

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**Védson Lopes de Souza**

**Estudo técnico-econômico da substituição  
de gaxetas por selos mecânicos em bombas  
centrífugas**

**Taubaté - SP**  
**2009**

**Védson Lopes de Souza**

**Estudo técnico-econômico da substituição  
de gaxetas por selos mecânicos em bombas  
centrífugas**

Dissertação apresentada para obtenção do certificado de título de Mestre pelo curso de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de concentração: Sistemas Energéticos e Ambientais

Orientador: Prof<sup>º</sup> José Rui Camargo

**Taubaté - SP  
2009**

S729e

Souza, Védson Lopes de.

Estudo técnico-econômico da substituição de gaxetas por selos mecânicos em bombas centrífugas. / Védson Lopes de Souza. – Taubaté: Unitau, 2009.

52 f. :il;30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Taubaté. Faculdade de Engenharia Mecânica. Curso de Engenharia Mecânica.

Orientador: José Rui Camargo.

1. Desgaste: manutenção. 2. Vedação: gaxeta; selo mecânico. 3. Bomba Centrífuga. I. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. II. Título.

CDD(21) 621.67

**Védson Lopes de Souza**

**Estudo técnico-econômico da substituição de gaxetas por selos mecânicos em bombas centrífugas**

Dissertação apresentada para obtenção do certificado de título de Mestre pelo curso de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.  
Área de concentração: Sistemas Energéticos e Ambientais  
Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. José Rui Camargo

Data: 05/10/2009  
Resultado: Aprovado

**BANCA EXAMINADORA**

Prof<sup>o</sup> Dr. José Rui Camargo      UNITAU – Universidade de Taubaté

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof<sup>o</sup> Dr. Carlos Alberto Chaves      UNITAU – Universidade de Taubaté

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof<sup>o</sup> Dr. Carlos Daniel Ebinuma      UNESP – Universidade Est. de São Paulo

Assinatura: \_\_\_\_\_

*Dedico este trabalho à minha mãe e meu pai que sempre me apoiaram, e às minhas lindas e maravilhosas filhas Ivana e Isadora, minhas fontes de inspiração e motivação.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof<sup>o</sup> Dr. José Rui Camargo, pela orientação, sabedoria e paciência.

À Sabesp que disponibilizou vasto material e condições para desenvolvimento da pesquisa.

À Burgmann do Brasil que deu suporte para desenvolvimento do estudo.

À Unitaui pela oportunidade de desenvolvimento acadêmico com o programa de mestrado profissional.

*“Não desperdice o presente, ele é o único tempo em que você pode reparar o passado e construir o futuro.”*

*São Francisco de Assis (1182 – 1226)*

## RESUMO

### **Estudo técnico-econômico da substituição de gaxetas por selos mecânicos em bombas centrífugas.**

As bombas centrífugas com vedações à base de gaxetas possuem uma boa eficiência, porém impõem ao sistema de bombeamento, perdas do produto recalado. Estas são variáveis que norteiam fatores relacionados às condições físicas do equipamento, como por exemplo, o desgaste excessivo das buchas, falta da regulação adequada e até mesmo o porte das bombas. O objetivo principal desta pesquisa foi identificar e quantificar os vazamentos provenientes das vedações das bombas centrífugas que operam em regime permanente e propor a substituição do sistema de vedação com gaxetas por selos mecânicos com maior eficiência, na Estação Elevatória de Água Tratada de Itaquera pertencente à empresa SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, localizada na Avenida Virgínia Ferne, nº 1036 - Itaquera, na cidade de São Paulo. Pôde-se observar com os resultados, que o investimento é totalmente amortizado a partir do 4º ano de operação do selo mecânico, bem como a economia com os vazamentos de água e energia elétrica. O novo dispositivo mostrou-se eficaz na questão de implantação e manutenção, sendo que cabe um investimento inicial a ser disponibilizado pela empresa interessada.

Palavras chave: bombas centrífugas; gaxetas, selos mecânicos;

## **ABSTRACT**

### **Technical and economic study of replacement gaskets for mechanical seals in centrifugal pumps.**

The centrifugal pumps with sealing based on gaskets have a good efficiency, but, impose to the pumping system, losses of product to be pumped. These ones, are variables that guide related factors to physical condition of equipments, for example, exceeding wearing of the sleeves (wad), and a lack of a proper adjustment and even the pumps size. The main objective of this research was to identify and quantify the leakages originated from the sealing of centrifugal pumps which operates in permanent regime, at Lifting Station treated Water of Itaquera, belonging to the company SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, located at Avenida Virgínia Ferne, nº 1036 - Itaquera, city of São Paulo. We could find out with the results, that the investment is totally amortized from the 4th year of mechanical sealing operation, as well as the economy with the leakages of water and electrical energy. The new device has shown efficiency in implementation and maintenance, and an investment should be made by an interested company due to its efficiency.

Key-words: centrifugal pumps; gaskets, mechanicals seals;

## Sumário

|         |                                                                |    |
|---------|----------------------------------------------------------------|----|
| 1       | Introdução .....                                               | 01 |
| 2       | Revisões da literatura .....                                   | 02 |
| 2.1     | Histórico do desenvolvimento dos sistemas de bombeamento ..... | 02 |
| 2.2     | Características das gaxetas e selos mecânicos .....            | 18 |
| 2.2.1   | Gaxetas .....                                                  | 18 |
| 2.2.1.1 | Seleção de gaxetas .....                                       | 20 |
| 2.2.1.2 | Substituição de gaxetas .....                                  | 22 |
| 2.2.2   | Selos Mecânicos .....                                          | 24 |
| 2.2.2.1 | Vedação principal .....                                        | 24 |
| 2.2.2.2 | Vedação secundária .....                                       | 25 |
| 2.2.2.3 | Uso do Sêlo Mecânico .....                                     | 26 |
| 2.2.2.4 | Vantagens do Sêlo Mecânico .....                               | 27 |
| 2.3     | Detecções de falhas em bombas centrífugas .....                | 28 |
| 2.3.1   | Disfunções na sucção .....                                     | 29 |
| 2.3.2   | Disfunções na instalação .....                                 | 30 |
| 2.3.3   | Disfunções mecânicas .....                                     | 31 |
| 3       | Metodologia .....                                              | 33 |
| 3.1     | Características das instalações .....                          | 33 |
| 3.2     | Quantificações de vazamentos .....                             | 34 |
| 3.3     | Dados do projeto .....                                         | 38 |
| 4       | Resultados e discussões .....                                  | 41 |
| 5       | Conclusões .....                                               | 51 |
| 6       | Referências .....                                              | 52 |

## 1 - Introdução

O objetivo principal desta pesquisa é identificar e quantificar os vazamentos provenientes das vedações das bombas centrífugas que operam em regime permanente, na Estação Elevatória de Água Tratada de Itaquera pertencente à empresa SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, localizada na Avenida Virgínia Ferne, nº 1036 - Itaquera, na cidade de São Paulo. E, por meio do estudo técnico-econômico, considerando também fatores sociais e ambientais atuais, propor a substituição do elemento vedante adotado com gaxeta por dispositivo de selos mecânicos apropriados para eliminação dos vazamentos de água tratada pelo sistema de vedação.

O estudo técnico-econômico diz respeito à avaliação comparativa de utilização de vedação das bombas com gaxeta e selo mecânico, mostrando as condições de materiais e métodos para cada um dos casos, fornecendo suporte para decisão da melhor aplicação.

Ainda neste trabalho científico foram identificados valores numéricos referentes aos gastos de água durante o funcionamento de bombas centrífugas na Estação Elevatória de Água Tratada da empresa Sabesp – Itaquera. Uma vez que os valores foram determinados, pesquisaram-se soluções para minimizar ou banir o desperdício de água que ocorre durante o funcionamento das bombas.

Dentro deste contexto, houve avaliação técnica-econômica para substituição do sistema de vedação e refrigeração do eixo das bombas através de gaxetas por sistemas com selos mecânicos em bombas centrífugas da Estação Elevatória de Água tratada da Sabesp.

## 2 - Revisões da Literatura

### 2.1 – Histórico do desenvolvimento dos sistemas de bombeamento

Segundo Macintyre (1987), os primeiros dispositivos implementados para a solução dos problemas relacionados ao deslocamento dos líquidos foram a *Nora Chinesa*, um engenhoso dispositivo constituído por roda dotada de caçamba para levar a água a canais de irrigação e, o sistema de correntes e caçambas com a qual, 3000 a.C, no poço de Josephus, no Cairo, a água era retirada de um poço construído com duas plataformas com quase 100 metros de profundidade.

A cidade de Knossos, na ilha de Creta, foi inicialmente habitada depois de 6000 a.C. e por volta de 3000 a.C. era a maior cidade da região. Por volta de 1700 – 1450 a.C. a cidade estava em seu apogeu e desenvolveu um sistema de transporte de água que utilizava condutos circulares e distribuíam água para a cidade e para o palácio em tubulações pressurizadas. Estes, possivelmente os primeiros tubos utilizados já que outras civilizações apenas se utilizavam canais superficiais, conforme Tsutiya (2005).

Arquimedes (287-212 a.C.) inventou a primitiva bomba de parafuso e Ctesibus (270 a.C.) propôs a bomba de êmbolo, dois inventos de origem grega. Ao longo dos séculos surgiram outros tipos de bombas e os aperfeiçoamentos de acordo com as necessidades operacionais, progresso industrial, melhoria das condições de saúde e conforto, que estão totalmente ligados ao progresso da ciência e tecnologia das máquinas destinadas ao deslocamento dos líquidos por escoamento forçado, que são as bombas. Nesta evolução chegou-se à aplicação das gaxetas, como elemento vedante e refrigerador do eixo principal das mesmas.

Para Macintyre (1987), bombas são máquinas geratrizes cuja finalidade é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento. Sendo esta uma máquina geratriz, transforma o trabalho mecânico que recebe para seu funcionamento em energia, que é comunicada ao líquido sob as formas de energia cinética e pressão. Estes equipamentos também são denominados de máquinas

operatrizes hidráulicas, porque realizam um trabalho útil específico ao deslocarem um líquido.

Conforme Tsutiya (2005), bombas cinéticas são aquelas que fornecem energia à água, sob forma de energia de velocidade. Essa energia converte-se dentro da bomba em energia de pressão, permitindo que a água atinja posições mais elevadas dentro de uma tubulação.

Segundo Oliveira e Gonçalves (1999), a perda de água tratada pelas gaxetas das bombas é considerada desperdício relevante para o sistema de abastecimento de água e, os valores mais significativos são os vazamentos pelas linhas de adução dos sistemas.

De acordo com Silva e Gonçalves (2003), no contexto da crescente problemática da água, soluções em diferentes níveis têm sido adotadas no Brasil e no mundo. O uso racional da água é um assunto avaliado em diversos estudos, segundo uma abordagem sistemática das atividades a serem implantadas nas questões de redução dos desperdícios de água.

Conforme Tsutiya (2005), as estações elevatórias são partes essenciais dos sistemas de abastecimento de água, sendo utilizadas na captação, adução, tratamento e distribuição de água. E o desenvolvimento das tecnologias dos equipamentos eletro-mecânicos nelas empregados, vem permitindo o emprego cada vez mais generalizado das estações elevatórias, para solucionar os variados problemas de transporte de água. Os principais componentes das estações elevatórias são a casa de bombas, as bombas, motores e painéis elétricos, válvulas e tubulações de sucção e recalque, conforme figura 01.



Figura 1: Componentes da estação: bombas, motores, válvulas e tubulações (Sabesp, 2008)

Para Tsutiya (2005), as bombas centrífugas com vedações a base de gaxeta possuem uma boa eficiência, porém impõem ao sistema de bombeamento, perdas do produto recalcado. Estas são variáveis que norteiam fatores relacionados às condições físicas do equipamento, como por exemplo, o desgaste excessivo das buchas, falta da regulagem adequada e até mesmo o porte das bombas. A importância desta pesquisa científica deu-se pelo fato das empresas de saneamento ambiental e empresas de forma geral, necessitarem reduzir as perdas durante o processo. Considera ainda que as bombas centrífugas com vedações a base de gaxeta possuem uma boa eficiência, porém impõem ao sistema de bombeamento, perdas do produto recalcado. Estas são variáveis que norteiam fatores relacionados às condições físicas do equipamento, como por exemplo, o desgaste excessivo das buchas, falta da regulagem adequada e até mesmo o porte das bombas. A identificação da importância desta pesquisa científica deu-se pelo fato das empresas de saneamento ambiental e empresas de forma geral, necessitem reduzir as perdas durante o processo.

Conforme Passeto e Frison (2008), o abastecimento de água tratada para a população atendida pela SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo é efetuada por meio de centros de reservação de grande capacidade, que abastecem as zonas baixas das localidades por gravi-

dade. Ocorre que, nas zonas altas onde os centros de reservação não atendem as cotas altimétricas necessárias, é preciso um sistema de elevação do produto para cotas mais altas, para que haja possibilidade de suprir todos os setores populacionais, inclusive industriais. Este sistema de elevação de água é composto por uma Estação Elevatória constituída por conjuntos moto-bomba de portes variados, para bombeamento do fluido até as cotas necessárias, às vezes para torres e em outras vezes diretamente para as linhas de distribuição à população. Muitos destes conjuntos moto-bomba possuem o sistema de vedação e refrigeração dos eixos através de gaxetas, propiciando vazamentos e perdas do produto durante o processo.

Para Tsutiya (2005), as gaxetas são elementos mecânicos utilizados para impedir a passagem de um fluxo de fluido de um local para outro, de forma total ou parcial. Os materiais usados na fabricação de gaxetas são: algodão, juta, asbesto (amianto), nylon, teflon, borracha, alumínio, latão e cobre. A esses materiais são aglutinados outros, tais como: óleo, sebo, graxa, silicone, grafite, mica, entre outros. A função destes últimos materiais que são aglutinados às gaxetas é torná-las autolubrificadas.

Em algumas situações, o fluxo de fluido não deve ser totalmente vedado, pois existe a necessidade de passagem mínima de fluido com a finalidade de auxiliar a lubrificação entre o eixo rotativo e a própria gaxeta. A este tipo de propriedade dá-se o nome de restringimento que é aplicado, por exemplo, quando se trabalha com bomba centrífuga de alta velocidade. Nesse tipo de bomba, o calor gerado pelo atrito entre a gaxeta e o eixo rotativo é muito elevado e por este motivo, o mecanismo exige uma saída controlada de fluido para minimizar o possível desgaste.

