



Gerenciamento do lado da demanda no bombeamento de água para perímetro irrigado

**Maria J. de Moraes¹, Delly Oliveira Filho²,
Gustavo H. S. Vieira³ & Ricardo de O. C. Scarcelli⁴**

RESUMO

Sistemas de irrigação demandam quantidades significativas de energia elétrica, o que aumenta consideravelmente o custo de produção. Simularam-se o gasto com energia elétrica e as lâminas de irrigação, para um perímetro irrigado hipotético na região do Jaíba, MG, para as culturas: abacaxi, banana, goiaba, limão, mamão, manga, maracujá, melão, pinha e uva. A partir de dados das necessidades hídricas das culturas, calcularam-se as lâminas de irrigação mensal e para cada um dos lotes, simularam-se as alturas manométricas, as demandas hidráulicas e elétricas e o consumo de energia, para diferentes combinações de culturas nos lotes e, para as combinações, simulou-se o uso do inversor de frequência com restrição do número de horas de funcionamento diário em função da época do ano visando maximizar o índice de carregamento dos motores e o rendimento do conjunto motobomba. Concluiu-se que o uso do inversor de frequência e o gerenciamento do número de horas de disponibilidade da irrigação no sistema de fornecimento de água para irrigação no perímetro estudado, garantiram economia de energia elétrica, que variou em torno de 7% a 62% para as combinações estudadas.

Palavras-chave: uso racional de energia na irrigação, variação de velocidade, motor elétrico

Demand side management for water pumping for irrigated perimeter

ABSTRACT

Irrigation systems demand significant electrical energy quantities, that increase considerably the production costs. The electric energy expenditure and the irrigation depth for one hypothetical irrigated perimeter on Jaíba region – MG, Brazil were simulated for the: pineapple, banana, guava, lemon, papaya, mango, passion fruit, cantaloupe, pine cone and grape crops. From the monthly irrigation depth calculated for a hypothetical area the pressure head, the electrical and hydraulic demands and the electrical energy consumption for different crop combination were simulated. The frequency inverter use and the daily restriction to the availability of the number of hours of irrigation were simulated for each combination, in order to maximize the motor's load and the motor pump set performance. It is concluded that the frequency inverter use and the management of the availability of the number of hours of irrigation secure energy savings that varies around 7 to 62% for the studied combinations.

Key words: rational energy use in irrigation, speed variation, electric motor

¹ UEG – Anápolis. CEP 75132-903, CP 459, Anápolis, GO. Fone: (62) 3328-1160. E-mail: mjoselma.moraes@ueg.br

² DEA/UFV. Fone: (31) 3899-1897. E-mail: delly@ufv.br

³ Doutorando UFV, IFES-Stª. Teresa. Fone: (31) 3899-1921. E-mail: ghsvieira@gmail.com

⁴ Graduando, UFV. Fone: (31) 3899-1897. E-mail: rocvenceslau@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um insumo importantíssimo para o desenvolvimento das civilizações modernas, estando presente em quase todas as atividades dos processos produtivos (Medeiros et al., 2003). Dentre os setores consumidores de energia elétrica, a agricultura desponta como altamente dependente para aumentar a produção e conseguir suprir as necessidades do mercado, que é cada vez mais exigente e competitivo.

Devido à tendência de decréscimo de disponibilidade de água para a agricultura e ao aumento dos custos de energia (López-Mata et al., 2010) e a crescente preocupação mundial com os recursos hídricos leva à adoção de estratégias de manejo que possibilitem economia de água sem prejuízos da produtividade. Uma boa estratégia de manejo da irrigação é fundamental para economizar água sem, no entanto, por em risco o rendimento das culturas (Jalota et al., 2006; Pereira et al., 2009).

A água é um dos principais fatores de produção na agricultura e cada espécie de planta necessita de um adequado nível de água no solo para que suas necessidades fisiológicas sejam atendidas (Freitas et al., 2003). Santana et al. (2008) afirmaram que a irrigação constitui a alternativa viável, dentre os tratamentos culturais, na melhoria da produtividade e que a sua finalidade básica é proporcionar água à cultura para atender à sua exigência hídrica e a lâmina de irrigação adequada, de modo a obter produtividade satisfatória (Kisi, 2011).

Segundo Arêdes et al. (2007) e Souza & Frizzone (2003), o benefício econômico gerado pela elevação do nível de produtividade das lavouras devido à adoção de sistemas de irrigação é maior que os custos gerados pela utilização desses sistemas.

Segundo Turco et al. (2009), a irrigação é responsável por grande parte do consumo de energia na propriedade rural e este pode ser ainda maior se o produtor rural não adotar um método de controle da irrigação. A justificativa do irrigante para o consumo de água em excesso, está relacionada, em geral, à preocupação de que a cultura não sofra estresse hídrico, o que poderia comprometer a produção. O descontrole da irrigação gera um aumento do custo de produção pelo desperdício dos recursos energia elétrica e água.

A maior parte do consumo de energia na irrigação está concentrada nos sistemas de bombeamento, motivo pelo qual há necessidade de um perfeito dimensionamento do sistema e, consequentemente, redução do custo final da irrigação.

