

**PERÍODO DE RECUPERAÇÃO DO INVESTIMENTO NA BOMBA HIDRÁULICA
DE MELHOR RENDIMENTO EM SISTEMAS DE BOMBEAMENTO
NA TARIFA HORO-SAZONAL VERDE PARA IRRIGANTES**

J.L. ZOCOLER¹; F.B.T. HERNANDEZ²; J.C.C. SAAD³; R.L. CRUZ⁴

¹ Prof. Livre-Docente, Depto. Fitossanidade, Eng. Rural e Solos, UNESP, Av. Brasil, 56, CEP 15385-000, Ilha Solteira, SP. Fone: (18) 3743-1143. E-mail: zocoler@agr.feis.unesp.br

² Prof. Livre-Docente, Depto. Fitossanidade, Eng. Rural e Solos, UNESP, Ilha Solteira, SP.

³ Prof. Livre-Docente, Depto. Eng. Rural, UNESP, Botucatu, SP.

⁴ Prof. Livre-Docente, Depto. Eng. Rural, UNESP, Botucatu, SP.

RESUMO: Neste trabalho ajustou-se um modelo matemático para quantificar o efeito do rendimento da bomba hidráulica na variação dos custos de um sistema de bombeamento na estrutura tarifária horo-sazonal verde (subgrupo A4 - irrigante) e o tempo de recuperação do capital investido no equipamento de maior rendimento. Em seguida, o mesmo foi aplicado a um sistema de bombeamento para suprimento de um equipamento de irrigação do tipo pivô central. As opções de rendimento da bomba hidráulica foram: 69,5% (bomba 1), 73% (bomba 2) e 78% (bomba 3), cujos custos de aquisição foram, respectivamente, R\$ 6.176,00, R\$ 8.479,00 e R\$ 15.509,00. Os resultados da aplicação do modelo mostraram que: i) a substituição da bomba 1 pela 2 foi viável, sendo o período de recuperação do capital investido 3,39 anos; ii) a substituição da bomba 1 pela 3 foi viável, sendo o período de recuperação do capital investido 9,22 anos; e iii) a substituição da bomba 2 pela 3 foi inviável, sendo o período de recuperação do capital investido 21,15 anos, superior a sua vida útil de 15 anos.

PALAVRAS-CHAVE: modelo matemático, energia, custos.

**INVESTMENT RECOVERY PERIOD IN HYDRAULIC PUMP
OF BETTER EFFICIENCY IN PUMPING SYSTEMS
IN THE GREEN HOURLY SEASONAL TARIFF FOR IRRIGATION**

SUMMARY: In this work adjusted a mathematics model to quantify the effect of the pump efficiency on cost variation of the pumping system in the green hourly seasonal tariff (sub-group A4 - irrigation) and the investment recovery period by better equipment. Afterwards, the same was applied in a pumping system for supply a pivot center irrigation set. The hydraulics pump efficiency options were: 69,5% (pump 1), 73% (pump 2) and 78% (pump 3), whose acquisition costs were, respectively, R\$ 6.176,00, R\$ 8.479,00 and R\$ 15.509,00. The results of the model applied showed that: i) the substitution of the pump 1 for the 2 was

viable, being the investment recovery period 3,39 years; ii) the substitution of the bomb 1 for the 3 was viable, being the investment recovery period 9,22 years; and iii) the substitution of the bomb 2 for the 3 was unviable, being the investment recovery period 21,15 years, therefore superior its useful life, considered 15 years.

KEYWORDS: mathematics model, energy, costs.