A caixa de gaxeta mais simples apresenta um cilindro oco onde ficam alojados vários anéis de gaxeta, pressionados por uma peça chamada sobreposta. A função dessa peça é manter a gaxeta alojada entre a caixa e o eixo, sob pressão conveniente para o trabalho.

De acordo com Passeto e Frison (2008), durante a execução das manutenções eletromecânicas preventivas existem procedimentos e instruções de trabalho para execução das regulagens das sobrepostas e gaxetas das bombas, porém, mesmo com este procedimento, ainda nota-se a perda de líquido por estes sistemas de vedação e refrigeração, considerados de certa relevân-

cia. Por este motivo, surgiu a necessidade de proposição de trabalho para eliminação desta fonte de desperdício de água.

Conforme Tsutiya (2005), as bombas centrífugas são compostas por várias peças de montagem mecânicas conforme figuras 2 e 3, bem como tabela 1.

A figura 2 mostra uma bomba centrífuga bi-partida marca KSB, modelo RDL.

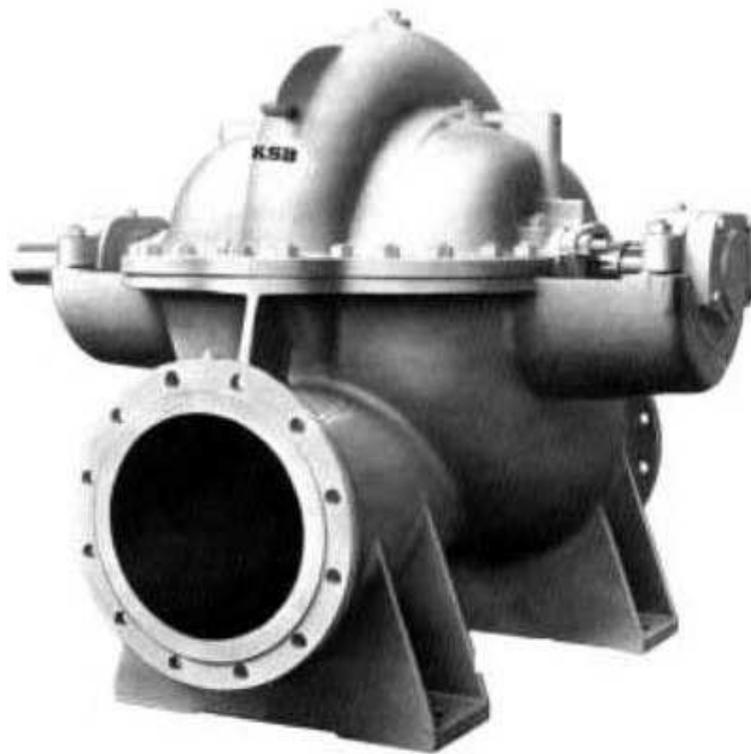


Figura 2: Bomba centrífuga bi-partida (KSB, 2008)

A figura 3 mostra detalhamento em corte da bomba centrífuga bi-partida marca KSB, modelo RDL, com os códigos de peças para montagem.

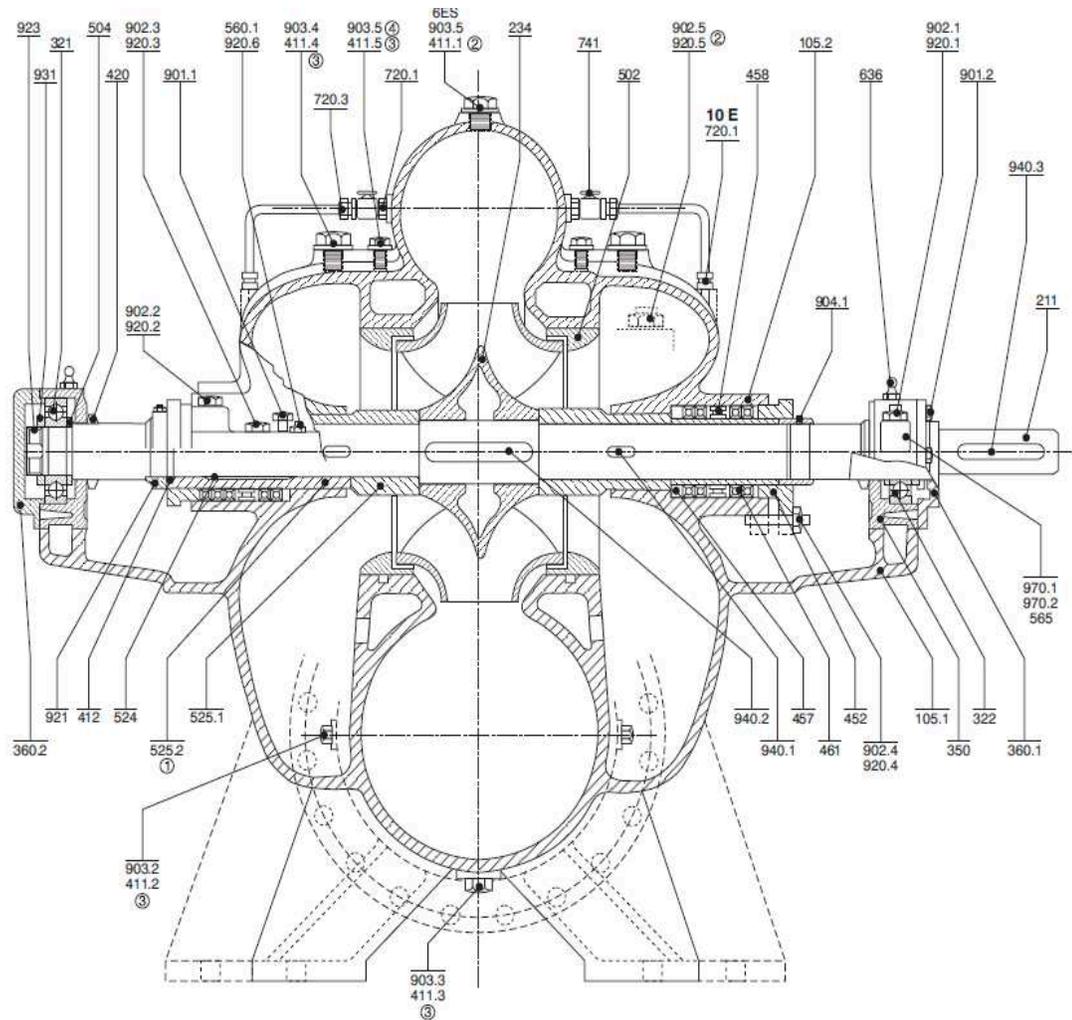


Figura 3: Bomba centrífuga bi-partida em corte (KSB, 2008)

A Tabela 1 mostra a lista de peças e componentes para montagem da bomba centrífuga.

Tabela 1: Relação detalhada das peças bomba centrífuga bi-partida (KSB, 2008)

| Denominação das Peças        | Número da Peça | Quant. | Combinação de Materiais |                    |                    |                    |
|------------------------------|----------------|--------|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                              |                |        | 00                      | 01                 | 02                 | 03                 |
| Corpo Inferior               | 105.1          | 1      | A 48 CL 30              | A 48 CL 30         | A536 GR60.40.18    | A536 GR60.40.18    |
| Corpo Superior               | 105.2          | 1      | A 48 CL 35              | A 48 CL 35         | A536 GR60.40.18    | A536 GR60.40.18    |
| Eixo                         | 211            | 1      | SAE 1045                | SAE 1045           | SAE 1045           | SAE 1045           |
| Rotor Dupla Sucção           | 234            | 1      | A 48 CL 30              | A 743 CF 8M        | A 48 CL 30         | A 743 CF 8M        |
| Rolamento Radial Esfera [1]  | 321            | 1      | Aço                     | Aço                | Aço                | Aço                |
| Rolamento Radial Rolos [2]   | 322            | 1      | Aço                     | Aço                | Aço                | Aço                |
| Suporte do Mancal [3]        | 330            | 2      | A 48 CL 30              | A 48 CL 30         | A 48 CL 30         | A 48 CL 30         |
| Corpo do Mancal              | 350            | 2      | A 48 CL 30              | A 48 CL 30         | A 48 CL 30         | A 48 CL 30         |
| Tampa do Mancal (L.A.)       | 360.1          | 1      | A 48 CL 30              | A 48 CL 30         | A 48 CL 30         | A 48 CL 30         |
| Tampa do Mancal (L.B.)       | 360.2          | 1      | A 48 CL 30              | A 48 CL 30         | A 48 CL 30         | A 48 CL 30         |
| Junta Plana [14]             | 400            | 2      | Papelão Hidráulico      | Papelão Hidráulico | Papelão Hidráulico | Papelão Hidráulico |
| Anel de Vedação [4]          | 411.1          | 1      | Cobre recozido          | Cobre recozido     | Cobre recozido     | Cobre recozido     |
| Anel "O" [14]                | 411.1          | 2      | NB70                    | NB70               | NB70               | NB70               |
| Anel "O" [14]                | 411.2          | 1      | NB70                    | NB70               | NB70               | NB70               |
| Anel de Vedação [4]          | 411.2          | 4      | Cobre recozido          | Cobre recozido     | Cobre recozido     | Cobre recozido     |
| Anel de Vedação [4]          | 411.3/4/5      | 2      | Cobre recozido          | Cobre recozido     | Cobre recozido     | Cobre recozido     |
| Anel "O"                     | 412            | 2      | NB 70                   | NB 70              | NB 70              | NB 70              |
| Anel de Vedação p/ Eixo      | 420            | 2      | NB 50                   | NB 50              | NB 50              | NB 50              |
| Anel Labirinto [14]          | 423.1          | 2      | Aço                     | Aço                | Aço                | Aço                |
| Anel Labirinto [14]          | 423.2          | 1      | Aço                     | Aço                | Aço                | Aço                |
| Aperta Gaxeta                | 452            | 2      | A 48 CL 30              | A 48 CL 30         | A 48 CL 30         | A 48 CL 30         |
| Anel de Fundo                | 457            | 2      | TM 23                   | TM 23              | TM 23              | TM 23              |
| Anel de Cadeado              | 458            | 2      | TM 23                   | TM 23              | TM 23              | TM 23              |
| Gaxeta                       | 461            | -      | Amianto Grafitado       | Amianto Grafitado  | Amianto Grafitado  | Amianto Grafitado  |
| Anel de Desgaste             | 502            | 2      | Cu Sn 10-C-GS           | A743 CA 6NM        | Cu Sn 10-C-GS      | Cu Sn 10-C-GS      |
| Anel de Desgaste Rotor [6]   | 503            | 2      | Cu Sn 10-C-GS           | A 743 CF 8M        | Cu Sn 10-C-GS      | Cu Sn 10-C-GS      |
| Anel Distanciador            | 504            | 2      | SAE 1035                | SAE 1035           | SAE 1035           | SAE 1035           |
| Luva Protetora do Eixo       | 524            | 2      | A 48 CL 30              | AISI 420           | A 48 CL 30         | AISI 420           |
| Luva Distanciadora [7]       | 525.1          | 2      | A 48 CL 30              | AISI 420           | A 48 CL 30         | AISI 420           |
| Luva Distanciadora [8]       | 525.2          | 2      | A 48 CL 30              | AISI 420           | A 48 CL 30         | AISI 420           |
| Pino Cônico                  | 560.1          | 2      | SAE 1045                | SAE 1045           | SAE 1045           | SAE 1045           |
| Pino Cônico [9]              | 560.2          | 4      | SAE 1045                | SAE 1045           | SAE 1045           | SAE 1045           |
| Rebite                       | 565            | 6      | AISI 304                | AISI 304           | AISI 304           | AISI 304           |
| Graxeira                     | 636            | 2      | Aço                     | Aço                | Aço                | Aço                |
| Copo Lubrificador [14]       | 638            | 2      | Aço / Vidro             | Aço / Vidro        | Aço / Vidro        | Aço / Vidro        |
| Respiro [14]                 | 672            | 2      | Zamac                   | Zamac              | Zamac              | Zamac              |
| Tubo                         | 710            | 2      | Aço                     | Aço                | Aço                | Aço                |
| Conexão MMA                  | 720.1          | 2      | Aço                     | Aço                | Aço                | Aço                |
| Conexão [14]                 | 720.2          | 2      | Aço                     | Aço                | Aço                | Aço                |
| Conexão UMA                  | 720.3          | 2      | Aço                     | Aço                | Aço                | Aço                |
| Válvula                      | 741            | 2      | Bronze                  | Bronze             | Bronze             | Bronze             |
| Parafuso de Cabeça Sextavada | 901.1          | 2      | SAE 1020/5,6            | SAE 1020/5,6       | SAE 1020/5,6       | SAE 1020/5,6       |
| Parafuso de Cabeça Sextavada | 901.2          | 8      | SAE 1020/5,6            | SAE 1020/5,6       | SAE 1020/5,6       | SAE 1020/5,6       |
| Prisioneiro                  | 902.1/2        | 4      | SAE 1020                | SAE 1020           | SAE 1020           | SAE 1020           |
| Prisioneiro                  | 902.3          | [11]   | SAE 1020                | SAE 1020           | SAE 1020           | SAE 1020           |
| Prisioneiro                  | 902.4          | 4      | SAE 1020                | SAE 1020           | SAE 1020           | SAE 1020           |
| Prisioneiro [12]             | 902.5          | 4      | SAE 1020                | SAE 1020           | SAE 1020           | SAE 1020           |
| Prisioneiro [9]              | 902.8          | 16     | SAE 1020                | SAE 1020           | SAE 1020           | SAE 1020           |
| Bujão                        | 903.1          | 1      | Aço                     | Aço                | Aço                | Aço                |
| Bujão                        | 903.2          | 4      | Aço                     | Aço                | Aço                | Aço                |
| Bujão                        | 903.3/4        | 2      | Aço                     | Aço                | Aço                | Aço                |
| Bujão [13]                   | 903.5          | 2      | Aço                     | Aço                | Aço                | Aço                |
| Bujão [5]                    | 903.6          | 2      | Aço                     | Aço                | Aço                | Aço                |
| Bujão [14]                   | 903.8          | 2      | Aço                     | Aço                | Aço                | Aço                |
| Pino Roscado                 | 904.1          | 8      | SAE 1045                | SAE 1045           | SAE 1045           | SAE 1045           |
| Pino Roscado                 | 904.2          | 6      | SAE 1045                | SAE 1045           | SAE 1045           | SAE 1045           |
| Porca                        | 920.1/2/4      | 4      | SAE 1020/6              | SAE 1020/6         | SAE 1020/6         | SAE 1020/6         |
| Porca                        | 920.3          | [11]   | SAE 1020/6              | SAE 1020/6         | SAE 1020/6         | SAE 1020/6         |
| Porca [12]                   | 920.5          | 4      | SAE 1020/6              | SAE 1020/6         | SAE 1020/6         | SAE 1020/6         |
| Porca                        | 920.6          | 2      | SAE 1020/6              | SAE 1020/6         | SAE 1020/6         | SAE 1020/6         |
| Porca [9]                    | 920.7          | 4      | SAE 1020/6              | SAE 1020/6         | SAE 1020/6         | SAE 1020/6         |
| Porca [9]                    | 920.8          | 16     | SAE 1020/6              | SAE 1020/6         | SAE 1020/6         | SAE 1020/6         |
| Porca do Fixo                | 921            | 2      | TM 23                   | TM 23              | TM 23              | TM 23              |
| Porca do Mancal              | 923            | 2      | SAE 1045                | SAE 1045           | SAE 1045           | SAE 1045           |
| Chapa de Segurança           | 931            | 2      | Aço Mola                | Aço Mola           | Aço Mola           | Aço Mola           |
| Chaveta                      | 940.1          | 2      | SAE 1045                | SAE 1045           | SAE 1045           | SAE 1045           |
| Chaveta                      | 940.2/3        | 1      | SAE 1045                | SAE 1045           | SAE 1045           | SAE 1045           |
| Plaqueta de Identificação    | 970.1          | 1      | AISI 304                | AISI 304           | AISI 304           | AISI 304           |
| Plaqueta                     | 970.2          | 1      | AISI 304                | AISI 304           | AISI 304           | AISI 304           |