Segundo Turco et al. (2009) e Scarcelli et al. (2009), é grande a preocupação dos irrigantes em relação às tarifas de energia elétrica e à tarifação sobre a água para a irrigação. Afirmam, ainda, que, se a irrigação fosse de forma racional, cerca de 20% da água e 30% da energia consumidas poderiam ser economizados, sendo 20% da energia economizada devidos à aplicação desnecessária da água e 10% em virtude da otimização dos equipamentos.

A possibilidade de escassez de energia e de água e a implantação de tarifação do uso da água por parte dos comitês de bacias hidrográficas, aliadas à rápida elevação dos custos de produção, despertam uma preocupação crescente com a

racionalização do uso da energia e água, principalmente para irrigação (Turco et al., 2009).

As bombas centrífugas são utilizadas na maioria dos sistemas de irrigação e seu dimensionamento, tal como todos os outros componentes, devem atender à necessidade hídrica da cultura na situação mais crítica. Geralmente, em perímetros irrigados isto ocorre nos meses em que não há nenhuma precipitação; no entanto, em outros meses do ano e outras culturas menos exigentes, o sistema de irrigação fica superdimensionado.

Para que as bombas centrífugas possam atender a este menor volume de água com maior eficiência, Alves et al. (2002) recomendam o uso de sistemas de irrigação de baixa pressão, como a microaspersão e o gotejamento, ou mesmo a redução da velocidade de giro da motobomba até a obtenção da vazão necessária. O uso do inversor de frequência no controle de velocidade de motores que acionam bombas centrífugas, permite o atendimento da demanda variável do sistema de irrigação e, consequentemente, a racionalização do uso da energia elétrica.

Segundo Campana et al. (2002), os inversores de frequência são equipamentos da eletrônica de potência que têm os preços variando de 4 a 12 vezes o preço dos motores que controlam. Em pesquisa de preços realizada em 2010, no comércio de Viçosa, MG, esses valores diminuíram drasticamente de 0,6 a 6 vezes o preço do motor. O emprego de inversores de frequência tem sido justificado no controle de tensão e de frequência (V/f), o que gera: (i) economia de energia; (ii) controle do processo em regime transiente, controle de corrente de partida e controle de tempo de partida; (iii) controle de fator de potência e controle de velocidade em regime permanente, durante a operação normal do processo; (iv) maximização do uso da potência de transformadores e (v) controle da qualidade de energia pelo controle de nível do desequilíbrio de tensão.

Segundo Bernardo et al. (2008), a energia elétrica pode representar até cerca de 25 % do custo de produção em sistemas de irrigação por aspersão. O uso do inversor de frequência em conjunto com o gerenciamento e a adequação tarifária, é de fundamental importância para a racionalização do uso de energia elétrica e da água, em perímetros irrigados.

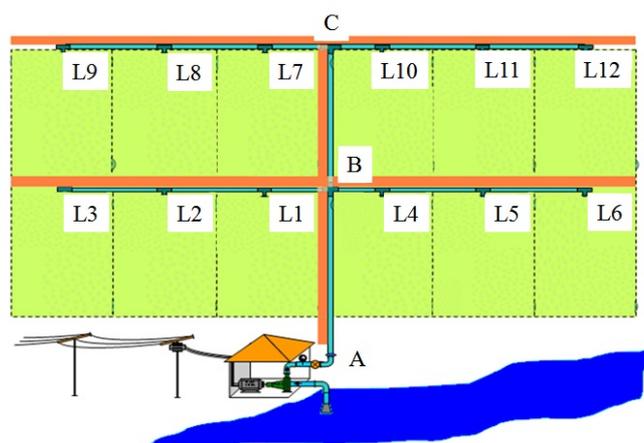
Ante o exposto, se pretende, com o presente trabalho, avaliar, por meio de simulações, o consumo de energia elétrica mensal em lotes a serem implantados no perímetro irrigado de Jaíba, MG.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Energia do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG. Realizaram-se simulações do consumo de energia elétrica em lotes hipotéticos para o perímetro irrigado de Jaíba, MG.

Inicialmente, determinou-se a disposição física de 12 lotes do perímetro, cujas dimensões foram de 250 m de frente por 450 m de laterais, totalizando 10 ha, formando uma área total irrigada de 120 ha. No perímetro irrigado simulado, a disposição dos lotes, bomba de água e motor, entre outras, estão de acordo

com as técnicas que garantem rendimento melhor do sistema. A área com os lotes simulados é apresentada na Figura 1.



Fonte: Ribeiro et al. (2007) e Ribeiro (2008)

Figura 1. Sistema de distribuição de lotes simulados para o perímetro irrigado

Definiu-se a altura de sucção de 3 m, a diferença de nível da saída da bomba, ponto A, até o início da primeira linha lateral, ponto B, de 9,49 m e de 8,51 m do início da primeira linha lateral, ponto B, até o início da segunda linha lateral, ponto C; já a diferença de nível entre a linha principal e a tomada de água do primeiro lote foi 12 m e entre lotes subsequentes de 21 m.

