



MODERNIZAÇÃO DE SISTEMA DE PIVÔ CENTRAL VISANDO ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA E ÁGUA COM MONITORAMENTO E CONTROLE REMOTOS

Antônio M. M. Medeiros¹, Antônio M. Oliveira², André L. M. Mendes³, Carlos P. Júnior⁴, José W. L. Nerys²

¹Escola Politécnica e de Artes – PUC Goiás, ²Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação - EMC UFG, ³Escola de Agronomia - EA UFG, ⁴Vulcanum Indústria e Comércio Importação e Exportação Eireli - Vulcanum engenharia.

Resumo - A grande quantidade de pivôs centrais, no Estado de Goiás, projetados em uma época em que não havia uma preocupação crítica com o consumo de energia elétrica e água, confrontada com a tecnologia já consolidada de acionamentos de motores de indução e com o crescente surgimento de novas tecnologias na área de monitoramento e controle remotos, justifica a modernização de pivôs centrais apresentada neste artigo, onde são descritas todas as etapas executadas em um dos pivôs centrais da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás. O artigo apresenta as etapas de adaptações físicas do sistema, as tecnologias implementadas visando a eficiência dos consumos de energia elétrica e água e as tecnologias implementadas para o monitoramento e controle remotos do sistema, além de prever a apresentação de relatórios de conformidade da qualidade de energia elétrica ao longo do período irrigado. O resultado é a transformação de um sistema com tecnologia antiga em um sistema de pivô central eficiente, conectado à internet e que permite uma avaliação real da produtividade.

Palavras-Chave – automação, irrigação, inversor de frequência, modernização, pivô central.

MODERNIZATION OF CENTRAL PIVOT SYSTEM AIMING TO SAVING ELECTRICITY AND WATER WITH REMOTE MONITORING AND CONTROL

Abstract - The large number of center pivots, in the State of Goiás, designed at a time when there was no critical concern with the consumption of electricity and water, confronted with the already consolidated technology of induction motor drives and with the growing emergence of new technologies in the area of remote monitoring and control, justifies the modernization of center pivots presented in this article, which describes all the steps performed in one of the center pivots at the School of Agronomy and Food Engineering at the Federal University of Goiás. The article presents the stages of physical adaptations of the system, the technologies

implemented aiming at the efficiency of the consumption of electric energy and water and the technologies implemented for the remote monitoring and control of the system, besides foreseeing the presentation of reports of conformity of the quality of energy electricity throughout the irrigated period. The result is the transformation of an old technology system into an efficient center pivot system, connected to the internet and allowing a real evaluation of productivity.

Keywords - automation, irrigation, frequency inverter, modernization, central pivot.

I. INTRODUÇÃO

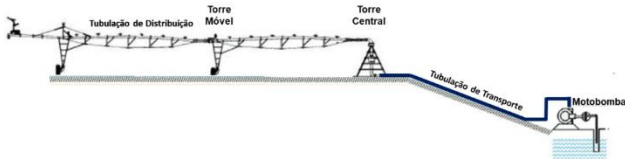
O emprego de tecnologia na irrigação melhora a produtividade até mesmo nas áreas já irrigadas, promovendo a sustentabilidade dos sistemas rurais, sobretudo em relação à racionalização do uso da água e energia elétrica [1]. Por conseguinte, o ajuste ou adaptação de sistemas de irrigação antigos é conhecido como reforma ou modernização, sendo uma solução para o setor agrícola que pretende continuar utilizando esses sistemas, ou seja, fazer com que o sistema de irrigação permaneça em uso, com um bom estado de conservação mecânica [2]. Um recurso utilizado na modernização dos sistemas de irrigação para aumentar a eficiência é a atualização tecnológica, como o uso de inversor de frequência [3] [4] [5], o emprego da Interface Homem-Máquina (IHM), presentes em boa parte dos equipamentos e sistemas automatizados, desempenhando um papel importante em diversas funções: verificação de status de funcionamento, acionamentos, avisos de alarme, entre outras [6]. As vantagens da modernização, além de um menor investimento, há a recuperação das condições originais do equipamento, melhoria de acesso a peças de reposição, aumento da vida útil, possibilidade do monitoramento remoto, redução no consumo de energia elétrica e água e, aumento da confiabilidade e da disponibilidade técnica [7][8]. O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e implementação de tecnologia embarcada para a modernização de um sistema de irrigação a pivô central tornando o equipamento mais eficiente e moderno.