Conforme Tsutiya (2005), as bombas centrífugas são compostas por peças fundamentais ao seu funcionamento ideal, tais como:

. Carcaça: As pás do rotor impulsionam o líquido em direção à carcaça proporcionando-lhe um aumento de pressão e velocidade. A carcaça, que na maioria das vezes tem a forma de espiral, possui entre outras funções a de receber o líquido que sai do rotor, transformando parte de sua energia cinética em energia potencial de pressão, conforme figura 4.

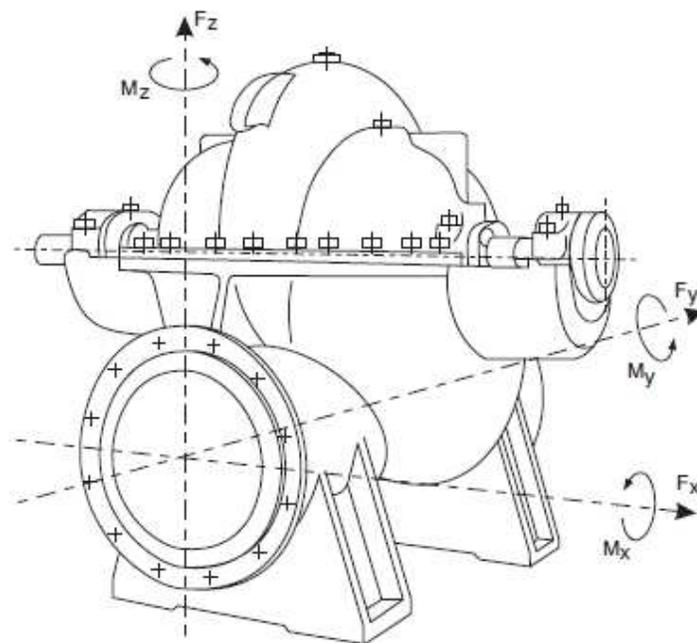


Figura 4: Desenho bomba centrífuga (KSB, 2008)

. Mancais: São elementos de apoio do eixo e têm a função de manter o conjunto girante ou rotativo na posição correta em relação às partes estacionárias do equipamento. Podem ser mancais de deslizamento ou de rolamentos, radiais, axiais ou mistos, conforme figura 5.

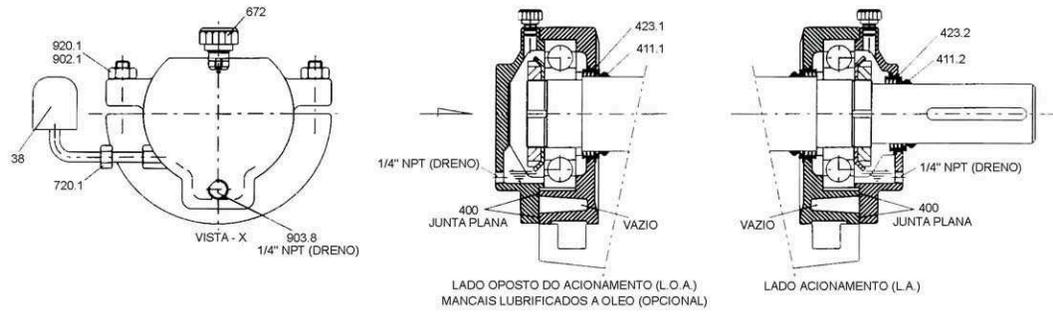


Figura 5: Mancais da bomba centrífuga bi-partida (KSB, 2008)

. Rotores: são os componentes da bomba que possuem a função de transferir para a massa líquida, o movimento de rotação, convertendo a energia mecânica em energia cinética. Podem ser classificados quanto à admissão do líquido (simples sucção e dupla sucção), quanto às paredes (aberto, semi-aberto e fechado) e quanto à direção de saída do líquido (fluxo axial, fluxo radial e fluxo misto), conforme figura 6.

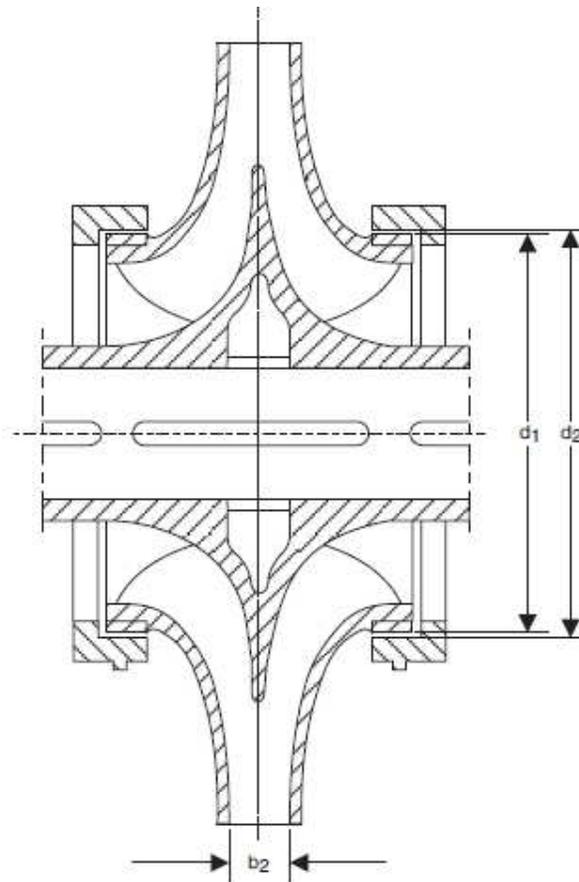


Figura 6: Rotor de bomba centrífuga bi-partida (KSB, 2008)

. Vedação: A caixa de gaxeta tem a função de impedir vazamento onde o eixo atravessa a carcaça. Se a pressão do líquido bombeado no interior da caixa de gaxeta for maior que a pressão atmosférica, sua função é evitar que o líquido vaze para fora da bomba. Se a pressão no interior for menor que a pressão atmosférica, sua função é evitar a entrada de ar para dentro da bomba. A vedação entre a carcaça e o eixo, pode ser feita com gaxeta, conforme figura 7 ou com selo mecânico.

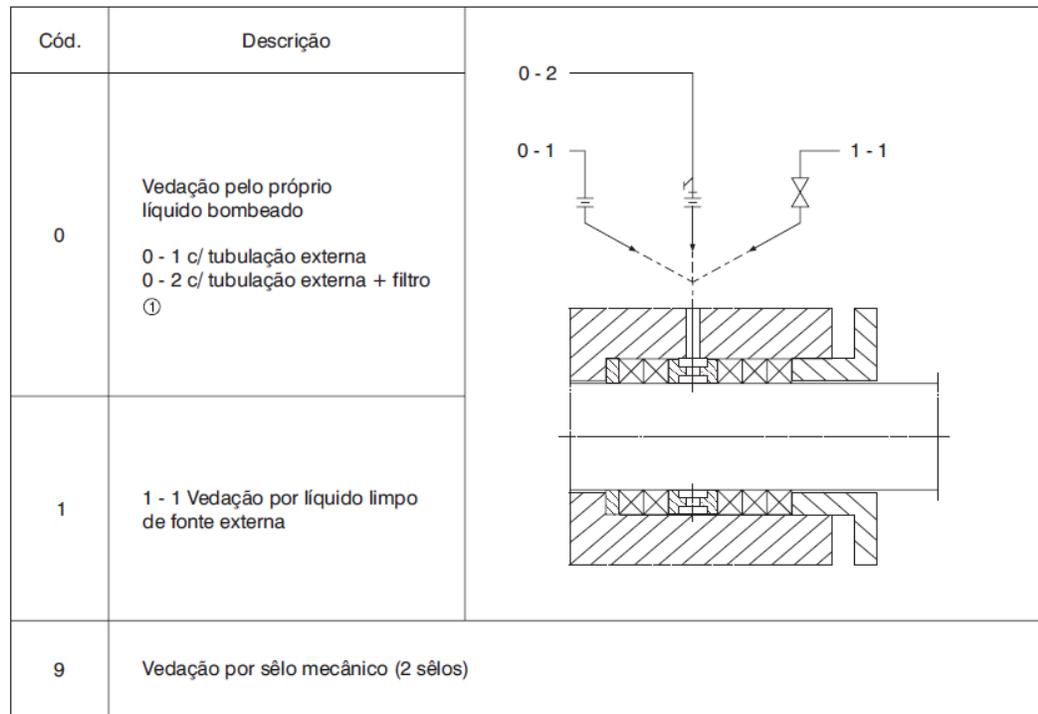


Figura 7: Sistema de selagem (KSB, 2008)

Para o funcionamento de uma bomba centrífuga, segundo Macintyre (1987), é necessário preencher a mesma com líquido a ser bombeado, antes da partida, o que se denomina *escorva*<sup>1</sup>. Existem bombas que são auto-aspirante ou auto-escorvante.

De acordo com Macintyre (1987), quando se inicia o movimento do rotor e o líquido contido nos canais formados pelas pás, a força centrífuga cria uma zona de maior pressão na periferia do rotor e uma de baixa pressão na sua

<sup>1</sup> Devido às folgas entre rotor e coletor e o restante da carcaça, não pode haver a expulsão do ar no interior da bomba e tubo de aspiração, de modo a ser criada uma rarefação com a qual a pressão, atuando no líquido do reservatório de aspiração, venha a ocupar o espaço vazio deixado pelo ar expelido e a bomba possa funcionar.

entrada, produzindo um deslocamento do líquido em direção à saída dos canais do rotor e à boca de recalque da bomba. Forma-se um gradiente hidráulico entre a entrada e a saída da bomba em virtude das variações de pressão. Admitindo-se que uma tubulação, com líquido contido na bomba, ligue a boca de aspiração a um reservatório submetido à pressão atmosférica e que outra tubulação, nas mesmas condições, estabeleça-se ligação da boca de recalque a outro reservatório colocado a determinada cota onde incida pressão atmosférica. Em virtude da diferença de pressões que se estabelece no interior da bomba após o movimento de rotação, a pressão na entrada do rotor torna-se inferior à existente no reservatório de captação, originando o escoamento de líquido através da tubulação de sucção do reservatório inferior para a bomba. Simultaneamente, a energia na boca de recalque da bomba, tornando-se superior à pressão estática a que está submetida à base da coluna líquida na tubulação de recalque, obriga o líquido a escoar para a cota superior ou local de pressão considerável. Forma-se então, com a bomba em funcionamento, um trajeto do líquido do reservatório inferior para o reservatório superior, através da tubulação de sucção, dos canais do rotor e difusor e da tubulação de recalque. Na passagem pelo rotor que se processa a transformação de energia mecânica para energia de pressão e cinética. Na saída do rotor, o líquido penetra no difusor, onde grande parte de sua energia cinética é transformada em energia de pressão, seguindo pela tubulação de recalque.

Para Macintyre (1987), após o tratamento de água, a água pode ser acumulada em um reservatório próximo ao local da estação de tratamento. É bombeada por Estações Elevatórias para reservatórios elevados (torres), através de adutoras, de onde, por gravidade, é levada diretamente aos clientes. As bombas utilizadas, geralmente, são centrífugas, de carcaça bi-partida horizontalmente. A carcaça é de ferro fundido, rotor de ferro fundido ou bronze, anéis de desgaste e sobrepostas de ferro fundido ou bronze. As elevatórias são formadas por duas, três ou mais bombas que podem ser associadas ou em série.

Para Borges (2004), as bombas de estações tratamento de água apresentam inúmeras variáveis de perdas de água como gaxeta das bombas, registros, válvulas, escorva das bombas e outros.

Observa-se o crescente aumento de consumos individuais de água, principalmente nos grandes centros urbanos, onde já se enfrentam problemas

sérios de escassez de água e de ordem econômica em função das maiores distâncias de mananciais e à necessidade de tratamentos mais intensos causados pela poluição da água. Isto implica na necessidade de ampliação de sistemas de produção de água e da disposição final de esgoto sanitário, conforme Silva e Gonçalves (2003). E ainda, destacam-se ações que contribuem para a redução de consumo, implementadas com ações tecnológicas como substituição de sistemas e componentes convencionais por economizadores de água, implantação de sistemas de medição setorizada do consumo de água, detecção e correção de vazamentos, reaproveitamento de água e de reciclagem de água servida.

