

AUTOMAÇÃO DE PRECISÃO UTILIZANDO ARDUINO E INVERSOR DE FREQUÊNCIA APLICADO A SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR VÁLVULAS¹

FRANCISCO AÉCIO DE LIMA PEREIRA²; SUEDÊMIO DE LIMA SILVA³; JOSÉ FRANCISMAR DE MEDIROS⁴; VLADIMIR BATISTA FIGUEIRÊDO⁵; IDALMIR DE SOUZA QUEIROZ JÚNIOR⁶ E MARINALDO PINHEIRO DE SOUSA NETO⁷

¹ Trabalho retirado da tese intitulada: “Desenvolvimento e análise da eficiência energética de um sistema de automação de precisão para irrigação localizada utilizando arduino e inversor de frequência”, do primeiro autor.

² Prof. Doutor, Dep. de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Caraúbas, (Avenida Universitária Leto Fernandes, Sítio Esperança II, CEP: 59780-000, Caraúbas/RN – Brasil) aecio@ufersa.edu.br.

³ Prof. Doutor, Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró (Av. Francisco Mota, 572, Bairro Costa e Silva, CEP: 59.625-900, Mossoró/RN, Brasil) suedemio@ufersa.edu.br.

⁴ Eng. Agro. Doutor, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró (Av. Francisco Mota, 572, Bairro Costa e Silva, CEP: 59.625-900, Mossoró/RN, Brasil) jfmedeir@ufersa.edu.br

⁵ Prof. Doutor, Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró (Av. Francisco Mota, 572, Bairro Costa e Silva, CEP: 59.625-900, Mossoró/RN, Brasil) vladimir@ufersa.edu.br.

⁶ Prof. Doutor, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró (Av. Francisco Mota, 572, Bairro Costa e Silva, CEP: 59.625-900, Mossoró/RN, Brasil) idalmir@ufersa.edu.br

⁷ Prof. Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Mossoró (Rua Raimundo Firmino de Oliveira, 400, Conj. Ulrick Graff, CEP: 59.628-330, Mossoró/RN, Brasil) marinaldo.neto@ifrn.edu.br

1 RESUMO

O crescimento da população mundial desacelera, mas terá crescimentos absoluto significativos, de modo que a demanda de alimento crescerá. Estima-se que no futuro, mais da metade dos alimentos sejam provenientes de áreas irrigadas, fazendo com que ocorra maior pressão sobre o consumo de água e energia. O objetivo deste trabalho foi avaliar um sistema de automação utilizando Arduino e inversor de frequência destinado à irrigação por válvulas. O experimento consistiu em manter a pressão de saída constante em função de seis perdas de carga, através de estrangulamento mecânico de válvulas hidráulicas. Para isso, foi construída uma bancada de testes composta por conjunto motobomba, inversor de frequência, controlador de irrigação, válvulas hidráulicas, transdutores de pressão e sistema micro controlado; Para o monitoramento, automação e aquisição de dados utilizou-se uma placa Arduino Mega e circuitos condicionadores de sinal. Os resultados mostraram que a placa Arduino controlou de forma satisfatória todo o sistema, mantendo a pressão de saída das válvulas em 20 kPa, independente da pressão de entrada e das perdas de cargas das válvulas. Esse controle foi possível com a variação da rotação do motor, promovida pelo inversor de frequência. Analisando as válvulas 1 e 6, verificou-se que a frequência variou de 49,67 a 62,29 Hz, elevando a rotação de 2923 para 3646 rpm, e a potência ativa de 1322 para 2315 W, resultando em uma redução de potência ativa de 42,9%.

Palavras-chaves: Potência ativa, controlador de irrigação, válvulas hidráulicas, agricultura irrigada, micro controlador.

PEREIRA, F. A. L.; SILVA, S. L.; MEDEIROS, J. F.; FIGUEIREDO, V. B.; QUEIROZ JUNIOR, I. S. SOUSA NETO, M. P.

PRECISION AUTOMATION USING ARDUINO AND FREQUENCY INVERTER APPLIED TO VALVE IRRIGATION SYSTEMS

2 ABSTRACT

World population growth slows but will have significant absolute growth, so food demand will grow. It is estimated that in the future more than half of the food will come from irrigated areas, causing greater pressure on water and energy consumption. The objective of this work was to assess an automation system using Arduino and frequency inverter for valve irrigation. The experiment consisted of maintaining the output pressure constant as a function of six load losses through mechanical throttling of hydraulic valves. To this end, a test bench was built consisting of motor pump, frequency inverter, irrigation controller, hydraulic valves and pressure transducers, and controlled micro system. For the monitoring, automation and data acquisition, an Arduino Mega board and signal conditioning circuits were used. The results showed that the Arduino board satisfactorily controlled the entire system, maintaining the outlet pressure of valves at 20 kPa, regardless of the inlet pressure and the load losses of valves. . This control was possible with motor rotation variation promoted by the frequency inverter. Analyzing valves 1 and 6, it was found that the frequency ranged from 49.67 to 62.29 Hz, increasing the rotation from 2923 to 3646 rpm, and the active power from 1322 to 2315 W, resulting in an active power reduction of 42.9%.

