :

$$NPSH_{disponível} = \pm H + \frac{P_a - P_v}{\gamma} - hf \quad \text{Equação 6}$$

Verificou-se também os catálogos dos fabricantes de bombas disponíveis na internet, após análise das curvas características, foi escolhida a bomba capaz de atender as necessidades do novo projeto.

Com as duas situações em mãos, o passo seguinte compreendeu em comparar os dois projetos, o implantado pela concessionária com o recalculado, proposto nesse estudo. Essa comparação ocorreu de tal forma que permitiu ressaltar os principais aspectos de um sistema de bombeamento (quantidade de bombas, forma de instalação, potência instalada, rendimento, etc.)

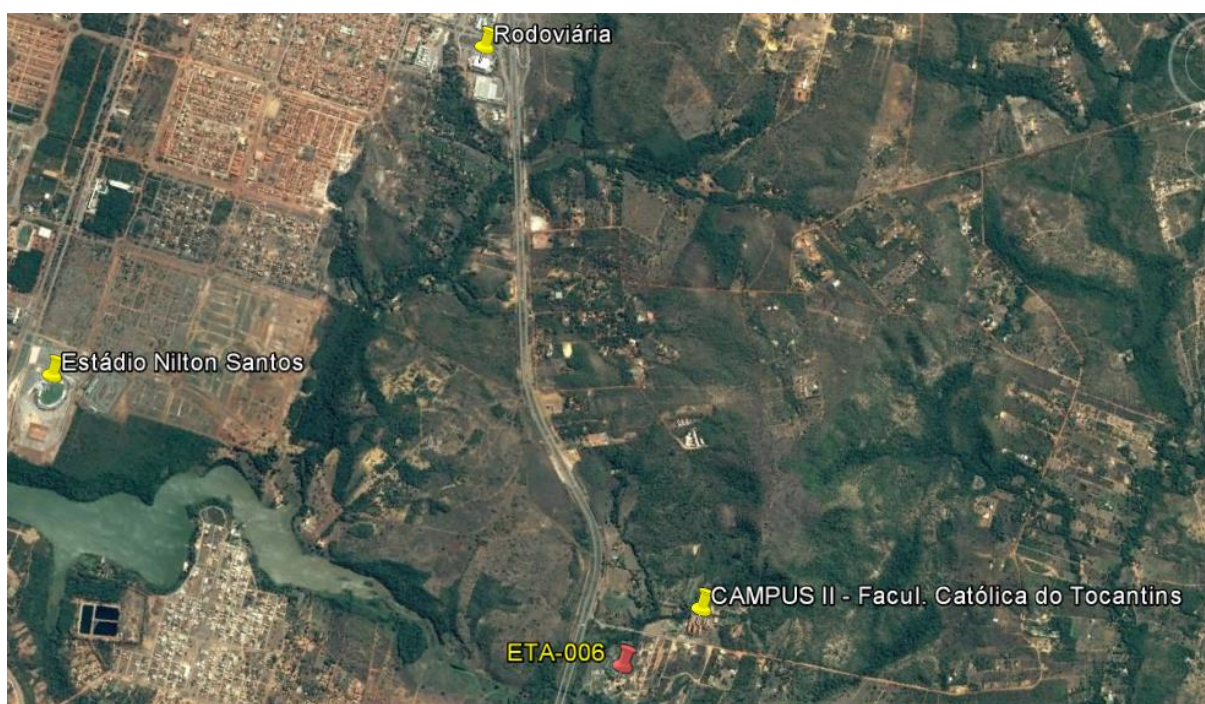
Por fim, foram apresentados os pontos positivos que o novo projeto apresentou, enfatizando onde a concessionária poderá investir de forma a otimizar o trabalho de bombeamento na Estação de Tratamento de Água – ETA-006.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Visita *in loco*

A Estação de Tratamento de Água – ETA 006, está localizada nas margens da TO-050, conforme ilustra a figura 3. Atualmente é administrada pela empresa Odebrecht|Seneatins, sua produção é responsável pelo abastecimento de cerca de 95% da População do Plano Diretor de Palmas/TO, segundo os dados fornecidos pela empresa supracitada.

Figura 3 – Imagem área mostrando a localização da Estação de Tratamento de Água.



FONTE: Google Earth (acesso em 09. Ago. 2016)

No dia 05 de agosto de 2016, foi realizada uma visita *in loco*, acompanhada pelo Gerente de Manutenção Eletromecânica da ETA-006, na qual foi possível conhecer as dependências internas do local a ser realizado a pesquisa.

Durante a visita foi apresentado o conjunto de sistemas que formam a Estação de Tratamento de Água, começando pela pequena barragem feita no manancial (Ribeirão Taquarussu), que serve para elevar, naquele local, a lâmina d'água do ribeirão. Tal elevação possibilita um melhor deslocamento da água do seu curso natural para o poço de sucção da estação elevatória de água bruta, conforme mostra a figura 4.

Figura 4 – Foto do barragem construída no Ribeirão Taquarussu.



FONTE: Autor, 2016

Para ter uma conexão entre o manancial e o reservatório de sucção, foi construído um canal de ligação, que também serve para diminuir a velocidade de escoamento, visto que o canal foi construído com uma grande quantidade de curvas e algumas barreiras de concreto.

Na entrada deste, foram instaladas duas grelhas em série (Figuras 5 e 6), a primeira com área de passagem maior que a segunda, com o objetivo de filtrar os materiais suspensos e sujeiras (galhos, folhas, lixo), capazes de prejudicar o funcionamento da bomba se estes tiverem contato com o interior da mesma.

Figura 5 – Primeira grelha de filtragem.



FONTE: Autor, 2016

Figura 6 – Segunda grelha de filtragem.



