

OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS DE BOMBEAMENTO DE POÇOS PROFUNDOS EM ARARAQUARA - SP

Julio Cesar Arantes Perroni¹ & José Manoel Rodrigues²

Resumo - No presente trabalho a otimização do custo de bombeamento é buscada através da minimização dos desperdícios de energia elétrica em um estudo de caso no qual foram analisados as condições de instalação e os custos operacionais de 13 poços profundos que abastecem a cidade de Araraquara – SP. Os dados obtidos indicaram que os poços são operados em condições otimizadas de diversos aspectos da alimentação elétrica, tais como: os planos tarifários são adequados, o fator de potência é corrigido e o fator de carga é equilibrado. No entanto, os cálculos efetuados do rendimento elétrico real dos conjuntos motor-bomba indicaram valores muito baixos em dez poços, dos quais nove são operados com bombas tipo turbina de eixo prolongado. Os resultados do redimensionamento dos sistemas de bombeamento indicaram que a substituição das bombas atuais por conjuntos tipo motor-bomba submersa de alto rendimento poderá gerar uma economia de 30% no consumo de energia elétrica, possibilitando a amortização da maior parte dos investimentos.

Abstract - The present paper reports a case study of optimizing pumping expenses by reducing electrical energy lost in 13 water wells used for water supply in the city of Araraquara-SP, Brazil. The available data has shown that the wells are already operated under optimized conditions regarding price rate, reactive- active power relation and load rate. But the calculations of the electrical efficiency of the motor-pump units has shown very low values for 10 wells, being 9 of them pumped by turbine drive shaft pumps. The results of redesigning the pumping systems with the substitution of the equipment presently used by high performance submersible pumps may lead to a reduction on electric power consumption of 30%, which would compensate part of the investments.

Palavras-Chave - água subterrânea; poço profundo; bomba submersa; bomba turbina.

Keywords – Groundwater; water well; submersible pump; drive shaft pump.

¹ Hidrogeólogo e pós graduação em Engenharia Civil pela [Escola de Engenharia de São Carlos – USP](http://www.usp.br), Diretor da [Geowater Assessoria, Projetos e Comércio Ltda.](http://www.geowater.com.br), julioperroni@geowater.com.br

² Gerente de Operações dos Sistemas de Água e Esgotos do [DAAE – Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Araraquara – SP](http://www.daae.com.br), producao@daearaquara.com.br

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se observado a intensificação da busca por elevados padrões de eficiência nos serviços de abastecimento de água. Após a recente crise do setor de geração passou a existir uma maior preocupação com os desperdícios no consumo de energia. As despesas com energia elétrica constituem, em geral, o segundo item de maior valor na composição de custos nos órgãos e empresas prestadoras de serviços de saneamento, a qual é consumida principalmente em equipamentos de bombeamento de água ou esgoto. Esse trabalho apresenta um estudo de caso realizado recentemente na cidade de Araraquara-SP que é abastecida majoritariamente com água subterrânea. Os objetivos do trabalho foram a elaboração de um diagnóstico das condições de instalação e operação dos poços profundos, a identificação de possíveis desperdícios de energia e a elaboração de diretriz para otimização dos custos de bombeamento. Os resultados obtidos indicam que a renovação dos sistemas de bombeamento de dez poços poderá gerar uma economia de 30% no consumo de energia elétrica.

MÉTODOS

Os dados e informações utilizados no estudo constam de relatório técnico intitulado “Otimização dos sistemas de bombeamento dos poços tubulares profundos” (Geowater,2003), com dados coletados até o ano 2002 e atualizado com dados de 2003 fornecidos pela Gerencia de Operação do DAAE - Araraquara. Os principais dados coletados foram:

1. descrição geral do sistema de abastecimento de água, tarifas e contratos de demanda de energia elétrica;
2. características construtivas dos poços;
3. características, especificações e condições de instalação dos equipamentos de bombeamento existentes;
4. características e especificações dos sistemas de acionamento elétrico;
5. sistema de monitoramento, registro de dados e automação;
6. altura dos reservatórios alimentados diretamente por cada poço;
7. comprimento, diâmetro e material das respectivas subadutoras;
8. dados históricos de serviços de manutenção e reparo das bombas dos poços; e
9. dados de períodos diários de funcionamento e produção diária e mensal de água; e
10. dados de consumo de energia elétrica e demais custos operacionais.

