



XI-003 – ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS: ESTUDO DE CASO NO SAAE SÃO LOURENÇO

Gustavo Meirelles Lima⁽¹⁾

Engenheiro Hídrico pela Universidade Federal de Itajubá. Mestrando em Engenharia de Energia na UNIFEI.

Augusto Nelson Carvalho Viana

Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal de Itajubá. Mestre em Engenharia Mecânica pela UNIFEI. Doutor em Engenharia Civil/Hidráulica pela Escola Politécnica (USP). Pós-doutor em Ciências da Engenharia Ambiental pela USP. Professor associado da UNIFEI.

Artino Quintino da Silva Filho

Engenheira Eletricista pela Universidade Federal de Itajubá. Mestrando em Engenharia de Energia na UNIFEI.

Renato Swerts Carneiro Dias Júnior

Engenheira eletricista pela Universidade Federal de Itajubá. Mestrando em Engenharia Elétrica na UNIFEI.

Endereço⁽¹⁾: Avenida BPS, 1303 – Pinheirinho – Itajubá – MG – CEP: 37500-903 – Brasil – Tel. (35) 3629-1625 – email: gustavo@soesco.com.br

RESUMO

O uso racional de energia vem sendo cada vez mais incentivado. Em alguns países já existem até subsídios para que indústrias adotem medidas de eficiência energética. Um dos setores com grandes oportunidades de efficientização é o de saneamento, onde grande parte do consumo de energia se refere às estações elevatórias. Para determinar as medidas a serem tomadas para reduzir os gastos com energia é preciso realizar um diagnóstico do sistema, realizando medidas para determinar as condições de operação atuais e, assim, propor medidas viáveis técnica e economicamente. Portanto, o objetivo deste trabalho é realizar avaliar as condições operacionais das principais estações elevatórias do Serviço Autônomo de Água e Esgoto do município de São Lourenço - MG, avaliando o rendimento dos conjuntos motobombas para uma possível substituição, a perda de carga da adutora de água tratada, com o objetivo de reduzir a altura total de elevação e a operação do sistema elevatória/reservatório para que o bombeamento no horário de ponta possa ser reduzido.

PALAVRAS-CHAVE: Estações Elevatórias, Eficiência Energética, Otimização do Bombeamento.

INTRODUÇÃO

A escassez de energia e a necessidade de utilizar fontes limpas e renováveis fez com que aumentassem os estudos para otimizar grandes sistemas consumidores de energia, reduzindo assim seus gastos com energia e consequentemente seus impactos ambientais. Além disso, alguns países europeus e os EUA já têm oferecido incentivos na forma de redução de impostos e subsídios às indústrias que aderirem aos programas de eficiência energética. No Brasil, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) realiza iniciativas de eficiência energética. Em 22 anos, o programa ajudou a economizar 28,5 milhões de MWh, o que equivale a uma usina com potência instalada de 6.841 MW, que custaria 19,9 bilhões de reais (Eletrobrás, 2009). Um dos sistemas que se mostra propício a estudos de eficiência energética são os sistemas de bombeamento para abastecimento de água. De acordo com a Eletrobrás (2009), o equivalente a 2,3 % do total de energia consumida no Brasil é utilizada no setor de saneamento, sendo que os sistemas de bombeamento representam 90 % deste consumo.

Existem algumas maneiras de reduzir os gastos de energia em sistemas de abastecimento de água, atuando de forma direta ou indireta sobre as estações elevatórias. A primeira maneira é reduzir o índice de perdas, que em média representa 40 % da água captada e tratada, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2010). Esta perda de água pode ocorrer devido a vazamentos nas tubulações de abastecimento, extravasamento de reservatórios, ligações clandestinas ou uso não faturado. Reduzindo tais perdas, indiretamente a vazão de água captada e tratada necessária para atender a população irá diminuir, e, consequentemente, a potência requerida pelo sistema de bombeamento.

