

SENDI 2004

XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Potencial de Economia de Energia Elétrica e Análise Econômica em Sistemas de Irrigação a Pivô Central no Estado de Goiás**A. M. de M. Medeiros¹, J. W. L. Nerys¹, A. M. Oliveira¹, E. G. Marra¹, L. F. C. Oliveira²****¹Núcleo de Estudo e Pesquisa em Processamento da Energia e Qualidade, Escola de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, CEP 74605-220, Praça Universitária s/n, Setor Universitário, tel. 55 62 521-1806, GO, GOIÂNIA.****² Núcleo de Pesquisa Solos do Cerrado, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás. Caixa Postal 131, CEP 74001-970, Campus II da UFG Rodovia GO-080, tel. 55 62 821-1543, GO, GOIÂNIA.
E-mails: amarcosmedeiros@yahoo.com.br¹, jwilson@eee.ufg.br¹**

Resumo— O presente trabalho tem por objetivo principal a estimação do potencial de economia de energia elétrica em sistemas de irrigação do tipo pivô central, a partir das características de projeto desses sistemas e supondo a possibilidade de implementação de um sistema de controle que monitora e controla a rotação do sistema de bombeamento, de um modo tal que o sistema opere com pressão apenas o suficiente para atender as características de projeto. É feita a análise para as duas condições de operação: sistema sem controle de rotação da bomba e sistema onde a rotação é ajustada ao longo do círculo irrigado, de modo a manter a pressão do ponto mais crítico em seu valor mínimo e, assim, garantir economia de energia. Um outro objetivo do presente projeto, como consequência da primeira parte, é o estudo da viabilidade econômica de implantação do sistema que garante consumo mínimo de energia para operação do sistema de pivô central.

Palavras-chave— irrigação, eficiência energética, pivô central, economia de energia

1. INTRODUÇÃO

A Fig. 1 ilustra um sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central. Esse tipo de sistema foi patenteado em 1952, por Frank Zybach, nos Estados Unidos. É formado por um conjunto de torres móveis que suporta uma tubulação aérea, ou linha lateral, onde se situam os aspersores, responsáveis pela irrigação, e conectada a um ponto central fixo. O movimento das torres móveis em torno da torre fixa resulta numa área irrigada circular, delimitado pelo comprimento total da linha lateral figura 1.

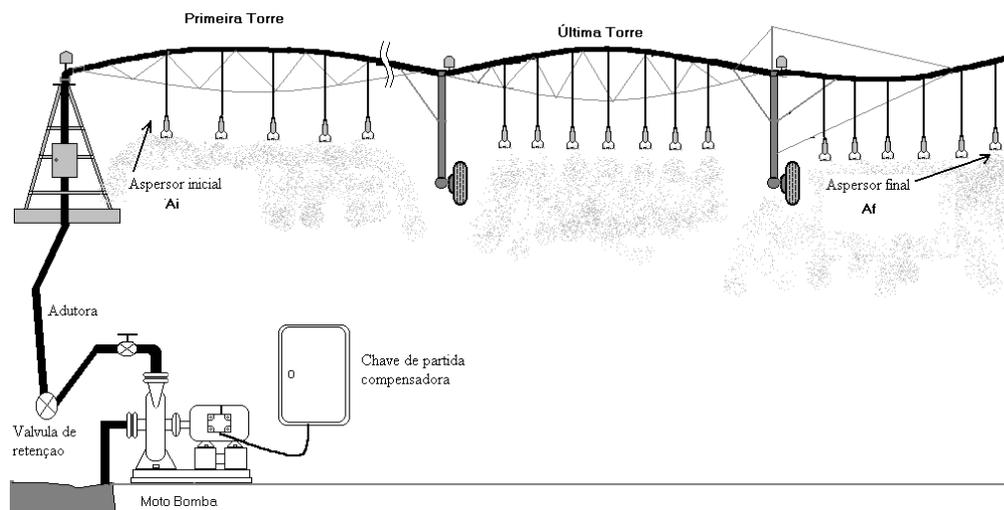


Fig. 1. Sistema de Irrigação por aspersão tipo Pivô Central.

A captação de água é feita através de bombas d'água que retiram esta água de rios ou lagos. Os lagos podem ser naturais ou artificiais. Na grande maioria os lagos são artificiais e acumulam grandes quantidades de água. Apesar de ser considerado um equipamento de elevado grau tecnológico, o crescimento desordenado da utilização desse sistema de irrigação tem resultado no uso inadequado desses equipamentos e, como consequência, no desperdício de energia elétrica e água.

