



XI-043 – MÉTODO EXPEDITO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE CONJUNTOS MOTOBOMBAS

Osvaldo Luiz Cramer de Otero ⁽¹⁾

Engenheiro eletricitista formado em 1965, é consultor técnico do CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – desde 1998. Destacado para dar apoio aos programas PROCEL Indústria e PROCEL SANEAR em 2004, participou das atividades técnicas da Primeira Chamada Pública para o Setor de Saneamento. Em 2005 foi selecionado como consultor em Eficiência Energética do PMSS, onde participa de projetos com atividades neste tema e desenvolve estudos sobre créditos de carbono.

Sebastião de Paula Coura ⁽²⁾

Engenheiro elétrico, ex-gerente dos Departamentos de Engenharia de Manutenção e Energia da SABESP. Atua no setor saneamento desde 1976 e atualmente é consultor do PMSS – Programa de Modernização do Setor Saneamento, para o desenvolvimento e implantação de projetos de gestão energética e melhoria na eficiência elétrica e hidráulica.

Airton Sampaio Gomes ⁽³⁾

Engenheiro civil, ex Diretor Técnico da Sanesul, desenvolve atividades no setor de saneamento desde 1983. Atualmente é consultor do PMSS – Programa de Modernização do Setor Saneamento, onde coordena trabalhos do Programa envolvendo a temática da Conservação da Água Urbana. É também consultor técnico do PROCEL SANEAR da Eletrobrás.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Marechal Marques Porto, 2 apto. 303 — Tijuca – Rio de Janeiro – RJ – Brasil - Telefone: (21) 8653 1986 E-mail: osvaldo.otero@terra.com.br

RESUMO

O consumo de energia elétrica em sistemas de bombeamento de água, da captação às elevatórias, passando pelas ETA's, corresponde, na maioria das empresas, à principal parcela da conta de energia.

Atenção especial deve ser dada ao estado de motores e bombas, visto que, por diversos motivos citados no trabalho, o rendimento dos referidos equipamentos pode afastar-se dos valores nominais, acarretando maior consumo de energia elétrica para realização do mesmo trabalho hidráulico.

Além das condições intrínsecas ao estado dos equipamentos é comum ocorrerem alterações no sistema que, via de regra, fazem com que os conjuntos motobombas passem a operar em condições não ideais, com rendimento inferior ao nominal, além de desgaste ou até mesmo ruptura de componentes.

O dimensionamento dos conjuntos deve ser adequado às condições de trabalho, pois tanto o subdimensionamento quanto o superdimensionamento podem acarretar consumo excessivo de energia elétrica.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar métodos expeditos para determinação do rendimento dos conjuntos e seu consumo específico, com equipamentos de medição de uso geral da maior parte das prestadoras, e de fácil obtenção no mercado caso não estejam disponíveis na empresa. Para tanto:

- Conceitua-se rendimento, consumo específico, bem como o Consumo Específico Normalizado por Altura Manométrica e por Altura Geométrica, discutindo-se suas respectivas interpretações;
- Descrevem-se os equipamentos e métodos usados para as medições das grandezas elétricas e hidráulicas, discutindo-se fatores que podem dificultar a perfeita interpretação dos resultados;
- Apresentam-se modelos para tabulação dos dados das medições e planilhas eletrônicas para tratamento dos dados e obtenção dos resultados.
- Apresentam-se resultados obtidos em medições efetuadas em prestadoras de serviço selecionadas para implantação de projetos integrados de redução de perdas de água e uso eficiente de energia elétrica, durante a fase de diagnóstico efetuada por consultores do PMSS.

PALAVRAS-CHAVE: Conjuntos moto bombas, rendimento, consumo específico, métodos expeditos, avaliação do desempenho.



INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica em sistemas de bombeamento de água, da captação às elevatórias, passando pelas estações de tratamento de água, pode ser considerado, na maior parte das empresas, como a parcela mais importante da conta de energia.

Como tal, atenção especial deve ser dada ao estado de motores e bombas, visto que, com o envelhecimento, desgaste de peças, substituição de componentes por outros disponíveis em almoxarifado, mas nem sempre perfeitamente adequados à função, uso contínuo sem manutenção, excesso de partidas, rebobinamento de motores etc., o rendimento dos referidos equipamentos pode afastar-se dos valores nominais, acarretando maior consumo de energia elétrica para realização do mesmo trabalho hidráulico.

Além das condições intrínsecas ao estado dos equipamentos é comum ocorrerem alterações no sistema pela modificação de setores, extensões de rede, vazamentos, incrustações e modificações na topologia via de regra contribuem para que os conjuntos moto bombas passem a operar em condições não ideais, provocando perda de rendimento, desgastes prematuros de mancais por vibrações excessivas com operação fora do ponto ideal de trabalho ou rompimento prematuro da gaiola do motor por excesso de partidas.

O dimensionamento dos conjuntos deve ser adequado às condições de trabalho, notando-se que o superdimensionamento pode ser tão ou mais prejudicial que o subdimensionamento, no que tange ao consumo excessivo de energia elétrica. O dimensionamento deve levar em conta a necessidade de transferências de volumes ao longo do tempo evitando-se o número excessivo de partidas.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar métodos expeditos para determinação do rendimento dos conjuntos e seu consumo específico, com equipamentos de medição de uso geral da maior parte das prestadoras, e de fácil obtenção no mercado caso não estejam disponíveis na empresa. A finalidade é possibilitar uma indicação rápida no campo das condições de funcionamento de elevatórias. Caso se obtenha números muito baixos para os rendimentos, uma análise mais aprofundada deve ser feita, com medições simultâneas mais completas e de mais longo prazo.