Keywords: Active power, irrigation controller, hydraulic valves, irrigated agriculture, micro controller.

3 INTRODUÇÃO

A população mundial diminuiu o ritmo crescimento, apesar disso espera-se aumentos absolutos significativos, com previsão para 2050 de mais de 9 bilhões de habitantes. A consequência disso é o aumento da demanda de alimentos. Nesse cenário, estima-se que 50% desses alimentos deverá ter origem de áreas irrigadas (ALEXANDRATOS; BRUINSMA, 2012).

A área irrigada no mundo representa 16% da área total agrícola, sendo responsável por 44% da produção agrícola mundial, no entanto, consome aproximadamente 70,2% de toda a água doce utilizada pelo homem (ROCHA; CHRISTOFIDIS, 2015). No Brasil, a área

irrigada foi estimada em 2012 de 5,8 milhões de hectare, mas possui um potencial de quase 30 milhões (ROCHA; CHRISTOFIDIS, 2015).

Para Christofidis (2013), a produtividade global em áreas irrigadas é 270% maior que em áreas tradicionais de sequeiro. No Brasil, a implantação e modernização de sistemas de irrigação possibilitam aumento da produtividade na ordem de 350%, apresentando ainda, um retorno econômico de sete a oito vezes maior que a agricultura de sequeiro. Com isso, a previsão é que a irrigação deverá crescer, e buscando por processos e dispositivos que aprimorem a eficiência dos recursos utilizados, tornando-se cada vez mais hábil (LIMA et al., 2015).

Paulino et al. (2011) verificaram que os dados censo agrícola do Brasil de 2006 mostra como principais sistemas de irrigação: aspersão - 35% (sem pivô), inundação - 24%, pivô central - 19%, localizada - 8% e por sulcos - 8%. Vale ressaltar que mais de 50% da área irrigada utiliza os sistemas controlador por válvulas. Dados da câmara setorial de irrigação - CSEI da Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos - ABIMAQ, publicados por Rocha e Christofidis (2015), mostram uma tendência à mudança. A procura entre 2007 a 2013 foi maior por equipamentos com maior eficiência, como o Pivô central, e localizada, ficando em média 36,17% e 29,58%, respectivamente, ou seja, a irrigação que trabalha com válvula tende a continuar elevada.

A maioria dos sistemas de irrigação utiliza a energia elétrica no bombeamento, e o custo dessa no Brasil faz com que o bombeamento da água se transforme em um dos principais custos de produção (LIMA et al., 2015; MASIERO et al., 1999). O uso da automação convencional, sem variação de rotação, ajuda a reduzir custos, pois facilitará a irrigação noturna com tarifação diminuída da energia elétrica. Contudo, o alto custo inicial da automação convencional é a principal desvantagem da utilização do sistema. (GORNAT; SILVA, 1990).

Já a automação de precisão seria o processo de irrigar de maneira automática e dinâmica, objetivando manter a eficiência sempre elevada e reduzindo mais ainda o consumo de insumos, principalmente da energia elétrica, porém com custo inicial ainda mais elevado que o tradicional.

Segundo Lima et al. (2015), os motores elétricos na irrigação são os equipamentos que normalmente consomem a maior parte da energia elétrica. O uso do inversor de frequência na motobomba, ajustando a pressão ao valor desejado com variação de rotação promove redução no consumo da energia, ou seja, o uso do

inversor de frequência economiza energia, enquanto o sistema tradicional com estranguladores mecânicos desperdiça energia (PEREIRA et al., 2013; LIMA et al., 2015).

Quando um pivô central é instalado em áreas inclinadas, o dimensionamento do motor é feito para o ponto de maior aclave, condição mais crítica. O uso do inversor de frequência nesses casos tem como objetivo reduzir o consumo de energia pontos de menos aclave, isso já vem sendo estudado e difundido há algum tempo (LIMA et al., 2009; MASIERO et al., 1999; MORAIS et al., 2014). Já em áreas que utilizam válvulas, existem poucos estudos, apesar do benefício de se comportarem como pivôs centrais em áreas inclinadas, mesmo quando instalados em terrenos planos. Já se for em área declivosas equivale a pivôs centrais instalados em áreas muito inclinadas.