Os dados coletados foram lançados em planilhas eletrônicas, para análise, com auxílio de cálculos de indicadores e parâmetros, tabelas e gráficos. A seguir foi efetuado um diagnóstico do sistema e a quantificação dos desperdícios de energia elétrica. Finalmente, foram elaboradas as

diretrizes para otimização energética dos sistemas de bombeamento e análise da economia de energia e dos investimentos necessários.

RESULTADOS

Características gerais do sistema

A cidade de Araraquara – SP, está localizada no planalto central do Estado de São Paulo, nas coordenadas geográficas 21°47' S e 48°10' W, com altitude média de 646 metros. A cidade tem uma população de 190.000 habitantes e área de 80 km² (Figura 1). O sistema público de abastecimento de água da cidade é feito pelo DAAE – Departamento Autônomo de Água e Esgotos que é uma autarquia municipal criada em 1969, com 300 funcionários e que administra, desde a captação até o lançamento final do esgoto tratado, sendo que recentemente incorporou o gerenciamento da coleta e destinação dos rejeitos sólidos. A produção média mensal de água no ano de 2003, foi de 2.000.000 m³ e as perdas 39,7%. A parcela majoritária da água utilizada no abastecimento é de origem subterrânea, proveniente de 13 poços tubulares profundos que captam o Sistema Aquífero Guarani (SAG). A complementação é feita com água superficial captada em três cursos de água, providos de barragens de regularização, com distâncias de 1600, 1800 e 13.200 metros da cidade. A água superficial é tratada em duas estações de tratamento, com capacidades de 160 e 600 L/s. Existem 31 reservatórios de água tratada que totalizam 44.100 m³ para abastecimento de quase 1.000 km de rede de distribuição, divididos em 18 setores, com um total de 62.000 ligações, que representam 99% dos domicílios. A rede coletora de esgoto tem 740 Km e 84 Km de coletores- tronco, interceptores e emissários, atendendo a mais de 98% dos estabelecimentos municipais e todo o esgoto coletado é tratado em sistema de lagoa aerada.

Condições de exploração da água subterrânea

Na área da cidade de Araraquara, as rochas das Formações Botucatu e Pirambóia, que constituem o Sistema Aquífero Guarani (SAG), possuem espessura total de 150 a 300 metros, com presença de afloramentos em superfície a SE da cidade, mas, na maior parte da área, encontram-se recobertas por rochas basálticas da Formação Serra Geral, com espessura de até 250 metros, e, numa faixa de transição, apresentam-se recobertas por sedimentos mais recentes da Fm. Adamantina (Figura 1).

A utilização da água subterrânea para abastecimento público da cidade teve início na década de 1970. Desde então, foram perfurados, para esse fim, 18 poços, localizados na área urbana, com

profundidades que variam de 250 a 450 metros, com diâmetro útil na câmara de bombeamento de 305 a 387 mm e produção individual de 200 a 400 m³/h (~55 a 110 L/s).

