



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

**WEYDER DA SILVA AGUIAR**

**UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE “EASYSELECT” PARA DIMENSIONAMENTO DE  
UM NOVO CONJUNTO MOTOR BOMBA DA REDE DE ABASTECIMENTO DA  
ETA06 PARA O RAP 01 EM PALMAS-TO**

**Palmas  
2016/1**



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

**WEYDER DA SILVA AGUIAR**

## **UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE “EASYSELECT” PARA DIMENSIONAMENTO DE UM NOVO CONJUNTO MOTOR BOMBA DA REDE DE ABASTECIMENTO DA ETA06 PARA O RAP 01 EM PALMAS-TO**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Fabio Spinola de Castro.

**Palmas  
2016/1**



## **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA DO BRASIL  
 Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.497 - DCE/11, de 26/10/2005

**WEYDER DA SILVA AGUIAR**

### **UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE "EASYSELECT" PARA DIMENSIONAMENTO DE UM NOVO CONJUNTO MOTOR BOMBA DA REDE DE ABASTECIMENTO DA ETA06 PARA O RAP 01 EM PALMAS-TO**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Fabio Spinola de Castro.

Aprovado em maio de 2016.

#### **BANCA EXAMINADORA**

Prof. MSc Fábio Moreira Spinola de Castro  
 Centro Universitário Luterano de Palmas

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

Prof. Esp Denis Cardoso Parente  
 Centro Universitário Luterano de Palmas

**Palmas  
 2016/1**

*Ao meu pai, **Wilson Custódio de Aguiar**, a minha mãe, **Magnólia Riberio da Silva Aguiar**, ao meu filho **Luiz Otávio Aguiar Rotondaro**, e a toda minha família, os quais sempre me deram forças para ir atrás dos meus objetivos e por sempre me incentivarem a estudar, e assim, oportunizar a conquista de minha realização profissional.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me deu a oportunidade da conclusão desse curso. Ao longo da minha vida sempre me deu força para ir em busca dos objetivos almejados, superando as dificuldades que foram várias. Me proporcionou conhecer pessoas que contribuíram muito para o crescimento profissional e pessoal.

Agradeço aos meus pais **Wilson Custódio de Aguiar** e **Magnólia Ribeiro da Silva Aguiar**, que sempre buscaram o melhor para minha formação, pelo amor e carinho, incentivando-me nas horas difíceis, de desânimo e cansaço, me motivando sempre a seguir em frente.

Ao meu filho **Luiz Otávio Aguiar Rotondaro**, que veio em minha vida durante meados do curso, me dando mais forças para superar as adversidades e trazendo felicidades no meu dia-dia.

A todos os meus professores, em especial ao professor e orientador **MSc. Fábio Moreira Spínola de Castro**, pela orientação e empenho dedicado à execução deste trabalho, seu apoio e confiança que pacientemente direcionou-me a conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos que fiz no curso: **Melk Zedek Ramalho**, **Tarcísio Brandão**, **Geovanny Guilherme**, **Luiz Paulo**, pela parceria e apoio, bem como os esclarecimentos prestados para desenvolvimento deste trabalho; ao **Engº Lucas Braga Cherem**.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação, realização de um sonho, onde cada um teve parcela significativa de contribuição.

Muito obrigado a todos!

## RESUMO

Este projeto teve como objetivo o estudo do sistema de abastecimento de água da ETA 06, administrado pela empresa Foz/Saneatins, em Palmas, TO. Para tanto, teve com objetivo geral dimensionar outro conjunto motor bomba no software EasySelect e avaliar a melhor eficiência energética do sistema atual (composto por duas bombas e mais uma reserva) e do proposto (composto por uma bomba e mais uma reserva). E como objetivos específicos: Conceituar possíveis causas nas quais geram ineficiência dos sistemas de bombeamento; Características positivas para implantação do projeto proposto; Analisar parâmetros entre o projeto existente e o proposto, identificar o que apresenta melhor desempenho.

Na finalização desse estudo, concluiu que os objetivos foram alcançados. Pois o projeto proposto obteve uma melhor eficiência do que o sistema atual. Além de destacar as possíveis causas que fazem com que os sistemas de bombeamento se tornam menos eficiente.

**Palavras-chave:** Sistema de abastecimento, eficiência energética.

## ABSTRACT

This project aimed to study the water supply system of the ETA 06, managed by the company Foz / Saneatins in Palmas, TO. Therefore, we had general-purpose size other motorbomba set in EasySelect software and evaluate the best energy efficiency of the current system (consisting of two pumps and more a reservation) and proposed (consisting of a pump and another booking). And the following objectives: Conceptualizing possible causes in which generate inefficiency of pumping systems; positive characteristics for implementation of the proposed project; Analyze parameters enter the existing project and the proposed identify what performs best.

On completion of this study concluded that the objectives were achieved. For the proposed project has a better efficiency than the current system. Besides highlighting, the possible causes that make pumping systems become less efficient.

**Keywords:** supply system, energy efficiency.

**LISTA DE ABREVIATURAS**

ETA: Estação Tratamento de Água

RAP: Reservatório Apoiado

BCD: Boletim de Controle Diário

EAT: Elevatória de Água Tratada

C.v: Cavalo- vapor

kW: Quilowatt

**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1: CORTE ESQUEMÁTICO DE UM TURBO BOMBA .....	13
FIGURA 2: CORTE ESQUEMÁTICA BOMBA CENTRIFUGA .....	14
FIGURA 3: ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS EM SÉRIE .....	22
FIGURA 4: ASSOCIAÇÃO DE BOMBA EM PARALELO .....	23
FIGURA 5: TRECHO ETA06/RAP01 .....	29
FIGURA 6: ÁREA ABASTECIDA PELO RAP01 .....	30
FIGURA 7: SOFTWARE EASYSELECT .....	31
FIGURA 8: REPRESENTAÇÃO PROJETO ATUAL .....	33
FIGURA 9: REPRESENTAÇÃO PROJETO PROPOSTO .....	42
FIGURA 10: DIMENSIONAMENTO EASYSELECT .....	44
FIGURA 11: DIMENSIONAMENTO EASYSELECT .....	44
FIGURA 12: DIMENSIONAMENTO EASYSELECT .....	45
FIGURA 13: DIMENSIONAMENTO EASYSELECT .....	45
FIGURA 14: MODALIDADE TARIFÁRIA HORÁRIA VERDE .....	50
FIGURA 15: CONJUNTO MOTORBOMBA ATUAL ETA 006 .....	56
FIGURA 16: CONJUNTO MOTORBOMBA ATUAL ETA 006 .....	56
FIGURA 17: CONJUNTO MOTORBOMBA ATUAL ETA 006 .....	57
FIGURA 18: CONJUNTO MOTORBOMBA ATUAL ETA 006 .....	57
FIGURA 19: COTAÇÃO KSB BOMBAS HIDRÁULICAS .....	58
FIGURA 20: BARRILETE ETA 06 .....	59
FIGURA 21: TRAÇADO REDE .....	59

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1: DEFEITOS MAIS COMUNS EM INSTALAÇÕES DE BOMBAS.....	21
TABELA 2: VAZÃO X ALTURA MANOMÉTRICA.....	30
TABELA 3: POPULAÇÃO CONSIDERADA PARA ETA 006.....	35
TABELA 4: VAZÕES DE PROJETO EAT (ANO 2012).....	35
TABELA 5: VAZÕES DE PROJETO DA EAT (ANO 2022).....	36
TABELA 6: VAZÕES DE PROJETO DA EAT (ANO 2032).....	36
TABELA 7: PERDAS DE CARGAS LOCALIZADAS.....	38
TABELA 8: VAZÃO X ALTURA MANOMÉTRICA DA EAT "A".....	39
TABELA 9: CONJUNTO MOTOR BOMBA ATUAL X PROPOSTO.....	46
TABELA 10: CONSUMO DE ENERGIA DO PROJETO ATUAL.....	48
TABELA 11: CONSUMO DE ENERGIA DO PROJETO PROPOSTO.....	48

**LISTA DE EQUAÇÃO**

Equação 1: Potência Requerida Para Realizar Trabalho .....	16
Equação 2: NPSHr (Altura de Sucção Requerido) .....	16
Equação 3: Calculo Vazão - Rotação .....	19
Equação 4: Calculo Pressão - Rotação .....	19
Equação 5: Calculo Potência - Rotação.....	19
Equação 6: Calculo Vazão – Diâmetro .....	19
Equação 7: Calculo Altura – Diâmetro.....	19
Equação 8: Calculo Potência – Diâmetro .....	19

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
1.1 OBJETIVOS .....	8
<i>1.1.1 Objetivo Geral.....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.2 Objetivos Específicos.....</i>	<i>8</i>
1.2 JUSTIFICATIVA .....	9
1.3 PROBLEMA.....	10
1.4 HIPÓTESE.....	11
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
2.1 Bombas Hidráulicas .....	12
2.2 Bomba Centrífuga.....	12
2.3 Classificações Bomba Centrífuga.....	13
2.4 Partes Fundamentais da Bomba Centrífuga.....	14
2.5 Funcionamento da Bomba Centrífuga .....	15
2.6 Potência Absorvida .....	15
2.7 Rendimento .....	16
2.8 NPSHr (Requerido).....	16
2.9 NPSHd (Disponível) .....	17
2.10 Curvas Característica de Bombas Centrífugas.....	17
2.11 Ponto Ótimo de Trabalho.....	18
2.12 Alterações nas Curvas Características .....	18
2.13 Cavitação .....	20
2.14 Sistema de Recalque .....	21
2.15 Associação de Bombas .....	21
2.16 Bombas em Série .....	21
2.17 Bombas em Paralelo .....	22
2.18 Bombas em Série-Paralelo.....	23
2.19 Golpe de Aríete.....	23
2.20 Correção das Curvas .....	24
2.21 Escorva.....	24
<i>2.21.1 Procedimentos de Escovar Bombas.....</i>	<i>25</i>
2.22 Dimensionamento Econômico .....	25
2.23 Eficiência Energética .....	26
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>28</b>
3.1 Elevatórias de Água Tradada (EAT), Sistema Atual.....	28
3.2 Utilização do Software EasySelect para Dimensionar o Sistema Proposto.....	31
<b>4 RESULTADOS E DISCURSÕES.....</b>	<b>32</b>
4.1 PROJETO ATUAL.....	32
<b>5 PROJETO PROPOSTO .....</b>	<b>41</b>
5.1 Dimensionamento EasySelect.....	42
5.2 Características Técnicas das Bombas: .....	46
<b>6 RESULTADOS DO CUSTO OPERACIONAL ATUAL/PROPOSTO .....</b>	<b>48</b>
6.1 Payback.....	50

6.2 Fatores que influenciam a ineficiência: .....	51
<b>7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>53</b>
<b>8 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....</b>	<b>54</b>
<b>9 ANEXO.....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O uso de maneira irresponsável dos recursos naturais vem fazendo com que a população fique cada vez mais refém dos seus próprios erros. Em particular, o abastecimento público de água, que há alguns anos era feito de maneira mais simples, com captação em fontes limpas e trazidas até o ponto de consumo por gravidade, atualmente esse tipo de sistema é totalmente dependente de um bombeamento, pois a necessidade de vencer maiores alturas é cada vez maior (ELETROBRÁS, 2005).

A preocupação com o uso da energia elétrica elevada no saneamento é justificável. Os gastos com o consumo da energia é um dos custos operacionais mais elevados das empresas de saneamento brasileiras. De toda energia produzida no país, 2,5% se perde no saneamento, o que corresponde a 9,5 bilhões de kWh/ano, onde que, desse percentual, 90% é destinado para estações elevatórias (GOMES, p. 12)

É grande o consumo de energia elétrica no setor de saneamento, no qual é utilizado o bombeamento com intuito de conduzir o fluido em grande quantidade, tendo que vencer diferentes alturas de um local para outro que o mesmo não possa ir por gravidade.

(WEG, 2015) diz que o investimento em tecnologias para a redução de consumo de energia, é menor do que a expansão de oferta de energia no país. Estima-se que o Custo Marginal de Expansão (CME) seja de R\$ 113,00/MWh (Plano decenal de expansão de energia 2019-EPE/MME), e o Custo de Energia Conservada (CEC) seja de R\$ 83,52/MWh (PEE Industria – CELESC 2012/2013).

Um motor que esteja subdimensionado consome muito mais energia do que um motor dimensionado com a potência correta, pois trabalha em uma condição diferente da que foi destinada, sendo assim ineficiente. Isso somando a um motor de eficiência inferior, o desperdício é muito maior. Um motor deve trabalhar entre 75% a 100% da sua potência, tendem vista melhor eficiência. As adequações de bombas geram economias de até 14% no consumo de energia (WEG, 2015).

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Dimensionar novo conjunto motor bomba para ETA 06 até o RAP01, considerando uma bomba funcionando e uma reserva. Analisar o projeto existente e o novo a dimensionar, tendo em vista qual apresenta melhor eficiência energética, reduzindo custo e atendendo a mesma demanda.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Conceituar possíveis problemas nos quais geram ineficiência dos sistemas.
- Características positivas para implantação do projeto proposto.
- Analisar parâmetros entre o projeto existente e o calculado, identificar o que apresenta melhor desempenho.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

O aumento exagerado no custo da energia no nosso país tem levado a observar possíveis maneiras das empresas diminuïrem gastos excessivos da mesma. As empresas de saneamento são responsáveis por grande demanda dessa energia, no qual grande parte deste consumo está localizada nas estações elevatórias, seja de esgoto ou água tratada. O grande problema, muitas vezes está na hora do dimensionamento e operação dos projetos executados. Bombas subdimensionadas ou sem operação adequada, geram ineficiêcia no sistema, causando maior consumo de energia, aumentando custo de funcionamento do sistema.

Desta forma a presente pesquisa se justifica, pois o dimensionamento e análise entre proposta e o sistema existente, mostrará qual a melhor alternativa a ser utilizada no sistema de adução entre ETA 06 até o RAP01.

### **1.3 PROBLEMA**

A necessidade de utilização das bombas centrífuga nas empresas de saneamento é inevitável, devido às variadas topografias de terrenos, nem sempre é possível aproveitar um sistema por gravidade. Sistemas de bombeamento mal dimensionado e operado tem como resultado a ineficiência, podendo não atender a demanda prevista e gerar maior custo operacional.

## **1.4 HIPÓTESE**

Para a resolução do problema apresentado anteriormente, pensou-se na seguinte hipótese: um novo projeto com o uso de uma única bomba com a vazão igual a somada das duas bombas do projeto atual, analisar se o sistema proposto pode se tornar mais eficiente em termo de consumo de energia, comparar ao sistema existente para o sistema de adução de água tratada para o RAP 01.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

O conceito referente a bombas centrífuga, apresentara análises de suas estruturas, bem como a classificação de bombas centrífugas e opções de métodos de utilização dentro do sistema e, por fim, as vantagens e desvantagens da aplicação da mesma.