De acordo com Silva e Gonçalves (2003), a problemática da água é composta por diversos elementos, uns causa, outros consequência da perda na eficiência do ciclo hidrológico e do agravamento da situação de escassez da água, entre os quais são a urbanização elevada e desordenada da infraestrutura urbana, diversificação e intensificação das atividades e consequentemente do uso da água, ocupação de área de mananciais, com consequente poluição e assoreamento das margens, conflitos gerados pelas concorrências entre os diversos aproveitamentos da água, política de recursos hídricos, práticas de utilização dispendiosa de água, deficiências no setor de saneamento e a relação entre água e saúde, migrações populacionais que são motivadas pela escassez da água, entre outros.

Conforme Silva e Gonçalves (2004) apresentam estudos e pesquisas em gestão da água, abordando demanda e oferta de água e incluindo a setorização de consumo e demanda, a medição de água, operação e monitoramento, manutenção dos sistemas hidráulicos e avaliação ambiental (previsão da demanda de água).

As definições dos principais conceitos técnicos, as quais estão em sintonia com as definições estabelecidas pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA, da Associação Internacional da Água - IWA (*International Water Association*) e do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, explanam como perda de água sendo real ou aparente de água ou todo o consumo não autorizado que determina aumento

do custo de funcionamento ou que impeça a realização plena da receita operacional.

Para Bran e Souza (1980), a existência de processos irreversíveis no funcionamento das máquinas de fluxo é comumente denominada de perda. As perdas internas nas máquinas de fluxo, dentro de seu recinto de responsabilidade, provêm principalmente de três fontes, atrito de superfícies, fugas de fluidos e atrito em labirintos. As perdas por fuga ocorrem nos interstícios, espaços necessários entre a parte rotativa e a parte fixa da máquina. A massa que por ali escoar, não participa da troca de energia. Designando esta massa de fluido:

$$m_f = \rho \cdot Q_f \quad (1)$$

Pode-se escrever,

$$m_r = m \pm m_f \quad (2)$$

Onde,

**m** é a massa em escoamento;

**m<sub>r</sub>** é a massa que participa da troca de energia e **m** aquela que teoricamente deveria participar da troca;

**Q<sub>f</sub>** é a vazão de fuga;

**m<sub>f</sub>** é a massa em escoamento de fuga;

**ρ** é a massa específica do fluido;

As fugas de fluido levam a concluir que existe uma massa de fluido constantemente entre as partes móveis e as fixas das máquinas. Esta massa junto às partes móveis possui a velocidade das mesmas, enquanto que junto das

fixas sua velocidade é nula. Assim, aparece o gradiente de velocidade que é responsável pela força de resistência de atrito do fluido.

De acordo com Pfeleiderer e Petermann (1979), as principais perdas que ocorrem dentro das máquinas de fluxo são devido ao atrito, às variações de seção e de velocidade, que em geral reduzem a pressão e são denominadas perdas hidráulicas. Além destas, existem as perdas por fuga de fluido que não influem na pressão ou tem uma influência de menor importância. A estas pertencem, primeiramente, as perdas no labirinto, que ocorrem devido à existência de um interstício entre o rotor e a carcaça, denominado labirinto, que é necessário por razões construtivas e através do qual uma parte do meio de trabalho flui para o tubo de sucção, evitando o rotor. Além destas, existe usualmente uma perda de fluido através da gaxeta, conforme figura 8.

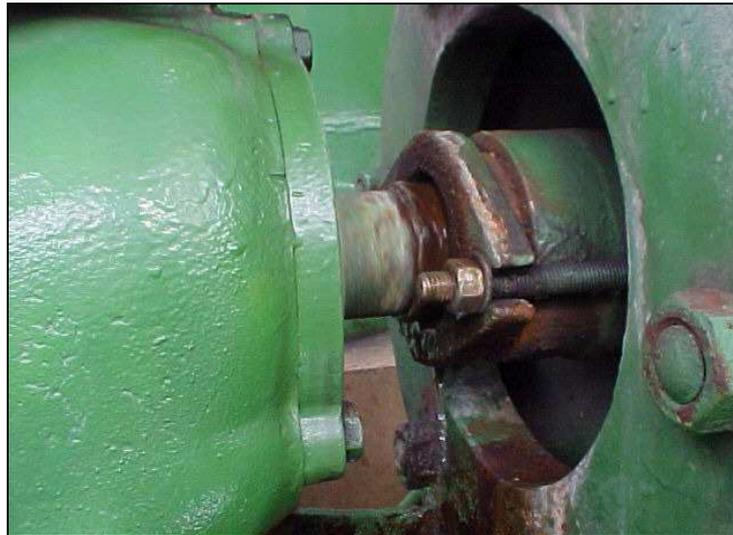


Figura 8: Vista do sistema de engaxetamento e preme-gaxeta (SABESP, 2008)

A figura 9 mostra um selo mecânico e seu detalhamento em corte, indicando o posicionamento dos anéis e vedações.

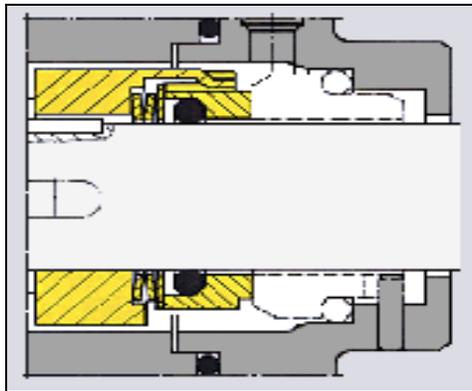


Figura 9: Vista selo mecânico (Burgmann do Brasil, 2008)

A figura 10 mostra a simulação de assentamento da gaxeta no eixo.



Figura 10: Amostra de gaxeta (Burgmann do Brasil, 2008)

## 2.2 - Características das gaxetas e selos mecânicos

### 2.2.1 – Gaxetas

A figura 11 mostra em corte do equipamento, as gaxetas alojadas entre um eixo e um mancal e a sobreposta onde ocorrem os apertos e ajustes para regulação das mesmas, conforme Proença (1987).

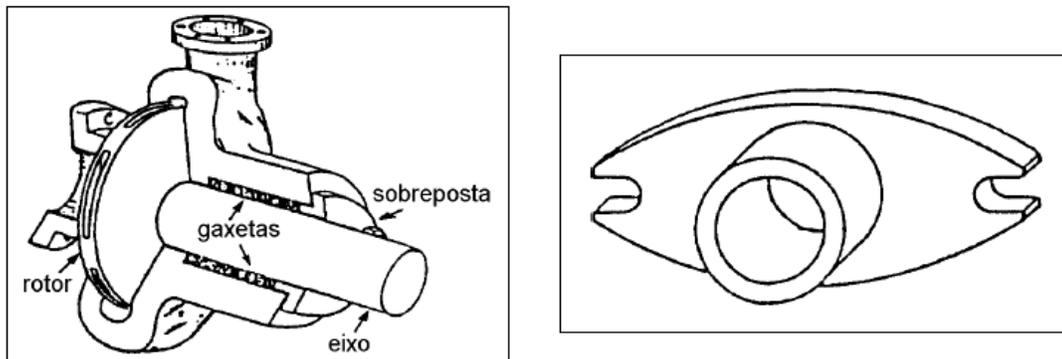


Figura 11: Alojamento da gaxeta (Ferraz, 2008)

As gaxetas são fabricadas em forma de cordas para serem recortadas ou em anéis já prontos para a montagem.

A figura 12 mostra gaxetas em forma de corda, anéis e algumas de suas aplicações, bem como estilos de montagem e posições de assentamento, conforme Ferraz (2008).

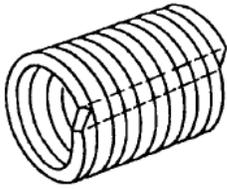
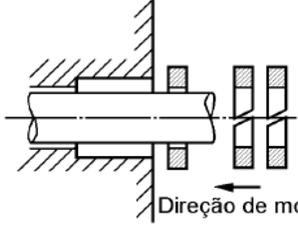
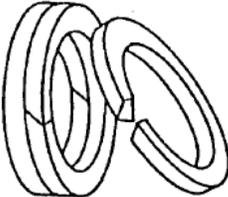
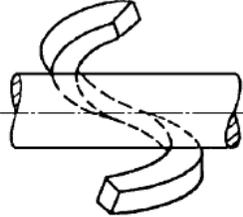
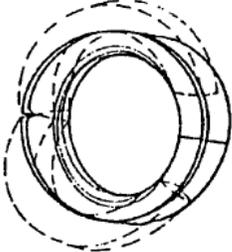
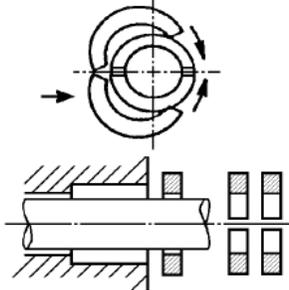
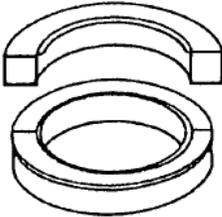
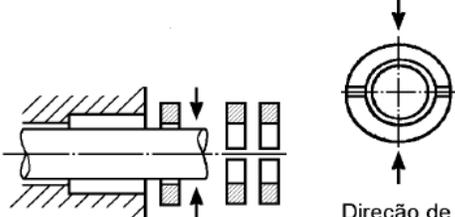
|                                                                                                                                                             |                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Corda em espiral.<br/>O corte dos anéis seguem as linhas traçadas.</p> |  <p>Montagem axial dos anéis</p>                       |
|  <p>Anel de corte único.</p>                                               |  <p>Montagem radial dos anéis.</p>                     |
|  <p>Anéis com charneira.</p>                                              |  <p>Montagem radial.</p>                              |
|  <p>Anéis bipartidos.</p>                                                |  <p>Montagem radial.</p> <p>Direção de montagem.</p> |

Figura 12: Formatos e aplicações de gaxetas (Ferraz, 2008)

### 2.2.1.1 - Seleção da gaxeta

A escolha da gaxeta adequada para cada tipo de trabalho deve ser feita com base em dados fornecidos pelos catálogos dos fabricantes. No entanto, os seguintes dados devem ser levados em consideração (Ferraz, 2008):

- Material utilizado na confecção da gaxeta: existem vários tipos de materiais disponíveis a nível de mercado, como em grafite, teflon, borracha, algodão, borracha, borracha sintética, feltro, espuma, couro, flourpolímero, etc.
- Dimensões da caixa de gaxeta: são de acordo com o sistema de vedação utilizado e tamanho do equipamento a ser vedado;
- Fluido líquido ou gasoso bombeado pela máquina: existem gaxetas apropriadas para cada tipo de gás e de acordo também com o tipo de líquido a ser bombeado ou vedado;
- Temperatura e pressão dentro da caixa de gaxeta: estas condições são primordiais para seleção da gaxeta, levando em consideração a aplicabilidade de cada tipo de gaxeta;
- Tipo de movimento da bomba (rotativo/alternativo): alternativo é um movimento do equipamento entre dois pontos e seguindo uma seqüência al-

ternativa e o movimento rotativo é quando se tem um eixo girando dentro de uma câmara onde contém um líquido que deve ser vedado;

- Material utilizado na construção do eixo ou da haste: deve ser de acordo com o tipo de serviço e exposição a ser efetuada. As buchas podem ser de bronze, latão, etc.;
- Ciclos de trabalho da máquina: as gaxetas são selecionadas conforme rotação do equipamento devido à questão de temperatura, contato ao eixo, etc.;
- Condições especiais da bomba: alta ou baixa temperatura; local de trabalho (submerso ou não); meio (ácido, básico, salino) a que se encontra exposta.

### 2.2.1.2 - Substituição da gaxeta

A gaxeta deve ser removida com um par de saca-gaxeta, conforme figura 13, com tamanho adequado, conforme figura 03. O interior da caixa de gaxeta deve ser bem limpo. O grau de limpeza poderá ser verificado com o auxílio de um espelho ou lâmpada, caso seja necessário.

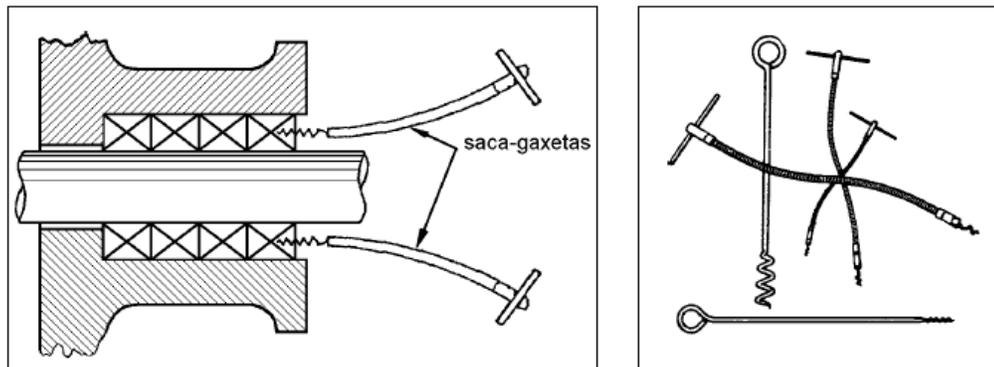


Figura 13: Ferramentas para substituição das gaxetas (Ferraz, 2008)

Caso não exista uma gaxeta padronizada, deve-se substituí-la por uma em forma de corda, tomando cuidado em seu corte e montagem. O corte deverá ser a 45° para que haja uma vedação. A gaxeta deverá ser montada escalonadamente para que não ocorra uma coincidência dos cortes ou emendas, evitando assim possíveis vazamentos, conforme mostra a figura 14.

