

RICARDO PETRILLO SAMPAIO

**DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE INSTALAÇÕES DE
BOMBEAMENTO DE ÁGUA – ESTUDO DE CASO**

Tese apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção
do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

RICARDO PETRILLO SAMPAIO

**DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE INSTALAÇÕES DE
BOMBEAMENTO DE ÁGUA – ESTUDO DE CASO**

Tese apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção
do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 21 de outubro de 2005

Prof. Tarcísio de Assunção Pizziolo
(conselheiro)

Prof. Márcio Mota Ramos

Prof. José Márcio Costa

Prof. Paulo Marcos de Barros Monteiro

Prof. Delly Oliveira Filho
(Orientador)

No final tudo dá certo, se ainda não deu, pois ainda não é o final
(autor desconhecido)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela coragem e força constantes, imprescindíveis à realização deste trabalho.

Aos meus pais, Reinaldo e Benedita e às minhas irmãs Soraia e Sabrina, pela confiança.

Aos meus avós Wilson e Marta, pela ajuda e conselhos.

À Universidade Federal de Viçosa, à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade em realizar este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor e orientador Delly Oliveira Filho, por acreditar no trabalho, não mensurando esforços para sua realização.

Aos professores conselheiros José Helvecio Martins, Tarcísio de Assunção Pizzolo e Everardo Chartuni Mantovani, pela confiança e valiosas sugestões.

Aos professores Evandro, Márcio Mota e Everardo, pelo apoio nos projetos de iniciação científica.

Aos professores da Área de Energia, Paulo Monteiro e José Márcio Costa, pelo auxílio e ensinamentos.

Aos colegas e amigos Carlos Alberto Teixeira e Marcos Caldeira Ribeiro, pela paciência e pelo acompanhamento durante os momentos difíceis.

Aos estudantes da área de energia Cláudia, Daniela e Alexandre pelos momentos de convivência.

A todos os amigos, pelos momentos felizes e agradáveis.

A todos os demais professores, colegas e funcionários que, direta ou indiretamente, participaram da realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

RICARDO PETRILLO SAMPAIO, filho de Reinaldo Rolim Sampaio e Benedita Galela Petrillo Sampaio, nasceu no dia 31 de maio de 1978, em Belo Horizonte, MG.

Em dezembro de 1996, concluiu o segundo grau na Escola Técnica Federal de Ouro Preto, onde cursou Informática Industrial.

Durante o Curso de Graduação na Universidade Federal de Viçosa, participou do Centro Acadêmico de Engenharia Agrícola durante três anos, sendo coordenador no ano de 1999. Nos anos de 1999 e 2000 foi representante regional da união brasileira de estudantes de engenharia agrícola (UBEAGRI). Em 2001, foi diretor técnico da empresa júnior de engenharia agrícola (AGRIJÚNIOR).

No período de fevereiro de 1999 a fevereiro de 2001, atuou como bolsista de iniciação científica da FAPEMIG, na Área de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa

Em maio de 2002, graduou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa.

Em setembro de 2002, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de utilização de energia na agricultura, na Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na racionalização de energia em sistemas de bombeamento de água.

Em abril de 2004, ingressou na Minerações Brasileiras Reunidas, na gerência geral de meio ambiente, onde atua como engenheiro.

Em 21 de outubro de 2005, submeteu-se à defesa de tese para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

ÍNDICE

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
4.1 Metodologia de diagnóstico energético em estação de captação de água.....	11
4.2 Elaboração de um diagnóstico energético em um sistema de captação de água.....	13
4.3 Simulação das ações propostas no diagnóstico energético e avaliação dos resultados.....	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
5.1 Metodologia desenvolvida.....	20
5.2 Diagnóstico realizado.....	22
5.2.1 Avaliação da qualidade de energia elétrica.....	22

5.2.2	Conhecimento da instalação e levantamento das rotinas operacionais.....	28
5.2.3	Avaliações.....	29
5.3	Simulação das ações propostas no diagnóstico energético e avaliação dos resultados.....	34
6.	CONCLUSÃO.....	38
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

RESUMO

SAMPAIO, Ricardo Petrillo, M. S., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2005. **Diagnóstico energético de instalações de bombeamento de água – Estudo de caso.** Orientador: Delly Oliveira Filho. Conselheiros: José Helvécio Martins e Tarcísio de Assunção Pizziolo.

Estações de captação de água para abastecimento de cidades têm a função de retirar a água de seu curso natural ou de um reservatório e transportá-la a uma estação de tratamento. Sabe-se que quase a totalidade da energia consumida é para o funcionamento dos conjuntos motobombas, sendo, portanto, importante conhecer o funcionamento destas máquinas, portanto se faz necessários estudos que objetivam a integração dos dimensionamentos elétricos e hidráulicos, com a avaliação do impacto da qualidade de energia e da automação de estações de captação de água. Tudo isso visando a economia de energia, o controle e a supervisão do sistema e à minimização dos impactos da variação do sinal elétrico. O objetivo geral deste trabalho foi de desenvolver metodologia de diagnóstico energético de instalações de captação de água. Para tal foi estudado e simulado as instalações de captação de água do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa – SAAE, Viçosa, MG. Para o gerenciamento energético de qualquer instalação é requerido o pleno conhecimento dos sistemas energéticos existentes. Sendo assim,

avaliou-se a energia elétrica fornecida pela concessionária em relação ao nível e desbalanceamento do sinal de tensão da rede, o uso adequado do consumo de energia elétrica na estação de captação, e a caracterização das cargas, incluindo: (i) potência nominal e potência em uso; (ii) tensão nominal e de fornecimento; (iii) corrente em função da carga e da tensão de fornecimento; (iv) horas de funcionamento anual; (v) regime de trabalho (vi) procedimentos operacionais, como a forma de partida; e (vi) potência hidráulica útil. A partir destes conhecimentos dimensionou-se individualmente a bomba, o motor elétrico e o conjunto motobomba e com isto foi possível realizar a simulação do consumo e da demanda de energia elétrica para o sistema corretamente dimensionado e simulação de tarifa de energia elétrica ideal para contratação. Concluiu-se que em relação a qualidade da tensão o potencial de economia de energia foi pequeno pois a tensão se encontrou dentro dos padrões, 98,26% na fase A, 97,36% na fase B e 72,36% na fase C e com esta variação de tensão encontrada obteve-se uma diferença final no rendimento de 0,36% na pior situação, portanto devendo-se trabalhar com a tensão na qualidade fornecida sem mexer na estrutura instalada, já em relação a adequação de força motriz e de bombas verificou-se um grande potencial de economia de energia pois na planta atual havia bombas com um rendimento muito baixo e apenas a troca da bomba e do motor no conjunto dois poderia-se obter uma economia de 16,8% apenas no consumo de energia elétrica e na adequação tarifaria verificou-se um grande potencial de economia de energia, pois no contrato atual tem-se bombas com rendimento muito baixo e tarifas não adequadas a situação. O sistema proposto necessitava de um manejo adequado, que permitiria-se chegar a uma economia financeira de 48,18% em todo o sistema.

ABSTRACT

SAMPAIO, Ricardo Petrillo, M.S., Universidade Federal de Viçosa, October 2005. **Energetic diagnosis for a water pumping station – Case study.** Adviser: Delly Oliveira Filho. Committee Members: José Helvecio Martins, and Tarcísio de Assunção Pizziolo.

The water pumping stations for supplying the localities operate by removing the water from its natural course or a reservoir and transporting it to the treatment plant. It is well-known that almost the total consumed energy is to the operation of the power pumping sets, therefore is important to know the operation of these machines. Thus, there is a need for studies that aim the integration of the electric and hydraulic dimensioning, such as, the evaluation of the impact of the energy quality and automation of the water pumping stations, on the energy economies, control and supervision of the system, as well as to the minimization of the impacts from the variation in electric sign. In this context, the present study was carried out to diagnose energetically a water pumping station, as well as to develop a methodology to accomplish the energetic diagnosis in the water pumping system of the Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa – SAAE, Viçosa -MG. The energy management in any facility requires the complete knowledge of the existing energetic systems. Then, the electric power supplied by the utility is evaluated, relative to the level

and imbalance of the network tension sign, whereas the way the electric power is consumed in the water pumping station is studied, by surveying the characteristics of each electric charge, as including: (i) nominal power and power in use; (ii) both nominal and supplied tensions; (iii) current as a function of the load and supplied tension; (iv) yearly operating hours; (iv) work regime; (v) operational procedures, as a starting way; and (vi) effective hydraulic power. Based on this knowledge, the dimensioning were only performed for the pump, the electric motor and both. So, it was possible to simulate the consumption and demand of the electric power for the correctly dimensioned system and to simulate the tariff of the ideal electric power for contract. It is concluded that in relation to tension quality, the energy economy potential is low because the tension is within the standards for 98.26% of the cases at phase A, 97.36% at phase B and 72.36% at phase C, and this variation in the tension provides a final difference of 0.36% in efficiency under the worst situation. Thus, it is advised to work with the tension under the supplied quality, so maintaining the structure as it really is. In relation to the adequacy of the engine power and pumps, a high potential for energy economy is verified, since there are low efficient pumps in the current project, so just changing the pump and engine in set 2 might provide an economy of around 16.8% in the consumption. Concerning to tariff adequacy, there is a high potential for energy economy, since in the current contract the pumping system shows a very low efficiency as well as tariffs not appropriate to the situation. The proposed system needs an adequate management, as an economy of 48.18% in the whole system might be obtained.

1. INTRODUÇÃO

As estações de captação de água para abastecimento de cidades são dimensionados para captar a água de um corpo de água ou de um reservatório e transportá-la para a estação de tratamento. Sabe-se que a quase totalidade da energia consumida é para o funcionamento dos conjuntos motobombas, sendo, portanto, importante conhecer o funcionamento dessas máquinas.

Em estações de captação de água, o motor elétrico é utilizado para atender a energia mecânica demandada pela bomba hidráulica, que, recebe e transmite a água, elevando-a a um nível superior.

Na maioria dos setores econômicos que utilizam tração, os motores elétricos são a principal forma de uso final de energia elétrica (PINHEIRO, 1989), sendo mais usado o motor de indução, inventado por Michael Von Dolivo Dobrowolsky, em 1889, Berlim (KLINE, 1987). Desde então, esse motor vem evoluindo muito, com a diminuição de seu peso e aumento de rendimento em função da melhoria da tecnologia dos materiais isolantes e magnéticos.

A corrente elétrica do estator, o escorregamento, o rendimento e o fator de potência variam de acordo com a carga do motor. As curvas características dos motores indicam os valores típicos desses parâmetros, em função da carga ou índice de carregamento. Normalmente, a curva característica de rendimento de um motor de indução apresenta valores maiores, quando sua carga

encontra-se na faixa de 75 a 100% de sua capacidade nominal, enquanto seu fator de potência atinge o valor máximo de 100 a 125% do índice de carregamento nominal. Portanto, motores com índice de carregamento nominal abaixo de 75% operam com rendimentos menores, pois, requerem, proporcionalmente, maior quantidade de energia elétrica para produzir energia mecânica (WEG, 2003; KOHLBACK, 2003; DORF, 1993).