Os inversores podem ser operados de forma manual ou automática, sendo interessante para irrigação de forma automática. Para isso é necessário algum tipo de microcontrolador para comandar o inversor, alterando a rotação do conjunto motobomba. Pereira et al. (2013) e Lima et al. (2015), utilizaram um CLP programado para fazer as leituras dos sensores e controlar a frequência de saída do inversor.

O objetivo desse trabalho foi avaliar um sistema de automação baseado em Arduino e inversor de frequência para uso em sistemas por válvulas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no laboratório de Instrumentação de Máquinas e Mecanização Agrícola - LIMMA, pertencente ao Centro de Engenharia-CE da UFERSA.

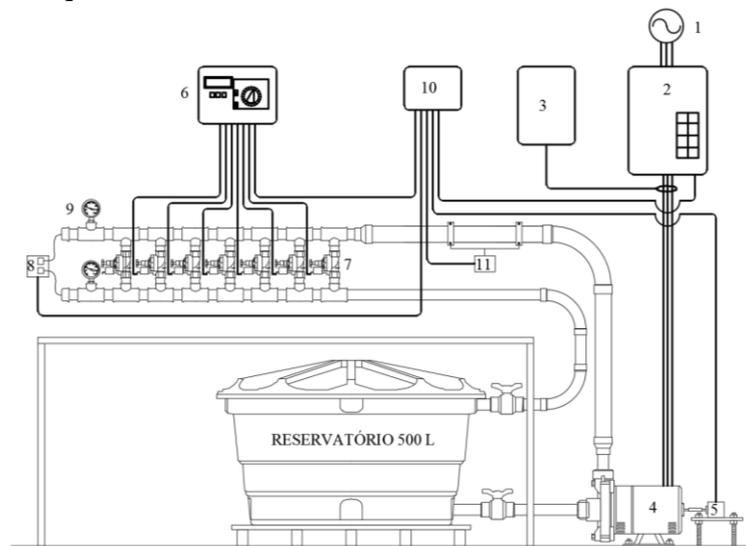
Para a realização do experimento construiu-se uma bancada de ensaios (figura 1). Utilizou-se uma caixa de água de

polietileno com capacidade para 500 litros. Para o bombeamento, foi utilizado um conjunto motobomba, composto por uma bomba marca Dancor, com bombeador CAM-W21, tubulação de sucção de 2 ½” e recalque de 2”, vazão de trabalho recomendada entre 18,6 a 34,3 m³ h⁻¹, acoplada a um motor marca WEG, trifásico 380 VAC, com potência de 2,20 kW (3 CV).

A tubulação de recalque utilizada foi de PVC de irrigação, sendo a saída do motor

até o início das válvulas com diâmetro de 75 mm, e o restante de 50 mm. No final da tubulação de retorno, foi instalado um registro de gaveta de ± 40 mm (1.½”) parcialmente fechado para manter a vazão da bomba dentro da faixa recomendada de trabalho. As válvulas estavam posicionadas em paralelo, bem próximo umas das outras, conectadas com uniões PVC de 1”.

Figura 1. Desenho esquemático da bancada de ensaio



Legenda: 1 – sistema de alimentação trifásica 380 V, 2- inversor de frequência, 3 – analisador de energia, 4 – motobomba, 5 – encoder rotativo, 6 – controlador de irrigação eletrônico, 7 – válvulas elétricas, 8 – sensores de pressão, 9 – manômetros analógicos, 10 – sistema microcontrolado e 11 – sensor de vazão

Este trabalho foi baseado em uma automação com Arduino com finalidade de regular a pressão na saída das válvulas hidráulicas. O programa criado foi configurado para manter a pressão de saída em 20 kPa, quando submetido a diferentes perdas de carga localizadas em cada válvulas. Para manter essa a pressão de saída nas válvulas, alterou-se a rotação do conjunto motobomba utilizando-se um inversor de frequência. Para controlar o tempo de funcionamentos das válvulas foi utilizado um controlador de irrigação comercial que acionava cada uma das válvulas por 20 minutos, totalizado 120 minutos em cada repetição. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado,

sendo realizado quatro repetições para cada válvula.