Outra forma indireta de reduzir os gastos com energia é realizar a setorização dos consumidores, definindo



zonas de pressão, conforme NBR 12211 (1992). Desta forma, apenas os bairros que estão em locais de maior altitude utilizarão sistemas de bombeamento, enquanto que os mais baixos podem ser atendidos por gravidade ou por um sistema de bombeamento de menor potência. Porém esta é uma alternativa que deve ser considerada na fase de projeto do sistema, já que após a implantação do sistema torna-se complexa a divisão de setores. Uma alternativa que vem sendo utilizada são os conversores de frequência, que permitem o controle da rotação do conjunto motobomba, controlando assim a pressão de acordo com a necessidade do sistema. De acordo com Rodrigues (2007) e Silva Filho (2011) esta alternativa é indicada em *boosters*, que são estações elevatórias colocadas em linha na rede de distribuição, onde há grande variação da vazão e pressão de acordo com a demanda, porém a viabilidade técnica e econômica deve ser avaliada individualmente.

Uma forma direta de aumentar a eficiência das estações elevatórias é avaliar o ponto de operação do conjunto motobomba. Segundo a Europump e o Hydraulic Institute (2004), cerca de 75 % dos sistemas estão superdimensionados em relação a demanda real. Esta era uma prática comum, sendo justificada pela necessidade de uma margem de segurança, mas que acarreta na queda de rendimento do conjunto, já que este irá operar fora do ponto ótimo.

Outras alternativas que podem ser estudadas são o desligamento de bombas no horário de ponta, que necessitam de um reservatório para atender à demanda neste período, e a redução da perda de carga nas tubulações, que pode ser feita através da limpeza ou até mesmo da troca da tubulação.

Neste trabalho, é feito o estudo de caso em estações elevatórias do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de São Lourenço – MG. Serão avaliados os rendimentos dos conjuntos motobombas, a perda de carga da adutora de água tratada e a possibilidade de desligamento dos conjuntos no horário de ponta.

MATERIAIS E MÉTODOS

O município de São Lourenço, localizado no sul de Minas Gerais, tem uma área territorial de 57 km² e faz parte do Circuito das Águas de Minas. Segundo o IBGE (2010) a cidade tem uma população de 42.688 habitantes. Porém, em épocas festivas, este número chega a dobrar. O SAAE São Lourenço é composto de uma captação, uma Estação de Tratamento de Água (ETA), 7 reservatórios e 9 *boosters*, distribuindo água para 20 redes ao longo dos bairros da cidade, totalizando 139,5 km de tubulações que abastecem 18.683 economias. A figura 1 mostra um esquema simplificado de todo o sistema e o local onde será feito o estudo, que representa a maior parcela do consumo de energia de todo o sistema.