Após a determinação das características topográficas do perímetro irrigado foram escolhidas as seguintes culturas a serem implantadas: goiaba, mamão, manga, melão, maracujá, banana, limão, uva, pinha e abacaxi, por serem as mais encontradas em perímetros irrigados na região e serem de fácil comercialização.

Para determinar a lâmina de irrigação para cada cultura, realizaram-se simulações com o aplicativo Irriplus utilizando-se a série climatológica do INMET, de 10 anos, para o município de Jaíba, MG. O local se encontra na latitude 15° 05' sul, longitude 43° 59' oeste, altitude de 450 m em relação ao nível do mar e temperatura média anual de 24,2 °C. Os espaçamentos considerados para as culturas e o tipo de equipamento de irrigação são apresentados na Tabela 1.

Para determinação da necessidade hídrica das culturas estimou-se a evapotranspiração de referência (ET₀) pelo Método de Penman-Monteith-FAO56 que, multiplicada pelo coeficiente da cultura (K_c), pelo Coeficiente da umidade do solo (K_s) e

pelo coeficiente de localização (K_l) forneceu o valor da evapotranspiração da cultura (ET_c), considerando-se ainda a Eficiência de aplicação dos sistemas (E_a). Determinou-se a irrigação total necessária (mm) mensal em função da ET_c, considerando-se a irrigação suplementar, ou seja, subtraindo-se as precipitações efetivas, com cenários para solo argiloso com 35% de argila, 30% de areia e 25% de silte (FAO56), com capacidade de campo de 38%, ponto de murcha permanente de 24% e densidade aparente de 1,2 g cm⁻³.

Determinados os dados relativos à disposição dos lotes e das culturas a serem irrigadas, simularam-se os efeitos da variação da vazão e da pressão de trabalho em cada lote no perímetro irrigado, utilizando-se o aplicativo Galateia (Scarcelli et al., 2009).

Utilizaram-se, como dados de entrada da simulação, as vazões em m³ h⁻¹, referentes a cada lote para cada cultura, para o mês do ano e para cada combinação de culturas a serem implantadas nos lotes e se inseriram os valores das pressões de serviço em cada lote, em função dos sistemas de irrigação utilizados; depois de inseridos os valores referentes às vazões e pressões de serviço, foram inseridos o tipo de material utilizado na tubulação (ferro fundido novo) a velocidade de escoamento (1,5 m s⁻¹), a perda de carga localizada (0,05 mca) e a altura geométrica (H_g). A pressão de serviço considerada na entrada de cada lote foi de 22 m para a tomada de água.

Os dados de saída do aplicativo Galateia foram a altura manométrica (H_{man}) em mca e a pressão em cada nó, que foram calculados de acordo com os dados de entrada no programa, sendo que a H_{man} é calculada com a Eq. 1:

$$H_{man} = H_s + H_L + H_T + H_g + P_s \quad (1)$$

em que:

- H_{man} - altura manométrica, mca
- H_s - altura de sucção, mca
- H_L - perda de carga localizada, mca
- H_T - perda de carga na tubulação, mca
- H_g - altura geométrica, mca
- P_s - pressão de serviço, mca

As quatro combinações utilizadas nas simulações para os 12 lotes do perímetro irrigado foram: 1ª Combinação – mamão (12 lotes); 2ª Combinação - banana (8), goiaba (1), mamão (1), manga (1) e maracujá (1); 3ª Combinação - mamão (8), goiaba

Tabela 1. Características das culturas e dos equipamentos de irrigação simulados

Cultura	Espaçamento (Lp x P) ¹ (m)	Kc máx.	Tipo de Irrigação	Espaçamento (LI x E) ¹ (m)	Vazão do emissor (L h ⁻¹)	Pressão de serviço (kPa)
Abacaxi	0,9 x 0,3	1,00	Gotejamento	0,9 x 0,3	2,3	10
Banana	4,0 x 2,0	1,20	Microaspersão	8,0 x 2,0	86,0	15
Goiaba	6,0 x 6,0	1,00	Microaspersão	6,0 x 6,0	86,0	15
Limão	7,0 x 6,0	0,90	Microaspersão	7,0 x 6,0	86,0	15
Mamão	3,0 x 2,0	1,20	Microaspersão	3,0 x 2,0	86,0	15
Manga	8,0 x 5,0	0,90	Microaspersão	8,0 x 5,0	86,0	15
Maracujá	4,0 x 5,0	0,70	Microaspersão	8,0 x 5,0	86,0	15
Melão	2,0 x 0,5	1,05	Gotejamento	2,0 x 0,5	2,3	10
Pinha	3,0 x 4,0	0,90	Microaspersão	3,0 x 4,0	86,0	15
Uva	3,0 x 2,0	0,70	Microaspersão	3,0 x 2,0	86,0	15

¹ Lp - linhas de plantio; P - plantas; LI - linhas laterais; E - emissores

(1), abacaxi (1), manga (1) e limão (1); 4ª Combinação - goiaba (8), manga (1), mamão (1), pinha (1) e maracujá (1); 5ª Combinação - melão (8), manga (1), mamão (1), uva (1) e limão (1 lote); 6ª Combinação – abacaxi (12).

