

## METODOLOGIA DE ESTIMATIVA DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO COM MÚLTIPLOS PIVÔS CENTRAL COM UM CONJUNTO MOTOBOMBA

Antônio Marcos de Melo Medeiros<sup>1</sup>, Alexandre Gomes de Souza<sup>2</sup>, Antônio Melo de Oliveira<sup>3</sup>, José Wilson de Lima Nerys<sup>4</sup>, Wanir José de Medeiros Junior<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Pesquisador Doutor, UFG - Universidade Federal de Goiás, (0xx62) 3209-6070, amarcosmedeiros@gmail.com.

<sup>2</sup> Mestrando, Escola de Eng. Elétrica UFG - Universidade Federal de Goiás, (0xx62) 3209-6070, agsouzaa@gmail.com.

<sup>3</sup> Professor Doutor, UFG - Universidade Federal de Goiás, (0xx62) 3209-6070, antonio.melooliveira@gmail.com.

<sup>4</sup> Professor Doutor, UFG - Universidade Federal de Goiás, (0xx62) 3209-6070, jwlnerys@gmail.com.

<sup>5</sup> Professor Mestre, UFG - Universidade Federal de Goiás, (0xx62) 3209-6070, wanirmedeiros@gmail.com.

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

**RESUMO:** O presente trabalho tem por objetivo propor uma metodologia para estimar a redução no consumo de energia elétrica usando como ferramenta de cálculo as curvas características e equações de vários sistemas de irrigação a pivô central e a equação e curva característica de um conjunto motobomba. Foi feita uma análise minuciosa dos vários pontos de operação do sistema, intersecção entre as curvas dos vários sistemas de irrigação com a curva do conjunto motobomba, resultando na determinação de pontos de economia de energia elétrica. O método desenvolvido foi utilizado para analisar um sistema real com dados de cinco pivôs e uma bomba, instalados na Embrapa arroz e feijão em Santo Antônio Goiás. A economia de energia elétrica obtida para cada pivô foi: 26,14%, 33,15%, 39,44%, 37,44%, 36,55%. O funcionamento em conjunto dos pivôs apresentou uma economia de 49,56%. Este estudo proporcionou análises das situações operacional e física do sistema de irrigação, sendo possível verificar o funcionamento do sistema em condições nominais de operação, permitindo identificar pontos com pressões acima das projetadas. Com a metodologia desenvolvida, é possível avaliar e comparar o sistema com e sem controle de pressão, utilizando um inversor de frequência para controlar a rotação da bomba, tornando-o eficiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Regulação de Velocidade, Eficiência Energética, Múltiplos pivôs

### METHODOLOGY OF ESTIMATING SAVING ELECTRICITY IN IRRIGATION SYSTEMS WITH MULTIPLE CENTER PIVOT ASSEMBLY WITH A PUMP

**ABSTRACT:** This paper aims to propose a methodology to estimate the reduction in energy consumption as calculation tool using characteristic curves and equations of various systems of irrigation and center pivot equation and curve characteristic of a pump assembly. A thorough analysis of the various operating points of the system, the intersection between the curves of various irrigation systems with the curve of the pump assembly, resulting in the determination of points of energy saving was done. The developed method was used to analyze a real system with data from five pivots and pump installed at Embrapa arroz e feijão in Santo Antônio Goiás. The power savings achieved for each pivot was: 26.14%, 33.15%, 39.44%, 37.44%, 36.55%. Working together pivots showed a saving of 49.56%. This study provides analysis of operational and physical conditions of the irrigation system, it is possible to check the operation of the system under nominal operating conditions, allowing to identify points at pressures above projected. With this methodology, it is possible to evaluate and compare the system with and without pressure control using a frequency inverter to control the rotation of the pump, making it efficient.

**KEYWORDS:** Speed Regulation, Energy Efficiency, Multiple pivots

**INTRODUÇÃO:** Os sistemas de irrigação a pivô central exigem uma grande quantidade de energia e água, hoje segundo a agência nacional de água há aproximadamente 4,6 milhões de hectares de área