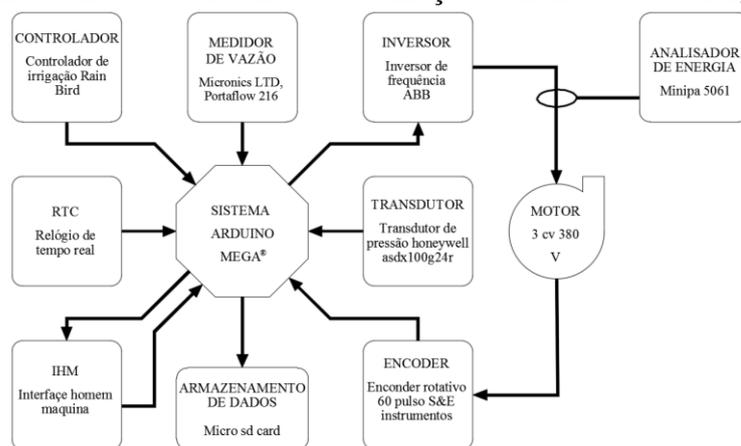
Para simular as perdas de carga, foi utilizado um conjunto de sete válvulas hidráulicas, fabricadas pela Rain Bird, modelo DVF 100 1”, com acionamento elétrico/mecânico, permitindo a regulação manual da vazão através do fecho. No controle da abertura e fechamento das válvulas, ou seja, o tempo de permanência em que cada válvula fica aberta, utilizou-se um controlador comercial de irrigação fabricado pela Rain Bird, modelo ESP-4Mi modular, com comando de válvulas elétricas com saída de 24 VAC, para controle de até quatro válvulas, acrescido de modulo de expansão de mais três válvulas,

totalizando sete saídas de controle. Porém só foram usados seis válvulas, a sétima ficou aberta durante todo o experimento para permitir que a vazão da bomba ficasse dentro da faixa especificada pelo fabricante.

No controle da pressão de saída foi utilizado um inversor de frequência, marca AAB, modelo ACS355-03E, com alimentação trifásica 380 V, com controle

manual e automático para controlar a rotação do conjunto motobomba. Utilizou-se uma placa Arduino Mega[®] 2560 R3 para regular a frequência do inversor de frequência de forma automática, monitorar as pressões nas linhas de alimentação e retorno, rotação do motor, vazão e status de acionamento das válvulas além de gravar os dados gerados pelos sensores (Figura 2).

Figura 2. Diagrama de fluxo do sistema de automação e analisador de energia



Para monitorar os parâmetros elétricos de frequência de saída do inversor e potências ativa foi utilizado um analisador de energia marca Minipa, modelo ET-5061C, inserido logo após o inversor de frequência, na alimentação para o conjunto motobomba. O sistema foi programado para realizar as leituras e armazenamento dos dados a cada cinco segundos. Os dados armazenados foram posteriormente transferidos para o computador onde foram realizadas as análises dos parâmetros energéticos do sistema, para cada perda de carga do ensaio.

Para monitorar as pressões nas linhas de alimentação e retorno utilizou-se transdutores de pressão fabricado pela Honeywell, modelo ASDX100G24R, com range de pressão de 0 a 689,5 kPa (0 a 100 PSI), inseridos no final e início das linhas de alimentação e retorno, respectivamente.

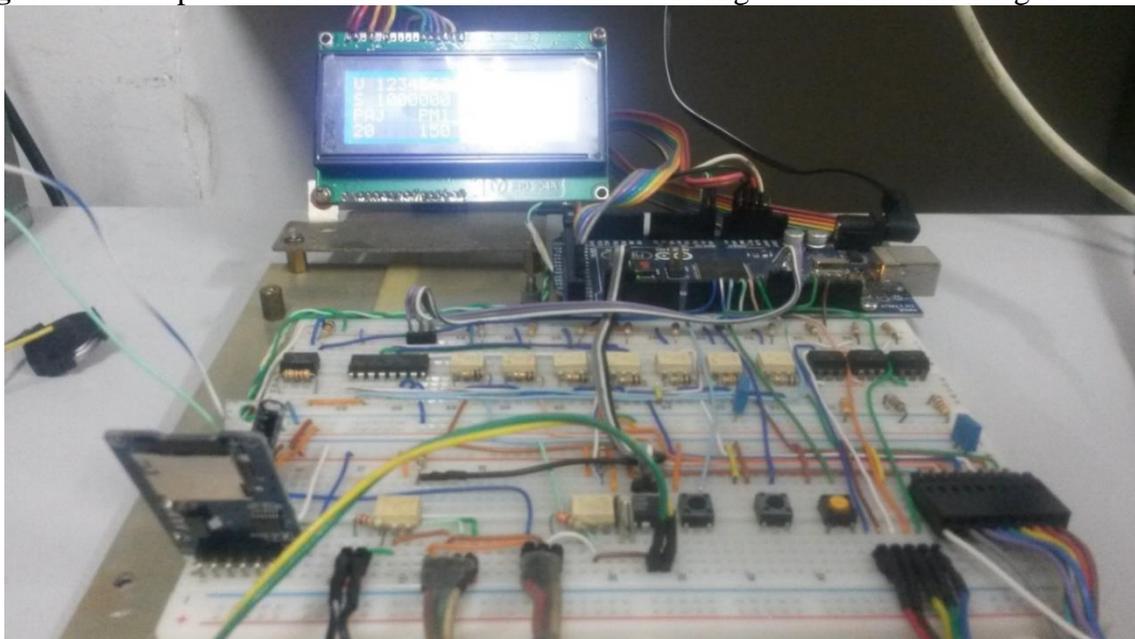
Para monitorar a vazão utilizou-se um medidor de fluxo ultrassônico, marca