FONTE: Autor, 2016

No fim do canal de chamada existe o poço de sucção com 9,80 m de comprimento e 12,70 m de largura e aproximadamente 6,00 m de profundidade. Neste reservatório pôde-se identificar que na tubulação de sucção não existe a Válvula de Pé com Crivo, que tem a função de impedir o retorno do líquido, como também não permitir que sólidos possam adentrar para o interior da bomba.

É válido salientar que existem duas descargas de tubulações que desagüam no reservatório de forma livre, causando uma agitação na lâmina d'água formando bolhas de ar, capazes de entrar na tubulação de sucção e chegar no interior da bomba podendo causar o fenômeno conhecido como cavitação, conforme mostra a figura 7.

Figura 7 – Reservatório de e tubulação de sucção



FONTE: Autor, 2016

Após o reservatório de sucção existe a Casa de Bombas, com as dimensões em planta de, 17,00 m de comprimento por 9,50 m de largura. Nela estão instaladas 3 bombas da marca Ingersol-Dresser Pumps, modelo 12 LN 17 A, vazão de 900 m³/h, com motores de 125 cv cada uma. Quanto a locação de cada bomba elas estão a 4,00 m de distância entre os seus eixos (Figura 8).

FIGURA 8 – Bombas da Elevatória de Água Bruta.

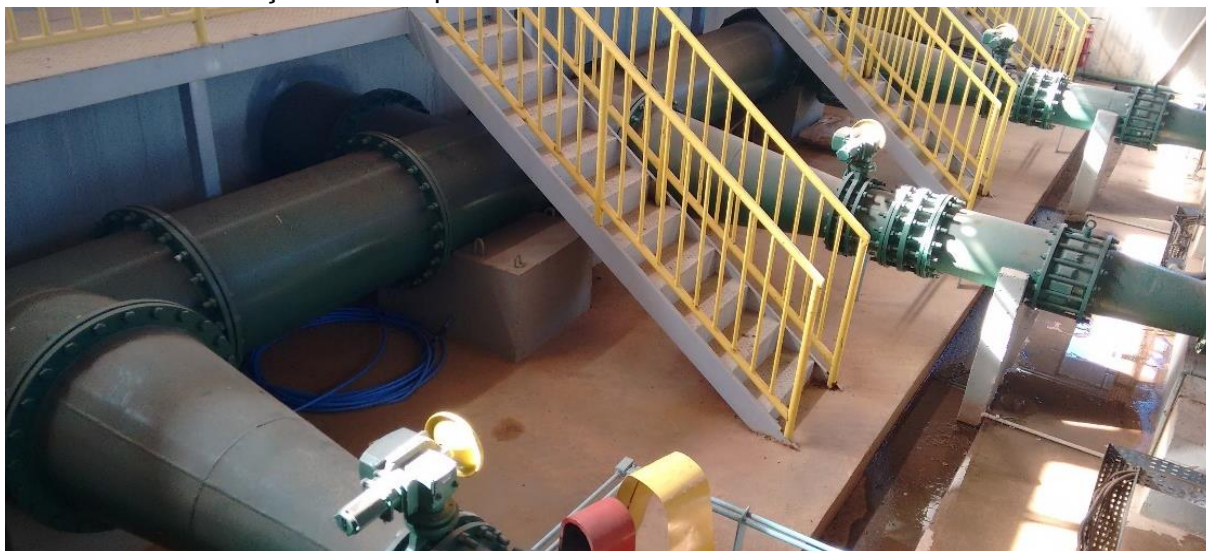


FONTE: Autor, 2016

O diâmetro da tubulação de sucção é de 1000 mm com um comprimento de aproximadamente 6 m, nesta foram utilizados um joelho de 90 graus e uma redução excêntrica, visto que o nível das bombas está acima do nível do reservatório de sucção.

Na casa de bombas as tubulações de recalque de 900 mm foram reunidas em apenas um tubo através de um barrilhete no qual foi possível identificar a utilização de tês, conforme mostra a figura 9. O comprimento total da tubulação de recalque é de aproximadamente 235 m.

FIGURA 9 – Tubulação de recalque.



FONTE: Autor, 2016

A visita se findou, conhecendo o local de descarga da tubulação de recalque que começa na saída da casa de bombas e termina em um canal que dá início ao processo de tratamento da água conforme mostra a figura 10.

FIGURA 10 – Local de descarga da tubulação de recalque.



FONTE: Autor, 2016

4.2. Sistema Atual

O sistema atual conta com 3 bombas da marca Ingersol-Dresser Pumps, modelo 12 LN 17 A, com vazão de 900 m³/h, com potência de 125 cv. Conforme dados cedidos pela concessionária, a vazão demandada é de 900 l/s ou 3.240 m³/h a altura de sucção é de 2,00 m e altura de recalque é de 12,00 m, com comprimento 6 m e 235 m, de sucção e recalque, respectivamente.

Através desses dados foi possível conhecer o rendimento o qual os conjuntos motobombas estão trabalhando, aplicando os cálculos descritos abaixo

No primeiro momento verificou-se a altura geométrica utilizando a equação abaixo:

$$H_g = H_s + H_r$$

Onde:

H_g = altura geométrica;

H_s = altura de sucção;

H_r = altura de recalque.

Desse modo, tem-se:

$$H_g = 2,00 + 12,00 \therefore H_g = 14,00m$$

Logo após foi calculado as perdas de cargas ao longo da tubulação, por meio das fórmulas apresentadas por Netto *et. al.* (1998). Sendo que primeiramente foi calculada as perdas de cargas locais, aquelas que são provocadas pelo emprego de peças especiais, através do método denominado de comprimento virtual ou equivalente de singularidade (L_e) utilizando as equações disponíveis na tabela 3 apresentada por Martins (2004), conforme a tabela 5 abaixo:

Tabela 5 – Cálculo do comprimento equivalente (Projeto Atual).