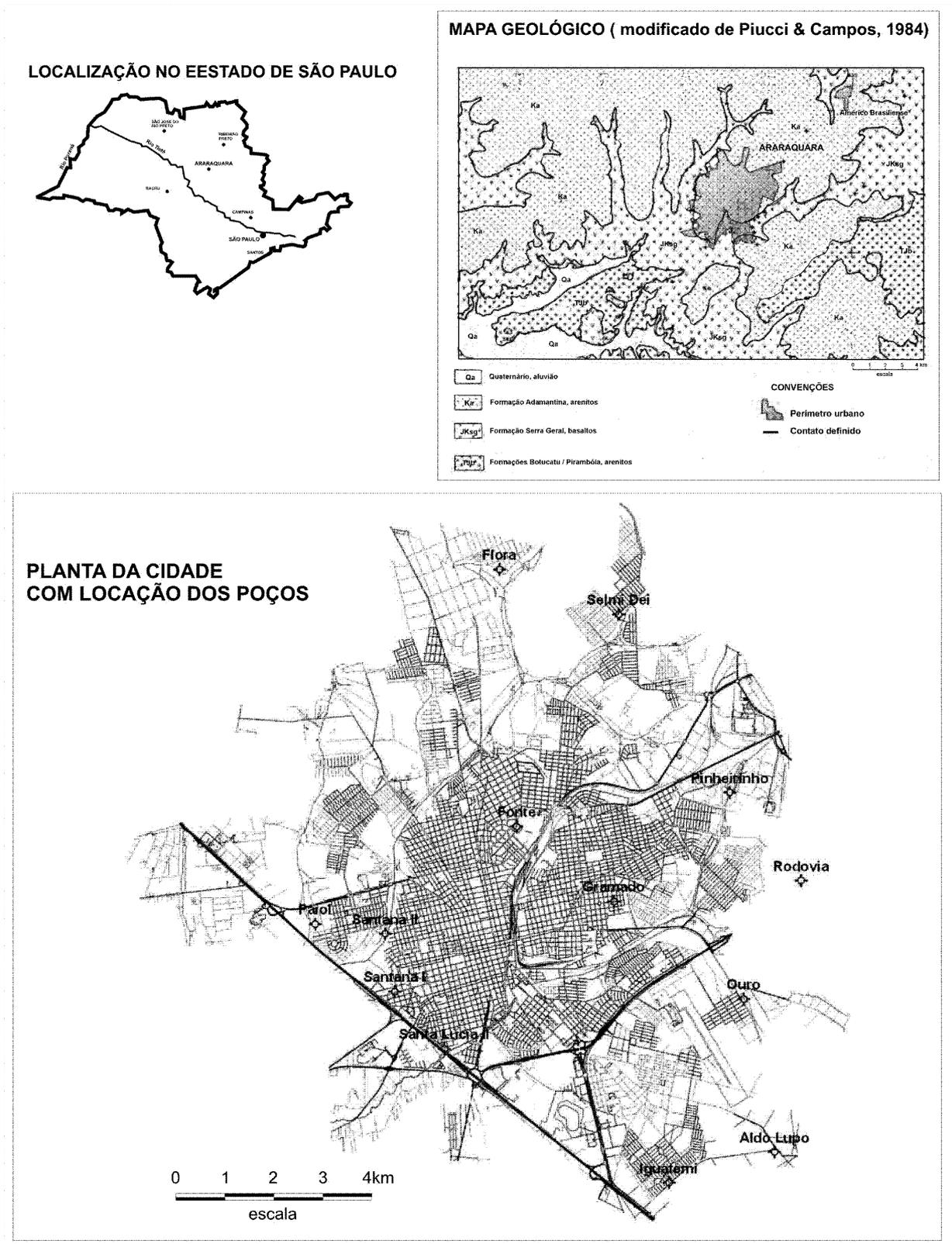


Figura 1 - Mapa de localização, mapa geológico simplificado e planta de localização dos poços.

O valor médio mensal do custo total direto da água subterrânea é de R\$ 221.000,00, e da água superficial é de R\$ 238.000,00, sendo que a parcela de produção mensal de água subterrânea equivale a 53% do total, em decorrência de serviços de manutenção, que raramente são feitos nos poços. As despesas de manutenção para a água superficial equivalem proporcionalmente ao dobro das da água subterrânea, mas esse dado não pode ser analisado isoladamente para apenas um ano, pois a ausência de despesas com manutenção preventiva dos poços, poderá implicar em despesas muito maiores com manutenção corretiva no futuro. As despesas médias mensais com energia elétrica tanto para a produção de água subterrânea, como superficial são equivalentes a R\$ 170.000,00. Os custos diretos do metro cúbico de água são de R\$ 0,204 para água subterrânea e R\$ 0,247 para água superficial.

