

XI-048 - EFICIÊNCIA HIDRAÚLICA E ENERGÉTICA DA OPERAÇÃO DO BOMBEAMENTO PARA O ABASTECIMENTO DO BAIRRO DE MANGABEIRA EM JOÃO PESSOA – PB**Leonardo Leite Brasil Montenegro⁽¹⁾**

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental pela Escola de Engenharia da Universidade Federal da Paraíba. Engenheiro da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA). Gerente Regional do Litoral da CAGEPA. Pesquisador do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS-UFPB) da Escola de Engenharia da Universidade Federal da Paraíba.

Endereço⁽¹⁾: Av. Max Zaque, 200 - Camboinha - Cabedelo - PB - CEP: 58000-310 - Brasil - Tel: (83) 8805-4823 - e-mail: leonardo@cagepa.pb.gov.br

RESUMO

Os gastos com energia elétrica nas empresas de saneamento básico se constituem em um dos itens mais importantes no orçamento das despesas de exploração, sendo que nos sistemas de distribuição de água, a energia consumida pelas elevatórias representa cerca de 90% do custo total de energia elétrica consumida pelo sistema. A crise no fornecimento de energia elétrica de 2001 impulsionou a criação de políticas de conservação e uso racional de energia elétrica, refletindo também nos equipamentos utilizados no setor de saneamento. É imperativa a necessidade de redução da energia consumida no setor de saneamento brasileiro, devido à limitação, em médio prazo, do aumento da disponibilidade energética. Dessa forma, justifica-se a necessidade de um projeto de pesquisa que busque medidas de eficiência energética e hidráulica para o setor de saneamento. Este trabalho mostra o sistema atual de bombeamento do abastecimento de água do bairro de Mangabeira, João Pessoa - PB, e apresenta uma análise econômica feita a partir de simulações hidráulicas no programa EPANET, propondo uma alternativa que visa a diminuição dos custos da energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: Controle operacional, Sistemas de bombeamento, Eficiência energética.

INTRODUÇÃO

A energia elétrica é necessária para tornar a água potável e movê-la através dos sistemas. Por isto, tão importante quanto as medidas de diminuição do consumo de água, são as ações operacionais no processo de melhoria dos sistemas de distribuição. Os gastos com energia elétrica representam valores significativos no orçamento das empresas de saneamento. No mundo, o setor de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos caracteriza-se como grande consumidor de energia elétrica, segundo o relatório da ALLIANCE (James et al., 2002) representa cerca de 7% do total de consumo de energia global. Os gastos da energia de bombeamento, na grande maioria das vezes, ultrapassam, ao longo da vida útil dos projetos, os custos de investimento das instalações (Gomes, 2005). Segundo Tsutiya (2004) mais de 90% dos gastos com energia elétrica das concessionárias de água devem-se às elevatórias dos sistemas de abastecimento público.

As ações que visam economizar energia vêm assumindo grande importância nos últimos anos. Muitos sistemas públicos de abastecimento estão adotando medidas para diminuir seus custos de energia. Uma das formas existentes para contribuir nessa questão é através da eficiência energética.

O termo eficiência energética é bastante amplo e genérico, cuja definição em geral pode se referir à possibilidade de se utilizar quantidades menores de energia para produzir a mesma quantidade de serviços ou produção, ou seja, significa obter a mesma qualidade de serviços ou benefícios com um menor consumo de energia, não sendo o racionamento nem a "racionalização forçada",

Em nosso país, o setor de saneamento básico, que engloba os serviços de água e esgoto, detém pouco mais de dois por cento do consumo global de energia elétrica, segundo a última informação disponibilizada pelo Departamento de Mercado da ELETROBRÁS.

O estudo da redução do custo energético em sistemas de bombeamento através de medidas de controle operacional deve buscar soluções que visem melhorar a eficiência energética e hidráulica dos sistemas de abastecimento de água urbano. O conhecimento da eficiência do sistema, como também as decisões a serem tomadas com o objetivo de aumentá-la, depende do conhecimento e controle da operação do sistema como um todo. Durante muito tempo o controle operacional de sistemas de abastecimento, por parte das empresas de saneamento, foi executado com o apoio de equipamentos de comunicação e, principalmente, da experiência da mão-de-obra encarregada do serviço. Nos últimos anos surgiram softwares que vêm sendo aplicados, cada vez mais, para representarem os sistemas físicos e auxiliarem nas tomadas de decisão com o propósito de melhorar a eficiência da operação. Trata-se de modelos computacionais que representam o sistema de abastecimento como um todo e simulam sua operação ao longo do tempo.

Dentre os modelos hidráulicos de simulação e análises já desenvolvidos, um se destaca por sua qualidade e pela quantidade de seus usuários em muitos países. Trata-se do EPANET (Rossman, 2000), desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U. S. Environmental Protection Agency - EPA), que além de ter interface Windows, facilitando o seu emprego, é um programa de domínio público, que pode ser utilizado livremente por qualquer usuário. Através das simulações hidráulicas muitas análises podem ser feitas sobre o comportamento da operação do sistema de abastecimento. Dessa maneira, poderão ser tomadas decisões sobre possíveis intervenções físicas ou operacionais, visando melhorar a eficiência do sistema, associada à minimização dos custos de energia.

METODOLOGIA

Neste trabalho é analisado o custo da energia de bombeamento para um sistema composto por duas estações elevatórias e um reservatório elevado de distribuição de água. Após diagnosticar a situação atual, verifica-se através de simulações no programa EPANET a possibilidade de desativação de uma das elevatórias, fazendo uma análise técnica e econômica das alterações propostas, sendo possível traçar uma rotina operacional que permita o funcionamento satisfatório do sistema, atendendo a demanda exigida, porém, com um menor consumo de energia do sistema de bombeamento. Para tal, seguem-se os passos:

- Diagnóstico da configuração atual da estação de bombeamento:
Levantamento in loco das instalações e verificação das condições de operação;
- Determinação da vazão lançada diariamente na rede e traçado da curva de consumo médio diário:
A partir de informações contidas nas planilhas de controle de nível do reservatório elevado, vazões de operação das bombas e horários de funcionamento de cada uma das bombas nas elevatórias através de um balanço de massas;
- Modelação da alternativa proposta através do programa EPANET;
- Comparação dos custos energéticos da situação atual e da alternativa proposta.