Micronics LTD, modelo Portaflow 216, instalado na linha de alimentação com diâmetro de 75 mm.

A rotação do motor foi monitorada por um encoder rotativo incremental, marca S&E instrumentos, modelo GI-U, com 60 pulsos por volta e tensão de alimentação de 12 VDC. Um circuito condicionador de sinal foi utilizado para adequar a tensão de saída do sinal, reduzindo a amplitude de 12 VDC para 5 VDC, valor máximo aceitável pelo microcontrolador Arduino.

Para realizar monitoramento dos dados dos transdutores de pressão, rotação do motor, vazão do sistema, exibição e armazenamento dos dados e controle do inversor de frequência foi utilizada uma placa Arduino Mega[®]. O sistema foi programado para calcular a média a cada dez leituras, e armazenar esses valores em um SD CARD (Figura 3).

Figura 3. Placa protoboard com circuitos eletrônicos interligados ao Arduino Mega®.



Quando o Arduino detectava uma válvula aberta, ou seja, o status da válvula ficava ligado, um comando era enviado para o inversor de frequência ligar o motor e acelerar ou reduzir a rotação, dependendo do valor da pressão de saída e do valor preestabelecido para a mesma. Para o ajuste da pressão através de rotação foi usado as entradas do inversor frequência UP e DOWN, onde cada pulso de 50 milissegundos equivalia a um incremento ou decréscimo de 0,1 Hz.

Na parametrização do inversor de frequência, a partida foi configurada para acelerar de forma suave, com aceleração em rampa constante de 20 segundos, até atingir uma frequência mínima parametrizada de 40 Hz. Após esse tempo, o controle do inversor ficava sendo realizado exclusivamente pela placa Arduino.

Para a gravação dos dados não ficar aleatória, foi utilizado um Módulo RTC – relógio de tempo real, que fornecia as informações de data e hora em cada linha de gravação. A data foi do formato DD.MM.AAAA, já a hora foi de formato HH.MM.SS.

A interface homem-máquina (IHM) é composta por display LCD (20x4), vinte

colunas e quatro linhas e três interruptores de pressão do tipo push button. No display foram exibidas as informações sobre o status das válvulas, identificando qual válvula estava aberta, pressões de entrada e saída das válvulas e rotação do motor.

Os dados foram submetidos à análise de variância, usando-se o software Sisvar, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (FERREIRA, 2011). As variáveis analisadas foram pressão de entrada, pressão de saída, vazão, rotação, potência ativa, frequência. As médias foram comparadas a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, quando o valor do teste F, na análise de variância for significativo. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (ESTATCAMP, 2014) e homogeneidade (BARTLETT, 1937) de variância antes da realização das análises estatísticas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados comprovam que o sistema micro controlado construído com Arduino tanto monitorou como controlou muito bem os parâmetros do sistema,

estando apto a ser testado no campo. Verifica-se na análise de variância, com exceção da pressão de saída e da vazão, que as demais variáveis analisadas apresentaram diferenças significativas. Como a pressão de saída estava programada

para ficar constante, consequentemente nenhuma das válvulas apresentou diferenças significativas neste item (Tabela 1). Comportamento semelhante é verificado para a vazão que é dependente da pressão.

Tabela 1. Análise variância das pressões de entrada (P. entrada) e saída (P. saída), vazão, rotação, potência ativa e frequência.