### **2.1 Bombas Hidráulicas**

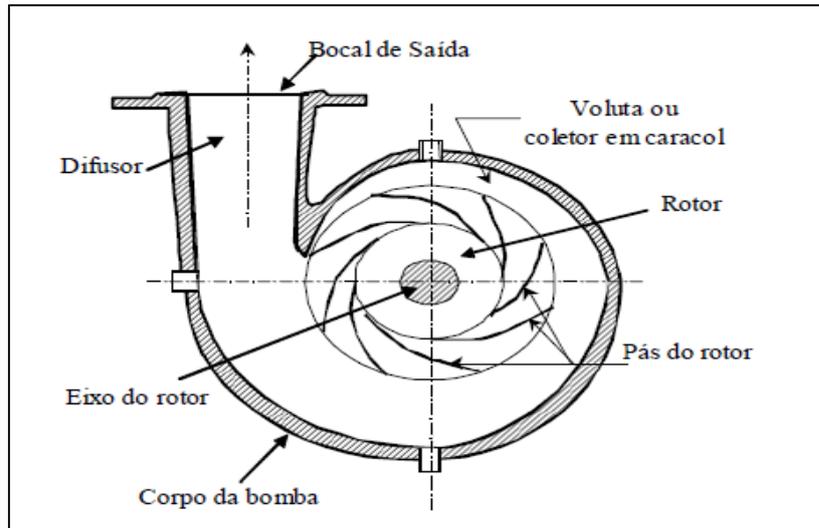
Máquina acionada que recebe energia externa, com intuito de transformar energia cinética em energia de pressão que transmite ao fluido a ser bombeado. O aumento dessas pressões ocorre com a necessidade de aumentar a pressão de um fluido, tendo em vista o seu transporte em uma tubulação de um ponto a outro. Atendendo a condições mínimas de vazões e pressões estabelecidas por cada sistema.

Segundo Santos (2007), essas indicações de vazão, pressão ou carga servem apenas para a classificação inicial das bombas. Para atender condições diferentes de projetos, existem diversas bombas, porém as mais utilizadas são bombas centrífugas.

(SANTOS, 2007), [...] classificação não é um estudo completo sobre todos os tipos de bombas existentes. Pretendemos apenas dividi-las em dois grupos [...] quanto ao deslocamento, às bombas podem ser: Deslocamento positivo ou Deslocamento não positivo (centrífuga) [...].

### **2.2 Bomba Centrífuga**

De acordo com (Schneider moto bombas, 2006) a movimentação do fluido ocorre pela ação de forças que se desenvolvem na massa do mesmo, em consequência da rotação de um eixo no qual é acoplado um disco (rotor, impulsor) dotado de pás (palhetas, hélice), o qual recebe o fluido pelo seu centro e expulsa pela periferia, pela ação de força centrífuga, por isso o seu nome usual.



**Figura 1:** Corte esquemático de um turbo bomba  
 Fonte: (Máquinas hidráulicas, 2011).

A bomba centrífuga (turbo bomba) não existe uma vedação mecânica para separar a entrada e a saída do fluido, ocorrendo vazamento interno, tendo efeito significativo na sua eficiência. O fluido que passa pela tubulação de sucção e chega até o flange, cruza o bocal de entrada e chega ao rotor. Do rotor é forçado a passar por canais entre as pás, recebendo energia centrífuga e lançado no tubo de recalque (SANTOS, 2007).

### 2.3 Classificações Bomba Centrífuga

Segundo Azevedo Netto (1998) afirma que “para atender ao grande campo de aplicação, as bombas centrífugas são fabricadas nos mais variados modelos, podendo a sua classificação ser feita segundo vários critérios”.

➤ **Movimento do Líquido:**

- Sucção simples
- Dupla sucção

➤ **Admissão do Líquido:**

- Radial
- Diagonal
- Helicoidal

➤ **Números de Rotores:**

- Um estágio

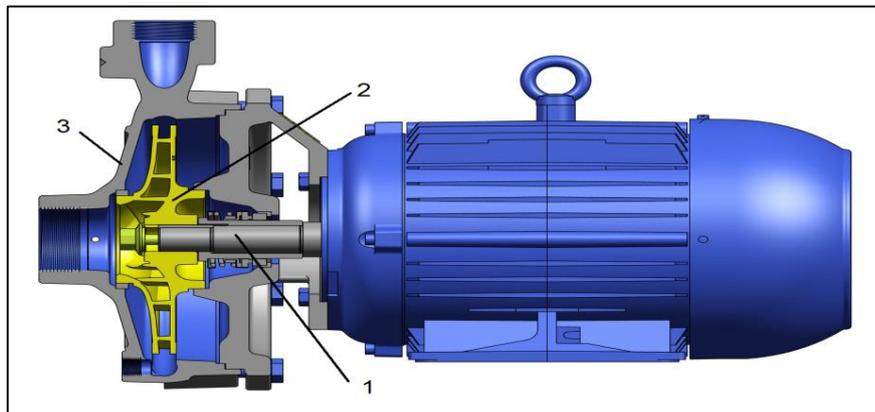
- Estágios múltiplos
- **Tipo de Rotor:**
  - Rotor fechado
  - Rotor semifechado
  - Rotor aberto
  - Rotor a prova de entupimento
- **Posição do Eixo**
  - Eixo vertical
  - Eixo horizontal
  - Eixo inclinado
- **Pressão**
  - Baixa pressão ( $H_{man} \leq 15m$ )
  - Média pressão ( $H_{man}$  de 15 a 50m)
  - Alta pressão ( $H_{man} \geq 50m$ ).

## 2.4 Partes Fundamentais da Bomba Centrifuga

**1 Eixo de Acionamento:** peça fundamental que gera a força motriz onde se acomoda o rotor, gerando movimento e energia cinética.

**2 Rotor:** formado por um disco de pás que tem como função gerar a energia cinética, lançando o fluido.

**3 Carcaça:** envolve o rotor, acomoda o fluido dentro da bomba centrifuga, direcionando o mesmo para tubulação de recalque.



**Figura 2: Corte Esquemática Bomba Centrifuga**  
 Fonte: (KSB bombas hidráulicas, 2014).

## 2.5 Funcionamento da Bomba Centrífuga

A bomba centrífuga tem função, a criação de duas zonas de pressões diferentes, sendo uma de baixa pressão (sucção) e outra de alta pressão (recalque). Para a existência das duas zonas, é necessário que dentro da bomba, as peças existentes que transformam a energia mecânica, que é fornecida pelo motor, primeiramente transformando em energia cinética que irá transportar o fluido, e depois em maior proporção a energia de pressão para que o fluido possa ser recalado (SCHENEIDER MOTOBOMBAS, 2006).

Ao ser acionada, a bomba centrífuga precisa ser preenchida com o fluido que será bombeado. Algumas folgas existentes no rotor, coletor e a carcaça, acabam encadeando em não acontecendo à expulsão de ar de dentro do corpo de bomba e do tubo de aspiração.

Alex (2010) cita que a ser criada a rarefação com a qual a pressão, atuando no líquido no reservatório de aspiração, venha a ocupar o vazio deixado pelo ar expelido e a bomba possa bombear. Ela, portanto, não é autoaspirante ou autoescorvante, a não ser que se adotem recursos de construção especiais como veremos.

O funcionamento de uma bomba não se deve levar em consideração apenas os dados que avaliam sua potência. A comprovação de resultados através de curvas características que indicam melhor a variação de rendimento. Alterações como o aumento na altura manométrica, diminuirão a vazão (Q) e a potência absorvida, já quando houver a diminuição da altura manométrica a vazão (Q) e a potência absorvida aumenta (AZEVEDO NETTO, 1998).

Segundo Azevedo Netto (1998), quando acionado o funcionamento de uma bomba centrífuga, recomenda o fechamento do registro do tubo de recalque, isso porque fechando o registro, diminui a potência necessária para o seu funcionamento. Ainda segundo o autor, o aumento ou redução da velocidade (rpm), está diretamente ligada a eficiência da bomba.

## 2.6 Potência Absorvida

De acordo com Schneider Moto bombas (2006) define a potência absorvida (BHP) é a energia que a bomba precisa para transporta o fluido na vazão desejada, altura de recalque, e o rendimento desejado naquele ponto. Porém o (BHP) que também é chamado de Consumo de Energia da Bomba, envolve outras duas potências, Potência hidráulica e Potência Útil. A potência necessária para acionar a bomba é dada pela seguinte formula:

$$\mathbf{BHP} = \frac{Q \times H \times 0,37}{\eta}$$

**Equação 1:** Potência Requerida Para Realizar

Trabalho

Onde: **BHP** = Potência requerida para realizar o trabalho; **Q** = Vazão, em m<sup>3</sup>/h; **H** = Altura de recalque, em mca; **0,37** = Constante de adequação; **η** = Rendimento da bomba.

## 2.7 Rendimento

O rendimento de uma bomba é a relação entre energia oferecida pelo motor e absorvida pela bomba. Isto é evidenciado uma vez que o motor não transmite para o eixo toda potência que gera, assim como a bomba que necessita energia maior que a que consome, devido suas perdas internas (SCHENEIDER MOTOBOMBAS, 2006).

O rendimento global de bomba divide-se em:

- **Rendimento Hidráulico (H):** Leva em consideração o acabamento interno superficial do rotor e da carcaça da bomba. Varia também de acordo o tamanho da bomba, de 20% a 90%.
- **Rendimento Volumétrico (V):** Levam em consideração os vazamentos externos pelas vedações (gaxetas) e a recirculação interna da bomba.
- **Rendimento Mecânico (M):** Leva em consideração que apenas uma parte da potência necessária ao acionamento de uma bomba é usada para bombear, o restante perde-se por atrito.

## 2.8 NPSHr (Requerido)

É uma característica da bomba, determinada em projeto de fábrica, através de cálculos e ensaios de laboratórios. Tecnicamente é a energia necessária para vencer as perdas de carga entre a conexão de sucção da bomba e as pás do rotor, bem como criar a velocidade desejada no fluido.

$$\mathbf{NPSHd} > \mathbf{NPSHr} + 0,6$$

**Equação 2:** NPSHr (Altura de Sucção

Requerido)

## 2.9 NPSHd (Disponível)

É a característica da instalação hidráulica. A energia que o fluido possui, num ponto imediatamente inferior ao flange de sucção da bomba, acima de sua pressão de vapor. Esta variável dita o porquê dimensionar o sistema, utilizando-se de coeficientes tabelados e dados da instalação.

## 2.10 Curvas Característica de Bombas Centrífugas

A curva característica da bomba centrífuga, segundo Schneider Moto bombas (2006), é expressa no plano cartesiano de sua característica de funcionamento, onde terá resultado relacionado à vazão ( $Q$ ) em  $m^3/h$ , metro de coluna d'água (mca), rendimento ( $\eta$ ) em %, perdas internas (NPSHr) em mca, e potência absorvida (BHP), em mca.

A curva da bomba é de particularidade de cada projeto e depende da aplicação da bomba, como quantidade de rotores, caracol, sentido do fluxo do fluido, velocidade da bomba potência fornecida pela bomba.

Toda curva possui seu ponto ótimo, onde a bomba tem maior rendimento. Este ponto é a intersecção da curva característica da bomba com a curva característica do sistema (CCB x CCS). Já ( $H \times Q$ ) fornece a intersecção da curva de sistema com a curva da bomba, ( $H_1 \times Q_1$ ) é a altura e a vazão de trabalho (Gráfico 01).

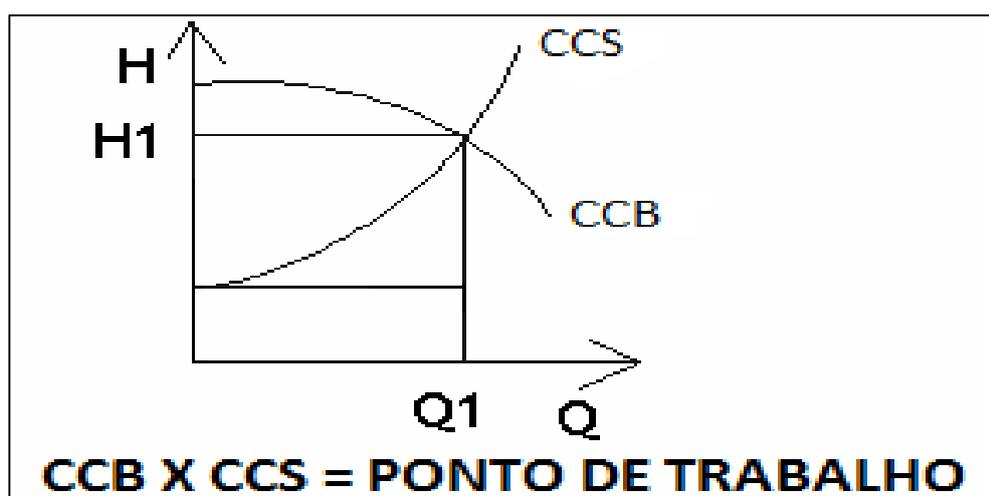


Gráfico 1: Ponto de Trabalho  
Fonte: (Schneider Moto bombas, 2006)

## 2.11 Ponto Ótimo de Trabalho

O ponto de operação de uma bomba centrífuga é definido como sendo a intersecção da curva  $H \times Q$  do sistema com a curva  $H \times Q$  da bomba. Portanto, o ponto de operação define a vazão no qual o sistema completo vai operar (PAULO, 200\_? apud DIOGENES, 200\_?).

Segundo (PAULO, 200\_? apud DIOGENES, 200\_?), se plotarmos as curvas características da bomba e a curva do sistema em um mesmo gráfico:

A intersecção da curva do sistema com a curva da bomba ( $H \times Q$ ), fornece o  $H_{trabalho}$  e o  $Q_{trabalho}$ .

A intersecção da curva ( $H \times Q$ ) Bomba com a curva ( $\eta \times Q$ ) Bomba fornece o  $\eta_{trabalho}$ .

A intersecção da curva ( $H \times Q$ ) Bomba com a curva ( $Pot \times Q$ ) Bomba fornece o  $POT_{trabalho}$ .

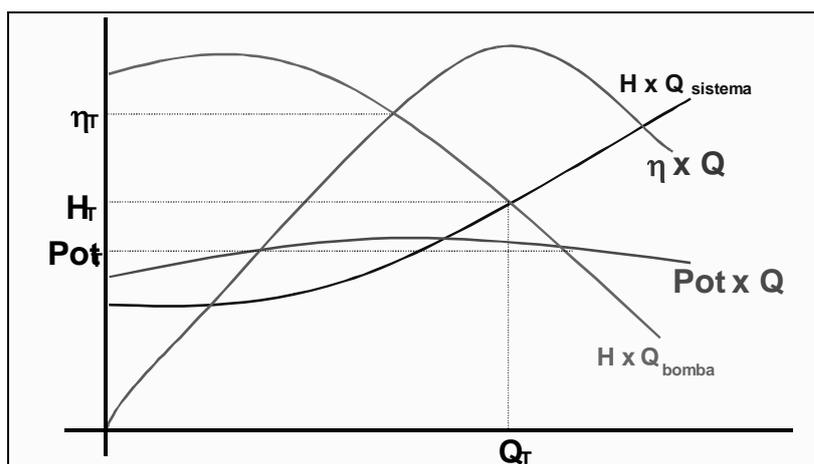


Gráfico 2: Curva Característica e Curva do Sistema

Fonte: (Paulo, 200\_? apud Diógenes, 200\_?)