São apresentadas planilhas para automatizar os cálculos, utilizando como entrada os dados medidos no campo, quando a Empresa não tiver registros confiáveis de valores operacionais elétricos (corrente, tensão, potência e fator de potência) e hidráulicos (vazão e altura manométrica) dos grupos em operação.

Esta metodologia foi utilizada para o diagnóstico preliminar efetuado por consultores do Programa de Modernização do Setor Saneamento – PMSS em diversas operadoras de sistemas de abastecimento de água de diversas regiões do País, selecionadas por meio da Chamada Pública CP 004/2005, do PMSS/SNSA/MCIDADES, em cujos sistemas projetos demonstrativos, visando o gerenciamento integrado de perdas e o uso eficiente de energia elétrica, estão sendo desenvolvidos e implantados em parceria com o PMSS.

METODOLOGIA UTILIZADA

A necessidade de efetuar medições no local da instalação para avaliação do desempenho dos equipamentos de bombeamento decorre das seguintes constatações:

- Os dados de placa cadastrados são geralmente incompletos ou desatualizados, exigindo confirmação no campo;
- As condições operacionais são usualmente diferentes das condições nominais;
- As leituras periódicas dos instrumentos existentes elétricos e hidráulicos não são sincronizadas, dificultando a determinação do ponto de operação.

As equações (1) e (2) abaixo exemplificam o conceito de obtenção da potência no eixo (em kW) tanto pela vertente elétrica quanto pela vertente hidráulica. As unidades devem ser : V (volt); I (ampere); Q (m^3/s); H_{man} (mca). Considera-se a massa específica da água como 1000 kg/m^3 e a gravidade como $9,81 \text{ m/s}^2$, condição



que nem sempre é real. Entretanto, repita-se, estamos tratando aqui de um método simplificado, de modo que estamos aceitando uma menor confiabilidade para os resultados. Caso a potência na rede possa ser obtida diretamente, não é necessário calcular com os valores de corrente, tensão e fator de potência.

O rendimento do conjunto é o produto dos rendimentos dos componentes motor e bomba, é o que se determina dividindo a potência hidráulica de saída pela potência elétrica de entrada (equação 3). A medição em separado do rendimento de cada componente exige a medição da potência no eixo, que é o produto do torque pela velocidade angular. A medição da velocidade pode ser efetuada por um tacômetro, porém a determinação do torque exigiria alterações no acoplamento para introdução de um torquímetro, o que resulta geralmente na inviabilidade desta medição no campo, devendo o teste ser efetuado em laboratório. Conhecido, entretanto, o rendimento do conjunto, pode-se estimar a partir de dados de placa do equipamento mais novo o rendimento do outro componente.

$$P_{eixo} (kW) = \frac{V \times I \times \cos \varphi \times \sqrt{3}}{1000} \times \eta_{motor} = \frac{9,81 \times Q \times H_{man}}{\eta_{bomba}} \quad \text{Equação (1)}$$

$$H_{MAN} = \left(P_{rec} + \frac{v_{rec}^2}{2 \times 9,81} \right) - \left(P_{suc} + \frac{v_{suc}^2}{2 \times 9,81} \right) \quad \text{Equação (2)}$$

Para uma avaliação expedita, geralmente pode-se desprezar as diferenças de velocidade nas parcelas acima. Desta forma tem-se uma idéia rápida no campo da altura manométrica que a bomba está fornecendo.

$$\eta_{conj} = \eta_{motor} \times \eta_{bomba} = \frac{9,81 \times Q \times H_{man}}{\left(\frac{V \times I \times \sqrt{3} \times \cos \varphi}{1000} \right)} \quad \text{Equação (3)}$$

Assim, requerem-se medições simultâneas destas cinco grandezas (V, I, Fator de Potência, Q e H_{man}), o que nem sempre é possível por características específicas da instalação, adiante discutidas, juntamente com as alternativas para contornar o problema.

O consumo específico de energia elétrica em bombeamento, largamente utilizado no setor, é a relação entre o consumo de energia (kWh) de um determinado grupo e o volume bombeado (m^3) pelo grupo na unidade de tempo. Para sua determinação, portanto, são necessários *registros* dessas grandezas durante o mesmo período de tempo. Na falta desses registros, deve-se observar que o regime de operação no momento da medição corresponda à condição predominante para o conjunto em questão, obtendo-se, *por esta consideração de potência elétrica e vazão constantes* a fórmula de aproximação adotada:

$$CE = kWh / m^3 = [Potência elétrica medida (kW) \times tempo (hora)] / [Volume bombeado (m^3)] \quad \text{Equação (4)}$$



EQUIPAMENTOS E MÉTODOS USADOS PARA AS MEDIÇÕES

Para a finalidade almejada, a instrumentação mínima necessária é:

- Multimetro (monofásico ou trifásico) de grandezas elétricas (corrente, tensão, potência e fator de potência).
- Manômetro para medição da pressão de sucção e pressão de recalque.

São requeridos ainda os dados relativos a:

- Desnível geométrico na sucção e no recalque das bombas, para possibilitar a análise da parcela da altura manométrica correspondente às perdas de carga;
- Registro de valores dos volumes bombeados.