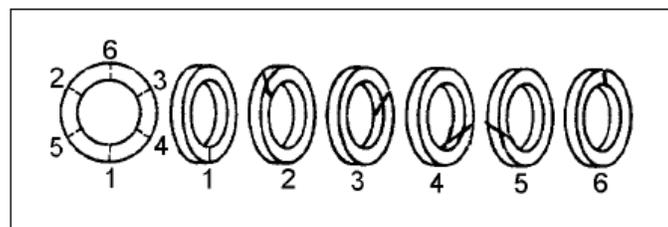


Figura 14: Formas de corte e montagem de gaxetas (Ferraz, 2008)

A figura 15 mostra os possíveis defeitos e falhas na utilização dos elementos de vedação denominados de gaxetas, bem como suas possíveis causas e origens, conforme Omel (2009).

| <b>Defeito</b>                                                                                                          | <b>Possíveis causas</b>                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Excessivas reduções na seção da gaxeta situada embaixo do eixo.                                                         | Mancais baixos com o eixo atuando sobre a gaxeta; vazamento junto à parte superior do eixo.                             |
| Redução excessiva da espessura da gaxeta em um ou em ambos os lados do eixo.                                            | Mancais gastos ou haste fora de alinhamento.                                                                            |
| Um ou mais anéis faltando no grupo.                                                                                     | Fundo da caixa de gaxeta muito gasto, o que causa extrusão da própria gaxeta.                                           |
| Desgaste na superfície externa da gaxeta.                                                                               | Anéis girando com o eixo ou soltos dentro da caixa.                                                                     |
| Conicidade na face de um ou mais anéis.                                                                                 | Anéis adjacentes cortados em comprimento insuficiente, fazendo com que a gaxeta seja forçada dentro de um espaço livre. |
| Grande deformação nos anéis posicionados junto à sobreposta, enquanto os anéis do fundo se encontram em boas condições. | Instalação inadequada da gaxeta e excessiva pressão da sobreposta.                                                      |
| Gaxetas apresentam tendência para escoamento ou extrusão entre eixo e a sobreposta.                                     | Pressão excessiva ou espaço muito grande entre eixo e sobreposta.                                                       |
| Face de desgaste do anel seca e chamuscada, enquanto o restante da gaxeta se encontra em boas condições.                | Temperatura de trabalho elevada e falta de lubrificação.                                                                |

Figura 15: Falhas ou defeitos de gaxetas (Omel, 2009)

## 2.2.2 – Sêlo Mecânico

O sêlo mecânico é um vedador de pressão que utiliza princípios hidráulicos para reter fluidos. A vedação exercida pelo sêlo mecânico se processa em dois momentos: a vedação principal e a secundária, conforme Proença (1987).

### 2.2.2.1 - Vedação principal

A vedação principal é feita num plano perpendicular ao eixo por meio do contato deslizante entre as faces altamente polidas de duas peças, geralmente chamadas de sede e anel de selagem. A sede é estacionária e fica conectada numa parte sobreposta. O anel de selagem é fixado ao eixo e gira com este componente, conforme Ferraz (2008).

Para que as faces do anel de selagem e da sede permaneçam sempre em contato e pressionadas, utilizam-se molas helicoidais conectadas ao anel de selagem.

A figura 16 mostra alguns tipos de sedes e de anéis de selagem, bem como um selo mecânico em corte e detalhamento da bomba centrífuga.

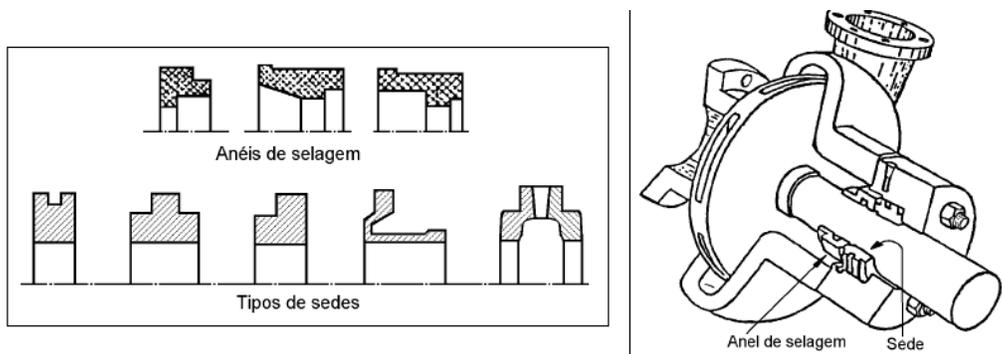


Figura 16: Tipos de sedes e sêlo mecânico em corte (Omel, 2009)

### 2.2.2.2 - Vedação Secundária

A vedação secundária, aplicada à sede e ao anel de selagem, pode ser feita por meio de vários anéis com perfis diferentes, tais como: junta, anel *o'ring*, anel "V", cunha, fole, etc., conforme Ferraz (2008).

A figura 17 mostra detalhamento dos componentes de um sêlo mecânico, conforme corte da bomba centrífuga, indicando suas vedações secundárias, conformação de cunhas e foles, posicionamento de anéis "O" rings.

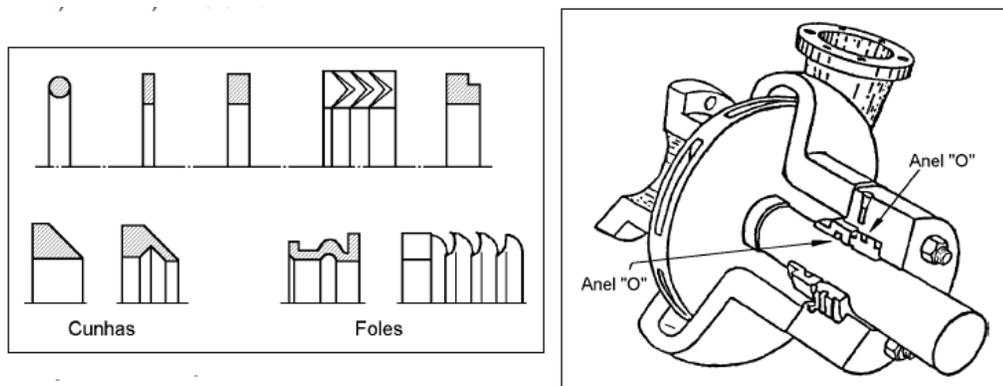


Figura 17: Vedações secundárias (Omel, 2009)

### 2.2.2.3 - Uso do Sêlo Mecânico

Os selos mecânicos são utilizados com vantagens em relação às gaxetas, pois não permitem vazamentos e podem trabalhar sob grandes velocidades e em temperaturas e pressões elevadas, sem apresentarem desgastes consideráveis. Eles permitem a vedação de produtos tóxicos e inflamáveis, conforme Ferraz (2008).

A figura 18 mostra exemplos de selos mecânicos em corte, componentes de montagem e posições de ajustes.

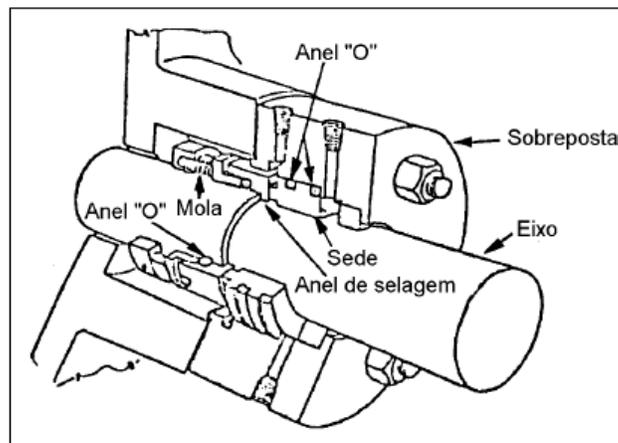
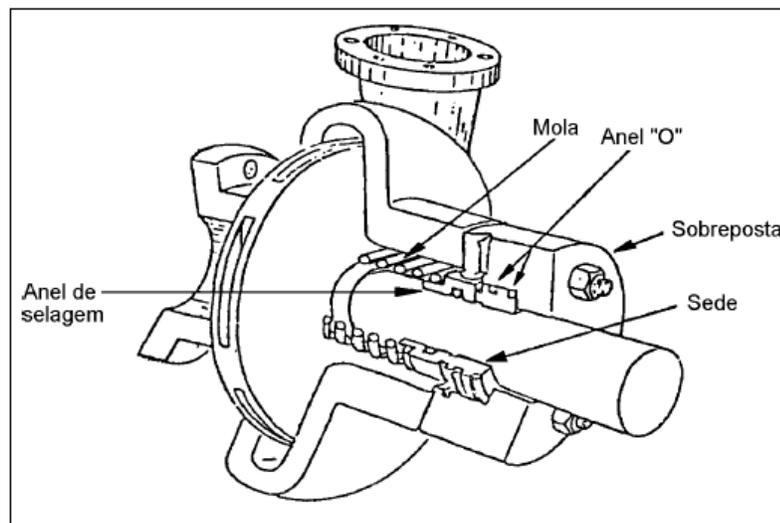


Figura 18: Sêlo Mecânico em corte (Ferraz, 2008)

#### 2.2.2.4 - Vantagens do Sêlo Mecânico

Conforme Ferraz (2008), o selo mecânico é usado em equipamentos de grande importância como bombas de transporte em refinarias de petróleo, bombas de lama bruta nos tratamentos de água e esgoto, bombas de submersão em construções, bombas de fábricas de bebidas, em usinas termoelétricas e nucleares, bombas de produtos químicos, etc.

As vantagens de utilização do selo mecânico são:

- Reduz o atrito entre o eixo da bomba e o elemento de vedação reduzindo, conseqüentemente, a perda de potência.
- Elimina o desgaste prematuro do eixo e da bucha.
- A vazão ou fuga do produto em operação é mínima ou imperceptível.
- Permite operar fluidos tóxicos, corrosivos ou inflamáveis com segurança.
- Tem capacidade de absorver o jogo e a deflexão normais do eixo rotativo.

Para Shiels (2002), freqüentemente as falhas apresentadas nos componentes dos selos mecânicos são detectadas em inspeções visuais. Isto pode ocorrer devido à existência de cavitação anterior ou ao mesmo tempo da falha destes dispositivos.

## 2.3 - Detecções de Falhas em Bombas Centrífugas

A figura 19 mostra os prováveis sintomas e possíveis causas de problemas nas falhas detectadas em bombas centrífugas, que são as disfunções na sucção, na instalação e mecânicas, de acordo com Omel (2009).

| SINTOMAS                                          | CAUSAS POSSÍVEIS DO PROBLEMA                                          |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| A bomba não bombeia                               | 1,2,3,4,6,11,14,16,17,22,48                                           |
| A capacidade não é suficiente                     | 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,14,17,20,22,29,30,31,48                         |
| A altura manométrica não é suficiente             | 5,14,16,17,20,22,30,31                                                |
| A bomba perde o escorvamento após a partida       | 2,3,5,6,7,8,11,12,13                                                  |
| A potência absorvida é excessiva                  | 15,16,17,18,19,20,26,27,33,34,37,48,49                                |
| O vazamento pelo preme-gaxeta é excessivo         | 13,26,32,34,35,36,38,39,40,49                                         |
| As gaxetas se desgastam com excessiva rapidez     | 12,13,26,28,32,33,34,35,36,37,38,39,40,49                             |
| O selo mecânico se desgasta com excessiva rapidez | 15,16,17,23,24,25,26,27,28,34,35,36,38,40,41                          |
| A bomba vibra ou é muito barulhenta               | 2,3,4,9,10,11,21,26,27,28,30,35,36,41,42,43,<br>44,45, 46,47,48,49,50 |
| A vida dos rolamentos é muito curta               | 26,27,28,35,36,41,42,43,44,45,46,47,49                                |
| A bomba sobreaquece ou engripa                    | 1,4,21,22,27,28,35,36,41,49                                           |

Figura 19: Sintomas e possíveis causas dos problemas em bombas centrífugas (Omel, 2009)

### 2.3.1 - Disfunções na Sucção

Segundo Omel (2009), as disfunções na sucção ocorrem quando:

- 1- A bomba não está escorvada.
- 2- A bomba ou a linha de sucção não estão completamente cheias de líquido.
- 3- A altura de sucção é elevada demais.
- 4- NPSH – *Net Positive Suction Head* (altura livre positiva de sucção) é insuficiente.
- 5- O líquido contém demasiado ar ou gases dissolvidos.
- 6- Existem bolsas de ar na linha de aspiração.
- 7- A linha de sucção não é estanque e permite entradas de ar.
- 8- Existem entradas de ar na bomba através do preme-gaxeta.
- 9- A válvula de pé na linha está sub-dimensionada.
- 10- A válvula de pé está parcialmente obstruída.
- 11- A submergência na linha de sucção é insuficiente.
- 12- A linha de *flushing* está obstruída.
- 13- A posição do anel de lanterna no pacote de gaxeta está errada.

### 2.3.2 - Disfunções na instalação

Segundo Omel (2009), as disfunções na instalação ocorrem quando:

- 14- A velocidade de rotação é muito baixa.
- 15- A velocidade de rotação é muito elevada.
- 16- O sentido de rotação está errado.
- 17- A altura manométrica requerida na instalação é superior aquela da bomba.
- 18- A altura manométrica requerida na instalação é inferior aquela da bomba.
- 19- O peso específico do fluido bombeado é diferente do previsto.
- 20- A viscosidade do fluido bombeado é diferente do previsto.
- 21- O ponto de operação da bomba com uma capacidade muito pequena.
- 22- A bomba não é apropriada para trabalhar em paralelo.
- 23- O material não é adequado para o líquido bombeado.
- 24- A temperatura do líquido é muito elevada.
- 25- A quantidade ou a pressão do líquido de *flushing* são insuficientes.

### 2.3.3 - Disfunções mecânicas

Segundo Omel (2009), as disfunções mecânicas ocorrem quando:

- 26- O eixo está torto.
- 27- As partes móveis atiram com as partes fixas.
- 28- Os rolamentos estão com desgastes.
- 29- Os anéis de desgaste estão gastos.
- 30- O rotor está danificado.
- 31- As juntas do corpo estão com defeito e permitem vazamentos internos.
- 32- O eixo ou a luva do eixo estão com desgaste na área de atuação das gaxetas.
- 33- O eixo ou a luva do eixo estão com desgaste na área de atuação do selo mecânico.
- 34- O tipo de selo mecânico ou gaxeta não são adequados às condições de funcionamento.
- 35- O eixo gira fora do centro devido ao desalinhamento do suporte de rolamentos ou por desgaste dos rolamentos.
- 36- A parte rotativa está desbalanceada e causa vibrações.
- 37- O preme-gaxeta está muito apertado causando insuficiência de fluxo de líquido nas gaxetas.
- 38- Falta de fluido de resfriamento na caixa de gaxetas.

