

# **OTIMIZAÇÃO DO USO DE RESERVATÓRIOS PARA REDUÇÃO DO BOMBEAMENTO NO HORÁRIO DE PONTA**

*Gustavo Meirelles Lima<sup>1</sup>; Augusto Nelson Carvalho Viana<sup>2</sup>; Artino Quintino da Silva Filho<sup>3</sup>;  
Renato Swerts Carneiro Dias Júnior<sup>4</sup>*

**Resumo** – A concepção de um sistema de abastecimento de água é realizada de forma que a população seja atendida com a quantidade e qualidade necessárias. Porém, com o crescimento da população, esta demanda aumenta, e conseqüentemente existe a necessidade de se produzir mais água, o que pode tornar os componentes do sistema incapazes de atender a demanda. Outro problema que os sistemas de abastecimento enfrentam é o fato de que a demanda máxima de água coincide com o horário de demanda máxima de energia, onde a tarifa é mais cara. Desta forma, sistemas que utilizam o bombeamento têm maiores gastos para atender a demanda. Uma forma de reduzir estes gastos é utilizar reservatórios para que estes atendam ao pico de consumo diário. Assim, este trabalho irá apresentar os estudos de caso no SAAE de São Lourenço – MG e SAAE de Cruzeiro – SP onde foi avaliada a possibilidade de reduzir o bombeamento no horário de ponta, otimizando o uso do reservatório.

**Palavras-Chave** – eficiência energética, reservatórios, bombeamento.

**Abstract** – The design of a water supply system is made for the population to be served with the quantity and quality required. But with population growth, this demand increases, and therefore there is a need to produce more water, which can make the system components unable to meet demand. Another problem is the fact that the maximum demand for water coincides with the time of maximum demand of energy, where the fare is more expensive. Thus, the systems that has pump stations spend more with energy to meet demand. A way to reduce these expenses is to use reservoirs to meet peak daily consumption. This work will present case studies on SAAE São Lourenço - MG and SAAE Cruzeiro - SP, where was evaluated the possibility of reducing the pumping at peak hours, optimizing the use of the reservoir.

**Keywords** – energy efficiency, reservoirs, pumping.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Instituto de Recursos Naturais – IRN, Grupo de Energia – GEN, Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, CEP 37500-903, Caixa Postal 50, Itajubá, MG, Brasil, fone (35)3629-1301, limameirelles@gmail.com.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Instituto de Recursos Naturais – IRN, Grupo de Energia – GEN, Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, CEP 37500-903, Caixa Postal 50, Itajubá, MG, Brasil, fone (35)3629-1382, augustonelsonviana@yahoo.com.br.

<sup>3</sup> Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Instituto de Recursos Naturais – IRN, Grupo de Energia – GEN, Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, CEP 37500-903, Caixa Postal 50, Itajubá, MG, Brasil, fone (35)3629-1301, artinoquintino@hotmail.com.

<sup>4</sup> Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Instituto de Recursos Naturais – IRN, Grupo de Energia – GEN, Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, CEP 37500-903, Caixa Postal 50, Itajubá, MG, Brasil, fone (35)3629-1301, rswerts@excen.com.br

## 1. INTRODUÇÃO

A escassez de energia e a necessidade da utilização de fontes limpas e renováveis fez com que aumentassem os estudos de otimização de grandes sistemas consumidores de energia, reduzindo assim seus gastos com energia e conseqüentemente seus impactos ambientais. Os sistemas de abastecimento de água têm cada vez mais se preocupado em otimizar suas condições de operação, com o objetivo de reduzir seus custos, principalmente com energia. De acordo com a Eletrobrás (2009), cerca de 2 a 3 % do total de energia consumida no Brasil é utilizada no setor de saneamento, sendo que os sistemas de bombeamento representam de 90 a 95 % deste consumo.

Um dos problemas dos sistemas de bombeamento é que, em muitos casos, devido ao desgaste e à falta de manutenção, os conjuntos motobombas apresentam baixo rendimento. Além disso, segundo a Europump e o Hydraulic Institute (2004), cerca de 75 % dos sistemas estão superdimensionados, prática comum, justificada pela necessidade de ter uma margem de segurança.

Outro problema observado em sistemas de bombeamento que alimentam reservatórios é que normalmente não existe uma rotina de operação preestabelecida, ou seja, os conjuntos operam de acordo com a necessidade. Esta prática faz com que muitas vezes haja a necessidade de operar os conjuntos no horário de ponta, onde a tarifa de energia é mais alta. Diversos estudos como os de Biscos (2003), Wu (2007) e Ostfeld (2008) vêm sendo realizados para otimizar a operação dos sistemas de abastecimento de água. No Brasil, Braghiroli (2005) apresenta o caso do sistema de bombeamento de Santana-SP, onde diversas medidas foram adotadas para melhorar a operação do sistema, dentre elas o desligamento de um dos cinco conjuntos motobombas no horário de ponta.

Neste trabalho serão apresentados os estudos de caso do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de São Lourenço e do SAAE de Cruzeiro, onde foi avaliada a possibilidade de realizar uma mudança nas condições de operação do sistema, permitindo que suas estações elevatórias fossem desligadas no horário de ponta, através da otimização do uso de seus reservatórios.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. SAAE de São Lourenço

O município de São Lourenço, localizado no sul de Minas Gerais, tem uma área territorial de 57 km<sup>2</sup> e faz parte do famoso 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 de 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 captação de água bruta é feita no Rio Verde, através de três conjuntos motobombas instalados sobre uma balsa. A água captada é aduzida até o sistema de tratamento, com capacidade

de tratamento de 240 l/s. Após o tratamento, a água é armazenada no reservatório da ETA, a partir do qual é bombeada através de três conjuntos para o reservatório semienterrado Vila Nova, que possui um volume de 1.200 m<sup>3</sup>. A partir deste reservatório a água é distribuída, através de quatro estações elevatórias, para outros quatro reservatórios que abastecem os diversos bairros da cidade. Será avaliada apenas a operação do reservatório Vila Nova, Figura 1-a, com os conjuntos motobombas da ETA, apresentados na Figura 1-b. Ambas as unidades, ETA e Vila Nova, são tarifadas pela tarifa Horossazonal Verde.