Equipamentos de bombeamento dos poços

Inicialmente, todos os poços foram equipados com bombas tipo turbina de eixo prolongado, com motores elétricos verticais, instalados em superfície. Na época, esse tipo de equipamento era preferido por apresentar grande durabilidade e ser praticamente o único disponível no mercado brasileiro capaz de extrair vazões altas, com níveis dinâmicos profundos.

No início, os poços foram operados com custo operacional extremamente elevado, devido principalmente aos seguintes fatores: baixo rendimento dos equipamentos de bombeamento, intenso uso de mão-de-obra de operadores, baixos valores do fator de potência, multas por ultrapassagem de demanda e por operação na ponta.

Ao longo dos anos foram sendo implantadas progressivamente medidas gerais visando à redução do custo operacional. Um passo importante foi a instalação de um sistema de automação, controle e operação remota, para melhorar o gerenciamento do sistema e reduzir os custos de mão-de-obra com a eliminação da necessidade de permanência de operadores no local do poço. Posteriormente, foram identificadas e corrigidas as principais causas de desperdício de energia, com a instalação de bancos de capacitores para aumentar do fator de potência, adequação tarifária, otimização do fator de carga e, com a ampliação gradual da capacidade de reservação, foi possível minimizar o funcionamento das bombas em horários de ponta. Adicionalmente foram implantadas outras melhorias gerais do sistema, tais como: instalação de válvulas reguladoras de fluxo, micro e macro medição, controle de perdas, setorização da rede e construção de interligações entre setores de abastecimento.

Em um dos poços mais novos foi instalada bomba submersa e em dois outros poços, as bombas originais foram substituídas por bombas submersas de melhor rendimento, restando ainda (em 2003), nove poços equipados com bombas de eixo prolongado (Tabela 1).

Dessa forma, verificou-se que a maior parte das causas de desperdício de energia já haviam sido identificadas e corrigidas, restando ainda avaliar o rendimento elétrico dos conjuntos de bombeamento existentes, principalmente as bombas de eixo prolongado.

Alimentação elétrica

A tensão elétrica de alimentação em todos os poços é 440 V. Os primeiros poços foram equipados, originalmente, com painéis de acionamento da bomba, com chave compensadora manual. À medida que novas tecnologias foram se tornando disponíveis no mercado, foram sendo adotadas nos novos poços, passando-se a usar chaves compensadoras automáticas e depois partida suave (*soft start*). Em alguns poços mais antigos o painel de acionamento original foi substituído, sendo que na reforma mais recente foram instalados os sistemas mais modernos que são os conversores de frequência.

Rendimento dos conjuntos de bombeamento

O cálculo do rendimento elétrico dos equipamentos de bombeamento, foi feito com base na seguinte equação:

$$\eta = \frac{9,8 \times Q \times AMT}{P} \quad (1)$$

onde: Q : vazão (L/s)

AMT : altura manométrica total (m)

P : potência consumida (kWh)

Os dados de vazão utilizados no trabalho equivalem a médias mensais calculadas a partir dos registros dos totalizadores de volume e de tempo de funcionamento registrado em horímetros. A profundidade do nível piezométrico dinâmico é em geral medida mensalmente, pela equipe responsável pela manutenção dos equipamentos e, em alguns poços, por sensores de nível, com leitura local ou remota. Em dois poços a medição de nível da água foi interrompida devido à prisão de sondas no interior do tubo guia e, nesses casos, o nível dinâmico atual foi estimado com base na extrapolação da tendência observada nas medidas disponíveis. O valor da AMT, é resultante da soma da profundidade do nível dinâmico, da altura do reservatório em relação à boca do poço e das perdas de carga por atrito na tubulação adutora (interior do poço) e das perdas de carga por atrito na tubulação sub adutora (em superfície).

Os dados obtidos de rendimento real dos conjuntos de bombeamento permitem estabelecer 3 grupos de situações similares, a saber:

1º grupo: composto por quatro poços, que são equipados com bomba de eixo prolongado, o valor médio de rendimento chega a ser de apenas 41% e o valor médio do consumo unitário varia de 1,25 a 1,81 kWh/m³;

2º grupo: composto por cinco poços, que também são equipados com bomba de eixo prolongado, porém o rendimento é um pouco superior ao anterior com valor médio de 55% e o consumo unitário varia de 0,96 a 1,98 kWh/m³;

3º grupo: composto por quatro poços, que são operados com bomba submersa e apresentam os valores de rendimento mais altos, chegando a 66% e o consumo unitário varia de 0,70 a 0,84 kWh/m³, com exceção de um poço que produz areia e vai ser desativado. Os poços desse grupo foram excluídos da continuação do trabalho, por estarem equipados com bombas submersas, com rendimentos satisfatórios.

