



## Metodologia de diagnóstico energético em estação de captação de água

**Delly Oliveira Filho<sup>1</sup>, Ricardo P. Sampaio<sup>2</sup>, Maria J. de Moraes<sup>3</sup>,  
Tarcísio de A. Pizziole<sup>4</sup> & Jorge H. A. de C. Damiano<sup>5</sup>**

### RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, o desenvolvimento de metodologia para diagnosticar energeticamente sistemas de captação de água com vistas ao abastecimento da irrigação e para meio urbano. Foram avaliados: (i) a qualidade da energia elétrica fornecida pela concessionária em relação aos quesitos nível e desbalanceamento do sinal de tensão da rede; (ii) o consumo e a demanda de energia elétrica na estação de captação; (iii) o levantamento das características elétricas e hidráulicas das cargas; (iv) o enquadramento e a otimização tarifárias; (v) a capacidade de armazenamento de água e (vi) o gerenciamento dos horários de funcionamento. Esta metodologia foi testada e validada para a estação de bombeamento de água em uma cidade de cerca de 70.000 habitantes. Dentre as ações propostas e que mais economizaram com gastos com energia elétrica, se encontram: (i) o redimensionamento de bombas e motores e (ii) o enquadramento e a otimização tarifárias. No caso testado observou-se que a metodologia utilizada é simples e de fácil aplicabilidade, havendo um potencial de economia de energia elétrica com valores de até 52%.

**Palavras-chave:** redução de custo de energia elétrica, estações de bombeamento de água, motores elétricos

## Methodology for energetic diagnosis for a water pumping station

### ABSTRACT

This study aimed to develop a methodology to diagnose energetically a water supply system for a irrigation system and for a city. The steps taken were: (i) the energy quality supplied by the utility in relation to level and unbalanced of the supplied voltage; (ii) the electrical energy consumption and demand for the pumping station; (iii) the study of the electrical and hydraulic load's characteristics; (iv) the tariff and demand contracts optimization; (v) the water storage capacity; and (vi) the working hours management. This methodology was tested and validated for the water pumping station in a town of about 70,000 inhabitants. Among the proposed actions, which saved the most, were: (i) the sizing of pumps and motors; and (ii) the optimization of tariff and demand contracts. It was noted that this methodology is simple and easy to apply and there is a great potential for saving energy up to 52%

**Key words:** electrical energy cost reduction, water pumping stations, electrical motors

<sup>1</sup> DEA/UFV, Av. P.H. Rolfs, CEP: 36570-000, Viçosa, MG, Fone: (31) 3899-1897. E-mail: [delly@ufv.br](mailto:delly@ufv.br).

<sup>2</sup> Vale, Nova Lima, MG, Fone: (31) 3916-2136. E-mail: [letsmg@ig.com.br](mailto:letsmg@ig.com.br)

<sup>3</sup> UEG/UFV, Fone: (62) 3328-1160. E-mail: [maria.moraes@ufv.br](mailto:maria.moraes@ufv.br)

<sup>4</sup> DEL/UFV, CEP 36570-000, Viçosa-MG, Fone: (31) 3899-4095. E-mail: [pizziole@ufv.br](mailto:pizziole@ufv.br)

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFV, CEP 36570-000, Viçosa, MG. Fone: (31) 3899-1897. E-mail: [jorge.damiao@ufv.br](mailto:jorge.damiao@ufv.br)

## INTRODUÇÃO

As estações de captação de água têm a função de retirar a água de um manancial, seja de seu curso natural ou de um reservatório e transportá-la para as estações de tratamento de água (abastecimento urbano) ou suprir sistemas de irrigação. Sabe-se que quase a totalidade da energia consumida se destina ao funcionamento dos conjuntos motobombas sendo necessário, portanto, conhecer o funcionamento dessas máquinas.

Em estações de captação de água o motor elétrico é utilizado para suprir a energia mecânica demandada pela bomba hidráulica que, por sua vez, pressuriza a água, elevando-a a um nível superior.

Tanto no setor industrial quanto no setor rural da economia a tração motriz é a principal forma de uso final de energia elétrica, em que os motores assíncronos, ou de indução, de corrente alternada, monofásico e trifásico, são os mais utilizados para este fim.