Como uma solução para minimizar o desperdício de energia elétrica em sistemas de irrigação tipo pivô central, Alves (2001) e Cendes (2004) apresentam uma proposta de controle para esses sistemas. Na proposta de Cendes (2004) a velocidade do sistema moto-bomba é controlada em malha fechada, via sinal de rádio frequência, de um modo tal que a pressão na extremidade mais crítica da linha lateral (extremidade interna – aspersor A_i ou extremidade externa – aspersor A_f) é mantida em seu valor mínimo, ou seja, no menor valor possível que ainda garanta a vazão de projeto. Tal procedimento é justificado pela característica dos aspersores. A vazão de saída desses equipamentos aumenta até a pressão atingir a pressão nominal, quando, então, a vazão é mantida constante, mesmo com o aumento da pressão, até uma pressão limite. É evidenciado em estudos que vários equipamentos em operação hoje no Estado de Goiás operam com sobre-pressão, ou seja, os aspersores operam com pressão bem acima da pressão nominal, o que resulta em desperdício de energia elétrica. É evidenciado também que, mesmo os sistemas que foram

bem dimensionados apresentam sobre-pressão quando operando em terrenos inclinados, porque o projeto é feito para atender o ponto mais crítico, ou seja, o ponto de maior altura relativa entre a torre central e o aspersor mais externo. Assim, quando operando na região de menor altura manométrica, há uma sobre-pressão na linha lateral, que pode ser aliviada com o sistema de controle proposto por Alves (2001) e Cendes (2004).

Supondo, então, o uso de um sistema de controle como o descrito no parágrafo anterior, o presente trabalho analisa o consumo de energia para diversos sistemas de irrigação do tipo pivô central com e sem o sistema de controle. O resultado é a possível economia de energia para a operação desses sistemas. Como ferramentas para esta análise foi criado um banco de dados com informações técnicas de diversos sistemas de pivô central do Estado de Goiás e um programa para a análise.

2. METODOLOGIA

Os processos que utilizam bombas centrífugas possuem, em geral, uma demanda variável em função das condições topográficas e de exigências do manejo da cultura. Quando é necessário alterar a vazão em um sistema de irrigação no qual se utilizam técnicas convencionais, é preciso atuar na válvula de gaveta, o que irá modificar a curva do sistema devido à introdução de perdas de cargas adicionais na instalação [1] e [7]. Este método de controle é também conhecido como método dissipativo.

Há outros métodos possíveis de controle da vazão, também conhecidos como métodos não dissipativos. Estes são baseados na modificação das curvas da bomba sem as mudanças na curva do sistema, isto é, modificando a geometria do rotor ou da velocidade do eixo da bomba por meio de acionadores de velocidade variável no motor elétrico, podendo ser através de:

- Uso de máquinas centrífugas com geometria variável para obter diferentes curvas para rotação constante no eixo;
- Uso de acoplamento hidráulico ou eletromecânico para regular a rotação no eixo da bomba para um motor elétrico de rotação constante;
- Uso de acionamentos elétricos de velocidade variável para regular a rotação do motor e então a rotação no eixo da bomba.

2.1 Comparação entre o métodos de regulação dissipativo e não dissipativo.

As relações que permitem prever o desempenho de uma bomba trabalhando em rotações diferentes daquelas do ponto de projeto são conhecidas como relações de Rateaux [3]. Uma variação na rotação da bomba implica basicamente em três fatores importantes :

- A capacidade de vazão Q varia diretamente com a mudança da rotação (1).
- A altura manométrica total H varia com o quadrado da rotação (2).
- A potência P varia com o cubo da rotação (3).

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{n'}{n} \quad (1)$$

$$\frac{H'}{H} = \left(\frac{n'}{n}\right)^2 \quad (2)$$

$$\frac{P'}{P} = \left(\frac{n'}{n}\right)^3 \quad (3)$$

Seja um dado sistema de bombeamento genérico, representado pela Fig. 2, operando com vazão Q_1 e altura manométrica H_A (ponto A).

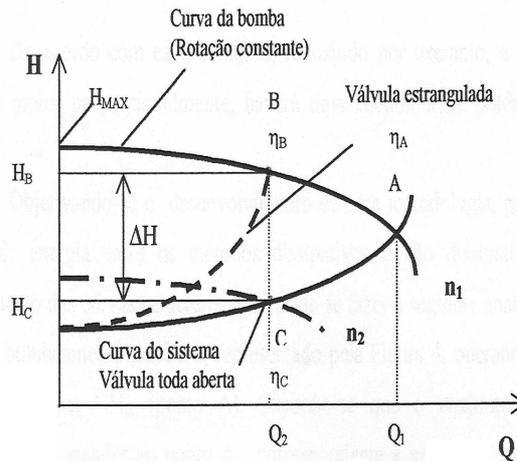


Fig. 2. Ação da válvula de estrangulamento e da variação da rotação da bomba.

Na análise, supõe-se que o conjunto moto-bomba foi especificado para atender o ponto A, correspondente à vazão Q_1 , mas opera por um longo período com vazão Q_2 , sendo Q_2 menor que Q_1 . Considerando-se que o controle da vazão seja realizado através de estrangulamento em uma válvula, então o novo ponto de operação será B, com vazão Q_2 e altura H_B . Por outro lado, optando-se por realizar o ajuste da nova vazão Q_2 mudando a curva da bomba ao longo da curva do sistema, encontra-se uma altura manométrica H_C . Verifica-se claramente, a partir da (4), que, sendo H_B maior que H_C , haverá economia de energia se for realizado o controle da rotação ao invés do estrangulamento na válvula [8] e [9]. A economia possível é função da diferença $\Delta H = H_B - H_C$.