## 2.12 Alterações nas Curvas Características

As alterações nas bombas e no sistema estão ligadas diretamente as mudanças das curvas características que são suscetíveis a mudança de comportamento (SCHENEIDER MOTOBOMBAS, 2006).

## Fatores que influenciam e suas consequências:

### 1. Alteração da rotação da bomba

- **Vazão:** varia diretamente proporcional a variação da rotação.

$$Q_1 = Q_0 \times \left(\frac{n_1}{n_0}\right) \quad \text{Equação 3: Calculo Vazão - Rotação}$$

- **Pressão:** varia proporcional ao quadrado da variação da rotação.

$$H_1 = H_0 \times \left(\frac{n_1}{n_0}\right)^2 \quad \text{Equação 4: Calculo Pressão - Rotação}$$

- **Potência:** varia proporcional ao cubo da variação da rotação.

$$N_1 = N_0 \times \left(\frac{n_1}{n_0}\right)^3 \quad \text{Equação 5: Calculo Potência - Rotação}$$

Onde:  $Q_0$ = Vazão inicial, em  $m^3/h$ ;  $H_0$ = Pressão inicial, em mca;  $N_0$ = Potência inicial, em cv;  $Q_1$ = Vazão final, em  $m^3/h$ ;  $H_1$ = Pressão final, em mca;  $N_1$ = Potência final, em cv;  $n_0$ = Rotação inicial, em rpm;  $n_1$ = Rotação final, em rpm.

### 2. Alteração no diâmetro do rotor

- **Vazão:** Varia diretamente proporcional ao diâmetro do rotor.

$$Q_1 = Q_0 \times \left(\frac{D_1}{D_0}\right) \quad \text{Equação 6: Calculo Vazão – Diâmetro}$$

- **Altura:** Varia proporcionalmente ao quadrado do diâmetro do rotor.

$$H_1 = H_0 \times \left(\frac{D_1}{D_0}\right)^2 \quad \text{Equação 7: Calculo Altura – Diâmetro}$$

- **Potência:** Varia proporcionalmente ao cubo do diâmetro do rotor.

$$N_1 = N_0 \times \left(\frac{D_1}{D_0}\right)^3 \quad \text{Equação 8: Calculo Potência – Diâmetro}$$

Onde:  $D_0$ = Diâmetro original do rotor, em mm;  $D_1$ = Diâmetro alterado, em mm.

### 3. Mudança do tipo de fluido bombeado

Qualquer bomba centrífuga cuja aplicação básica seja para água, ao bombear fluidos viscosos apresentam um aumento da potência (PM), redução da AMT e da vazão indicadas originalmente na curva. Segundo (Schneider Moto bombas, 2006), as bombas são

projetadas pra trabalhar em águas limpas e isentas de sólidos, águas pluviais, águas servidas com partículas sólidas, chorume conforme característica construtiva de cada equipamento.

#### ***4. Tempo de vida útil da bomba***

O desgaste de buchas, rotores, eixo e alojamento de selos mecânicos ou gaxetas faz aumentar as fugas internas de fluido, tornando o rendimento cada vez menor. Segundo Schneider Moto bombas (2006), em condições normais, é natural que ocorra desgaste interno dos componentes da bomba, principalmente quando não existe a manutenção preventiva.

### **2.13 Cavitação**

Quando a pressão absoluta fica abaixo do limite esperado, aonde chega ao ponto de ebulição da água, o líquido começa a ferver e nas peças começam a aparecer bolsas de vapor dentro da própria corrente. A ocorrência desses fatores de formação e destruição de bolsas de vapor é conhecida como cavitação (AZEVEDO NETTO, 1998).

Sempre que a bomba, em algum ponto chegar ao seu limite crítico (pressão de vapor), o funcionamento se torna prejudicado, as máquinas começam a vibrar, em consequência da cavitação, onde o mesmo pode se transmitir as estruturas próximas a bomba, diminuindo a eficiência ou causando danos à instalação.

Quando  $NPSH_d > NPSH_r + 0,6$  não for de garantia do sistema, ocorre a cavitação. Fator que ocorre quando a pressão do fluido na linha de sucção tem valores inferiores ao de pressão de vapor, formando bolhas de ar, a quebra da coluna de água ocorrida pelo deslocamento das pás do rotor.

Estas bolhas vão a sentido do fluxo, condensando-se e voltando ao estado líquido, no momento em que troque de estado gasoso para líquido, o fluido já está em alta velocidade no rotor, provocando ondas de pressão que podem superar a resistência a tração do material do rotor, podendo ocorrer de pedaços do material ser arrancados das pás, e paredes da bomba.

Para evitar a cavitação de uma bomba, pode-se adotar seguinte providencias:

- *Reduzir a altura de sucção e o comprimento desta tubulação, aproximando-se ao máximo da bomba da captação.*
- *Reduzir as perdas de carga na sucção, com aumento dos diâmetros dos tubos e conexões.*

**TABELA - DEFEITOS MAIS COMUNS EM INSTALAÇÕES DE BOMBAS E  
MOTOBOMBAS E SUAS CAUSAS MAIS PROVÁVEIS**

**Bomba funciona mas não há recalque:**

**Vazão e/ou pressão nulas ou insuficientes**

- ✓ A canalização de sucção e a bomba não estão completamente cheias de água;
- ✓ Profundidade de sucção elevada (maior do que 8 mca ao nível do mar);
- ✓ Entrada de ar pela canalização de sucção;
- ✓ Válvula de pé presa, parcial ou totalmente entupida, ou sub-dimensionada;
- ✓ Motor com sentido de rotação invertido;
- ✓ Altura de recalque maior do que aquela para a qual a bomba foi dimensionada;
- ✓ Canalização de sucção e recalque de pequeno diâmetro ou obstruída;
- ✓ Rotor da bomba furado ou entupido;
- ✓ Vedações da bomba defeituosas provocando entrada de ar;
- ✓ Corpo da bomba furado ou entupido;
- ✓ Selo mecânico com vazamento;
- ✓ Viscosidade ou peso específico do líquido diferente do indicado.

**Bomba perde escorvamento após a partida.**

**Deixa gradativamente de jogar água**

- ✓ Profundidade de sucção elevada (maior do que 8 mca para altitudes ao nível do mar);
- ✓ Entrada de ar pela tubulação de sucção ou pela válvula de pé (nível de água muito baixo);
- ✓ Nos sistemas de circuito fechado quando a tubulação de retorno da água cai em cima ou próxima da tubulação de sucção ocorrendo a formação de bolhas de ar.
- ✓ Selo mecânico com vazamento;

**Tabela 1: Defeitos mais comuns em instalações de bombas**

Fonte: (Manual técnico Schneider, 2006)

## **2.14 Sistema de Recalque**

De acordo com Carlito Flavio (1981), quando o sentido que leva o líquido é descendente, pode-se levar em consideração a própria energia do líquido, funcionando por gravidade. Porém quando deseja se transportar o líquido no sentido ascendente, ou no sentido de pressão crescente, tem que fornecer energia além da disponível no líquido.

## **2.15 Associação de Bombas**

Em sistemas de elevatórias de águas e esgotos, com inúmeros tipos de aplicações, a altura manométrica e vazões a ser atendidas podem ter grande variedade. Podendo ter várias análises, sendo em uma bomba variando a velocidade, e associando duas ou mais bombas em série ou em paralelo (ARCHIBALD JOSEPH, 1997).

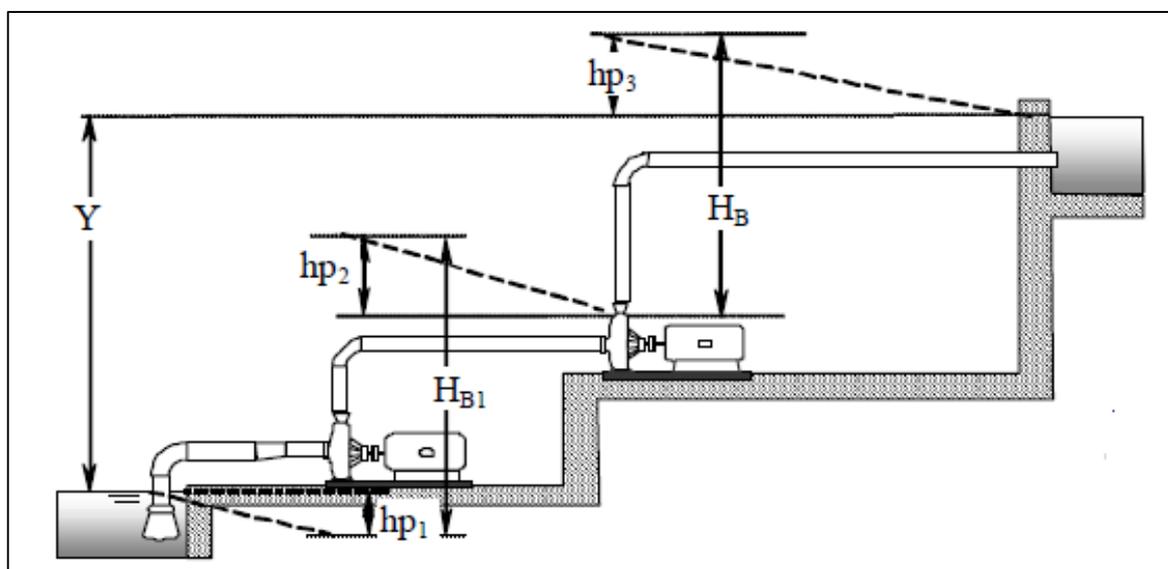
## **2.16 Bombas em Série**

O uso de bombas em série não é muito recomendado, a não ser quando não há pressão suficiente na linha de recalque em uma instalação existente, onde a aplicação da bomba em

série seja para aumentar a pressão e vazão da rede. Outra situação em que pode ser utilizada é quando a bomba de um rotor não atinge pressão necessária para projeto.

Com bombas que tenham apenas um rotor o aumento da pressão é proporcional aos diâmetros de saída e de entrada e rotação. Para aumentar a pressão acima de determinados valores, seria necessário aumentar expressivamente o diâmetro externo e/ou a rotação, que pode ultrapassar limites de esforços mecânicos nas máquinas hidráulicas. Com isso pode ser aplicada bombas em série (MAQUINAS HIDRAULICAS, 2011).

Segundo CARLITO FLAVIO (1981), as bombas em série são colocadas uma após a outra, podendo recalcar a mesma vazão, podem ser iguais ou não.



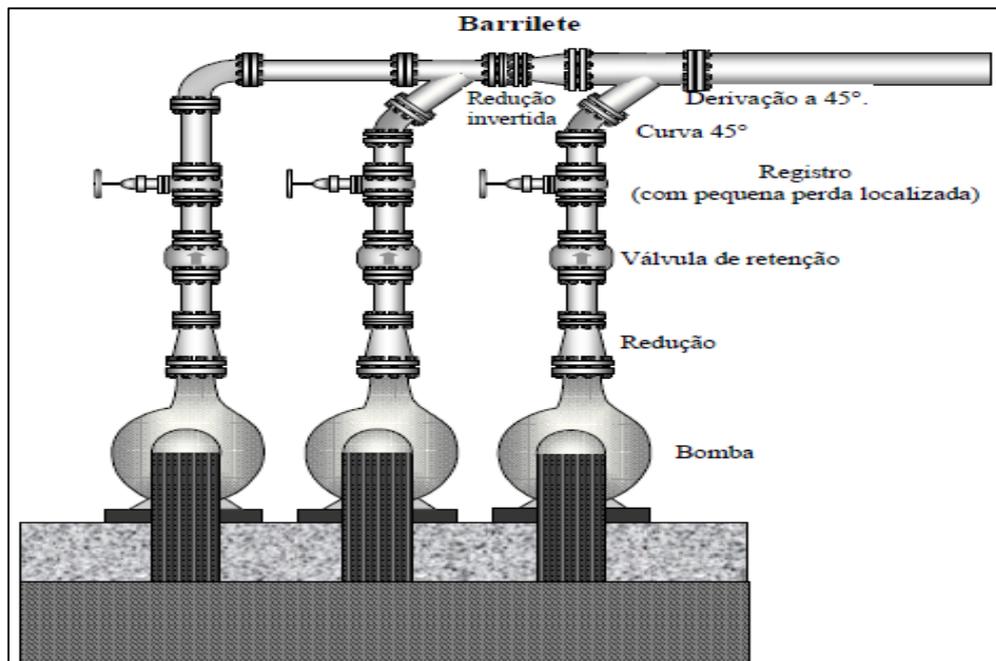
**Figura 3: Associação de Bombas em Série**  
Fonte: (Maquinas Hidráulicas, 2011)

### 2.17 Bombas em Paralelo

Ao se colocar bombas em funcionamento paralelo, tem que se dividir a vazão entre as bombas. Essa utilização é comum em sistemas de grande e médio porte. As vantagens em poder utilizar uma bomba ativa e outra de reserva são inúmeras. A demanda necessária não sendo a mesma por longo período pode-se utilizar apenas parte do sistema. A distribuição de vazão entre as bombas facilita na hora de adquirir a bomba, sendo que bombas de grandes portes necessitam de fabricação especial (MAQUINAS HIDRAULICAS, 2011).

As bombas deverão ser colocadas lado a lado, que são unidas por barrilete, aumentando o diâmetro a medida que haja junção de bombas, mantendo a velocidade constante. A ligação das bombas e o barrilete deve ter 45° para diminuir as perdas grandes na ligação e

utilizar válvula de retenção em todas as bombas, evitando que a água volte pela bomba que não está em funcionamento (MAQUINAS HIDRAULICAS, 2011).



**Figura 4: Associação de Bomba em Paralelo**  
Fonte: (Maquinas Hidráulicas, 2011)

## 2.18 Bombas em Série-Paralelo

Utiliza-se em qualquer instalação que tenha duas ou mais bombas iguais, sendo em série, ou em paralelo. Desta maneira, consegue-se ter uma maior faixa de utilização tanto para vazões e para altura manométrica (ARCHIBALD JOSEPH, 1997).

## 2.19 Golpe de Aríete

O estudo do movimento variado de um líquido em um conduto forçado da origem ao golpe de aríete, este é muito importante para efeito de projeto de hidráulica (CARLITO FLAVIO, 1981). O movimento variado pode acontecer pelo acionamento de um registro, pelo acionamento da válvula, pela parada ou mesmo pela mudança de rotação da bomba, enfim, qualquer fator que altere a velocidade e vazão do sistema.