Os motores de indução têm características de rotações diferentes em relação aos motores síncronos. Além de serem mais robustos e de custo de aquisição menor, funcionam com uma velocidade levemente inferior à velocidade síncrona, situando-se entre 0,8% e 5% (Campana et al., 2000). O uso intensivo deste motor está frequentemente associado às suas características de resistência, fácil manutenção, adaptação a diversas situações de cargas e operação econômica, quando bem dimensionado (Goedel et al., 2006).

Em regime permanente 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 se encontra 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 e fatores de potência menores visto que requerem, proporcionalmente, maior quantidade de energia elétrica para produzir energia mecânica (Oliveira Filho et al., 2010).

Os motores de alto rendimento ou motores de perdas reduzidas são mais caros que os modelos clássicos; entretanto, com o uso se pode revelar econômico, desde que o número de horas de utilização seja suficientemente grande para proporcionar significativa economia de energia e justificar o investimento (ELETROBRÁS, 2002). Segundo Cardoso et al. (2009), a introdução de motores mais eficientes no mercado brasileiro resultou em economias de energia na ordem de 428 GWh e em redução de demanda de ponta de 119 MW no ano de 2007.

Na avaliação do rendimento energético 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 e ao longo da linha de recalque, para evitar o retorno e, em consequência, o golpe de Aríete da água, quando o sistema for desligado; (iv) a escolha da bomba deve ser criteriosa, de modo a atender às 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 (Betini et al., 2008).

Marcolin & Robaina (2002) afirmaram, estudando o consumo de energia elétrica em estações de bombeamento, que a troca de bombas centrífugas antigas pode gerar economias substanciais, sendo comum se encontrar máquinas com mais de 20 anos de uso. A substituição dessas máquinas por outras de tecnologia mais eficientes, cujos rendimentos atingem valores iguais ou maiores que 80 %, pode acarretar economia de até 44 % dos gastos com energia elétrica.

Segundo Teixeira et al. (2007) 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. Em condições de trabalho as características técnicas originais de motores e bombas alteram ao longo do tempo, observando-se tendência do rendimento dos equipamentos ficarem prejudicados com o uso prolongado. Dentre as razões para essas alterações, são ressaltados: manutenções; modificações no projeto original, como mudanças de diâmetro das tubulações devido à corrosão e uso; desgastes nos rolamentos, outros danos mecânicos e variação climática, dentre outros.

São relevantes a integração dos dimensionamentos elétricos e hidráulicos, a avaliação do impacto da qualidade de energia, a automação de estações de captação de água, o enquadramento e a otimização tarifárias, bem como análises detalhadas sobre a melhor forma de gerenciamento da estação, no que diz respeito ao horário de funcionamento, armazenamento de água e quantidade de água necessária, visando à economia de energia.

Considerando a existência de centenas de estações de bombeamento de água destinadas ao abastecimento urbano e à agricultura (irrigação) em todo o Brasil, torna-se imprescindível a elaboração de uma metodologia para avaliar e realizar o diagnóstico energético de cada uma. O presente trabalho foi desenvolvido no sentido de propor uma metodologia para diagnosticar energeticamente uma estação de captação de água.

## MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia foi desenvolvida e avaliada nos Laboratórios da Área de Energia do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa e na unidade do rio São Bartolomeu, de captação de água do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa – SAAE, ambos em Viçosa, MG. Esta estação de bombeamento supriu cerca de 75% das necessidades de água do município, com cerca de 70.000 habitantes, em 2009.

Primeiro, avaliou-se a qualidade da 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 elétrico, além da simulação do consumo e da demanda de energia elétrica para o sistema proposto; logo, foram calculados os gastos com energia elétrica (consumo e demanda), em comparação com o sistema atual.

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

Para a aquisição de dados de qualidade de energia fornecida pela concessionária utilizou-se o medidor universal de grandezas elétricas ELO, modelo 2160, com memória de massa e comunicação com microcomputadores e se registraram os dados em tempo real para cada uma das fases, como: (i) tensão, (ii) corrente, (iii) potência ativa, (iv) potência reativa e (v) potência aparente e (vi) fator de potência. Visando à realização da análise de qualidade do fornecimento de energia elétrica, foi adotada a Norma Técnica 7094, da ABNT (1994).

Na estação de captação de água do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa – SAAE foram estudados três conjuntos motobomba, dois em operação (conjuntos 1 e 2) funcionando em paralelo e um em reserva (conjunto 3), sendo todos os motores com mais de 29 anos de uso, de 55,2 kW (75 cv); a vazão total é de 400 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> e a altura manométrica é de 740,40 kPa (75,5 mca). A estação de captação de água trabalha 7.300 h ano<sup>-1</sup>, bombeando um volume médio de água de 3.816 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>.