Na ausência de registros das vazões e dos volumes, em uma rápida avaliação de campo, algumas formas indiretas e expeditas de determinação da vazão podem ser utilizadas, como a medição do volume fornecido através da variação de nível de um reservatório a jusante e o tempo correspondente de operação do conjunto, como apresentado adiante, na seção de resultados de testes efetuados no campo (Figuras 6 e 7). Em alguns casos podem-se efetuar medições pitométricas de vazão em tomadas nas adutoras entre a captação e a ETA; em outros se podem recorrer à vazão obtida na calha Parshall da entrada da ETA, ou utilizar as indicações de medidor ultrassônico na mesma localização.

Especial atenção deve ser dada ao método de medição da potência com instrumento monofásico, verificando-se a correspondência das tensões com as correntes, de forma a garantir que a soma das leituras represente a potência elétrica de entrada. O Manual de Instruções do medidor fornece os esquemas para a ligação das pontas de prova de tensão associada à corrente de fase medida por meio do alicate ou garras de corrente. Em qualquer caso, deve ser estimada ou calculada a ordem de grandeza dos valores de corrente, para ajuste da escala ou escolha da garra ou espira de corrente do aparelho, bem como garantir que o ajuste da escala de tensão (AC/DC; 0-240 V;-600V) seja o correto dentro das circunstâncias.

Com 3 leituras de Tensão entre fase e neutro e correntes de linha:

$$P_{elet} = V_a \times I_a + V_b \times I_b + V_c \times I_c \quad \text{Equação (5)}$$

Com 2 leituras de tensão entre fases e correntes de linha (método dos dois wattímetros):

$$P_{elet} = V_{ab} \times I_a + V_{cb} \times I_c \quad \text{Equação (6)}$$

Este método só é exato se $I_a + I_b + I_c = 0$, ou seja, se não houver corrente no condutor neutro, caracterizando um sistema perfeitamente equilibrado (ou sem neutro acessível).

Deve-se verificar a existência de efetivo aterramento do painel onde for efetuada a medição elétrica, visto que o deslocamento do neutro prejudicará a leitura de valores de tensão fase-neutro e, conseqüentemente, a determinação da potência, quando se usar a carcaça do painel como referência, na ausência da barra de neutro.

Para garantir a simultaneidade das leituras das grandezas elétricas e das pressões (junto aos conjuntos) e das vazões, cuja instrumentação pode estar em localização remota, devem ser tomadas providências simples, mas efetivas, tais como:

- Sincronização dos relógios da equipe;
- Anotação dos horários das leituras;
- Aparelhos de comunicação (*walkie-talkie*) ou telefonia entre as áreas envolvidas;



- Em caso de mudança no regime operacional, como por exemplo: entrada ou saída de conjuntos; adutoras em paralelo ou em operação individual; aguardar a estabilização do transitório causado pela manobra para proceder às medições.



CONCEITUAÇÃO DE CONSUMO ESPECÍFICO NORMALIZADO (CEPEL, 2006)

O consumo específico de energia elétrica em bombeamento, largamente utilizado no setor, é a relação entre o consumo de energia (kWh) de um determinado grupo e o volume bombeado (m³) pelo grupo na unidade de tempo. Tendo em vista as diferentes condições operativas de conjuntos motobombas, uma forma de comparar seus desempenhos é a determinação de seus consumos específicos normalizados, ou seja referidos à mesma altura manométrica (caso se queira comparar a eficiência dos **equipamentos** motobombas) ou geométrica (caso se queira comparar a eficiência do **processo** de bombeamento, ou seja, as perdas de carga à jusante da bomba influenciam no índice).

Os indicadores aqui discutidos podem compor o desenvolvimento de sistemas de informações das operadoras de saneamento que permitam melhorar o gerenciamento do uso da energia elétrica, bem como compor metodologias de avaliação de projetos apoiados por entidades gestoras de recursos para financiamento.

A disseminação do uso destes indicadores no setor permitiria o estabelecimento de *benchmark*, e poderia subsidiar as políticas públicas de incentivo à eficiência energética.

Consumo Específico De Energia Elétrica

Este indicador, já definido neste trabalho, reflete a eficiência do conjunto motobomba misturada com a eficiência do sistema hidráulico a jusante da bomba. Este indicador é útil para acompanhar o desempenho de uma mesma instalação de bombeamento ao longo do tempo, mas não se presta a comparar o desempenho de estações de bombeamento distintas, sendo esta a sua principal limitação. Isto se deve ao fato de que diferentes sistemas recalcam água a diferentes alturas manométricas, em diferentes configurações hidráulicas, consumindo naturalmente diferentes quantidades de energia, ainda que o rendimento dos equipamentos seja igual.

Consumo Específico De Energia Normalizado

A IWA (International Water Association), propôs reduzir as alturas manométricas de diferentes instalações a uma altura única, de modo a permitir a comparação do desempenho destas. Assim, foi criado o *CEN – Consumo Específico de Energia Elétrica Normalizado*, que pode ser assim definido:

*“Quantidade média de energia gasta para elevar 1 metro cúbico de água a 100 m de **altura** por meio de instalações de bombeamento”. Este indicador pode ser entendido como uma medida indireta do rendimento médio dos conjuntos motobomba.*

$$CEN = \frac{ConsEnergia}{VolBombeado \times \left(\frac{Hman}{100} \right)}, \text{ em termos de unidades, } CEE = \frac{kWh}{m^3(normalizado)} \quad \text{Equação (7)}$$

Ou seja, para uma determinada instalação de bombeamento, o CEN varia linearmente e de forma inversamente proporcional com o rendimento do conjunto motobomba, ou em outras palavras, na medida em que o rendimento aumenta, o consumo de energia diminui e por consequência CEN diminui. Conhecidas três variáveis da equação abaixo, a quarta é determinada.

$$\frac{\eta_{inicial}}{\eta_{final}} = \frac{CEN_{final}}{CEN_{inicial}} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde o lado esquerdo da equação representa a relação entre o rendimento inicial do conjunto motobomba e o seu rendimento final. Demonstra-se que um valor de CEN igual a 0,5 representa um rendimento médio dos conjuntos de 54% (ver Figura 1).