Os motores de alto rendimento têm vantagens sobre os motores tipo convencional (padrão), tais como: (i) redução do consumo e demanda de energia elétrica; (ii) fator de potência mais elevado; e (iii) operação com temperaturas menores (PROCEL, 2000). Entretanto, estes motores são cerca de 30 a 40% mais caros do que os convencionais de mesma potência.

Para o dimensionamento da potência requerida por um motor, deve-se considerar os fatores de segurança e, ou de acréscimo. No entanto, equipamentos superdimensionados acarretam maiores investimentos iniciais e maiores custos operacionais.

Diante destas informações e considerando-se a existência de centenas de estações de bombeamento em todo do Brasil, torna-se necessária a elaboração de uma metodologia para diagnosticar energeticamente cada uma.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho foi desenvolvido com objetivo de criar metodologia de diagnostico energético para uma estação de captação de água, visando:

- a) elaborar o diagnóstico energético em sistema de captação de água; e
- b) simular a metodologia do diagnóstico energético e avaliar os resultados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

No Brasil, embora a demanda por eletricidade tem crescido a taxas médias em torno de 6% ao ano, aproximadamente, ainda é necessário que continue a crescer. Entretanto, o setor elétrico vem enfrentando restrições econômicas e ambientais à sua expansão. Além disso, as perdas de energia elétrica no sistema e o uso ineficiente de energia elétrica são ainda significativos. Por esta razão, uma nova mentalidade vem se desenvolvendo no sentido do combate ao desperdício de energia elétrica. Nesta linha de atuação, torna-se importante o desenvolvimento de projetos que envolvam o diagnóstico energético e o uso racional de energia elétrica (OLIVEIRA, 1998).

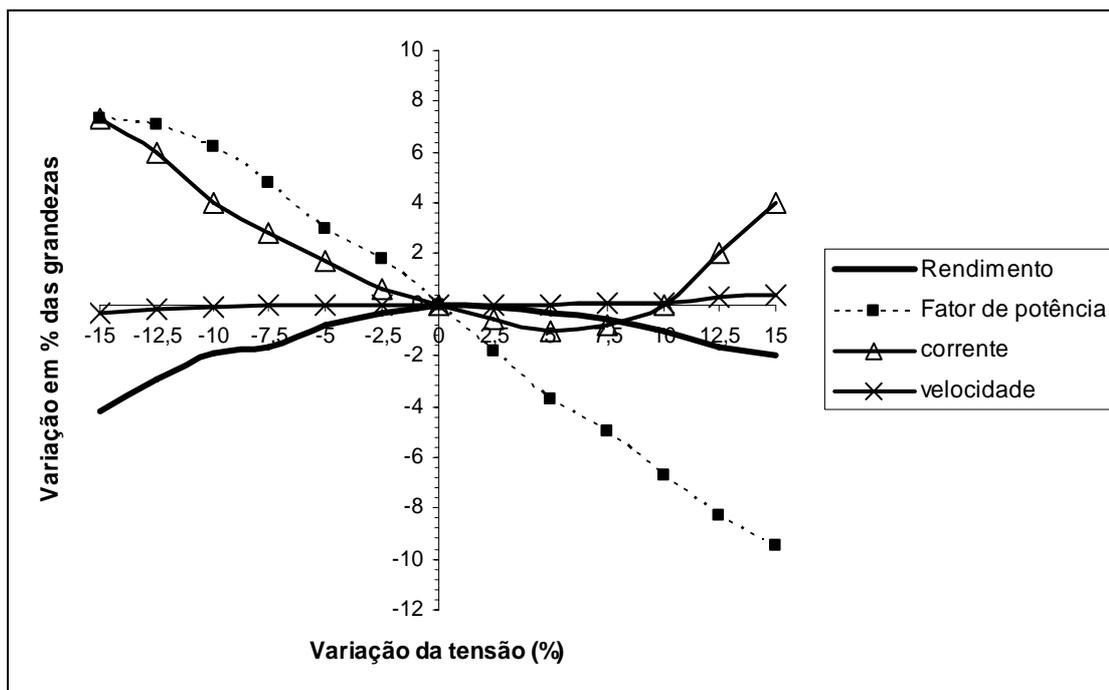
O uso eficiente e a conservação de energia devem ser implementados em todo tipo de unidade consumidora, desde residências e pequenos consumidores na área rural até grandes consumidores, como edificações públicas, centros comerciais, indústrias e estações de captação de água, onde a redução no consumo significa uma importante economia (CEMIG, 2003).

Na avaliação da eficiência energética em estações de captação, torna-se necessário observar alguns pontos importantes: (i) a altura de sucção entre o nível do reservatório e a entrada da bomba deve ser a mínima possível, a fim de possibilitar menor perda na sucção e evitar problemas de cavitação; (ii) a motobomba deve ser instalada de modo a evitar trepidações, além de ser nivelada e alinhada para minimizar perdas; (iii) uma válvula de retenção deve

ser instalada na entrada de água da bomba, para evitar o retorno da água quando o sistema for desligado; (iv) a escolha da bomba deve ser criteriosa, de modo a atender as necessidades de vazão e altura manométrica com o mínimo de potência mecânica; e (v) ao ser ligada, a bomba deve estar escorvada e o registro de saída de água fechado, para que a demanda de energia elétrica seja minimizada na partida.

O elevado consumo de energia elétrica pode ser atribuído ao fato de a altura manométrica do sistema de bombeamento ser inferior à de projeto, aumentando, assim, a vazão bombeada, ou então o eixo pode estar desalinhado ou empenado, ou os mancais devem estar muito apertados. Outras considerações de sobrecarga no motor podem ser atribuídas a vários fatores: velocidade de rotação muito alta (quando comandado com inversor de frequência), sentido de rotação errado, rolamentos gastos, engraxamento e engraxetamento mal instalados e atrito das partes móveis e fixas. Finalmente, o uso de fatores de segurança excessivos para o dimensionamento de motores usados para o acionamento de bombas pode, também, ser a causa de baixos rendimentos em sistemas de bombeamento de água.

Valores de tensão abaixo ou acima da nominal acarretam mudanças nas características de operação dos motores elétricos. Por exemplo, uma tensão acima da nominal provoca diminuição do fator de potência e, conseqüentemente, aumento da corrente de partida. Na Figura 1, indicam-se os fatores de redução no rendimento, fator de potência, corrente e velocidade, que devem ser adotados conforme o valor percentual do desbalanceamento das tensões da rede (PROCEL, 2000).



Fonte: (PROCEL, 2000)

Figura 1 – Influência da variação da tensão no desempenho de um motor elétrico de indução trifásico.

Analisando a Figura 1 tem-se que:

- (i) O rendimento é máximo para a tensão equilibrada. Desequilíbrios de tensão positivos causam menores variações no rendimento do que os negativos.
- (ii) O fator de potência é menor para variação de tensão positiva e maior para variação de tensão negativa, em relação às tensões equilibradas.
- (iii) As correntes, em geral, aumentam para tensões desequilibradas, exceto para variações de tensão de 0 a 10%, em que as correntes são menores do que os valores nominais.
- (iv) A velocidade praticamente não sofre influência da variação de tensão.

Realizando uma simulação, conforme os dados técnicos apresentados na Figura 1 tem-se que, uma variação de tensão provoca uma perda no rendimento. O Quadro 1 apresenta a redução no rendimento de motores elétricos, provocado pela variação de tensão da rede de energia elétrica.

Quadro 1 – Redução no rendimento de motores elétricos, provocado pela variação de tensão

Variação da tensão – VT (%)	Redução no rendimento (%)
-10	-1,8
-5	-0,5
0	0
5	-0,5
10	-1

Fonte: PROCEL 2000.

Segundo os fabricantes, os motores são projetados para suportar variações de, aproximadamente, 10% na tensão nominal, ressaltando-se que a variação na amplitude da tensão de alimentação em motores de indução trifásicos acarreta variações no rendimento e no fator de potência, conforme Figura 1 (PROCEL, 2000).

Em condições de trabalho, as características técnicas originais de motores e bombas alteram-se ao longo do tempo. Dentre as razões para essas alterações, citam-se: manutenções; modificações no projeto original, como mudanças de diâmetro das tubulações devido à corrosão e uso; desgastes nos rolamentos e outros danos mecânicos; e variação climática, entre outros. Tais variações podem implicar em mudança do ponto de estado e conseqüente queda no rendimento dos sistemas, tendo em vista que inversores de frequência podem controlar além da frequência, também, o nível de tensão e o fator de potência.

Medidas devem ser tomadas para minimizar o efeito das variações das características técnicas dos equipamentos e do sinal de energia elétrica no rendimento do sistema. Dentro de certos limites, a automação e o controle com o uso de inversores de frequência possibilitam a minimização desses impactos no rendimento e funcionamento do sistema.

Outros fatores influenciam a racionalização do uso de energia em sistemas de captação de água, como a escolha do sistema tarifário, bem como, para algumas tarifas, a determinação das demandas de contrato que minimizem os gastos com energia elétrica (CEMIG, 2001).

Segundo dados da Resolução 087, de 06/04/2005, para consumidores comerciais da CEMIG categoria A4 (2,3 kV a 25 kV) na tarifa azul, para demanda, tem-se que, no horário de ponta, a tarifa é 3,25 vezes mais cara em

relação ao horário fora de ponta, enquanto, na tarifa verde, em relação à demanda não se tem diferença de preço. Quanto aos dados de consumo, tem-se que, no horário de ponta, a tarifa é cerca de 1,8 vezes maior em relação ao horário fora de ponta, para consumidores tarifados pela tarifa azul e cerca de 8 vezes maior para consumidores na tarifa verde (CEMIG, 1998).

O crescente aumento da demanda de energia, provocado pelo crescimento econômico, aliado ao incremento dos custos de energia, justificam a necessidade do uso de sistemas mais eficientes.

O uso de inversores de frequência em sistemas de bombeamento está se tornando, economicamente, cada vez mais atraente por diversos motivos: necessidade de automação e controle; potencial de racionalização do uso de energia elétrica pelo controle da velocidade do conjunto motobomba; controle do fator de potência; e controle da partida do motor. Além disso, sistemas de captação de água para abastecimento urbano são acionados, freqüentemente, durante um número de horas superiores a 3.000 horas por ano, facilitando a justificativa de investimento na automação com o uso de inversores de frequência (HANSON, 1996).

Segundo MASIERO (1999), o uso de inversores de frequência em sistemas de irrigação por pivô central é economicamente viável em certas situações; o número de horas de funcionamento anual, a tarifa de energia, o custo inicial do inversor de frequência, o custo de energia acima da inflação e a taxa de juros estão entre os principais parâmetros técnicos e econômicos, que influenciam a decisão de investir em tal sistema (CAMPANA, 2000).

A variação da potência mecânica demandada por uma bomba centrífuga varia com o cubo da variação da velocidade de acionamento.

A utilização do inversor de frequência no acionamento de motobombas pode reduzir a velocidade de rotação, reduzindo a potência requerida pelo equipamento, conforme a seguinte equação:

$$\frac{\text{Pot}_1}{\text{Pot}_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (1)$$

em que

Pot_1 = potência requerida pelo motor na situação 1, kW;

Pot_2 = potência requerida pelo motor na situação 2, kW;

n_1 = rotação do motor na situação 1, rpm; e

n_2 = rotação do motor na situação 2, rpm.