Carlito Flavio (1981) cita como exemplo a ocorrência do golpe de aríete em instalações hidroelétricas, onde as vazões puxadas pelas turbinas são variáveis em decorrência da variabilidade no tempo, das potências exigidas. Uma carga de distribuição de energia de uma

cidade pode aumentar rapidamente ao se ligar a iluminação pública, ou o início de funcionamento de uma fábrica.

O regulador de velocidade da turbina aumenta a abertura do distribuidor, provocando um aumento de velocidade e de vazão no distribuidor. Esse aumento de velocidade faz ter o aparecimento de uma depressão na voluta da turbina. Inversamente, a diminuição rápida de descarga elétrica na rede de distribuição, alivia a carga da turbina, diminuindo a vazão e a velocidade.

O fenômeno de compressão do líquido e redução de velocidade dá-se o nome de golpe de aríete positivo, quando acontece o fenômeno de descompressão, fruto do aumento de velocidade, chama-se golpe de aríete negativo.

## **2.20 Correção das Curvas**

Ao analisar a instalação com três bombas em paralelo. As bombas vão ter características diferentes, porém as alturas manométricas máximas vão ser aproximadamente iguais. Quando o encanamento estiver pouco curvado, conseqüentemente terá menos perda de carga, é mais aconselhável à utilização em paralelo, porque há aumento de descarga.

Se as perdas de cargas forem significativas, o aumento com uma ou mais bomba em paralelo será pequeno, não compensando muito. Onde será melhor a utilização de duas ou três bombas diferentes, com capacidade de atender a demanda prevista. Se as perdas forem muito elevadas, há opção de utilizar motores com dupla rotação, solução ainda melhor é instalar variadores de velocidade hidrodinâmicos ou magnéticos e até utilizar motores de velocidade variável (ARCHIBALD JOSEPH, 1997).

## **2.21 Escorva**

O momento antes do início do funcionamento da bomba, é necessário que a tubulação de sucção e a bomba estejam preenchidas pelo líquido a ser bombeado, procedimento conhecido como escorva (KSB BOMBAS HIDRÁULICAS, 2014).

### **2.21.1 Procedimentos de Escovar Bombas**

- Quando o nível do líquido presente no reservatório utilizado para a sucção, estiver acima da boca de sucção da bomba, é necessário apenas abrir a válvula que impede o fluxo, até que a tubulação e bomba sejam preenchidas.
- Quando o nível do líquido presente no reservatório utilizado para sucção estiver igual ou abaixo da boca de sucção da bomba, a bomba deve ser escovada retirando a peça bujão e colocando no seu lugar um funil de escorva, posteriormente deve se colocar o líquido a ser bombeado até preencher a bomba e tubulação.
- Tendo disponibilidade de fonte externa do líquido bombeado, se adapta uma tubulação permanente com uma válvula, e a utilização de um respiro para retirada de ar depois da boca de recalque e antes da válvula. A escorva acontece ao abrir a válvula da fonte externa e deixando que preencha até jorrar pelo respiro.

### **2.22 Dimensionamento Econômico**

As instalações elevatórias são sistemas, compostos por bombas e tubulações, que são utilizados para pressurizar determinado tipo de líquido, em que o mesmo não pode ser feito através da gravidade. O objetivo é conduzir o líquido a diferentes tipos de consumos. Estas instalações são utilizadas frequentemente em sistemas de abastecimentos urbano de água, esgoto e instalações prediais, (PIMENTEL GOMES, 2002).

O sistema é composto por estação de bombeamento, sistema de sucção e uma tubulação de recalque. O projeto de uma instalação requer o dimensionamento das tubulações de sucção e recalque, conseqüentemente o cálculo da potência do conjunto elevatório. O projeto em vista técnico e econômico, está ligado diretamente ao dimensionamento hidráulico da tubulação de recalque, onde o mesmo é um componente mais muito mais importante em comparação ao sistema de sucção e bombeamento, (PIMENTEL GOMES, 2002).

Segundo (PIMENTEL GOMES, 2002), é necessário fazer o estudo econômico já que dimensionamento hidráulico de sistemas de tubulações (com ou sem estações de bombeamento) é hidráulicamente indeterminado, admitindo várias soluções de dimensionamento ou outras opções de projeto. Logo, existira apenas uma opção de projeto que será mais econômica, onde corresponderá a solução ótima em relação econômica.

## **2.23 Eficiência Energética**

CELPE, diz que a eficiência energética consiste em obter o melhor desempenho na produção de um serviço com menor gasto de energia. Como exemplo de ação, está a modernização de equipamento e processos no sentido de reduzirem seu consumo. Os programas voltados para o consumo consciente também contribuem para a economia.

Para incentivar a eliminação de desperdícios, assim como reduzir os custos e os investimentos setoriais, foi criado em 1985 o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), CELPE.

Os contratos de concessão firmados pelas empresas concessionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica com a ANEEL estabelecem obrigações e encargos perante o poder concedente. Uma dessas obrigações consiste em aplicar anualmente o montante de, no mínimo, 0,5% de sua receita operacional líquida em ações que tenham por objetivo o combate ao desperdício de energia elétrica, o que consiste no Programa de Eficiência Energética das Empresas de Distribuição – PEE, CELPE.

Durante muitos anos, o abastecimento público de água era realizado por meio da captação em fontes limpas nas encostas e levadas à população pela ação da gravidade. Mas, atualmente a captação da água depende, quase que exclusivamente, de bombeamento. Em função disso, o uso de bombas nesta sistemática tornou-se essencial, provocando aumento no consumo de energia elétrica devido ao acionamento dos motores e demais dispositivos utilizados para o funcionamento eficaz das bombas (MONACHESI, 2005).

Nesse contexto, verifica-se que atualmente, existe um consumo bastante significativo de energia elétrica durante os processos de abastecimento de água, esgotamento sanitário e pluvial, e limpeza urbana nos aglomerados populacionais, o qual pode e precisa ser reduzido drasticamente, devido às ameaças de falta ou escassez de água, fazendo-se necessário, portanto, parcimônia no seu uso, o qual poderá resultar em benefícios tanto para o usuário quanto para o agente gestor (BARDALES, 2007).

Normalmente, as perdas de energia elétrica constatadas durante os processos do sistema de abastecimento de água (captação, transporte, tratamento, armazenamento e distribuição) se devem a procedimentos operacionais existentes, “no dimensionamento dos sistemas, na idade dos equipamentos, nas tecnologias não eficientes utilizadas, na manutenção, nas formas contratuais e no desperdício de água” (BAHIA, 1998, apud BARDALES, 2007, p. 5).

Desta maneira, cabe ao sistema elétrico providenciar a redução das perdas nas etapas de geração, transmissão e distribuição, bem como desenvolver projetos que tenham como meta a conservação. Outro aspecto importante diz respeito aos diferentes segmentos do consumo, que devem eliminar o desperdício, fazendo uso de novas tecnologias e principalmente, mudando os hábitos de uso da energia. O que já se apresenta como uma tendência nos países desenvolvidos: realização de esforços maiores para aumentar a eficiência energética a partir do uso intensivo de novas tecnologias (BARDALES, 2007).

Mediante o exposto, verifica-se que é consenso entre os autores pesquisados na literatura, que a principal vantagem da eficiência energética está no seu custo que é mais barato do que a produção de energia. E mesmo, quando o investimento em tecnologia eficiente requer maiores gastos de capital, pois os sistemas e equipamentos eficientes geralmente são mais caros do que as tecnologias que substituem (JAMES et al., 2002).

As estações elevatórias são componentes essenciais dos sistemas de abastecimento de água, sendo utilizado na captação, adução, tratamento e distribuição de água. No entanto, o uso intensivo das elevatórias em sistemas de abastecimento de água e esgoto sanitário tem elevado as despesas com energia elétrica, sendo um dos principais itens dos custos operacionais das prestadoras de serviços de saneamento básico (TSUTIYA, 2005).

### **3 METODOLOGIA**

O trabalho foi realizado tendo como referência a ETA 06 e o RAP 01 em Palmas, TO. As coordenadas geográficas do local são: 10°17'17,04" S e 48°17'45,00" O (ETA 06) e 10°14'1,45" S e 48°18'36,20" O (RAP 01). O projeto de abastecimento da ETA 06 ao RAP 01, memorial descritivo e memorial de cálculo para dimensionamento do atual sistema, foram disponibilizados pela Odebrecht ambiental, executado pela empresa SENHA ENGENHARIA.

Este trabalho é um estudo de caso que segundo Gil (1999) “o estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir conhecimentos amplos e detalhados do mesmo”.

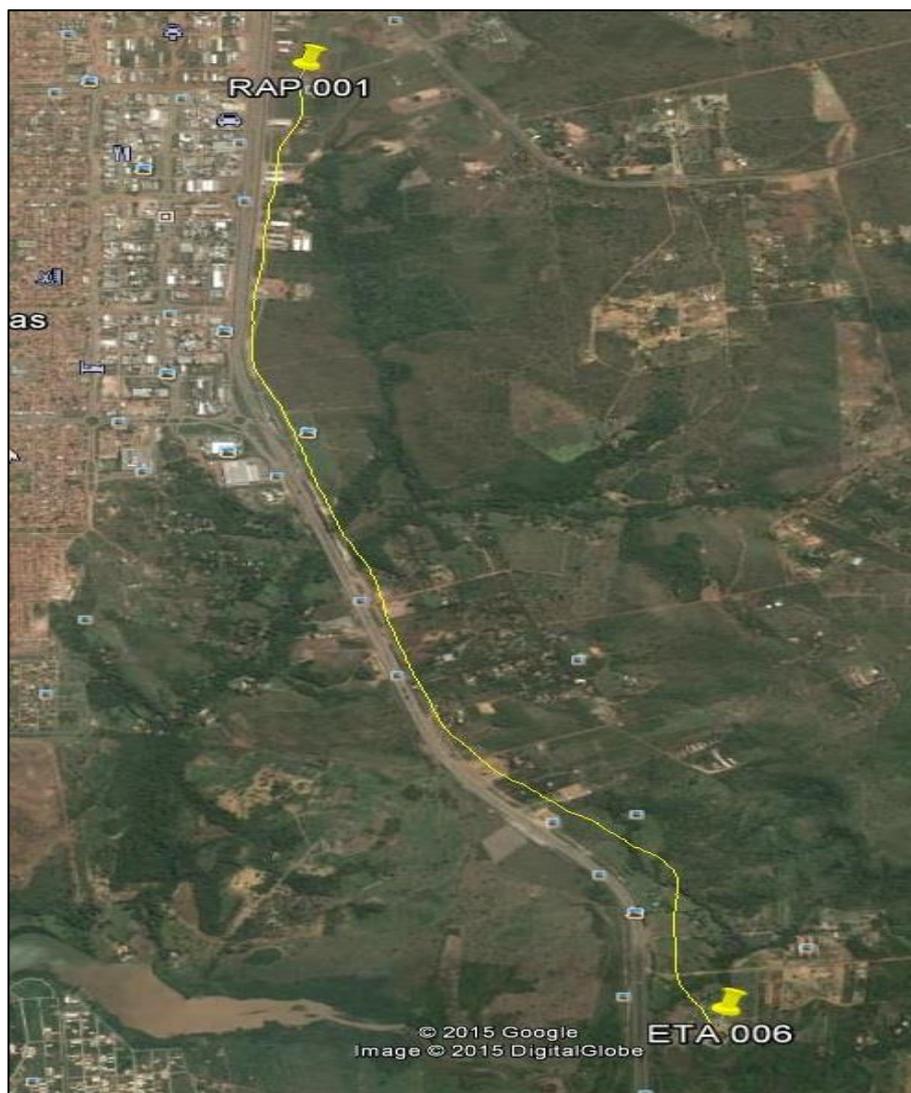
A metodologia deste trabalho tem como foco, analisar a melhor situação para redução energética na estação elevatória de água tratada da Foz/Saneatins, presente em ETA 06 e RAP 01 Palmas – TO. Fazendo o comparativo entre dois projetos, o existente e o novo proposto, que será de uma única bomba e uma reserva. De acordo com os resultados, verificar quais os ganhos da implantação do sistema dimensionado, para obter melhor rendimento, diminuir as potências das bombas. Assim, permitir a melhor eficiência do sistema de abastecimento de água tratada do RAP 01.

A ferramenta utilizada para o dimensionamento do novo sistema, é o software EasySelect da KSB Bombas Hidráulicas, que é a mesma marca do conjunto atual. O software disponibiliza através das características de projeto, a melhor bomba a ser utilizada para determinado projeto.

A ferramenta de pesquisa que, segundo Mello e Slomsk (2005, pag. 6) “são abordagens que utilizam em comum técnica de coleta, tratamento e análise de dados marcadamente quantitativos”.

#### **3.1 Elevatórias de Água Tradada (EAT), Sistema Atual.**

O abastecimento de água tratada no RAP01 é realizado por um sistema de bombeamento, cuja água é captada no reservatório apoiado localizado na ETA 06. A estação elevatória é composta por três bombas afogadas, sendo uma reserva. Duas bombas funcionam com vazão de 203,5 l/s cada, chegando à vazão total do sistema que é 407,8 l/s.



**Figura 5: Trecho ETA06/RAP01**  
Fonte: Google Earth.

As tubulações de sucção possuem diâmetros de 700 mm e redução para 500 mm que adapta na bomba, o diâmetro de saída para recalque é de 400 mm e chega a um barrilete de 800 mm, que manda para adutora principal com comprimento de 6347,00 m, com diâmetro 700 mm até o RAP01.

Durante a linha de recalque até o RAP 01, peças são utilizadas para combater possíveis falhas no sistema. A utilização de válvula múltipla amortecedora do golpe de aríete, válvula de controle de nível evita que a bomba continue a funcionar quando o reservatório já está com volume limite, ventosa para retirada de ar na tubulação, descarga utilizada para possíveis limpezas na rede.



**Figura 6: Área abastecida pelo RAP01.**  
 Fonte: Odebrecht Ambiental, Palmas - TO.

Legenda:  - Área abastecida pelo RAP01.