Após a determinação das combinações verificou-se qual cultura e em que mês se necessitava da maior lâmina de irrigação. A partir da necessidade hídrica da cultura mais exigente, realizou-se a simulação para calcular a altura manométrica encontrada e as vazões de cada lote; em seguida, calcularam-se as potências hidráulica e mecânica de trabalho do perímetro irrigado para um regime diário de operação de 21 h, ou seja, somente no horário fora de ponta; posteriormente, determinou-se a potência elétrica demandada pelo sistema de irrigação, utilizando-se a Eq. 2.

$$P_{CV} = \frac{\gamma Q H_{man}}{75 \eta_b \eta_m} \quad (2)$$

em que:

- P_{cv} - potência elétrica necessária ao sistema, cv
- γ - densidade da água, kg m⁻³
- Q - vazão bombeada, m³ s⁻¹
- H_{man} - altura manométrica, mca
- η_b - rendimento ou eficiência da bomba, decimal
- η_m - rendimento ou eficiência do motor, decimal

O conjunto motobomba a ser utilizado deve ser de potência igual ou superior à conveniente ao perímetro irrigado, quando este estiver com todos os irrigantes acionados para maior necessidade hídrica, chamada potência de projeto. Em geral, quando não estão disponíveis no mercado equipamentos com a potência de projeto, é adotado o valor comercializado imediatamente superior; seus rendimentos devem atender às exigências mínimas, de acordo com a ANA (Agência Nacional de Águas) e a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Os valores de referência do rendimento médio de bombas centrífugas são apresentados na Tabela 2 e os rendimentos nominais mínimos de motores elétricos convencionais e de alto rendimento, são apresentados na Tabela 3.

A potência demandada pela bomba pode ser calculada pela Eq. 3.

$$P_a = \frac{\gamma Q H_{man}}{75 \eta_b} \quad (3)$$

em que:

- P_a - potência absorvida pela bomba, cv
- γ - peso específico da água, 1000 N m⁻³
- Q - vazão bombeada, m³ s⁻¹
- H_{man} - altura manométrica, mca

Tabela 2. Rendimento médio de bombas centrífugas (η_b) em função da vazão de recalque (Q)

Q (m ³ h ⁻¹)	18	27	36	54	72	90	108	144	180	360	720
Q (L s ⁻¹)	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50	100	200
η_b	0,52	0,61	0,66	0,68	0,71	0,75	0,80	0,84	0,85	0,87	0,88

Fonte: Azevedo Netto et al. (2006)

Tabela 3. Rendimentos nominais mínimos para motores elétricos convencionais e de alto rendimento para eficiência energética para 2 e 4 pólos

Potência nominal	Cv	kW	Motores convencionais		Motores de alto rendimento	
			Número de pólos			
			2	4	2	4
1,0	0,75	77,0	78,0	80,0	80,5	
1,5	1,1	78,5	79,0	82,5	81,5	
2,0	1,5	81,0	81,5	83,5	84,0	
3,0	2,2	81,5	83,0	85,0	85,0	
4,0	3,0	82,5	83,0	85,0	86,0	
5,0	3,7	84,5	85,0	87,5	87,5	
6,0	4,5	85,0	85,5	88,0	88,5	
7,5	5,5	86,0	87,0	88,5	89,5	
10,0	7,5	87,5	87,5	89,5	89,5	
12,5	9,2	87,5	87,5	89,5	90,0	
15,0	11,0	87,5	88,5	90,2	91,0	
20,0	15,0	88,5	89,5	90,2	91,0	
25,0	18,5	89,5	90,5	91,0	92,4	
30,0	22,0	89,5	91,0	91,0	92,4	
40,0	30,0	90,2	91,7	91,7	93,0	
50,0	37,0	91,5	92,4	92,4	93,0	
60,0	45,0	91,7	93,0	93,0	93,6	
75,0	55,0	92,4	93,0	93,0	94,1	
100,0	75,0	93,0	93,2	93,6	94,5	
125,0	90,0	93,0	93,2	94,5	94,5	
150,0	110,0	93,0	93,5	94,5	95,0	
175,0	132,0	93,5	94,1	94,7	95,0	
200,0	150,0	94,1	94,5	95,0	95,0	
250,0	185,0	94,1	94,5	95,4	95,0	

Fonte: ABNT (1996)

η_b - rendimento da bomba, %

Para se fazer a estimativa dos custos mensais de energia elétrica, consideraram-se os valores da tarifa horo-sazonal verde, R\$ 0,141172 kW⁻¹ h⁻¹ para a tarifa no período úmido do ano e R\$ 0,155147 kW⁻¹ h⁻¹ para a tarifa no período seco do ano, além dos valores da tarifa de demanda de R\$ 13,535386 kW⁻¹. A demanda inicial foi determinada para o conjunto motobomba, sem uso de inversor de frequência para todas as combinações estudadas; posteriormente, os cálculos foram refeitos determinando-se as demandas para cada combinação de culturas com o uso de inversor de frequência.