- 39- A folga excessiva entre o fim da caixa de gaxetas e o eixo provoca a penetração da gaxeta no interior da bomba.
- 40- Desgaste do eixo da luva de proteção provocada por líquido de *flushing* sujo e com suspensões.
- 41- Cargas excessivas causadas pela quebra do selo mecânico ou do dispositivo de equilíbrio hidráulico (se existir).
- 42- Temperatura dos rolamentos causada por excesso de óleo ou graxa.
- 43- Falta de lubrificação.
- 44- Instalação errada ou tipo inadequado de rolamento (ou danos ocorridos durante a montagem).
- 45- Rolamentos sujos.
- 46- Rolamentos enferrujados devido à presença de água no interior do suporte de rolamentos.
- 47- Resfriamento excessivo do suporte de rolamentos com conseqüente condensação de umidade no seu interior.
- 48- Corpos estranhos no interior do rotor.
- 49- Desalinhamentos.
- 50- Fundações não rígidas.

### 3 - METODOLOGIA

#### 3.1 – Características das instalações

As estações elevatórias de água tratada da empresa SABESP são dotadas de duas, três ou mais bombas centrífugas, na maioria das vezes, bi-partida. Estas bombas operam em conjunto com alguns componentes essenciais em uma estação elevatória como, por exemplo, as bases estruturais, bases metálicas, motores e painéis elétricos, acoplamentos mecânicos, tubulações de sucção e recalque, válvulas, casa de bombas, entre outros.

Neste caso, considerou-se as bombas bi-partidas que operam na Estação Elevatória de Água Tratada de Itaquera, cujas características descrevem-se abaixo.

- Grupo nº 01: Marca KSB, modelo RDL 300-340 A, vazão 1350 m<sup>3</sup>/h, altura manométrica 45 mca, rotação 1750 RPM, potência 350 cv;
- Grupo nº 02: Marca KSB, modelo RDL 300-340 A, vazão 1350 m<sup>3</sup>/h, altura manométrica 45 mca, rotação 1750 RPM, potência 350 cv;
- Grupo nº 03: Marca KSB, modelo RDL 300-340 A, vazão 1350 m<sup>3</sup>/h, altura manométrica 45 mca, rotação 1750 RPM, potência 350 cv;
- Grupo nº 04: Marca KSB, modelo RDL 300-340 A, vazão 1350 m<sup>3</sup>/h, altura manométrica 45 mca, rotação 1750 RPM, potência 350 cv;
- Grupo nº 05: Marca Worthington, modelo 12L1A, vazão 1400 m<sup>3</sup>/h, altura manométrica 49 mca, rotação 1750 RPM, potência 350 cv;

Estes conjuntos moto-bomba estão posicionados dentro da casa de bombas, com cota de 6 metros abaixo do nível inferior do reservatório estrutural de capacidade de 20.000 m<sup>3</sup> e, recalcam água para uma torre de elevação de aproximadamente 35 metros de altura, cuja finalidade é potencializar o abastecimento de água para os clientes por ação da gravidade.

O foco desta pesquisa se concentrou nas bombas centrífugas, onde um dos seus componentes foi o dispositivo de vedação, que neste caso a ser conduzido será a gaxeta de grafite puro com seção quadrada de  $\frac{5}{8}$  de polegada. A instalação deste dispositivo no equipamento é executada de forma manual, seguindo as orientações e metodologias do fabricante das bombas. As

gaxetas são instaladas sobre buchas de desgaste, que com o tempo de utilização, vão se desgastando, onde ocorrem os maiores índices de vazamentos. A solução é a troca destas buchas para diminuição desta perda imposta ao sistema. Considerando que, a solução definitiva seria a troca destes dispositivos por selos mecânicos, cujos custos de instalação e manutenção são bem mais elevados.

### **3.2 – Quantificações dos vazamentos**

A função da gaxeta é executar a vedação do eixo e carcaça da bomba, em relação ao meio externo, refrigerando o eixo. Neste instante ocorre a perda do produto a ser recalcado. A proporção desta perda foi quantificada e controlada através de medições periódicas com pessoal orientado e treinado, conduzindo de forma padronizada a atividade de medição. Decidiu-se manter a mesma pessoa com o objetivo de manter esta padronização das medições. Com provetas de polietileno graduada até 250 ml e 500 ml, marca Biomatic e um cronômetro digital profissional, marca Toppa – modelo Sports Timer, executou-se as medições por grupo e quantificamos a perda geral do sistema, conforme figuras 20, 21, 22 e 23. “Sendo que existe uma tubulação de PVC DN ½” na saída do dreno de cada bomba interligadas a uma tubulação coletora principal de PVC DN 2”, que direciona o líquido coletado a um poço de dimensões quadrada 1200 mm e 1500 mm de profundidade. Neste poço, existe um acúmulo de água, proveniente deste descarte, que após chegar ao nível máximo, ocorre o acionamento elétrico com bóias de nível e painel de comando, ligando as bombas de dreno para execução de recalque da água para níveis superiores. Atualmente, esta água é descartada na rede de galerias de águas pluviais, não sendo aproveitada para quaisquer fins.

A efetuação das medições de vazamentos foi concretizada durante as atividades de manutenção preventiva mensais, que ocorrem conforme programação e determinação do Sistema de Gerenciamento de Manutenção – SGM, dentro dos períodos estipulados.

Para o processamento e quantificação dos vazamentos, realizaram-se todas as medições durante os meses de janeiro de 2008 a dezembro de 2008, conforme orientação e mantendo a mesma metodologia, ou seja, utilizando a

proveta graduada de 250 ml, colocando-a na saída da descarga de água das gaxetas, concomitantemente ao acionamento do cronômetro. O interrompimento da contagem de tempo se deu quando o nível da água na proveta apontava na escala graduada o valor máximo de 250 ml. Após, realizavam-se os cálculos de conversão de vazão em mililitros por minuto e posteriormente, ao final do ciclo de medições, para litros por ano, favorecendo cálculos e melhor visualização, conforme tabela 2. Ainda nesta figura, demonstraram-se as quantificações dos vazamentos de água pelas gaxetas, onde se considerou ml (mililitros) por min. (minuto).

Tabela 2: Quantificação dos vazamentos pelas gaxetas (Sabesp, 2008)

| <b>Vazamentos gaxetas - 2008</b> |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| <b>Mês</b>                       | <b>Vazamento (ml / min.)</b> |
| Janeiro                          | 110                          |
| Fevereiro                        | 90                           |
| Março                            | 90                           |
| Abril                            | 110                          |
| Maio                             | 80                           |
| Junho                            | 120                          |
| Julho                            | 110                          |
| Agosto                           | 90                           |
| Setembro                         | 90                           |
| Outubro                          | 110                          |
| Novembro                         | 100                          |
| Dezembro                         | 100                          |
| <b>Média</b>                     | 100                          |

Na figura 20, mostra-se a metodologia de medição dos vazamentos de água provenientes das gaxetas, com utilização da proveta graduada e cronômetro e oficial de Manutenção.



Figura 20: Medição de vazamento proveniente da gaxeta (Sabesp, 2008)

Na figura 21, mostra-se a proveta de polietileno graduada até 250 ml.



Figura 21: Proveta graduada 250 ml (Sabesp, 2008)

A figura 22 mostra o cronômetro marca Toppa, modelo *Sports Timer*, utilizado na medição em questão.



Figura 22: Cronômetro utilizado nas medições (Sabesp, 2008)

Na figura 23, demonstra-se a metodologia de medição de vazamentos das gaxetas, com proveta graduada, cronômetro e profissional orientado e treinado.



Figura 23: Visão geral da medição de vazamento de água pelas gaxetas (Sabesp, 2008)

### 3.3 – Dados considerados para o projeto

Avaliou-se também a viabilidade técnica e econômica para a instalação do sistema, em relação à adequação, instalação e manutenção dos dispositivos de selos mecânicos nas referidas bombas centrífugas da Estação Elevatória de Água Tratada de Itaquera.

Dados do projeto e condições operacionais:

- Local: EEA Itaquera;
- Bomba centrífuga marca KSB, modelo RDL 300-340;
- Rotação: 1704 RPM;
- Fluido bombeado: água potável;
- Temperatura: 25° C;
- Pressão de sucção: 0,6 Bar;
- Pressão de recalque: 4,8 Bar;

Cálculo do investimento:

Para aplicação de gaxetas, considerou-se (KSB, 2008):

- Custos das gaxetas: R\$ 150,00;
- Luva em aço carbono: R\$ 740,88;
- Mão-de-obra: R\$ 500,00/ intervenção;

**Investimento inicial: R\$ 1390,88/conjunto**

Uma bomba operando com gaxetas, de acordo com figura 08, normalmente sofrem duas intervenções por ano, sendo que, a cada três intervenções, é necessário substituir a luva protetora do eixo.

Executando-se o cálculo de vazamento de água pelo sistema de gaxetas, conforme figura 17, e consumo de energia, considerando gaxeta de grafite montada sobre uma luva em bom estado, com aperto ideal e ajustes periódicos no preme-gaxeta, mostrado na figura 02.

- Regime de operação: 24 horas / dia;
- Vazamento: 100 ml / minuto;
- Vazamento: 51840 litros / ano;
- Consumo de Energia: 0,4 kWh;

Para aplicação de selo mecânico (Burgmann do Brasil, 2008):

- Selo Mecânico para condição operacional: 01-MN74N/70 SBEGG Burgmann;
- Preço do selo mecânico: R\$ 2551,07/unidade;
- Preço de uma luva em aço inox: R\$ 1481,75 / unidade;
- Preço de uma sobreposta: R\$ 1900,65/unidade;
- Mão-de-obra: R\$ 500,00 / intervenção;

**Investimento inicial: R\$ 6433,47/ conjunto.**

Uma bomba operando com selo mecânico, normalmente sofre uma intervenção a cada 02 (dois) anos, sendo que, o selo mecânico pode ser retirado e recuperado (substituição das vedações secundárias e lapidação das vedações primárias).

Foi efetuado cálculo de vazamento e consumo de energia pelo selo mecânico, considerando-se que a bomba em bom estado de conservação (Burgmann do Brasil, 2008):

- Regime de operação: 24 horas / dia;
- Vazamento: 0,036 ml / minuto;
- Vazamento: 18,9216 litros / ano;
- Consumo de energia: 0,3 kWh;

#### 4 - Resultados e Discussão

Considerando-se as características e cálculos apresentados no item 3.3, podem-se encontrar os custos de consumo de água e energia elétrica apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Comparativo gaxeta x sêlo mecânico

| <b>Dispositivo</b>              | <b>Gaxeta</b> | <b>Sêlo Mecânico</b> |
|---------------------------------|---------------|----------------------|
| Regime de operação (h / dia)    | 24            | 24                   |
| Vazamento (ml / min)            | 100           | 0,036                |
| Vazamento (l / ano)             | 51840         | 18,9216              |
| Consumo de energia (kWh)        | 0,4           | 0,3                  |
| Custo da água (R\$ / litro)     | 0,000876      | 0,000876             |
| Custo da energia (R\$ / kWh)    | 0,33284       | 0,33284              |
| Desperdício água (R\$ / ano)    | 45,41         | 0,02                 |
| Desperdício Energia (R\$ / ano) | 1166,27       | 874,7                |

Na tabela 3 foram indicados valores de consumo de energia elétrica relativos à utilização dos dispositivos de selagem com gaxetas e sêlos mecânicos nas bombas centrífugas, considerando atrito entre os componentes de vedação, força centrífuga na partida dos equipamentos, etc. Dados informados pela Burgmann do Brasil (2008), amparados em testes efetuados em bancada de desenvolvimento de produtos. Os valores de consumo desta energia elétrica proporcional (kWh) foram calculados e tabulados para conversão anualizada.

E considerando que a estação elevatória de água tratada possui dois conjuntos moto-bomba em funcionamento, calculou-se as tabelas 3, 4 e 5.

Na tabela 4 não foram considerados nos estudos os valores de eixo e anéis devido à consideração inicial de equipamentos de bom estado de conser-

vação. Os componentes de troca periódica (gaxetas e luvas) por causa de desgaste foram considerados para substituição durante as manutenções preventivas.