2.2 Regulação dissipativa.

Modificando-se a curva do sistema para rotação constante pela introdução de uma válvula estranguladora, o novo ponto de operação, considerando a presença da válvula, é então o ponto: $B(Q_2; H_B; \eta_B)$,

$$P_B = \frac{Q_B \cdot H_B \cdot \rho \cdot g}{\eta_B} \quad (4)$$

2.3 Método não dissipativo.

Variando-se a rotação no eixo da bomba, conseqüentemente a curva da bomba, até a mesma interceptar a curva do sistema no ponto de operação desejado $C(Q_2; H_C; \eta_C)$,

$$P_C = \frac{Q_C \cdot H_C \cdot \rho \cdot g}{\eta_C} \quad (5)$$

2.4 Potência e energia economizadas.

O valor do rendimento nos pontos B e C é calculado a partir das curvas de desempenho fornecidas pelos fabricantes de bombas, ou obtido através de ensaio de rendimento das mesmas. A redução de potência e a economia de energia (6) e (7) resultantes do uso do método de regulação não dissipativa são obtidas a partir da diferença entre P_B e P_C , e considerando que não há variação apreciável para o rendimento entre as duas situações, ou seja, $\eta_B = \eta_C = \eta$ e $Q_B = Q_C = Q_2$. Assim, tem-se:

$$P_{ECON} = P_B - P_C = \frac{Q_2 \cdot (H_B - H_C) \cdot \rho \cdot g}{\eta} \quad (6)$$

$$E_{ECON} = \frac{Q_2 \cdot (H_B - H_C) \cdot \rho \cdot g}{\eta} \cdot t \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

Como se pode observar pelo gráfico, para uma mesma vazão Q_2 a potência P_C é menor que P_B , o que é obtido variando-se a rotação da bomba usando, por exemplo, um inversor de frequência.

3. ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS

Para se obter o potencial de economia de energia elétrica em sistemas de irrigação a pivô central do Estado de Goiás, foi adotada uma metodologia que consiste em armazenar em um banco de dados as características técnicas de equipamentos já instalados e em operação e, a partir dessas características, realizar a seleção de alguns sistemas, estimar, através de simulação, a economia de energia possível e efetuar medições em campo para validar os resultados de simulação. Os sistemas são selecionados de acordo com a faixa de inclinação do terreno.

O banco de dados implementado possui campos de entrada para: nome do proprietário, cidade, área irrigada, potência da bomba, inclinação do terreno, dentre outros. Estima-se que no Estado de Goiás existam cerca de 2000 pivôs em operação e, de acordo com uma das concessionárias locais (CELG), o consumo para irrigação no mês de dezembro de 2002 foi de 12.781 MWh (Fig. 4), o que corresponde a aproximadamente 2% da energia elétrica total [4] fornecida pela CELG para o Estado de Goiás no período, na figura 3 mostra a tela do banco de dados onde são inseridos as fichas técnicas de cada pivô.

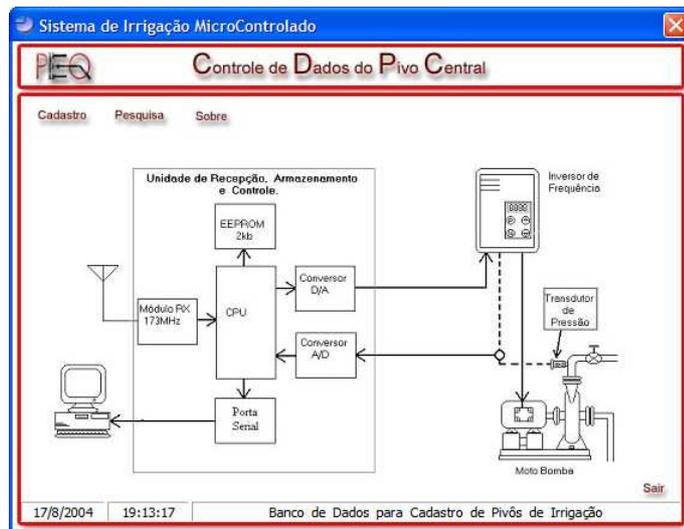


Fig. 3. Tela do programa do banco de dados.