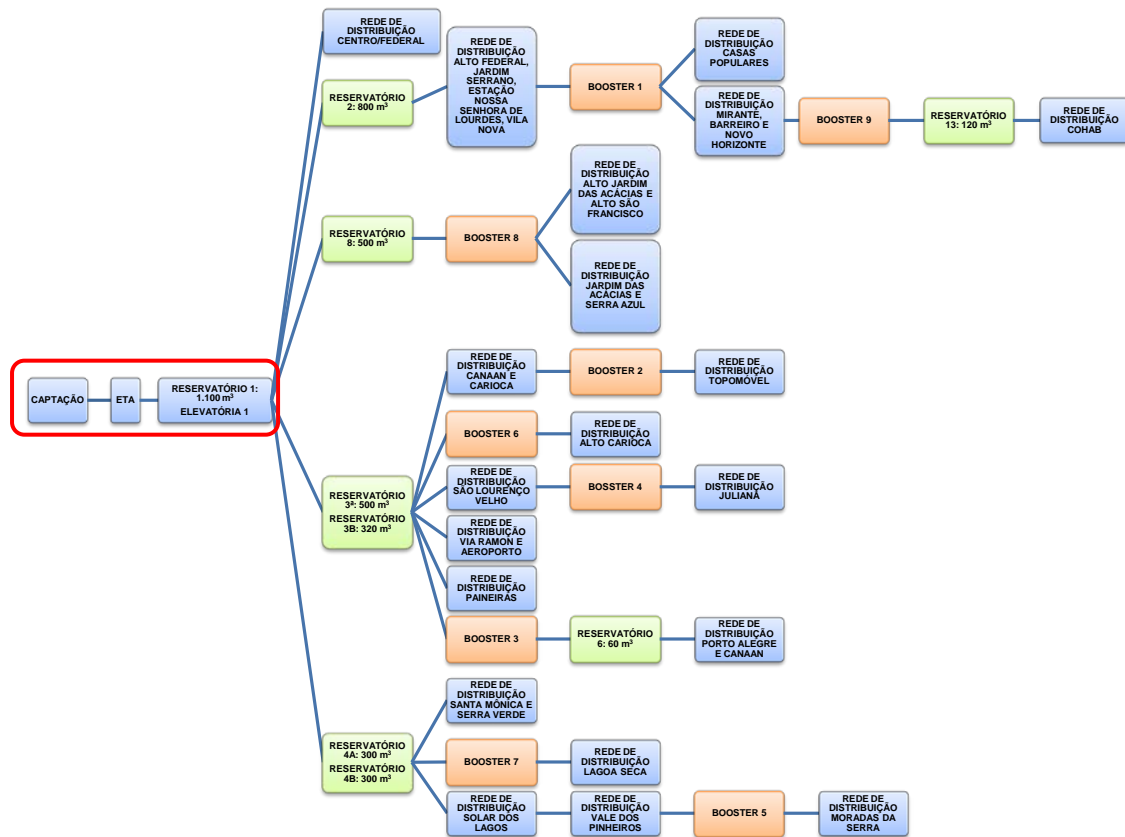


Figura 1. Esquema do sistema de abastecimento de água de São Lourenço.

A captação de água para abastecimento de São Lourenço é feita no Rio Verde, através de 3 conjuntos moto-bombas instalados sobre uma balsa (figura 2), o que permite ao sistema adaptar-se às variações de nível.



Figura 2. Conjuntos moto bombas da captação.

A água captada é aduzida até o sistema de tratamento convencional (figura 3), composto por floculadores Alabama, três decantadores, seis filtros rápidos por gravidade, dois reservatórios de contato e um reservatório de água para lavagem de filtros. Possui capacidade para tratar 240 l/s. Após o tratamento, a água é armazenada no reservatório da ETA, a partir do qual é bombeada através de 3 conjuntos (figura 3) para o reservatório semi-enterrado Vila Nova, que possui um volume de 1.200 m³.



Figura 3. Estação de Tratamento de Água (ETA) e conjuntos motobombas da ETA.

A partir deste reservatório a água é distribuída para os diversos bairros da cidade, parte por gravidade, parte por bombeamento. Além do reservatório existem quatro elevatórias: Jardim das Acácias, Carioca, Solar dos Lagos e São Francisco (figuras 5 e 6).



Figura 4. Conjuntos moto bombas do Solar dos Lagos (esquerda) e São Francisco (direita).



Figura 5. Conjuntos moto bombas do Jardim das Acácias (esquerda) e Carioca (direita).

ENSAIOS DE CAMPO

Para realizar a análise das estações elevatórias foram feitos o ensaio de rendimento dos conjuntos e também o monitoramento da operação da elevatória da ETA, que abastece o reservatório Vila Nova. Para tanto foram

feitas medidas de vazão, pressão, potência elétrica e nível do reservatório, com os equipamentos descritos a seguir.

➤ *Vazão*

Para realizar a medida de vazão foram utilizados dois medidores ultrassônicos, um da marca Thermo Polysonics e outro da marca GE (Fig.), já que em todos os locais existe uma posição adequada, com trecho reto, para sua instalação. Nos ensaios de rendimento realizados a medição foi feita pontualmente, enquanto que para o monitoramento da operação da elevatória da ETA, os dados de vazão aduzida foram aquisitados com intervalo de 5 minutos através do módulo SCXI da National Instruments. Este tipo de medidor é utilizado na medição de líquidos limpos em tubulações fechadas. A medição de vazão é baseada no tempo de trânsito de pulsos de ultra-som emitidos e recebidos por dois sensores acoplados na parede externa da tubulação. O equipamento deve ser configurado de acordo com o material, espessura e diâmetro da tubulação



Figura 6. Medidores de vazão ultrassônicos Thermo Polysonics e GE.