MÓDULO DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICA (EPANET 2.0)

O EPANET foi concebido para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de abastecimento de água e é indicado para verificar o desempenho para diversos cenários; dentre as diversas características do programa, Rossman (2000) destaca:

- Podem ser consideradas as perdas de carga em curvas, alargamentos e estreitamentos, associando à tubulação um coeficiente de perda de carga singular;
- As bombas podem ser modeladas como sendo de velocidade constante ou variável. Tal como as tubulações, as bombas podem ser ligadas ou desligadas em determinados períodos de tempo ou quando ocorrem determinadas condições de operação na rede;
- As condições de operação da bomba podem ser descritas associando-lhe um padrão temporal relativo à variação da regulação da velocidade;
- Pode-se determinar o consumo de energia e o custo de bombeamento;
- Permite a modelação de reservatórios de nível variável, cuja secção transversal varia com a altura, através de curvas de volume em função da altura de água;
- Capacidade de associar múltiplas categorias de consumo num nó, cada categoria com um padrão próprio de variação no tempo;

- As condições de operação do sistema podem ser baseadas em controles simples, dependentes de uma só condição (v.g. período do dia, altura de água num reservatório de nível variável), ou em controles com condições múltiplas.

O programa permite que sejam feitos dois tipos de simulações hidráulicas: a simulação estática e a dinâmica. A estática permite reproduzir as características do sistema simulado para um dado cenário de consumos. A dinâmica é uma simulação de evolução do sistema ao longo do tempo, através de uma sequência de soluções de equilíbrio hidráulico obtidas para sucessivos instantes. Para a execução desta deve-se criar um Padrão Temporal que represente a variação periódica dos consumos dos pontos de consumo ao longo do tempo.

A modelação através do EPANET permite representar um sistema como sendo um conjunto de trechos ligados a nós. Os trechos representam as tubulações, bombas e válvulas de controle e os nós representam pontos de consumo, junções, reservatórios de nível fixo (RNF) e reservatórios de nível variável (RNV). Em relação aos componentes físicos dos sistemas, o EPANET permite definir três categorias de informação sobre o sistema: Curvas (da bomba, de rendimento, de volume e de perda de carga); Padrões (de variação do consumo, de funcionamento de bombas, de preço de energia, etc) e Controles (que descrevem o comportamento e os aspectos operacionais do sistema de distribuição de água).

O EPANET pode, assim, ajudar a analisar alternativas de gestão, de modo a melhorar a qualidade do sistema de abastecimento, em termos de quantidade e qualidade da água fornecida, como também permite avaliar possíveis ações que possam diminuir o consumo de energia elétrica das estações de bombeamento.

PRIMEIRA ETAPA: DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema de abastecimento atual do Parque Residencial Mangabeira foi projetado em 1985 e edificado pelo Governo do Estado da Paraíba, em prosseguimento ao programa de construção de novas moradias no conjunto habitacional em questão, e teve seu projeto de ampliação (execução da segunda elevatória) datado de 1988. Em linhas gerais, pode ser assim descrito:

Manancial: atualmente o sistema recebe água dos complexos de Gramame através de sub-adutoras de, respectivamente, 700 mm e 1.000 mm, com chegada ao R-7 de 300 mm.

Reservação: a capacidade atual de reservação é de 4700m³, dividida em dois reservatórios semi-enterrados de 2.000 m³ cada e um reservatório elevado com capacidade para armazenar 700 m³ de água e 19,22m de altura (ver Figura 1).



Figura 1: Reservatório elevado R-7.

Elevatórias: ao lado de cada reservatório semi-enterrado existe uma estação elevatória abrigando 4 conjuntos motor-bomba de eixo horizontal, funcionando afogadas, recalçando água para o reservatório elevado.

Rede de distribuição: do reservatório elevado partem duas canalizações de 500 mm e 600 mm de diâmetro que alimentam várias redes de distribuição isoladas de cada núcleo habitacional.

SEGUNDA ETAPA: CÁLCULO DA VAZÃO LANÇADA NA REDE

Constatou-se que o reservatório elevado (R-7) não possui instrumento que possibilite determinar a vazão demandada para a rede de distribuição, daí, o próximo passo foi quantificar esta vazão. O processo começa pelo traçado da curva do sistema para cada elevatória. Para encontrar a equação que dá origem a curva do sistema, tomou-se o seguinte procedimento:

- Cálculo da perda de carga unitária ao longo das tubulações (J);
- Cálculo das perdas de carga distribuídas ao longo das tubulações (hd);
- Cálculo das perdas de carga localizadas ao longo das tubulações (hl);
- Cálculo da altura manométrica total;
- Cálculo da equação da curva do sistema.

Curva do Sistema para a Elevatória “A”:

Dados: Altura geométrica: $H_g = 21,263\text{m}$;

Coeficiente de rugosidade que depende da natureza das paredes da tubulação: $C = 130$ (ferro fundido);

Diâmetro da tubulação: $DN = 400\text{mm} \Rightarrow Di = 0,3946\text{m}$;

Comprimento da Tubulação: $L = 43\text{m}$.

Tomando como referência, para efeito de cálculo da altura manométrica total, uma vazão de $150\text{ m}^3/\text{h}$ ($0,041667\text{m}^3/\text{s}$):

Cálculo da perda de carga unitária ao longo da tubulação (J):

$$J_A = \frac{10,647}{C^{1,85}} \times \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}} = \frac{10,647}{130^{1,85}} \times \frac{0,041667^{1,85}}{0,3946^{4,87}} = 0,000338659\text{m/m} \quad \text{equação}$$

(1)

Onde Q é a vazão em m^3/s e D é o diâmetro interno da tubulação em m.

Cálculo das perdas de carga distribuídas ao longo das tubulações (hd):

$$hd = J \times L = 0,000338659 \times 43 = 0,014562337\text{m} \quad \text{equação}$$

(2)

Onde L é o comprimento total das tubulações.

Cálculo das perdas de carga localizadas ao longo das tubulações (hl):

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} (\text{m/s}) \quad \text{equação (3)}$$

$$hl = \sum \left(K \times \frac{v^2}{2g} \right) = 0,365019974\text{m} \quad \text{equação (4)}$$

Onde K é o coeficiente de perda localizada para cada peça; “v” é a velocidade da água na tubulação e “g” é a aceleração da gravidade.

Tabela 1: Coeficiente de perda localizada e hl para cada peça do sistema “A”.

PEÇA	K	$\frac{Kv^2}{2g}$ (m)
1 Entrada DN400	0,50	0,002958288
1 Redução DN400x250	0,15	0,005335656
1 Válvula de gaveta Dn250	0,20	0,007114208
1 Redução DN250x150	0,15	0,035961932
1 Curva 90° DN200	0,40	0,03300166
1 Válvula de retenção DN200	2,50	0,206260378
1 Válvula de gaveta DN200	0,20	0,01650083
1 Ampliação DN200x300	0,30	0,024751245
1 Junção DN300x400	0,40	0,007102843
4 Tês de passagem direta DN400	2,40	0,014199782
2 Curva 90° DN400	0,80	0,004733261
1 Curva 45° DN400	0,20	0,001183315
1 Saída DN400	1,00	0,005916576
TOTAL	9,20	0,365019974

Cálculo da altura manométrica total:

$$H_m = H_g + h_d + h_l = 21,263 + 0,014562337 + 0,36501997 = 21,643\text{m} \quad \text{equação (5)}$$

Cálculo da equação da curva do sistema:

A fórmula geral para a determinação da curva característica de uma adutora é:

$$H_m = H_g + r \times Q^{1,85} = 21,263 + r \times 0,041667^{1,85} \quad \text{equação (6)}$$

Onde “r” representa uma constante característica para cada adutora em determinado tempo.