A economia de potência implica em redução na demanda de energia elétrica, que foi quantificada, bem como no consumo de energia.

Portanto, torna-se necessário que estudos sejam conduzidos no sentido da integração de ações, visando à automatização e racionalização de energia elétrica. É importante a integração dos dimensionamentos elétrico e hidráulico, a avaliação do impacto da qualidade de energia, a automação de estações de captação de água, a otimização de tarifas, bem como análises detalhadas sobre a melhor forma de uso da estação, no que diz respeito a horário de funcionamento e quantidade de água necessária, visando à economia de energia.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na captação no ribeirão São Bartolomeu da Unidade de tratamento Bela Vista do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa – SAAE, em Viçosa - MG e nos laboratórios da Área de Energia do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.



Figura 2 – Estação onde o trabalho foi realizado.

Para a realização do trabalho, foram adotadas as normas técnicas de qualidade do fornecimento de energia elétrica. Para aquisição de dados, utilizaram-se um medidor universal de grandezas elétricas, com memória de massa e comunicação com microcomputadores, sendo registrados os dados de cada uma das fases (tensão, corrente, potências ativa, reativa e total e fator de potência em tempo real), bem como multímetros digitais e amperímetros

alicates. Para realização da análise de qualidade do fornecimento de energia elétrica, foram adotadas a Norma Técnica 7094, da ABNT (ABNT, 1996) e as regulamentações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Na análise dos motores elétricos, foram utilizados os catálogos eletrônicos de fabricantes nacionais de motores (WEG, 2001; EBERLE, 2003; KOHLBACH, 2000) e a metodologia desenvolvida por TEXEIRA (2002) para a análise da situação em que se encontravam os motores, assim como para indicar as características técnicas de motores adequados à situação atual. Para as bombas hidráulicas, utilizou-se o programa de seleção de bombas hidráulicas AGRIBOMBAS, que tem um banco de dados com os principais catálogos de bombas, mostrando os rendimentos e bombas indicadas para cada situação.

Foram estudados dois conjuntos motobombas da estação de captação de água São Bartolomeu. A potência instalada de cada conjunto motobomba é de 55.200 W (75 cv). A vazão total é de 400 m³/h e a pressão de 740,40 kPa, ou seja, a altura manométrica é de 75,5 mca. A estação de captação de água trabalha 7.300 h/ano, bombeando um volume médio de água de 3.816 m³.dia⁻¹.



Figura 3 – Vista dos conjuntos motobombas estudados.

4.1 Metodologia de diagnóstico energético em estação de captação de água

Em primeiro lugar, avaliou-se a energia elétrica fornecida pela concessionária, em relação ao nível e desbalanceamento de tensão da rede.

O segundo passo consistiu em conhecer o modo como a energia elétrica é consumida na estação de captação. Assim, foram levantadas as características de cada uma das cargas, incluindo: (i) potência nominal e potência em uso; (ii) tensão nominal e de fornecimento; (iii) corrente em função da carga e da tensão de fornecimento; (iv) horas de funcionamento anual; (v) regime de trabalho diário, semanal, mensal e sazonal; (vi) procedimentos operacionais, tais como forma e frequência de partidas; e (vii) potência hidráulica útil.

Em seguida, foram realizados os dimensionamentos da bomba e motor. Fez-se a simulação do consumo e da demanda de energia elétrica para o sistema, corretamente, dimensionado. Depois, foram calculados os gastos com energia elétrica (consumo e demanda), bem como os gastos anuais e de vida útil com o sistema, corretamente, dimensionado e alimentado por sinal ideal de energia elétrica, em comparação com o sistema atual.

Nesses levantamentos, foram obtidas as informações necessárias à avaliação da contratação correta de energia elétrica e seu uso adequado, sendo, também, possível avaliar o desempenho de cada conjunto motobomba, para então formular decisões visando ao uso mais eficiente da energia elétrica nos sistemas de captação de água.

No desenvolvimento da metodologia para realização do diagnóstico energético de uma estação de captação de água, foram contemplados os aspectos descritos a seguir:

- (i) Avaliar a qualidade de energia elétrica atual, em relação ao nível e desbalanceamento do sinal de tensão:
 - a. caracterizar o sinal de energia elétrica atual, em relação ao sinal de energia elétrica ideal;
 - b. avaliar possíveis medidas mitigadoras dos efeitos não desejados do sinal de energia elétrica no rendimento dos motores e bombas em análise; e
 - c. avaliar o impacto da instalação de inversor de frequência, em função do rendimento, correção do fator de potência e a automação do processo.
- (ii) Conhecer os usos finais da energia elétrica na estação de captação.
- (iii) Avaliação:

- a. avaliar o consumo e a demanda de energia elétrica e os gastos com energia elétrica no uso dos equipamentos existentes;
 - b. redimensionar os motores elétricos, de modo que sejam adequados do ponto de vista do uso racional da energia, supondo-se ideal o sinal de energia elétrica e mantendo o dimensionamento hidráulico;
 - c. redimensionar as bombas, de modo que sejam adequadas do ponto de vista do uso racional de energia; e
 - d. repetir todos os passos para:
 - motores adequados;
 - bombas adequadas; e
 - conjunto motobomba adequado.
- (iv) Simular os impactos da implementação das ações propostas no diagnóstico energético e avaliar os resultados:
- a. projetar a automação com o uso de inversores de frequência para o sistema de captação de água;
 - b. avaliar o impacto da automação sobre:
 - consumo de energia elétrica;
 - demanda de energia elétrica;
 - gastos com mão-de-obra; e
 - viabilidade econômica do projeto.

4.2 Elaboração de um diagnóstico energético em um sistema de captação de água

Foi adotada a metodologia proposta de realização de diagnóstico em estação de captação de água , conforme descrito no item anterior.

4.2.1 Primeiro passo - avaliação da qualidade da energia recebida

Na alimentação de cada conjunto motobomba, foi instalado um medidor universal de grandezas elétricas, para avaliar os níveis de tensão que a estação de captação estava recebendo. Esse medidor foi programado para coletar dados de tensão e corrente de 5 em 5 minutos, ressaltando-se que,

segundo a legislação, a demanda é delimitada pela média das observações no intervalo de 15 minutos, sendo este o intervalo utilizado pela a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) para integralizar a medição, (CEMIG, 1998).

Com os dados coletados, realizou-se um estudo sobre a qualidade da tensão em relação ao nível e desbalanceamento do sinal de tensão da rede que chega aos motores. Estudou-se, ainda, o índice de carregamento e de outras características, como o escorregamento, corrente e fator de potência.

4.2.2 Segundo passo - conhecimento da instalação e de rotinas operacionais

Para conhecer a instalação da estação de captação de água do rio São Bartolomeu do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Viçosa, foram levantados os procedimentos operacionais, que envolvem o uso de energia elétrica.

Foram realizadas, também, as caracterizações das cargas elétricas: (i) potência nominal e potência em uso; (ii) tensão nominal e de fornecimento; (iii) corrente em função da carga e da tensão de fornecimento; (iv) horas de funcionamento anual; (v) regime de trabalho diário, semanal, mensal e sazonal; (vi) procedimentos operacionais, tais como forma de partida, de supervisão e de controle; (vii) potência hidráulica útil da carga medida em Watts e em unidades usuais; e (viii) análise das últimas 24 contas de energia elétrica, bem como do contrato de fornecimento de energia elétrica, entre outras. Tais informações serviram para realizar o enquadramento tarifário e a escolha de demandas de contrato de energia elétrica, que otimizem o fornecimento de energia.

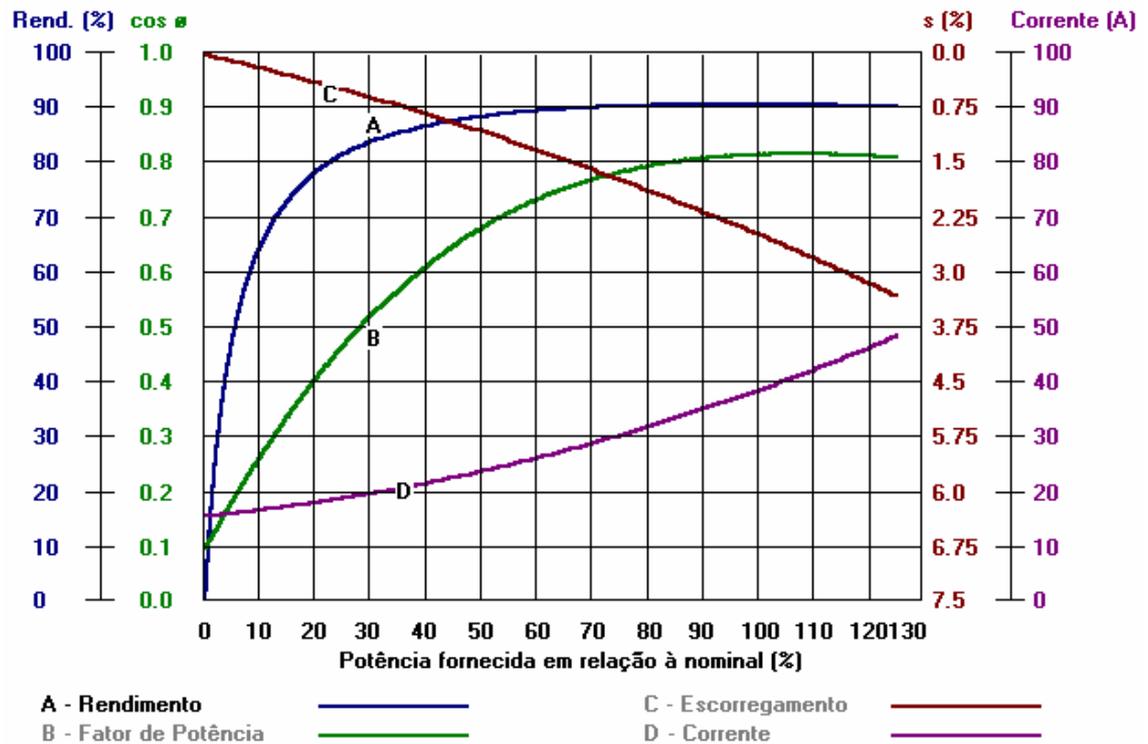
4.2.3 Terceiro passo - avaliações

A partir do levantamento de dados da estação, foram feitas as avaliações apresentadas a seguir.

Avaliação dos motores

Para avaliação dos motores, utilizou-se a metodologia para adequação da força motriz, proposta por TEIXEIRA (2002), que consiste em selecionar os

motores elétricos, baseando-se no estudo de suas curvas características (Figura 4) e na análise econômica, empregando os dados obtidos com o medidor universal de grandezas: (i) rendimento; (ii) corrente no estator; (iii) fator de potência; e (iv) escorregamento em função do índice de carregamento dos motores (WEG, 2003; TEIXEIRA, 2000; TEIXEIRA, 2002). Foram avaliados: (i) motores atuais; (ii) motores do tipo padrão, adequados à carga atual; e (iii) motores eficientes (TABOSA, 1998) e adequados à carga atual.