SUCÇÃO Ø 1000 mm				
PEÇA	QUANT.	DIÂM. (m)	EQUAÇÃO	COMPRIMENTO EQUIVALENTE (L_e) (m)
Cotovelo de Raio Médio	1,00	1,00	$L_e=0,114+26,56D$	26,67
Comprimento de Sucção (L_s)				6,00
TOTAL COMPRIMENTO EQUIV. DE SUCÇÃO				32,67
RECALQUE Ø 900 mm				
PEÇA	QUANT.	DIÂM. (m)	EQUAÇÃO	COMPRIMENTO EQUIVALENTE (L_e) (m)
Válvula de Retenção	1,00	0,90	$L_e=0,247+79,43D$	71,73
Registro de Gaveta Aberto	1,00	0,90	$L_e=0,010+6,89D$	6,21
Tê 90° saída lateral	2,00	0,90	$L_e=0,396+62,32D$	112,57
Curva de 90°	3,00	0,90	$L_e=0,036+12,15D$	32,84
Comprimento de Recalque (L_r)				235,00
TOTAL COMPRIMENTO EQUIV. DE RECALQUE				458,36

FONTE: Autor

Após conhecer os comprimentos equivalente de sucção e recalque, foi calculado a perda de carga total ao longo da tubulação utilizando a fórmula de Hazen-Williams conforme adverte Gomes (1999) e Netto *et. al.* (1998), que para diâmetros até 3500 mm essa é a fórmula mais indicada.

$$hf = \frac{10,643 * Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,87}} * Leq$$

Onde:

hf = perda de carga (m);

Q = vazão (m³/s);

C = coeficiente adimensional que depende da natureza das paredes do tubo;

D = diâmetro do tubo;

Leq = Comprimento Equivalente.

Para esse cálculo foi utilizado $C=90$ (Ferro fundido em uso) conforme tabela 1 apresentada por Gomes (1999) e a vazão de 900 l/s foi dividida pelo número de bombas, sendo assim, tem-se que:

$$hf = \frac{10,643 * 0,30^{1,852}}{90^{1,852}} * \left(\frac{32,67}{1,00^{4,87}} + \frac{458,36}{0,90^{4,87}} \right) \therefore hf = 0,22 \text{ m}$$

Posteriormente calculou-se a altura manométrica (Hm), que pode ser compreendida como a altura geométrica somada com todas as perdas de cargas ao longo de toda a tubulação (NETTO *et. al.*, 1998), para tanto aplicou-se a fórmula abaixo:

$$Hm = Hg + hf \therefore Hm = Hs + Hr + hf$$

Onde:

Hm = altura manométrica;

Hg = altura geométrica (soma das alturas de sucção e recalque);

Hs = altura de sucção;

Hr = altura de recalque;

hf = perda de carga.

Logo, tem-se que:

$$Hm = 2,00 + 12,00 + 0,22 \therefore Hm = 14,22 \text{ m}$$

Com o conhecimento da altura manométrica e com emprego da fórmula descrita abaixo foi possível identificar qual o rendimento em que as bombas estão trabalhando, considerando que a potência de cada bomba é de 125 cv

$$P = \frac{\gamma * Q * H_{man}}{75 * n} \therefore n = \frac{\gamma * Q * H_{man}}{75 * P}$$

Onde:

P = potência em cv

γ = peso específico do líquido a ser elevado, em N/m³;

Q = vazão, em m^3/s ;

H_{man} = altura manométrica em m;

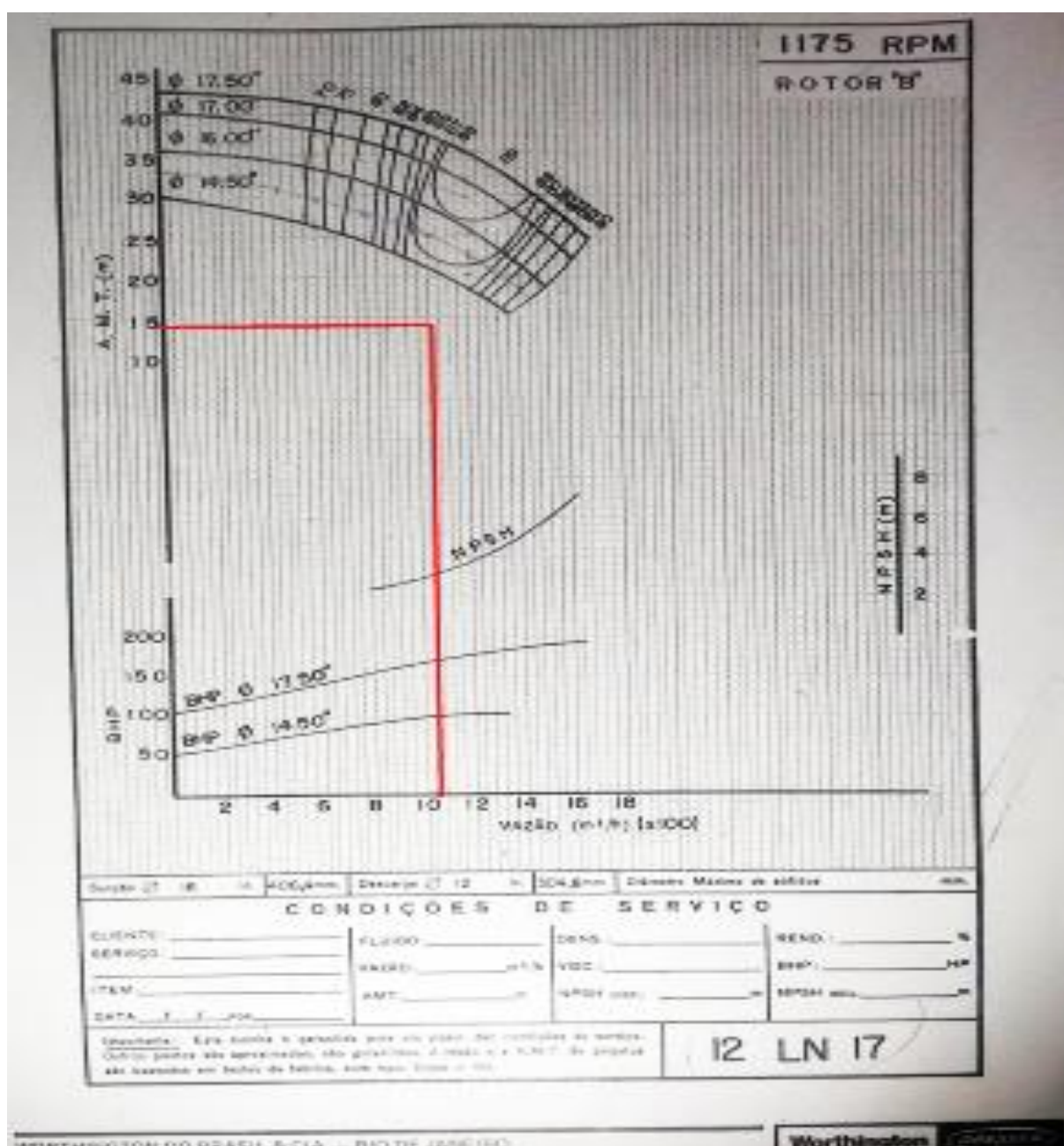
η = rendimento global do conjunto elevatório;