No desenvolvimento da metodologia para realização do diagnóstico energético, 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 quanto à caracterização do sinal de energia elétrica atual, em relação ao sinal de energia elétrica ideal;

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

(iii) Avaliação:

a. consumo e a demanda de energia elétrica e os gastos com energia elétrica no uso dos equipamentos existentes, motores e bombas;

b. Redimensionamento das bombas, de modo que seja adequado do ponto de vista do uso racional de energia, caso necessário;

c. Redimensionamento dos motores elétricos, de maneira que sejam adequados do ponto de vista do uso racional da

energia, supondo-se ideal o sinal de energia elétrica e se mantendo o dimensionamento hidráulico;

Foram estudadas opções de substituição dos conjuntos motobombas atuais (conjunto 1 e 2) por meio de: (i) substituição por conjuntos eficientes e adequados dos atuais três conjuntos motobombas (sendo um em reserva) e (ii) modificação da configuração atual (conjunto 1 e 2 trabalhando em paralelo) para apenas um conjunto em operação (sendo um em reserva).

Na escolha de cada opção de substituição das atuais 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, tecnicamente, a situação em questão, ou seja, que venham a requerer a menor potência (Oliveira Filho et al., 2004a).

Para a avaliação da adequação de força motriz deve-se medir ou estimar o rendimento do motor elétrico na condição de carga. Dentre os parâmetros que podem ser considerados para a adequação de força motriz, citam-se: (i) potência de entrada; (ii) corrente; (iii) escorregamento e (iv) fator de potência. Nesses casos, a avaliação do índice de carregamento e, por consequência, do rendimento, é feita por meio das curvas características dos motores (Oliveira Filho et al., 2004b).

Segundo a ELETROBRÁS (2002), o rendimento do motor elétrico trifásico é afetado por: (i) nível de tensão; (ii) desequilíbrio de tensões nas fases (iii) trabalhar com baixo carregamento; (iv) estar superdimensionado para a carga e (v) tecnologia do motor.

Para a adequação tarifária foram levantadas informações das contas de energia elétrica relativas aos anos 2001 e 2002. 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 e simuladas 4 alternativas de demanda de contrato que venham a minimizar a conta anual de energia elétrica; por fim, determinou-se aquela que representa a opção mais econômica.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando os fatores de redução de capacidade e os rendimentos de motores comerciais, conforme suas curvas características originadas pelos fabricantes e calculando seu carregamento para cada caso, simulou-se o rendimento para diversas situações. Apresentam-se, na Tabela 1, a influência da variação da altura manométrica, a vazão e a tensão nos rendimentos dos motores e nos custos de energia elétrica. Verificou-se que o aumento de custo apresentou uma variação de cerca de até 2,0% de vez que a tensão de fornecimento foi menor que a nominal; já o tamanho do conjunto motobomba (definido a partir da altura manométrica e vazão) não influenciou significativamente o aumento de custos causado por variação de tensão.

A concessionária de energia elétrica tem que fornecer energia aos consumidores em determinados padrões até sendo tolerável, no caso, uma variação na tensão de fornecimento para baixo de 8,7% e uma variação para cima de 4,0%, conforme a Resolução nº 505 (ANEEL, 2001).

**Tabela 1.** Influência da variação da altura manométrica, vazão e tensão nos rendimentos dos motores e nos custos de energia elétrica