Tabela 4: Investimento e custos de manutenção para gaxetas por bomba

| Preços (R\$) | Inicial | 1º ano  | 2º ano  | 3º ano  | 4º ano  | 5º ano  | 6º ano  | 7º ano  | TOTAL    |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Gaxeta       | 150,00  | 300,00  | 300,00  | 300,00  | 300,00  | 300,00  | 300,00  | 300,00  | 2250,00  |
| Luva         | 740,88  | 740,88  | 1481,80 | 740,88  | 1481,80 | 740,88  | 1481,80 | 740,88  | 8149,65  |
| Mão-de-obra  | 500,00  | 1000,00 | 1000,00 | 1000,00 | 1000,00 | 1000,00 | 1000,00 | 1000,00 | 7500,00  |
| Vazamento    |         | 45,41   | 45,41   | 45,41   | 45,41   | 45,41   | 45,41   | 45,41   | 317,87   |
| Energia      |         | 1166,30 | 1166,30 | 1166,30 | 1166,30 | 1166,30 | 1166,30 | 1166,30 | 8163,95  |
| <b>Total</b> | 1390,90 | 3252,60 | 3993,50 | 3252,60 | 3993,50 | 3252,60 | 3993,50 | 3252,60 | 26381,78 |

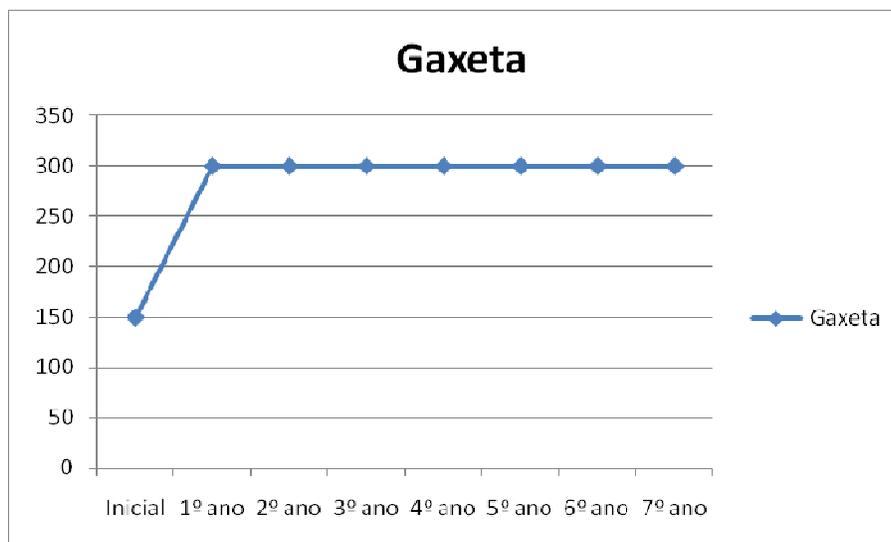


Figura 24: Gastos (R\$) com gaxeta (Burgmann, 2008)

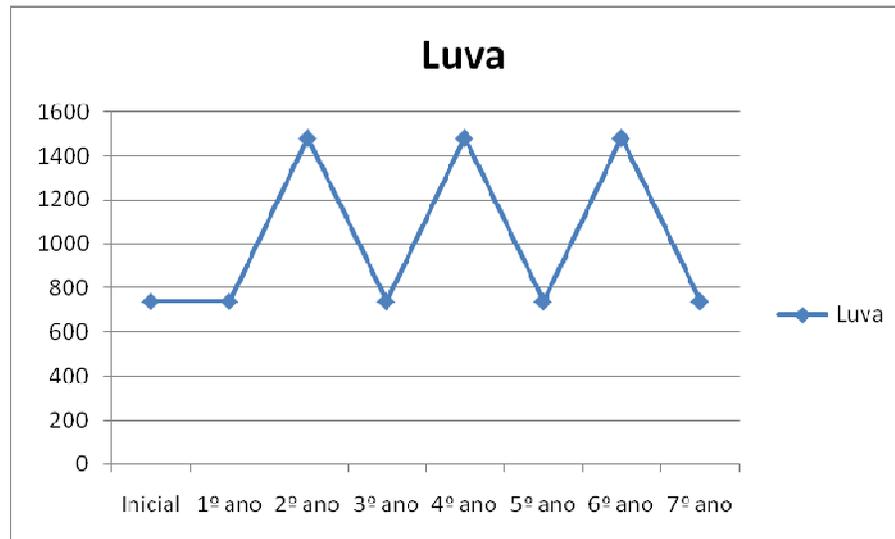


Figura 25: Gastos (R\$) com luva protetora (Burgmann, 2008)

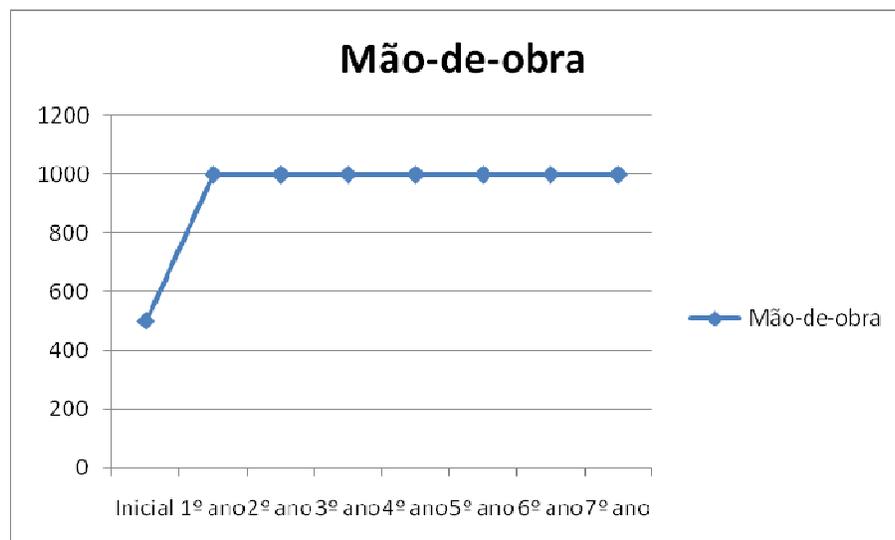


Figura 26: Gastos (R\$) com mão-de-obra para gaxeta (Burgmann, 2008)

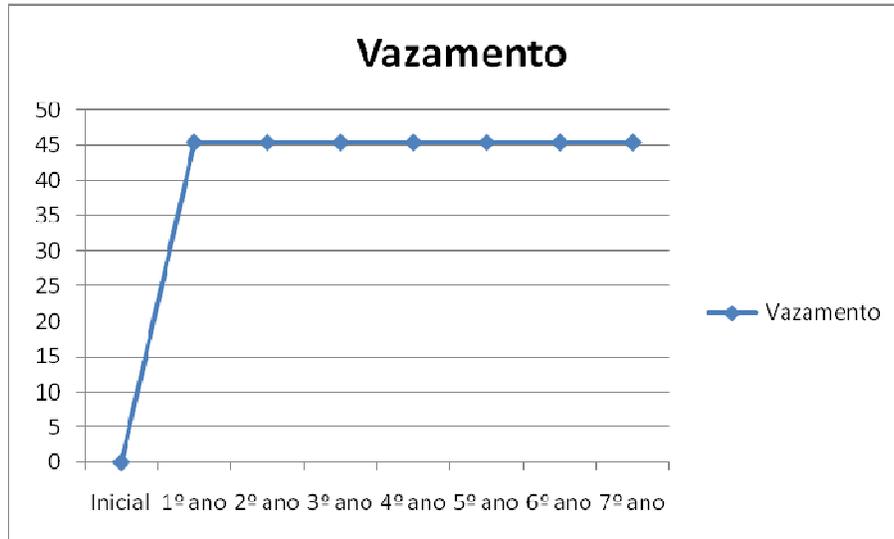


Figura 27: Gastos (R\$) com vazamentos de água (Sabesp, 2008)

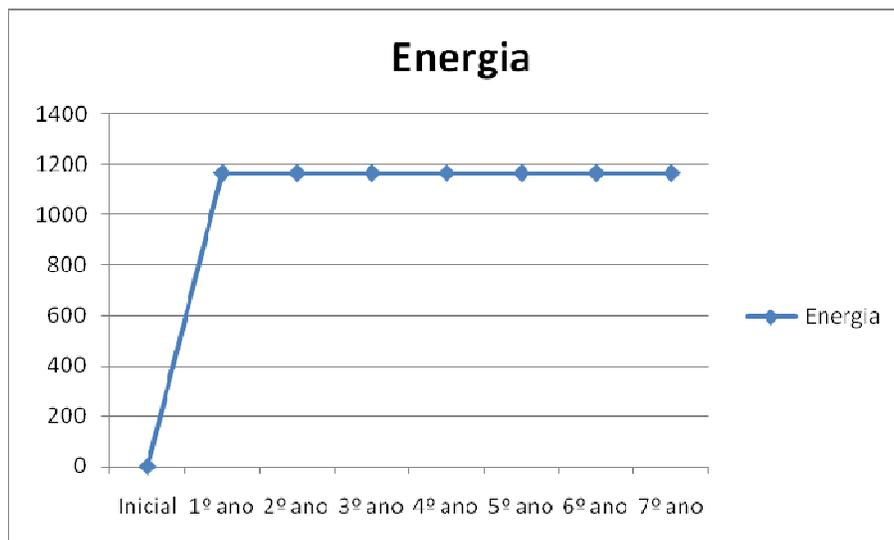


Figura 28: Gastos (R\$) com e energia elétrica proporcional (Burgmann, 2008)

Tabela 5: Investimento e custos de manutenção para selo mecânico por bomba

| Preços (R\$) | Inicial        | 1º ano        | 2º ano         | 3º ano        | 4º ano         | 5º ano        | 6º ano         | 7º ano        | TOTAL           |
|--------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|
| Selo mec.    | 2551,10        | 0             | 314,08         | 0             | 1381,00        | 0             | 314,10         | 0             | 4560,29         |
| Sobreposta   | 1900,70        | 0             | 0              | 0             | 0              | 0             | 0              | 0             | 1900,65         |
| Luva         | 1481,80        | 0             | 0              | 0             | 0              | 0             | 0              | 0             | 1481,75         |
| Mão-de-obra  | 500,00         | 0             | 500,00         | 0             | 500,00         | 0             | 500,00         | 0             | 2000,00         |
| Vazamento    |                | 0,02          | 0,02           | 0,02          | 0,02           | 0,02          | 0,02           | 0,02          | 0,14            |
| Energia      |                | 874,70        | 874,70         | 874,70        | 874,70         | 874,70        | 874,70         | 874,70        | 6122,90         |
| <b>Total</b> | <b>6433,50</b> | <b>874,70</b> | <b>1688,80</b> | <b>874,72</b> | <b>2756,00</b> | <b>874,70</b> | <b>1689,00</b> | <b>874,70</b> | <b>16065,73</b> |

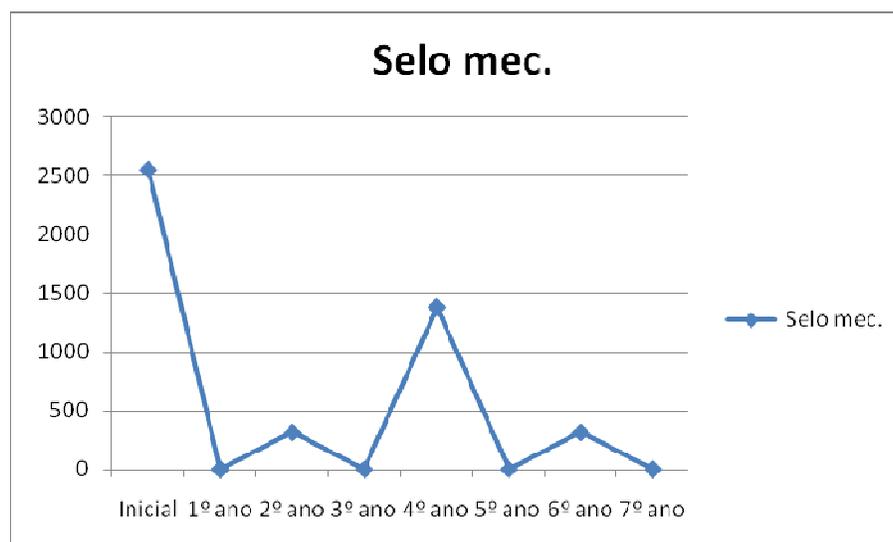


Figura 29: Gastos (R\$) com selo mecânico (Burgmann, 2008)

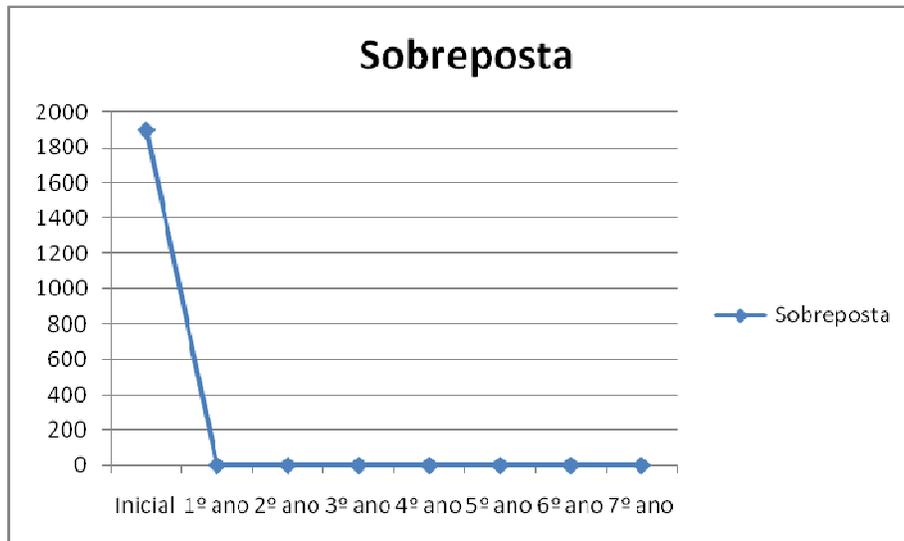


Figura 30: Gastos (R\$) com sobreposta (Burgmann, 2008)

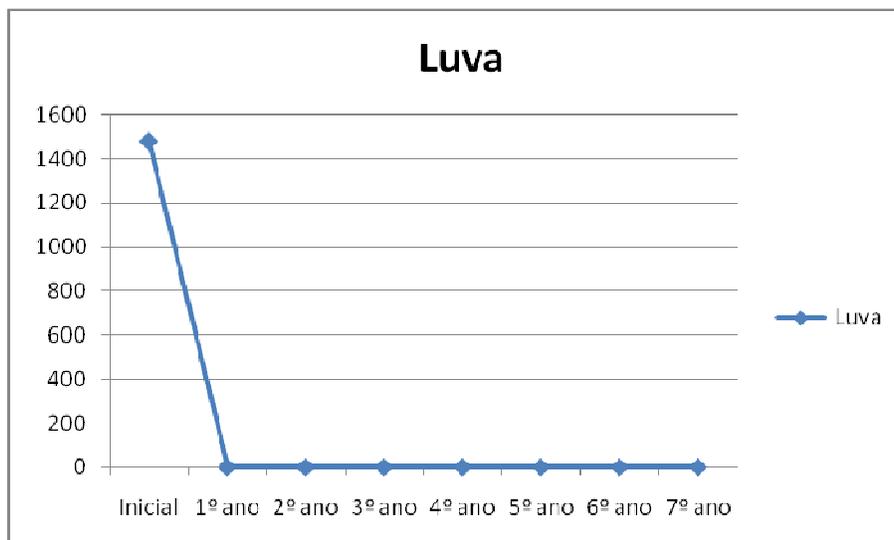


Figura 31: Gastos (R\$) com luva protetora (Burgmann, 2008)