Desse modo, tem-se:

$$n = \frac{\gamma * Q * H_{man}}{75 * P} \therefore n = \frac{1000 * 0,30 * 14,22}{75 * 125} \therefore n = 45,50\%$$

Isso torna-se mais evidente quanto confronta-se a vazão de uma bomba (1080 m^3/h) com a altura manométrica de 14,22 m na curva característica da mesma, conforme figura 11, mostrada abaixo.

FIGURA 11 – Curva característica da bomba do sistema atual



O que demonstra que com essa vazão e altura monométrica a bomba trabalha com um rendimento bem abaixo do ideal.

4.3. Novo Sistema

Para concepção do novo sistema, utilizou-se as mesmas condições demandas do sistema atual, ou seja, a vazão bombeada é de 900 l/s, porém optou-se por utilizar 2 bombas principais mais 1 de reserva, conforme recomenda a NBR 12214/92, instalada de forma afogada a uma profundidade de 3 m do nível da água do reservatório de sucção.

O novo projeto foi idealizado aproveitando o máximo dos tubos utilizados atualmente, visando garantir um menor custo de implantação. Sendo assim foram feitas as alterações no diâmetro de sucção, na entrada da tubulação de recalque e foi calculado uma potência ideal das bombas, conforme os cálculos demonstrado abaixo.

Primeiramente foi calculado o diâmetro ideal de sucção através da equação da continuidade, considerando vazão (Q) igual a 900 l/s e velocidade igual a 1,5 m/s que é a velocidade máxima que a NBR 12214/92 recomenda para tubos acima de 400 mm.

Cálculo do diâmetro de sucção:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}}$$

Onde:

D = diâmetro (m);

Q = vazão (m³/s);

v = velocidade (m/s).

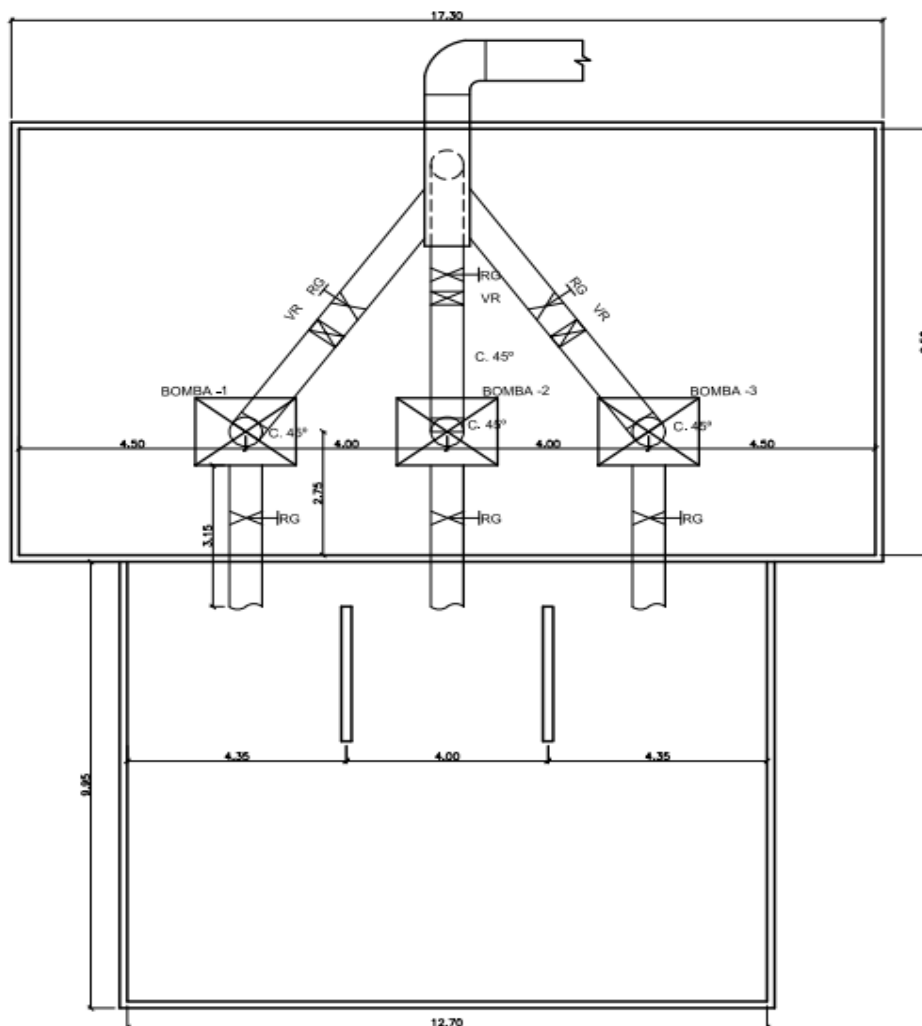
Logo, tem-se que:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,90}{\pi * 1,5}} \therefore D = 0,874 \text{ m ou } 874 \text{ mm}$$