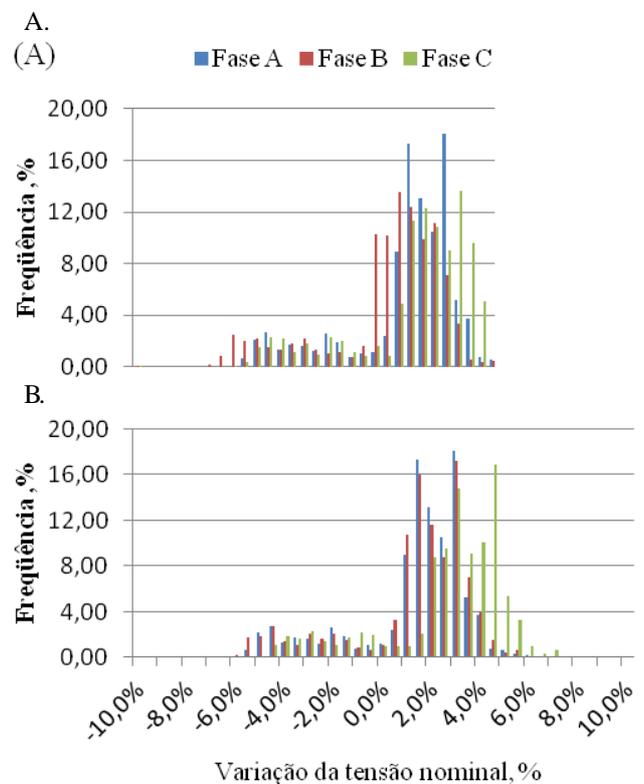
Condição de trabalho		Rendimento conforme variação de tensão					Aumento do custo (%) conforme variação da tensão			
Atura man. mca	Vazão m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	-10	-5	0	5	10	-10	-5	5	10
20	100	88,7	90,0	90,5	90,0	89,5	2,03	0,56	0,56	1,12
	150	89,4	90,7	91,2	90,7	90,2	2,01	0,55	0,55	1,11
	200	90,0	91,3	91,8	91,3	90,8	2,00	0,55	0,55	1,10
	250	90,4	91,7	92,2	91,7	91,2	1,99	0,55	0,55	1,10
40	100	90,0	91,3	91,8	91,3	90,8	2,00	0,55	0,55	1,10
	150	91,0	92,3	92,8	92,3	91,8	1,98	0,54	0,54	1,09
	200	90,7	92,0	92,5	92,0	91,5	1,98	0,54	0,54	1,09
	250	90,7	92,0	92,5	92,0	91,5	1,98	0,54	0,54	1,09
60	100	90,4	91,7	92,2	91,7	91,2	1,99	0,55	0,55	1,10
	150	91,0	92,3	92,8	92,3	91,8	1,98	0,54	0,54	1,09
	200	91,7	93,0	93,5	93,0	92,5	1,96	0,54	0,54	1,08
	250	91,4	92,7	93,2	92,7	92,2	1,97	0,54	0,54	1,08

Com os dados obtidos avaliaram-se as tensões mínimas e máximas no intervalo de coleta, a fim de estudar a variação da tensão em relação aos padrões da ANEEL. A Figura 1A mostra o perfil de variação das tensões mínimas registradas nas fases A, B e C, durante o período de coleta de dados; a Figura 1B mostra o perfil de variação das tensões máximas nas fases A, B e C durante o período de coleta de dados; nota-se que a tensão mínima fornecida pela concessionária em todo o teste está dentro dos padrões de qualidade exigidos; já a tensão máxima superou os limites estabelecidos do tempo amostral, em 1,74% na fase A, 2,64% na fase B e 27,64% na fase C. A influência desta variação de tensão no rendimento do motor, segundo ELETROBRÁS (2002), com a variação média de tensão, foi de cerca de 0,36 % no rendimento. Observa-se que as tensões variaram durante os sete dias de análise de -7% a +7% dos valores nominais; como o rendimento dos motores elétricos é mais afetado por subtensões do que por sobretensões, é sempre necessário se avaliar as variações de rendimento em função de valores instantâneos e não dos médios, para o período porém a avaliação em função dos valores médios é rápida e certamente permite uma primeira aproximação, ainda que não precise estimar, para menos, a variação da queda do rendimento do motor.

A realização de uma visita, o diálogo com os operadores e funcionários da estação de bombeamento e o conhecimento da instalação, foram fundamentais para este trabalho pois somente assim foi possível efetuar uma coleta de dados correta.

O bombeamento é realizado em apenas uma linha de recalque e o sistema é escorado sempre que necessário. Os conjuntos motobombas da estação de bombeamento de água bruta do Ribeirão São Bartolomeu do SAAE de Viçosa se encontram em nível inferior ao do manancial, cerca de 3 m. A partir do levantamento de dados da estação, foram feitas as avaliações apresentadas a seguir.

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. Foram selecionadas duas opções de substituição para o que apresentavam melhores rendimentos comparadas ao conjunto 1, em funcionamento na



**Figura 1.** Dados de qualidade de energia elétrica coletadas em intervalos de cinco minutos durante uma semana no Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa, Viçosa, MG: (A) Distribuição de frequência de tensões mínimas na fase A, B e C; (B) distribuição de frequência de tensões máximas na fase A, B e C

estação; com isto, requerem menor potência para a situação no conjunto 1; Tabela 2.