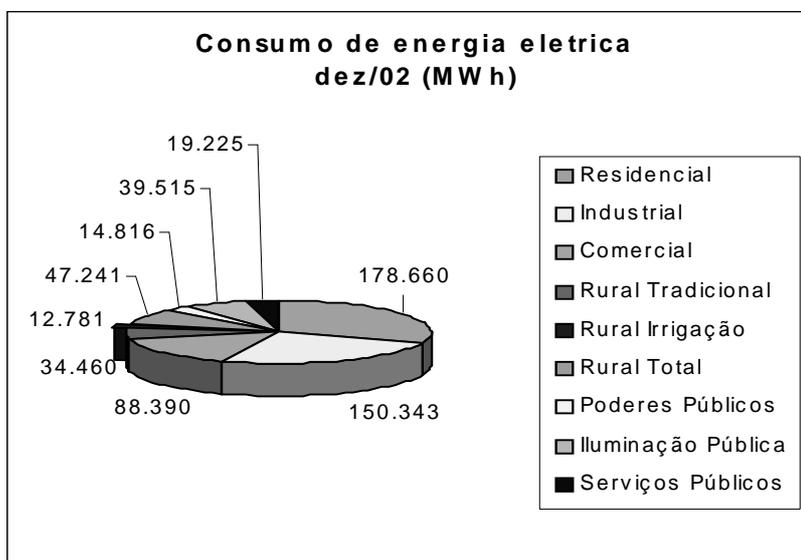


Fig. 4. Gráfico do consumo de energia elétrica no estado de Goiás.

Já estão cadastrados no banco de dados 178 equipamentos, o que representa aproximadamente 10% dos pivôs do estado, sendo considerada uma amostra bastante significativa para a análise do potencial de economia de energia elétrica.

A partir destes dados foram plotados gráficos que relacionam a distribuição dos pivôs com as características técnicas: área, potência do motor, declividade do terreno, inclinação do terreno e potência por área (Fig. 5 a 9).

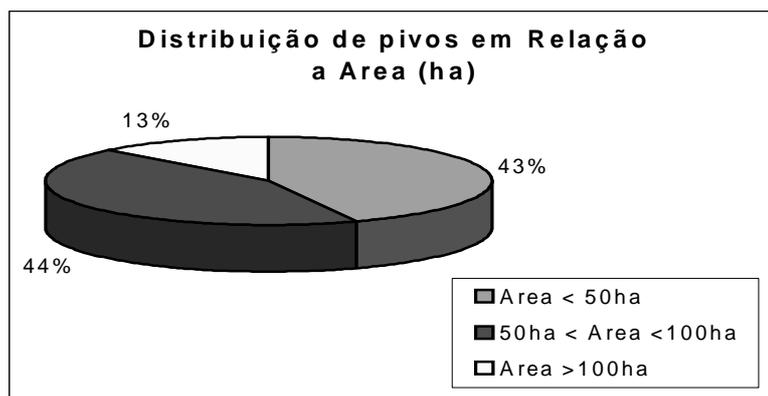


Fig. 5. Distribuição de Pivôs por área.

A Fig. 5 mostra que a área irrigada é superior a 50 ha para 57% dos pivôs do Estado. Esses pivôs são considerados, no presente trabalho, como pivôs de médio e de grande porte. A Fig. 6 mostra a distribuição de pivôs por potência do motor elétrico. Verifica-se que mais de 65% dos pivôs são atendidos com motor acima de 100 cv.

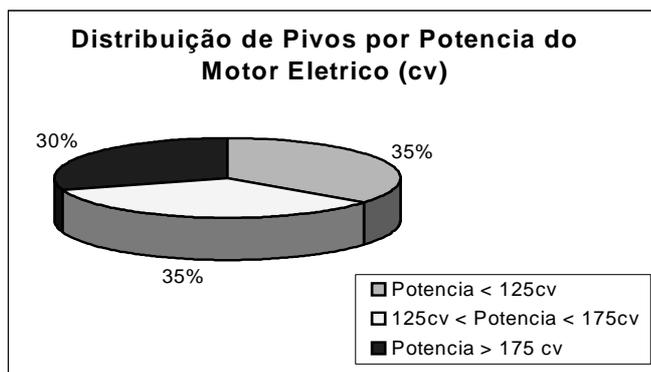


Fig. 6. Quantidade de pivôs por potência do motor elétrico.

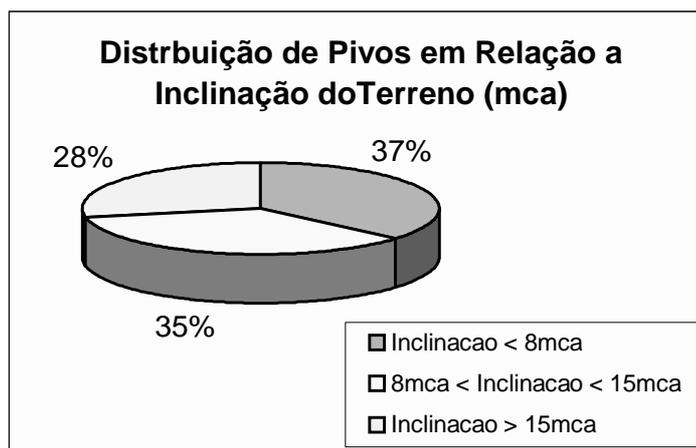


Fig. 7. Quantidade de Pivôs por inclinação do terreno.