➤ *Pressão*

Assim como na medida de vazão, durante os ensaios de rendimento a medida de pressão também foi feita pontualmente, utilizando manômetros de Bourdon na sucção e no recalque da bomba. Para realizar esta medida também foram instalados manifolds, que servem para proteção do equipamento e também para a purga de ar.



Figura 7. Medidas de pressão na entrada (esquerda) e saída (direita) da bomba.

➤ *Potência Elétrica*

As medidas de potência elétrica foram feitas junto ao quadro de comando e proteção dos conjuntos motobombas, utilizando garras instaladas em paralelo para medição da tensão e alicates amperímetros que envolvem o cabo para medição da corrente elétrica. Assim como para os outros parâmetros, a medição durante o ensaio foi feita pontualmente.



Figura 8. Wattímetro instalado no quadro de comando

➤ *Nível d'água*

Para realizar a medida do nível d'água do reservatório Vila Nova foi instalado um transdutor de pressão em um vaso comunicante utilizado para leitura do nível através de régua. Assim, foi possível determinar as oscilações que ocorrem no reservatório. Assim como para a vazão, os dados foram aquisitados com um intervalo de 5 minutos.



Figura 9. Medida de nível realizada no reservatório Vila Nova.

➤ *Desnível Geométrico*

O desnível geométrico é necessário para avaliar a perda de carga na adutora de água tratada. Neste estudo foi utilizado o DGPS ProMark 2, onde são utilizados dois receptores GPS: um instalado em local fixo, denominado de base, e outro instalado no local desejado, denominado de móvel. Desta forma é possível realizar a correção diferencial do erro, obtendo precisão centimétrica.



Figura 10. DGPS para obtenção do desnível geométrico.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

➤ Substituição dos Conjuntos Motobombas

Para avaliar a viabilidade da troca dos conjuntos motobombas é necessário determinar o rendimento do conjunto, para que possa ser feita a comparação com equipamentos mais eficientes. O procedimento de cálculo descrito a seguir é baseado na norma ISO 9906 (1999). Primeiramente calcula-se a altura total de elevação, através da equação 1.

$$H = \left(\frac{p_2}{\rho \cdot g} - \frac{p_1}{\rho \cdot g} \right) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + (z_2 - z_1) \quad (1)$$

onde:

- H [m] - altura total de elevação;
- $p_2/\rho g$ [m] - pressão no manômetro ou transdutor no recalque da bomba;
- $p_1/\rho g$ [m] - pressão na manovacuômetro ou transdutor na sucção da bomba;
- v_2 [m/s] - velocidade média de escoamento no recalque da bomba;
- v_1 [m/s] - velocidade média de escoamento na sucção da bomba;
- z_2 [m] - cota de posição no recalque da bomba;
- z_1 [m] - cota de posição na sucção da bomba.

As velocidades médias na sucção e no recalque da bomba são calculadas em função das áreas das tubulações nas seções correspondentes:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad (2)$$

onde:

- v [m/s] - velocidade média de escoamento da água nas seções de sucção e recalque da bomba;
- Q [m³/s] - vazão de água no conduto;
- D [m] - diâmetro dos condutos de sucção e recalque da bomba.