Com as formulas referenciadas anteriormente, calculou-se as perdas de carga. Sendo assim obteve a altura manométrica máxima para diferentes tipos de vazão, porém a considerada é 407,00 L/s, no trecho entre ETA06 e RAP01. Demonstrado na tabela seguinte:

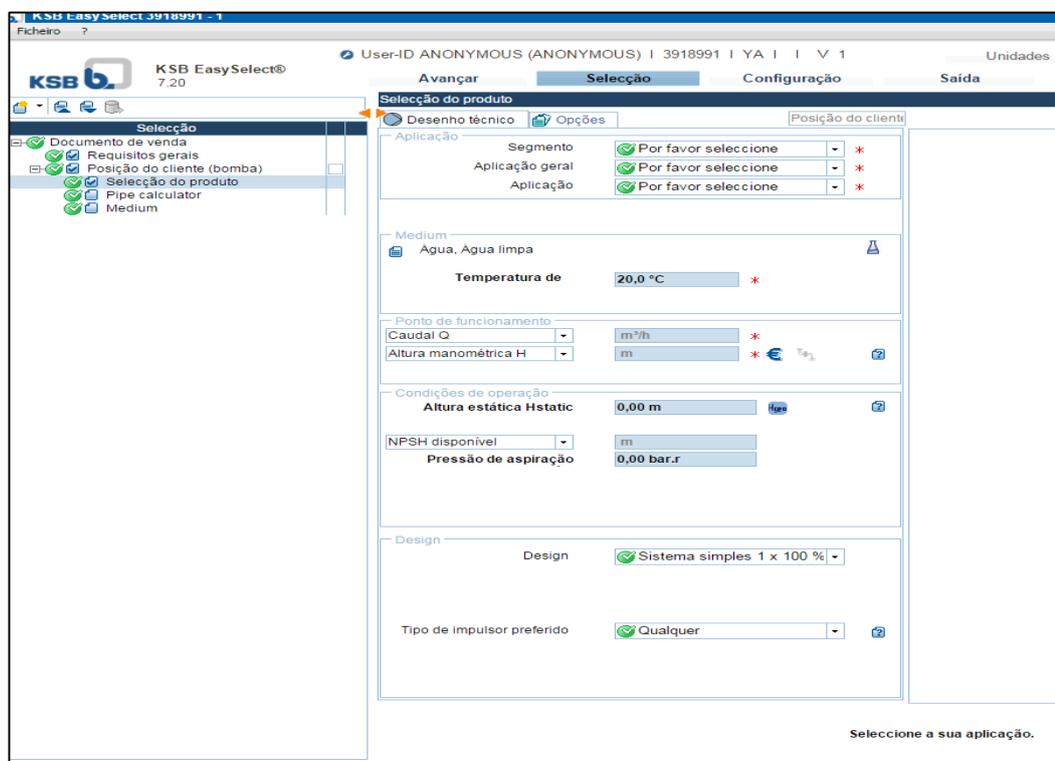
Vazão (l/s)	AMT <sub>máx</sub>	AMT <sub>média</sub>	AMT <sub>min</sub>
0,00	86,50	78,50	70,50
50,00	86,77	78,77	70,77
100,00	87,56	79,56	71,56
150,00	88,89	80,89	72,89
200,00	90,75	82,75	74,75
250,00	93,14	85,14	77,14
300,00	96,07	88,07	80,07
350,00	99,52	91,52	83,52
400,00	103,51	95,51	87,51
<b>407,00</b>	<b>104,11</b>	<b>96,11</b>	<b>88,11</b>
450,00	108,02	100,02	92,02
500,00	113,07	105,07	97,07
550,00	118,65	110,65	102,65
600,00	124,76	116,76	108,76
650,00	131,41	123,41	115,41
700,00	138,58	130,58	122,58
750,00	146,29	138,29	130,29

**Tabela 2: Vazão x Altura manométrica**  
 Fonte: Odebrecht Ambiental, Palmas - TO.

### 3.2 Utilização do Software EasySelect para Dimensionar o Sistema Proposto

Com a utilização de software especializado para dimensionamento de bombas, os resultados ganham mais precisão, pois o programa dimensionamento é feito, baseado no cruzamento da curva do sistema hidráulico com a curva da bomba hidráulica.

Para o dimensionamento do novo sistema, será utilizada a ferramenta EasySelect disponibilizada pela empresa KSB Bombas Hidráulicas S/A. Considerando que o sistema proposto será três bombas em paralelo e mais uma reserva. Para efeito de cálculo, o software, depende de dados do projeto, que são; tipo de aplicação da bomba, vazão de projeto, altura manométrica, altura estática, tipo de impulsor.



**Figura 7: Software EasySelect**  
Fonte: Site- KSB Bombas Hidráulicas S/A.

Com o fornecimento dos dados necessários, a KSB recomenda um modelo específico de bomba, que mostra a melhor para ser utilizada. Porém alternativas de bombas diferentes também são disponibilizadas, onde têm informações de rendimento, potência absorvida, NPSH requerido, rotação. Escolhida a bomba, o software disponibiliza valores de aquisição do produto, além do custo energético.

## **4 RESULTADOS E DISCURSÕES**

Neste capítulo, são apresentados os dados obtidos através do estudo de caso feito no sistema de bombeamento de água tratada da ETA-006 até o RAP-001, da companhia de saneamento (FOZ/SANEATINS), em Palmas, TO.

O estudo teve como objetivo avaliar a eficiência energética do sistema de bombeamento citado anteriormente. Com os resultados, saber qual dos projetos tem melhor eficiência.

Para alcançar os resultados, foram adquiridos juntamente a (FOZ/SANEATINS), o projeto com o memorial de cálculo e memorial descritivo do atual sistema de bombeamento da ETA-006 até o RAP-001. Os dados de operação que mostram o tempo de funcionamento das bombas no mês de fevereiro, além da tarifa cobra para o consumo e demanda dos mesmos.

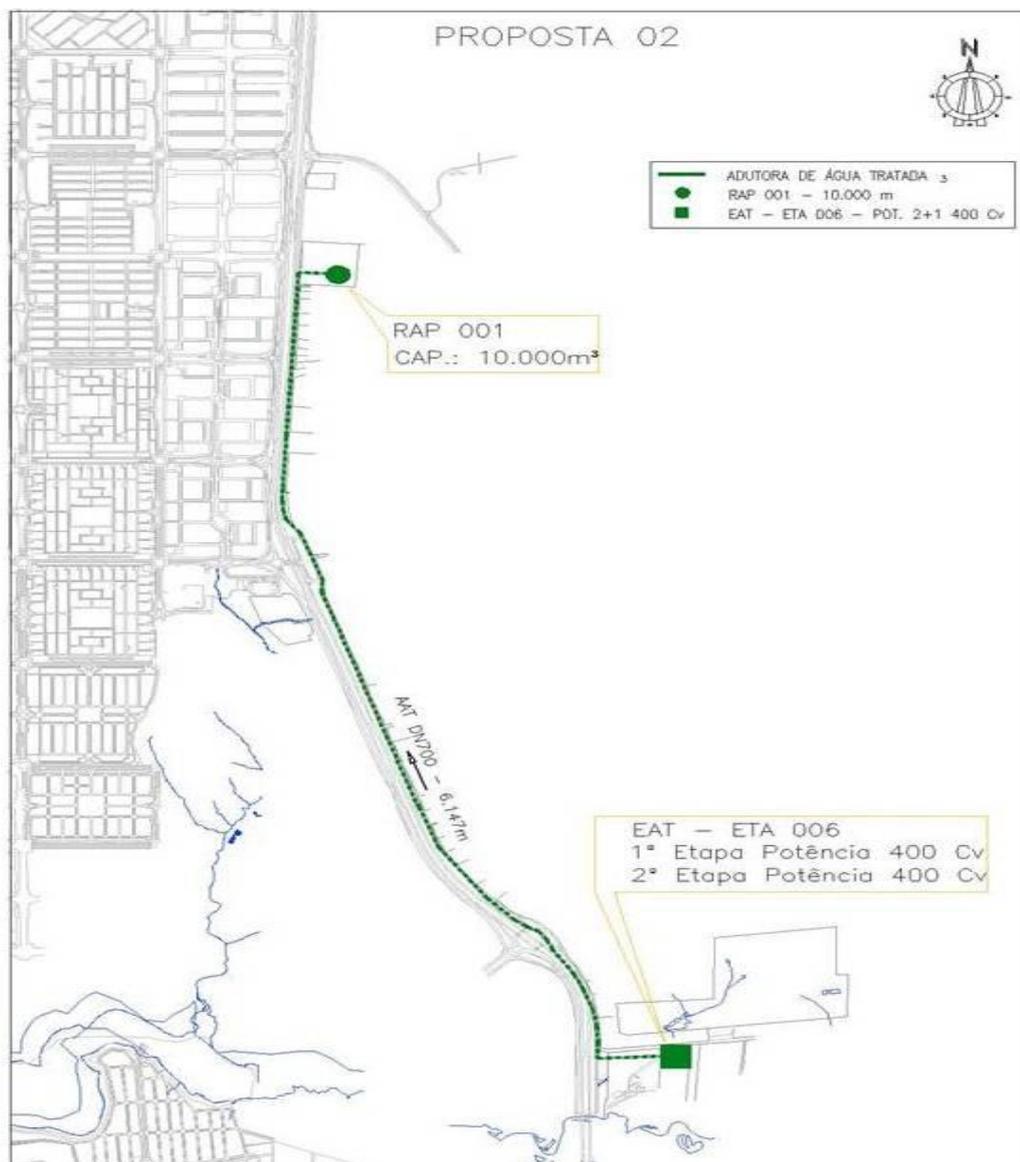
Para o dimensionamento do novo conjunto moto bomba, foi utilizado o Software EASYSELECT, onde que, para o mesmo projeto de abastecimento, considerou apenas uma bomba em funcionamento e mais uma reserva. Os dados de utilização do novo conjunto moto bomba é dado pelo software, como curva do sistema, curva da bomba, ponto ótimo do sistema.

O valor da tarifa cobrado pela empresa ENERGISA, responsável pelo fornecimento da energia elétrica no estado, foi o mesmo valor a ser utilizado para calcular o custo do novo sistema. Os resultados foram comparados, e o novo sistema obteve melhor eficiência energética que o atual, dentro das análises e viabilidade econômica de instalação/alteração, o conjunto moto bomba se tornou viável.

### **4.1 PROJETO ATUAL**

O projeto atual funciona com uma adutora de 700 mm diretamente da ETA-006 para o RAP-001, no qual possui três conjunto motor bomba de 400 Cv cada, dois funcionando ao mesmo tempo e uma reserva, com vazão de 203,5 l/s cada.

Através dos dados obtidos no BCD (Boletim de Controle Diário) da ETA 006, utilizou como base o tempo médio de funcionamento das duas bombas no mês de fevereiro do ano de 2016 para cálculo do custo total do sistema. A tarifa da demanda cobrada pela empresa ENERGISA é de 17,80 R\$ por cada Quilowatt (kW) do sistema e a tarifa do consumo é de 0,19061 R\$ por Quilowatt (kW) consumido.



**Figura 8: Representação Projeto Atual**  
 Fonte: Odebrecht Ambiental, Palmas - TO.

## **4.1.1 MEMORIAL DESCRITIVO**

### **INTRODUÇÃO**

O presente projeto diz respeito à Elevatória de Água Tratada 006, unidade definida para ampliação do Sistema de abastecimento de Água e Palmas/TO. A ETA 006 ficará na área da ETA Taquaruçu, interligará esta ETA ao RAP001, conforme previsto no Estudo de Concepção.

### **PLANEJAMENTO DO SISTEMA**

#### **Etapas de Implantação:**

O alcance do plano e as correspondentes etapas de implantação do Sistema de Abastecimento de Água de Palmas foram definidos da seguinte forma:

- Período de alcance do plano: 20 anos
- Número de etapas básicas de ampliação: 2
- Ano de início de operação da 1ª. Etapa: 2012
- Ano de início de operação da 2ª. Etapa: 2022
- Alcance do plano: 2032

#### **Concepção Básica:**

A EAT - Elevatória de Água Tratada 006 abastecerá as unidades integrantes do subsistema da região ALTA da cidade, que margeiam a TO-010 e que atenderão à parte alta do Plano Diretor Norte de Palmas. Em resumo a EAT 'A' foi projetada para a vazão dos RAP's 001, 2 e 3, sendo que abastecerá inicialmente o RAP001. O CR A3 será abastecido pela EAT A1 que será implantada na área do CR A2, unidades a serem projetadas.

### **PARÂMETROS DO PROJETO**

#### **População de Projeto:**

A população de projeto para esta ETA 006 foi estimada considerando as densidades demográficas das zonas homogêneas definidas no âmbito do estudo de Concepção. O Quadro 1.1 apresenta a população prevista ao longo do período de projeto para a área de abrangência.

Reservação Apoiado	População 2012		
	2012	2022	2032
RAP 1	49.799	63.744	69.181
RAP 2	32.353	39.102	45.227
RAP 3	20.067	27.399	32.710
<b>Total</b>	<b>102.219</b>	<b>130.245</b>	<b>147.118</b>

**Tabela 3: População considerada para ETA 006**

Fonte: Odebrecht Ambiental, Palmas - TO.

### Vazões de Projeto:

Os parâmetros de projeto admitidos para o cálculo das vazões de dimensionamento foram:

- $Q_{\text{méd}} = P \cdot q / 86400$
- $Q_{\text{dia}} = k_1 \cdot Q$
- $Q_{\text{hor}} = k_1 \cdot k_2 \cdot Q$
- Onde:
- $Q_{\text{méd}}$ : consumo médio de água (L/s)
- $Q_{\text{dia}}$ : consumo máximo diário de água (L/s)
- $Q_{\text{hor}}$ : consumo máximo horário de água (L/s)
- $k_1$ : coeficiente de máxima vazão diária = 1,2
- $k_2$ : coeficiente de máxima vazão horária = 1,5
- $P$ : população atendível (hab)
- $Q$ : consumo de água per capita = 200 L/hab.dia

Segundo os parâmetros de projeto estabelecidos, foram obtidas as demandas previstas para cada RAP, conforme mostram os Quadros 1.2 a 1.4

Reservação Apoiado	População(hab)	Vazões (L/s)		
		$Q_{\text{méd}}$	$Q_{\text{dia}}$	$Q_{\text{hor}}$
RAP 1	49.799	115,3	138,3	207,5
RAP 2	32.353	74,9	899,9	134,8
RAP 3	20.067	46,5	55,7	83,6
<b>Total</b>	<b>102.219</b>	<b>236,7</b>	<b>283,9</b>	<b>425,9</b>

**Tabela 4: Vazões de projeto EAT (ano 2012)**

Fonte: Odebrecht Ambiental, Palmas - TO.

Reservação Apoiado	População(hab)	Vazões (L/s)		
		Qméd	Qdia	Qhor
RAP 1	63.744	147,6	177,1	265,6162,9
RAP 2	39.102	90,5	108,6	114,2
RAP 3	27.399	63,4	76,1	542,7
<b>Total</b>	<b>130.245</b>	<b>301,5</b>	<b>361,8</b>	

**Tabela 5: Vazões de projeto da EAT (ANO 2022)**

Fonte: Odebrecht Ambiental, Palmas - TO.

Reservação Apoiado	População(hab)	Vazões (L/s)		
		Qméd	Qdia	Qhor
RAP 1	69.181	160,1	192,2	288,3
RAP 2	45.227	104,8	125,6	188,5
RAP 3	32.710	75,7	90,9	136,3
<b>Total</b>	<b>147.118</b>	<b>340,6</b>	<b>407,8</b>	<b>613,1</b>

**Tabela 6: Vazões de projeto da EAT (ano 2032)**

Fonte: Odebrecht Ambiental, Palmas - TO.