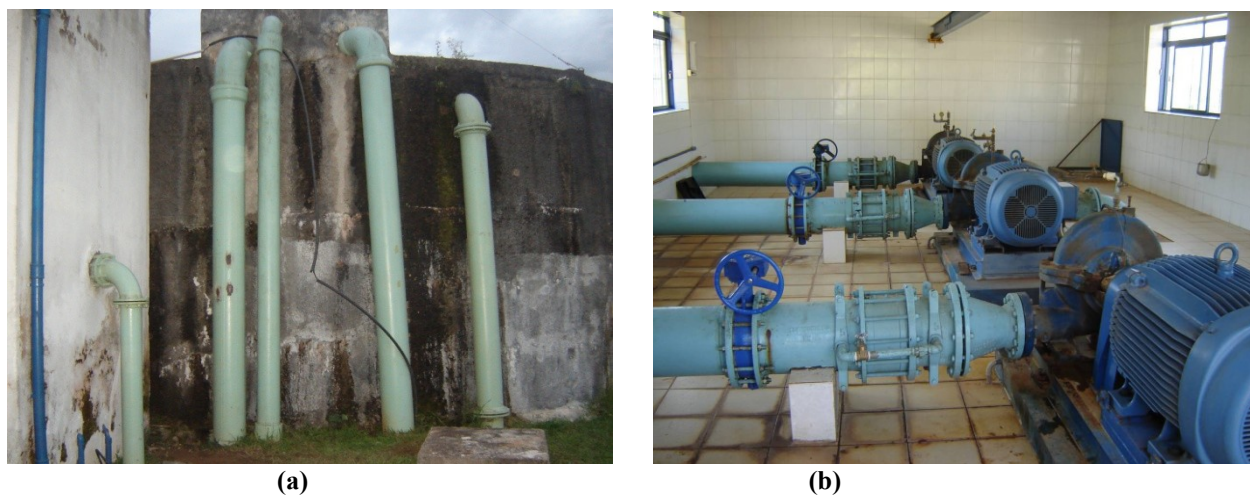


Figura 1 – a) Reservatório Vila Nova; b) Conjuntos motobombas da ETA.

Foram realizados ensaios para verificar os rendimentos dos conjuntos motobombas onde se obteve os seguintes dados: a altura e rendimento médio dos conjuntos motobombas da ETA são, respectivamente, de 74 m e 70 %.

## 2.2. SAAE de Cruzeiro

O SAAE de Cruzeiro possui três sistemas de captação e tratamento de água em locais diferentes, sendo que em duas delas a captação é feita por gravidade. Portanto o sistema analisado será o do Córrego Água Limpa, onde a captação é feita através de três conjuntos motobombas de 30 cv (Figura 2-a). A água bruta segue para a ETA João Madureira de Barros, onde existem dois filtros que são alimentados por três conjuntos motobombas, dois deles de 7,5 cv, que operam em paralelo, e o terceiro de 15 cv, que opera isoladamente. Em seguida a água segue para um reservatório de 2.100 m<sup>3</sup>, Figura 3-b, de onde é distribuída à população por gravidade. A análise será feita neste reservatório, considerando apenas os ganhos obtidos na captação (tarifa horossazonal azul), pois a tarifa utilizada na ETA é a tarifa convencional A4, em que não existem vantagens na redução do consumo no horário de ponta.



(a)



(b)

Figura 2 – a) Conjuntos motobombas da captação Córrego água Limpa do SAAE de Cruzeiro; b) Reservatório da ETA.

Foram realizados ensaios para verificar os rendimentos dos conjuntos motobombas onde se obteve os seguintes dados: a altura e rendimento médio dos conjuntos motobombas da ETA são, respectivamente, de 56,7 m e 51 %.

### 2.3. Método dos Volumes Diferenciais

Os reservatórios possuem limites operacionais máximos e mínimos. O volume compreendido entre estes limites é chamado de volume útil, ou seja, é o volume que realmente poderá ser utilizado para suprir o bombeamento no horário de ponta. Para avaliar se o volume útil do reservatório é capaz de atender a demanda no horário de ponta, é utilizado o método dos volumes diferenciais (Gomes, 2009). Este método pode ser utilizado quando o reservatório é de montante e quando a curva de demanda do dia de maior consumo é conhecida. Quando esta curva não é conhecida, recomenda-se que seja feito o monitoramento do reservatório pelo menos durante uma semana.

No método dos volumes diferenciais é feita a soma das diferenças negativas entre a vazão de entrada e de saída a cada hora, para encontrar assim o volume útil necessário. Este valor deve ser igual a soma das diferenças positivas. Se o valor for menor pode haver vazamentos no reservatório, e se for maior, a demanda está maior do que a produção.

### 2.4. Ensaio de Campo

Nos dois estudos de caso realizados não foi possível realizar a medição de vazão na saída dos reservatórios, pois em um dos casos a tubulação se encontrava enterrada e no outro não havia um trecho reto para instalar o medidor de vazão ultrassônico. Optou-se, portanto, por realizar a medida de vazão na entrada do reservatório (Figura 3-b), utilizando um medidor de vazão ultrassônico, e a medida de nível do reservatório, utilizando um transdutor de pressão no vaso comunicante utilizado para leitura de nível, como mostra a Figura 3-a.