INTRODUÇÃO: A energia que a cada ano os brasileiros perdem equivale à produção de duas Usinas de Itaipu. Em 2006 o desperdício de energia elétrica no Brasil foi da ordem de R\$ 38 bilhões de kWh (10% do consumo do Brasil) o que representa R\$ 9,5 bilhões jogados fora, considerando-se uma tarifa média de 25 centavos por kWh, segundo a Companhia Energética do Piauí – CEPISA (BRASIL, 2007). Até 1981 a energia elétrica no Brasil era tarifada por um único sistema, denominado convencional, que não tinha diferenciação de preços durante as horas do dia e períodos do ano. Diante da necessidade de estimular o deslocamento de parte da carga para os horários que o sistema elétrico estiver menos carregado, e para os períodos do ano de maior disponibilidade hídrica, foram criadas as tarifas horo-sazonais (verde e azul), que são tarifas de energia elétrica com custos diferenciados de acordo com sua utilização durante as horas do dia e durante os períodos do ano. Esta diferenciação de custos permite a otimização do sistema elétrico nacional e, também, reduzir as despesas com energia elétrica do consumidor que evita o horário de ponta, cuja tarifa é significativamente maior, relata o Comitê de Distribuição de Energia Elétrica – CODI (BRASIL, 1998). O horário de ponta corresponde a três horas consecutivas definidas pela concessionária (normalmente entre as 17 e 21 h) de segunda a sexta-feira, enquanto o horário fora de ponta são as horas complementares às de ponta, acrescidas à totalidade das horas dos sábados, domingos e feriados definidos por lei federal. O período seco é constituído de sete meses consecutivos de maio a novembro, enquanto o período úmido é constituído de cinco meses consecutivos de dezembro a abril. No caso de estações elevatórias de sistemas de abastecimento de água de pequenos e médios portes, Tsutiya (1989) apresenta uma série de alternativas que contribuem com a redução do custo de energia elétrica, entre as quais, o enquadramento na estrutura tarifária mais adequada; não bombeamento no horário de ponta; correção do fator de potência pela instalação de banco de capacitores; uso de variadores de rotação nos conjuntos motobomba para controle da vazão; previsão do uso de dispositivos para a limpeza nos tubos. Os custos de um sistema elevatório são influenciados por muitos componentes, sendo entre eles, a potência e tipo dos equipamentos elétricos utilizados, a modalidade de tarificação da energia elétrica, o rendimento e tipo de bomba hidráulica (ZOCOLER, 1998). Em relação ao

rendimento do conjunto motobomba hidráulica, Oliveira Filho et al. (2004) realizaram um trabalho de racionalização da energia elétrica no Perímetro Irrigado de Mirorós, no município de Ibipeba (BA), verificando que a substituição um modelo de bomba de rendimento 70,5% acionada por um motor elétrico padrão de 184 kW (250 cv) e rendimento 92,19%, por outro modelo de rendimento 81,5% acionada por um motor elétrico de alto rendimento de 110,4 kW (150 cv) e rendimento 94,8%, proporcionaria uma economia nos gastos com energia elétrica de até 31,6%. Diante do exposto, este trabalho propõe um modelo matemático para avaliar o efeito do rendimento da bomba hidráulica na variação dos custos de um sistema de bombeamento na estrutura tarifária horo-sazonal verde (subgrupo A4 - irrigante) e o tempo de recuperação do capital investido no equipamento de maior rendimento, sendo, em seguida, aplicado a um sistema de bombeamento para suprimento de um equipamento de irrigação do tipo pivô central em três opções de rendimento da bomba hidráulica.

MATERIAL E MÉTODOS: Ao se selecionar uma bomba hidráulica se busca um modelo na condição de máximo rendimento ou muito próximo a isto. Sendo assim, as opções entre os modelos disponíveis no mercado são relativamente restritas, podendo um modelo de melhor rendimento hidráulico ter um incremento no custo de aquisição maior que o incremento do rendimento proporcionado. Também, uma pequena variação no rendimento não é suficiente, na maioria das vezes, para se exigir um motor comercial de maior potência, uma vez que o mesmo já é selecionado com certa reserva de potência em relação à bomba hidráulica. Feitas tais considerações, a variação do custo anual total (ΔCAT – em unidades monetárias \$) do sistema de bombeamento para consumidores do Subgrupo A4 – rural e irrigante, diante de duas opções de rendimento e de custo de aquisição da(s) bomba(s) hidráulica(s) pode ser calculada pela equação:

$$\Delta\text{CAT} = \frac{\frac{V_{BH_2} \cdot (1 + M_{BH_2}) \cdot (1 - R_{BH_2}) \cdot r}{(1+r)^{PA_{BH_2}} - 1} - \frac{V_{BH_1} \cdot (1 + M_{BH_1}) \cdot (1 - R_{BH_1}) \cdot r}{(1+r)^{PA_{BH_1}} - 1} + \frac{V_{BH_2} \cdot (1 + M_{BH_2}) \cdot [(1+r)^{PA_{BH_2}} - 1]}{\left[\sum_n (1+r)^n \right] + 1} - \frac{V_{BH_1} \cdot (1 + M_{BH_1}) \cdot [(1+r)^{PA_{BH_1}} - 1]}{\left[\sum_n (1+r)^n \right] + 1}}{f_{BH_2} \cdot V_{BH_2} - f_{BH_1} \cdot V_{BH_1} + \left(\frac{1}{\eta_{BH_2}} - \frac{1}{\eta_{BH_1}} \right) \cdot \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{1000 \cdot \eta_{ME}} \cdot \begin{bmatrix} TDv \cdot (12 - 0,9 \cdot d) + \\ TCvufp [Tufp + Tuhe \cdot (1 - fdtv)] + \\ TCvsfp [Tsfp + Tuhe \cdot (1 - fdtv)] \end{bmatrix}} \quad (1)$$

em que,

V_{BH1} e V_{BH2} – valor inicial (novo) da bomba hidráulica 1e 2 (\$);