Segundo Zocoler et al. (2011), ao se selecionar uma bomba hidráulica o rendimento da bomba é um requisito fundamental nesta seleção, pois se o mesmo for pequeno maior será a exigência de potência do motor e demais equipamentos para acioná-la, proporcionando maiores custos de aquisição e maior custo operacional do sistema.

Para verificar o gasto de energia anual consideraram-se uma jornada de trabalho de 20 h por dia e 365 dias por ano, com o

**Tabela 2.** Características técnicas de duas opções de substituição a situação atual do conjunto motobomba 1, instalado no Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa

Descrição	Situação atual (MB-1)	Opção 1 (MB-1)	Opção 2 (MB-1)
1 Fabricante/modelo da bomba	Albrizzi/A11862	Mark Peerless-GM	EH – EHF 100-45
2 Diâmetro comercial do rotor (mm)	-	203	400
3 Fabricante do motor	GE	WEG	WEG
4 Potência nominal do motor (kW cv <sup>-1</sup> )	55,2 / 75	55,2 / 75	55,2 / 75
5 Altura manométrica (mca)	72	72	72
6 Vazão (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	190,8	190,8	190,8
7 Rotação (rpm)	1750	3500	1750
8 Horas de funcionamento anual (h ano <sup>-1</sup> )	7300	7300	7300
9 Volume requerido (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )	3816	3816	3816
10 Potência absorvida na bomba (kW cv <sup>-1</sup> )	49,3/67,0	46,1/62,7	50,3/68,3
11 Índice de carregamento (%)	89,26%	83,61%	91,06%
12 Corrente (A)	207,2	155	170
13 Rendimento do motor (%)	81,28%	91,50%	91,17%
14 Rendimento da bomba (%)	76,00%	81,14%	74,50%
15 Consumo de energia elétrica (kWh ano <sup>-1</sup> )	442.778,05	367.792,35	402.753,10
16 Gasto com consumo de energia elétrica (R\$ ano <sup>-1</sup> )	74.165,32	61.605,22	67.461,14
17 Economia (%)	---	16,94%	9,04%
18 Economia anual (R\$)		12.560,10	6.704,18

que se constatou que o gasto de energia anual seria 16,94% inferior ao atual, quando se considerou a opção 1 e, para a opção 2, foi 9,04% menor. Verifica-se, para as duas opções, que os motores possuem rendimento maior que o rendimento do motor atual.

O mesmo procedimento foi adotado para o conjunto 2, obtendo-se o resultado apresentado na Tabela 3 na qual se o conjunto 2 (sistema atual) fosse substituído pela opção 1, teria uma economia de energia de 7,59% ao ano; na opção 2 o custo da energia elétrica seria 3,61% ao ano superior ao da bomba utilizada atualmente; verificou-se que o conjunto 2 opera com índice de carregamento superior a 100%, o que caracteriza subdimensionamento para a carga atual, podendo ocasionar diminuição da sua vida útil.

O estudo a seguir foi realizado para substituir as duas bombas (conjunto 1 e 2) por apenas uma, mantendo-se a altura manométrica e a vazão necessária para o abastecimento da estação de tratamento de água, a fim de atender à avaliação proposta na metodologia. Os valores são apresentados na

Tabela 4. Verificou-se que o gasto anual de energia elétrica seria 15,69% menor com apenas um conjunto motobomba do que a situação atual, isto é, com dois conjuntos. Nesta avaliação não se levou em consideração o fato de que bombas operando em paralelo podem ter o rendimento do conjunto inferior, ou seja, os ganhos pela instalação de apenas um conjunto serão superiores que 15,69 %.

Para controle da demanda nos horários de ponta, em que a energia é mais cara, o sistema funciona apenas com um conjunto motobomba; foi relatada e comprovada a ocorrência de uma falha sendo que, em um dia, foram ligados os dois conjuntos no horário de ponta, o que gerou um custo de ultrapassagem de demanda,