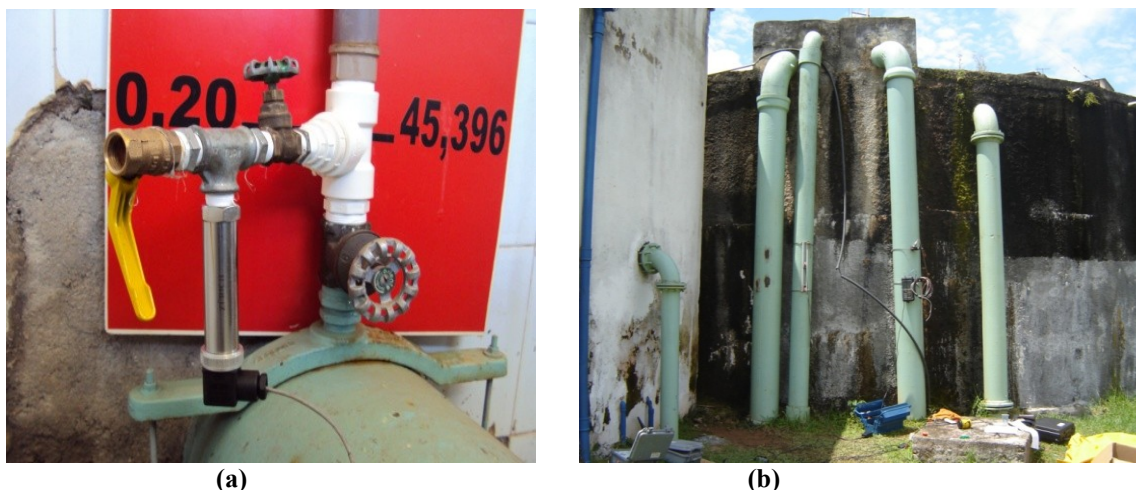


Figura 3 – a) Transdutor de pressão para medida de nível; b) Medidor de vazão ultrassônico na entrada do reservatório.

A determinação dos volumes de entrada e saída pode ser realizada por medição direta ou através do balanço hídrico, Equação 1, onde se pode realizar a medição apenas na entrada e monitorar o nível d'água.. Esta alternativa foi adotada pela dificuldade em realizar a medida de vazão, seja pela tubulação estar enterrada ou pela falta de trecho reto.

$$Q_s = \frac{\Delta NA \cdot A_r - Q_e \cdot \Delta t}{\Delta t} \quad (1)$$

onde:

$\Delta NA$  [m] – variação do nível do reservatório (positiva se há aumento e negativa se há redução do nível);

$A_{res}$  [m<sup>2</sup>] – área do reservatório;

$Q_e$  [m<sup>3</sup>/s] – vazão de entrada;

$Q_s$  [m<sup>3</sup>/s] – vazão de saída;

$\Delta t$  [s] – intervalo de tempo entre as medidas;

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. SAAE de São Lourenço

As medições foram realizadas entre os dias 25/08/2010 e 31/08/2010 (Figura 4-a). A Figura 4-b mostra a curva de demanda da Elevatória Vila Nova para o dia de maior consumo.

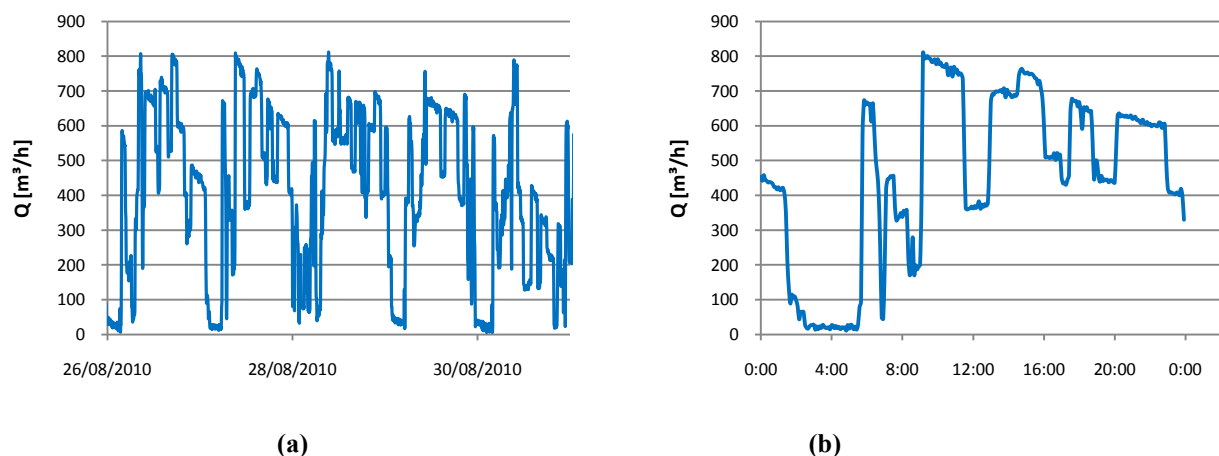


Figura 4 – a) Curva de demanda entre os dias 25/08/2010 e 31/08/2010; b) Curva de demanda do dia de maior consumo.

Considerando esta curva de demanda e que a altura e rendimento médio dos conjuntos motobombas da ETA são de 74 m e 70 %, foram analisadas três situações: a condição de operação atual, o desligamento de uma das bombas da ETA no horário de ponta e a parada completa do bombeamento da ETA no horário de ponta.

### 3.1.1. Situação atual

A Tabela 1 mostra as condições de operação atual e o volume útil necessário obtido através do método dos volumes diferenciais. O resultado mostra que o reservatório opera perto de sua capacidade máxima, que é de 1.100 m³. É possível perceber pela Figura 5 que a operação ocorre sem nenhuma organização, já que não há uma grande variação do nível d'água, sendo que o máximo ocorre durante a madrugada, e no horário de ponta, durante a maior parte do tempo, as duas bombas operam juntas.