Os valores excessivamente baixos do rendimento elétrico dos conjuntos de bombeamento de nove poços ainda equipados com bomba de eixo prolongado representam a principal causa remanescente de desperdício de energia no sistema.

Os valores excessivamente baixos de rendimento são interpretados com uma decorrência de um ou mais dos seguintes fatores: 1-idade avançada dos equipamentos e desgastes excessivos; 2-defasagem tecnológica dos equipamentos utilizados; 3-dimensionamento incorreto; 4-falta ou insuficiência de manutenções preventivas; 5-sistemas de acionamento ultrapassados; e 6-condições operacionais inadequadas.

Restrições técnicas ao uso de bombas de eixo prolongado

Alguns poços apresentaram repentina produção de grandes quantidades de areia e pré-filtro, constatando-se claramente a ruptura de filtros. Devido à inviabilidade ou insucesso das tentativas de reparo cinco poços foram abandonados e um foi recuperado, porém restringindo sua capacidade de produção a 30% da original. A causa mais provável da ruptura dos filtros nesses poços seria o desgaste provocado pelo atrito dos flanges da tubulação das bombas de eixo prolongado. O contato dos flanges com os filtros, mesmo com as folgas de diâmetro recomendadas por normas técnicas, é inevitável pois a verticalidade dos poços nunca é perfeita. Esse fato foi constatado, através de perfilagem ótica, em dois poços que ainda se encontram em funcionamento, nos quais os desgastes dos filtros nas posições em que estavam instalados os flanges da bomba ainda era parcial e não chegou a provocar ruptura.

Para conviver com esse tipo de problema apresentado pelas bombas de eixo prolongado, nos últimos dez anos, foram introduzidas alterações nos projetos de novos poços, que encareceram sua construção. As câmaras de bombeamento passaram a ter maior diâmetro e tubos perfurados para

proteção interna dos filtros, o que, além de encarecer a construção do poço, traz como desvantagem adicional a impossibilidade de realizar a limpeza dos filtros, quando necessária.

Além desses aspectos, a utilização de bombas de eixo prolongado apresenta as seguintes restrições:

1. Elevado ruído ambiental devido aos motores elétricos de grande potência; e
2. Nas operações de manutenção, o tempo necessário para retirada e reinstalação das bombas é muito grande, podendo causar a interrupção do abastecimento por semanas.

Redimensionamento dos sistemas de bombeamento

O redimensionamento dos sistemas de bombeamento dos poços foi feito com base em dados de demanda de cada setor de abastecimento e buscando estabelecer a condição técnica operacional ótima. Para isso foram analisadas as características construtivas dos poços: diâmetro e profundidade da câmara de bombeamento, e tipo, diâmetro e comprimento da seção de filtros, os valores locais dos parâmetros hidráulicos do aquífero e a evolução dos parâmetros das equações das perdas de carga, em função dos processos de envelhecimento de cada poço. Em alguns poços, as vazões foram reduzidas, buscando minimizar o efeito do rebaixamento do nível potenciométrico e em outros foi aumentada de forma a haver uma compensação e a manutenção da vazão total explorada.

O redimensionamento dos sistemas de bombeamento prevê a utilização de conjuntos de motor-bomba submersível de alto rendimento e a instalação de painéis de alimentação com conversor de frequência em todos os poços. Como esse equipamento permite variar a rotação do motor, será possível manter a vazão constante, ao longo dos anos, através de compensação do incremento de altura manométrica decorrente da queda do nível dinâmico com a aceleração progressiva do motor. Por esse motivo as bombas dos poços foram dimensionadas para atender as condições de operação previstas para o horizonte de planejamento. Logo que forem instaladas e durante o período inicial os motores das bombas submersas serão alimentados com frequência inferior a 60 Hz e portanto com rotação inferior a 3.000 rpm. A adoção de sistemas de alimentação elétrica com conversores de frequência reduz o consumo de energia nas válvulas que ficam semi abertas, durante períodos de baixo consumo de água, evita o excesso de partidas e aumenta a vida útil dos motores.