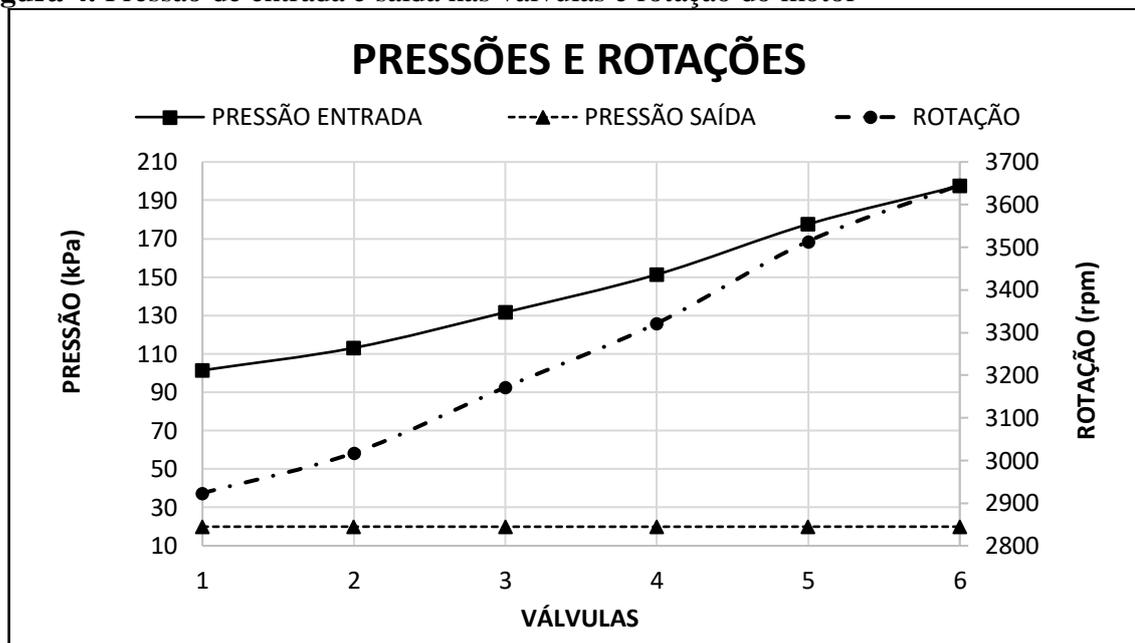
Válvulas	VARIÁVEIS ANALISADAS					
	P. entrada kPa	P. saída kPa	Vazão m ³ h ⁻¹	Rotação rpm	P. ativa W	Frequência Hz
1	101,43 f	19,93 a	19,08 a	2.924 f	1.322 f	49,67 f
2	113,14 e	19,93 a	19,11 a	3.018 e	1.437 e	51,29 e
3	131,68 d	19,94 a	19,47 a	3.172 d	1.632d	53,96 d
4	151,35 c	19,95 a	19,53 a	3.322 c	1.833 c	56,56 c
5	177,59 b	19,96 a	19,77 a	3.514 b	2.117 b	59,92 b
6	197,61 a	19,96 a	20,16 a	3.646 a	2.315 a	62,29 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com a montagem e programação, para toda mudança de válvula ocorria uma elevação da rotação para elevar a pressão de entrada, mantendo a pressão de saída constante, não apresentando diferenças significativas, como mostrado na Tabela 1. A pressão de saída apresentou uma diferença de 0,25% para menos do valor predefinido. Esses valor menos foi devido a programação do Arduino, que verificava as leituras, e se estivessem em uma faixa próximos ao valor definido não tomava a decisão, então, durante elevação de pressão antes de chegar exatamente em

20 kPa já parava de acelerar por entender que se encontrava dentro da faixa, com isso os valores observados foram um pouco abaixo de 20 kPa.

A pressão de saída ficou constante e fez com que a vazão observada ficasse praticamente constante, com o valor médio de 19,52 m³ h⁻¹ (Tabela 1). Sendo que a faixa de vazão recomendada pelo fabricante da bomba de 18,6 a 34,3 m³ h⁻¹. Neste ponto, segundo fabricante, específica que o rendimento da bomba nessa é de 59%, valor aceitável para bomba com baixa potência (Figura 4).