Este indicador tornou-se útil para comparar o desempenho de estações de bombeamento com alturas manométricas diferentes. Ele se presta a uma avaliação da eficiência dos conjuntos motobomba, entretanto, ainda não permite comparar a eficiência dos sistemas hidráulicos à jusante das bombas, uma vez que a altura manométrica total H_{man} é:

$$H_{man} = \text{Desnível Geométrico} + \text{Perdas de Carga no sistema hidráulico} \quad \text{Equação (9)}$$

Esta equação nos diz ainda que, do ponto de vista de um conjunto motobomba, não importa se o que ele tem que vencer é desnível geométrico ou perda de carga nas linhas de recalque. Como sistemas diferentes com mesma altura manométrica podem ter sistemas hidráulicos à jusante das bombas com eficiências muito diferentes, para este indicador altura manométrica transforma-se apenas em “altura de 100 metros”, razão pela qual ele está avaliando apenas a eficiência média dos conjuntos moto bombas sem incluir a eficiência dos sistemas hidráulicos à jusante da bomba.

O documento chamado “Indicadores de Desempenho em Serviços de Abastecimento de Água” (versão portuguesa do documento *Performance indicators for water supply services, da IWA, 2000, Alegre et al*) assim define este indicador conforme o quadro mostrado abaixo (Figura 1).

PhI -Consumo de energia Normalizado	Energia total consumida nas estações elevatórias durante o período de referência / Σ (volume bombeado durante o período de referência x altura manométrica / 100)
	$PhI = D1/D3$
$N2$ (kWh/m ³ /100 m)	<i>Este indicador pode ser calculado para períodos inferiores ao ano mas, nesses casos, tanto as comparações internas como externas devem ser feitas com prudência. Este indicador consiste na quantidade média de energia consumida por m³ a uma altura manométrica de 100 m. Como referência, este indicador é normalmente da ordem de 0,5 kWh/m³ para 100 m. É o inverso da eficiência média de bombeamento do grupo. 0,5 kWh/m³ para 100 m corresponde a uma eficiência média de bombeamento de $9810 \text{ N} \times 100 \text{ m} / (3600 \text{ J/Wh}) / 500 \text{ Wh} \times 100 = 54\%$</i>

Figura 1: Definição do Indicador segundo a IWA (IWA, 2000)

Definição das informações constantes na fórmula de cálculo do indicador (IWA, 2000)

D1 – CONSUMO DE ENERGIA PARA BOMBEAMENTO

Energia total consumida em instalações de bombeamento de água (excluindo os sistemas de bombeamento particulares), durante o período de referência.

Esta variável é a soma do consumo real de energia de todo o equipamento de bombeamento de água do sistema e deve ser avaliada a partir dos contadores de consumo de energia.

D3 – FATOR DE UNIFORMIZAÇÃO

Soma de $D3(i)$, para todas as bombas do sistema, sendo:

$D3(i) = V(i) \times h(i) / 100$, onde V é o volume (m³) bombeado pela bomba i no período de avaliação e $h(i)$ é a altura manométrica (m) da bomba.

Para as bombas com variação significativa da altura manométrica ao longo do ano, pode ser necessário subdividir o ano num número limitado de intervalos de tempo. Por exemplo, se durante 1/3 do ano uma bomba elevar uma vazão de 10 m³/h a uma altura manométrica de 50 m, e durante 2/3 do ano 12 m³/h a uma altura de 42 m, $D3(i)$ será:

$$D3(i) = ((10 \times 24 \times 365/3) \times 50 + (12 \times 24 \times 365 \times 2/3) \times 42) / 100$$



Em qualquer um dos casos, a contribuição de pequenas bombas pode ser desprezada se a sua influência no grau de confiança da variável for insignificante.

Consumo específico de energia elétrica normalizado incluindo a eficiência hidráulica a jusante das bombas

Considerando que no Brasil é relativamente comum encontrar-se sistemas de bombeamento com elevadas perdas de carga nas linhas de recalque, técnicos brasileiros do setor, por analogia com o CEN, propuseram o cálculo do CON_{hid} Consumo Específico de Energia Normalizado Inclusive a Eficiência Hidráulica a jusante das bombas, que pode ser assim definido (CEPEL, 2006):

*“Quantidade média de energia gasta para elevar 1 metro cúbico de água a 100 m de **desnível geométrico** mais perdas de carga a jusante das bombas, por meio de instalações de bombeamento”. Desta forma pode ser entendido como uma medida da eficiência média tanto dos conjuntos moto bomba quanto dos sistemas hidráulicos a jusante das bombas.*

$$CON_{hid} = \frac{ConsEnergia}{VolBombeado \times \left(\frac{DesnGeom}{100} \right)}, \quad \text{Equação (10)}$$

com as mesmas unidades do CEN, e Fator de Uniformização calculado da mesma forma que para o CEN.