II. MATERIAIS E METODOS

O sistema de pivô central é baseado em três etapas principais: a captação de água, seu transporte para a torre central e sua distribuição por aspersão na lavoura. A etapa da captação consiste no bombeamento de água de uma fonte hídrica, seja ela superficial (rios, lagos, represas) ou subterrânea (poços, lençol freático). Essa etapa é importante para a definição do potencial de área a ser irrigada, uma vez que, no pedido de outorga de água, são definidos vazão e volume disponíveis para a irrigação.

O processo seguinte é o transporte da água da captação para a torre central através de uma adutora equipada, geralmente, com uma motobomba [9]. O comprimento da adutora e a potência da motobomba são definidos de acordo com a distância e o desnível do terreno entre o ponto de captação e a torre do pivô. A última fase do processo é a distribuição de água pelos aspersores através de uma tubulação aérea, sustentada pelas torres centrais e móveis. No sistema típico de pivô central, as torres são movimentadas por um motor propulsor e giram ao redor da torre central, formando a clássica área circular de irrigação, figura 1.

Figura 1: Diagrama esquemático das partes de um sistema de pivô central [9].



Em termos da área coberta, o pivô central pode alcançar áreas grandes comparadas a outros sistemas. Uma limitação dos sistemas de pivô fixo ou rebocável é que há uma perda na área por causa da forma circular da aplicação. Além disso, um relevo menos plano pode limitar o uso desses sistemas. Em relação à precisão da aplicação, o sistema de pivô apresenta alta eficiência e precisão de lâmina aplicada se comparado, por exemplo, ao sistema de canhão. Porém, é menos preciso que sistemas de gotejo. As condições ambientais, como o vento, podem ser limitantes à irrigação por pivô central devido à deriva, diminuindo a precisão [10].

A mão de obra necessária para controle e operação dos sistemas de pivô é baixa se comparada a outros sistemas. Além disso, um sistema pode ter vida útil de 15 a 20 anos, mas recomenda-se manutenção preventiva antes da safra [10].

Para a realização da pesquisa foi utilizado o pivô 1 da escola de agronomia da UFG mais de 20 anos de uso, o sistema é composto por um sistema de captação de água de um reservatório de água proveniente de um lago, onde se encontra a casa de bomba que faz o bombeamento para pivô central através de uma adutora com 356 m de comprimento até a torre central do pivô, que é composto de apenas uma torre de 54 m irrigando uma área de 2,5 hectares, a figura 2 mostra a vista área da casa de bomba e área de irrigação.

Figura 2: vista área do sistema de irrigação utilizado na modernização.



Na figura 3 mostra as instalações da casa de bomba antes da modernização, o sistema de bombeamento possui um motor de indução trifásico 25 cv com 3500 rpm de rotação alimentado em 380V.

Figura 3: conjunto de acionamento hidráulico antes da modernização.



Na figura 4 temos a imagem do painel de comando da torre central, o qual é acionado através de botões acionados manualmente para poder funcionar.

Figura 4: Painel de comando da torre central.



O processo de modernização exige a mudança de alguns componentes do sistema antigo. Assim, são apresentadas as

etapas executadas no processo de modernização, começando pelas adequações elétricas, hidráulicas e de infraestrutura, necessários para permitir a implantação das novas funcionalidades do sistema. São apresentadas também a implantação da rede de comunicação de dados e dos equipamentos necessários para o monitoramento remoto das grandezas elétricas e hidráulicas, usadas para a análise de desempenho do sistema e, ainda, a implantação do inversor de frequência usado no controle de velocidade do motor de indução, responsável pelo acionamento da bomba de recalque.

III. DESENVOLVIMENTO

Dentro da etapa de adaptações físicas, as Figuras 5 a 9 mostram alguns dos componentes que foram incorporados ao sistema como componente novo ou como substituição do componente antigo. As Figuras 5.a. e 5.b. mostra o novo quadro de distribuição com a identificação dos disjuntores gerais para o circuito do pivô, para o quadro de comando do motor de indução e para outros equipamentos de irrigação. Esse quadro substitui o quadro anterior e reúne em um único quadro a proteção de todos os equipamentos disponíveis na casa de máquinas.

Figura 5: Quadro de distribuição com identificação dos disjuntores.



a) Visão interna do quadro b) Identificação dos disjuntores

As Figuras 6.a., 6.b. e 6.c. mostra: (a) multimetido trifásico utilizado para a aquisição de grandezas elétricas em um período que pode ser ajustado; (b) quadro de comando (chave compensadora) do motor de indução acoplado à bomba de recalque (c) o conjunto completo incluindo o inversor de frequência e o motor de indução. As grandezas elétricas de interesse são todas as tensões e correntes, frequência e potências aparente, ativa e reativa. O multimetido e o inversor de frequência são equipamentos novos, previstos na modernização proposta. Esses equipamentos são essenciais para os objetivos de otimização do consumo de energia elétrica do sistema e avaliação da qualidade da energia entregue pela concessionária.

