

OTIMIZAÇÃO DE SISTEMA PIVÔ CENTRAL DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

LUIZ FERNANDO COUTINHO DE OLIVEIRA¹, ANTÔNIO MARCOS DE MELO MEDEIROS²;
PEDRO MARQUES DA SILVEIRA³

¹Professor do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, e-mail: coutinho@deg.ufla.br.

²Doutor de Produção Vegetal pela Universidade Federal de Goiás, e-mail: amarcosmedeiros@yahoo.com.br.

³Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, e-mail: pmsilveira@cnpaf.embrapa.br.

Apresentado no

XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014

27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo a otimização de um sistema de irrigação pivô central, bem como o estudo da viabilidade do uso do inversor de frequência para duas vazões de operação. Para a análise do retorno do investimento considerou-se a taxa de juros praticada pelo BC e os custos dos equipamentos praticados pelo mercado e da energia elétrica pela CELG. Foram otimizados dois sistemas sendo um existente no local e outro considerando novo, projetado para atender determinada lâmina de irrigação. Para tal, empregaram-se as características do sistema existente e para o novo sistema foi analisado as possíveis combinações de tubos para a adutora e linha lateral; escolha do conjunto motobomba com maior rendimento; utilização e comparação entre motor padrão e de alto rendimento e após, fez-se a análise da utilização do inversor de frequência. Os resultados obtidos proporcionaram uma economia de energia elétrica de 25% considerando o uso do diâmetro econômico para os dois sistemas adotados. Para análise com uso inversor de frequência, resultou em uma economia de 9,23% para o sistema de irrigação pivô central existente, e para o novo sistema de irrigação pivô central em uma economia de 10,6%. Considerando o uso do sistema com inversor de frequência obteve-se uma taxa de retorno do investimento de 6,52% a.a para o sistema existente e de 9,48% a.a para o novo sistema. O projeto tem retorno, mas de longo prazo, ou seja, inviável em curto prazo, considerando a taxa básica de juro anual de 12,25%. **PALAVRAS-CHAVE:** eficiência energética, dimensionamento econômico, inversor de frequência.

OPTIMIZATION CENTRAL PIVOT SPRINKLER IRRIGATION

ABSTRACT: This study aimed to optimize the hydraulic design and energy consumption of a center pivot irrigation system, as well as the study of the feasibility of using the frequency inverter for two flow of operation. To analyze the return on investment was considered the interest rate charged by BC and equipment costs charged by the electricity market and practiced by CELG. Two center pivot systems existing on site were optimized and another considering new, designed to meet certain water depth. To this end, employed in the characteristics of the existing system and the new system was analyzed the possible combinations for the adduction pipe and the lateral line; choice of pump set with the highest income; use and comparison between standard motor and high performance and after, did the analysis of the use of the frequency inverter. The results provided a saving of electricity of 25% considering the use of economic diameter for the two adopted systems. For analysis with use of frequency inverter, resulting in a savings of 9.23% to the existing irrigation system center pivot, and the new center pivot irrigation system in a savings of 10.6%. Considering the use of the system with frequency inverter yielded a rate of return on investment of 6.52% pa for the existing system and 9.48% aa for the new system. The project's return, but long term, it is unfeasible in the short term, considering the basic annual interest rate of 12.25%.

KEYWORDS: energy efficiency, economic design, frequency inverter.

INTRODUÇÃO: Devido à facilidade operacional, à alta adaptabilidade a diferentes condições de solo e topografia e à pequena demanda por mão-de-obra, o sistema de irrigação pivô central vem sendo

amplamente utilizada na região Centro-Oeste do Brasil. Em função de suas características técnicas, o dimensionamento, a instalação e a operação do pivô central requerem atenção especial a fim de garantir uniformidade na aplicação de água. Normalmente os usuários de sistemas de irrigação não têm informações sobre o rendimento energético do equipamento e, de forma geral, adquirem projetos desenvolvidos pelos próprios fornecedores que, objetivando reduzir os custos iniciais, aumentam a relação potencia instalada por unidade de área do sistema de irrigação (Lima et al., 2009). Segundo Lima et al. (2009), os projetos de pivôs centrais de irrigação devem contemplar a análise econômica de investimento, não apenas da adutora, mas, também, do motor, da bomba, da linha lateral e dos aspersores. O objetivo principal dos diversos métodos de otimização econômica de redes de distribuição de água é encontrar o sistema de menor custo, que atenda aos requerimentos hidráulicos de vazão e pressão nos pontos de consumo de água. De acordo com Batista & Coelho (2003), todo o sistema de bombeamento deve ser projetado levando em conta critérios econômicos, uma vez que o diâmetro da tubulação, a potência do sistema de bombeamento e as despesas operacionais estão inter-relacionados. A redução no diâmetro da tubulação eleva as perdas de carga e aumenta a potência necessária do conjunto motobomba; esta configuração propicia maior custo do conjunto elevatório e despesa com energia, embora proporcione economia na compra da tubulação. Por outro lado, aumentando-se o diâmetro da tubulação a potência do conjunto elevatório e o custo operacional de energia elétrica serão menores, podendo tornar-se economicamente viável ao longo da vida útil dos equipamentos (Medeiros, 2010).