A diferença entre as cotas de posição z_2 e z_1 é determinada tomando-se como referência os pontos onde são realizadas as tomadas de pressão na entrada e saída da bomba. Em seguida calcula-se a potência hidráulica da bomba pela equação 3.



$$P_H = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (3)$$

onde:

P_h [kW] - potência hidráulica da bomba;
 ρ [kg/m³] - massa específica da água;
 g [m/s²] - aceleração da gravidade;
 Q [m³/s] - vazão;
 H [m] - altura total de elevação;

O rendimento do conjunto é então calculado pela equação 4.

$$\eta_c = \frac{P_H}{P_{el}} \quad (4)$$

onde:

η_c [%] - rendimento do conjunto moto-bomba;
 P_h [kW] - potência hidráulica;
 P_{el} [kW] - potência elétrica.

Para avaliar o rendimento da bomba isoladamente é necessário conhecer a potência de eixo fornecida pelo motor. Neste caso utilizou-se o rendimento nominal dos motores, obtidos através de catálogos dos fabricantes. Com isso obtém-se a potência de eixo pela equação 5 e o rendimento da bomba pela equação 6.

$$P_e = P_{el} \cdot \eta_m \quad (5)$$

onde:

P_e [kW] - potência de eixo;
 P_{el} [kW] - potência elétrica do motor;
 η_m [%] - rendimento do motor elétrico.

$$\eta_b = \frac{P_H}{P_e} \quad (6)$$

onde:

η_b [%] - rendimento total da bomba;
 P_h [kW] - potência hidráulica;
 P_e [kW] - potência de eixo da bomba.

➤ Redução do Bombeamento no Horário de Ponta

Para avaliar as condições operacionais do reservatório Vila Nova, e determinar se ele possui volume útil suficiente para reduzir o bombeamento no horário de ponta, é necessário conhecer sua curva de demanda do dia de maior consumo. Como apenas a vazão de entrada foi medida, a vazão de saída (demanda) foi determinada através de balanço hídrico, conforme equação 7.

$$Q_s = \frac{\Delta NA \cdot A_{res} - Q_e \cdot \Delta t}{\Delta t} \quad (7)$$

onde:

ΔNA [m] - variação do nível do reservatório (positiva se há aumento e negativa se há redução);
 A_{res} [m²] - área do reservatório;
 Q_e [m³/s] - vazão de entrada;
 Δt [s] - intervalo de tempo entre as medidas.



O volume útil necessário do reservatório é determinado através do método dos volumes diferenciais (Gomes, 2009). Neste método se realiza a soma das diferenças negativas entre a vazão de entrada e de saída para encontrar assim, o volume útil necessário. Se este volume for menor do que o volume útil atual do reservatório é possível montar um novo esquema de operação para que haja uma redução do bombeamento no horário de ponta. Caso isto não seja possível, deve-se verificar a viabilidade do aumento do volume útil do reservatório para que o bombeamento possa ser interrompido no horário de ponta.

➤ *Redução da Altura Total de Elevação*

Conhecendo o desnível geométrico entre o reservatório de sucção da elevatória da ETA e o reservatório Vila Nova, e também sua altura total de elevação, obtida durante o ensaio de rendimento, é possível determinar a perda de carga na tubulação através da equação 8.

$$\Delta H = H_b - H \quad (8)$$

onde:

ΔH [m] - perda de carga na adutora;

H_b [m] - desnível geométrico entre o reservatório de sucção da elevatória da ETA e o reservatório Vila Nova;

H [m] - altura de elevação total da bomba.

Assim, é possível determinar a rugosidade ε atual da tubulação através das equações 9 e 10. Optou-se pelo uso da fórmula universal (equação 9) pois a NBR 12215 (1991) recomenda que esta seja utilizada para o dimensionamento de adutoras. O resultado obtido deve ser comparado com valores de referência, e assim, é possível avaliar se a perda de carga atual está elevada, indicando a necessidade de limpeza da tubulação.

$$f = \frac{\Delta H \cdot D^5 \cdot \pi^2 \cdot g}{8 \cdot L \cdot Q^2} \quad (9)$$

$$\varepsilon = 3,7 \cdot \left(10^{-\frac{1}{2 \cdot \sqrt{f}}} - \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \cdot D \quad (10)$$

onde:

f [1] – fator de atrito;

L [m] – comprimento do trecho considerado;

Q [m³/s] – vazão;

ΔH [m] – perda de carga na tubulação;

D [m] – diâmetro da tubulação;

g [m²/s] – aceleração da gravidade;

ε [m] – rugosidade da tubulação;

Re [1] – número de Reynolds.