Tabela 1 - Método dos volumes diferenciais para a situação atual.

| Hora | Volume de Entrada | Volume de Saída | Saldo ( $Q_e - Q_s$ ) |         |
|------|-------------------|-----------------|-----------------------|---------|
|      | $Q_e$ [m³/h]      | $Q_s$ [m³/h]    | +                     | -       |
| 1    | 400,54            | 437,49          |                       | -36,94  |
| 2    | 387,64            | 267,05          | 120,59                |         |
| 3    | 140,19            | 46,57           | 93,62                 |         |
| 4    | 0,00              | 20,72           |                       | -20,72  |
| 5    | 0,00              | 20,80           |                       | -20,80  |
| 6    | 139,39            | 186,07          |                       | -46,67  |
| 7    | 324,58            | 462,92          |                       | -138,33 |
| 8    | 344,14            | 381,30          |                       | -37,16  |
| 9    | 441,50            | 250,54          | 190,95                |         |
| 10   | 600,14            | 708,77          |                       | -108,63 |

|                                 |        |        |                                    |         |
|---------------------------------|--------|--------|------------------------------------|---------|
| 11                              | 605,89 | 768,46 |                                    | -162,57 |
| 12                              | 606,21 | 569,97 | 36,24                              |         |
| 13                              | 605,19 | 380,34 | 224,85                             |         |
| 14                              | 604,22 | 694,40 |                                    | -90,17  |
| 15                              | 598,67 | 715,86 |                                    | -117,19 |
| 16                              | 600,97 | 733,27 |                                    | -132,29 |
| 17                              | 601,92 | 519,18 | 82,74                              |         |
| 18                              | 598,97 | 553,40 | 45,57                              |         |
| 19                              | 440,46 | 606,21 |                                    | -165,74 |
| 20                              | 610,62 | 449,00 | 161,62                             |         |
| 21                              | 608,34 | 604,36 | 3,98                               |         |
| 22                              | 605,86 | 613,54 |                                    | -7,68   |
| 23                              | 603,12 | 593,53 | 9,59                               |         |
| 24                              | 601,48 | 401,19 | 200,29                             |         |
| <b>Total</b>                    | 11.070 | 10.981 | 1.170                              | 1.085   |
| <b>Q<sub>média</sub> [m³/h]</b> |        | 457,7  | <b>Volume Útil Necessário [m³]</b> | 1.085   |

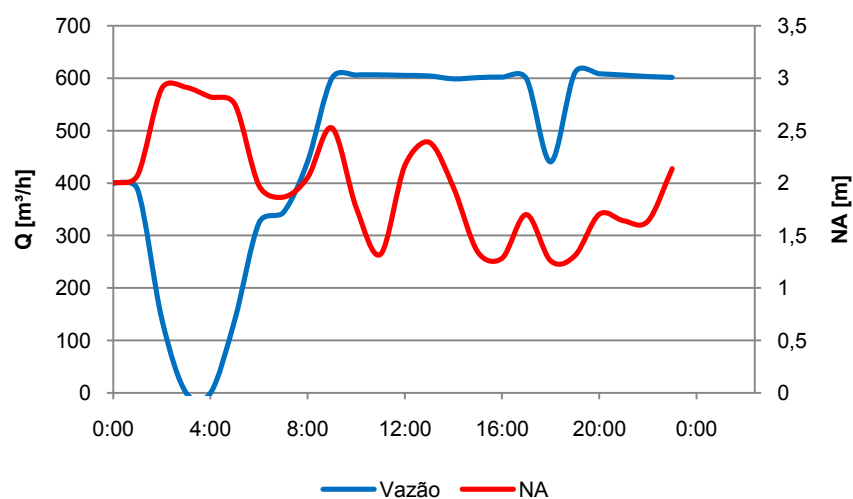


Figura 5 - Variação do nível d'água e vazão de entrada na situação atual.

Os gastos resultantes desta operação estão na Tabela 2.

Tabela 2 - Gastos com energia para a situação atual.

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| <b>Consumo HP [kWh]</b>             | 478     |
| <b>Demanda HP [kW]</b>              | 175     |
| <b>Consumo fora HP [kWh]</b>        | 2.711   |
| <b>Demanda fora HP [kW]</b>         | 174     |
| <b>Gasto Anual de Energia [R\$]</b> | 502.668 |

### 3.1.2. Desligamento de uma das bombas no horário de ponta

Para a condição em que apenas uma das bombas esteja operando no horário de ponta há a necessidade de aumentar a capacidade do reservatório para cerca de 1.500 m<sup>3</sup>, como mostra a Tabela 3. Nesta condição, é possível observar que há uma melhor programação, já que o nível do reservatório se eleva durante a madrugada para poder atender à demanda no horário de ponta (Figura 6).

Tabela 3 - Método dos volumes diferenciais para a situação de desligamento de 1 bomba no HP.

| Hora                                       | VOLUME DE ENTRADA                  | VOLUME DE SAÍDA                    | Saldo (Q <sub>e</sub> -Q <sub>s</sub> )       |         |
|--------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|---------|
|                                            | Q <sub>e</sub> [m <sup>3</sup> /h] | Q <sub>s</sub> [m <sup>3</sup> /h] | +                                             | -       |
| 1                                          | 270                                | 437,49                             |                                               | -167,49 |
| 2                                          | 270                                | 267,05                             | 2,95                                          |         |
| 3                                          | 0                                  | 46,57                              |                                               | -46,57  |
| 4                                          | 0                                  | 20,72                              |                                               | -20,72  |
| 5                                          | 0                                  | 20,80                              |                                               | -20,80  |
| 6                                          | 610                                | 186,07                             | 423,93                                        |         |
| 7                                          | 610                                | 462,92                             | 147,08                                        |         |
| 8                                          | 610                                | 381,30                             | 228,70                                        |         |
| 9                                          | 340                                | 250,54                             | 89,46                                         |         |
| 10                                         | 610                                | 708,77                             |                                               | -98,77  |
| 11                                         | 610                                | 768,46                             |                                               | -158,46 |
| 12                                         | 610                                | 569,97                             | 40,03                                         |         |
| 13                                         | 610                                | 380,34                             | 229,66                                        |         |
| 14                                         | 610                                | 694,40                             |                                               | -84,40  |
| 15                                         | 610                                | 715,86                             |                                               | -105,86 |
| 16                                         | 610                                | 733,27                             |                                               | -123,27 |
| 17                                         | 610                                | 519,18                             | 90,82                                         |         |
| 18                                         | 610                                | 553,40                             | 56,60                                         |         |
| 19                                         | 340                                | 606,21                             |                                               | -266,21 |
| 20                                         | 340                                | 449,00                             |                                               | -109,00 |
| 21                                         | 340                                | 604,36                             |                                               | -264,36 |
| 22                                         | 610                                | 613,54                             |                                               | -3,54   |
| 23                                         | 610                                | 593,53                             | 16,47                                         |         |
| 24                                         | 610                                | 401,19                             | 208,81                                        |         |
| <b>Total</b>                               | 11.050                             | 10.985                             | 1.534                                         | 1.469   |
| <b>Q<sub>média</sub> [m<sup>3</sup>/h]</b> |                                    | 457,7                              | <b>Volume Útil Necessário [m<sup>3</sup>]</b> | 1.469   |