Igualando o resultado da equação (5) com a equação (6), temos a equação do sistema da elevatória “A”:

$$H_{m_A} = 21,263 + 135,886 \times Q^{1,85} \quad \text{equação (7)}$$

Curva do Sistema para a Elevatória “B”:

Dados: $H_g = 21,908\text{m}$;

$C = 130$ (ferro fundido);

$DN = 500\text{mm} \Rightarrow D_i = 0,4894\text{m}$;

$L = 129\text{m}$.

Tomando como referência, para efeito de cálculo da altura manométrica total, uma vazão de 180 m³/h (0,05m³/s):

Cálculo da perda de carga unitária ao longo da tubulação (J):

$$J_B = \frac{10,647}{C^{1,85}} \times \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}} = \frac{10,647}{130^{1,85}} \times \frac{0,05^{1,85}}{0,4894^{4,87}} = 0,000166289\text{m/m} \quad \text{equação (8)}$$

Cálculo das perdas de carga distribuídas ao longo das tubulações (hd):

$$h_d = J \times L = 0,000166289 \times 129 = 0,021451258\text{m} \quad \text{equação (9)}$$

Cálculo das perdas de carga localizadas ao longo das tubulações (hl):

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \text{ (m/s)} \quad \text{equação (10)}$$

$$hl = \sum \left(K \times \frac{v^2}{2g} \right) = 0,302553964 \text{ m} \quad \text{equação (11)}$$

Tabela 2: Coeficiente de perda localizada e hl para cada peça do sistema “B”.

PEÇA	K	$\frac{Kv^2}{2g}$ (m)
1 Entrada DN500	0,50	0,001800426
1 Redução DN500x400	0,15	0,00127798
1 Redução DN400x300	0,15	0,003835535
1 Válvula de gaveta DN300	0,20	0,005114047
1 Redução DN300x250	0,15	0,007683345
1 Curva 90° DN200	0,40	0,047522391
1 Ampliação DN200x250	0,30	0,035641793
1 Válvula de retenção DN250	2,50	0,128055751
1 Válvula de gaveta DN250	0,20	0,01024446
1 Ampliação DN250x300	0,30	0,01536669
1 Junção DN300x400	0,40	0,010228094
3 Tês de passagem direta DN400	1,80	0,015335764
3 Curva 90° DN400	1,20	0,010223843
1 Curva 45° DN400	0,20	0,001703974
1 Saída DN400	1,00	0,008519869
TOTAL	9,45	0,302553964

Cálculo da altura manométrica total:

$$H_m = H_g + h_d + h_l = 21,908 + 0,021451258 + 0,302553964 = 22,232 \text{ m} \quad \text{equação (12)}$$

Cálculo da equação da curva do sistema:

$$H_m = H_g + r \times Q^{1,85} = 21,263 + r \times 0,041667^{1,85} \quad \text{equação (13)}$$

Igualando o resultado da equação (12) com a equação (13), temos a equação do sistema da elevatória “A”:

$$H_{m_B} = 21,908 + 82,690 \times Q^{1,85} \quad \text{equação (14)}$$

Para encontrar o ponto de trabalho de cada bomba trabalhando isoladamente e em paralelo, traçou-se a curva do sistema e a curva das bombas em paralelo sobre o catálogo fornecido pelo fabricante.

Para a estação elevatória “A”, porém, não foi possível traçar a curva das duas bombas trabalhando em paralelo diretamente sobre o catálogo, pois os valores de vazão fornecidos pelo fabricante são de pequena magnitude (ver Figura 2).

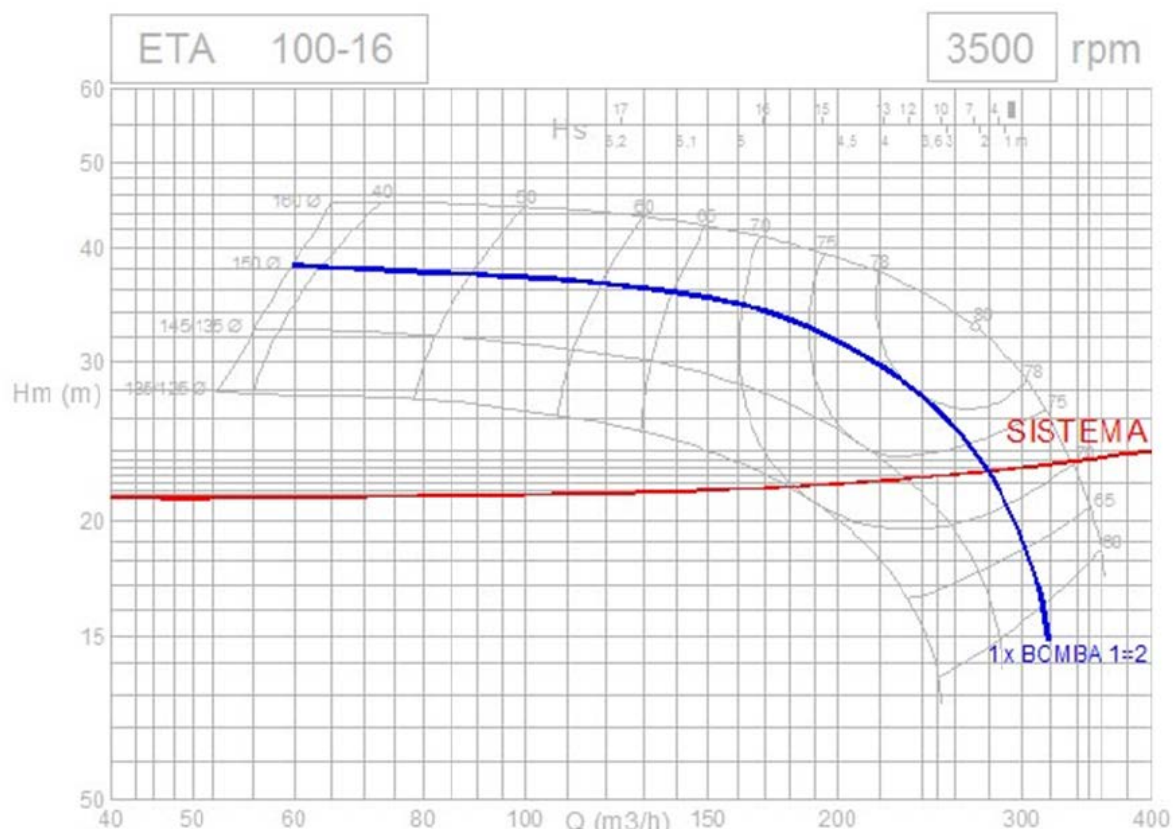


Figura 2: Curvas das bombas e do sistema da elevatória “A”.