MATERIAL E MÉTODOS: Utilizou-se neste estudo o sistema de irrigação o pivô central instalado na Embrapa Arroz e Feijão, localizado no município de Santo Antônio de Goiás-GO, constituído de 10 torres com lances médios de 38,6 m com balanço de 24 m, com raio irrigado de 411,2 m e área irrigada de 53,12 ha. No dimensionamento econômico do sistema pivô central, considerou-se duas vazões para a análise, a do sistema ($172,5$ e $246,6 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$) considerando a demanda hídrica do feijoeiro. No dimensionamento econômico do sistema foram analisadas as combinações dos diâmetros na linha lateral, adutora e sucção, em que foi calculado para cada combinação de diâmetros a altura manométrica para a situação de maior desnível ao longo da trajetória do pivô. Para o cálculo das simulações de composição da linha lateral do pivô, considerou-se o equipamento pivô central Lindsay, cujo vão inicial possui uma distância entre torres de 54,53 m, a parte intermediária com distância entre torres de 54,55 m e o balanço com comprimento de 26,82 m. Nas simulações foram empregados combinações dos diâmetros de 8” e de 6^{5/8}”. Para a análise econômica, foi cotado junto aos representantes de venda do equipamento pivô central Lindsay, o custo linear da linha lateral de 8” ($565,20 \text{ R\$ m}^{-1}$) e de 6^{5/8}” ($497,98 \text{ R\$ m}^{-1}$). Na análise dos diâmetros econômicos da adutora foram considerados o mesmo princípio da linha lateral, com as combinações dos diâmetros de 6”, 7”, 8”, 10” e 12”, cujos valores unitários foram respectivamente de 40,50 ; 55,00 ; 66,67; 91,67 e 113,33 $\text{R\$ m}^{-1}$. Com base na altura manométrica total e na vazão de projeto, foram selecionadas a bomba e o motor que proporciona o menor consumo de energia, de modo a otimizar o custo total de implantação do sistema de irrigação pivô central. Para o cálculo do custo anualizado, considerou-se um valor médio da vida útil dos equipamentos de 20 anos e a taxa de juros praticada pelo Banco Central do Brasil de 12,25%. O custo da energia elétrica foi calculado com base na tarifas praticadas pelas Centrais Elétricas do Estado de Goiás para os grupos tarifários Anexo B e C, considerando o período seco, no qual efetivamente se pratica a irrigação em Goiás, e a tarifa verde horosazonal. Visando a redução de energia consumida, analisou-se o emprego do inversor de frequência. Para tal, fez-se o estudo da variação da pressão no ponto pivô e da altura manométrica, para as posições da linha lateral para a configuração do sistema otimizado. Para se calcular a recuperação do investimento necessário para a aquisição do inversor de frequência foi utilizado o método da taxa interna de retorno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os equipamentos configurados com diâmetros de tubulação menores proporcionam uma redução no custo de investimento para a aquisição do sistema, ou seja, do custo fixo (Tabela 1). Por outro lado, como as perdas de carga são maiores requer uma maior potência instalada no bombeamento, proporcionando um maior consumo de energia. Observa-se uma redução dos custos fixos com a diminuição dos diâmetros da tubulação, sendo que a adutora A16 a que proporcionou o menor custo fixo total, porém foi a que proporcionou as maiores perdas de carga (Tabela 2). Na análise otimizada o modelo de bomba é a WLK 100/3 e 100/4 foram escolhidas em