O custo da energia foi simulado para cada combinação de culturas em cada mês, a partir da obtenção da potência de projeto (maior valor de potência para o mês considerado base), sendo assim a real necessidade de potência para o conjunto motobomba; posteriormente, determinou-se o número de horas que a motobomba deve ficar ligada para atender aos meses em que a necessidade hídrica da cultura não atinge o máximo em função do maior vazão para cada combinação. Acrescentou-se um adicional de 15% no tempo de funcionamento, de modo a permitir maior flexibilidade de uso dos sistemas de irrigação pelos proprietários dos lotes, o que foi admitido pelo fato de

que a automação da irrigação não ser 100% integrada entre os lotes.

Realizou-se o cálculo de custos da energia elétrica de acordo com os valores calculados, usando-se a Eq. 4. O número de horas de funcionamento foi calculado em função dos dias do mês multiplicado pelo número de horas necessárias para cada dia (21 h) no período de maior demanda (agosto). A determinação do índice de carregamento dos motores foi realizada pelo cálculo da razão entre a máxima potência demandada das combinações de culturas e a potência nominal comercial do motor (potência de projeto).

$$C_m = \frac{0,736H_f C_e P_n I_c}{\eta_m} \quad (4)$$

em que:

- C_m - custo anual de energia elétrica, R\$ mês⁻¹
- H_f - período de funcionamento, h mês⁻¹
- C_e - tarifa de energia elétrica, R\$ kW⁻¹ h⁻¹
- P_n - potência nominal do motor elétrico, cv
- I_c - índice de carregamento do motor elétrico, %
- η_m - rendimento do motor elétrico, %
- 0,736 - fator de conversão da potência em cv para kW

Com os gastos de energia no mês de maior consumo para a primeira combinação (12 lotes de mamão), calculou-se o consumo em função do número de produtores que estariam usando o sistema de irrigação em duas situações. Na situação 1 simulou-se a irrigação iniciando-se do lote de menor altitude seguindo-se para os lotes com maior altitude; na situação 2 iniciou-se a irrigação nos lotes de maior altitude seguindo-se para o mais próximo ao conjunto motobomba, que no caso estudado é o de menor altitude.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das lâminas de irrigação mensais das diferentes culturas utilizadas nos lotes hipotéticos simuladas para o perímetro irrigado do Jaíba, MG, são apresentados na Tabela 4. Verificou-se que as maiores lâminas de irrigação necessária ocorreram no mês de agosto para todas as culturas, sendo que a cultura do mamão necessitou da maior lâmina, em todos os meses. A potência necessária para atender a esta demanda foi de 95,87 cv, o que exigiu a escolha de um conjunto motobomba de 100 cv, valor comercial imediatamente superior.

Como o sistema de irrigação demanda de uma vazão mínima para entrar em funcionamento devido à velocidade de sucção não poder ser inferior a 3 m s⁻¹, quando a vazão nas combinações era inferior a 103 m³ h⁻¹ e altura manométrica de no máximo 47,85 mca, o conjunto motobomba desligava. Deste modo, a vazão mínima considerada foi de 103 m³ h⁻¹, garantindo, assim, a velocidade de sucção. Os meses de janeiro e novembro não foram levados em consideração, tendo em vista os níveis de precipitação, visto que somente algumas culturas precisam de uma lâmina mínima de irrigação.

De posse da vazão necessária para atender a cada combinação de culturas, foram calculados para os 12 lotes simulados com de 10 ha cada um: (i) altura manométrica; (ii) potência hidráulica; (iii) potência mecânica; (iv) potência nominal elétrica; (v) índice de carregamento dos motores; (vi) rendimento de motores e bombas e (vii) demanda de energia elétrica; seus resultados são apresentados na Tabela 5.

As características do motor elétrico dimensionado do projeto, foram potência nominal de 100 cv e rendimento nominal de 91,80%. Verifica-se uma variação muito grande do índice de carregamento para todas as combinações, sendo que para a combinação 1 foi de 91,80 a 37,37% para a combinação 6, fato

Tabela 4. Lâmina de irrigação em função do mês para as diferentes culturas no perímetro irrigado de Jaíba, MG

Meses	Lâmina de irrigação mensal (mm mês ⁻¹)									
	Abacaxi	Banana	Goiaba	Limão	Mamão	Manga	Maracujá	Melão	Pinha	Uva
Janeiro	0,00	35,98	0,00	0,00	36,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fevereiro	0,00	67,96	50,19	27,07	70,29	33,73	0,00	50,74	31,15	0,00
Março	0,00	73,68	59,01	32,87	76,05	39,90	0,00	59,81	39,18	0,00
Abril	19,81	111,79	87,23	69,22	114,90	74,22	46,07	102,06	75,85	48,84
Mai	39,09	122,95	101,74	84,96	126,61	90,07	64,00	117,16	91,88	67,22
Junho	42,93	120,17	101,01	85,71	123,75	90,34	66,22	116,00	92,01	69,36
Julho	46,07	126,04	106,25	90,40	130,11	95,17	69,97	121,76	97,03	73,43
Agosto	61,23	171,85	143,97	122,38	176,51	128,65	94,36	164,41	131,70	99,38
Setembro	52,06	167,77	137,67	115,03	171,63	121,63	86,12	157,51	125,00	90,82
Outubro	0,00	90,76	58,08	48,23	93,20	47,82	19,08	71,82	45,99	21,43
Novembro	0,00	1,27	0,00	0,00	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dezembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	261,19	1090,22	845,15	675,87	1120,76	721,53	445,82	961,27	729,79	470,48