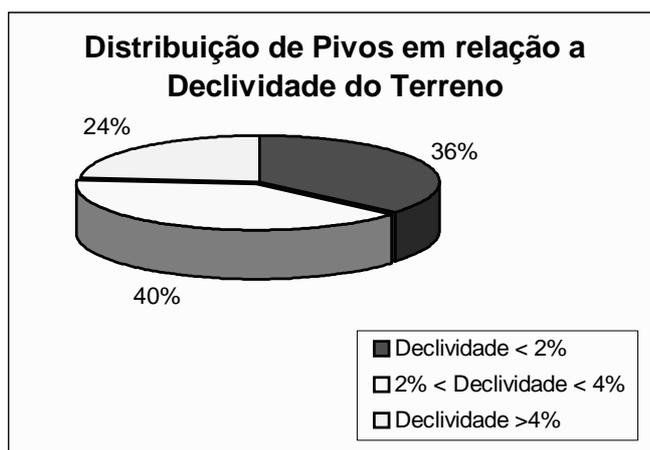


Fig. 8. Distribuição de Pivôs por Declividade do terreno.

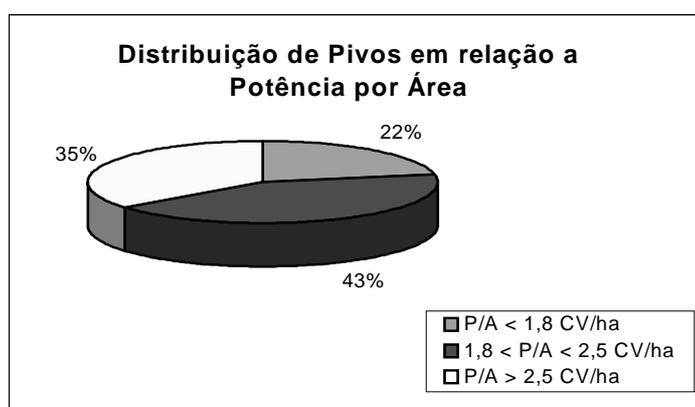


Fig. 9. Distribuição de Pivôs em Relação a Potência por Área .

A Fig. 7 mostra que 63% dos sistemas cadastrados apresentam inclinação do terreno maior que 8 mca, o que representa potencial de economia de energia. A inclinação é medida em “metro-coluna d’água” (mca) e representa a altura geométrica H_{pca} do centro do pivô (pc) ao ponto mais alto (pa). A distribuição de pivôs em relação à declividade do terreno (Fig. 8), mostra que 64% dos sistemas cadastrados estão em terrenos com declividade maior que 2%, onde declividade é definida aqui como a razão entre o raio do pivô e a inclinação do terreno, em porcentagem (8).

$$\text{Declividade} = \frac{\text{Raio do pivô}}{\text{Inclinação do terreno}} * 100 (\%) \quad (8)$$

4. DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA ELETRICA.

Foi desenvolvido um programa em linguagem visual, que calcula a economia de energia para cada ficha técnica de pivô central, inserida no programa. Inicialmente foi feita uma amostragem com 14 pivôs classificados de acordo com a distribuição de pivôs em relação à potência por área irrigada. Eles foram classificados em três classes (Fig. 9), cada classe com 4 pivôs, na figura 10 mostra a tela do programa que faz a estimativa de economia de energia elétrica.

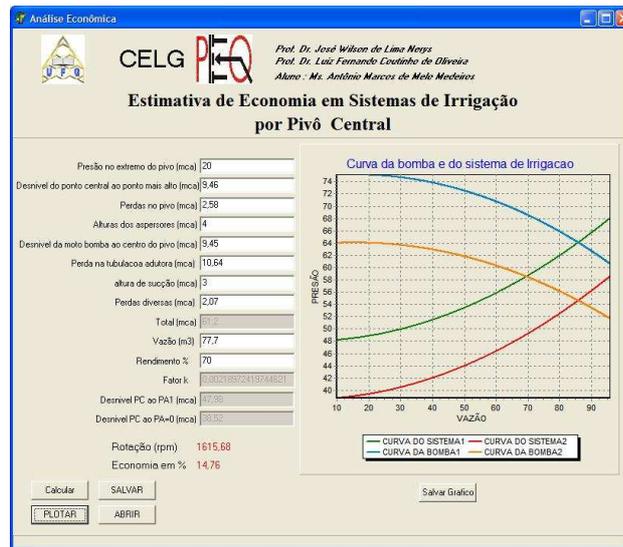


Fig. 10. Tela do programa de estimativa de economia de energia elétrica.

Para cada pivô foram traçadas a curva da bomba e a curva do sistema nas condições de projeto e nas condições de operação com pressão reduzida, obtendo-se assim o ponto de operação do sistema (Fig. 11 e Fig. 12). A Fig. 11 representa o sistema para a menor economia de energia estimada (0,54%), e a Fig. 12 a maior economia estimada (20,05%).