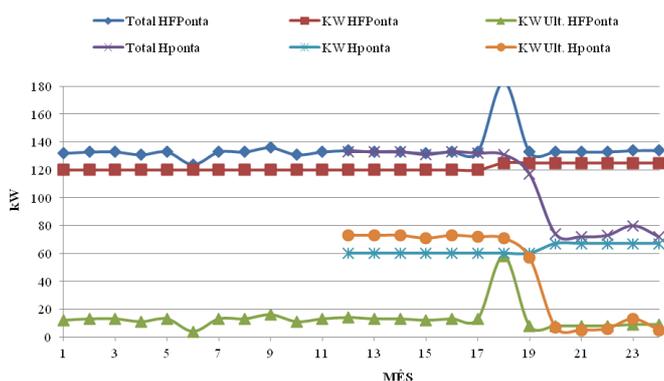
Analisaram-se as contas de energia elétrica da estação de bombeamento e se verificou que o contrato de energia elétrica não era eficiente, pois havia várias multas por ultrapassagem de demanda, como mostra a Figura 2. Sabe-se, também, que o objetivo, ao se fazer tanto o enquadramento tarifário quanto a otimização das demandas de contrato, não é o não pagamento

**Tabela 3.** Características técnicas de duas opções de substituição a situação atual do conjunto motobomba 2, instalado no Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa

Descrição	Situação atual (MB-2)	Opção 1 (MB-2)	Opção 2 (MB-2)
1 Fabricante/modelo da bomba	Albrizzi/A20447	KSB Meganorm / 80-200	KSB Meganorm / 125-400
2 Diâmetro comercial do rotor (mm)	-	208	399
3 Tipo do motor	WEG	WEG	WEG
4 Potência nominal do motor (kW cv <sup>-1</sup> )	55,2/75	55,2/75	73,6/100
5 Altura manométrica (mca)	72,59	72,59	72,59
6 Vazão (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	220	220	220
7 Rotação (rpm)	1750	3500	1750
8 Horas de funcionamento anual (h ano <sup>-1</sup> )	7300	7300	7300
9 Volume requerido (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	4400	4400	4400
10 Potência absorvida na bomba (kW cv <sup>-1</sup> )	58,0/78,8	53,5/72,7	60,2/81,8
11 Índice de carregamento (%)	105,01%	96,94%	81,80%
12 Corrente (A)	211,3	170	205
13 Rendimento do motor (%)	92,00%	91,83%	92,16%
14 Rendimento da bomba (%)	75,10%	81,35%	72,31%
15 Consumo de energia elétrica (kWh ano <sup>-1</sup> )	460.217,39	425.296,74	476.844,62
16 Gasto com consumo de energia elétrica (R\$ ano <sup>-1</sup> )	77.086,41	71.237,20	79.871,47
17 Economia (%)	---	7,59%	-3,61%
18 Economia anual (R\$)		5.849,21	-2.785,06

**Tabela 4.** Características técnicas da opção de substituição dos dois conjuntos atuais (motobombas 1 e 2), por apenas um conjunto motobomba a ser instalado no Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa

Descrição	Opção 1 (apenas uma bomba)
1 Fabricante/modelo da bomba	KSB 150-400 Meganorm
2 Diâmetro comercial do rotor (mm)	389
3 Tipo do motor	Alto rendimento WEG
4 Potência nominal do motor (kW cv <sup>-1</sup> )	110,4/150
5 Altura manométrica (mca)	72
6 Vazão (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	410,8
7 Rotação (rpm)	1750
8 Horas de funcionamento anual (h ano <sup>-1</sup> )	7300
9 Volume requerido (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )	8216
10 Potência absorvida na bomba (kW cv <sup>-1</sup> )	98,8/134,3
11 Potência absorvida no motor (kW)	104,23
11a Índice de carregamento (%)	89,50%
12 Corrente (A)	315,5
13 Rendimento do motor (%)	94,80%
14 Rendimento da bomba (%)	81,60%
15 Consumo de energia elétrica (kWh ano <sup>-1</sup> )	760.801,69
16 Gasto com consumo de energia elétrica (R\$ ano <sup>-1</sup> )	127.434,28
17 Economia (%)	15,69%
18 Economia anual (R\$)	22.925,85



**Figura 2.** 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

de multas durante a vigência do contrato; esta visão simplista de não pagamento de multas se confunde com o real objetivo da otimização das demandas de contrato. É preciso transparência no fato de que o objetivo da otimização de demandas é que o total pago (tarifas de ponta e fora de ponta referentes ao consumo e a demanda, inclusive as multas) seja minimizado.