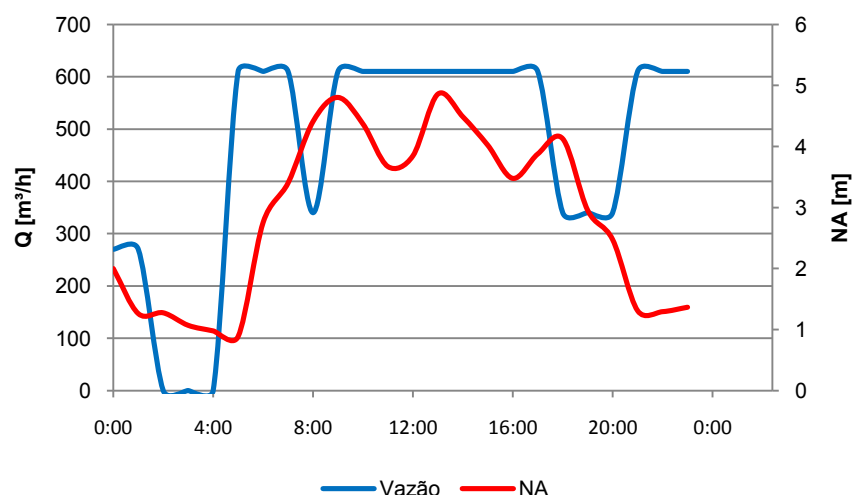


Figura 6 - Variação do nível e vazão de entrada na situação de desligamento de uma bomba no HP.

Neste cenário há uma redução de 19,88 % no gasto com energia com relação à operação atual, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Gastos com energia para a situação de desligamento de 1 bomba no HP.

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| <b>Consumo HP [kWh]</b>             | 294     |
| <b>Demanda HP [kW]</b>              | 98      |
| <b>Consumo fora HP [kWh]</b>        | 2.889   |
| <b>Demanda fora HP [kW]</b>         | 176     |
| <b>Gasto Anual de Energia [R\$]</b> | 402.719 |

### 3.1.3. Desligamento das duas bombas no horário de ponta

Neste cenário não há vazão entrando no reservatório durante o horário de ponta. Para que seja possível atender a demanda durante este período é necessário que o volume do reservatório seja de 2.500 m³ (Tabela 5). Assim como no cenário anterior é possível observar a melhor programação da operação (Figura 7).

Tabela 5 - Método dos volumes diferenciais para a situação de desligamento de 2 bombas no HP.

| Hora | Volume de Entrada | Volume de Saída | Saldo ( $Q_e - Q_s$ ) |         |
|------|-------------------|-----------------|-----------------------|---------|
|      | $Q_e$ [m³/h]      | $Q_s$ [m³/h]    | +                     | -       |
| 1    | 270               | 437,49          |                       | -167,49 |
| 2    | 270               | 267,05          | 2,95                  |         |
| 3    | 270               | 46,57           | 223,43                |         |
| 4    | 270               | 20,72           | 249,28                |         |
| 5    | 270               | 20,80           | 249,20                |         |

|                                 |        |        |                                    |         |
|---------------------------------|--------|--------|------------------------------------|---------|
| 6                               | 610    | 186,07 | 423,93                             |         |
| 7                               | 610    | 462,92 | 147,08                             |         |
| 8                               | 610    | 381,30 | 228,70                             |         |
| 9                               | 610    | 250,54 | 359,46                             |         |
| 10                              | 610    | 708,77 |                                    | -98,77  |
| 11                              | 610    | 768,46 |                                    | -158,46 |
| 12                              | 610    | 569,97 | 40,03                              |         |
| 13                              | 610    | 380,34 | 229,66                             |         |
| 14                              | 610    | 694,40 |                                    | -84,40  |
| 15                              | 610    | 715,86 |                                    | -105,86 |
| 16                              | 610    | 733,27 |                                    | -123,27 |
| 17                              | 610    | 519,18 | 90,82                              |         |
| 18                              | 610    | 553,40 | 56,60                              |         |
| 19                              | 0      | 606,21 |                                    | -606,21 |
| 20                              | 0      | 449,00 |                                    | -449,00 |
| 21                              | 0      | 604,36 |                                    | -604,36 |
| 22                              | 610    | 613,54 |                                    | -3,54   |
| 23                              | 610    | 593,53 | 16,47                              |         |
| 24                              | 610    | 401,19 | 208,81                             |         |
| <b>Total</b>                    | 11.110 | 10.985 | 2.526                              | 2.401   |
| <b>Q<sub>média</sub> [m³/h]</b> |        | 457,7  | <b>Volume Útil Necessário [m³]</b> | 2.401   |