Figura 6: Quadro de comando do motor de indução, multimetido e inversor de frequência.



a) Multimetido de grandezas elétricas b) Quadro de comando do motor e multimetido



c) Conjunto motobomba e Inversor de frequência

As Figuras 7.a., 7.b. e 7.c. destaca o link de rádio que conecta a casa de bombas ao pivô central a uma taxa aproximada de 3 Mb/s e é conectado via modem a uma rede de dados disponibilizada para o pivô.

Figura 7: link de rádio conectando a casa de bombas ao pivô central.



a) Antena do rádio no pivô b) Antena na casa de bombas c) Modem usado na comunicação

O sistema completo também conta com monitoramento de grandezas hidráulicas, como pressão e vazão. No processo de adaptação e modernização do sistema hidráulico, houve adaptações no sistema de sucção, no recalque e na linha lateral. Transdutores de vazão e pressão foram instalados em alguns pontos do sistema. As Figuras 8.a., 8.b. e 8.c. mostra um sensor de vazão instalado no tubo de descida de um aspersor, permitindo o monitoramento da vazão em cada aspersor, o sensor de pressão instalado na base do pivô central e o sensor de crescimento de cultura. No total, foram

instalados 3 (três sensores de pressão) e 2 (dois) sensores de crescimento ao longo da linha lateral.

Figura 8: Sensor de vazão no aspersor, sensor de pressão na base do pivô e sensor de crescimento de cultura.



a) Sensor de vazão

b) Sensor de pressão



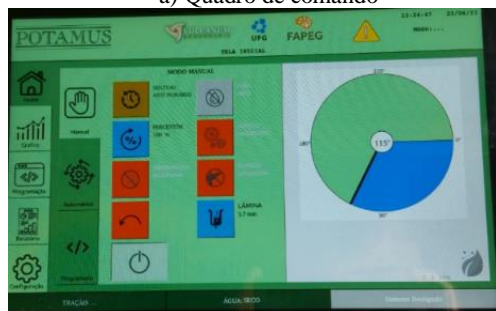
c) Sensor de crescimento

As Figuras 9.a. e 9.b. mostra o novo quadro de acionamento na base do pivô, que permite o acionamento de todo o sistema, a definição de alguns parâmetros, como lâmina d'água, e permite o monitoramento de vazão e potência do sistema.

Figura 9: Quadro de comando na base do pivô central.



a) Quadro de comando



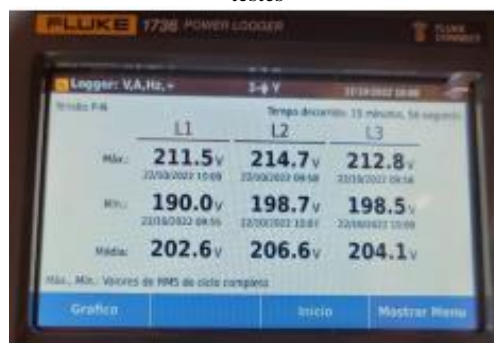
b) Tela do quadro de comando

IV. RESULTADOS DE TESTES DE FUNCIONAMENTO

Os testes de funcionamento do sistema incluem testes do acionamento do conjunto motor/bomba, testes de acionamento automático e manual, testes do sistema de monitoramento/controle remoto, verificação dos valores de pressão e vazão, verificação do consumo de energia elétrica e verificação da lâmina d'água.

Algumas verificações foram feitas, antes de iniciar os testes. A Figura 10 mostra os níveis de tensão na casa de bombas antes de serem iniciados os primeiros testes. Verifica-se que os níveis de tensão estão abaixo dos valores nominais, o que poderia comprometer o desempenho do conjunto motor/bomba. Em uma data posterior, os valores de tensão da rede estavam mais próximos dos valores nominais, como mostrado na Tabela 1.

Figura 10: Níveis de tensão na casa de bombas antes de iniciar os testes



As Tabelas I e II mostram, respectivamente, os valores de tensão de linha na entrada e na saída do inversor. Os resultados de saída mostram maior equilíbrio entre as fases na saída e mostra também que o inversor foi parametrizado para operar em 50 Hz.