Como se vê, neste indicador importa o desnível geométrico que a instalação tem que vencer ao invés da altura manométrica total. Este indicador, tal como o CEE, reflete a eficiência dos conjuntos moto bomba em conjunto com a eficiência dos sistemas hidráulicos a jusante das bombas, com a diferença de que agora permite a comparação entre diferentes estações de bombeamento sem desprezar a eficiência hidráulica nas linhas de recalque. Este indicador tem sido raramente praticado no Brasil, praticamente só a nível experimental.

A normalização dos desníveis geométricos de diferentes instalações para um mesmo valor (no caso, 100 metros), permite que o consumo de energia devido às perdas de carga nos sistemas hidráulicos a jusante das bombas possa ser separado para todo um parque de bombas, de forma relativa, como se verá a seguir.

Participação das perdas de carga (P_{pc}) no consumo de energia do parque de bombeamento (ref.)

Uma vez que sejam calculados os indicadores CON_{hid} e CEN para um determinado parque de bombas a participação relativa, em percentual, das perdas de carga dos sistemas hidráulicos a jusante das bombas no consumo de energia total pode ser inferida através da seguinte relação:

$$P_{pc} = \left(1 - \frac{CEN}{CON_{hid}} \right) \times 100 \quad \text{Equação (11)}$$

A proposição deste indicador no saneamento é inovadora. Não se conhece nenhuma empresa que esteja praticando este indicador, talvez pela complexidade operacional do sistema de informações necessário para calcular os indicadores de consumos específicos normalizados. Se o cálculo do CEN e do CON_{hid} for institucionalizado em alguma empresa, o cálculo da participação das perdas de carga no consumo de energia de todo um parque de equipamentos torna-se banal. Para uma determinada instalação de bombeamento a P_{pc} possa ser calculada de forma bastante simples sem a utilização do CEN e do CON_{hid} (conhecendo-se o Desnível Geométrico e a Altura Manométrica Total).

A aplicação deste indicador a um parque de bombas pode ser importante para avaliar a qualidade dos projetos aplicados, do ponto de vista da eficiência energética das instalações hidráulicas, subsidiando as ações para a melhoria da eficiência nos bombeamentos, podendo ser aplicado a subconjuntos do sistema, tais como:

- Todos os poços operados pela empresa, em um determinado aquífero;
- Todos os poços operados pela empresa;



- Todas as bombas de eixo vertical;
- Etc.

MODELOS PARA TABULAÇÃO DOS DADOS DAS MEDIÇÕES E PLANILHAS ELETRÔNICAS PARA TRATAMENTO DOS DADOS E OBTENÇÃO DOS RESULTADOS.

Como parte das atividades constantes do diagnóstico preliminar dos sistemas das operadoras selecionadas na Chamada Pública CP 004/2005, do PMSS/SNSA/MCIDADES, procederam-se a medições de rendimento e determinação do consumo específico de energia (CEE) e do consumo específico normalizado (CEN) dos principais conjuntos de bombeamento das operadoras, selecionados em função do potencial de economia estimado tanto pela potência do conjunto como pela análise tarifária da Unidade Consumidora.

Para facilitar a tabulação e tratamento dos dados, foram elaboradas Planilhas Padronizadas, tipos A e B.

Na Planilha tipo A (Figuras 2 e 3) lançam-se os dados medidos e os dados de placa, com as principais características dos equipamentos, e através de estimativas para o rendimento de um deles (motor ou bomba), obtém-se o rendimento do outro (bomba ou motor).

A Planilha tipo B (Figuras 4 e 5) é mais específica, e permite lançar dados de medições monofásicas para chegar ao rendimento global do conjunto e, a partir de informações ou estimativa sobre o rendimento do motor, calcular o rendimento da bomba. Nela encontram-se colunas para cálculo do consumo específico e do consumo específico normalizado dos conjuntos em operação individual ou em combinações em paralelo.

A sequência de lançamento das informações na Planilha do tipo A é a seguinte:

- a) Para cada instalação, caracterizada nas colunas A até D, indicar nas colunas E até P as características gerais dos conjuntos motobombas.
- b) Obter os dados de placa (inspeção visual) e preencher as células em branco nas linhas "Dados de Placa" para os motores e bombas de cada grupo. (Os dados deverão ser comparados aos dados eventualmente existentes no cadastro).
- c) Com o multímetro de alicate obter os dados elétricos dos motores em operação e compará-los com as indicações de instrumentos eventualmente instalados nos painéis, como amperímetros, voltmímetro, wattímetros e indicadores de fator de potência, ou com as indicações de "soft-starters" ou inversores de frequência usados para partida ou operação dos grupos.
- d) Preencher as células em branco nas linhas "Valores medidos" para os motores.
- e) Com o manômetro medir, nas tomadas apropriadas existentes, as pressões na sucção e no recalque das bombas dos grupos em operação e os desníveis geométricos respectivos, com a bomba desligada.
- f) Se não houver macromedição com registro de valores de vazões e/ou volumes, a vazão deverá ser obtida pelos meios disponíveis (leitura em calhas Parshall simultâneas às medições das pressões, pitometria, medidor ultrassônico etc.).
- g) As células das linhas "Valores calculados" serão automaticamente processadas.
- h) A potência no eixo pode ser estimada em função da potência elétrica medida e do rendimento do motor(dado de placa)
- i) Se houver medição de vazão do grupo, o rendimento da bomba será calculado em função da potência no eixo, vazão e pressão manométrica.
- j) Não havendo valores de vazão medidos, serão adotados dados de catálogos para o rendimento da bomba, e, em função da potência no eixo, rendimento da bomba e pressão manométrica, será determinada a vazão.
- k) Não havendo valores de vazão medidos nem dados de catálogos para o rendimento da bomba, será adotado o valor de 70% para o rendimento e a vazão calculada pelo mesmo processo do item h acima.