### **Vazões adotadas para Cálculo dos Diâmetros das Adutoras e EAT**

Conforme análise apresentada no Estudo de Concepção foi definido para a adutora o diâmetro DN 700 no ‘Trecho A1’ – interligação da ETA ao RAP001.

### **Características Técnicas das Unidades Projetadas**

A seguir são descritas as principais características da elevatória. As três bombas existentes serão mantidas, mas passarão pela troca do rotor, já os motores existentes deverão ser substituídos, ficando a unidade com a seguinte configuração:

- Quantidade: 2 = 1 conjuntos
- Q= 203,50 L/s, cada;
- AMT = 104,11 MCA;

#### **Bomba:**

- Tipo: Centrífuga
- Modelo de referência: KSB Omega 200-520 B
- Diâmetro do rotor: 486 mm
- Rendimento previsto ponto crítico: 79%

### **Motor**

- Potência: 400 cv
- Rotação: 1.750 rpm

## **CRITÉRIOS E PARÂMETROS DE CÁLCULO**

### **a) Linha de Recalque**

Os limites das velocidades de escoamento foram definidos de acordo com a ABNT NBR 12.214, sendo:

- Sucção:  $0,6 \leq V \leq 1,5$  m/s
- Recalque:  $0,6 \leq V \leq 3,0$  m/s

### **b) Perdas de Cargas**

As perdas localizadas foram calculadas com base no coeficiente "K" de cada peça, pela equação:

$$\Delta h_{loc} = \frac{K_{total} \times V^2}{2 \times g}$$

Onde:

$\Delta h_{loc}$  = perda de carga localizada (mca)

$K_{total}$  = somatório dos coeficientes de perda de carga localizada de cada peça (adimensional)

V = velocidade (m/s)

g = aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)

Para o cálculo das perdas de carga distribuídas, empregou-se a Fórmula Universal:

$$\Delta h = 0,0827 \times f \times L \times \frac{Q^2}{D^5}$$

Em que:

$\Delta h$  = perda de carga distribuída (mca)

f = coeficiente da perda de carga (adimensional)

L = comprimento (m)

D = diâmetro (m)

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s)

Para o cálculo do coeficiente da perda de carga é utilizada a fórmula de Swamee:

$$f = \left\{ \left( \frac{64}{Re \cdot y} \right)^8 + 9,5 \times \left[ \ln \left( \frac{\epsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{Re \cdot y^{0,9}} \right) - \left( \frac{2500}{Re \cdot y} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125}$$

Onde:

f = coeficiente da perda de carga (adimensional)

Rey = número de Reynolds (adimensional)

ε = 0,2 mm – coeficiente de rugosidade absoluta equivalente

### Perdas de Carga na Adutora Trecho A1 — DN700

#### PERDAS LOCALIZADAS

Peças	DN (mm)	QUANT.	K	Ktotal	Área (m2)	Fração da vazão q/ passa pela peça (l/s)	Ktotal * Fração da vazão <sup>2</sup> / (2.g.A2)
Tê de passagem direta	600	11	0,9	9,9	0,2827	0,53	1,77
Curva de 11°15'		19	0,05	0,95			0,17
Curva de 22°		21	1	21			3,76
Curva de 45°		3	0,4	1,2			0,21
Registro de parada		4	2,5	10			1,79
<b>ktotal</b>							<b>7,70</b>

**Tabela 7: Perdas de cargas localizadas**  
Fonte: Odebrecht Ambiental, Palmas - TO.

$$\Delta h_{loc.} = 9,40 \times Q^2$$

#### Perdas Distribuídas na Adutora Trecho A1

ε = 0,2 mm

Q = 407,80 L/s

D = 700 mm  $\implies$  V = 0,53 m/s

f = 0,0158

L = 6.347,0 m

$$\Delta h_{dist} = 49,34 \times Q^2$$

#### Perdas Totais

$$\Delta H_{Adut} = \Delta h_{dist} + \Delta h_{loc}$$

$$\Delta H_{\text{AdutA1}} = 49,34 + 9,4 = 58,74 \times Q^2$$

### ALTURA MANOMÉTRICA

$$AMT = Hg + \Delta H_{\text{total}}$$

$$AMT_{\text{min}} = Hg_{\text{min}} + \Delta H_{\text{total}} = 70,50 + 106,27 \times Q^2$$

$$AMT_{\text{máx}} = Hg_{\text{mais}} + \Delta H_{\text{total}} = 86,50 + 106,27 \times Q^2$$

Vazão (l/s)	AMTmáx	AMTmédia	AMTrnin
0,00	86,50	78,50	70,50
50,00	86,77	78,77	70,77
100,00	87,56	79,56	71,56
150,00	88,89	80,89	72,89
200,00	90,75	82,75	74,75
250,00	93,14	85,14	77,14
300,00	96,07	88,07	80,07
350,00	99,52	91,52	83,52
400,00	103,51	95,51	87,51
<b>407,00</b>	<b>104,11</b>	<b>96,11</b>	<b>88,11</b>
450,00	108,02	100,02	92,02
500,00	113,07	105,07	97,07
550,00	118,65	110,65	102,65
600,00	124,76	116,76	108,76
650,00	131,41	123,41	115,41
700,00	138,58	130,58	122,58
750,00	146,29	138,29	130,29

**Tabela 8: Vazão x Altura Manométrica da EAT "A"**

Fonte: Odebrecht Ambiental, Palmas - TO.

### Conjuntos Moto bombas Considerados para Efeito de Projeto:

As três bombas existentes serão mantidas, mas passarão pela troca do rotor. Já os motores existentes deverão ser substituídos, ficando a unidade com a seguinte configuração:

#### Bomba Considerada

- Vazão de cada bomba 203,50 L/s
- Altura manométrica 104,11mca
- Quantidade 2+1 conjuntos
- Tipo e instalação Centrífuga

- Modelo de referência KSB OMEGA 200-520 B
- Diâmetro do rotor 486 mm
- Rendimento previsto ponto crítico 79 %
- NPSH requerido 4,0 mca

### Motor Considerado

- Potência: 400 cv
- Rotação: 1.750 rpm

### 2.1.8 Potência Hidráulica

$$P = \frac{Q \times AMT}{75 \times \eta}$$

Onde:

P = potência (cv)

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s)

AMT = Altura manométrica (m)

$\eta$  = rendimento da bomba (%)

$$P = \frac{203,50 \times 104,11}{75 \times 0,8}$$

$$P = 353,11 \text{ cv}$$

Foi adotado um motor de 400cv.

A curva característica do sistema e a curva da bomba são apresentadas no gráfico a seguir.

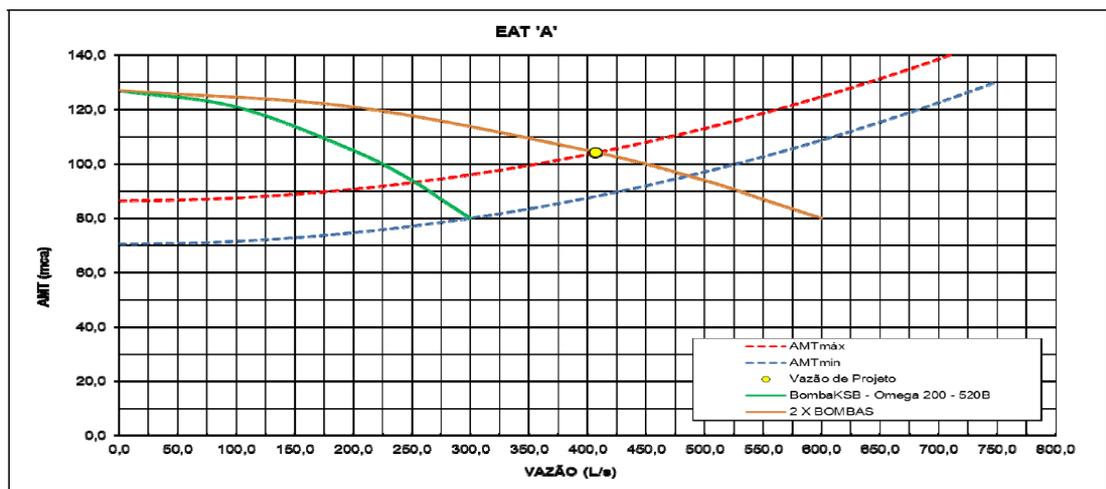


Gráfico 3: Curva do Sistema Elevatório EAT 'A'  
Fonte: Odebrecht Ambiental, Palmas - TO.

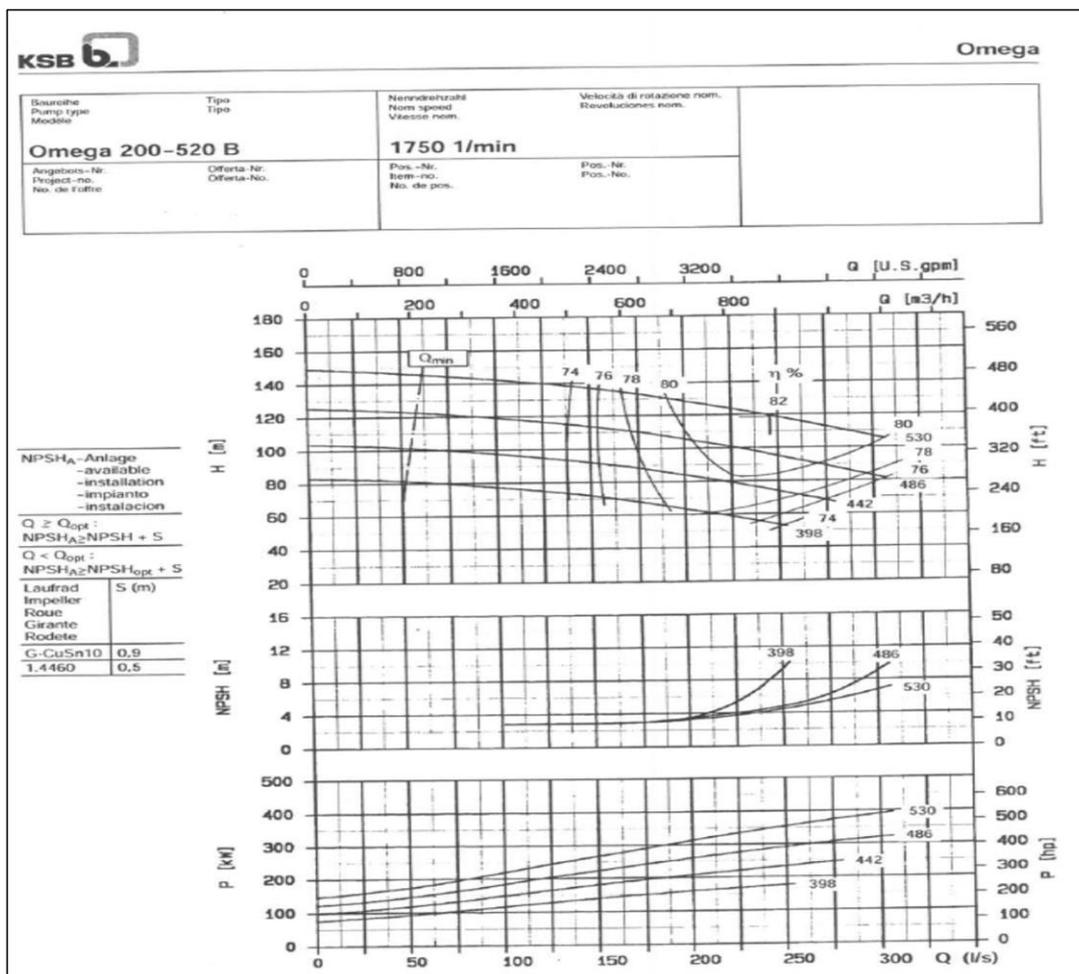


Gráfico 4: Curva característica da bomba adotada para efeito de projeto da EAT 'A'  
 Fonte: Odebrecht Ambiental, Palmas - TO.

## 5 PROJETO PROPOSTO

O projeto proposto foi dimensionado através do software EASYSELECT, com a mesma adutora do sistema atual, adutora de 700 mm diretamente da ETA-006 para o RAP-001. Porém foi considerado para cálculo apenas um conjunto motor bomba de 655 Cv, uma funcionando e uma reserva em vazão de 408,8 l/s.

Os mesmos dados do atual sistema obtidos no BCD (Boletim de Controle Diário) da ETA 006. O tempo médio de funcionamento considerado é o mesmo do atual proposto para o mês de fevereiro do ano de 2016, calculando-se então o custo total do sistema. A tarifa da demanda cobrada pela empresa ENERGISA é de 17,80 R\$ por cada Quilowatt (kW) do sistema e a tarifa do consumo é de 0,19061 R\$ por Quilowatt (kW) consumido.



**Figura 9: Representação Projeto Proposto**  
 Fonte: Próprio Autor.

### 5.1 Dimensionamento EasySelect

O dimensionamento através do software EasySelect, proporcionou um sistema com maior eficiência se comparado com o atual sistema utilizado na ETA 006. O rendimento que hoje é de 79%, com o sistema proposto passa a ser de 86,3%, uma diferença considerável de praticamente 7%.

Todas as peças, inclusive a tubulação, foram dimensionadas considerando o mesmo material do projeto atual, que é em ferro fundido.

Mediante o exposto, o projeto proposto obteve melhor eficiência, pois além da economia com energia, elimina-se a manutenção em uma bomba.