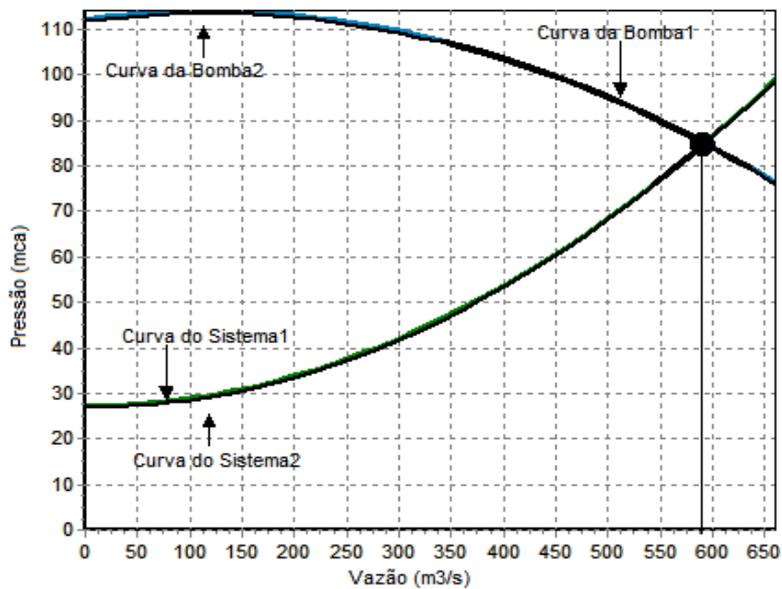


Figura 11. Curvas do sistema e do conjunto de bomba para a menor economia.

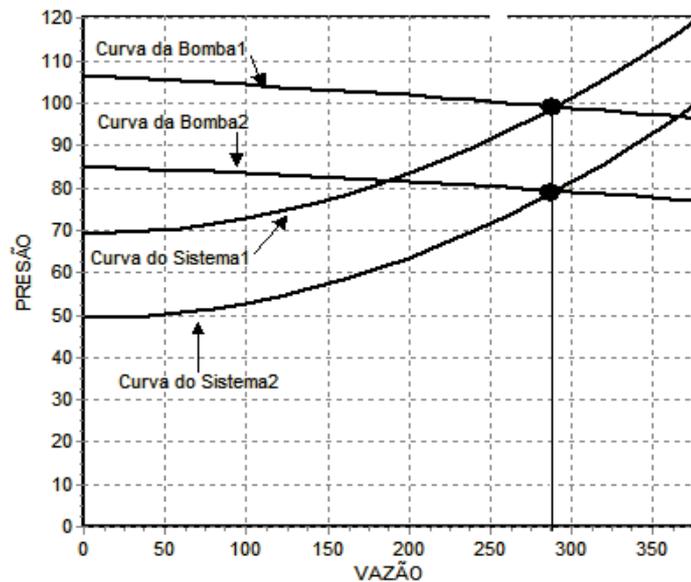


Fig. 12. Curvas do sistema e do conjunto de bomba para a maior economia

Nos gráficos das Fig. 11 e 12 a curva do sistema 1 mais a curva da bomba 1 são as curvas na condição nominal de projeto; já a curva do sistema 2 e a curva da bomba 2 são para o sistema operando na condição de alívio do sistema onde o pivô está na região mais baixa do terreno.

O cálculo da bomba consistiu em se obter os pontos de altura manométrica e vazão ponto a ponto de cada bomba [5] e [6], conforme catálogo do fabricante, determinando assim a equação ajustada da curva TABELA I. Para o cálculo da curva do sistema foi retirado da ficha técnica de projeto do pivô conforme equação do sistema (9).

$$H_{sistema} = kQ^2 + H_G + H_{pcpa} \quad (9)$$

A Tabela II mostra os resultados da economia estimada de energia elétrica para os doze pivôs selecionados. Nas tabelas o pivô de número treze representa a simulação de um pivô no qual também foram efetuadas medições de campo. Nesse sistema o consumo de energia medido para uma volta completa foi de 2.829,37 kWh para operação com rotação nominal e 2.501,28 kWh, quando o sistema trabalha sob rotação reduzida. A economia observada é, portanto, de 328,09 kWh, o que corresponde a 11,60 % de economia. Sendo o valor estimado de 11,98%, verifica-se um erro de 3,20% entre o valor estimado e o valor medido.

Tabela I. Equações ajustadas do sistema de bombas para cada pivô analisado.

Pivôs	Polinômios Ajustados	R2 (%)
1	$H = -0,0023599Q^2 + 0,0817487Q + 74,3894461$	99,77
2	$H = -0,0024Q^2 + 0,101Q + 87,374$	99,54
3	$H = -0,00062Q^2 + 0,00685Q + 176,49553$	99,64
4	$H = -0,0001Q^2 + 0,0296Q + 112,43$	99,48
5	$H = -0,00000012Q^3 + 0,00002515Q^2 - 0,00591375Q + 75,03356643$	99,79
6	$H = -0,00002445Q^2 - 0,01710252Q + 106,33454970$	95,43
7	$H = -0,00043120Q^2 + 0,02904712Q + 115,91941176$	99,83
8	$H = -0,0007373Q^2 + 0,0507637Q + 69,5528159$	99,22
9	$H = -0,0004Q^2 + 0,029Q + 115,92$	99,83

10	$H = -0,0001296Q^2 - 0,0517351Q + 159,06128$	99,97
11	$H = -0,00000003Q^3 - 0,00004550Q^2 + 0,00726295Q + 88,65921569$	99,87
12	$H = -0,0004Q^2 + 0,029Q + 115,92$	99,83
13	$H = -0,0002059196Q^3 + 0,0099765Q^2 - 0,20957Q + 68,06588$	99,85
14	$H = -0,0006Q^2 + 0,0066Q + 169,93563$	99,64

TABELA II. Quadro demonstrativo de desnível, potência por área e percentual de energia economizada.