As condições operacionais projetadas incluem previsões de rebaixamentos de carga potenciométrica para dez anos, baseadas nas taxas médias observadas até o presente.

Nos poços em que o reservatório de descarga e a sub adutora representam acréscimos significativos de altura manométrica, foi prevista a instalação, em superfície de outro conjunto motor-bomba do tipo *booster* em linha, com acionamento automático, comandado pela pressão gerada pelo funcionamento da bomba submersa.

Tabela 2 - Bombas projetadas

tipo de bomba	quantidade (inclui bomba reserva)	diâmetro máximo do conjunto (pol)	potência nominal do motor (cv)
submersa	4	10	150
	3	10	250
	3	12	300
	4	12	400
<i>booster</i> em linha	1		50
	2		80
	3		100

O redimensionamento buscou estabelecer, à medida do possível, uma padronização de capacidade dos equipamentos de bombeamento, para permitir o intercâmbio das bombas entre poços e reduzir o número de equipamentos de reserva. Os resultados do redimensionamento dos equipamentos de bombeamento são apresentados na Tabela 2.

Economia projetada de energia elétrica

Considerando que os valores reais de rendimento elétrico dos conjuntos motor-bomba de alto padrão, seja de 65%, que é inferior aos valores informados pelos fabricantes, deverá haver uma economia de 30% no consumo de energia elétrica, pois a somatória da potência consumida nos dez poços objeto de estudo, incluídos os recalques até os respectivos reservatórios, será reduzida de 3.320 para 2.420 kWh. Com base nos valores atuais de tarifa de energia elétrica para consumo e demanda, a economia será equivalente a R\$ 848.213,00 por ano e, considerando uma taxa de amortização de capital de 15% ao ano, o valor presente da economia, ao longo de dez anos, totalizará R\$ 4,25 milhões. O custo unitário médio da água subterrânea seria reduzido de R\$ 0,204 para R\$ 0,137.

Investimentos necessários

Os orçamentos obtidos com fabricantes internacionais dos equipamentos de bombeamento e fornecedores locais dos demais itens, resultaram nos valores apresentados na Tabela 3, totalizando R\$ 5,65 milhões.

A título de comparação foi estimado o valor do investimento necessário para efetuar apenas a reforma das bombas de eixo prolongado chegando se ao valor de R\$ 1,35 milhões. Sendo que nesse caso o ganho, em termos de economia de energia seria desprezível.

Portanto, mesmo considerando o maior valor do investimento com a aquisição dos novos equipamentos essa alternativa é mais vantajosa, pois cerca de 78% do montante investido, será amortizado ao longo de 10 anos pela própria economia de energia, o que reduz o valor do investimento a R\$ 1,24 milhões.

Por razões técnicas e financeiras, a implantação das substituições dos equipamentos de bombeamento, não poderia ser feita simultaneamente nos dez poços e, para estabelecer um escalonamento criterioso do investimento necessário, foi adotada uma seqüência temporal de poços de forma a gradualmente implantar todas as trocas de bomba e realizar os serviços de manutenção e recuperação necessários, ao longo de quatro anos.

Os custos das operações de limpeza, manutenção e recuperação dos poços, a serem executadas antes da instalação das novas bombas, cujo valor total é estimado em R\$ 800.000,00, não foram incluídos nos valores acima.