Foi necessário obter, através da ferramenta de gráfico do Microsoft Excel, a equação da bomba com base nos dados de vazão e altura manométrica encontrados no catálogo.

Ao igualar a equação do sistema “A” (Equação 7) a equação de uma bomba, obtida através de pontos fornecidos no catálogo, obteve-se a vazão de $Q=279 \text{ m}^3/\text{h}$, para uma bomba tipo KSB ETA 100 -16 3500 rpm trabalhando isoladamente.

Da mesma forma, foi encontrada uma vazão de $Q=260,5 \text{ m}^3/\text{h}$, para cada bomba tipo KSB ETA 100 -16 3500 rpm trabalhando em paralelo, ver Figura 3.

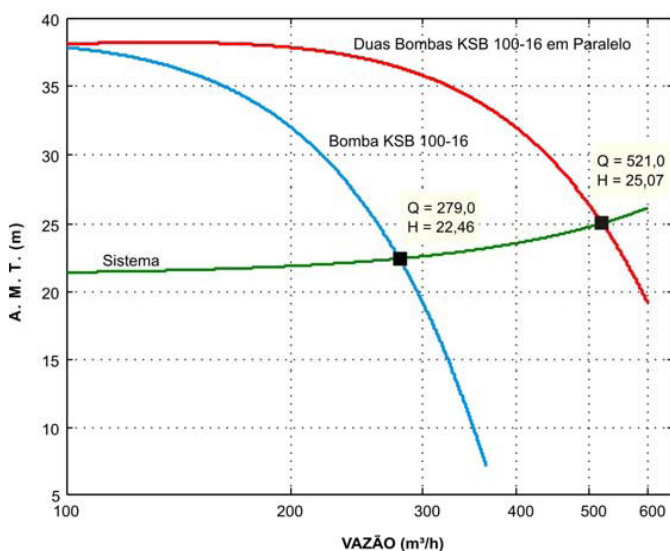


Figura 3: Curvas características das bombas KSB 100-16 3.000 rpm e do sistema da elevatória “A”

Das equações e curvas anteriormente descritas temos:

Tabela 3: Vazões de operação das bombas das elevatórias.

Tipo de Bombeamento	Vazão de Operação	Altura Manométrica
1 bomba KSB ETA 100-16 3500 rpm	279 m ³ /h	22,46m
2 bombas KSB ETA 100-16 3500 rpm em paralelo	260,5 m ³ /h (cada)	25,07 m
1 bomba Worthington 8 DBE 135 1770 rpm	683 m ³ /h	25,85 m
2 bombas Worthington 8 DBE 135 1770 rpm em paralelo	480 m ³ /h (cada)	29,05 m

A partir do controle de nível do R-7, do funcionamento de cada uma das bombas das elevatórias “A” e “B”, (informações obtidas das planilhas de controle da estação) e das vazões de operação encontradas, calculou-se a variação da demanda diária da área abastecida através do balanço de massas (Figura 4). Para tal, tomamos como base os dados de operação do mês estudado.

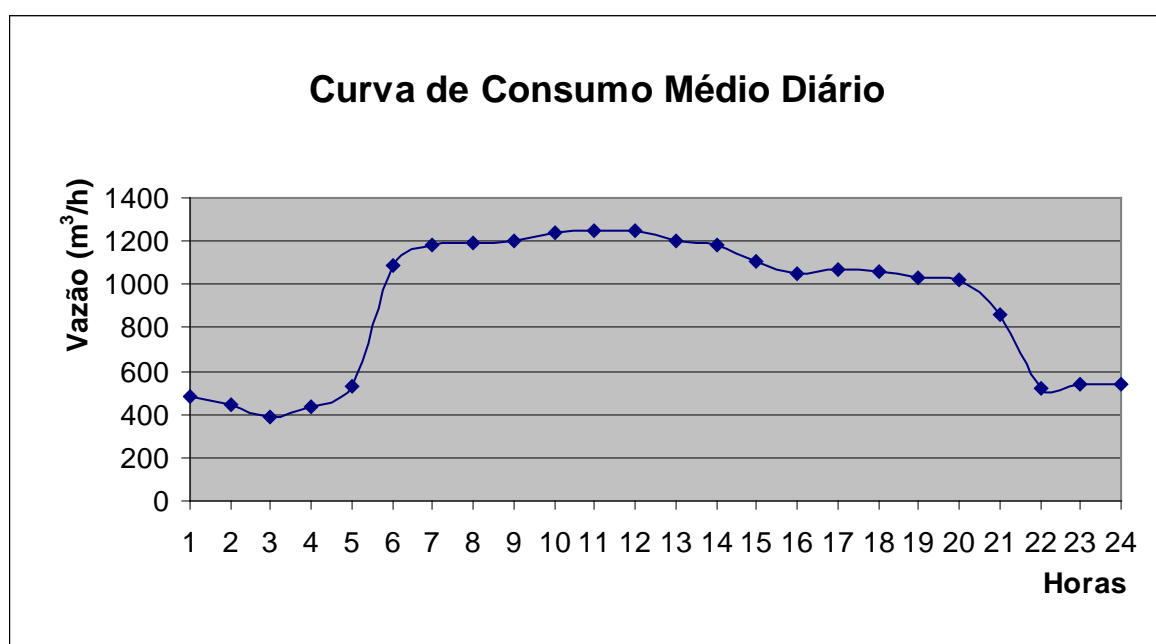


Figura 4: Curva de consumo médio diário da população abastecida pelo R-7.

TERCEIRA ETAPA: MODELAÇÃO DA ALTERNATIVA PROPOSTA ATRAVÉS DO EPANET

Após diagnosticar a situação atual e, de posse dos dados do sistema e da curva de consumo médio diário, utilizou-se o EPANET para fazer a análise da alternativa que propõe desativar o conjunto elevatório “A” (que apresenta péssimo estado de conservação e grandes desperdícios) e, em contrapartida, acionar mais uma bomba existente na estação elevatória “B” (Bomba 3), a fim de haja redução do custo energético.

Com a adição do conjunto moto bomba tipo Worthington 8 DBE 135, obviamente ocorre a alteração do ponto de trabalho do sistema de bombeamento. A nova curva do sistema foi criada através do EPANET a partir da inserção dos pares de dados de vazão e altura manométrica das duas bombas. A curva característica da bomba Worthington 8 DBE 135 é apresentada na figura 5.

Outra informação a ser extraída diz respeito à energia consumida pela estação de bombeamento e ao custo correspondente, ao longo de uma simulação. Para tanto, é necessário adicionar uma curva de rendimento que será associada às bombas do sistema. Assim, de maneira semelhante a que foi usada para a criação da curva da bomba, é obtida a curva de eficiência do sistema de bombeamento, sendo necessário a introdução dos pares de valores de vazão e rendimento (valores fornecidos no catálogo do fabricante). Na figura 6, é mostrada a curva de eficiência do sistema de bombeamento proposto.