irrigada do Brasil, segundo levantamento do relatório de conjuntura dos recursos hídricos no Brasil em 2009 (ANA, 2013). Esse relatório mostra um aumento de 50% na área irrigada em dez anos, a uma velocidade de cerca de 150 mil hectares/ano. Com o aumento da área irrigada surgiram outros métodos de aproveitamento do sistema de irrigação no qual utiliza um sistema de motor-bomba para atender vários pivôs, aumentando assim a área irrigada sem necessidade de colocar varias bombas em um sistema de captação(Rodrigues et. al., 2010). Uma situação muito evidenciada em áreas irrigadas por pivô central é o compartilhamento por vários pivôs centrais da mesma estrutura física de captação e condução de água. Esse é o caso, por exemplo, verificado na bacia hidrográfica do Rio Buriti Vermelho. Os pivôs centrais inseridos na área de drenagem dessa bacia captam água de um único local cujo volume de armazenamento é definido. Durante os períodos de elevada demanda hídrica, esse volume não é suficiente para atender simultaneamente a demanda de todos os pivôs. Tal fato leva a ter que tomar decisões freqüentes sobre quando finalizar a irrigação em um pivô e iniciar a irrigação do próximo, e como fazer para reduzir os custos com energia elétrica(Christofidis, 2007). A solução que se propõe é que a partir de resultados com a metodologia já existem para um sistema de irrigação com um pivô e um conjunto moto-bomba, possa ser desenvolvida para o sistema de múltiplos pivôs centrais com um único conjunto motor-momba. Utilizando um sistema cedido pela Embrapa arroz e feijão com cinco pivôs em um mesmo sistema motor-bomba com 250 cv de potência, foi realizado um estudo estimativo utilizando o método já existente, considerando um sistema por vez e também com todos funcionando, e a partir do ponto de entrega e não da captação (Bernardo et. al., 2006).

**MATERIAL E MÉTODOS:** O método matemático descrito consiste em determinar a potencia utilizado em cada ponto de operação do sistema, onde a curva da bomba tem um ponto em comum com a curva do sistema. Os conversores de frequência (Tiago, 1996) são equipamentos eletrônicos formados por retificador filtro é inversor propriamente dito, que formam o acionamento elétrico do motor-bombas, cuja função é o controle da velocidade de rotação dos motores elétricos a corrente alternada (Cendes, 2004). Com a alteração da rotação, observado as leis de semelhança física das máquinas hidráulicas rotativas, as curvas de funcionamento da bomba(altura manométrica x vazão, etc) são alteradas, mudando assim o ponto de operação do sistema(Alves, 2001). Determinando a economia do sistema de irrigação para múltiplos pivôs com um conjunto moto-bomba. Conforme equação 1(Jardim, 1992) abaixo:

$$P_1 \text{ bomba} = Q_1 * H_1 * g * \gamma * \eta_{\text{bomba}}^{-1} \quad (1)$$

Onde:

H1- altura manométrica no ponto 1, da bomba ao ponto mais alto (mca)

Q - vazão no ponto 1(m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>).

P1- Potência necessária a bomba no ponto 1 (W).

g- aceleração da gravidade (9,81 ms<sup>-2</sup>).

γ - massa especifica da água (1000kgm<sup>-3</sup>).

η - Rendimento da bomba na condição do ponto 1;

Calculando de acordo com a figura 1 abaixo, para cada ponto operação.

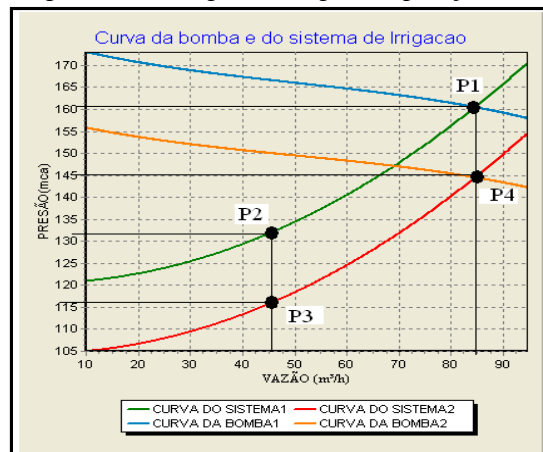


FIGURA 1. Curva da bomba e do sistema variando conforme o terreno, com e sem controle atuando.