Pivô	Desnível do Ponto Central ao Ponto mais Alto do pivô (mca)	Potência/Área (cv\ha)	Economia Estimada de energia elétrica(%)
1	9,46	1,39	14,77
2	12,18	1,87	12,05
3	7,00	2,76	5,45
4	0,50	1,98	0,54
5	2,00	1,45	2,98
6	19,91	2,51	20,05
7	6,92	4,37	6,68
8	6,00	1,57	10,91
9	15,20	2,20	14,83
10	12,94	3,45	10,21
11	17,00	1,60	10,82
12	16,77	2,09	16,86
13	3,63	10,25	6,52
14	16,00	2,04	11,98

5. ANÁLISE ECONÔMICA

Foi realizado uma análise econômica, utilizando a teoria de custos para a avaliação de retornos econômicos do capital investido em serviços e equipamentos, para que se estivesse sendo implementado o sistema de controle.

A avaliação consiste da comparação entre os benefícios e os custos, ambos anuais. Os benefícios foram calculados a partir da redução das despesas com energia elétrica. Energia economizada devido ao uso do inversor de frequência ao longo do ano, este cálculo consiste da determinação da redução de potência produzida pelo equipamento, quando usado para acionamento e controle da vazão e pressão de acordo com as mínimas condições de demanda, em comparação ao funcionamento sem o controle a partir do inversor. O cálculo tem como base a potência economizada multiplicada pelo tempo de funcionamento durante o ano e o preço da energia, nas figuras 13 e 14 mostra a tela do programa para análise econômica do investimento.



Fig. 13. Tela inicial do programa de análise econômica.

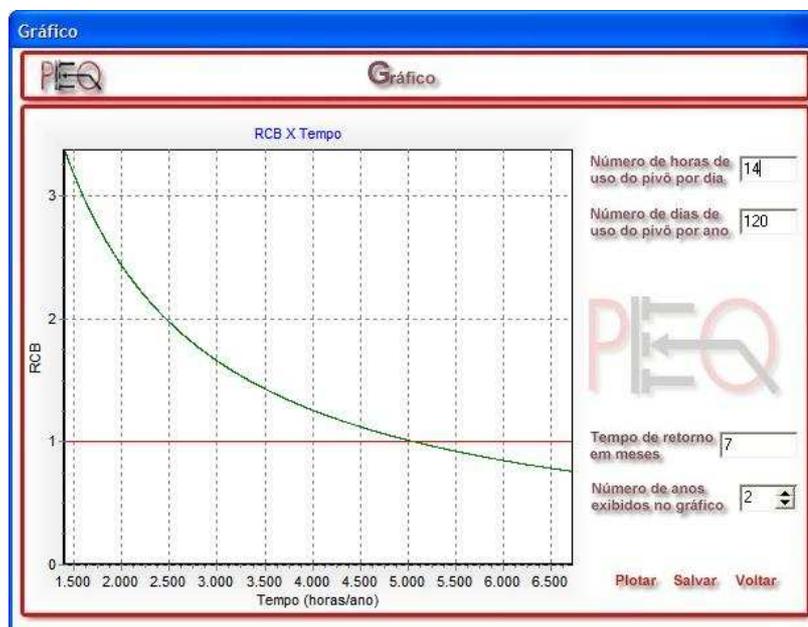


Fig. 14. Gráfico do retorno financeiro gerado pelo programa.

Na avaliação foi considerado uma taxa de juro de 16% ao ano, taxa SELIC. A vida útil considerada dos equipamentos e inversor, conforme fabricante foi de 15 anos. Para a análise de viabilidade econômica, objetivando a aquisição e implementação de técnica de controle eletrônico, para os sistemas considerados, utilizou-se de duas condições de implementação:

- substituição do sistema de acionamento convencional, neste caso não considerou-se a recuperação de capital com a possível venda dos materiais e equipamentos substituídos.
- Implementação de projeto novo, neste caso o gasto com equipamento e mão de obra do dispositivo eletrônico, subtrai-se do gasto que se teria com a técnica de acionamento convencional.

Foram realizados orçamentos do preço de mercado do inversor e dos quadros de acionamento convencionais e mão de obra. Foram estimados os custos, da mão de obra e dos acessórios para viabilidade do controle eletrônico.

Como podemos observar a tabela 3 mostra o retorno financeiro para a economia de energia elétrica estimada em relação aos 14 pivôs.