Apresenta-se, a seguir, a síntese das situações analisadas de demanda de contrato de energia elétrica de ponta e de fora de ponta, para a situação atual e alternativas propostas, Tabela 5. Na situação atual as demandas de fora de ponta e de ponta são de 125 e 67 kW, respectivamente; as alternativas 1 e 2 prevêem que funcione apenas uma bomba no horário fora de ponta e que, na ponta, só cargas de consumo geral, como escritório e iluminação sejam acionadas, gerando uma economia expressiva, fato passível de ocorrer em virtude do aumento da capacidade de reserva de água tratada, ou seja, a água tratada reservada supre as necessidades do horário de ponta; já a alternativa 3 prevê o funcionamento de até duas bombas em paralelo, sendo duas

simultaneamente no horário fora de ponta e uma no horário de ponta. Finalmente, a alternativa 4 prevê apenas o funcionamento de uma bomba, tanto na ponta quanto fora de ponta.

**Tabela 5.** Demanda de contrato de energia elétrica de ponta e de fora de ponta para a situação atual e alternativas propostas

Item	Rotação (rpm)	Demanda (kW)	
		Fora de ponta	Ponta
Demanda contratada atualmente	1750	125	67
Alternativa 1 Adotando-se 1 bomba	1750	115	10
Alternativa 2 Adotando-se 2 bombas em paralelo	1750	130	10
Alternativa 3 Adotando-se 2 bombas em paralelo	1750	130	70
Alternativa 4 Adotando-se 1 bomba	3500	115	115

Assim, simular, sempre, diferentes combinações de: (i) número de bombas funcionando em paralelo, o que influencia na liberdade da operação da estação de bombeamento; (ii) capacidade de reserva de água tratada no caso de abastecimento urbano; (iii) tarifas: a) tarifa horossazonal – azul e verde; b) tarifa convencional; c) tarifa com descontos especiais: tarifa noturna para irrigação e tarifa para abastecimento de água e (iv) rotação que influencia no aumento do universo, possível de opções de bombeamento e de acionamento elétrico.

Realizou-se um estudo de custo de energia elétrica apresentado na Tabela 6; de acordo com a substituição dos motores e bombas e as adequações tarifárias propostas na Tabela 5. Obteve-se o custo atual com os dados relativos à Resolução da ANEEL n° 960 (ANEEL, 2010), considerando-se todas as ultrapassagens de demanda que ocorreram no período, mesmo quando não foi cobrado. Os preços foram obtidos para consumidores da estrutura tarifária horossazonal na modalidade Tarifa Azul, subgrupo A4, que é a modalidade em estudo no presente trabalho. Verifica-se que o horário de funcionamento da estação de bombeamento e a adequação da força motriz exercem grande influência no custo da energia elétrica, afirmação semelhante e realizada por Teixeira et al. (2005) quando estudaram a racionalização do uso de força motriz em fábrica de ração.

Todas as alternativas estudadas geraram uma economia de gasto anual de energia elétrica em comparação à do atual sistema, destacando-se a alternativa 1, com 52,25% de economia; pode-se observar, então, que haverá um potencial de economia significativo na unidade de bombeamento de água do SAAE do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa, MG, caso sejam tomadas as medidas propostas neste diagnóstico energético.

É oportuno enfatizar que todas as etapas propostas pela metodologia desenvolvida de diagnóstico energético em estação de captação de água foram significativas, técnica e economicamente, a saber: (i) avaliar a qualidade de energia elétrica fornecida; (ii) conhecer os usos finais da energia elétrica; (iii) avaliar equipamentos, especialmente bombas e motores e (iv) enquadrar tarifas de energia elétrica e otimizar as demandas de energia elétrica de contrato. Por último, ressalva-se que a otimização das demandas de contrato deve ser feita anualmente tendo em vista o realinhamento tarifário, o comportamento da carga e mudanças de equipamentos.

**Tabela 6.** Estudo de custos com diversas alternativas de contratação de demandas

	Preço (R\$)		Custo anual				
			Custo atual	Custo alt. 1	Custo alt. 2	Custo alt. 3	Custo alt. 4
Demanda de ponta							
kWh ponta	60,61		48730,44	7273,20	7273,20	50912,40	83641,80
KkW Ult. Hponta	181,84		95647,84	0,00	0,00	0,00	0,00
Demanda fora de ponta			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
kW Hfponta	16,75		25125,00	23115,00	26130,00	26130,00	23115,00
kW Ult. Hfponta	50,27		8646,44	0,00	0,00	0,00	0,00
Consumo							
	Ponta seca	Ponta úmida					
kWh Hfponta	0,19	0,17	156655,52	135479,96	141311,43	113049,14	108383,97
kWh Hponta	0,31	0,28	17170,23	2183,67	2183,67	8424,49	14906,92
Custo total	-----	-----	351975,46	168051,83	176898,30	198516,03	230047,68
Economia	-----	-----		52,25%	49,74%	43,60%	34,64%

### CONCLUSÕES

1. Quanto à metodologia, verificou-se ser eficaz e de fácil aplicabilidade, segundo as diretrizes fornecidas para realização de um trabalho de diagnóstico em estação de captação de água funcionando, desta forma, como roteiro básico para a realização de diagnóstico energético, fornecendo passos para otimizar as estações comerciais de bombeamento de água.