Como o sistema de irrigação é dinâmico, ou seja, a altura geométrica varia ao longo do terreno, figura 1. O sistema de controle monitora a variação da pressão ao longo do sistema e altera a velocidade da bomba através do inversor de frequência conforme equação 2 e 4 (Yanagi et. al., 1997, p. 6). Os cálculos da potência e energia consumida são feitos para os pontos 1, 2 e 3 da figura 1 do pivô 1 (Medeiros, 2005; Medeiros, 2010).

$$P_{1Bomba} = 162 \text{ mca} * [85 \text{ m}^3 * (3600 \text{ s})^{-1}] * 9,81 \text{ m s}^{-1} * 1000 \text{ kg m}^{-3} * (0,76)^{-1} = 49,37 \text{ kW} \quad (2)$$

$$E_{1Energia \text{ elétrica}} = P_{1bomba} * \text{Tempo de uma volta} * (\text{rendimento do motor})^{-1} \quad (3)$$

$$E_{1Energia \text{ elétrica}} = 49,37 \text{ kW} * 6,09 \text{ h} * (0,9)^{-1} = 334,07 \text{ kWh} \quad (3)$$

$$P_{2Bomba} = 133 * [46,5 * (3600)^{-1}] * 9,81 * 1000 * (0,74)^{-1} = 41,10 \text{ kW} \quad (4)$$

$$E_{2Energia \text{ elétrica}} = 41,01 \text{ kW} * 6,09 \text{ h} * (0,9)^{-1} = 277,5 \text{ Wh} \quad (5)$$

$$P_{3Bomba} = 118 * [46,5 * (3600)^{-1}] * 9,81 * 1000 * (0,41)^{-1} = 36,47 \text{ kW} \quad (6)$$

$$E_{3Energia \text{ elétrica}} = 36,47 \text{ kW} * 6,09 \text{ h} * 0,9^{-1} = 246,78 \text{ kWh} \quad (7)$$

$$\text{Economia de energia elétrica} = (E1 - E3) * E1^{-1} = (334,1 - 246,8 \text{ kWh}) * 334,1 \text{ kWh}^{-1} * 100\% = 26,13\% \quad (8)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Fazendo os cálculos para os demais pivôs 2, 3, 4 e 5 foi obtida as seguintes tabelas:

Tabela 1 – Potência no eixo da bomba e percentual de redução na potência nos pontos 1, 2 e 3.

Pivôs	H1 (mca)	H3 (mca)	Q1 e Q4 (m <sup>3</sup> )	Q2 e Q3 (m <sup>3</sup> )	n1 e n4 (rpm)	n2 e n3 (rpm)	P1(W)	P3 (W)	ΔP (%)*
P1	162	118	85	46,50	0,76	0,41	49372,70	36468,48	26,14
P2	158	116	94	50,68	0,76	0,45	53252,24	35599,88	33,15
P3	164	104	66	18,08	0,76	0,22	38809,74	23504,00	39,44
P4	165	93	63	16,36	0,76	0,18	37271,55	23423,92	37,15
P5	165	98	59	18,08	0,76	0,22	34905,10	22148,00	36,55

\*: Redução da Potência Entre P1 e P3  $\Delta P(\%) = (P1 - P3) * P1^{-1}$

Tabela 2- Energia elétrica consumida nos pontos 1,2 e 3 e percentual de energia economizada.

Pivôs	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	Tempo (h)*	E1 (kWh)	E2 (kWh)	E3 (kWh)	ΔE(%)**
P1	49372,70	41104,30	36468,48	6,09	334,09	278,14	246,77	26,14
P2	53252,24	41124,00	35599,88	3,26	192,89	148,96	128,95	33,15
P3	38809,74	26216,00	23504,00	3,47	149,63	101,08	90,62	39,44
P4	37271,55	31987,50	23423,92	3,26	135,01	115,87	84,85	37,15
P5	34905,10	25086,00	22148,00	3,47	134,58	96,72	85,39	36,55

\*: Tempo de um volta com rele a 100% da velocidade; \*\*: Redução da Energia Elétrica consumida  $\Delta E(\%) = (E1 - E2) * E1^{-1}$

Ao analisarmos os dados da tabela 1 e 2 observamos a economia individual em cada sistema de irrigação, o que indica uma combinação no modo de operação do sistema, no qual podemos ter varias possibilidades de funcionamento. A intersecção dos pontos 1 e 3 para os pivôs de 1 a 5, quando o sistema trabalha com mais de um pivô, surgem varias faixa de economia de energia ficando entre o Maximo e o mínimo entre os sistemas. Analisando os dados para os cinco pivôs funcionando ao mesmo tempo, obtemos a tabela 3.

Tabela 3- Energia elétrica consumida nos pontos 1 e 3 e percentual de energia economizada, para todos os pivôs funcionando ao mesmo tempo.