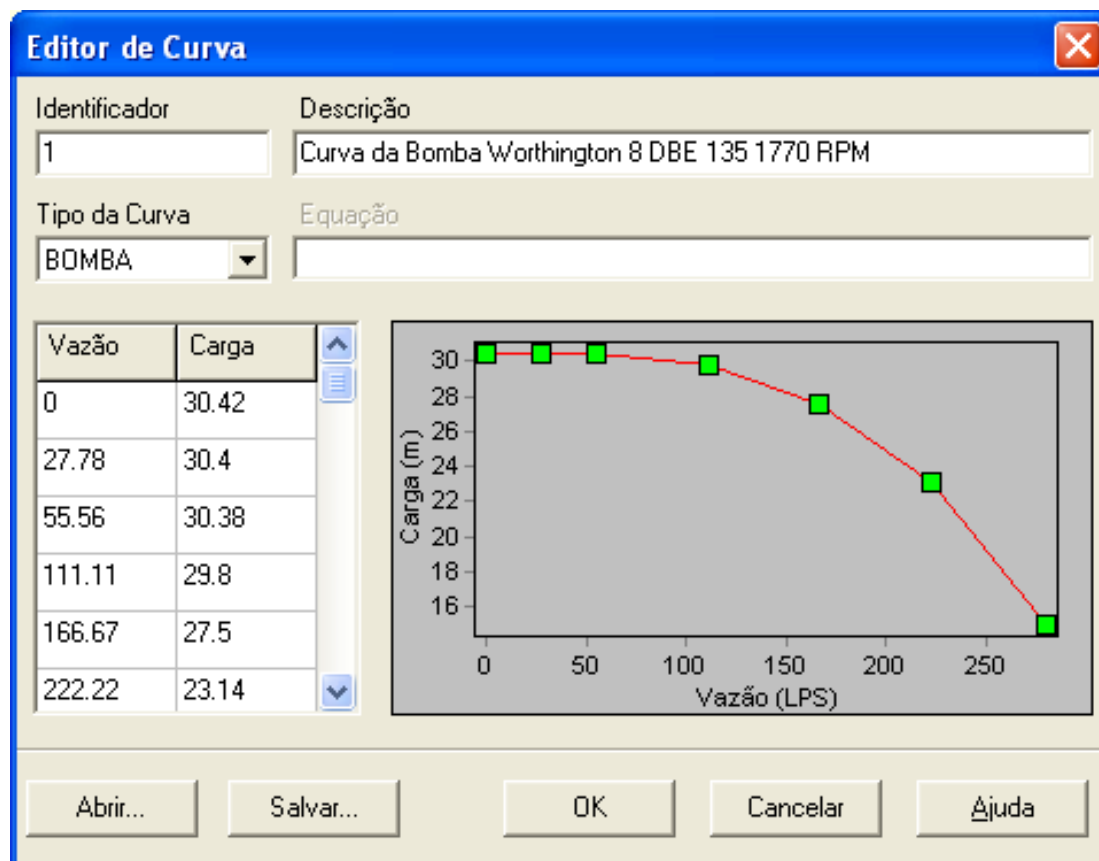


Figura 5: Editor de curva da bomba.

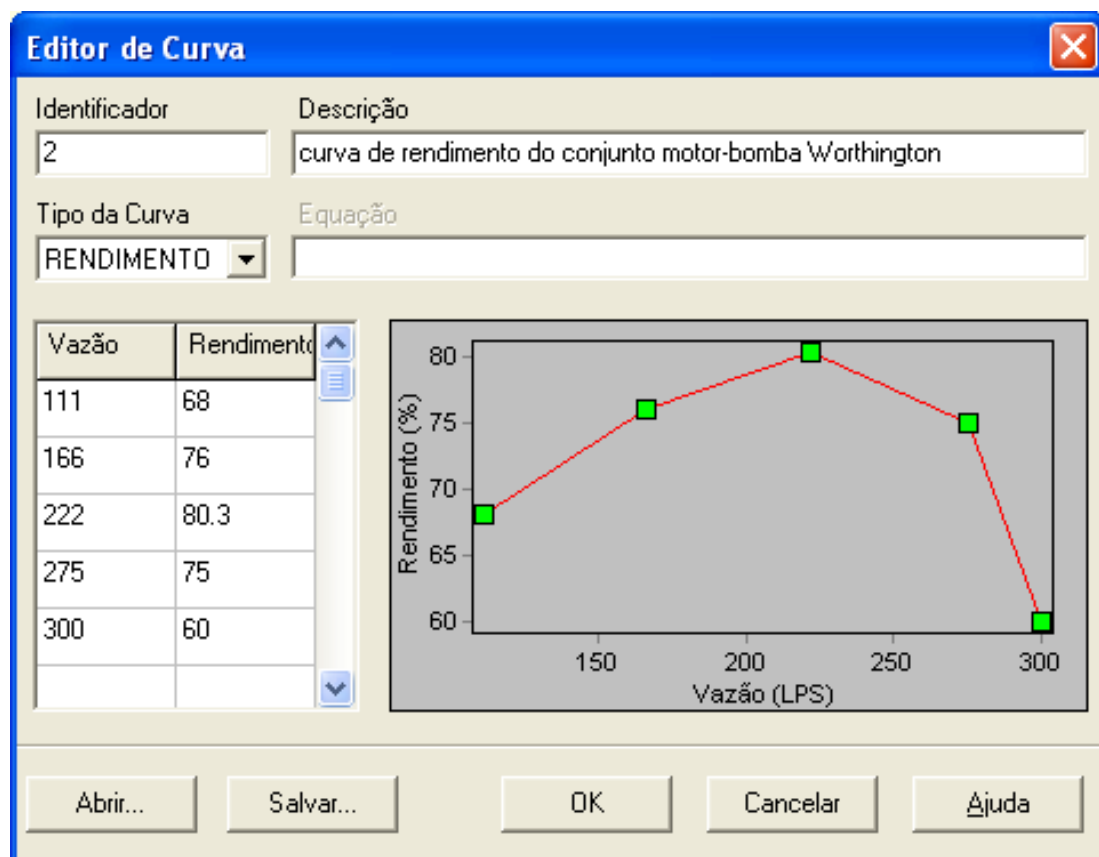


Figura 6: Editor de curva do rendimento da bomba.

Para o caso em estudo, o cálculo do custo do bombeamento é determinado quando se efetua uma simulação dinâmica, através de uma sequência de soluções de equilíbrio hidráulico obtidas para sucessivos instantes. Na simulação dinâmica do modelo as condições de contorno serão variáveis com o tempo (p.ex. altura de água no reservatório elevado, partida/parada de uma bomba).