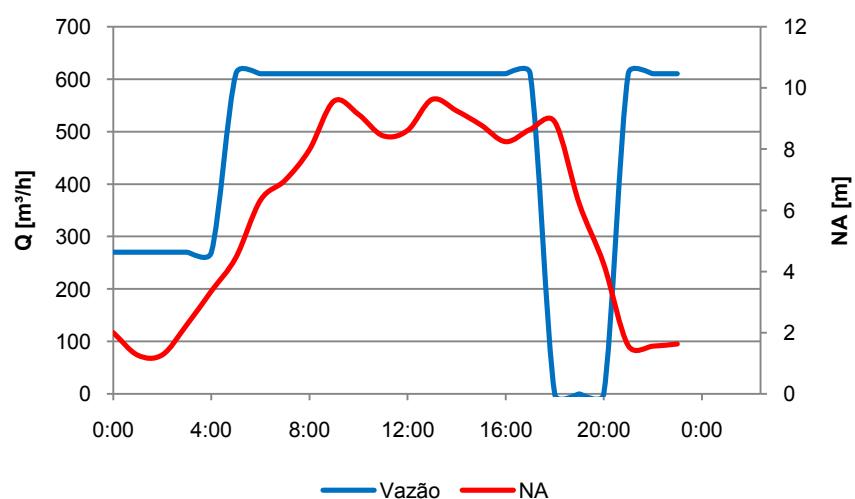


Figura 7 - Variação do nível e vazão de entrada na situação de desligamento de 2 bombas no HP.

Apesar do volume necessário do reservatório ser maior, a redução nos gastos com energia chega a 51,2 %, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 - Gastos com energia para a situação de desligamento de 2 bombas no HP.

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| <b>Consumo HP [kWh]</b>             | 0       |
| <b>Demanda HP [kW]</b>              | 0       |
| <b>Consumo fora HP [kWh]</b>        | 3.200   |
| <b>Demanda fora HP [kW]</b>         | 176     |
| <b>Gasto Anual de Energia [R\$]</b> | 245.316 |

### 3.2. SAAE de Cruzeiro

As medições foram realizadas entre os dias 15/10/2010 e 22/10/2010 (Figura 8-a), obtendo-se para o dia de maior consumo a curva de demanda da Figura 8-b.

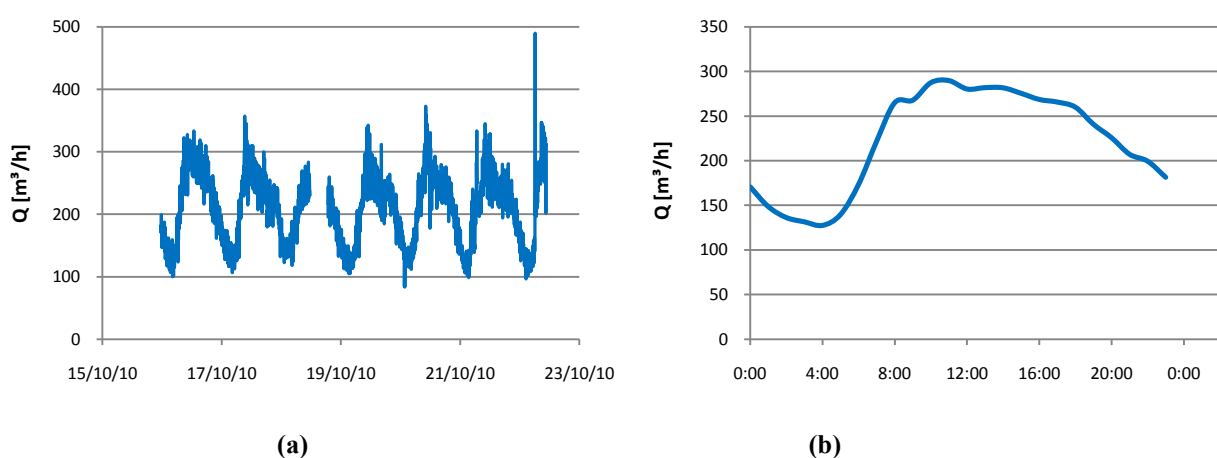


Figura 4 – a) Curva de demanda entre os dias 15/08/2010 e 22/08/2010; b) Curva de demanda do dia de maior consumo.

Considerando esta curva de demanda e que a altura e rendimento médio dos conjuntos sejam de 56,7 m e 51 %, foram analisadas duas situações: a condição de operação atual e o desligamento de todas as bombas da captação e da ETA no horário de ponta.

#### 3.2.1. Situação atual

A Tabela 7 mostra as condições de operação atual e o volume útil necessário obtido através do método dos volumes diferenciais. O resultado mostra que o reservatório, que possui 2.100 m³, opera com folga. Porém, é possível perceber que há um déficit da vazão bombeada, que foi menor que a vazão consumida, ou seja, neste dia utilizou-se água acumulada durante os dias anteriores, onde a demanda foi menor. Além disso, o bombeamento ocorre praticamente 24 h em sua capacidade máxima (Figura 9). Isto indica que deve haver um aumento na capacidade de bombeamento e tratamento para evitar a falta de água.