Como 874 mm não é um diâmetro comercial, utilizou-se 900 mm para o diâmetro de sucção. Tendo em vista que a norma exige no mínimo duas bombas, utilizando a equação de área de um círculo, calculou-se o diâmetro para a tubulação de cada bomba através da equivalência de área, ou seja:

$$\frac{\frac{\pi * 0,90^2}{4}}{2} = \frac{\pi * D^2}{4} \therefore D = 0,636 \text{ m ou } 636 \text{ mm}$$

FIGURA 12 – Layout da nova estrutura.



FONTE: Autor, 2016

Novamente o diâmetro utilizado foi o superior comercial, nesse caso 650 mm. Dessa forma, a configuração de layout na casa de bombas ficou conforme a figura 12 apresentada abaixo.

Logo após foi calculado as perdas de cargas ao longo da tubulação, por meio das fórmulas apresentadas por Netto *et. al.* (1998). Sendo que primeiramente foi calculada as perdas de cargas locais, aquelas que são provocadas pelo emprego de peças especiais, por meio do método denominado de comprimento virtual ou equivalente de singularidade (L_e) utilizando as equações disponíveis na tabela 3 apresentada por Martins (2004), conforme a tabela 6 abaixo:

Tabela 6 – Cálculo do comprimento equivalente (Novo Projeto).

SUCÇÃO Ø 650 mm				
PEÇA	QUANT.	DIÂMETRO (m)	EQUAÇÃO	COMPRIMENTO EQUIVALENTE (Le) (m)
Registro de Gaveta Aberto	1,00	0,65	$Le = 0,010 + 6,89D$	4,49
Comprimento de Sucção (Ls)				3,15
TOTAL COMPRIMENTO EQUIV. DE SUCÇÃO				7,64
RECALQUE Ø 650 mm				
PEÇA	QUANT.	DIÂMETRO (m)	EQUAÇÃO	COMPRIMENTO EQUIVALENTE (Le) (m)
Válvula de Retenção	1,00	0,65	$Le = 0,247 + 79,43D$	51,88
Registro de Gaveta Aberto	1,00	0,65	$Le = 0,010 + 6,89D$	4,49
Cotovelo 45°	1,00	0,65	$Le = 0,013 + 15,14D$	9,85
Comprimento de Recalque (Lr)				6,15
TOTAL COMPRIMENTO EQUIV. DE RECALQUE				72,37
RECALQUE Ø 900 mm				
PEÇA	QUANT.	DIÂMETRO (m)	EQUAÇÃO	COMPRIMENTO EQUIVALENTE (Le) (m)
Registro de Gaveta Aberto	1,00	0,90	$Le = 0,010 + 6,89D$	6,21
Curva de 90°	3,00	0,90	$Le = 0,036 + 12,15D$	32,84
Comprimento de Recalque (Lr)				236,00
TOTAL COMPRIMENTO EQUIV. DE RECALQUE				275,05

FONTE: Autor

Após conhecer os comprimentos equivalente de sucção e recalque, calculou-se a perda de carga total ao longo da tubulação utilizando a fórmula de Hazen-Williams conforme adverte Gomes (1999) e Netto *et. al.* (1998), que para diâmetros até 3500 mm essa é a fórmula mais indicada.

Para tanto, admitiu-se que a vazão seria 450 l/s e coeficiente C igual a 90 (ferro fundido em uso), visto que, a maior parte da tubulação não será trocada.

Dessa forma, tem-se que:

$$hf = \frac{10,643 * 0,45^{1,852}}{90^{1,852}} * \left(\frac{7,64}{0,65^{4,87}} + \frac{72,37}{0,65^{4,87}} + \frac{275,05}{0,90^{4,87}} \right) \therefore hf = 0,65 \text{ m}$$

Após o cálculo da perda de carga verificou-se qual seria a nova altura manométrica (*Hm*), visto que nesse novo projeto a cota de assentamento das bombas está a 3 m de profundidade em relação ao nível da água do reservatório, ou seja, a bomba trabalhará de forma afogada. Com isso a altura de recalque passa a ser 14 m e a altura de sucção torna-se 3 m. Para tanto, aplicou-se a fórmula de altura manométrica conforme apresentada abaixo.

$$Hm = Hg + hf \therefore Hm = Hs + Hr + hf \therefore Hm = \pm Hs + Hr + hf$$

$$Hm = -3,00 + 14,00 + 0,65 \therefore Hm = 11,65 \text{ m}$$

Com o conhecimento da altura manométrica e considerando um rendimento global de 75% empregou-se a fórmula descrita abaixo, sendo possível conhecer a potência ideal de uma bomba para recalcar a vazão demanda atualmente.

$$P = \frac{\gamma * Q * H_{man}}{75 * \eta} \therefore P = \frac{1000 * 0,45 * 11,65}{75 * 0,75} \therefore P = 93,20 \cong P = \mathbf{100\ cv}$$

Em seguida verificou-se o NPSH disponível, conforme os cálculos demonstrados abaixo:

$$NPSH_{disponível} = \pm H + \frac{P_a - P_v}{\gamma} - hf \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

H = carga ou altura de água na sucção: positiva quando a bomba está afogada e negativa em caso contrário (m);

P_a = pressão atmosférica no local (Pa)

P_v = pressão de vapor (ver Tab. 4)

γ = peso específico (N/m³)

H_f = soma de todas as perdas de carga na sucção (m).