função do máximo rendimento de 72%. Levando-se em conta todas as combinações de diâmetros da linha lateral do pivô central e da adutora para as vazões de 172,5 e 246,6 m³h⁻¹, com rotações de 1750 e 3500 rpm e motor padrão e alto rendimento, escolheu-se o sistema de irrigação por meio do custo total de investimento anualizado (CT). Para o sistema de irrigação operando com a estação elevatória na rotação de 1750 rpm, os resultados mostraram que a combinação do pivô central composta da adutora A11 (comprimento da adutora com 50% de diâmetro com 8" polegadas e 50% de 7") combinado com a configuração PC1 (diâmetro da linha lateral com 6^{5/8"}) é a de menor custo total, com potência instalada de 75 cv. A combinação da adutora A11 com as demais configurações da linha lateral, resulta em maior custo total do sistema. Segundo Carvalho & Oliveira (2008), para diâmetro maior os custos operacionais são menores, mas o custo de investimento da tubulação será elevado. Em contrapartida, para diâmetro menor os custos operacionais são maiores, mas o custo de investimento da tubulação será menor. Na análise do sistema de irrigação operando com a estação elevatória na rotação de 3500 rpm, o pivô PC1 (diâmetro da linha lateral com 6^{5/8"}) com a combinação A12 (comprimento da adutora com 25% de diâmetro com 8" polegadas e 75% de 7") e motor padrão, obteve-se a melhor relação custo benefício com motor padrão de potência de 75 cv, o que resulta em uma redução de 25% no consumo de energia para o sistema já implantado na Embrapa. Para a vazão de 246,6 m³h⁻¹, o pivô PC1 (diâmetro da linha lateral com 6^{5/8"}) com a combinação A5 (comprimento da adutora com diâmetro com 10") e motor padrão de 3500 rpm foi o de melhor relação custo benefício, resultando em um motor com potência de 100 cv, proporcionando uma redução de 25% no consumo de energia. Os resultados mostraram que o uso de rotações mais elevadas representam melhores rendimento do sistema, diminuindo assim o consumo de energia elétrica. O uso de rotações de 3500 rpm não é muito utilizado pelas empresas de irrigação, prevalecendo o de 1750 rpm que nesse caso não foi a melhor opção. O uso de motores de alto rendimento em relação ao custo benefício, não foi melhor que o padrão, devido o alto valor de custo de investimento, no entanto foi observado que o custo total do motor de alto rendimento ficou bem próximo do motor padrão. A pressão na entrada da linha lateral (Po) e a altura manométrica (H) seguiram as variações do nível do terreno, em que os maiores valores são observados para o ponto de maior cota, o qual exigirá maior potência do conjunto motobomba (Figura 1). As diferenças de pressão (ΔH) do sistema com o ângulo de giro do pivô central resultam na redução do consumo de energia elétrica total (Figura 2). Observa-se que, a maior diferença no consumo de energia elétrica (ΔE) foi obtida quando a linha lateral do pivô central estiver no declive máximo em relação à potência projetada do conjunto motobomba para atender o ponto de máxima H. Para as vazões de 172,5 e 246,6 m³h⁻¹ a economia de energia foi de 9,23 e 10,6%, respectivamente. A soma do percentual de economia com inversor de frequência e o percentual da análise de diâmetro econômico, resulta em uma economia global de 31,92% de energia elétrica para o sistema com vazão de 172,5 m³h⁻¹, motor padrão de 3500 rpm com 75 cv de potência. Para o sistema proposto com vazão de 246,6 m³h⁻¹ e motor padrão de 3500 rpm com 100 cv, a economia global em relação ao sistema projetado foi de 30,60% de energia elétrica. O retorno do investimento utilizando o método da taxa de retorno interno para o sistema com inversor de frequência e vazão de 172,5 m³h⁻¹ com potência de 75 cv, é de longo prazo. Isto se deve a taxa de juros de 6,52% a.a ser menor que a taxa básica de juros praticada pelo COPOM de 12,25% a.a. O mesmo se verificou para a vazão de 246,6 m³h⁻¹ em que a taxa de retorno financeiro foi de 9,48% a.a.

Tabela 1. Custo do pivô (R\$) para as diferentes combinações de diâmetro da linha lateral

Pivô	Inicial	Intermediário	Balanço	Custo fixo
PC1	27154,90	162989,18	13355,85	203499,94
PC2	30820,47	162989,18	13355,85	207165,50
PC3	30820,47	166656,09	13355,85	210832,40
PC4	30820,47	170322,99	13355,85	214499,31
PC5	30820,47	173989,90	13355,85	218166,21
PC6	30820,47	177656,80	13355,85	221833,12
PC7	30820,47	181323,71	13355,85	225500,02

Tabela 2. Custo fixo (R\$) da adutora (CFadutora), sucção (CFsucção) e total (CFtotal) para as diferentes combinações de diâmetros da adutora do pivô central