Tabela 7 - Resultados da operação atual.

| Hora                                        | VOLUME DE ENTRADA | VOLUME DE SAÍDA | Saldo ( $Q_e - Q_s$ )              |        |
|---------------------------------------------|-------------------|-----------------|------------------------------------|--------|
|                                             | $Q_e$ [m³/h]      | $Q_s$ [m³/h]    | +                                  | -      |
| 1                                           | 212,91            | 170,77          | 42,14                              |        |
| 2                                           | 212,86            | 148,69          | 64,17                              |        |
| 3                                           | 212,95            | 136,41          | 76,54                              |        |
| 4                                           | 212,73            | 131,63          | 81,10                              |        |
| 5                                           | 213,22            | 127,64          | 85,58                              |        |
| 6                                           | 213,31            | 139,83          | 73,48                              |        |
| 7                                           | 175,89            | 173,65          | 2,24                               |        |
| 8                                           | 227,60            | 222,00          | 5,59                               |        |
| 9                                           | 226,00            | 265,18          |                                    | -39,18 |
| 10                                          | 193,07            | 267,90          |                                    | -74,84 |
| 11                                          | 227,91            | 287,54          |                                    | -59,63 |
| 12                                          | 225,45            | 289,85          |                                    | -64,41 |
| 13                                          | 185,41            | 280,42          |                                    | -95,01 |
| 14                                          | 223,89            | 281,98          |                                    | -58,09 |
| 15                                          | 223,65            | 281,77          |                                    | -58,12 |
| 16                                          | 222,95            | 275,56          |                                    | -52,62 |
| 17                                          | 221,47            | 268,73          |                                    | -47,26 |
| 18                                          | 221,10            | 265,79          |                                    | -44,69 |
| 19                                          | 219,30            | 260,06          |                                    | -40,76 |
| 20                                          | 218,91            | 240,90          |                                    | -21,99 |
| 21                                          | 218,32            | 225,89          |                                    | -7,56  |
| 22                                          | 216,89            | 207,30          | 9,59                               |        |
| 23                                          | 216,12            | 199,54          | 16,58                              |        |
| 24                                          | 215,61            | 181,54          | 34,07                              |        |
| <b>Total</b>                                | 5.158             | 5.331           | 491,08                             | -664   |
| <b><math>Q_{\text{média}}</math> [m³/h]</b> | 214,90            | 222,11          | <b>Volume Útil Necessário [m³]</b> | 664    |

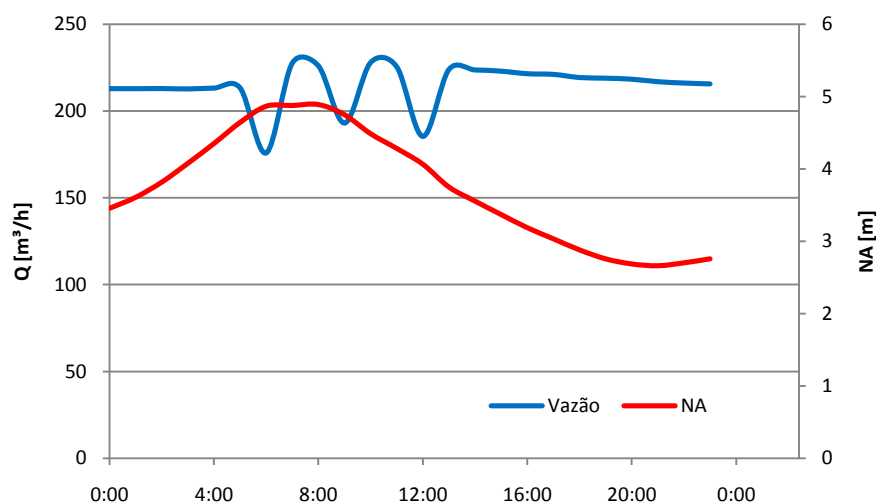


Figura 9 - Variação do nível d'água e da vazão bombeada na operação atual.

Os gastos resultantes desta operação estão na Tabela 8.

Tabela 8 - Gastos com energia na situação atual.

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| <b>Consumo HP [kWh]</b>             | 196     |
| <b>Demanda HP [kW]</b>              | 65,5    |
| <b>Consumo fora HP [kWh]</b>        | 1.347   |
| <b>Demanda fora HP [kW]</b>         | 68,19   |
| <b>Gasto Anual de Energia [R\$]</b> | 112.525 |

### 3.2.2. Desligamento das bombas no horário de ponta

Neste cenário não há vazão chegando ao reservatório durante o horário de ponta. Será analisado o caso em que a vazão média da captação seria 30 % maior que a da curva de demanda, permitindo que haja um aumento do consumo. Para que isto seja possível, a ETA deveria ter capacidade de tratar 300 m³/h (Tabela 9). Além disso, neste caso existe a necessidade de se trocar os conjuntos motobombas da captação para atingir a vazão de 300 m³/h. Porém para a análise foi considerado o rendimento médio atual. Nesta situação o volume necessário do reservatório seria de 938 m³, ou seja, ainda há folga no volume do reservatório. A Figura 10 ilustra como deve ocorrer a operação.

Tabela 9 - Resultados da operação com o desligamento das bombas no HP.

| <b>Hora</b> | <b>Volume de Entrada</b>       | <b>Volume de Saída</b>         | <b>Saldo (<math>Q_e - Q_s</math>)</b> |          |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|----------|
|             | <b><math>Q_e</math> [m³/h]</b> | <b><math>Q_s</math> [m³/h]</b> | <b>+</b>                              | <b>-</b> |
| 1           | 300,00                         | 170,77                         | 129,23                                |          |