Figura 4. Pressão de entrada e saída nas válvulas e rotação do motor

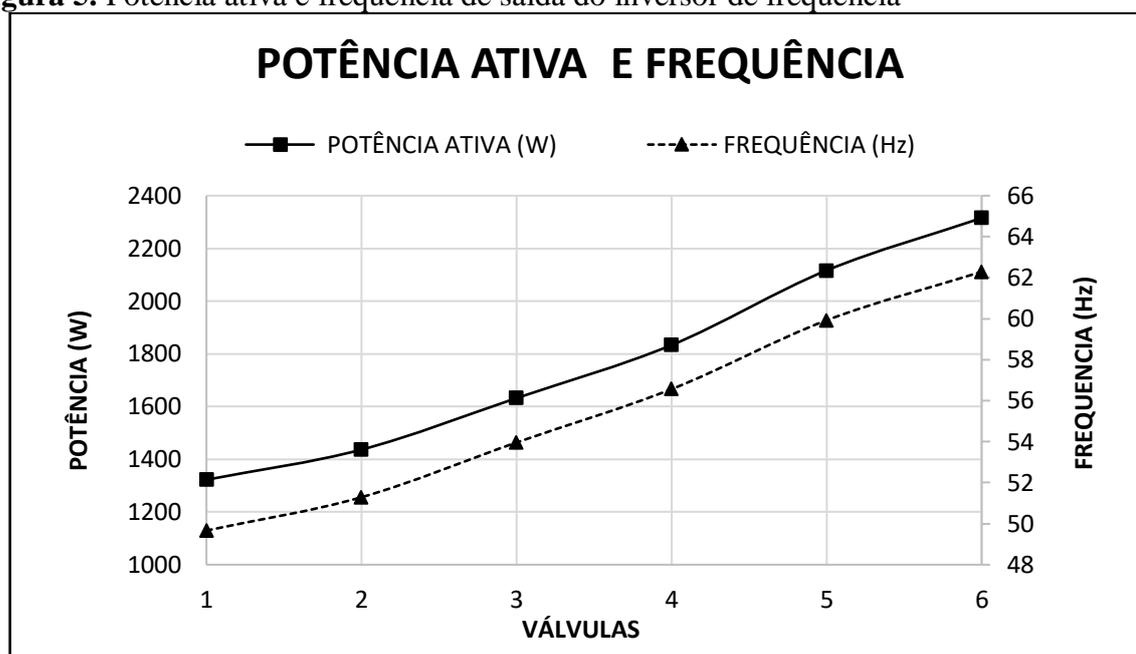
A melhor aplicação comercial para esse sistema seria controlar a pressão de saída das válvulas, com isso, na irrigação por válvulas dispensava o uso de estranguladores mecânicos, como a válvula piloto ou o estrangulamento manual, e ainda reduziria a potência consumida. Araújo et al. (2006) e Masiero et al. (1999) também utilizaram em seus trabalhos de pesquisas a pressão de saída ajustada.

As pressões de entrada nas válvulas tiveram um comportamento crescente e significativo para todas as válvulas, compensando as perdas de carga localizadas nas mesmas. Isso ocorreu para manter a pressão de saída no valor pré-programado. Os valores de pressão de entrada mínimos e máximos foram 101,43 e 197,61 kPa. E, para controlar essa pressão, a rotação variou de 2924 para 3646 rpm para as válvulas 1 e 6, respectivamente. A rotação por sua vez foi controlada pela respectiva frequência de saída do inversor de frequência.

Semelhante a esse trabalho Araújo et al. (2006), trabalharam com aspersão utilizando inversor de frequência que variou

a rotação de 2400 a 3500 rpm. Enquanto Lima et al. (2015) trabalharam com motor de 1750 rpm em pivô e variou a rotação de 1682 a 1375 rpm. Uma grande vantagem do inversor, é que permite trabalhar com rotação precisa para regular a pressão necessária, e quando rotação fica abaixo da rotação nominal do motor, ocorre redução da potência ativa consumida; podendo ainda compensar a margem de segurança dada no dimensionamento do motor que varia de 7 a 15% (BERNARDO et al., 2008).

A frequência de saída do Inversor de frequência variou de 49,67 até 62,29 Hz, respectivamente da válvula 1 para a 6, com diferenças significativas das médias para todas as válvulas. Conforme os dados do analisador de energia, após o inversor essa variação de frequência ocasionou uma redução da potência ativa de 42,8%. Mas nesse caso a frequência chegou a 62,29 Hz ficando acima da rede, elevando a potência ativa medida em 2.315,24 W, enquanto a nominal do motor, que é 2.200 W (Figura 5).

Figura 5. Potência ativa e frequência de saída do inversor de frequência

Analisando a potência ativa comparando a válvula 5, com frequência de 59,92 Hz, que seria bem próximo a frequência de alimentação da rede, com a válvula 1 com frequência de 49,67 Hz teríamos redução de 17,11%. Respectivamente para potências ativa de 2117 e 1322 W, ocasionando uma redução de 794 W, o que equivale a uma redução de 37,55%. Dados de um experimento com pivô central teve proporções parecidas, reduzindo a frequência de 57,03 Hz para 54,66 Hz, equivalente a 4,15% redução, ocasionou uma redução na potência ativa de 7540 para 6747 W, o que equivale a 10% (PEREIRA et al., 2013).