Tabela 3 - Investimentos

item	descrição	valor (R\$)
1.	14 conjuntos de bombas submersas (4 reserva)	3.000.000
2.	10 painéis de acionamento (conversor de frequência)	1.000.000
3.	cabos elétricos	500.000
4.	tubulação edutora	300.000
5.	6 conjuntos de bombas tipo booster em linha	300.000
6.	6 painéis de acionamento (conversor de frequência)	200.000
7.	10 sensores de nível da água (transdutor de pressão)	100.000
8.	serviços de instalação	250.000
	total	5.650.000

Especificações para processo de compra

As especificações usuais para os processos de compra em termos de capacidade, potência, diâmetro, materiais de fabricação dos equipamentos, etc. não são suficientes para assegurar a compra de equipamentos com a performance desejada, pois consideram apenas os custos de aquisição.

Para garantir que os equipamentos de bombeamento tivessem tecnologia de fabricação compatível com alto padrão de performance e durabilidade, foi preciso incluir, no processo de compra, o conceito de custo da vida útil. Desta forma, as propostas comerciais foram avaliadas com base na somatória do custo de aquisição e do custo operacional com energia elétrica, ao longo da vida útil.

Para manter a objetividade do processo de compra, foi adotado como mecanismo para assegurar a veracidade das informações dos fabricantes dos equipamentos, um fator redutor do preço, proporcional à diferença entre o valor informado e o rendimento real medido durante os testes do equipamento adquirido.

Foram também exigidos períodos mínimos de garantia dos equipamentos contra defeitos de fabricação sem nenhum tipo de exclusão de componentes.

Aplicação em escala piloto

Com base nas especificações acima mencionadas, foi realizada licitação para aquisição e instalação do novo sistema de bombeamento do poço 10 para a vazão de projeto de 200 m³/h, com altura manométrica total de 320 mca.

Devido a grande distância e desnível ao reservatório foram instaladas duas bombas, sendo uma submersa e outra bomba tipo *booster* em linha, instalada logo após o barrilete de descarga e comandada pela pressão à montante, provocada pelo acionamento da bomba submersa. A soma das potências das duas bombas é de 340 cv.

A operação dos equipamentos de bombeamento passou a ser integralmente acionada e controlada remotamente, com leitura e registro de diversos parâmetros operacionais, tais como, período de funcionamento, vazão, pressão, nível da água no interior do poço, tensão, corrente, frequência e temperatura no painel.

Concluídas as instalações foram efetuadas medições da potência consumida e o rendimento elétrico real do sistema foi de 68%. Tendo em vista que a bomba de eixo prolongado utilizava um motor de 450 cv, potência consumida de 297 kWh e rendimento de 55%. A redução do custo de energia elétrica foi de 30% conforme previsto em projeto.

CONCLUSÕES

Os trabalhos realizados permitiram identificar desperdícios de energia elétrica devidos a baixos valores de rendimento elétrico de nove bombas de eixo prolongado e uma bomba submersa instaladas em poços profundos que fazem o abastecimento público da cidade de Araraquara – SP.

O histórico de dados operacionais demonstram que as bombas de eixo prolongado apresentam grande durabilidade, porém causaram a ruptura de filtros e abandono de cinco poços e apresentam custos operacionais elevados. O abandono de cinco poços que apresentaram produção de areia e pré-filtro se deveu à utilização de bombas de eixo prolongado com coluna edutora flangeada que causou desgaste do revestimento dos poços por atrito.

Os dados obtidos indicam que a substituição dos equipamentos existentes por bombas submersas de alta performance e corretamente dimensionadas poderá reduzir em até 40% o consumo atual de energia elétrica. O valor presente da economia de energia ao longo de dez anos foi estimado em R\$ 4,1 milhões.

O valor total dos investimentos necessários para aquisição e instalação dos novos sistemas de bombeamento foi orçado em R\$ 5,65 milhões, que deverá ser aplicado em um programa de renovação dos sistemas de bombeamento de dez poços, com duração de quatro anos.

Para assegurar a aquisição de equipamentos com os melhores padrões de rendimento elétrico, performance e durabilidade foram elaboradas especificações para o processo de compra que incluíram o conceito de custo da vida útil, no qual o valor da proposta é composto pelo custo de aquisição e o custo operacional relativo ao consumo de energia elétrica.