Tabela 5. Caracterização técnica do sistema de irrigação para cada combinação de culturas

Parâmetros	Projeto	Combinação 1	Combinação 2	Combinação 3	Combinação 4	Combinação 5	Combinação 6
Potência nominal da Bomba, (cv)	95,70	95,70	86,70	84,80	73,10	81,80	34,60
Rendimento nominal da bomba (%)	78,00	78,00	76,50	76,50	74,00	76,00	58,00
Vazão d (m ³ h ⁻¹)	326,91	326,91	295,11	286,99	258,52	282,98	112,87
Altura manométrica (mca)	61,64	61,64	60,70	61,06	56,50	59,34	48,01
Índice de carregamento (%)	95,70	95,70	86,70	84,80	73,10	81,80	34,60
Demanda (kW)	80,17	76,72	69,50	67,80	58,50	65,50	27,74

Tabela 6. Gasto de energia (R\$) nos meses do ano para motores trabalhando sem inversor de frequência

Meses	Combinação 1	Combinação 2	Combinação 3	Combinação 4	Combinação 5	Combinação 6
Sem inversor de frequência						
Fevereiro	4.443,69	3.980,09	2.979,46	3.537,56	3.830,33	1.085,13
Março	4.718,90	4.217,33	3.134,70	3.738,53	4.055,30	1.085,13
Abril	6.575,18	5.817,40	4.181,72	5.094,01	5.572,61	2.109,56
Mai	7.733,54	6.815,90	4.835,09	5.939,87	6.519,45	3.106,57
Junho	7.583,36	6.722,14	4.773,74	5.860,45	6.455,95	3.305,15
Julho	7.917,33	7.023,52	5.037,40	6.127,74	6.722,64	3.467,53
Agosto	9.182,42	9.112,60	6.337,95	7.885,49	8.697,34	4.251,49
Setembro	8.921,22	8.853,65	6.168,50	7.666,12	8.451,78	4.149,35
Outubro	5.979,17	5.303,65	3.845,55	4.658,80	5.218,78	4.149,35
Com inversor de frequência						
Fevereiro	4.079,47	3.436,81	2.525,15	2.583,45	3.131,22	405,51
Março	4.332,13	3.641,32	2.656,71	2.730,22	3.315,12	405,51
Abril	6.036,28	5.020,71	3.544,08	3.720,12	4.555,48	788,33
Mai	7.099,72	5.911,45	4.097,82	4.337,85	5.329,50	1.160,92
Junho	6.961,85	5.830,13	4.045,82	4.279,84	5.277,59	1.235,12
Julho	7.268,44	6.091,52	4.269,28	4.475,05	5.495,60	1.295,80
Agosto	8.429,86	7.903,38	5.371,52	5.758,72	7.109,88	1.588,77
Setembro	8.190,06	7.678,79	5.227,91	5.598,51	6.909,14	1.550,60
Outubro	5.489,12	4.599,87	3.259,16	3.402,29	4.266,23	1.550,60

que ocorreu, provavelmente, em virtude das necessidades hídricas da combinação 1 (12 lotes com mamão) serem 65% superiores às da combinação 6 (12 lotes com abacaxi), influenciando na potência dimensionada para estas combinações. Explica-se a não variação do rendimento do motor elétrico para as combinações estudadas em função do gerenciamento do número de horas disponibilizadas para a irrigação. Proporcionalmente, para demandas menores de volume de água a ser aplicado e dependendo do mês e da combinação de culturas, simulou-se uma disponibilidade de água menor; já as demandas elétricas a serem contratadas para cada combinação, também tiveram uma variação muito grande mas isto possibilita, ao perímetro, contratar a demanda para o ano (tarifa verde) em função das culturas existentes nos lotes e usando-se o inversor de frequência, visto que se pode ter demanda elétrica contratada bem inferior à que seria de projeto, o que reduz consideravelmente os gastos com demanda elétrica.

A Tabela 6 apresenta os valores do gasto de energia em função dos meses para cada combinação, sem e com o uso de inversor de frequência, respectivamente. Observa-se, para todas as combinações, que o gasto de energia elétrica foi maior para o mês de agosto, devido à maior exigência da lâmina de irrigação das culturas que foram relacionadas nas combinações; já para o mês de fevereiro, encontrou-se o menor gasto de energia elétrica, resultado esperado em razão de ser o mês com menor necessidade hídrica.

A simulação do uso do inversor de frequência proporcionou uma economia mensal do gasto de energia elétrica para as combinações 1, 2, 3, 4 e 5 em torno de 7, 13, 15, 27 e 18%, respectivamente, valores que estão próximos aos que foram encontrados por Campana et al. (2002), quando verificaram a economia de energia usando inversor de frequência em pivô central.