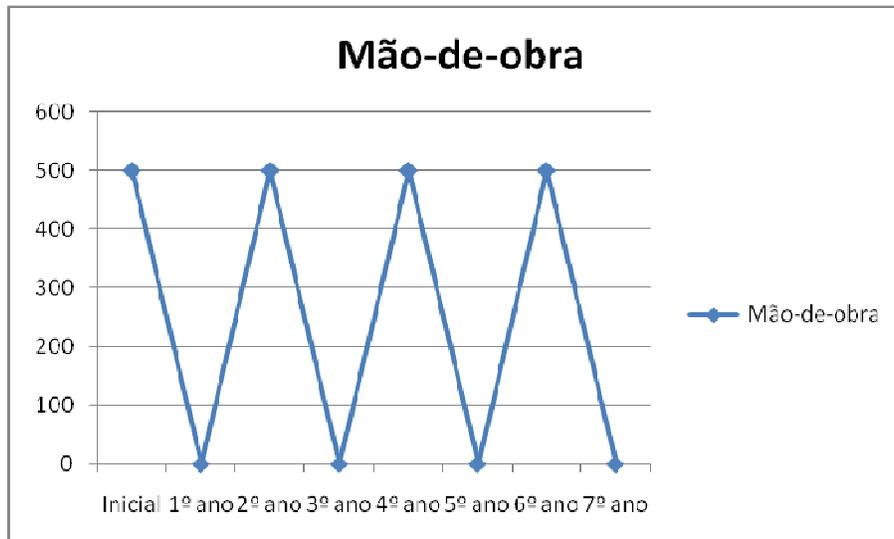


Figura 32: Gastos (R\$) mão-de-obra para selo mecânico (Burgmann, 2008)

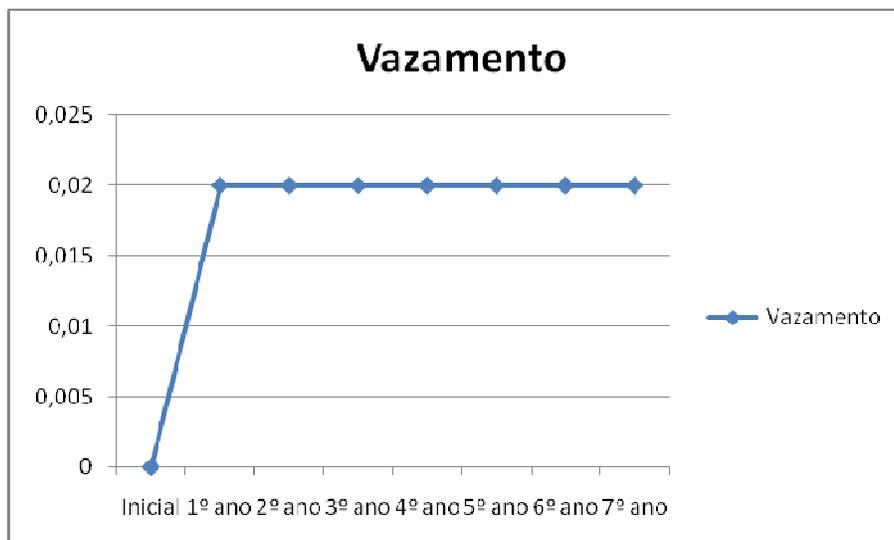


Figura 33: Gastos (R\$) com vazamento de água pelo selo mecânico (Burgmann, 2008)

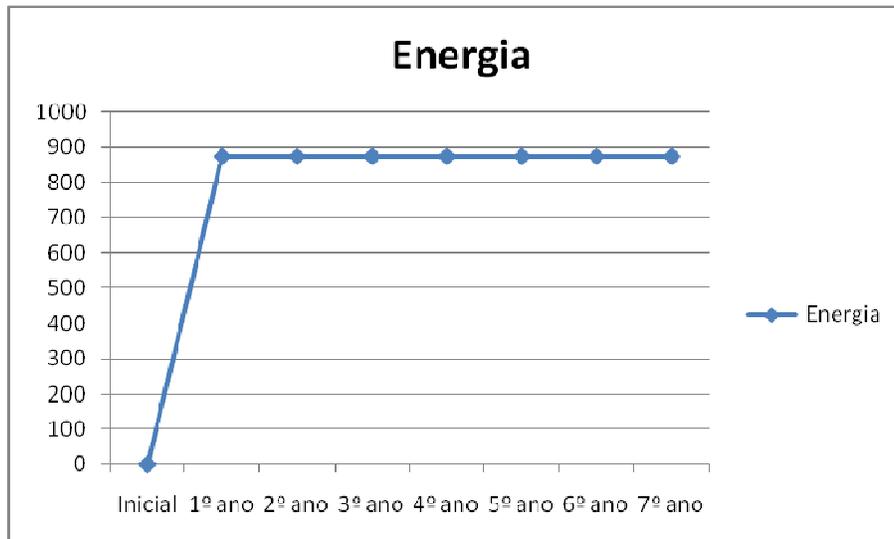


Figura 34: Gastos (R\$) com energia elétrica proporcional (Burgmann, 2008)

Tabela 6: Comparativo de gastos com selos mecânicos

| Preços (R\$) | Inicial | 1º ano | 2º ano | 3º ano | 4º ano  | 5º ano | 6º ano  | 7º ano  | TOTAL           |
|--------------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|---------|-----------------|
| SÊLO MEC.    | 6433,5  | 874,7  | 1688,8 | 874,72 | 2756,00 | 874,7  | 1689,00 | 874,70  | <b>16066,12</b> |
| GAXETA       | 1390,9  | 3252,6 | 3993,5 | 3252,6 | 3993,50 | 3252,6 | 3993,50 | 3252,60 | <b>26381,80</b> |

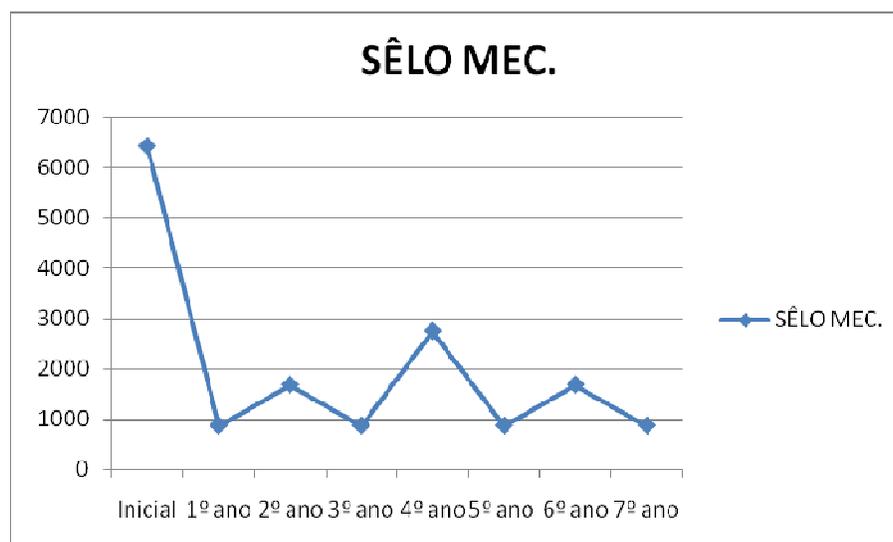


Figura 35: Gastos (R\$) com utilização de selo mecânico (Burgmann, 2008)

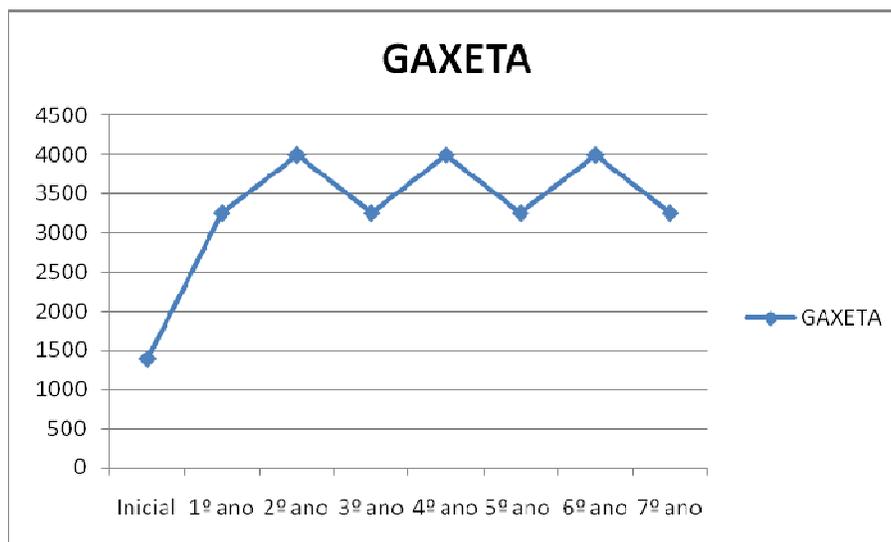


Figura 36: Gastos (R\$) com utilização de gaxetas (Burgmann, 2008)

Pôde-se observar pelas planilhas, que o investimento é totalmente amortizado a partir do 4º ano de operação do selo mecânico, bem como a economia com os vazamentos de água e energia elétrica.

O novo dispositivo mostrou-se eficaz na questão de implantação e manutenção, sendo que cabe um investimento inicial a ser disponibilizado pela empresa interessada.

Cabe salientar que a água perdida pelas gaxetas, conforme figura 02, atualmente não é aproveitada, cabendo estudo posterior para aproveitar este produto.

O sistema proposto é uma solução para eliminar as perdas de água pelas gaxetas das bombas, considerando que a solução definitiva seria a troca dos sistemas de vedação de gaxetas por dispositivos mais modernos como o selo mecânico, conforme figura 03. Não foi considerada, para efeito de cálculo de viabilidade econômica, a lucratividade gerada pela comercialização da água tratada bombeada. Somente considerou-se a amortização do investimento em relação aos gastos com a manutenção preventiva dos equipamentos.

Um fator importante que deve ser relevado é a questão da imagem da empresa de saneamento ambiental, em relação à opinião pública, preocupada com os desperdícios e buscando atacar os focos de possíveis perdas impostas aos sistemas de abastecimento e demais setores.

## **5 - Conclusões**

Foi possível concluir que a proposta é viável nos aspectos técnicos e econômicos, efetuando-se a substituição do sistema de vedação das bombas centrífugas com gaxetas por selos mecânicos, e principalmente nos aspectos ambientais e sociais, em época de escassez de recursos hídricos, considerando o montante de investimento para o sistema proposto.

O retorno do investimento dá-se em aproximadamente 04 (quatro) anos.

## 6 - Referências

- BORGES, K. L., 2004, “Análise do Custo da Captação Subterrânea no Município de Araguari–MG”, ASSEMAE - Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento, Araguari - MG, Brasil.
- BRAN, R., SOUZA, Z., Máquinas de Fluxo, 1980, Rio de Janeiro, p.106-112.
- BURGMANN DO BRASIL SA, Catálogo geral.
- SILVA, G., GONÇALVES, O. M., 2003, Programa Permanente de Uso Racional de Água, USP - São Paulo / SP – Brasil.
- FIASHI, D., GRANIGLIA, R., MANFRIDA, G., 2004, Improving de Effectiveness of So- lar Pumping Systems by Using Modular Centrifugal Pumps with Variable Rotation Speed, Firenze – Italy.
- LI, W.W., 1999, Effects of Viscosity of Fluids o Centrifugal Pumps Performance, Lanzhou – China.
- LUCARELLI, D. L., 1974, Cetesb - Bombas, São Paulo, p. 260.
- KSB DO BRASIL, Catálogo geral de bombas.
- MACINTYRE, A. J., 1987, Bombas e Instalações de Bombeamento, Rio de Janeiro, p. 37-54 e 421-483.
- MORIGUSHI, S. K., 1997, Projetos e Execução de Componentes de Bombas, São Paulo.
- OLIVEIRA, L. H. ; GONÇALVES, O. M. . BT/PCC/247 Metodologia para implantação de programa de uso racional da água em edifícios. São Paulo: Escola Politécnica, 1999.
- OMEL DO BRASIL, escola de bombas.
- PASSETO, W., FRISON, N., PENEDO, A. A., 2009, Água, sua importância em nossa vida – curso de conscientização ambiental, Edição AESABESP, São Paulo – SP.
- PAUNESCU, M., 2005, Experimental research recarding gaskets durability, Bucharest- Romania.
- PFLEIDERER, C., 1960, Bombas Centrifugas y Turbocompresores, Barcelona, p. 631.
- PFLEIDERER, C., PETERMANN, H., 1979, Máquinas de Fluxo, Rio de Janeiro, p. 12-13.

- SABESP - Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo, São Paulo, 2008.
- SHIELS, S., 2002, Centrifugal Pumps, Elsevier Science, ISBN-10: 185617445X ISBN-13: 9781856174459.
- SHIELS, S., 2002, Failure of mechanical seals in centrifugal pumps, Elsevier Science.
- STREETER, V. L., WYLIE, E. B., 1981, Mecânica dos Fluidos, São Paulo, p. 394-425.
- TSUTIYA, M. T., 2005, Abastecimento de Água. São Paulo, p.225-336.
- ULIANO, A., TORRESA, M., Gourlate, C.B., 2004, Projeto do Sistema de Abastecimento de Água da Região da Júlio Michel – Blumenau, Brasil.
- OMEL DO BRASIL. Escola – Detecção de falhas em bombas centrífugas.
- PROENÇA, J. F. de; UCHIMA, M. K.; Melhorias em sistemas de vedação de bombas hidráulicas centrífugas não afogadas de grande porte ; Revista DAE; 47(149): 147-50 Jun.-Set. 1987. Ilus., tab.
- FERRAZ, F., 2008; Noções básicas de elementos de máquinas – PCM Programa de certificação de pessoal de manutenção – SENAI / ES.
- BRION, L. M., MAYS, L. W., Methodology for optimal operation of pumping station in water distribution system, Journal of Hydraulic Engineering, vol. 117, No. 11, pp. 1551 – 1589, 1991.