RESULTADOS

➤ *Substituição dos Conjuntos Motobombas*

Os resultados obtidos para os ensaios dos conjuntos motobombas são apresentados na tabela 1. Percebe-se que em todos os casos o rendimento obtido está abaixo do determinado pelo fabricante para o ponto de operação. Isto mostra que os conjuntos já estão desgastados, seja pelo seu tempo de operação ou manutenção inadequada, indicando que pode haver a viabilidade de sua troca.

Tabela 1. Resultados dos ensaios nos conjuntos moto-bomba.

Local	Q [m ³ /h]	H [m]	η_t ensaio [%]	η_t catálogo [%]
ETA	330	58,7	65,5	68
Captação	349,7	18,7	66,4	80
Solar dos Lagos	131,9	56,9	67,7	80
Jardim das Acácias	40	61,5	38,2	68
São Francisco	167	44,6	47,9	77
Carioca	196,9	42,5	62,1	76

Com base nos valores obtidos nos ensaios foram selecionadas novas bombas, com maior eficiência, para o mesmo ponto de operação encontrado, já que não há nenhum controle de vazão nestas estações elevatórias. Assim, avaliou-se a viabilidade econômica da troca destes conjuntos, como mostra a Fig. (4). Considerando o investimento de todos os conjuntos, o *payback* será de 1,93 anos.

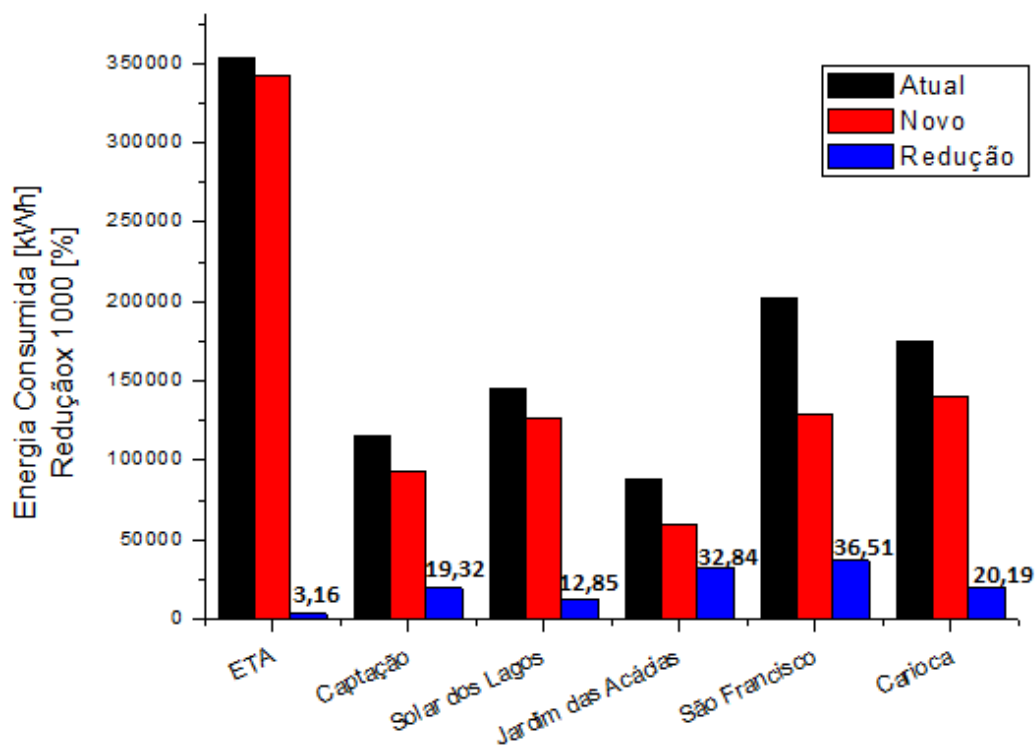


Figura 4. Comparação do consumo de energia atual com o consumo após a troca dos conjuntos.