Tabela I: Tensões de linha na entrada do inversor de frequência

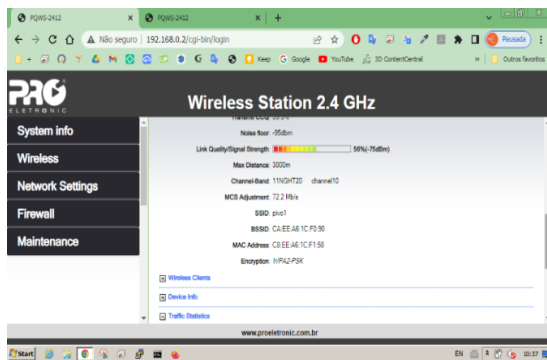
Frequência de entrada	Tensão entre fases e distorção harmônica		
	L12	L23	L31
60 Hz	393,8 V	396,5 V	397,6 V
	2,7 %	2,6 %	2,5 %

Tabela II: Tensões de linha na saída do inversor de frequência

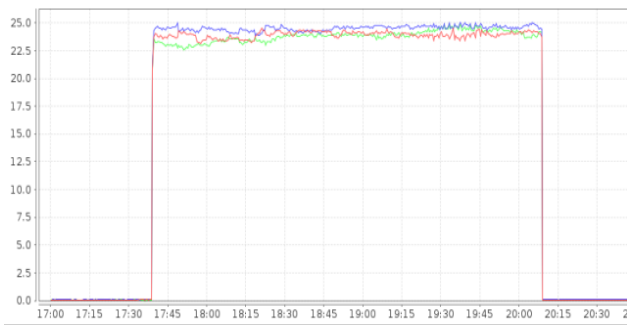
Frequência de saída (Hz)	Tensão entre fases (V)		
	L12	L23	L31
10	83,9	83,9	83,8
15	127,7	127,7	127,6
20	161,1	161,2	161,1
30	236,1	236,1	236,0
40	308,5	308,5	308,4
50	381,5	381,5	381,4
60	381,9	382,0	381,9

As Figuras 11.a. e 11.b. mostra o teste do link de conexão remota e os valores das 3 correntes do motor, acessadas remotamente.

Figura 11: Testes de conexão do sistema



a) Teste do link de conexão



b) Correntes trifásicas acessadas remotamente

As Figuras de 12 a 14 mostram os resultados de potência, vazão e pressão durante as operações do sistema sem controle e com controle de rotação do conjunto motor/bomba. Inicialmente foram registradas essas grandezas para uma volta completa sem controle de velocidade e, logo a seguir, foram registradas as mesmas grandezas para uma volta completa com controle de velocidade do motor. Os pontos de referência para a pressão foram as extremidades da linha lateral. A pressão de referência foi fixada em 13 mca. Assim, na operação sem controle, a pressão oscila, alcançando valores de até 18 mca, mas permanece constante no ponto de menor pressão, na operação com controle.

Os resultados mostram a eficácia do controle adotado. Verifica-se variação da potência do motor ao longo da linha lateral, como previsto; a potência atinge seu menor valor na parte mais baixa da linha lateral, por volta de 14:30h. Esse ponto de operação corresponde aproximadamente ao ponto de 12:30h, da operação sem controle. O princípio de funcionamento adotado tem a pressão na entrada dos aspersores nas extremidades da linha lateral como referência. Assim, a velocidade de rotação da bomba é ajustada de forma a manter o ponto de menor pressão no valor mínimo necessário para garantir a lâmina d'água de projeto.

Figura 12: Potências sem controle de pressão (a) e com controle de pressão (b)

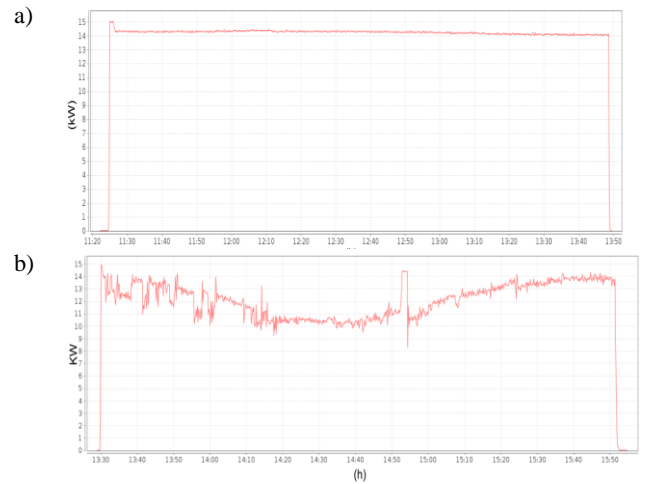
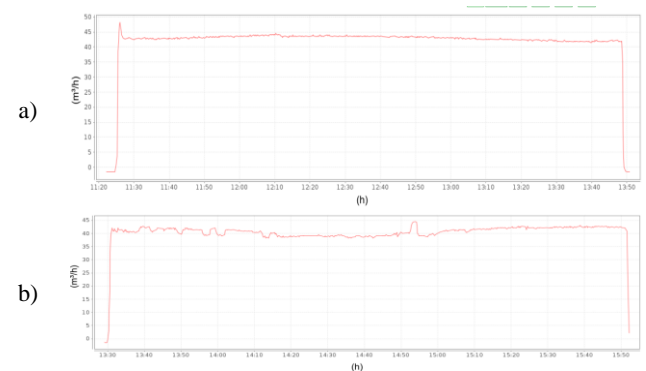