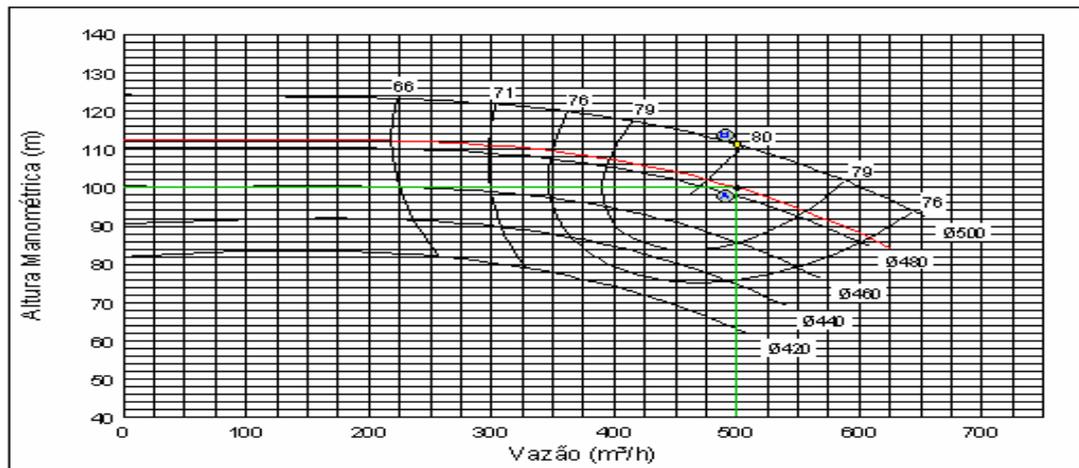
Fonte: (WEG, 2000)

Figura 4 – Curvas características típicas de motor elétrico.

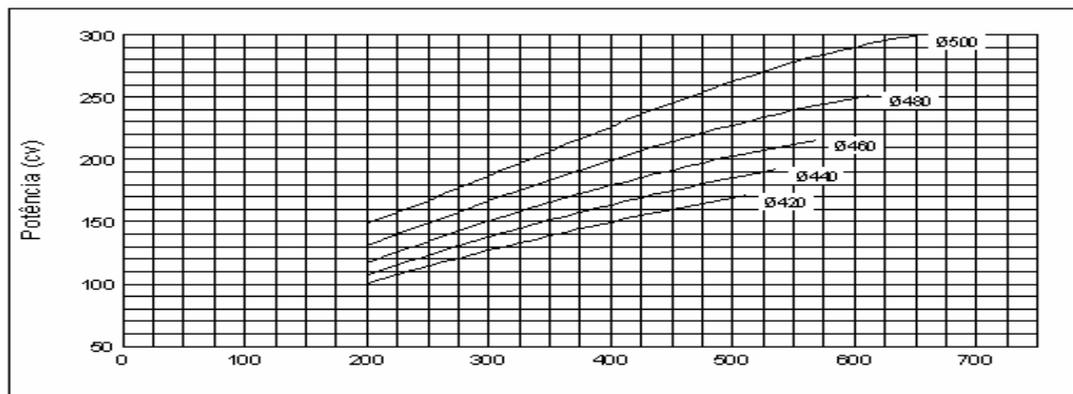
Avaliação das bombas

A avaliação do conjunto motobomba foi feita, utilizando-se cálculos hidráulicos e a análise das curvas características das bombas. Na Figura 5, apresentam-se as curvas características típicas de uma bomba hidráulica. Na Figura 5 (a) observa-se, para diversos diâmetros de rotor, o rendimento hidráulico em função da altura manométrica, que é a pressão desejada, bem como da vazão. Na Figura 5 (b) apresenta-se a potência requerida no eixo, em função do diâmetro do rotor e da vazão da bomba.

Na Figura 5 (a), verifica-se que as características hidráulicas do projeto (vazão e altura manométrica total) determinarão a escolha da bomba, o diâmetro do rotor, o modelo, o fabricante e o rendimento da bomba.



(a)



(b)

Fonte: AGRIBOMBAS, (2000)

Figura 5 – Curvas características típicas de bomba hidráulica.

De posse das informações de vazão e pressão (altura manométrica) requeridas, foi formado um banco de dados para determinação das características das bombas, que melhor satisfaçam as exigências do projeto, dos parâmetros econômicos e de manejo do sistema.

De acordo com SANTOS (2001), para a adequação de bombas centrífugas, é importante que se faça a avaliação da vazão e da pressão. Para a escolha de cada uma das bombas centrífugas, utilizou-se o programa computacional AGRIBOMBAS. Este programa contém dados de cinco fabricantes de bombas (KSB, Shneider, Mark Peerless e Imbil), possibilitando selecionar até 10 bombas diferentes, que melhor otimizem a escolha

(SANTOS, 2001; CAMPANA, 2000). O programa busca, entre todas as bombas existentes em seu banco de dados, aquelas que melhor otimizem tecnicamente a situação em questão, ou seja, que venham a requerer a menor potência.

A nova curva característica da bomba otimizada foi comparada à característica da bomba que está em funcionamento e, em seguida, foi feita a análise econômica de vida útil para o investimento.

Após a adequação das bombas hidráulicas, refez-se a adequação do uso de força motriz.

Avaliação tarifária

Para a adequação tarifária, foram levantadas informações das contas de energia elétrica relativas aos anos 2001, 2002 e 2003. Foram analisados o consumo e a demanda de energia elétrica da estação de bombeamento São Bartolomeu do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Viçosa. Para cada tarifa, foram simuladas demandas de contrato que venham a minimizar a conta anual de energia elétrica. Mediante as simulações de diversas tarifas e de demandas de contrato de energia, determinou-se aquela que representa a opção mais econômica.

4.3 Simulação das ações propostas no diagnóstico energético e avaliação dos resultados

A utilização do inversor de frequência em motores comandando bombas hidráulicas, reduz-se a rotação sem perda significativa do rendimento da bomba e com ganho no rendimento do motor, pois, o rendimento do motor é função do índice de carregamento e sua potência varia também com sua rotação, conforme apresentado na Equação 1.

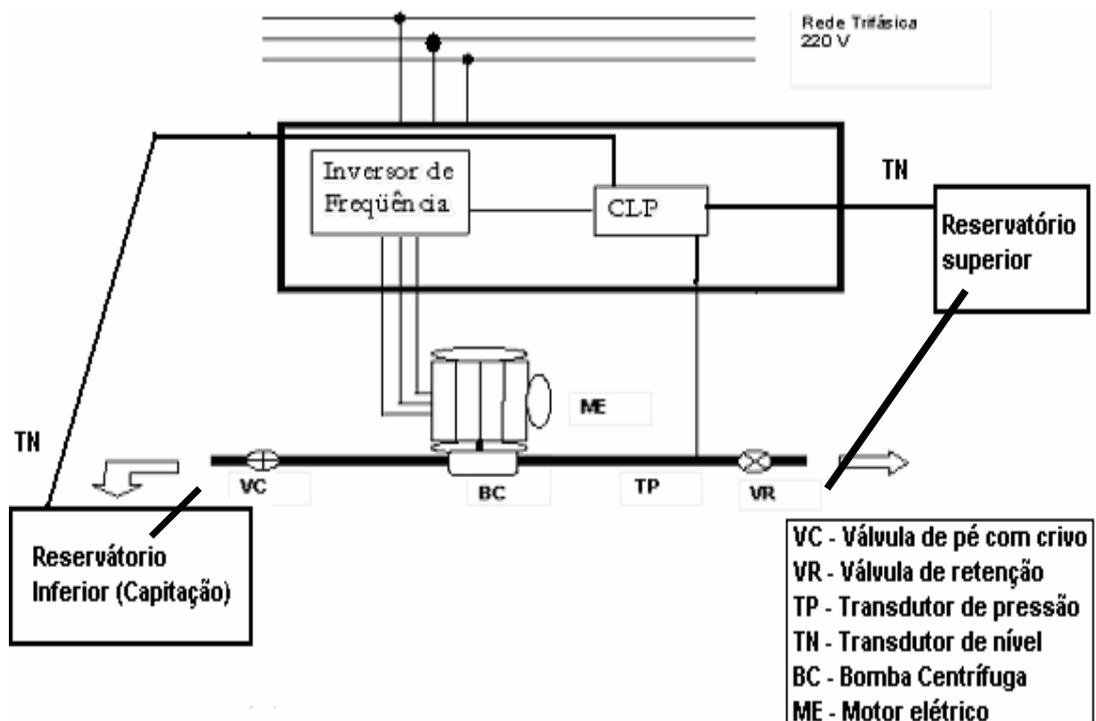


Figura 6 – Esquema do projeto.

Na Figura 6 foi, esquematicamente, proposto e simulado um sistema, que consiste em utilizar o inversor de frequência para controle da rotação do motor e um controlador lógico programável (CLP) para monitorar os sinais enviados pelos transdutores de pressão e nível, promovendo condições para a automatização do sistema e análise do potencial de economia de energia.

Esta análise foi feita com base no uso ou não do inversor de frequência, na estação de captação de água, envolvendo os critérios técnico e econômico descritos a seguir.

Critérios técnicos

- a) Rendimento da bomba em função da variação da vazão e rotação

Sabendo-se que as curvas características são feitas para funcionamento em rotação nominal, simulou-se o seu comportamento para as novas situações.

- b) Rendimento do motor em função da variação da vazão e da rotação

Foi avaliada a influência da rotação, em condições de operação do motor, incluindo o seu rendimento

c) Controle do fator de potência

Estudou-se o controle de energia reativa por meio do uso do inversor de frequência, para evitar multas, aliviar a rede e diminuir as perdas de energia por efeito Joule, diminuir a queda de tensão.

d) Efeitos da automação

Foi analisada a diminuição da mão-de-obra com a automação entre todas as alterações implementadas devidas a este procedimento.

Critérios econômicos

a) Retorno do investimento

Para saber a viabilidade da troca de um motor ou da instalação de um inversor de frequência, foi analisado se, na vida útil do motor, o investimento seria pago conforme a Equação 2 (CAMARGO, 1998; FRIZZONE & SILVEIRA, 2000).

$$R_i = \frac{R_c}{I} \quad (2)$$

em que

- R_i = retorno de investimento, ano;
- I = investimento para adequação do sistema, R\$; e
- R_c = economia, R\$ na vida útil da tecnologia.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Metodologia desenvolvida

A metodologia para realização de diagnóstico energético, em estações de bombeamento de água funciona como um roteiro básico, e é apresentada a seguir.

Roteiro básico para diagnóstico energético de instalações de bombeamento de água

1° passo – Sinal de entrada

- (i) Avaliar a qualidade de energia elétrica atual, em relação ao nível e desbalanceamento do sinal de tensão:
 - a. caracterizar o sinal de energia elétrica atual, em relação ao sinal de energia elétrica ideal;
 - b. avaliar possíveis medidas mitigadoras dos efeitos não desejados do sinal de energia elétrica no rendimento dos motores e bombas em análise; e
 - c. avaliar o impacto da instalação de inversor de frequência, em relação ao rendimento, correção do fator de potência e automação.

2º passo – Usos Finais

- (ii) Conhecer os usos finais da energia elétrica na estação de captação.

3º passo - Avaliações

- (iii) Avaliação:
 - a. avaliar o consumo e a demanda de energia elétrica e os gastos com energia elétrica no uso dos equipamentos existentes, motores e bombas;
 - b. redimensionar os motores elétricos, de modo que sejam adequados do ponto de vista do uso racional da energia, supondo-se ideal o sinal de energia elétrica e mantendo o dimensionamento hidráulico;
 - c. redimensionar as bombas, de modo que sejam adequadas do ponto de vista do uso racional de energia; e
 - d. repetir todos os passos para:
 - motores redimensionados;
 - bombas adequadas; e
- motores e bombas adequadas.