A aplicação do programa, em escala piloto, para um dos poços apresentou resultados satisfatórios e em conformidade com as expectativas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BAHIA S.R., 1998. Eficiência energética nos sistemas de saneamento, IBAM, PROCEL/ELETOBRÁS, Rio de Janeiro, (76 pg).
- [2] CAMPBELL, M.D. & LAEHR, J.H., 1973. Water well technology. New York, McGraw-Hill.
- [3] CORNER PERFURAÇÃO DE POÇOS LTDA., 1994. Avaliação dos poços tubulares profundos do município de Araraquara. Relatório preparado por J.C.A. Perroni para o DAAE. Araraquara (SP), 4 vol.
- [4] CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R., 1976. Hidrología subterránea. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, (2 vols. 2.359 pg).
- [5] DON CASADA. Improving equipment reliability and reducing energy consumption. Disponível on line em <http://user.icx.net/~doncasada/EPApres/>. Acesso em 17/06/2004.
- [6] DRISCOLL, G.F., ed. 1989. Groundwater and Wells. 2nd ed. St. Paul, Minn.: Johnson Division, (1089 pg).
- [7] EBARA INDÚSTRIAS MECÂNICAS E COMÉRCIO LTDA. , 2002 – Catálogos e curvas de bombas para poços. CATÁLOGOS E CURVAS DE BOMBAS.
- [8] FEITOSA, A.C. & MANOEL FILHO, J., 2000. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza, (391 pg).
- [9] FETTER, C.W., 2001. Applied hydrogeology, Prentice Hall, Inc. (598 pg).
- [10] GEOWATER. 2003. Otimização dos sistemas de bombeamento dos poços tubulares profundos. Relatório preparado por J.C.A. Perroni para o DAAE. Araraquara (SP).
- [11] GRUNDFOS, 1996, Manual de Engenharia, Bombas Grundfos de Portugal, (66 pg). Lisboa. GRUNDFOS DO BRASIL LTDA., 2004. Programa Wincaps. Versão 7.50.
- [12] GRUNDFOS DO BRASIL LTDA., 2004. Curvas de bombas e proposta técnica e comercial.

- [13] HYDRAULIC INSTITUTE. Improving pump system performance: an overlooked opportunity?. Disponível on line em <http://www.pumps.org/>. Acesso em 17/06/2004.
- [14] JORBA, A.F. & ROCHA, G.A.,1982. Manual de operação e manutenção de poços, DAEE – Departamento de águas e Energia Elétrica, São Paulo. (2ª. Edição – 90 pg).
- [15] KSB BOMBAS HIDRÁULICAS S/A, 2004. Catálogos, propostas e orçamentos.
- [16] KRUSEMAN, G.P. & RIDDER, N.A., 1994. Analysis and evaluation of pumping test data. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen. (377 pg). Netherlands.
- [17] PERRONI, J.C.A., 1997. Perfuração de poços de grande porte (>400m), X Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, Campo Grande – MS.
- [18] REIS, L.F.R. et al, ?. Cost allocation in reservoir-groundwater well subsystems under optimized operation.
- [19] RIBEIRO, G.P., 2000. Custos de produção de águas subterrâneas com operação otimizada via algoritmos genéticos para o abastecimento urbano de Araraquara – SP. Dissertação de Mestrado, Depto de Hidráulica e Saneamento EESC – USP, (220 pg).
- [20] ROSCOE MOSS COMPANY, 1990. Handbook of ground water development. New York: John Wiley & Sons, (493 pg).
- [21] SOUZA FILHO, M. N. & PIERRI, A.B. 1996. Água subterrânea em Araraquara: uma alternativa que deu certo! Relatório preparado para o DAAE. Araraquara (SP).
- [22] THE AUSTRALIAN DRILLING (The Australian Drilling Industry Committee Limited, Australia), 1997. Drilling: The Manual of methods, applications and management. CRC Press Lewis Publisher, Boca Raton, FL, (615 pg).
- [23] WILLIAMS, D.E., 1987. Modern techniques in well design. Journal Awwa, Research and Technology, p.68-74.
- [24] YASTEMETER Pump Monitoring System. Disponível on line em <http://www.yatesmeter.co.uk/index.htm>. Acesso em 17/06/2004.