|                                     |              |               |                                        |             |
|-------------------------------------|--------------|---------------|----------------------------------------|-------------|
| 2                                   | 300,00       | 148,69        | 151,31                                 |             |
| 3                                   | 300,00       | 136,41        | 163,59                                 |             |
| 4                                   | 150,00       | 131,63        | 18,37                                  |             |
| 5                                   | 150,00       | 127,64        | 22,36                                  |             |
| 6                                   | 150,00       | 139,83        | 10,17                                  |             |
| 7                                   | 150,00       | 173,65        |                                        | -23,65      |
| 8                                   | 150,00       | 222,00        |                                        | -72,00      |
| 9                                   | 150,00       | 265,18        |                                        | -115,18     |
| 10                                  | 300,00       | 267,90        | 32,10                                  |             |
| 11                                  | 300,00       | 287,54        | 12,46                                  |             |
| 12                                  | 300,00       | 289,85        | 10,15                                  |             |
| 13                                  | 300,00       | 280,42        | 19,58                                  |             |
| 14                                  | 300,00       | 281,98        | 18,02                                  |             |
| 15                                  | 300,00       | 281,77        | 18,23                                  |             |
| 16                                  | 300,00       | 275,56        | 24,44                                  |             |
| 17                                  | 300,00       | 268,73        | 31,27                                  |             |
| 18                                  | 300,00       | 265,79        | 34,21                                  |             |
| 19                                  | 0,00         | 260,06        |                                        | -260,06     |
| 20                                  | 0,00         | 240,90        |                                        | -240,90     |
| 21                                  | 0,00         | 225,89        |                                        | -225,89     |
| 22                                  | 300,00       | 207,30        | 92,70                                  |             |
| 23                                  | 300,00       | 199,54        | 100,46                                 |             |
| 24                                  | 300,00       | 181,54        | 118,46                                 |             |
| <b>Total</b>                        | <b>5.400</b> | <b>5.330</b>  | <b>1.007</b>                           | <b>-938</b> |
| <b>Q<sub>média</sub><br/>[m³/h]</b> | <b>225</b>   | <b>222,11</b> | <b>Volume Útil<br/>Necessário [m³]</b> | <b>938</b>  |

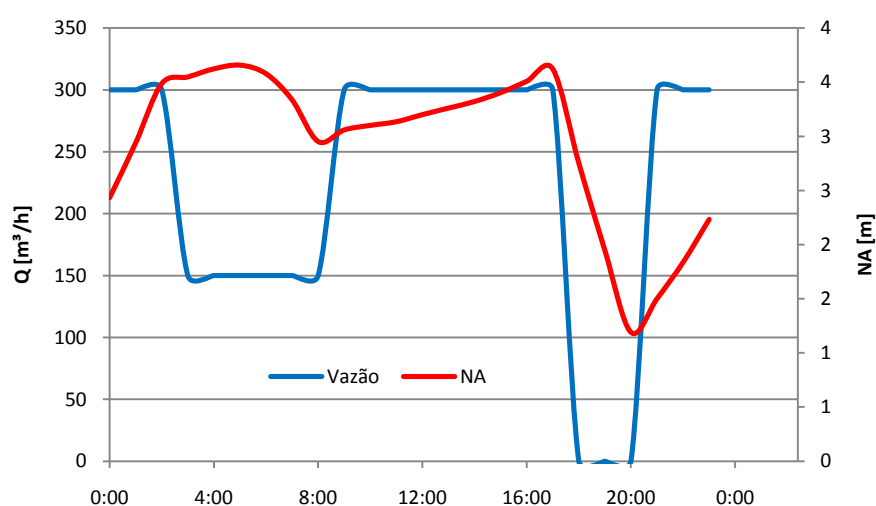


Figura 10 - Variação do nível d'água e da vazão bombeada com o desligamento das bombas no HP.

Os gastos resultantes desta operação estão na Tabela 10. Nota-se que mesmo com um aumento da vazão média em 10,1 m<sup>3</sup>/h, necessário para atender a atual demanda, ainda há redução de 24,38 % nos gastos com energia, o que representa R\$ 27.443 por ano.

Tabela 10 - Gastos com energia na situação de desligamento das bombas no HP.

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| <b>Consumo HP [kWh]</b>             | 0       |
| <b>Demanda HP [kW]</b>              | 0       |
| <b>Consumo fora HP [kWh]</b>        | 1.525,9 |
| <b>Demanda fora HP [kW]</b>         | 89,8    |
| <b>Gasto Anual de Energia [R\$]</b> | 85.081  |

#### 4. CONCLUSÕES

Os estudos realizados mostram a importância do uso de reservatórios para atender o pico de demanda. No primeiro caso, de São Lourenço, observou-se que a economia com os gastos de energia pode chegar a 51 %, porém o volume necessário ao reservatório é quase o dobro do atual. Este volume poderia ser ainda maior, caso as bombas das elevatórias de distribuição também fossem desligadas no horário de ponta. Além disso, poderia haver a necessidade de aumentar a capacidade de tratamento da ETA. Já no caso do SAAE de Cruzeiro a economia é um pouco menor, cerca de 24 %. Neste caso o volume do reservatório é suficiente para que seja feito o desligamento das bombas no horário de ponta, porém a ETA não tem a capacidade de tratamento para que seja feita esta operação, e, portanto, seriam necessários investimentos na expansão da ETA e a troca dos conjuntos motobomba. Investimentos de expansão são de alto custo e de difícil execução, e, portanto, é mais vantajoso prevê-los na etapa de projeto.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

BISCOS, C.; MULHOLLAND, M.; LE LANN, M. V.; BUCKLEY, C. A.; BROUCKAERT, C. J. (2003). “*Optimal operation of water distribution networks by predictive control using MINLP*”, Water SA, Vol. 29, N°, pp. 393-404.

BRAGHIROLI, M. A.. (2005). “*Setor Santana: Um Caso de Sucesso na Redução de Perdas de Água e Consumo de Energia Elétrica*”. Revista Saneas, São Paulo, nº 20, p. 23.

ELETROBRÁS. (2009). *Informativo Eletrobrás do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*, nº 81.

EUROPUMP AND HYDRAULIC INSTITUTE. (2004). *Variable Speed Drives – A Way to Lower Life Cycle Costs*. Elsevier Advanced Technology, Oxford, Inglaterra.

GOMES, H. P. (2009). *Sistemas de Bombeamento – Eficiência energética*. Editora Universitária UFPB, 1ª Ed. João Pessoa, 2009.

OSTFELD, A.; TUBALTZEV, A. (2008). “*Ant Colony Optimization for Least-Cost Design and Operation of Pumping Water Distribution Systems*”. *Journal of water resources planning and management*, pp. 107-118.

WU, Z. (2007). *A Benchmark Study for Minimizing Energy cost of Constant and Variable Speed pump Operation*. World Environmental and Water Resources Congress 2007: Restoring Our Natural Habitat.