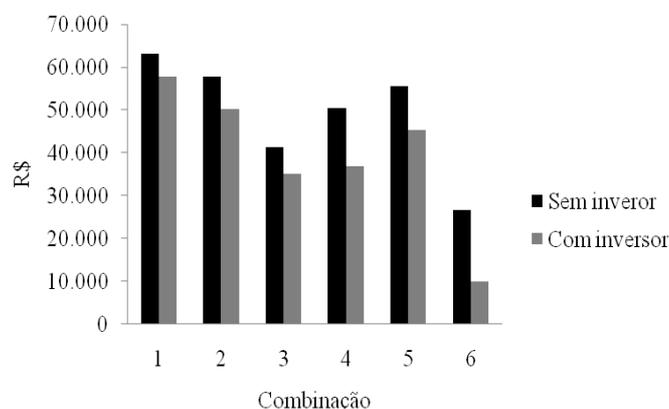
Observa-se, com estas simulações, que para perímetros irrigados, assim como para outros sistemas de irrigação, pode

haver diferenças consideráveis entre as potências de projeto e as dimensionadas em função da necessidade hídricas, em função da época do ano e das culturas implantadas.

Nesses casos, o uso do inversor de frequência se torna um equipamento imprescindível para proporcionar economia de energia elétrica. O potencial de economia que os inversores de frequências podem proporcionar, é função do nível de automação dos sistemas de irrigação: a) se a automação ocorrer somente nos conjuntos motobomba, avaliados no presente trabalho, e b) automação na motobomba e nas entradas dos lotes a serem irrigados; neste caso, deve-se instalar medição de pressão.

Observou-se que o uso do inversor de frequência proporcionou economia de energia elétrica, sendo que a maior ocorreu para a combinação 6, em torno de 62%, mas o motor estaria trabalhando apenas com índice de carregamento de 37,37%. Segundo Ribeiro (2008) índices de carregamento abaixo 71% prejudicam a eficiência da bomba.

Na Figura 2 se apresenta o gasto de energia anual para cada combinação e se observa que o maior gasto foi para a primeira

**Figura 2.** Gasto anual de energia para os 120 hectares nas 6 diferentes combinações sem e com o uso do inversor

combinação e o menor para a sexta, constatando-se que, quanto maior era a diferença entre as necessidades hídricas das combinações de culturas estudadas no mês de maior demanda (agosto) em relação aos dados de projeto (combinação 1), maior também era a economia dos gastos de energia com o uso de inversor de frequência. Hanson et al. (1996) também encontraram resultados satisfatórios de economia de energia aplicando inversor de frequência em alguns sistemas de irrigação.

Na Figura 3 é apresentado o preço da água simulado no perímetro irrigado considerando-se apenas o custo do consumo de energia elétrica em função do número de irrigantes que estão irrigando simultaneamente para a combinação 1 e para o mês de agosto, sem uso do inversor de frequência. Quando apenas um lote está sendo irrigado, o custo de cada 1.000 m³ de água é de aproximadamente R\$ 92,38 para a situação 1 e R\$ 94,39 para a situação 2. Para todos os lotes irrigando simultaneamente, o custo foi de R\$ 40,20, tanto para a situação 1 como para a situação 2, ou seja, quanto maior o número de lotes irrigados simultaneamente, menor também o custo da água. A utilização maximizada da operação do bombeamento de água é uma forma de minimizar o custo do bombeamento em função do número de irrigantes, como observado por Oliveira Filho et al. (2004), estudando a racionalização energética de estação de pressurização para o perímetro irrigado de Mirorós, em Ibipeba, BA.

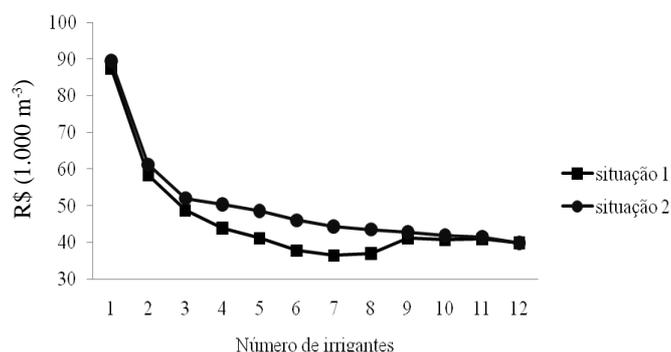


Figura 3. Preço da água no perímetro irrigado considerando-se apenas o custo do consumo de energia elétrica, em função do número de irrigantes

CONCLUSÕES

1. A simulação mostrou que os gastos unitários com fornecimento de água para perímetros irrigados podem ser minimizados de duas formas principais:

a) com uso de inversores de frequência;

b) pelo gerenciamento do número de horas disponíveis para irrigação; essas duas maneiras devem ser integradas e se observa a demanda hídrica em função da época do ano e das características das culturas, para que se maximize a economia de energia elétrica.