Adutora	CF _{adutora}	CF _{sucção}	CF _{total}	Adutora	CF _{adutora}	CF _{sucção}	CF _{total}
A1	122354,61	2453,10	124807,71	A9	71698,84	1693,33	73392,17
A2	116764,61	2453,10	119217,71	A10	68688,84	1693,33	70382,17
A3	111044,61	2453,10	113497,71	A11	65608,84	1693,33	67302,17
A4	105454,61	2453,10	107907,71	A12	62598,84	1693,33	64292,17
A5	98577,30	2022,37	100599,67	A13	59299,94	1555,83	60855,77
A6	92127,30	2022,37	94149,67	A14	55558,94	1555,83	57114,77
A7	85527,30	2022,37	87549,67	A15	51730,94	1555,83	53286,77
A8	79077,30	2022,37	81099,67	A16	47989,94	1555,83	49545,77

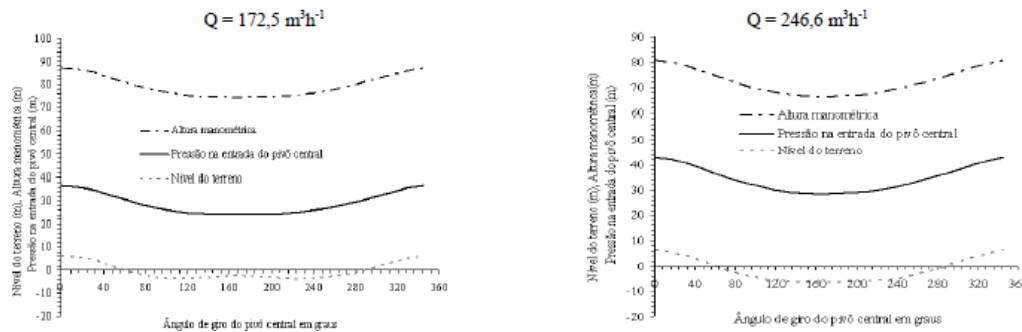


Figura 1. Variações do nível do terreno pressão na base do pivô central e altura manométrica em função do ângulo de giro do sistema, para as vazões de 175 e 246,6 m³h⁻¹.

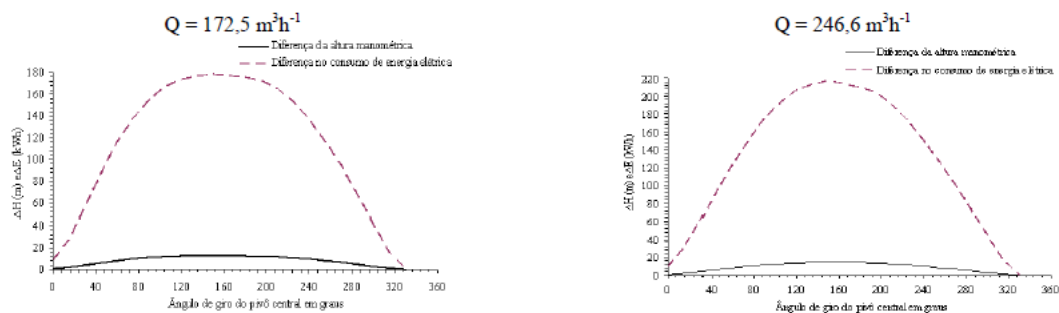


Figura 2. Diferença da altura manométrica e do consumo de energia em função do ângulo de giro do pivô central para as vazões de 175 e 246,6 m³h⁻¹.

CONCLUSÕES: O resultado com os cálculos realizados foi uma economia de energia elétrica de 25% considerando o uso do diâmetro econômico para os dois sistemas adotados. Para análise com uso inversor de frequência com, resultou em uma economia de 9,23% para o sistema de irrigação pivô central existente, e para o novo sistema de irrigação pivô central resultou em uma economia de 10,6%. A análise do retorno do investimento considerando o uso do sistema com inversor de frequência foi de uma taxa de retorno do investimento de 6,52% a.a, sistema de irrigação pivô central existente e para o sistema de irrigação pivô central novo foi de 9,48% a.a. O projeto tem retorno, mas de longo prazo, ou seja, inviável em curto prazo, considerando a taxa básica de juro com 12,25% a.a.

AGRADECIMENTOS: À FAPEMIG pelo apoio financeiro e ao CNPq pela concessão da bolsa.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, M.B.; COELHO, M.M.L.P. Fundamentos de engenharia hidráulica. Belo Horizonte: UFMG, 2003, 440p.
- CARVALHO, J.A.; OLIVEIRA, L.F.C. Instalações de bombeamento para irrigação: hidráulica e consumo de energia. Lavras: UFLA, 2008, 354p.
- LIMA, A.C.; GUIMARÃES JÚNIOR, S.C.; FIETZ, C.R.; CAMACHO, J.R. Avaliação e análise da eficiência energética na irrigação em sistemas pivô central. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, p.499-505, 2009.
- MEDEIROS, A.M.M. Otimização de sistema de irrigação por aspersão pivô central. 2010, 131f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás. 2010.