Neste trabalho somente considerou-se o motor, não considerando o consumo do próprio inversor de frequência. No manual, o fabricante do inversor de frequência especifica as perdas para esse equipamento de 173W no circuito principal e mais no circuito de controle de no mínimo 12 W e no máximo 31,2 W. Total variando de 185 e 204,2 W respectivamente para valores mínimo e máximo.

Dados publicados apresentam redução de potência em função da

frequência, Araújo et al. (2006) trabalhando de uma a quatro linhas de aspersores abertas, chegou a reduzir 58% do consumo de energia elétrica quando trabalhava com inversor de frequência variando de 39,8 a 58,0 Hz. Pereira et al. (2013) comparam o consumo de energia em uma volta completa do pivô em área inclinada, onde observou redução de 19% com uso do inversor de frequência. Lima et al. (2015) analisando a potência com o inversor de frequência em pivô central posicionado no aclave e declive obteve 185,36 e 110 kW respectivamente, o que representa uma redução de mais de 40% se considerado apenas os dois pontos.

6 CONCLUSÕES

O uso do inversor de frequência para frequência menores que 60 Hz, reduziu a potência ativa em aproximadamente 2,19% para cada redução de 1% na frequência.

O controle da pressão de saída das válvulas foi eficiente, e reduziu a potência ativa em até 42,8% para condição desse experimento.

O monitoramento dos parâmetros envolvidos para manter a pressão de saída constante ocorreu conforme esperado, habilitando o sistema para uso no campo com irrigação através de válvulas hidráulicas.

7 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq- Projeto Casadinho/Procad pelo apoio financeiro.

8 REFERÊNCIAS

ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. Rome: FAO, 2012. ESA Working paper

ARAÚJO, J. A. B. de, SERAPHIM, O. J.; SIQUEIRA, J. A. C. Avaliação de um sistema irrigação por aspersão com aplicação do inversor de frequência no conjunto motobomba. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 319-327, 2006.

BARTLETT, M. S. Some examples of statistical methods of research in agriculture and applied biology. **Journal of the Royal Statistical Society**, Malden, v. 4, n. 1, p. 137-183, 1937.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8.ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. 685p.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e agropecuária sustentável. **Revista de política agrícola**, v. 22, n. 1, p. 115-127, 2013.

ESTATCAMP. Software Action, versão 3.0. **Estatcamp - Consultoria em estatística e qualidade**. São Carlos, SP, 2014. Disponível em: <<http://www.portaction.com.br>>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GORNAT, B.; SILVA, W. L. V. Sistemas de Controle e Automatização da Irrigação. **ITEM. Irrigação e Tecnologia Moderna**. ABID, Brasília, n.41, p 20-24, 1990.

LIMA, A. dos S.; ZOCOLER, J. L.; JADOSKI, S. O.; MAGGI, M. F.; AMARANTE, R. R. Desempenho Operacional no Bombeamento em Pivô Central utilizando Inversor de Frequência. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 8, n. 2, p. 51 – 61, 2015.

LIMA, A. dos S.; ZOCOLER, J.L.; MAGGI, M. F.; LIMA, H. K. de. Uso do inversor de frequência em sistema de irrigação do pivo central e seu efeito na lâmina e uniformidade de distribuição de água. **Pesquisa aplicada & agrotecnologia**, v. 2, n. 1, p. 119-125, 2009.

MASIERO, L.A.M.; OLIVEIRA FILHO, D.; OLIVEIRA, R.A. Utilização de inversores de frequência para racionalização do uso da energia elétrica em sistemas de irrigação por pivô central. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.7, n. 1, jan/mar, p.35-45,1999.

MORAIS, M. J.; OLIVEIRA FILHO, D.; MANTOVANI, E. C.; MONTEIRO, P. M. B.; MENDES, A. L. C.; DAMIÃO, J. H. A. C.; Automação em sistema de irrigação tipo pivô central para economia de energia elétrica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 6, nov/dez, p. 1075-1088, 2014.

PAULINO, C. A.; RAMÁN, R.M.S.; JOSÉ, J. F. Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com censo agropecuário 2006. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 163-176. 2011.

PEREIRA, P. H. C.; COLOMBO, A.; RABELO, G. F.; SOARES, D. de A. O uso da engenharia de automação na redução do consumo de energia elétrica em um sistema de irrigação por pivô central. In **Safety, Health and Environment World Congress, 13, 2013**, Porto, Portugal. Anais... Porto: COPEC, 2013. p. 163-168.

ROCHA, C. T. D da; CHRISTOFIDIS, D. Vantagens da opção pela agricultura irrigada. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v 24, n. 2, p. 17-25. 2015.