2. O uso do inversor de frequência no sistema de fornecimento de água para irrigação no perímetro estudado, garantiu economia de energia elétrica.

3. Houve redução nos custos de energia elétrica no perímetro irrigado estudado, com o uso de inversores de frequência e do gerenciamento do número de horas de disponibilidade da

irrigação, que variaram de 7 a 62% para as combinações estudadas.

4. Quando apenas um irrigante utiliza o sistema de bombeamento, o custo de 1.000 m³ de água varia de R\$ 92,38 a R\$ 94,39, conforme a localização do mesmo no perímetro.

5. Quando todos os lotes estavam com o sistema de irrigação em funcionamento este valor diminuiu para R\$40,20 (1000 m³)⁻¹. Deve-se gerenciar o número de horas de disponibilidade da irrigação a fim de se minimizar os custos operacionais com energia elétrica.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa pelo apoio fornecido para o desenvolvimento desse trabalho.

LITERATURA CITADA

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7094 – Máquinas elétricas girantes, Motores de indução - especificação, Rio de Janeiro, 1996. 60 p.
- Alves, A. J.; Coutinho, L. F. O.; Melo, A. O. Verificação das relações de rateaux pelo emprego de um inversor de frequência, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, p.51-56, 2002.
- Arêdes, A. F.; Santos, M. L.; Rufino, J. L. S.; Reis, B. S. Viabilidade econômica da irrigação da cultura do café na região de Viçosa-MG. Revista de Economia e Agronegócio, v.5, p.207-225, 2007.
- Azevedo Netto, J. M.; Fernandez, M. F.; Araújo, R.; Ito, A. E. Manual de hidráulica. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 680p.
- Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. 8.ed. Viçosa: UFV, 2008. 625p.
- Campana, S.; Oliveira Filho, D.; Soares, A.A.; Oliveira, R. A.; Hermsdorff, W. Inversores de frequência - uma alternativa para racionalização do uso da energia elétrica em sistemas de irrigação pivô central. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 2002, Campinas, Resumos...Campinas: UNICAMP, p.137.
- Freitas, P. S. L.; Rezende, R.; Mantovani, E. C.; Frizzone, J. A. Viabilidade de inserção dos efeitos da uniformidade de irrigação em modelos de crescimento de culturas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, p.437-444, 2003.
- Hanson, B.; Weigand, C.; Oloff, S. Performance of electric irrigation pumping plants using variable frequency drives. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. v.122, p.179-182, 1996.
- Jalota, S. K.; Sood, A. G. B. S.; Chahal, B. U. Crop water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) – wheat (*Triticum aestivum* L.) system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation. Agricultural Water Management, v.84, p.137-146, 2006.

- Kisi, O. Evapotranspiration modeling using a wavelet regression model. *Irrigation Science*, v. 29, p.241-252, 2011.
- López-Mata, E.; Tarjuelo, J. M.; Juan, J. A. de; Ballesteros, R.; Domínguez, A. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. *Agricultural Water Management*, v.98, p.190-198, 2010.
- Medeiros, S. S.; Soares, A. A.; Ramos, M. M.; Mantovani, E. C. Souza, J. A. A. Avaliação da eficiência do uso da energia elétrica no Perímetro Irrigado de Pirapora, MG, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.394-398, 2003.
- 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, 2004.
- Pereira, L. S.; Paredes, P.; Eholpankulov, E. D.; Inchenkova, O. P.; Teodoro, P. R.; Horst, M. G. Irrigation scheduling strategies for cotton to cope with water scarcity in the Fergana Valley, Central Asia. *Agricultural Water Management*, v.96, p.723-735, 2009.
- Ribeiro, M. C. Eficientização e gerenciamento do uso de energia elétrica em perímetros irrigados. Viçosa: UFV, 2008. 178p. Tese Doutorado
- Ribeiro, M. C.; Oliveira Filho, D.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C.; Teixeira, C. A. Redução do custo de produção na agricultura familiar visando à otimização de perímetros irrigados. Viçosa: UFV, 2007. 82p. Comunicado Técnico
- Santana, M. J.; Carvalho, J. A.; Andrade, M. J. B.; Braga, J. C.; Gervácio, G. G. Coeficiente de cultura e análise do rendimento do feijoeiro sob regime de irrigação. *Irriga*, v.13, p.92-112, 2008.
- Scarcelli, R. O.; Oliveira Filho, D.; Ribeiro, M. C.; Lopes, D. C. Economia de energia com uso de inversor de frequência em sistemas de bombeamento de água para perímetro irrigado. *Revista Engenharia na Agricultura*, v.17, p.462-472, 2009.
- Souza, J. L. M.; Frizzone, J. A. Modelo aplicado ao planejamento da cafeicultura irrigada. III Análise de risco econômico da cafeicultura em dois sistemas de Irrigação. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.25, p.399-408, 2003.
- Turco, J. E. P., Rizzatti, G. S., Pavani, L. C. Custo de energia elétrica em cultura do feijoeiro irrigado por pivô central, afetado pelo manejo da irrigação e sistemas de cultivo, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v.29, p.311-320, 2009.