4º passo - Simulações

- (iv) Simular os impactos da implementação das ações propostas no diagnóstico energético e avaliar os resultados:
 - a. projetar a automação com o uso de inversores de frequência para o sistema de captação de água;
 - b. avaliar o impacto da automação sobre:
 - consumo de energia elétrica;
 - demanda de energia elétrica;
 - gastos com mão-de-obra; e
- viabilidade econômica do projeto.

5º passo - Aplicação

- (v) Conforme todo o estudo realizado, aplicar as ações.

5.2 Diagnóstico realizado

5.2.1 Avaliação da qualidade de energia elétrica

Metodologia de avaliação da qualidade de tensão no rendimento de motores e bombas

Caso geral

Com a simulação realizada, observa-se a importância da avaliação de cada item no custo de energia elétrica, como se pode observar no Quadro 1.

Utilizando os fatores de redução (Quadro 1) e os rendimentos de motores comerciais, conforme suas curvas características dadas pelos fabricantes e calculando seu carregamento para cada caso, simulou-se o seu rendimento para diversas situações, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Influência da variação de tensão nos rendimentos dos motores, para condição de plena carga do motor.

Condição de trabalho		Rendimento conforme variação de tensão (%)					Aumento do custo anual conforme variação da tensão (R\$)				Aumento do custo anual conforme variação da tensão (%)			
Atura man. Mca	Vazão m³/h	-10	-5	0	5	10	-10	-5	5	10	-10	-5	5	10
20	100	88,7	90,0	90,5	90,0	89,5	277,15	75,87	75,87	152,59	2,03	0,56	0,56	1,12
	150	89,4	90,7	91,2	90,7	90,2	413,41	113,19	113,19	227,63	2,01	0,55	0,55	1,11
	200	90,0	91,3	91,8	91,3	90,8	546,70	149,70	149,70	301,05	2,00	0,55	0,55	1,10
	250	90,4	91,7	92,2	91,7	91,2	653,50	178,96	178,96	359,87	1,99	0,55	0,55	1,10
40	100	90,0	91,3	91,8	91,3	90,8	552,98	151,42	151,42	304,50	2,00	0,55	0,55	1,10
	150	91,0	92,3	92,8	92,3	91,8	794,29	217,53	217,53	437,43	1,98	0,54	0,54	1,09
	200	90,7	92,0	92,5	92,0	91,5	1129,45	309,30	309,30	621,99	1,98	0,54	0,54	1,09
	250	90,7	92,0	92,5	92,0	91,5	1373,66	376,18	376,18	756,47	1,98	0,54	0,54	1,09
60	100	90,4	91,7	92,2	91,7	91,2	851,54	233,19	233,19	468,93	1,99	0,55	0,55	1,10
	150	91,0	92,3	92,8	92,3	91,8	1347,94	369,15	369,15	742,33	1,98	0,54	0,54	1,09
	200	91,7	93,0	93,5	93,0	92,5	1750,40	479,42	479,42	964,03	1,96	0,54	0,54	1,08
	250	91,4	92,7	93,2	92,7	92,2	2063,88	565,26	565,26	1136,65	1,97	0,54	0,54	1,08

No Quadro 2, observa-se a variação no rendimento de motores em função de altura manométrica e vazão, considerando uma variação na tensão de alimentação. Analisando-se, percentualmente os resultados, verifica-se que o aumento de custo tem variação muito pequena e que o tamanho do conjunto motobomba não influencia, significativamente, o aumento percentual causado por uma variação de tensão de ± 5 ou 10%, conforme apresentado na Figura 7.

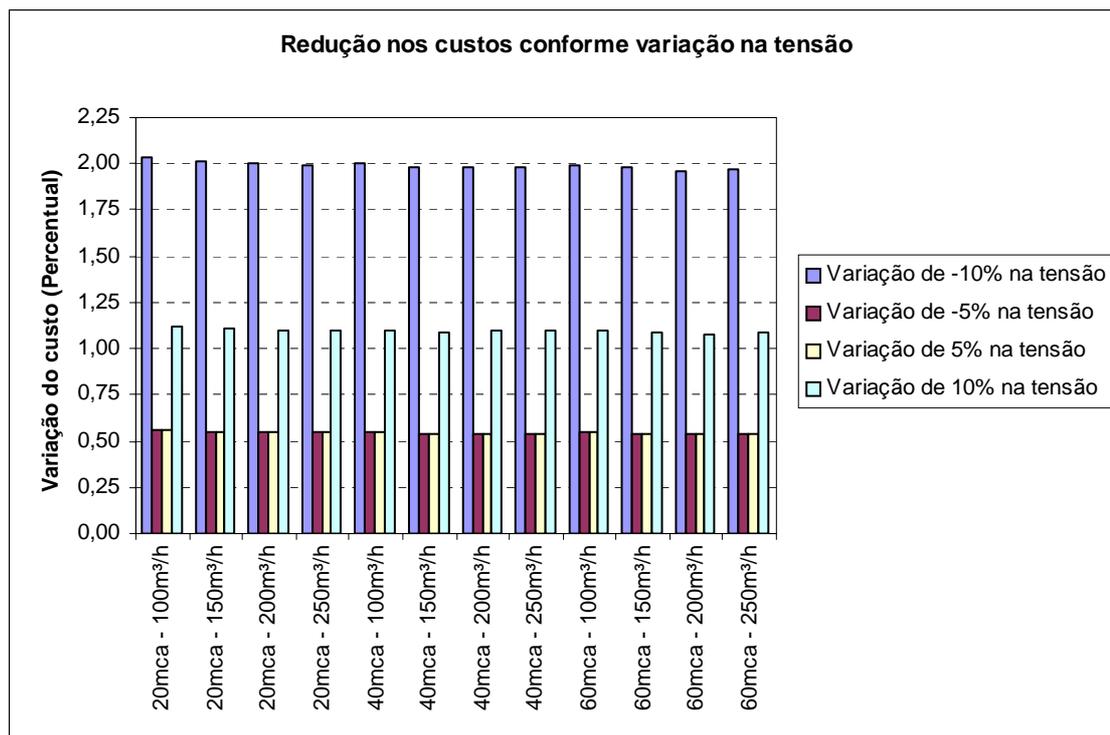


Figura 7 – Variação dos custos da energia elétrica devido à variação de tensão.

O aumento de custos relativos em relação a variação da tensão de fornecimento não é influenciado significativamente pela vazão nem pela altura manométrica, conforme verificado na Figura 7.

Caso Serviço Autônomo de Água e Esgoto

A concessionária de energia elétrica tem que fornecer energia aos consumidores a determinados padrões, no caso até sendo tolerável uma variação mínima de 8,7% e uma variação máxima de 4%. Com os dados coletados no período aleatório de 11/02/2003 a 18/02/2003, avaliou-se a tensão de diversas formas, analisando as tensões mínimas obtidas no intervalo de coleta e a tensão máxima do mesmo intervalo, a fim de estudar a variação da tensão em relação aos padrões da ANEEL, gerando as figuras apresentadas a seguir.

A Figura 8 mostra o perfil de variação das tensões mínimas registradas na fase A, durante o período de coleta de dados.

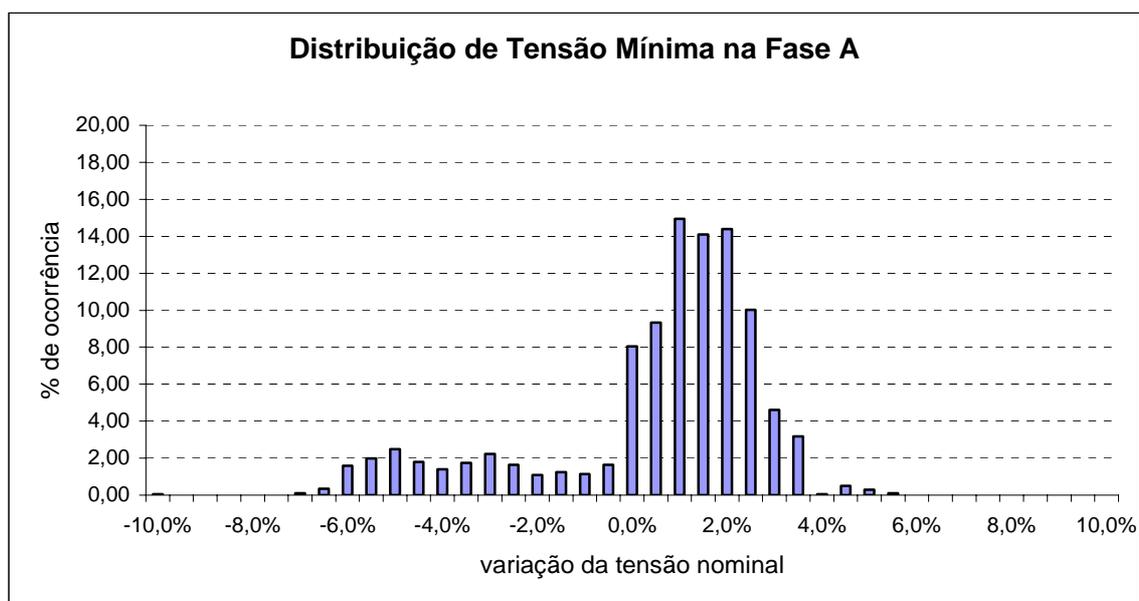


Figura 8 - Distribuição de freqüência de tensões mínimas na fase A, coletadas em intervalos de cinco minutos no Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa.

A Figura 9 apresenta o perfil de variação das tensões mínimas registradas na fase B durante o período de coleta de dados.

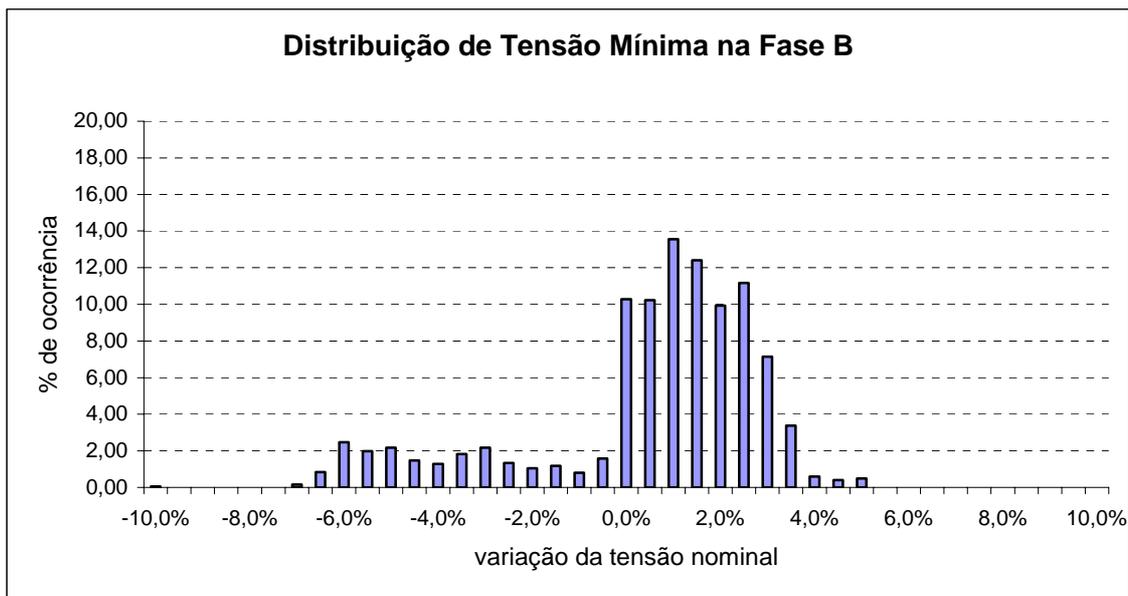


Figura 9 - Distribuição de freqüência de tensões mínimas na fase B coletadas em intervalos de cinco minutos no Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa.