Curva de Modulação de Consumo nos Nós (Padrão Temporal)

Para a execução da simulação foi criada uma curva de modulação chamada de Padrão Temporal (ver figura 7), para representar a variação periódica dos consumos no nó de saída do reservatório elevado. No caso do exemplo em questão, foi adotada a curva de consumo médio diário da população abastecida pelo R-7 (figura 4), utilizando o intervalo de tempo de 1 hora. A duração total da simulação dinâmica foi considerada para um período de 3 dias, o que corresponde a um tempo total de 72 horas (ver Figura 8).

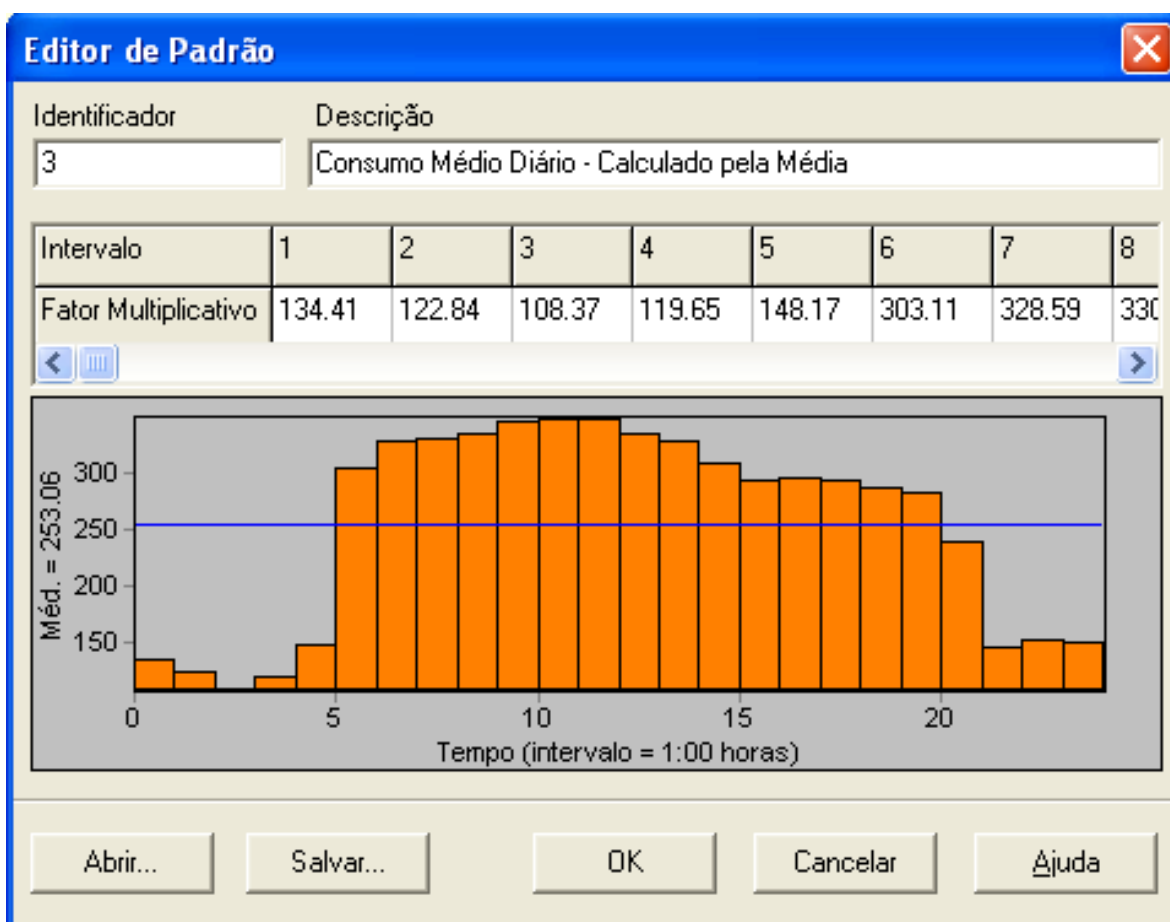


Figura 7: Editor de padrão para a variação de demanda na saída do reservatório.

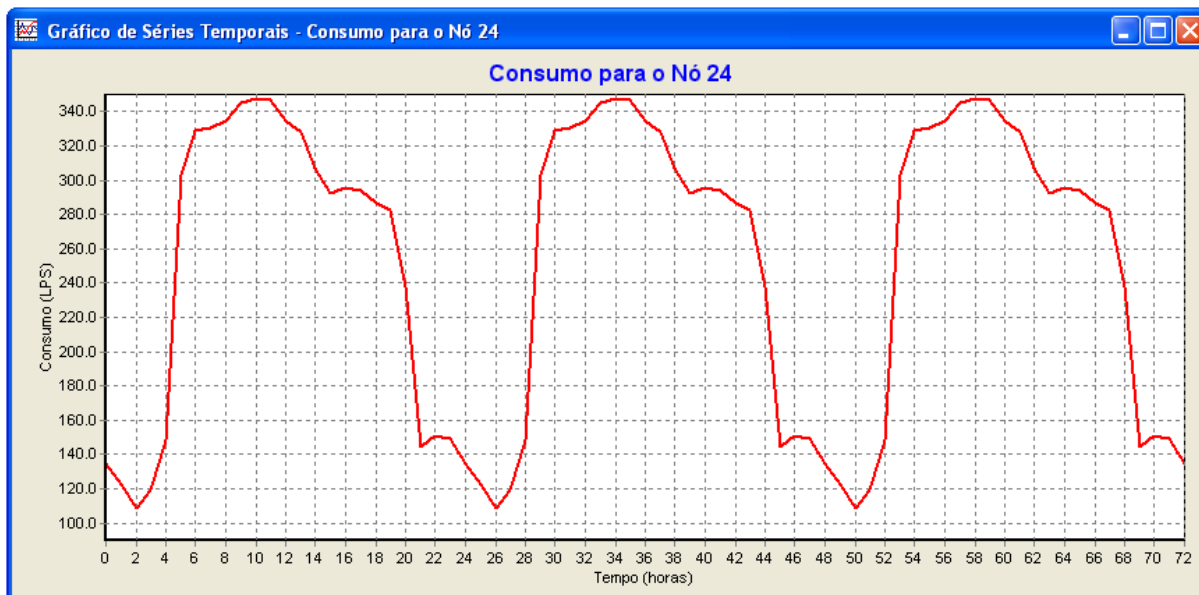


Figura 8: Consumo na saída do reservatório simulado durante 72 horas.

Energia do Bombeamento

As estatísticas sobre a energia consumida pelas bombas e os respectivos custos ao longo da simulação, foram fornecidas pelo EPANET através de um Relatório de Energia. Para que exista uma variação no custo da tarifa de energia ao longo do dia, isto é, valores diferentes da tarifa para horários de ponta, foi criado um padrão temporal para a energia. Nesse padrão, foram introduzidos os fatores multiplicativos 1,841 para as três horas que compreendem o horário de ponta e 1 para as demais dentro dos respectivos períodos de tempo de 1 a 24, os quais traduzem o padrão com duração de 24 horas, no qual o custo da tarifa entre as 17 e 20 horas é 84,1% mais cara do que nas demais horas do dia. Na figura 9 é mostrado o padrão do custo da tarifa de energia.