Para a realização desse cálculo, foi considerado uma temperatura de 25° C e uma pressão atmosférica de 100800 Pa (Palmas – TO), conforme dados do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais – INPE. E para a perda de carga na sucção (h_f) utilizou-se os dados anteriormente encontrados com o cálculo da perda de carga total, porém desconsiderou a tubulação de recalque.

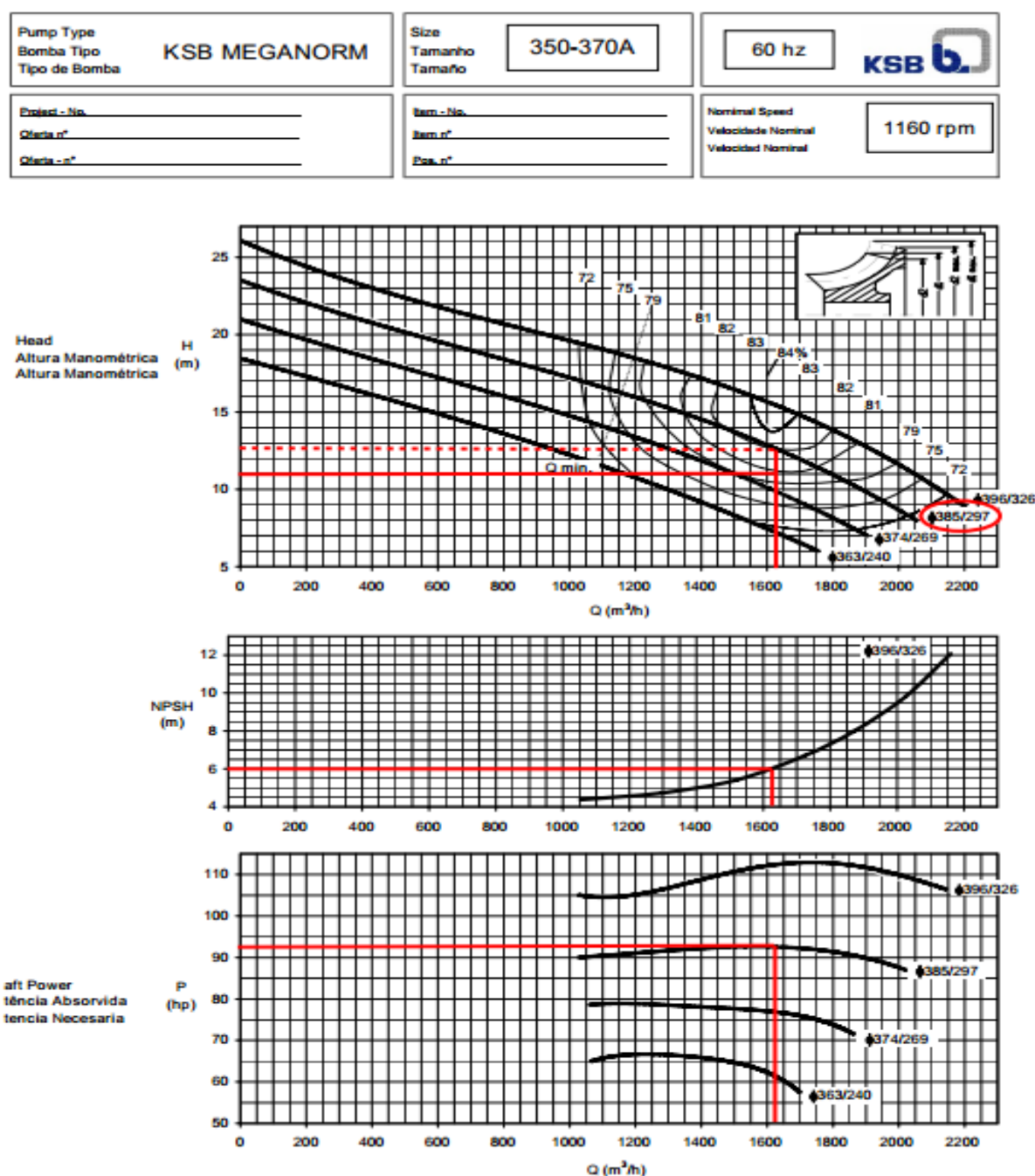
Dessa forma, tem-se que:

$$NPSH_{disponível} = 3 + \frac{100800 - 3167}{9777} - \frac{10,643 * 0,45^{1,852}}{90^{1,852}} * \left(\frac{7,64}{0,65^{4,87}} \right) \therefore$$

$$NPSH_{disponível} = \mathbf{12,95\ m}$$

Posteriormente, foi feita uma busca na internet de catálogos fornecidos por fabricantes, visando encontrar uma bomba capaz de atender à necessidade do novo sistema. Para isso, foi considerado novamente os dados de vazão e altura manométrica necessária. Essa busca resultou na escolha da bomba da Marca KSB tipo Meganorm, Tamanho 350-370A, Velocidade Nominal de 1160 rpm conforme a curva característica apresentada abaixo na figura 13.

Figura 13 – Curva característica da bomba escolhida.



FONTE: Catálogo KSB

Na figura acima foi identificado o ponto de operação conforme a vazão de 450 l/s ou 1620 m³/h. O que resultou em uma bomba de aproximadamente 94 hp muito próximo da potência encontrada a partir dos cálculos sugeridos por Netto *et. al.*, 1998.

Com a bomba escolhida e conhecendo a curva característica da mesma, foi possível montar o gráfico ilustrando duas bombas trabalhando em paralelo. Para tal manteve-se a mesma altura manométrica e dobrou-se a vazão, já que as bombas são iguais (Netto *et. al.*, 1998).