2. Com as simulações das substituições dos conjuntos motobomba por conjuntos de maior rendimento e adequações tarifárias, obteve-se um potencial de economia com os gastos com energia elétrica de 52,25%, que é a proposta da adoção de um conjunto motobomba (mais o conjunto em reserva) em substituição dos dois existentes funcionando em paralelo (mais um terceiro conjunto em reserva) e a contratação de demanda de 115 kW fora de ponta e 10 kW na ponta.

### AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais, FAPEMIG, pelo apoio; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior, CAPES, à Universidade Federal de Viçosa, UFV, e à Universidade Estadual de Goiás, UEG.

### LITERATURA CITADA

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7094, máquinas elétricas, motores de indução, especificação. Projeto original NBR 7094, 1994. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 61p.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução n.505, 26 de novembro de 2001, Brasília: ANEEL, 2001. 12p.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução n.960, 06 de abril de 2010, Brasília: ANEEL, 2010. 14p.

Betini, M. O.; Zanini, J. R.; Foratto, L. C.; Pereira, G. T. Avaliação de tanques de escorva utilizados em substituição à válvula-de-pé em instalações de bombeamento. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.460-470, 2008.

Campana, S.; Oliveira Filho, D.; Soares, A. A.; Oliveira R. A. Estudo comparativo de métodos para estimativa do carregamento e rendimento de motores elétricos para auditoria energética. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, p.241-246, 2000.

Cardoso, R. B.; Nogueira, L. A. H.; Bortoni, E. C.; Haddad, J.; Souza, E. P. Avaliação da economia de energia, atribuída a ações de etiquetagem energética, em motores de indução no Brasil. *Revista Brasileira de Energia*, v.15, p.29-47, 2009.

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras. Guia Técnico – Motor de alto rendimento. Programa de combate ao desperdício de energia elétrica – PROCEL. Rio de Janeiro: PROCEL, 2002. 28p.

Goedel, A.; Silva, I. N.; SERNI, P. J. A. Uma abordagem neural para estimativa de conjugado em motores de indução. *Revista Controle & Automação*, v.17, p.364-380, 2006.

Marcolin, E.; Robaina, A. D. Consumo de energia e eficiência das estações de bombeamento de lavouras de arroz irrigado. *Revista Ciência Rural*, v.32, p.229-235. 2002.

Oliveira Filho, D.; Ribeiro, M. C.; Mantovani, E. C.; Soares, A. A.; Fernandes, H. C. Dimensionamento de motores para dimensionamento de água. *Engenharia Agrícola*, v.30, p.1012-1022, 2010.

Oliveira Filho, D.; Teixeira, C. A.; Ribeiro, M. C. Racionalização energética de uma estação de pressurização de um perímetro irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, p.135-143, 2004a.

Oliveira Filho, D.; Teixeira, C. A.; Lacerda Filho, A. F. L.; Martins, J. H. Metodologia para racionalização do uso de energia elétrica para obtenção de força motriz em fábrica de ração: Estudo de caso. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, p.144-152, 2004b.

Teixeira, C. A.; Oliveira Filho, D.; Martins, J. H.; Lacerda Filho, A. F.; Pereira, H. A. Racionalização do uso de energia elétrica em unidades armazenadoras de pré-processamento de grãos. *Revista Engenharia na Agricultura*, v.15, p.81-95, 2007.

Teixeira, C. A.; Oliveira Filho, D.; Lacerda Filho, A. F.; Martins, J. H. Racionalização do uso de força motriz em fábrica de ração. *Engenharia Agrícola*, v.25, p.330-340, 2005.

Zocoler, J. L.; Hernandez, F. B. T.; Saad, J. C. C.; Cruz, R. L. Período de recuperação do investimento em bomba hidráulica de melhor rendimento em sistemas de bombeamento na tarifa horossazonal verde. *Engenharia Agrícola*, v.31, p.290-302, 2011.