A Figura 10 mostra o perfil de variação das tensões mínimas registradas na fase C, durante o período de coleta de dados.

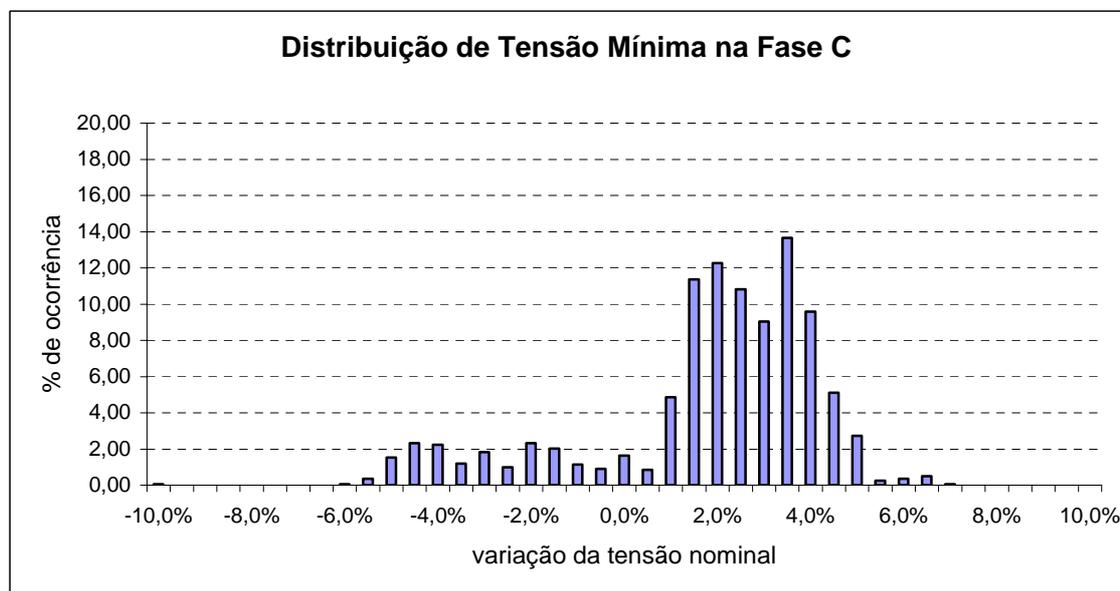


Figura 10 - Distribuição de freqüência de tensões mínimas na fase C coletadas em intervalos de cinco minutos no Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa.

A Figura 11 mostra o perfil de variação das tensões máximas registradas na fase A, durante o período de coleta de dados.

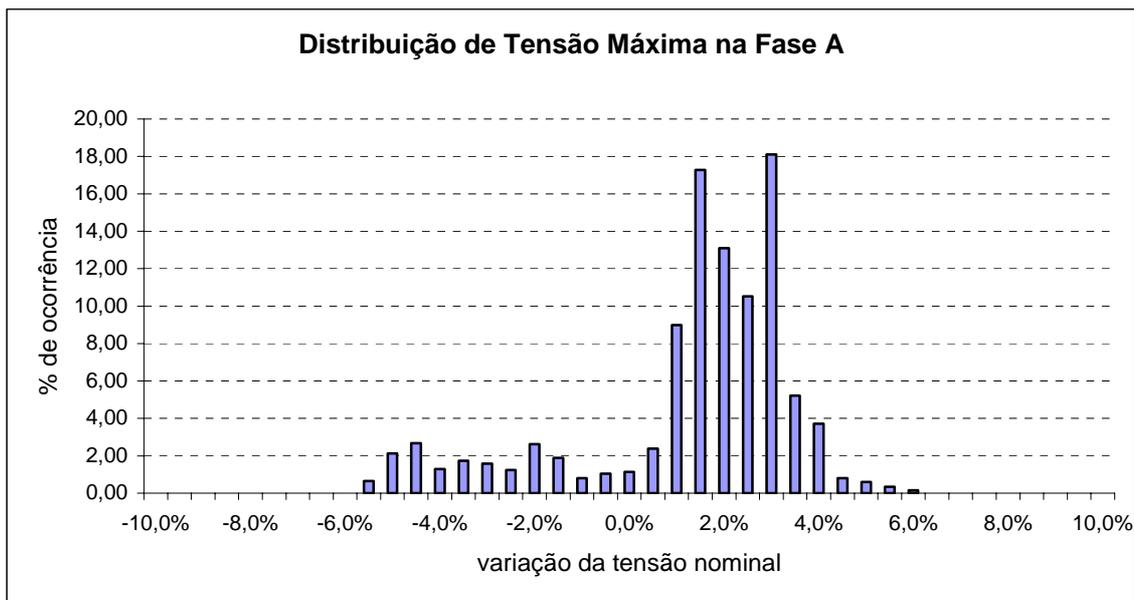


Figura 11 - Distribuição de freqüência de tensões máximas na fase A coletadas em intervalos de cinco minutos no Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa.

A Figura 12 mostra o perfil de variação das tensões máximas registradas na fase B, durante o período de coleta de dados.

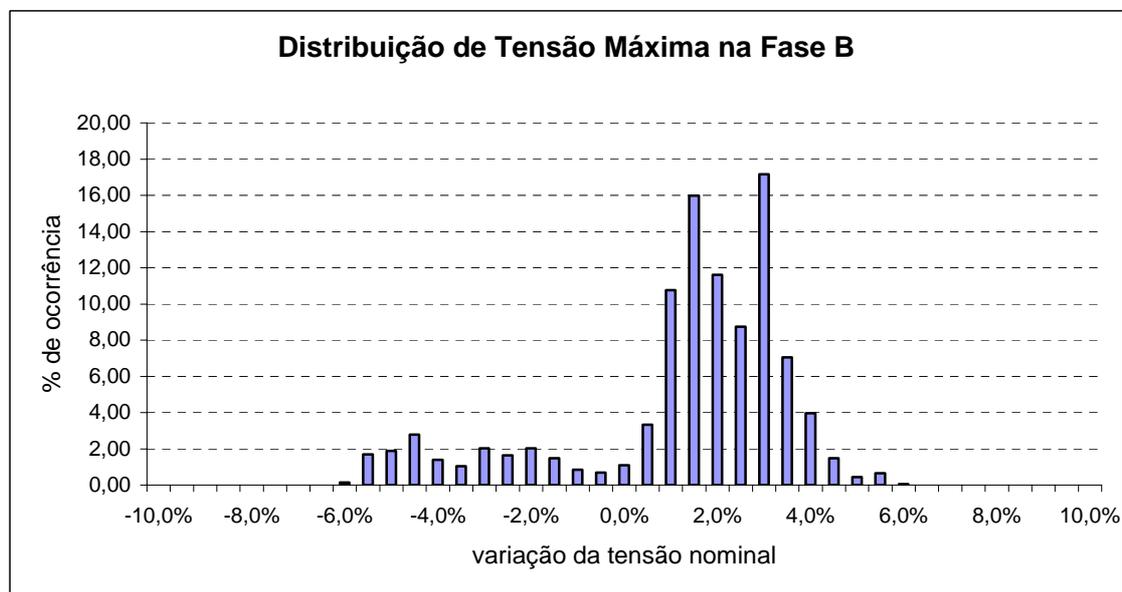


Figura 12 - Distribuição de freqüência de tensões máximas na fase B coletadas em intervalos de cinco minutos no Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa.

A Figura 13 mostra o perfil de variação das tensões máximas registradas na fase C, durante o período de coleta de dados.

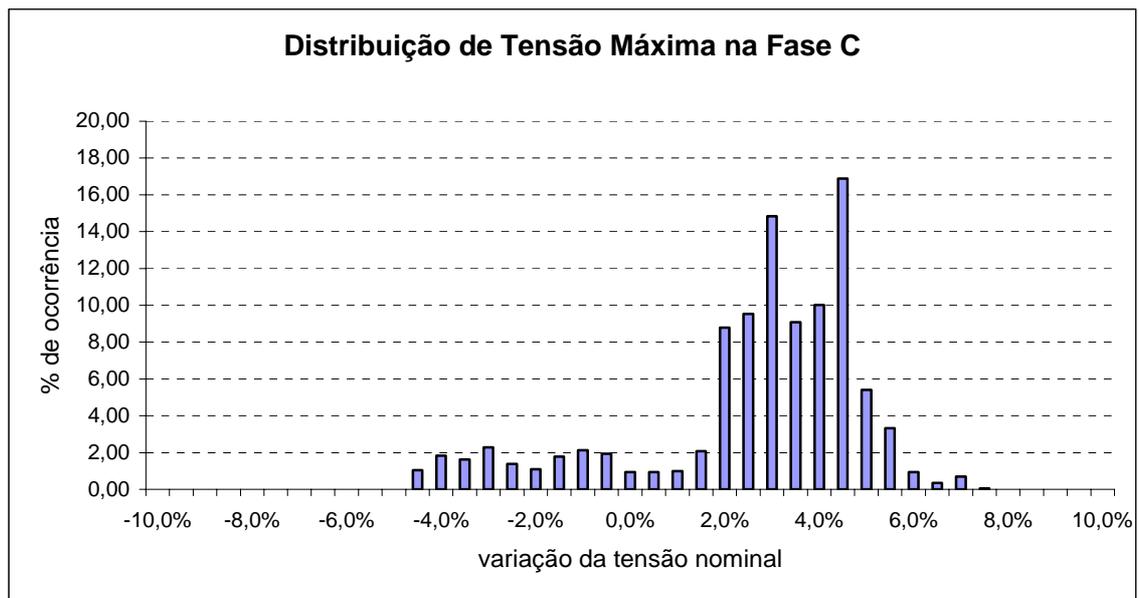


Figura 13 - Distribuição de frequência de tensões máximas na fase C coletadas em intervalos de cinco minutos no Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa.

Observando as Figuras 7 a 13, pode-se concluir que a tensão mínima fornecida pela concessionária, em todo o teste, está dentro dos padrões de qualidade exigidos, embora a tensão máxima tem passado dos limites em 1,74% na fase A, 2,64% na fase B e 27,64% na fase C. A interferência desta variação de tensão no rendimento do motor, segundo a metodologia exposta no caso geral, com a variação de tensão é cerca de 0,36% no rendimento na fase que apresenta maior variação que é a C.