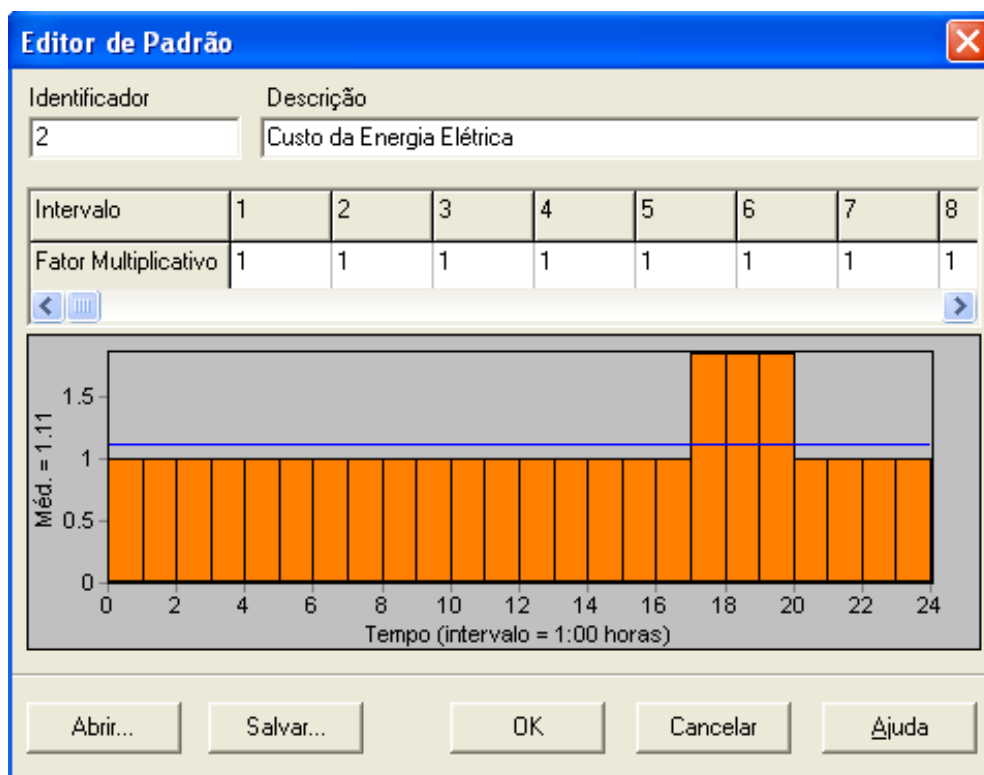


Figura 9: Editor do padrão da variação da tarifa de energia.

Para que haja um agendamento que proporcione melhor uso das bombas, foi definido que elas não funcionarão simultaneamente durante às 24 horas do dia. Seu acionamento é dado em função da variação da vazão demandada pelo sistema de abastecimento. A segunda bomba opera apenas quando a demanda na rede de abastecimento for alta e o nível do reservatório descer até 1,00m e é desligada quando o consumo começar a diminuir e o nível novamente atingir 4,00m. Para tanto, foi transmitida ao programa uma regra de operação de condições múltiplas através de um conjunto de instruções de sintaxe própria do EPANET. Essa regra de operação foi a seguinte:

RULE 1

IF TANK 13 LEVEL ABOVE 4.0
THEN PUMP 1 STATUS IS CLOSED

RULE 2

IF TANK 13 LEVEL BELOW 1.0
THEN PUMP 1 STATUS IS OPEN

RULE 3

IF TANK 13 LEVEL ABOVE 5.9
THEN PUMP 3 STATUS IS CLOSED

RULE 4

IF TANK 13 LEVEL BELOW 4.0
THEN PUMP 3 STATUS IS OPEN

O significado das instruções é:

Regra 1 - se no reservatório 13 o nível for superior a 4,00m, então a bomba 1 é desligada;

Regra 2 - se o nível do reservatório 13 for inferior a 1,00m, então a bomba 1 é ligada;

Regra 3 - se no reservatório 13 o nível for superior a 5,90m, então a bomba 3 é desligada;

Regra 4 - se o nível do reservatório 13 for inferior a 4,00m, então a bomba 3 é ligada”.

Na figura 10 apresenta a variação do nível do reservatório elevado para uma simulação de 72 horas. A figura 11 mostra a variação da média de consumo do bairro de Mangabeira e a vazão fornecida pelo sistema de bombeamento para o período estudado.

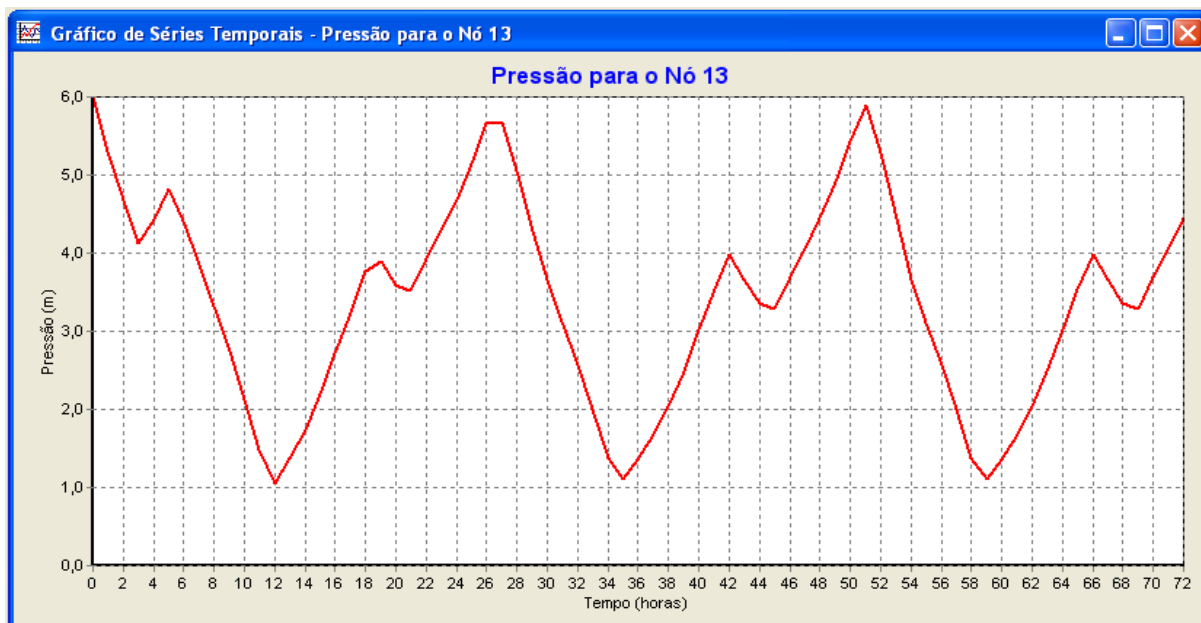


Figura 10: Variação do nível do reservatório elevado.