Pivôs	P1(W)	P3(W)	Tempo(h)*	E1(kWh)	E3(kWh)
P1	24991,12	11744,09	6,09	169,11	79,47
P2	26289,08	11048,24	3,26	95,22	40,02
P3	19878,16	5424,00	3,47	76,64	20,91
P4	19200,49	3274,31	3,26	69,55	11,86
P5	17981,41	4068,00	3,47	69,33	15,68
Adutora	26963,16	24551,64	6,09	182,45	166,13
Total(kWh)	135303,42	60110,28		662,3	334,08

\*: Tempo de um volta com rele a 100% da velocidade

Fazendo a diferença entre os pontos P1 e P3 onde o percentual de redução na potência elétrica foi de  $\Delta P(\%) = 55,57\%$ , e a economia de energia  $\Delta E(\%)$  ficou em 49,56%.

**CONCLUSÕES:** A proposta do trabalho foi desenvolver uma metodologia de cálculo para a determinação de economia de energia elétrica para um sistema de bombeamento com vários pivôs em uma área de plantio. Os resultados obtidos mostraram que a economia de energia elétrica nos sistemas funcionando individualmente depende da topografia da área a ser irrigada. A metodologia desenvolvida mostrou que mesmo sendo feito o bombeamento com um sistema moto bomba há diferença de economia de energia elétrica quando acionados os sistemas individualmente, o que mostra a particularidade de cada sistema quanto a demanda hídrica, tempo de funcionamento e topografia do terreno, que influenciam no consumo de energia elétrica.

Quando analisamos os resultados no sistema de irrigação com todos os pivôs funcionando ao mesmo tempo para a mesma bomba, a economia de energia elétrica total foi 49,56%. Essa economia é maior do que a maior economia individual pivô 3 com 39,44% mostrando que o sistema com uso do inversor de frequência e o sistema de controle, torna o sistema de irrigação a pivô central mais eficiente tanto individualmente ou em conjunto com vários pivôs e uma mesma bomba.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores expressam seus agradecimentos à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e a Celg Distribuição S.A. (CELG D)A. pela oportunidade de realização deste trabalho, a Fundação de Apoio à Pesquisa (FUNAPE/UFMG) pelo suporte nos recursos financeiros.

## REFERÊNCIAS

ANA-AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de Conjunturas de Recursos Hídricos no Brasil, 2013.** Disponível em: [http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite\\_relatorioConjuntura/projeto/index.html](http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html). Acesso em 10 agosto, 2013.

ALVES, A. J. **Inversor de frequência - uma ferramenta para o acionamento e racionalização do consumo de energia elétrica em sistemas de irrigação a pivô central.** 2001. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

ALVES, A. J.; OLIVEIRA, L. F. C.; MELO, A. O. Verificação das relações de rateaux pelo emprego de um inversor de frequência, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 523-525, set. 2002.

BERNARDO S.; SOARES A. A.; MANTOVANI E. C. **Manual de irrigação.** 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

CHRISTOFIDIS, D. Água um desafio para a sustentabilidade do setor agropecuário. In: Instituto FNP (Org.). **AGRIANUAL 2007**, 12 ed. São Paulo: FNP, 2007, v.1 p. 37-42.

CENDES, F. **Proposta de automação de sistema de irrigação com pivô central baseado em microprocessadores.** 2004. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2004.

JARDIM, S. B. **Sistemas de Bombeamento.** 1 ed. Porto Alegre: Sagra-dc Luzzatto, 1992. 164 p.

MEDEIROS, A. M. M. **Otimização de Sistemas de Irrigação Por Aspersão Pivô Central.** 2010. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010

MEDEIROS, A. M. M. **Potencial de economia de energia elétrica em sistemas de irrigação a pivô central com uso de inversor de frequência no estado de Goiás.** 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

RODRIGUES, L. N.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; LIMA, C.; TORRES, M. de O. **Alocação do uso do solo e da água em pivôs centrais.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/260/>>. Acesso em: 18 nov. 2010.

TIAGO, FILHO. G. L. **Uso de bombas com rotação variável,** Mimeografado, Itajubá, EFEI, p.19, 1996.

YANAGI, Jr. T.; FERREIRA, E.; COLOMBO, A.; MELLO, C. R.. Método matemático para a estimativa analítica das curvas de desempenho de bombas centrífugas. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, V.21, n.4,p.484-490, 1997