Figura 13: Pressão sem controle (a) e com controle (b) ao longo da linha lateral



Figura 14: Vazão sem controle de pressão (a) e com controle de pressão (b)



Como consequência da redução da potência e da variação da vazão, há uma redução do consumo de energia elétrica e de água, objetivos principais da modernização implementada. A Tabela III mostra os valores de consumo de energia elétrica e água para uma volta completa do pivô. Observa-se que houve uma redução de 6,58% no consumo de água e de 13,32% no consumo de energia elétrica.

Tabela III: Redução dos consumos de água e energia elétrica

Tipo de operação	Água		Energia elétrica
	Sem controle (A)	107,52 m ³	33,34 kWh
Com controle (B)	100,44 m ³	28,90 kWh	
Economia calculada	Diferença (A – B)	7,08 m ³	4,44 kWh
	Diferença percentual (A – B)/A	6,58 %	13,32 %

V. CONCLUSÃO

O trabalho de modernização apresentado incluiu a substituição de alguns equipamentos, especialmente no quadro de comando geral, inclusão de novos equipamentos, como por exemplo o inversor de frequência, e o desenvolvimento de uma plataforma de controle e monitoramento local e remoto de todo o sistema. Os resultados demonstram que, neste novo cenário de busca por desenvolvimento sustentável, a modernização apresentada é uma opção técnica viável e recomendável para os diversos sistemas de pivô centrais existentes no Estado de Goiás, que operam de forma não otimizada e sem monitoramento de grandezas elétricas e hidráulicas. A modernização permitirá ainda um planejamento assertivo de cada safra, uma vez que se pode estimar com maior precisão o consumo de água e de energia elétrica para todo o período irrigado.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] A. M. M. Medeiros, Otimização de sistema de irrigação por aspersão pivô central. 2010. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) - Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/439/1/Tese%20Antonio%20Marcos%205022010.pdf>> Acesso em: 20 março 2023.
- [2] E. O. Leite, Retrofitting Industrial – O Uso De Novas Tecnologias. 2007. 36 f. Trabalho de Conclusão do Curso - Engenharia Elétrica- Universidade São Francisco, Campinas, 2007. Disponível em: <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1358.pdf>> Acesso em: 20 março 2023.
- [3] J.A. Alves, L. F. C. Oliveira, A. M. Oliveira, Verificações das relações de Rateaux pelo emprego de um inversor de frequência. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande – PB, v.6, n.3, p.523-525, 2002.
- [4] F. Cendes Proposta de Automação de Sistemas de Irrigação com Pivô Central Baseados em Microprocessadores. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação da Escola de Engenharia Elétrica e de Computação. Universidade Federal de Goiás, 2004.
- [5] A. M. M. Medeiros, 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. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação da Escola de

Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, 2005.

- [6] S. Vieira, As novas tecnologias das IHMs. Mecatrônica Atual: Automação industrial de Processos e Manufatura. São Paulo, 2004. Acesso realizado em: 16/05/2020. Disponível em: <http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/428>.
- [7] A. S. Ribeiro, A. G. S. Almeida, M. B. Souza, E. J. Lima, Metodologia para implementação de retrofitting de controladores de equipamentos de automação de processos. Anais do 8º Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica, Cusco, Peru, 8, 2007.
- [8] W. C. Peixôto, Implementação e Análise de um Retrofitting Aplicado em uma Máquina de 3 Eixos.122 f. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de PósGraduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/8956/2/arquivototal.pdf>> Acesso em: 20 março 2023.
- [9] R. Testezlaf e E. E. Matsura, Engenharia de irrigação: tubos e acessórios. Campinas, SP: Unicamp/Faculdade de Engenharia Agrícola, 2015.153p.
- [10] S. Bernardo, A. A. Soares, E. C. Montavani, Manual de Irrigação. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.