➤ *Redução do Bombeamento no Horário de Ponta*

Com o monitoramento do sistema durante os dias 25/08/2010 e 31/08/2010, obteve-se a curva de demanda do dia de maior consumo (figura 5).

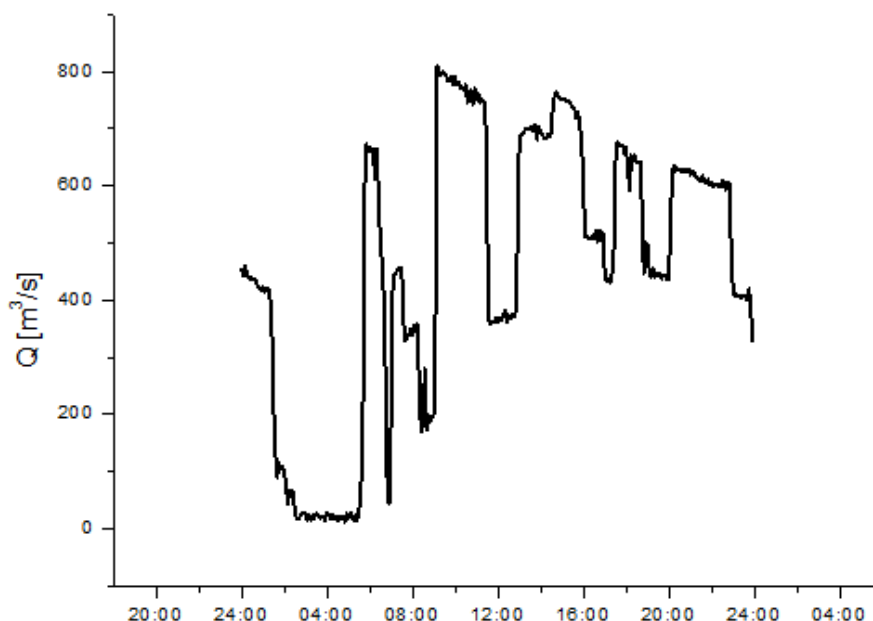


Figura 5. Curva de demanda do dia de maior consumo.

Com base nestes dados avaliou-se a possibilidade de redução do bombeamento da ETA para o reservatório Vila Nova no horário de ponta. Consequentemente também haverá redução no bombeamento feito pela captação, que também deve ser considerado na análise. Foram avaliados os seguintes cenários

- *Cenário 1:* mostra a situação de operação atual, onde o bombeamento da ETA é feito para que o nível do reservatório Vila Nova se mantenha praticamente constante;
- *Cenário 2:* apresenta a possibilidade de desligamento de apenas uma bomba da ETA no horário de ponta. Neste caso é necessário aumento do volume útil do reservatório
- *Cenário 3:* apresenta a possibilidade de desligamento de todas as bombas da ETA no horário de ponta. Neste caso é necessário aumento do volume útil do reservatório
- *Cenário 4:* mostra um cenário otimizado, em que o volume atual do reservatório permite que seja feita a operação. Contudo, neste caso deve ser feito o controle de vazão.

Tabela 2. Gastos com energia para as diferentes situações de operação do reservatório.

Cenário	1	2	3	4
Consumo HP [kWh]	537	330	0	429
Demanda HP [kW]	197	110	0	177
Consumo fora HP [kWh]	3.043	3.243	3.592	2.238
Demanda fora HP [kW]	196	197	197	181
Gasto Anual de Energia [R\$]	564.204	452.020	275.347	482.187
Volume útil [m³]	1.084	1.469	2.401	1.100
Redução [%]	-	19,88	51,20	14,54