Observar que:

- a) A célula "Potência (%)" indica a condição de carregamento do motor, permitindo determinar se o mesmo encontra-se dimensionado corretamente ou se está sub ou superdimensionado.



- b) A célula "Rendimento" para a bomba, caso determinada através da medição de vazão (item i do parágrafo 4 acima) serve como uma indicação sobre o estado do equipamento.
- c) As variáveis hidráulicas comparadas com os desníveis geométricos poderão fornecer subsídios para a avaliação das condições da rede abastecida pelo grupo.



RESULTADOS OBTIDOS EM MEDIÇÕES EFETUADAS EM PRESTADORAS DE SERVIÇO DURANTE A FASE DE DIAGNÓSTICO EFETUADA POR CONSULTORES DO PMSS;

As planilhas tipo A e B das Figuras 2 a 5 apresentam dados das medições, coletas de dados e cálculos efetuados em instalações de uma das operadoras selecionadas.

A planilha tipo C (Figuras 6 e 7) foi elaborada para um teste específico de determinação da vazão de bombas de alimentação de um reservatório elevado em forma de prisma retangular, a partir da observação da variação do nível da água no reservatório, quando alimentado por cada um dos grupos individualmente ou por ambos em paralelo, com as saídas fechadas. O cálculo do volume bombeado no tempo medido foi feito considerando a área da base do reservatório e a variação do nível. A vazão é a relação entre o volume bombeado e o tempo de bombeamento.

Localização	Identificação	Fabricante	Modelo	Data
Captação XXXXXXXXXX (uma adutora) Grupos operando sozinhos	Conjunto MB-001	Motor WEG	6944-0735 AM228/3714	27.06.06 10:04
		Bomba KSB	WKL 150/3	
	Conjunto MB-002	Motor WEG	6002-7943 16B26/2364	27.06.06 10:28
		Bomba KSB	WKL 150/3	
	Conjunto MB-003	Motor WEG	6944-0735 AM208/3467	28.06.06 10:58
		Bomba KSB	WKL 150/3	
	Conjunto MB-004	Motor WEG	AB 99057	27.06.06 09:13
		Bomba KSB	WKL 150/3	
	Conjunto MB-005	Motor Buffalo	T 505 Y2 B 1847-1	27.06.06 09:45
		Bomba KSB	WKL 150/3	
Captação XXXXXXXXXX (uma adutora) (MB-001 + MB-002 + MB-003)	Conjunto MB-001	Motor WEG	6944-0735 AM228/3714	28.06.06 10:25
		Bomba KSB	WKL 150/3	
	Conjunto MB-002	Motor WEG	6002-7943 16B26/2364	28.06.06 10:18
		Bomba KSB	WKL 150/3	
	Conjunto MB-003	Motor WEG	6944-0735 AM208/3467	28.06.06 10:13
		Bomba KSB	WKL 150/3	

Figura 2: Planilha do tipo A, identificação dos conjuntos de bombeamento.