5.2.2 Conhecimento da instalação e levantamento das rotinas operacionais

A realização de uma visita, o diálogo com os operadores e funcionários da estação de bombeamento e o conhecimento da instalação foram fundamentais para a realização do trabalho, pois, somente assim foi possível realizar uma correta coleta de dados e fundamentar todo o trabalho, além da importância quanto ao retorno da a realização e à visualização dos resultados práticos.

O sistema é constituído de três conjuntos motobombas, dois em operação e um reserva, sendo todos com motores antigos de 75 cv; a ligação é

feita em paralelo; o bombeamento é realizado em apenas uma linha de recalque. Todos os funcionários que operam o sistema estão cientes da importância de se ligar o sistema com os registros fechados.

Para controle da demanda nos horários de ponta, em que o preço da energia é maior, o sistema funciona neste período, apenas, com um conjunto, o que também foi constatado no estudo das contas de energia elétrica. Nos estudos, foi relatada e comprovada a ocorrência de uma falha, sendo que, um dia foram ligados os dois conjuntos neste horário, o que gerou um custo de ultrapassagem de demanda. No entanto, isto já foi esclarecido e os operadores foram treinados para a correta operação.

5.2.3 Avaliações

Adequação de força motriz e de bombas

Utilizando o programa computacional AGRIBOMBAS, SANTOS, (2001) verificou-se que para as bombas que requerem a menor potência para a situação no conjunto 2, apresentadas abaixo e no catálogo eletrônico da WEG, foram selecionados os motores correspondentes para cada caso (Quadro 3).

Quadro 3 – Representa os dados das duas alternativas apresentadas para substituir o conjunto 2

Alternativa 1	Alternativa 2
<p>Marca:Mark Peerless Modelo:GM Velocidade do rotor:3500 rpm Diâmetro comercial do rotor:203 mm Potência solicitada: 62,7 cv</p>	<p>Marca:EH Modelo:EHF 100-45 Velocidade do rotor:1750 rpm Diâmetro comercial do rotor:400 mm Potência solicitada: 71,1 cv</p>
Potência do motor elétrico:75 cv	Potência do motor elétrico:75 cv

Quadro 4 – Representa o estudo de duas alternativas comparadas com a situação atual do conjunto motobomba 2

Descrição		MB-2	MB-2 - alt. 1	MB-2 - alt 2
1	Situação	Albrizzi/A11	Mark	EH – EHF
2	Fabricante/modelo da bomba	862	Peerless-GM	100-45
3	Tipo do motor	GE	WEG	WEG
4	Potência do motor (cv)	75	75	75
5	Altura manométrica (mca)	72	72	72
6	Vazão(m ³ h ⁻¹)	190,8	190,8	190,8
7	Rotação(rpm)	1750	3500	1750
8	Horas de funcionamento (dia)	20	20	20
9	Horas de funcionamento anual (h ano ⁻¹)	7300	7300	7300
10	Volume requerido (m ³ dia ⁻¹)	3816	3816	3816
11	Potência absorvida na bomba (cv)	66,95	62,71	68,30
12	Índice de carregamento (%)	89,26%	83,61%	91,06%
13	Corrente (A)	207,2	155	170
14	Rendimento do motor (%)	81,28%	91,50%	91,17%
15	Rendimento da bomba (%)	76,00%	81,14%	74,50%
16	Valor do consumo de energia (R\$ kWh ⁻¹)	0,16	0,16	0,16
17	Consumo de energia elétrica (kWh ano ⁻¹)	436.475,76	363.162,77	396.962,23
18	Gasto com consumo de energia elétrica (R\$ ano ⁻¹)	71.633,35	59.601,40	65.148,48
19	Economia (%)	---	16,80%	9,05%
20	Economia anual (R\$)		12.031,95	6.484,86

O mesmo procedimento foi adotado para o conjunto 3, sendo obtido o resultado apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Representa os dados das duas alternativas apresentadas para substituir o conjunto 3

Alternativa 1	Alternativa 2
Marca:KSB	Marca:KSB
Série / Modelo:Meganorm / 80-200	Série / Modelo:Meganorm / 125-400
Velocidade do rotor:3500 rpm	Velocidade do rotor:1750 rpm
Diâmetro comercial do rotor: 208 mm	Diâmetro comercial do rotor: 399 mm
Potência solicitada: 72,7 cv	Potência solicitada: 81,8 cv
Potência do motor elétrico:75 cv	Potência do motor elétrico:100 cv

Quadro 6 – Representa o estudo de duas alternativas comparadas com a situação atual do conjunto motobomba 3

Descrição		MB-3	MB-3 - alt 1	MB-3 - alt 2
1	Equipamento	Albrizzi/A20	Meganorm / KSB	Meganorm / KSB
2	Fabricante/modelo da bomba	447	80-200	125-400
3	Tipo do motor	WEG	WEG	WEG
4	Potência do motor (cv)	75	75	100
5	Altura manométrica (mca)	72,59	72,59	72,59
6	Vazão (m ³ h ⁻¹)	220	220	220
7	Rotação (rpm)	1750	3500	1750
8	Horas de funcionamento (dia)	20	20	20
9	Horas de funcionamento anual (h ano ⁻¹)	7300	7300	7300
10	Volume requerido (m ³ dia ⁻¹)	4400	4400	4400
11	Potência absorvida na bomba (cv)	78,76	72,71	81,80
12	Índice de carregamento (%)	105,01%	96,94%	81,80%
13	Corrente (A)	211,3	170	205
14	Rendimento do motor (%)	92,00%	91,83%	92,16%
15	Rendimento da bomba (%)	75,10%	81,35%	72,31%
16	Valor do consumo de energia (R\$ kWh ⁻¹)	0,16	0,16	0,16
17	Consumo de energia elétrica (kWh ano ⁻¹)	453.647,23	419.569,47	470.332,72
18	Gasto com consumo de energia elétrica (R\$ ano ⁻¹)	74.451,49	68.858,73	77.189,87
19	Economia (%)	---	7,51%	-3,68%
20	Economia anual (R\$)		5.592,76	-2.738,38

Atualmente, duas bombas funcionam simultaneamente. Então, foi realizado o estudo vislumbrando a possibilidade de substituir as duas bombas por uma bomba, mantendo-se a altura manométrica e a vazão necessária para o abastecimento da cidade de Viçosa, a fim de atender a avaliação proposta na metodologia. Os valores são apresentados a seguir.

Quadro 7 – Representa os dados da alternativa apresentada para substituir as duas bombas por uma

Marca	KSB
Série / Modelo	Meganorm / 150-400
Velocidade do rotor	1750 rpm
Diâmetro comercial do rotor	389 mm
Potência solicitada	134,2 cv
Potência do motor elétrico	150 cv

Quadro 8 – Representa o estudo de uma nova alternativa para substituir os dois conjuntos atuais

Descrição	
1 Situação	Apenas uma bomba
2 Fabricante/modelo da bomba	KSB 150-400 Meganorm
3 Tipo do motor	Alto rendimento WEG
4 Potência do motor (cv)	150
5 Altura manométrica (mca)	72
6 Vazão (m ³ h ⁻¹)	410,8
7 Rotação (rpm)	1750
8 Horas de funcionamento (dia)	20
9 Horas de funcionamento anual (h ano ⁻¹)	7300
10 Volume requerido (m ³ dia ⁻¹)	8216
11 Potência absorvida na bomba (cv)	134,25
11a Potência absorvida no motor (kW)	104,23
12 Índice de carregamento (%)	89,50%
13 Corrente (A)	315,5
14 Rendimento do motor (%)	94,80%
15 Rendimento da bomba (%)	81,60%
16 Valor do consumo de energia (R\$ kWh ⁻¹)	0,16
17 Consumo de energia elétrica (kWh ano ⁻¹)	750.431,37
18 Gasto com consumo de energia elétrica (R\$ ano ⁻¹)	123.158,98
19 Economia (%)	15,69%
20 Economia anual (R\$)	22.925,85

Adequação tarifária

Analisando as contas de energia elétrica da estação de bombeamento, verifica-se que o contrato de energia elétrica não era eficiente, pois, foi observado que o SAAE estava pagando muita multa por ultrapassagem de demanda, na Figura 14 observa-se o comportamento, descrito. A legenda abaixo mostra a simbologia utilizada na Figura 14.

Legenda:

Total HFPonta	= Demanda Total – horário fora de ponta
Demanda contratada fora de ponta	= Demanda contratada no horário fora de ponta
KW Ult. HFPonta	= Demanda de ultrapassagem no horário fora de ponta
Total Hponta	= Demanda Total – horário de ponta
Demanda contratada na ponta	= Demanda contratada no horário de ponta
KW Ult. Hponta	= Demanda de ultrapassagem no horário de ponta

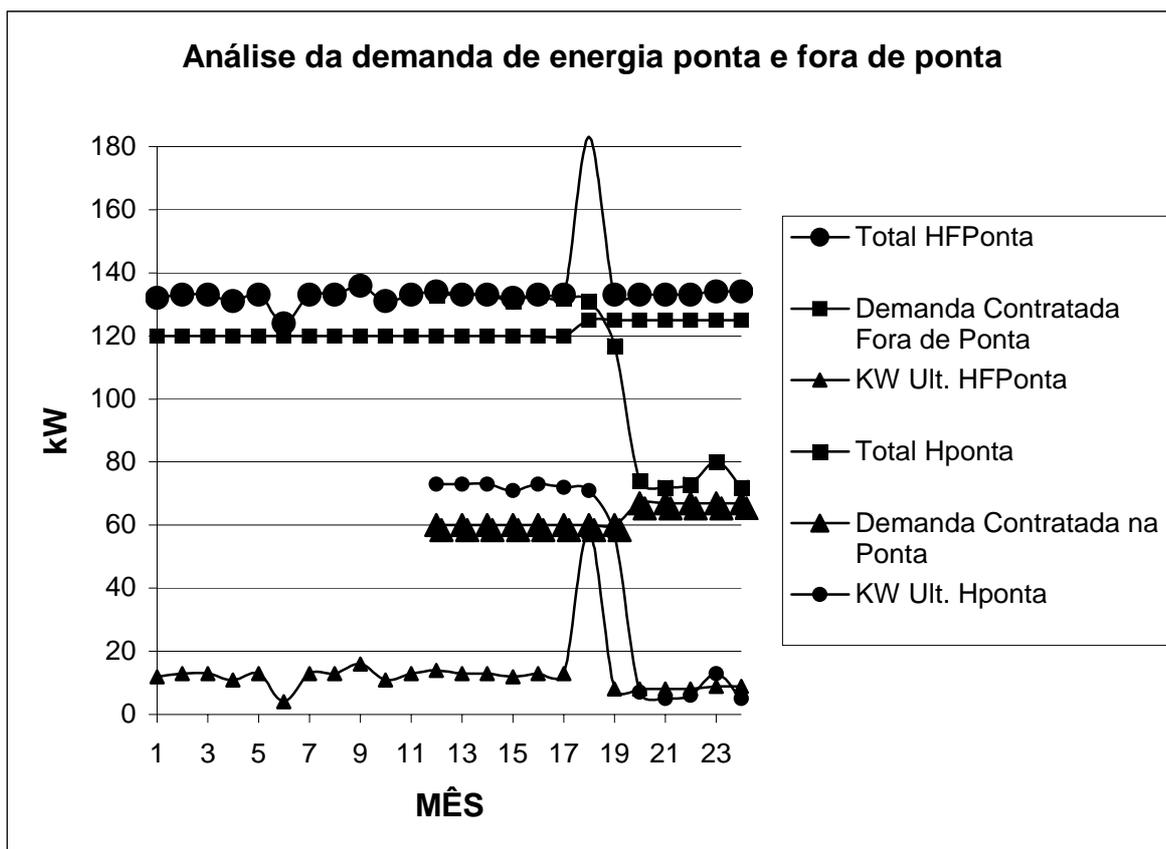


Figura 14 – Comportamento da demanda contratada e utilizada, durante os anos de 2001 e 2002 na Estação de Bombeamento São Bartolomeu do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa.