Tabela3. Quadro demonstrativo do Retorno financeiro anualizado do investimento.

pivô	Potencia do motor (CV)	Potência do Inversor de frequência(CV)	Preço de mercado do inversor(R\$)	Retorno financeiros do investimento	
				Números de meses	Números de anos
1	40	40	6600,00	10,8	3
2	50	50	8210,00	11,8	3
3	200	200	27116,00	14,5	8
4	250	250	33540,00	128,7	4
5	150	150	21030,00	29,2	2
6	175	175	23678,00	3,9	3
7	125	125	18265,00	14,1	3
8	60	75	12502,00	13,8	2
9	125	125	16265,00	6,2	2
10	250	250	33540,00	7,3	2
11	350	350	39821,00	5,6	2
12	125	125	18265,00	5,5	2
13	25	25	5090,00	7,5	2
14	175	175	23678,00	7	2

4.1 metodologia utilizada para o retorno financeiro.

A metodologia utilizada segue orientação do manual da ANEEL, manual para elaboração do programa anual de combate ao desperdício de energia elétrica, no item relativo a projetos voltados a eficiência energética no uso final e a melhoria do fator de carga, que orienta que todos os projetos passíveis de serem qualificados em termos de energia economizada (MWh/ano) e de demanda retirada da ponta (KW), deverão ter sua relação custo benefício(RCB) calculada conforme equação 9.

$$RCB = \frac{\text{Investimentos Anualizados}}{\text{Benefícios}} \quad (9)$$

6. CONCLUSÃO

A proposta deste trabalho é verificar se há potencial de economia nos diversos tipos de inclinação de terrenos encontrados na irrigação em Sistemas a Pivô Central e, com este estudo determinar a porcentagem de economia para cada faixa de inclinação de terreno. Como se pode observar a economia de energia elétrica estimada foi em média 10,81% para os pivôs analisados, e para o desnível em média de 10,49 mca. Verificou-se ainda que a inclinação do terreno influencia sobremaneira na economia de energia elétrica e que quanto maior o desnível maior a economia.

7. Unidades

Q_B - Vazão reduzida com ação da válvula estranguladora (m^3/s);
 H_B - Pressão para a vazão Q_B com uso da válvula estranguladora (kPa);
 η_B - Rendimento da bomba nas condições do ponto B;
 P_B – Potência necessária à bomba no ponto B (W).
 g - aceleração da gravidade, $9,81 m/s^2$;
 ρ - massa específica da água, $1000 kg/m^3$;
 Q_c - Vazão reduzida pela variação de velocidade do eixo da bomba (m^3/s);
 H_c - Pressão para a vazão Q_c provocada pela variação da velocidade do eixo da bomba (kPa);
 η_c - Rendimento da bomba nas condições do ponto C;
 P_c – Potência mecânica necessária para o ponto C (W).
 Q_2 - vazão reduzida nos pontos B e C (m^3/s);
 H_B - pressão para a vazão Q_B com ação da válvula estranguladora (kPa);
 H_C - pressão para a vazão Q_C , que é resultante da variação de velocidade do eixo da bomba (kPa);
 P_{ECON} - potência economizada. no uso de método de regulação não dissipativo (W).
 t - tempo de operação no novo ponto de operação, com vazão Q_2 (h).
EECON - Energia economizada em (kWh).
 Q - Vazão (m^3/s)
 $H_{sistema}$ - Pressão do sistema (mca)
 H_G – Desníveis e perdas diversas (mca)
 H_{pcpa} – desnível do centro do pivô ao ponto mais alto (mca).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia Energética de Goiás (CELG) pelo financiamento do projeto e à Fundação de Apoio à Pesquisa (FUNAPE) pelo gerenciamento administrativo do mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- 1 Bernardo, S. *Manual de irrigação*, 5 ed. Viçosa-MG, UFV, 1989, 596p.
- 2 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*. Coordenação Pós-Graduação da Escola de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, 2001.
- 3 Alves, A. J., Coutinho, L. F. O. e Melo, A. O. *Verificação das relações de rateaux pelo emprego de um inversor de frequência*. Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.3, 2002, p.523-525.

- 4 Cendes, F. *Proposta de Automação de Sistemas de Irrigação com Pivô Central Baseados em Microprocessadores*. Coordenação Pós-Graduação da Escola de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, 2004.
- 5 Filho, L. V. *Irrigação provoca desperdício de energia em Goiás*, Gazeta Mercantil, 26 de janeiro de 2004, B-14p.
- 6 Arens, H. G. e Porto, R. M. *Para o desempenho de bombas*, Revista DAE, São Paulo, V.49, n11-14, 1989.
- 7 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, 1997, p.484-490.
- 8 Olitta, A. F. L. *Os métodos de irrigação*, Nobel , São Paulo,1ed., 1989, p.267.
- 9 Hanson,B., Weigand, C. e Orloff, S. *Performance of eletric irrigation pumping plants using variable frequency drives*. Journal of irrigation and drantage engineering, New York, v.122, n.3, p.179-182.
- 10 Tiago, F. G. L. *Uso de bombas com rotação variável*. Mimeografado, Itajubá, EFEI, 1996, p.19.
- 11 ANEEL . *Manual para elaboração do programa anual de desperdício de energia elétrica*, Brasília, 2000, p.38-46.