Somado a isso, montou-se também a curva característica do sistema, com a vazão em função da altura manométrica, para isso foi utilizado a equação demonstrada abaixo:

$$Hm = hg + hf \therefore Hm = hr + hs + \frac{10,643 * Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,87}} * Leq$$

$$\therefore Hm = 14 - 3 + \frac{10,643 * Q^{1,852}}{90^{1,852}} * \left(\frac{7,64}{0,65^{4,87}} + \frac{72,37}{0,65^{4,87}} + \frac{275,05}{0,90^{4,87}} \right)$$

$$\therefore Q = \sqrt[1,852]{\frac{Hm - 11}{2,843}} * 3600$$

Onde:

Hm = altura manométrica (m);

Hg = altura geométrica (m);

Hs = altura de sucção (m);

Hr = altura de recalque (m);

hf = perda de carga (m);

Q = Vazão (m³/h);

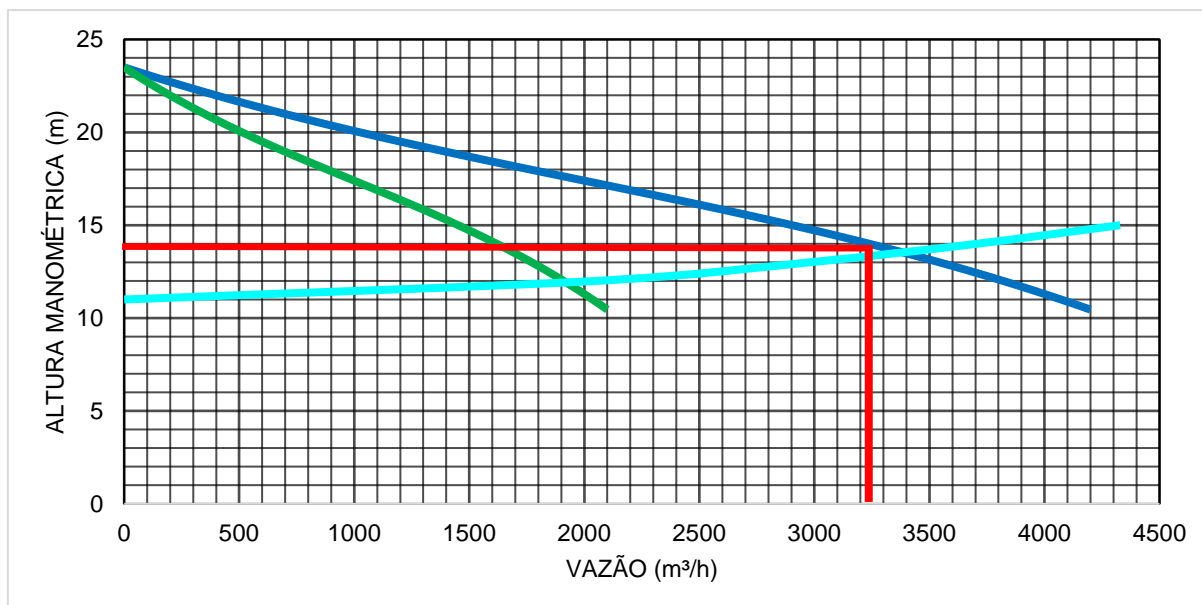
C = Coeficiente da Fórmula de Hazen-Williams;

D = Diâmetro da Tubulação (m);

Leq = Comprimento Equivalente (m)

Esse procedimento resultou no gráfico 1 mostrado abaixo. Neste a linha verde é a representação da curva característica (vazão x altura manométrica) de uma única bomba; a linha azul representa a curva de duas bombas trabalhando em paralelo; a linha azul claro representa a curva característica do sistema e a linha vermelha demonstra o ponto correspondente a vazão demandada do sistema proposto que é de 3240 m³/h e a altura manométrica que o conjunto é capaz de alcançar.

Gráfico 1 – Curva característica da bomba escolhida e a curva de duas bombas em paralelo.



FONTE: Autor, 2016

4.4. Resumo da Nova Estrutura

Após os cálculos e as análises realizadas o projeto da nova estrutura contou com duas bombas associadas em paralelo, instalada de forma afogada e uma outra de mesma capacidade para ficar de reserva. Com isso o sistema é capaz de recalcar uma vazão de 900 l/s com a altura manométrica podendo chegar até 14,00 m e operando com o rendimento entorno de 75%.

Na tubulação de recalque evitou-se a utilização de peças que fazem mudança brusca de direção, ou seja, sempre que possível foi adotado peças a 45 graus para evitar uma perda de carga localizada com maiores proporções, diminuindo assim a altura manométrica.

4.5. Benefícios Encontrados

Em relação a estrutura que atualmente se encontra instalada na Estação de Tratamento de Água – ETA-006, em Palmas – TO, pode-se citar como benefício encontrado após o cálculo da nova estrutura, o fato de poder contar com menor potência instalada, visto que antes eram 03 bombas de 125 cv trabalhando simultaneamente e na nova estrutura conta com apenas duas bombas de 94 cv operando ao mesmo tempo e mais uma de reserva caso há necessidade.

Outro benefício encontrado, diz respeito ao rendimento das máquinas. Fazendo novamente o comparativo entre o sistema instalado atualmente e o proposto no

presente trabalho, pode-se perceber através dos cálculos que no primeiro as bombas operam com um rendimento de aproximadamente 45,50%, já no segundo foi adotado um rendimento de no mínimo 75%, o que gera um aumento de quase 65% em relação ao anterior.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No curso do presente trabalho notou-se que o reconhecimento do local a ser estudado foi de suma importância, visto que a visita *in loco* possibilitou vislumbrar o funcionamento da Estação de Tratamento de Água – ETA-006, especialmente os conjuntos motobombas, sendo estes o eixo principal do estudo em questão.