Dados característicos (de placa, medidos ou verificados no campo e calculados)									
Grandezas motor	Potência(kW)	Potência(cv)	Potência(%)	Tensão (V)	Corrente (A)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Fator Pot.
Valores medidos	221,1			379,9	379,3				
Dados de placa		300		380		1780	0,85		
Valores cálculo	221,11	255,35	85,12%	379,9	379,3		0,85	187,94	0,886
Grandezas bomba	Vazão (m³/h)	Psuc (mca)	DGsuc (mca)	Prec (mca)	H man (mca)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Rotor
Valores medidos	410,04	-2,8		112					
Dados de placa	360				122				330
Valores cálculo	410,04				114,8		0,683	187,94	
Grandezas motor	Potência(kW)	Potência(cv)	Potência(%)	Tensão (V)	Corrente (A)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Fator Pot.
Valores medidos	227,1			381,4	399				
Dados de placa		300		380		1780	0,85		
Valores cálculo	227,11	262,28	87,43%	381,4	399		0,85	193,04	0,862
Grandezas bomba	Vazão (m³/h)	Psuc (mca)	DGsuc (mca)	Prec (mca)	H man (mca)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Rotor
Valores medidos	391,68	-2,6		115					
Dados de placa	360				122				330
Valores cálculo	391,68				117,6		0,650	193,04	
Grandezas motor	Potência(kW)	Potência(cv)	Potência(%)	Tensão (V)	Corrente (A)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Fator Pot.
Valores medidos	236,4			383,1	404,7				
Dados de placa		300		380		1780	0,85		
Valores cálculo	236,41	273,02	91,01%	383,1	404,7		0,85	200,95	0,880
Grandezas bomba	Vazão (m³/h)	Psuc (mca)	DGsuc (mca)	Prec (mca)	H man (mca)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Rotor
Valores medidos	428,4	-2,9		110					
Dados de placa	360				122				330
Valores cálculo	428,40				112,9		0,656	200,95	
Grandezas motor	Potência(kW)	Potência(cv)	Potência(%)	Tensão (V)	Corrente (A)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Fator Pot.
Valores medidos	223,9			386,8	384				
Dados de placa		300		380		1780	0,85		
Valores cálculo	223,91	258,59	86,20%	386,8	384		0,85	190,32	0,870
Grandezas bomba	Vazão (m³/h)	Psuc (mca)	DGsuc (mca)	Prec (mca)	H man (mca)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Rotor
Valores medidos	384,48	-3,1		113					
Dados de placa	360				122				330
Valores cálculo	384,48				116,1		0,639	190,32	
Grandezas motor	Potência(kW)	Potência(cv)	Potência(%)	Tensão (V)	Corrente (A)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Fator Pot.
Valores medidos	238,2			385,8	400				
Dados de placa		300		380		1780	0,85		
Valores cálculo	238,21	275,10	91,70%	385,8	400		0,85	202,48	0,891
Grandezas bomba	Vazão (m³/h)	Psuc (mca)	DGsuc (mca)	Prec (mca)	H man (mca)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Rotor
Valores medidos	446,04	-3,2		118					
Dados de placa	360				122				330
Valores cálculo	446,04				121,2		0,728	202,48	
Grandezas motor	Potência(kW)	Potência(cv)	Potência(%)	Tensão (V)	Corrente (A)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Fator Pot.
Valores medidos	211,7			380	362,7				
Dados de placa		300		380		1780	0,85		
Valores cálculo	211,71	244,50	81,50%	380	362,7		0,85	179,95	0,887
Grandezas bomba	Vazão (m³/h)	Psuc (mca)	DGsuc (mca)	Prec (mca)	H man (mca)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Rotor
Valores medidos	324,91	-2,6		130					
Dados de placa	360				122				330
Valores cálculo	324,91				132,6		0,652	179,95	
Grandezas motor	Potência(kW)	Potência(cv)	Potência(%)	Tensão (V)	Corrente (A)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Fator Pot.
Valores medidos	210			379,3	369,2				
Dados de placa		300		380		1780	0,85		
Valores cálculo	210,01	242,53	80,84%	379,3	369,2		0,85	178,51	0,866
Grandezas bomba	Vazão (m³/h)	Psuc (mca)	DGsuc (mca)	Prec (mca)	H man (mca)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Rotor
Valores medidos	311,42	-2,6		128					
Dados de placa	360				122				330
Valores cálculo	311,42				130,6		0,621	178,51	
Grandezas motor	Potência(kW)	Potência(cv)	Potência(%)	Tensão (V)	Corrente (A)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Fator Pot.
Valores medidos	226,3			380,9	389,8				
Dados de placa		300		380		1780	0,85		
Valores cálculo	226,31	261,36	87,12%	380,9	389,8		0,85	192,36	0,880
Grandezas bomba	Vazão (m³/h)	Psuc (mca)	DGsuc (mca)	Prec (mca)	H man (mca)	Rot. (rpm)	Rendimento	Peixo(kW)	Rotor
Valores medidos	342,88	-3		126					
Dados de placa	360				122				330
Valores cálculo	342,88				129		0,627	192,36	

Figura 3: Planilha do tipo A - Dados medidos, lidos, estimados e calculados para os grupos da figura 2.



LOCAL	DATA	HORA	Tensão fase-fase (V)			Vmédio fase-fase (V)	Corrente na linha (A)			Imédio (A)
			Vab	Vbc	Vca		IA	IB	IC	
Duas adutoras em paralelo										
Captação XXXXXXX (MB1+MB2+MB4+MB5) MB1	26.06.06	09:32	379,2	376,9	378,0	378,0	405,0	391,0	393,0	396,3
Captação XXXXXXX (MB1+MB2+MB4+MB5) MB2	26.06.06	09:38	375,0	377,3	376,0	376,1	375,0	377,5	380,0	377,5
Captação XXXXXXX (MB1+MB2+MB4+MB5) MB4	26.06.06	09:43	379,5	378,2	379,6	379,1	383,0	377,0	371,0	377,0
Captação XXXXXXX (MB1+MB2+MB4+MB5) MB5	26.06.06	09:48	381,0	379,5	381,5	380,7	397,2	390,0	387,0	391,4
Captação XXXXXXX (MB1+MB2+MB3+MB4) MB1	26.06.06	10:12	381,8	379,8	380,6	380,7	400,0	386,0	387,0	391,0
Captação XXXXXXX (MB1+MB2+MB3+MB4) MB2	26.06.06	10:08	378,0	378,6	379,6	378,7	372,0	372,8	381,0	375,3
Captação XXXXXXX (MB1+MB2+MB3+MB4) MB3	26.06.06	10:02	379,3	377,2	377,8	378,1	380,0	366,0	363,0	369,7
Captação XXXXXXX (MB1+MB2+MB3+MB4) MB4	26.06.06	10:18	385,5	384,5	386,6	385,5	384,0	373,0	370,0	375,7

Figura 4: Planilha tipo B – Caracterização da operação, dados medidos e dados calculados (em amarelo).