➤ *Redução da Altura Total de Elevação*

De acordo com os dados obtidos, o desnível geométrico entre a ETA e o reservatório Vila Nova é de 44 m, enquanto que o comprimento da tubulação é de aproximadamente 1.000 m. Com o resultado obtido no ensaio,



obtem-se uma perda de carga total na adutora de 14,7 m. De acordo com Azevedo Netto (1998) quando o comprimento da tubulação for inferior a 4.000 vezes o diâmetro, que é o caso desta adutora, as perdas de carga localizadas não podem ser desprezadas. Gomes (1999) e Sousa (2001) recomendam que, na falta de informações, utilize-se entre 10 a 20 % do valor das perdas distribuídas para estimar as perdas localizadas. Portanto, considerou-se que 10 % da perda de carga total referem-se às perdas localizadas, obtendo um valor de 13,23 m para as perdas distribuídas. Assim, determina-se que a rugosidade da tubulação é de 4,45 mm. O valor de referência para tubulações de ferro fundido antigas, obtido de Porto (2006), é de 3 a 5 mm. Isto mostra que a perda de carga neste caso está dentro do esperado, considerando as incertezas do procedimento adotado, ou seja, não há indícios evidentes de que a limpeza da tubulação seja realmente necessária.

CONCLUSÃO

O estudo de caso realizado mostra que o consumo de energia em estações elevatórias pode ser elevado. As bombas em estudo apresentaram rendimento abaixo do fornecido pelo fabricante no ponto de operação ensaiado. Além disso, em alguns casos este ponto de operação estava fora do ponto de máximo rendimento. Isto ocorre pelo desgaste dos equipamentos e também devido a seleção incorreta do conjunto. Porém o estudo mostrou que, além de avaliar as condições do conjunto motobomba, também é importante avaliar as condições do sistema, que indiretamente influi nos gastos com energia. Observou-se que uma das alternativas mais atrativas neste caso é o uso de reservatórios para redução do bombeamento no horário de ponta, que implica em grande economia nos gastos com energia. Portanto a eficiência de uma estação elevatória não depende apenas do rendimento dos conjuntos motobombas, e sim de uma operação otimizada em conjunto com a manutenção adequada de todo o sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12215 (NB 591) - Projeto de Adutora de Água Para Abastecimento Público, 1991.
2. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12211 - Estudos de Concepção de sistemas Públicos de Abastecimento de Água, 1992.
3. AZEVEDO NETTO, J. M. et al, Manual de Hidráulica, 8ª Ed., Editora Edgard Blucher, 670 p., 1998
4. ELETROBRÁS, Informativo Eletrobrás do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, nº 81, 2009.
5. EUROPUMP AND HYDRAULIC INSTITUTE, Variable Speed Drives – A Way to Lower Life Cycle Costs. Elsevier Advanced Technology, Oxford, Inglaterra, 2004.
6. GOMES, H. P., Engenharia de Irrigação: Hidráulica de Sistemas Pressurizados, Aspersão e Gotejamento, Editora Universitária UFPB, 3ª Ed., Campina Grande, 1999.
7. GOMES, H. P., Sistemas de Bombeamento – Eficiência Energética. Editora Universitária UFPB, 1ª Ed. João Pessoa, 2009.
8. ISO 9906, Rotodynamic Pumps - Hydraulic Performance Acceptance Tests - Grades 1 and 2, 1999.
9. PORTO, R. M., Hidráulica Básica. 4ª ed. São Carlos, 2006. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo 519 p.
10. RODRIGUES, W., Critérios para o Uso Eficiente de Inversores de Frequência em Sistemas de Bombeamento de Água, 234 f, Tese de doutorado em engenharia civil, Faculdade de engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2007.
11. SILVA FILHO, A. Q., VIANA, A. N. C., LIMA, G. M. e CARNEIRO JUNIOR, R. S., Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica para a Aplicação de Inversores de Frequência em Sistemas de Bombeamento, IX CLAGTEE - Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission, Mar Del Plata, 2011.
12. SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto. Brasília, DF, 2010.
13. SOUSA, E. R., Saneamento Ambiental I – Sistemas de Adução, Universidade Técnica de Lisboa – Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, 2001.