Peças consideradas na sucção:

<b>PEÇAS</b>	<b>DN (mm)</b>	<b>QUANT.</b>
Entrada de borda	700	1
Redução	500	1
Registro de gaveta	500	1
Redução	300	1

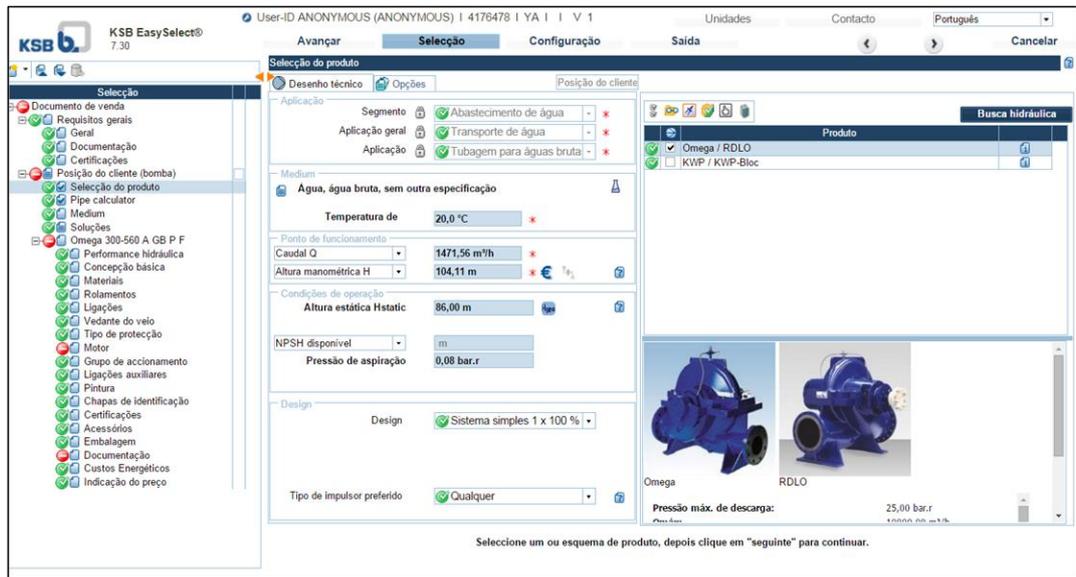
Peças consideradas no recalque:

<b>PEÇAS</b>	<b>DN (mm)</b>	<b>QUANT.</b>
Ampliação	300	1
Válvula de retenção	400	1
Registro de gaveta	400	1
Ampliação	800	1
Tê de saída lateral	800	2
Tê de passagem direta	800	2
Curva de 90°	800	1
Registro de gaveta	700	1
Curva 90°	700	1

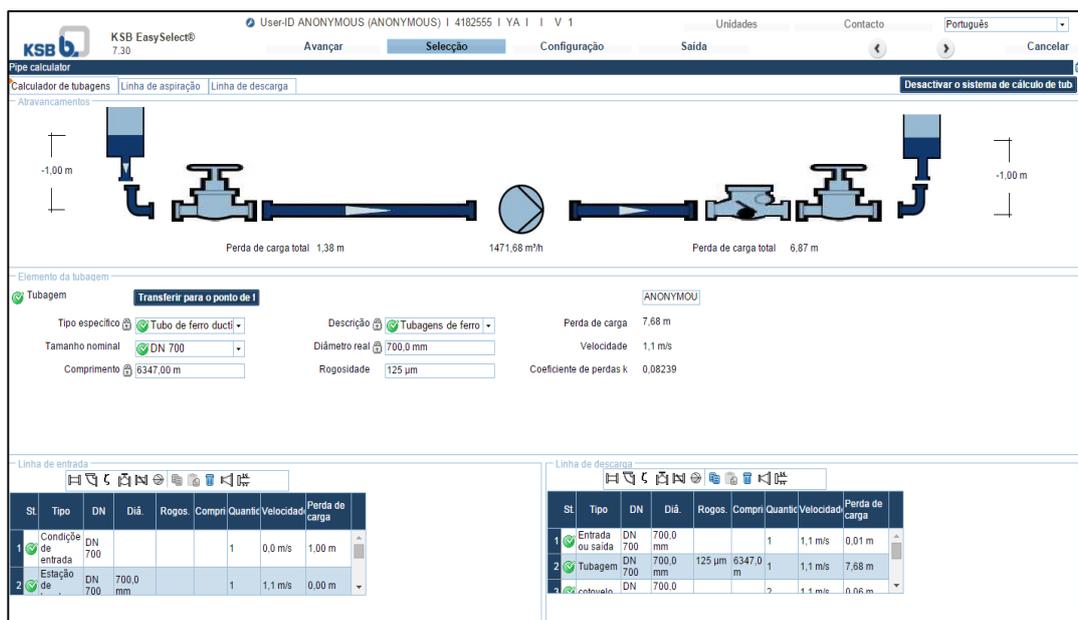
Peças consideradas na adutora DN 700 mm:

<b>PEÇAS</b>	<b>DN (mm)</b>	<b>QUANT.</b>
Tê de passagem direta	700	12
Curva de 45°	700	4
Curva de 11°15'	700	12
Curva 90°	700	2
Registro de parada	700	5

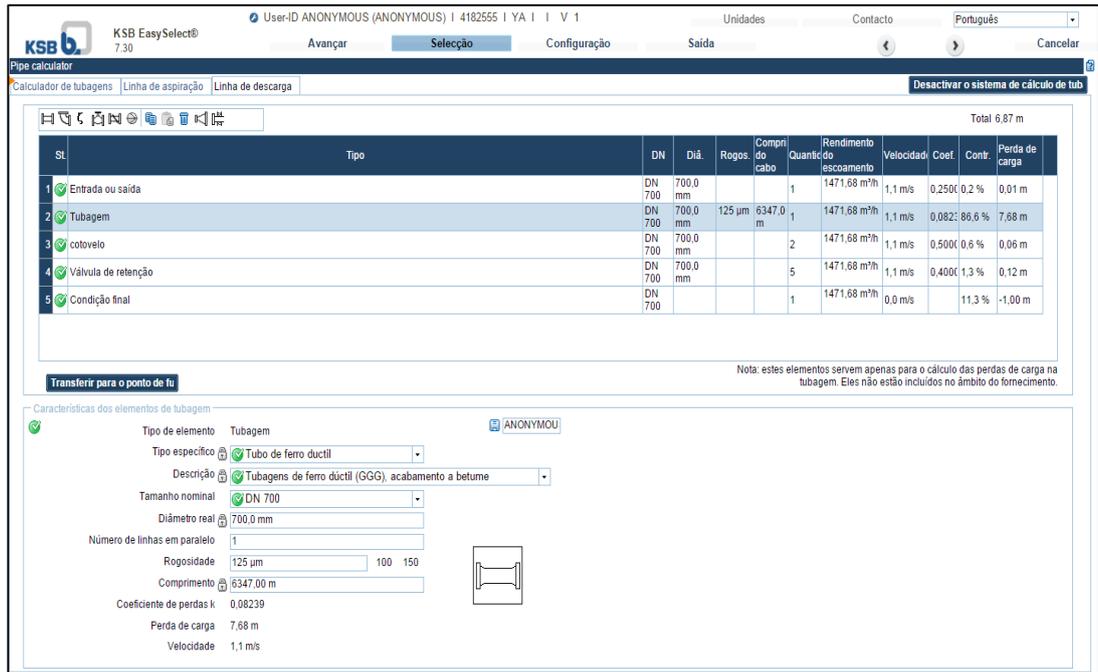
O processo de dimensionamento do sistema no software EasySelect, se dá na alimentação dos dados provenientes do projeto necessário a ser atendido pela bomba, o tipo de liquido, seguimento e aplicação são dados iniciais para caracterizar o tipo de bomba, além da vazão necessária a ser considerada para bombeamento e altura manométrica total do sistema. O tipo de material e as peças consideradas em toda linha de sucção, recalque e na rede de adução, se tornam, juntamente com os dados citados anteriormente de importância fundamental para o dimensionamento final da bomba, como mostrada nas figuras a seguir:



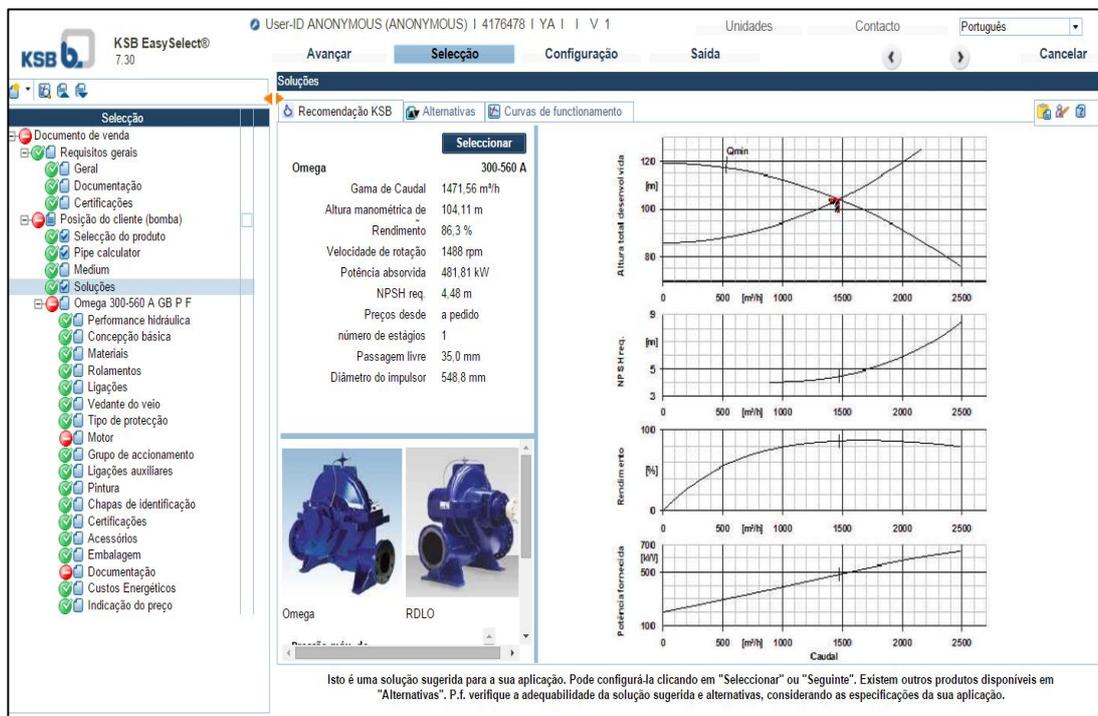
**Figura 10: Dimensionamento EasySelect**  
Fonte: Próprio Autor.



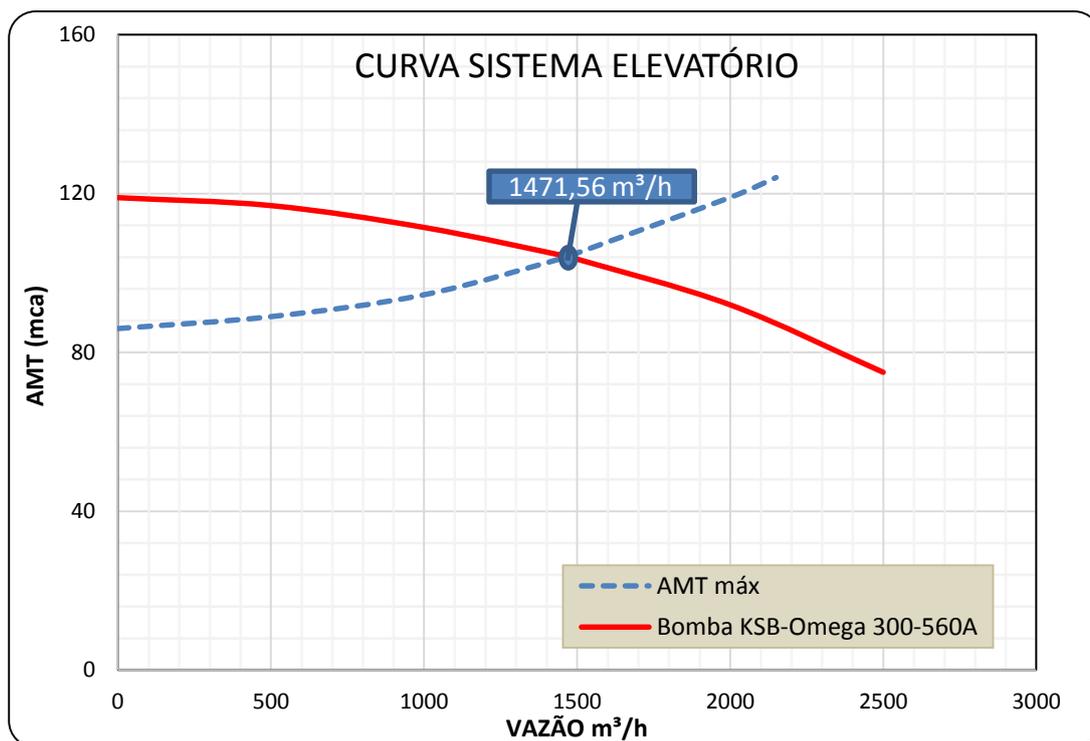
**Figura 11: Dimensionamento EasySelect**  
Fonte: Próprio Autor.



**Figura 12: Dimensionamento EasySelect**  
 Fonte: Próprio Autor.



**Figura 13: Dimensionamento EasySelect**  
 Fonte: Próprio Autor.



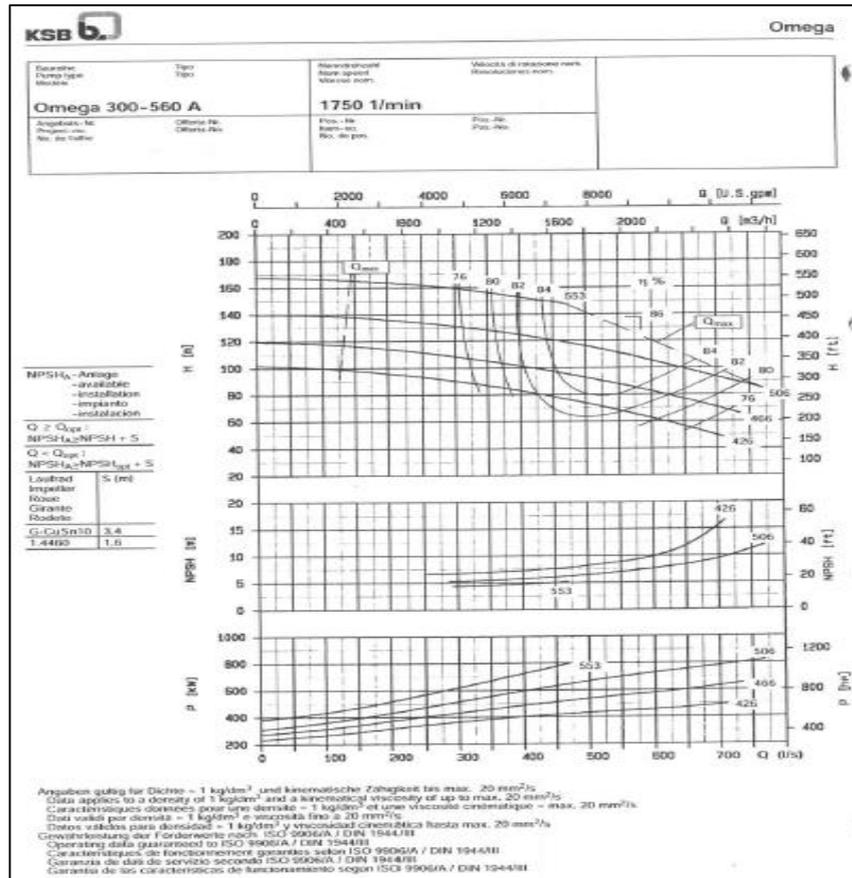
**Gráfico 5: Curva do Sistema Elevatório Proposto**  
 Fonte: Próprio Autor.