M_{BH1} e M_{BH2} – fração do valor inicial da bomba 1e 2 gasto na sua respectiva montagem;

R_{BH1} e R_{BH2} – fração do valor inicial da bomba 1 e 2 após o período de amortização;

r - taxa anual de juros;
 P_{ABH1} e P_{ABH2} – período de amortização ou vida útil da bomba 1 e 2 (anos);
n – expoente polinomial;
 f_{BH1} e f_{BH2} – fração do valor inicial da bomba 1 e 2 gasto anualmente na manutenção e reparos;
 η_{BH1} e η_{BH2} – rendimento da bomba 1 e 2;
Q – vazão do sistema (m^3/s);
H – altura manométrica (m);
 γ - peso específico da água, sendo considerado 9800 N/m^3 ;
TDv – tarifa de demanda verde ($$/kW$);
d – número de ciclos (30 dias/ciclo) completos por ano que o sistema elevatório fica desligado e, com isso, ocorre faturamento de demanda correspondente a 10% da maior demanda medida nos últimos 11 meses, ou seja, a própria DM. (OBS: $0 \leq d \leq 9$);
TCvufp – tarifa de consumo verde no período úmido no horário fora de ponta ($$/kWh$);
TCvsfp – tarifa de consumo verde no período seco no horário fora de ponta ($$/kWh$);
Tufp – tempo de funcionamento do sistema elevatório no período úmido no horário fora de ponta (h);
Tsfp – tempo de funcionamento do sistema elevatório no período seco no horário fora de ponta (h);
Tuhe – tempo de funcionamento do sistema elevatório no período úmido no horário especial para irrigantes (h);
Tshe – tempo de funcionamento do sistema elevatório no período seco no horário especial para irrigantes (h);
fdtv – fator de desconto sobre a tarifa de consumo verde no horário fora da ponta que é um desconto especial para os consumidores rurais que exercem atividade de irrigação e aquicultura, conforme a Resolução 207, de 9 de janeiro de 2006, da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (BRASIL, 2006), sendo que tais descontos incidem somente sobre o consumo de energia elétrica entre as 21:30 e 6:00 h do dia posterior.

Finalmente, o tempo de recuperação (TR – em anos) do capital investido na aquisição de um modelo de bomba de melhor rendimento ($\eta_{BH1} > \eta_{BH2}$ e $V_{BH2} > V_{BH1}$) pode ser calculado pela equação:

$$TR_{BH} = \frac{(V_{BH_2} + M_{BH_2}) - (V_{BH_1} + M_{BH_1})}{|\Delta CAT|} \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O modelo matemático foi aplicado para avaliar a variação do custo anual total do sistema de bombeamento para suprimento de um equipamento de irrigação do tipo pivô central, considerado consumidor do Grupo A, Subgrupo A4, Classe IV, Subclasse a – agropecuário item 2 – serviço de bombeamento de água destinada à atividade de irrigação (Resolução 156, de 3 de maio de 2005 da ANEEL – BRASIL, 2005), bem como o tempo de recuperação do capital investido em uma bomba de melhor rendimento.

O sistema elevatório considerado apresenta vazão (Q) $0,0556 \text{ m}^3/s$ ($200,00 \text{ m}^3/h$) e altura manométrica (H) 79 m. Também apresenta as seguintes características operacionais: Tempo de funcionamento diário: 20 h (ligado meia hora após o término do horário de ponta e

desligado meia hora antes do início do horário de ponta); Número de dias de funcionamento no período seco do ano: 100; Número de dias de funcionamento no período úmido do ano: 20; Tempo total de funcionamento no horário especial para irrigantes: 8,5 horas; Número de meses sem operar o sistema no ano: 4. As tarifas de energia elétrica utilizadas foram (preços da CPFL – Paulista para o subgrupo A4): Tarifa de demanda: R\$ 7,33/kW; Tarifa de consumo no período seco no horário fora da ponta: R\$ 0,17647/kWh; Tarifa de consumo no período úmido no horário fora da ponta: R\$ 0,15995/kWh; Fator de desconto sobre a tarifa de consumo verde no horário fora da ponta para a irrigação: 70% (Região Sudeste). As variáveis financeiras utilizadas foram: Taxa anual de juros: 8,75%; Período de amortização da bomba hidráulica (equivalente à vida útil): 15 anos; Fração do valor inicial da bomba após o período de amortização: 10%; Fração do valor inicial da bomba gasta em sua montagem no sistema: 2%; Fração do valor inicial da bomba gasto anualmente com a manutenção e reparos: 2,5%. Os modelos de bombas hidráulicas passíveis de serem selecionadas para o sistema de bombeamento e que foram utilizadas na aplicação foram:

Bomba 1: Marca/Modelo: KSB Meganorm 125-400; Rendimento: 69,5%; Diâmetro do rotor: 399 mm; NPSH requerido: 2,2 m; Potência requerida: 61,74 kW (84 cv); Preço: R\$ 6.176,00.
 Bomba 2: Marca/Modelo: KSB ETA 125-50/2; Rendimento: 73%; Diâmetro dos rotores: 282 mm; NPSH requerido: 2,2 m; Potência requerida: 58,8 kW (80 cv); Preço: R\$ 8.479,00.
 Bomba 3: Marca/Modelo: KSB WKL 125/2; Rendimento: 78%; Diâmetro dos rotores: 292 mm; NPSH requerido: 4,1 m; Potência requerida: 55,86 kW (76 cv); Preço: R\$ 15.509,00.

Os resultados da aplicação estão apresentados na Tabela 1, apresentada a seguir.

Tabela 1. Custos do sistema de bombeamento influenciados pela utilização dos modelos de bomba 1 e 2 na modalidade de tarifação horo-sazonal verde na irrigação.

VARIÁVEIS DEPENDENTES	BOMBAS HIDRÁULICAS		
	1	2	3
Custo anual de amortização (R\$)	153,30	210,47	384,97
Custo anual de remuneração do capital (R\$)	494,99	679,57	1.243,01
Custo anual de manutenção e reparos (R\$)	154,40	211,98	387,73
Custo anual de demanda de energia elétrica (R\$)	4.106,12	3.909,25	3.658,65
Custo anual de consumo de energia elétrica no período seco (R\$)	13.703,76	13.046,73	12.210,40
Custo anual de consumo de energia elétrica no período úmido (R\$)	2.623,41	2.497,63	2.337,52
Custo anual da energia elétrica (R\$)	20.433,28	19.453,60	18.206,58
Custo anual total (R\$)	21.236,97	20.557,62	20.224,28
Tempo de recuperação do capital (anos) - 1 versus 2	3,39		-
Tempo de recuperação do capital (anos) - 2 versus 3	-	21,15	
Tempo de recuperação do capital (anos) - 1 versus 3	9,22		

Conforme pode ser visto, o tempo de recuperação do capital entre a bomba 1 e 2 foi 3,39 anos, ou seja, em 23% do período de expectativa de vida útil do equipamento, sendo, portanto, viável. No caso da substituição da bomba 2 pela bomba 3 se verifica que a bomba 3, cujo custo de aquisição é 83% superior à bomba 2 (R\$ 7.030,00 a mais para um rendimento 5% superior), teve um tempo de recuperação do capital de 21,15 anos, ou seja, em 141% do período de expectativa de vida útil do equipamento, não sendo, portanto, viável esta substituição. Finalmente, no caso da substituição da bomba 1 pela bomba 3, verifica-se que a bomba 3, cujo custo de aquisição é 151% superior à bomba 1 (R\$ 9.333,00 a mais para um rendimento 8,5% superior), teve um tempo de recuperação do capital de 9,22 anos, ou seja, em 61% do período de expectativa de vida útil do equipamento, sendo também viável.

CONCLUSÕES: O modelo matemático proposto permitiu quantificar o efeito do rendimento da bomba hidráulica na variação dos custos de um sistema de bombeamento e o tempo de recuperação do capital investido no equipamento de maior rendimento, sendo que a aplicação do modelo mostrou que a substituição dos modelos de bombas de menor para maior rendimento foi viável em duas das três situações propostas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BRASIL. Comitê de distribuição de energia elétrica - CODI. **Tarifas horo-sazonais: manual de orientação ao consumidor.** Rio de Janeiro, 1988. 28p.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução n. 153, de 3 de maio 2005.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa n. 207, de 9 de janeiro de 2006.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Companhia Energética do Piauí – CEPIAS, **Todos pagam pelas perdas elétricas.** Notícias, 10 abr. 2004, Teresina (PI). Disponível em: <http://www.cepisa.com.br/cepisa/materia.php?id=90>. Acesso em: 21/02/2008.
- OLIVEIRA FILHO, Delly; TEIXEIRA, Carlos A.; RIBEIRO, Marcos C. Racionalização energética de uma estação de pressurização de um perímetro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande (PB), vol.8, n.1, p.135-143. ISSN 1415-4366.
- TSUTIYA, M.T. Redução do custo de energia elétrica em estações elevatórias de sistemas de abastecimento de água de pequenos e médios portes. São Paulo, 1989. 207p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- ZOCOLER, J.L. Modelo para dimensionamento econômico de sistemas de recalque em projetos hidroagrícolas. Piracicaba, 1998. 107p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.