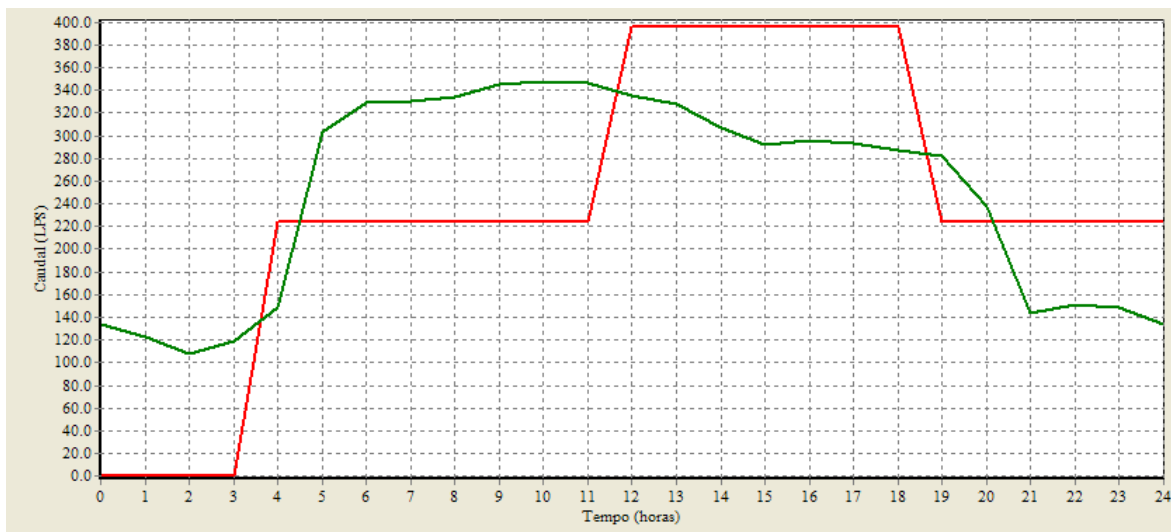


Figura 11: Variação do nível do reservatório elevado.

Paralisação das Bombas no Horário de Ponta

Conforme os dados da conta de energia das elevatórias, a tarifa de energia no horário de ponta (entre as 17 e 20 horas) é 84,1% mais cara em relação ao valor cobrado nos demais horários do dia. Desta forma, é válido verificar a viabilidade, técnica e econômica, de paralisar o sistema de bombeamento durante esse horário, de maneira que a rede seja abastecida apenas pela água armazenada no reservatório elevado.

Porém, ao introduzir a regra de paralisação das bombas no horário de ponta e simular esta alternativa no EPANET, constatamos que a água armazenada no reservatório elevado é insuficiente para atender a demanda que, neste horário, ainda é alta. Vimos que uma outra opção seria desligar uma das bombas durante as três horas de ponta, deixando que a outra funcionasse por duas horas dentro desse intervalo. Porém, além de aumentar o número de partidas da bomba durante o dia, vimos que a redução do custo energético dentro de um dia seria apenas de alguns centavos.

Diante da incapacidade do reservatório elevado armazenar o volume necessário para atender a demanda durante essas três horas, e a redução do custo energético ser mínima, neste caso, verifica-se que não vale a pena paralisar o sistema em horário de ponta de energia elétrica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As simulações executadas no EPANET permitiram obter os dados sobre o funcionamento do sistema de bombeamento trabalhando em função do consumo, através do Relatório de Energia do programa e da variação da vazão fornecida pelas bombas (ver Figuras 12).

A tarifa de energia elétrica contratada pelo sistema elevatório de Mangabeira para consumo no horário de ponta é de R\$ 0,26169 e para consumo fora do horário de ponta é de R\$ 0,14216 por KWh. Com base na conta de energia paga pela CAGEPA, a operação do sistema, ou seja, com as duas elevatórias “A” e “B” funcionando, teve um consumo de 62.894,00 KWH no período estudado, o que corresponde a um custo de R\$ 10.489,76.

Para a alternativa proposta (desativar a elevatória “A” e acionar mais uma bomba na elevatória “B”), tivemos um custo diário do bombeamento de R\$ 272,08 que representa R\$ 8.162,40 (ver Relatório de Energia fornecido pelo EPANET). Verifica-se uma redução mensal de R\$ 2.327,36, no custo da energia elétrica para o mês estudado, que corresponde a 22,19% de economia.

Relatório de Energia						
Tabela Gráfico						
Bomba	Porcentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m3	kW Médio	kW Máximo	Custo /dia
1	29.17	77.77	0.09	59.92	61.96	67.04
3	87.50	79.52	0.08	62.25	62.74	205.04
Custo Total						272.08
Tarifa de Consumo Máximo						0.00

Figura 12: Energia e custo do bombeamento ao longo de um dia.

CONCLUSÕES

Ao realizar um estudo do sistema de bombeamento do bairro de Mangabeira, em João Pessoa/PB, concluímos que é possível obter uma redução do custo energético anual em torno de R\$ 27.928,32, mesmo sem grandes investimentos, simplesmente através da desativação uma das elevatórias e acionamento de uma bomba já existente nas instalações.

A utilização de um modelo de simulação hidráulica constitui uma ferramenta importante para a tomada de decisão durante a elaboração e análise de projetos de sistemas de distribuição de água, assim como nas possíveis intervenções geradas por obras de manutenção e/ou ampliação do sistema. A possibilidade de modelar e simular diversos cenários de funcionamento do sistema aumenta as alternativas de solução para o projetista, ajudando na escolha daquela que represente a solução mais viável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLIANCE - Aliança para Conservação de Energia. Água e energia: Aproveitando as oportunidades de eficiência de água e energia não exploradas nos sistemas de água municipais. PROCEL/ELETRONBRAS. Rio de Janeiro, 2002.
2. BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional.
3. CLINGENPEEL, W.H. "Optimizing pump operating cost", Journal of American Water Works Association, v. 75, n. 10, p. 502-509, 1983.
4. ELETRONBRÁS. Plano Decenal de Expansão 1999-2008 – GCPS - ELETRONBRÁS, Rio de Janeiro, 1998.
5. GOMES, H.P. Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento: Análise Econômica de Projetos. Rio de Janeiro: ABES, 114p. 2005.
6. GOMES, H.P. Sistema de abastecimento de água: dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias, Editora Universitária da UFPB, João Pessoa, 2004, 242 p.
7. ROSSMAN, L. A. EPANET 2: Users manual. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2000.
8. TSUTYIA, M.T. Abastecimento de Água. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004. 634 p.