## 5.2 Características Técnicas das Bombas:

	<b>ATUAL</b>	<b>PROPOSTO</b>
<b>Quantidade:</b>	2+1	1+1
<b>Vazão:</b>	203,5 L/s	408,8 L/s
<b>AMT:</b>	104,11	104,11
<b>Tipo</b>	Centrifuga	Centrifuga
<b>Modelo de Referência:</b>	KSB Omega 200-520 B	KSB Omega 300-560 A
<b>Diâmetro do Rotor:</b>	486 mm	466 mm
<b>Rendimento Previsto:</b>	79%	86,30%
<b>Potência:</b>	2 x 400 cv (+1)	655 cv (+1)

**Tabela 9: Conjunto Motor bomba ATUAL X PROPOSTO**  
 Fonte: Próprio Autor.

A tabela acima mostra as características individuais de cada bomba. Onde mostra o melhor rendimento na segunda opção, para o mesmo total de vazão bombeada.



**Gráfico 6: Curva característica da bomba adotada para efeito de projeto proposto**  
 Fonte: Catalogo KSB Bombas.

## 6 RESULTADOS DO CUSTO OPERACIONAL ATUAL/PROPOSTO

Na finalização deste estudo, verificou-se que os resultados do projeto proposto para funcionamento da ETA06 ao Reservatório Apoiado, RAP01, pela Foz/Saneatins, em Palmas, TO foram plenamente alcançados, haja vista que o custo da energia elétrica total mensal do mês estudado, foi bem menor que o atual sistema. Então a eficiência energética do sistema proposto de abastecimento de água positivo.

Nesse sentido, vale lembrar que a implantação de medidas que visem a reduzir os custos com energia elétrica é de suma importância para a viabilidade econômica das empresas que operam os sistemas de água e esgoto, já que o custo da energia elétrica tem sido cada vez mais elevado, em função da crise no setor energético (ELETROBRÁS al., 2005).

Assim, segue na sequência os resultados referentes às perspectivas financeiras a serem geradas com o sistema proposto na da ETA06 ao Reservatório Apoiado, RAP01, da Foz/Saneatins, em Palmas, TO.

### Consumo de Energia - Projeto Atual

ETA 06: 34,5 kVA

Demanda:  $588,40 \text{ kW} \times \text{R}\$17,8 = \text{R}\$ 10.473,52$

Consumo:  $(588,40 \text{ kWh} \times 20,5\text{h} \times 29 \text{ dias}) = 349.827,58 \text{ kWh}$

→  $349.827,58 \times 0,19061 = \underline{\text{R}\$66.680,64}$

---

Total **R\$ 77.154,16** + 40% (tributos) R\$ 108.015,82

---

**Total Geral = R\$ 108.015,82**

**Tabela 10: Consumo de energia do Projeto Atual**

Fonte: Próprio Autor.

### Consumo de Energia - Projeto 02

Novo: 34,5 kVA Direto da ETA 006 para o RAP 01

Demanda:  $482,08 \text{ kW} \times \text{R}\$ 17,8 = \text{R}\$ 8.581,02$

Consumo:  $(482,08\text{kWh} \times 20,5\text{h} \times 29 \text{ dias}) = 286.596,56 \text{ kWh}$

→  $286.596,56 \times 0,19061 = \underline{\text{R}\$54.628,17}$

---

Total **R\$ 63.209,19** + 40% (tributos) = Total Geral = R\$ 88.492,87

---

**Total Geral = R\$ 88.492,87**

**Tabela 11: Consumo de energia do Projeto Proposto**

Fonte: Próprio Autor.

---

Com a diferença entre o novo e o antigo sistema de abastecimento de água, houve uma redução de consumo que resultou em ganho financeiro:

$$\mathbf{R\$ 108.015,82 - R\$ 88.492,87 = \underline{\underline{R\$ 19.522,95 \text{ por mês}}}}$$

---

O investimento para implantação do sistema, de acordo com a cotação feita juntamente a KSB Bombas Hidráulicas do novo conjunto moto bomba, fica em R\$ 683.040,00, incluindo a bomba reserva. Sabe-se que geralmente, os financiamentos de projetos de eficiência energética são fomentados pelos programas sociais do Governo Federal, cuja variação percentual está em torno de 5% a 6%.

Para saber o retorno financeiro no investimento do sistema de abastecimento de água da ETA 06 ao RAP 01, o valor de R\$ 683.040,00 foi dividido pela economia de R\$ 19.522,95, obtendo-se um total de 35 meses que dividido por 12 chega-se há 3 anos, tempo necessário para a Foz/Saneatins pagar o financiamento obtido junto ao Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), a juros bastante reduzidos.

Visando os resultados obtidos, vale ressaltar que o alcance do plano e as correspondentes etapas para implantação do projeto na Foz/Saneatins são de 20 anos, dos quais já se passaram quatro anos. Portanto, tirando o tempo de retorno do investimento a empresa terá com essa economia de energia 13 anos economizando em média R\$ 19.522,95 ao mês. Confirmando-se assim a viabilização econômica do investimento.

Outro fator que se concretiza viável é que a demanda a ser atendida, atenderá a uma população atual de 102.219 habitantes, com projeção de aumento de 40% para 2032 de 147.119.

A implantação de medidas que possam reduzir os custos com energia elétrica é de suma importância para a viabilidade econômica das empresas que operam os sistemas de água e esgoto, pois o custo de energia elétrica tem sido cada vez mais elevado, principalmente devido à crise no setor energético (ELETROBRÁS et al, 2005).

MODALIDADE TARIFÁRIA HORÁRIA VERDE							
SUBGRUPO	CLASSES	TUSD + TE		ULTRAPASSAGEM		CONSUMO (R\$/KWH)	
		DEMANDA (R\$/KW)	FORA PONTA	PONTA	F. PONTA	PONTA	FORA PONTA
A3A (30 A 44 KV)	SERVIÇO PÚBLICO	-	17,80	-	41,90	1,56231	0,19061
	RURAL	-	18,85	-	41,90	1,65421	0,20182
	RURAL IRRIGAÇÃO	-	-	-	-	-	0,04485
	DEMAIS CLASSES	-	20,95	-	41,90	1,83802	0,22425
A4 (2,3 A 25 KV)	SERVIÇO PÚBLICO	-	18,74	-	44,10	1,62933	0,19061
	RURAL	-	19,84	-	44,10	1,72517	0,20182
	RURAL IRRIGAÇÃO	-	-	-	-	-	0,04485
	DEMAIS CLASSES	-	22,05	-	44,10	1,91686	0,22425

**Figura 14: Modalidade Tarifária Horária Verde**

Fonte: Energisa.

## 6.1 Payback

Payback é a ferramenta utilizada para calcular o retorno financeiro de um investimento, ou seja, trata-se do tempo necessário para que uma empresa recupere o seu investimento inicial, calculado de acordo com suas entradas de caixas projetados para o período de projeto (ODEBRECHT, 2014).

Logo então, o Payback mostra o tempo em que o investimento é pago, sem taxa de atualização. Pode-se verificar no **Gráfico7**, abaixo, a análise de payback, onde o investimento é pago em sete (3) anos.



**Gráfico 7: Projeção de Retorno Financeiro do Investimento**

Fonte: Próprio Autor.

## 6.2 Fatores que influenciam a ineficiência:

- O aumento da vazão, aumenta proporcionalmente a rotação da bomba.

$$Q1 = Q0 \times (n1/n0)$$

- O aumento da pressão varia proporcionalmente ao quadrado da rotação.

$$H1 = H0 \times (n1/n0)^2$$

- O aumento da potência varia proporcionalmente ao cubo da rotação.

$$N1 = N0 \times (n1/n0)^3$$

**n0**= Rotação inicial.

**Q0**= Vazão inicial.

**n1**= Rotação final.

**H0**= Pressão inicial.

**N0**= Potência inicial.

A rotação da bomba está diretamente ligada a fatores de funcionamento da bomba (vazão, pressão, potência), desta forma um funcionamento superior ao dimensionado para o conjunto motorbomba gera um aumento na rotação, conseqüentemente a potência aumentando aumenta o custo do sistema.

## 7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Com o dimensionamento no software EasySelect de um novo sistema, verificou-se que o sistema proposto é mais viável que o atual utilizado na EAT (elevatória de água tratada) da ETA 06. Onde o sistema atual funciona com duas bombas de 400 C.v (além de uma reserva) e o proposto que é de uma bomba de 655 C.v.
- Diante dos resultados comparativos verificou-se que a economia mensal do sistema proposto chega em média a R\$ 19.522,95 em relação ao projeto atual. Sendo assim no final do alcance do plano de projeto (faltam 16 anos) terá uma economia total de R\$ 3.045.580,20.
- A partir dos resultados obtidos e dos conhecimentos adquiridos durante a execução do trabalho, observou diversos fatores os quais podem causar ineficiência no sistema de bombeamento:
  - A utilização do conjunto motorbomba acima da rotação indicada pela fabricante.
  - O bombeamento de vazão maior que o especificado no dimensionamento do sistema.
- Para continuidade deste trabalho pode-se considerar as seguintes análises para trabalhos futuros:
  - Verificação do consumo de energia com a substituição de motores mais eficientes.
  - Verificar a utilização de reguladores de frequência (inversor de frequência) para possibilitar a economia energética.

## 8 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12214 NB 590**. 1990

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6400**.1989.

AZEVEDO NETTO, J. M – **Manual de Hidráulica** – São Paulo – Blucher 1998 200p.

AZEVEDO NETTO, J. M – **Manual de Hidráulica** – São Paulo – C.A, Horácio Lane – 1998 – 269p.

BOMBAS corrigidas. **Máquinas Hidráulicas - Bombas**.

COMPANHIA AMBIENTAL DE SÃO PAULO (CETESB). Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/37-o-problema-da-escassez-de-agua--no-mundo>. Acesso em: 02/04/2015

LENCASTRE, A. – **Manual de Hidráulica Geral** – Madrid – Dossat S/A 1962 – 156p.

MACINTYRE, A.J. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997.

**MANUAL TÉCNICO SCHNEIDER MOTOBOMBAS**. Joinville. 2006.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Disponível em: <http://nacoesunidas.org/demanda-por-agua-disparara-55-entre-a-populacao-mundial-em-2050-alerta-fao/>. Acesso em: 02/04/2015.

PIMENTA, C.F. – **Hidráulica Geral (apostila)** – São Paulo – Lab. De Hidráulica da EPUSP – 1970 – 7 fasc.

PIMENTEL, G.H. **SISTEMA DE SANEAMENTO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**. 1. Ed. JOÃO PESSOA: EDITORA UNIVERSITÁRIA, 2010.

SANTOS, S.P. **BOMBAS E INTALAÇÕES HIDRÁULICAS**. SAÃO PAULO: LCTE, 2007.

YASSUDA, E. R. & alii – **Bombas e Estações Elevatórias** – São Paulo – Fac. De Higiene e Saúde Pública – 1968 – Iv.

PIMENTEL, G.H. **SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO**. 1. Ed. JOÃO PESSOA: EDITORA UNIVERSITÁRIA, 2002.

COMPANHIA ENERGETICA DE PERNAMBUCO - CELPE. Disponível em: <http://www.celpe.com.br/Pages/Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica/o-que-e-ef-energetica.aspx>. Acesso em: 02/04/2015.

MONACHESI, M. G. **Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2005.

BARDALES, Katheryne Lizbeth Nuñez. **Otimização energética da operação de um sistema adutor de água tratada** utilizando algoritmos evolucionários multiobjetivo. Dissertação (Mestrado). Campo Grande, MS, 2007. Disponível em: <<https://sistemas.ufms.br/sigpos/portal/trabalhos/download/56/cursoId:33>> Acesso em: 15/Fevereiro. /2016.

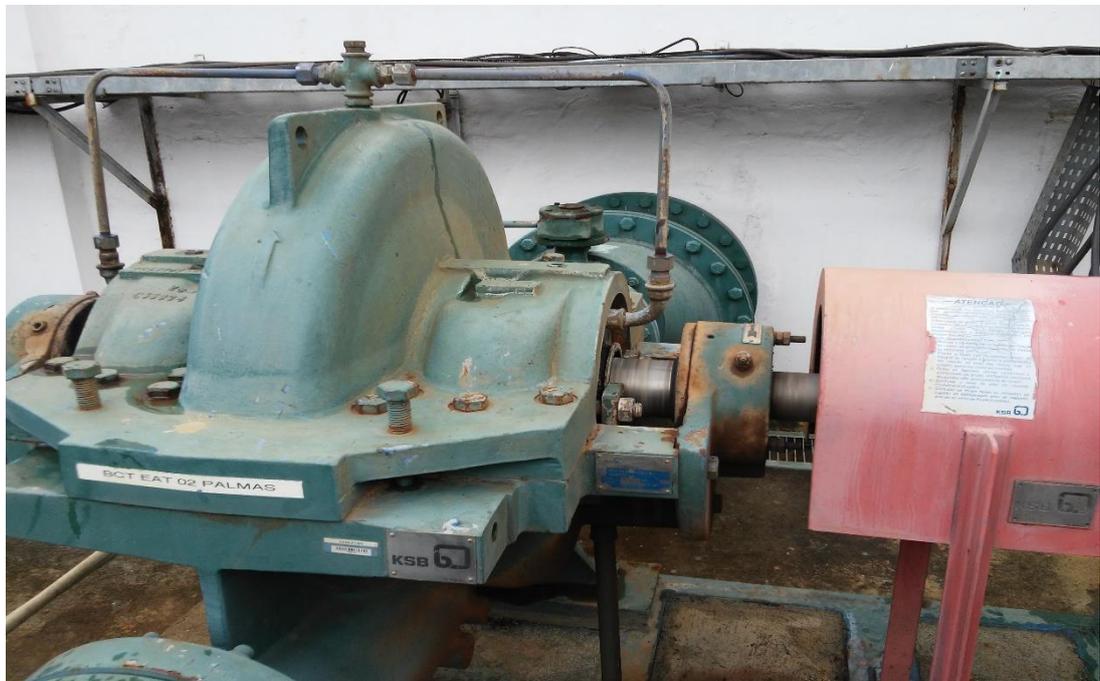
JAMES, K; CAMPBELL, S.L.; GODLOVE, C. E. **Água e Energia: aproveitando as oportunidades de eficiência de água e energia não exploradas nos sistemas municipais**. Washington D.C.: *Alliance to Save Energy*, 2002.

ELETROBRÁS; PROCEL; PROCEL SANEAR. Plano de ação PROCEL SANEAR 2006/2007. Rio de Janeiro, 2005.

## 9 ANEXO



**Figura 15: Conjunto Motorbomba atual ETA 006**  
Fonte: Próprio Autor.



**Figura 16: Conjunto Motorbomba atual ETA 006**  
Fonte: Próprio Autor.



**Figura 17: Conjunto Motorbomba atual ETA 006**  
 Fonte: Próprio Autor.



**Figura 18: Conjunto Motorbomba atual ETA 006**  
 Fonte: Próprio Autor.