Potência monofásica (kW)			Potência total (kW)	Vazão Q (l/s)	Hrec (mca)	Hsuc (mca)	Fator de potência	Vazão Q (m³/h)	Consumo específico (kWh/m³)	Cons.Esp. Normalizado CEX(100/Hman)	Rend.do grupo moto bomba
PA	PB	PC									
77,4	74,4	76,0	227,8	402,5	124,0	-2,6	0,878	1449,0	0,615	0,488	0,558
70,4	71,2	71,9	213,5		124,0	-2,6	0,868				
73,7	73,3	71,5	218,5		122,0	-2,8	0,883				
77,9	77,1	75,8	230,8		122,0	-3,6	0,894				
			890,6	395,2				1422,7	0,618	0,490	0,556
78,1	75,0	76,0	229,1		124,0	-3	0,889				
71,2	71,4	72,5	215,1		124,0	-2,6	0,874				
73,7	70,2	71,3	215,2		124,0	-2,6	0,889				
74,9	73,5	71,6	220,0		121,0	-3,2	0,877				

Figura 5: Planilha tipo B –Dados medidos e dados calculados (em amarelo).

LOCAL	DATA	TEMPO (min)	Variação de Nível (m)	Tensão fase-fase (V)			Vmédio fase-fase (V)	Corrente na linha (A)			Imédio (A)
				Vab	Vbc	Vca		IA	IB	IC	
ETA Bomba 1	28.06.06	15	1,49	386,5	387,9	386,6	387,0	26,2	27,1	26,1	26,5
ETA Bomba 2	28.06.06	10	1,08	384,0	385,8	383,5	384,4	27,3	28,3	27,1	27,6
ETA (B1+B2) Bomba 1	28.06.06	10	1,58	382,9	385,4	383,4	383,9	24,6	25,8	24,8	25,1
ETA (B1+B2) Bomba 2	28.06.06			382,5	385,1	382,9	383,5	25,3	26,4	25,4	25,7

Figura 6: Planilha tipo C – Caracterização da operação, dados medidos e dados calculados (amarelo).

Potência monofásica (kW)			Potência total (kW)	Vazão Q (l/s)	Hrec (mca)	Hsuc (mca)	Fator de potência	Vazão Q (m³/h)	Consumo específico (kWh/m³)	Cons.Espec. Normalizado (kWh/m³)x (100/Hman)	Rend.do grupo moto bomba	Rend. do motor (dado de placa)	Rend. da bomba
PA	PB	PC											
5,1	5,2	5,1	15,4	46,3	14,0	-2,4	0,868	166,9	0,092	0,563	0,484	0,89	0,544
5,2	5,3	5,0	15,5	50,6	16,0	-2,6	0,844	182,0	0,085	0,458	0,595	0,89	0,669
5,1	5,2	4,8	15,1	74,0	16,0	-2,2	0,906	266,3	0,113	0,585	0,466		
5,1	5,1	4,8	14,9		18,2	-2,1	0,873						
			30,0										

Figura 7: Planilha tipo C –Dados medidos e dados calculados (em amarelo).



CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em que pese muitas vezes a precariedade dos dados e as limitações de um método expedito, foi possível concluir que havia fortes evidências da necessidade de medições mais rigorosas para apropriação de possíveis ganhos por efficientização, visto que:

- A maior parte dos conjuntos estudados encontrava-se com rendimentos inferiores aos valores de placa ou indicados nas curvas de catálogo dos fabricantes;
- As vazões foram muitas vezes estimadas, pela ausência de medidores.
- Tensões e correntes desbalanceadas são regra geral nas instalações medidas.
- Foram observadas instalações sem aterramento e proteção contra descargas atmosféricas, que podem expor equipamentos de medição e registro, tais como sensores, transdutores e *dataloggers*, a danos irreversíveis.
- Não é usual a medição do rendimento dos conjuntos ou levantamento das curvas do sistema.

Como decorrência do presente trabalho, espera-se que as operadoras de sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário sintam-se estimuladas a praticar rotinas operacionais para:

- Verificação periódica do rendimento dos grupos motobombas;
- Verificação periódica do estado das tubulações, e levantamento de curvas do sistema;
- Definição quanto a substituição de motores por outros de alto rendimento;
- Ações de melhoria operacional com foco no controle do processo, com modulações pela demanda, aplicando velocidade variável, otimização dos níveis de flutuação dos reservatórios, etc.
- Medição e registro de volumes produzidos e fornecidos;
- Medição do consumo de energia elétrica dos conjuntos de bombeamento (captação, estações de tratamento, elevatórias e *boosters*);
- Tele-medição, supervisão e telecomando, com ou sem automação, da operação do sistema, priorizando-se o despacho dos conjuntos de melhor desempenho;
- Fornecimento de dados consistentes, sobretudo os necessários para o cálculo do consumo específico de energia elétrica, para o SNIS.

A implementação das rotinas acima sugeridas pode propiciar valiosos elementos para planejamento e operação, e resultar em expressiva economia de consumo de energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INDICADORES DE DESEMPENHO PARA SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. Grupo Especializado de Operação e Manutenção. IWA – International Water Association., 2000
2. FERRAMENTAS METODOLÓGICAS PARA DIAGNÓSTICO SITUACIONAL EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA, documento ainda não publicado. PMSS – Programa de Modernização do Setor Saneamento, SNSA/MCidades. Brasília – DF, 2005.
3. GUIA PRÁTICO PARA ENSAIOS PITOMÉTRICOS. PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, 2005. Disponível em www.cidades.gov.br/pncda.
4. INDICADORES RELACIONADOS AO CONSUMO DE ENERGIA UTILIZÁVEIS EM METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO HIDRÁULICA, documento ainda não publicado. CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Rio de Janeiro – RJ, 2006