Com base nesta visita e nos dados fornecidos pela concessionária de abastecimento de água Odebrecht Ambiental | Saneatins foi possível verificar, através de cálculos, o rendimento atual das bombas instaladas. O resultado obtido foi de apenas 45,5%, isto é, um valor consideravelmente abaixo do esperado, já que a média é de aproximadamente 67% (NETTO *et. al.*, 1998).

Nesse sentido, buscou-se projetar uma nova estrutura com base na vazão demandada atualmente, a fim de melhorar o rendimento supracitado. Por meio dos cálculos realizados e das pesquisas feitas nos catálogos de fabricantes de bombas, encontrou-se como resultado dois conjuntos motobombas com potência de 94 cv, instaladas com sucção negativa (afogada), além de alcançarem um rendimento de, aproximadamente, 75%.

Com base nos dois projetos expostos, o estudado e o idealizado, foi possível verificar que para recalcar a vazão demandada seriam necessárias apenas duas bombas de 94 cv, diferentemente daquelas encontradas atualmente na elevatória de água bruta da ETA-006.

Portanto, o presente estudo revelou que o sistema de bombeamento da elevatória de água bruta da ETA-006, está com um rendimento consideravelmente baixo. Logo, o projeto idealizado se mostra adequado a esta realidade.

É válido considerar que, temáticas como esta evidenciam problemas que afetam diretamente a sociedade. Assim, acredita-se que demais pesquisas fomentarão maiores discussões e reflexões acerca da realidade apresentada. A saber:

- Análise financeira comparando a mudança do projeto instalado atualmente e o idealizado pelo presente trabalho;
- Verificar a eficiência das demais bombas da Estação de Tratamento de Água – ETA-006, em Palmas – TO;
- Estudo prevendo alterações na quantidade de horas de bombeamentos, considerando a variação de vazão.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12211**: – Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água. 1 ed. São Paulo: Abnt, 1992. 14 p.
- BRASIL. Fundação Nacional da Saúde - Funasa. Ministério da Saúde. **Sistema de Abastecimento de Água**. 2012. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/site/engenharia-de-saude-publica-2/sistema-de-abastecimento-de-agua/#>>. Acesso em: 15 abr. 2016.
- CORDERO, Ademar; TUCCI, Carlos. **Apostila de hidrologia**. Blumenau: Universidade Regional de Blumenau, 2013. 108 p.
- FREIRE, Cleuda Custódio; OMENA, Sylvia Paes Farias de. **Princípios de hidrologia ambiental**. Maceió: Ufal - Ufsc, 2009. 203 p. Apostila do Curso de Aperfeiçoamento em Gestão de Recursos Hídricos: modalidade a distância - Financiamento CNPq/CTHidro.
- KSB (Brasil). **MANUAL TÉCNICO DE BOMBAS MEGANORM**: Curvas Características. 2005. Disponível em: <http://www.ksb.com.br/php/produtos/download.php?arquivo=mt_meganorm_linha_ampliada_a2742_0_1p_5.pdf&tipo=tecnicos>. Acesso em: 18 de out. 2016
- LENCASTRE, Armando. **HIDRÁULICA GERAL**. Lisboa: G.C. - Gráfica de Coimbra, Lda, 1996. 651 p.
- MELLO, Carlos Rogério de; YANAGI JUNIOR, Tadayuki. Escolha de Bombas Centrífugas. Lavras: Ufla, 2001. 23 p. Disponível em: <http://www.editora.ufla.br/BolTecnico/pdf/bol_29.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2016.
- NETTO, José Martiniano de Azevedo et al. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1998. 669 p.
- OLIVEIRA, Rosalvo João de. **Cavitação: Como entender este fenômeno?**. s/a. Disponível em: <<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjt4dXZr9bPAhXITZAKHaCdBdkQFggjMAE&url=http%3A%2F%2Fmgstecnologia.com.br%2Fnoticias%2Fadmin%2Farquivos%2FCavitacao.pdf&usq=AFQjCNHC6DnxYzrx0ZYA-VylaxC1Rpm94A&sig2=rQojSZSZjo3l3W2--ifEDw&bvm=bv.135475266,d.Y2l>>. Acesso em: 12 de out. 2016.
- PINTO, Nelson L. S.. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher., 1980.
- PORTO, Rodrigo de Melo. **HIDRÁULICA BÁSICA**. 2. ed. São Carlos: Eesc-usp, 2001. 519 p
- REDE DAS ÁGUAS (São Paulo - Sp). Fundação Sos Mata Atlântica (Org.). **ÁGUA: Água – o recurso mais valioso do Planeta**. 2015. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/projeto/rede-das-aguas/>>. Acesso em: 8 abr. 2016.
- RESENDE, José Flávio Bomtempo; LOPES, Vera Helena; SIMÕES, Marli Aparecida Menezes (Org.). **Como elaborar o preço de venda**. Belo Horizonte: Sebrae/mg, 2010. 102 p.

SANASA (Campinas - Sp). Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento. **A ÁGUA NO NOSSO PLANETA - ESTATÍSTICAS I**. 2006. Disponível em: <http://www.sanasa.com.br/noticias/not_con3.asp?par_nrod=525&flag=PC-2>. Acesso em: 07 abr. 2016.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **ABASTECIMENTO DE ÁGUA**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

TUCCI, Carlos E. M.; SILVEIRA, Andre L. L. da; BENETTI, Antonio. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/ufrgs, 2001. 600 p.

UNESP (Guaratinguetá). **Importância do abastecimento de água**. Guaratinguetá: Video, 2011. 12 slides, P&B.

VIEIRA, Andrée de Ridder; COSTA, Larissa; BARRÊTO, Samuel Roiphe. **Livro das Águas**. Brasília: Wwf-brasil, 2006.