Na Figura 14 observa-se a grande quantidade de multa que é paga por esta unidade e, então, foi feito o estudo apresentado a seguir.

Quadro 9 – Demanda contratada em dezembro de 2002

Contrato de energia elétrica	Atual
Demanda de fora de ponta	125 kW
Demanda de ponta	67 kW

Quadro 10 – Demanda solicitada pelos conjuntos motobombas atuais

Demanda atual	
1 bomba funcionando	2 bombas funcionando
63,01 kW	123,63 kW

Quadro 11 – Demanda solicitada pela motobomba 2 e suas alternativas

Demanda das bombas		
MB-2 60,62 kW	MB-2 - alt. 1 50,44 kW	MB-2 - alt 2 55,13 kW

Quadro 12 - Demanda solicitada pela motobomba 3 e suas alternativas

Demanda das bombas		
MB-3 63,01kW	MB-3 – alt 1 58,27 kW	MB-3 - alt 2 65,32 kW

Quadro 13 – Demanda solicitada pela alternativa de troca dos dois conjuntos por apenas um

Demanda da bomba
Alternativa de 1 bomba 104,23 kW

Quadro 14 – Demanda solicitada para funcionar dois conjuntos motobombas eficientes

Demanda das bombas	
Alternativa de 2 bombas	
com 1750 rpm 118,14 kW	com 3500 rpm 108,71 kW

Quadro 15 – Outros consumos da estação de bombeamento

Consumos diversos
5 kWh

5.3 Simulação das ações propostas no diagnóstico energético e avaliação dos resultados

Critérios técnicos

Com os dados, apresentados no Quadros 9 a 15, foram elaboradas quatro alternativas de demanda que pode ser contratada, as quais são apresentadas no Quadro 16.

Quadro 16 – Alternativas propostas para contrato de demanda, kW

Alternativa 1	
Proposto se adotando 1 bomba	
Fora de ponta	115
Ponta	10
Alternativa 2	
Proposto se adotando 2 bombas	
Fora de ponta	130
Ponta	10
Alternativa 3	
Proposto se adotando 2 bombas	
Fora de ponta	130
Ponta	70
Alternativa 4	
Proposto se adotando 1 bomba	
Fora de ponta	115
Ponta	115

Analisando cada opção, foi feita uma análise econômica, levando-se em consideração a substituição de motores e bombas, sendo também analisada a adequação tarifária apresentada no Quadro 16. O custo atual foi obtido com os dados relativos a 2002, considerando-se todas as ultrapassagens de demanda que ocorreram no período, mesmo quando não foi cobrado. Os preços foram obtidos no site da CEMIG, estrutura tarifária horo-sazonal na modalidade Tarifa Azul, subgrupo A4, que é a modalidade em estudo no presente trabalho.

Quadro 17 – Estudo de custos com diversas alternativas de contratação de demanda

	Custo anual					
	Preço	Custo atual	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Demanda de ponta						
KW Hponta	29,74	23910,96	3568,80	3568,80	24981,60	41041,20
KW Ult. Hponta	89,23	46934,98	0,00	0,00	0,00	0,00
Demanda fora de ponta						
KW Hfponta	9,82	14730,00	13551,60	15319,20	15319,20	13551,60
KW Ult. Hfponta	29,47	5068,84	0,00	0,00	0,00	0,00
Consumo						
KWh Hfponta	0,12	101784,03	88025,60	91814,49	73451,59	70420,48
KWh Hponta	0,24	13885,06	1765,87	1765,87	10947,32	19370,99
Custo total	-	206313,87	106911,87	112468,36	124699,71	144384,27
Economia	-	-	48,18%	45,49%	39,56%	30,02%

Analisando o Quadro 17, observa-se que há uma capacidade de economia significativa na unidade do SAAE viçosa, se forem tomadas as medidas propostas no diagnóstico realizado.

Critérios econômicos

Retorno do investimento

Para saber a viabilidade de se trocar um motor ou instalar um inversor de frequência, foi analisado se, na vida útil do motor, o investimento será pago conforme a Equação 2.

Quadro 18 – Economia anual de cada alternativa

Economia anual de cada alternativa			
Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
R\$ 99.402,00	R\$ 93.845,51	R\$ 81.614,16	R\$ 61.929,60

No levantamento de preços realizado em diversas lojas, observou-se que o custo de um conjunto motobomba com motor de 75 cv e comandado com inversor de frequência está em torno de R\$ 60.000,00, sendo a durabilidade de 10 anos. Portanto, para as alternativas 2 e 3, é necessário adquirir dois conjuntos, o que totaliza investimento de R\$ 120.000,00

Quadro 19 – Retorno do investimento para as alternativas 2 e 3

Retorno do investimento de cada alternativa (anos)	
Alternativa 2	Alternativa 3
1,28	1,47

Em levantamento de preços, realizado em diversas lojas, observou-se que o custo de um conjunto motobomba com motor de 150 cv, comandado com inversor de frequência, está em torno de R\$ 110.000,00 e a durabilidade é de 10 anos. Portanto, para as alternativas 2 e 3, é necessário adquirir dois conjuntos destes, pois, será preciso um conjunto-reserva, o que totaliza um investimento de R\$ 220.000,00.

Quadro 20 – Retorno do investimento para as alternativas 1 e 4

Retorno do investimento de cada alternativa (anos)	
Alternativa 1	Alternativa 4
2,21	3,55

Está análise indicou que dentre as quatro alternativas o tempo de retorno do investimento é menor que a vida útil dos equipamentos sendo qualquer uma destas alternativas viável economicamente, mas a alternativa 2 mostrou-se mais atrativa pois possui o tempo de retorno do capital menor.

6. CONCLUSÃO

Com base no estudo realizado, pode-se recomendar que unidades de captação de água realizem seu diagnóstico energético utilizando a metodologia proposta, pois é possível a obtenção de uma grande redução nos custos de bombeamento e tal metodologia já está sendo utilizada na prática.

Concluiu-se que em relação a qualidade da tensão o potencial de economia de energia é pequeno pois a tensão se encontra dentro dos padrões na maioria dos testes.

Em relação a adequação dos motores elétricos e de bombas verificou-se um grande potencial de economia de energia pois no projeto atual temos bombas com um rendimento muito baixo e apenas a troca da bomba e do motor no conjunto dois pode proporcionar uma economia financeira de 16,8%, apenas no consumo de energia elétrica.

A adequação tarifária é importante e verificou-se um grande potencial de economia de energia pois no contrato atual com o sistema atual tem-se bombas com um rendimento muito baixo e tarifas não adequadas a situação. O sistema proposto necessita de um manejo adequado e com este manejo pode-se chegar a uma economia financeira de 48,18% em todo o sistema estudado.

No caso do SAAE Viçosa, o investimento de R\$ 120.000,00 é viável, conforme análise de retorno do investimento realizada.

Este trabalho apresenta um caminho para as muitas estações de bombeamento que existem em funcionamento, sendo este o principal foco do estudo e é perfeitamente aplicável na prática.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7094**, Máquinas elétricas, motores de indução, especificação. Projeto original NBR 7094, 1994. Rio de Janeiro: ABNT novembro, 1996.

CAMARGO, I. M. T. **Noções básicas de engenharia econômica**: aplicações no setor elétrico. Brasília: FINATEC, 1998. 141 p.

CAMPANA, S. **Racionalização do uso de energia elétrica em sistemas de irrigação tipo pivô central e aspersão convencional**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2000. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Tarifas horosazonais** – Manual de orientação ao consumidor. Rio de Janeiro: CEMIG, 1998.

CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Soluções energéticas** – Programa Inversores de Freqüência. Belo Horizonte: CEMIG, 2001.

CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Como estruturar um programa de gestão energética**. Belo Horizonte: CEMIG, 2003.

DORF, R. C. **The electrical engineering handbook**. [s.l. : s.n.] 1993. 2661 p.

EBERLE, Catálogo eletrônico 2003. Caxias do Sul, RS. Disponível em: www.eberle.com.br Acesso em: 2003.

FRIZZONE J. A.; SILVEIRA, S. de F. R. Avaliação e custos de projetos de irrigação. In: SEMINÁRIO ENERGIA NA AGRICULTURA – CEMIG, 1.,2000, Uberaba: **Anais...** Uberaba, MG: [s.n.], 2000. v.1, p. 1-87.

HANSON, B.; WEIGAND, C.; ORLOFF, S. Performance of electric irrigation pumping plants using variable frequency drives. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, p.179 - 182, May/Jun 1996.

KLINE, R. **Science and Engineering Theory in the Invention and Development of the Induction Motor, 1880-1900.** *Technology and Culture*, Vol. 28, No. 2 (Apr., 1987) , pp. 283-313.

KOHLBACH, Catálogo eletrônico 2000, versão 1.0. Jaraguá do Sul, SC. Disponível em www.kohlbach.com.br Acesso em: 2003.

MASIERO, L. A. M. Utilização de inversores de frequência para racionalização da uso de energia elétrica em sistemas de irrigação do tipo pivô central. **Energia na Agricultura**, V.7, n.1, Viçosa, MG, Jan/Mar 1999.

OLIVEIRA, A.A.C.C e Sá Jr, J.C. **Uso Eficiente de Energia Elétrica;** Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1998.

PINHEIRO, S. F. Conservação de energia elétrica – Recurso energético planejável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 1., 1989 Campinas. **Anais...** Campinas, SP: [s.n.], 1989, p 95-108.

PROCEL – PROGRAMA DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ENERGIA ELÉTRICA; **Entendendo o motor de alto rendimento.** Rio de Janeiro: CEPEL, 2000.

SANTOS, W. L. **Desenvolvimento de uma metodologia para representação analítica de curvas características de bombas hidráulicas, visando seleção, seu dimensionamento e simulação de sua operação.** Viçosa MG: UFV Imp. Univ., 2001 69 f.: il. Tese Doutorado em Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

TABOSA, R. de P.; SOARES, G. A.; SHINDO, R. **Guia técnico – Motor de alto rendimento.** Rio de Janeiro: Ed. ELETROBRÁS/PROCEL & CEPEL, agosto 1998.

TEIXEIRA, C. A.; OLIVEIRA FILHO, D.; SANTOS, W. L. Digitalização de curvas características de rendimento de motores elétricos para adequação de força motriz. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. **Resumos...** Campinas, SP.: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000. p. 126).

TEIXEIRA, C. A. **Metodologia para adequação do uso de força motriz em processos agrícolas.** Viçosa MG: UFV, Imp. Univ., 2002. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

WEG. **Catálogo eletrônico de produtos 2001**, Jaraguá do Sul, RS. Disponível em <http://www.weg.com.br> Acesso em: 2003.