

DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO DE INTERFACE PARA A APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES LÍQUIDOS A TAXAS VARIÁVEIS

DEVELOPMENT OF AN INTERFACE MODULE FOR APPLICATION OF LIQUID FERTILIZERS WITH VARIABLE RATE

Edison Russo¹, Nelson Luis Cappelli², Claudio Kiyoshi Umezu³, Guilherme Bezzon⁴

RESUMO

A agricultura moderna busca novas tecnologias para a aplicação de insumos com maior precisão e com a finalidade de aumentar a produtividade, minimizar os impactos ambientais, reduzir os custos de produção e melhorar a qualidade dos produtos. O desenvolvimento de tais máquinas aponta para a necessidade da introdução de sistemas eletrônicos embarcados. Este trabalho descreve o desenvolvimento de um Módulo de Interface (MDI) para ser utilizado em um sistema de formulação e aplicação localizada de nutrientes líquidos a taxas variáveis. A função do MDI é receber as informações provenientes do módulo de controle do sistema de aplicação, efetuar as leituras dos sensores de campo, processar os dados e comandar os periféricos envolvidos na aplicação, tais como: bombas, eletro-válvulas e válvulas proporcionais para controle de fluxo. Os resultados das avaliações realizadas demonstraram que o MDI apresentou desempenho superior aos requeridos pelo sistema de aplicação localizada de insumos líquidos.

Palavras-chave: adubos líquidos; agricultura de precisão; aplicação localizada

ABSTRACT

Modern agriculture searches for new technologies for application of nutrients with higher precision to increase productivity, minimize environment impact, reduce production costs and improve products quality. The development of such machines tends towards automation and the introduction of embed electronic systems. The aim of this work was the development of an Interface Module (MDI) to be used in a system for application of liquid products. The function of the MDI is to receive the information from the Control Module, reading the field sensors, process all this data and command the peripherals involved in the application, as: pumps, electro-valves for flux of nutrients control. The results of the analysis have shown that the MDI presented a superior performance than the required by the application system of liquid nutrients.

Key words: liquid nutrients; precision agriculture; located application

INTRODUÇÃO

A busca por novas tecnologias de aplicação de insumos na agricultura visa à otimização dos recursos utilizados, bem como a maior precisão na dosagem, redução dos impactos ambientais, diminuição dos custos de produção e melhoria na qualidade dos produtos.

A agricultura de precisão tem como requisitos a utilização de diversas tecnologias, tais como: a utilização do Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS), mapas de aplicação ou produtividade (GIS) e equipamentos capazes de realizar aplicação à taxas variáveis (WANG, 2001). Atualmente a indústria está munida de ferramentas de *software* e *hardware* que possibilitam o uso de sistemas capazes de operar de forma diferenciada, em função da situação particular de cada fração da área cultivada Zhang *et al.* (2002). Uma das principais causas da variabilidade espacial da produtividade em uma lavoura está diretamente relacionada com a disponibilidade localizada de fertilizantes no solo. No Brasil, tradicionalmente emprega-se o adubo sólido como elemento nutriente das plantas, no entanto, Malavolta (1994) demonstra que se podem obter produtividades mais elevadas com a adoção da adubação fluída. O uso deste tipo de fertilizante possibilita um maior controle da sua localização no solo, bem como da quantidade aplicada. Contudo, o uso da adubação fluída no Brasil é pouco difundido, conseqüentemente existem poucos trabalhos desenvolvidos, tanto na área agrônômica quanto no setor de equipamentos de aplicação.

O controle automático da quantidade de nutriente a ser aplicado em um determinado local envolve um conjunto de procedimentos e componentes especificamente desenvolvidos para esta finalidade Gupta *et al.* (1997), bem como, a confecção de um mapa de aplicação, na forma de uma matriz de dados, contendo as informações de posicionamento geográfico e as respectivas taxas de aplicação dos nutrientes envolvidos.

Para fazer frente a esta demanda, o grupo de pesquisa do Laboratório de Instrumentação e Controle – LIC, da Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, realiza um trabalho conjunto com o objetivo de projetar, desenvolver, construir e avaliar um módulo de interface, no que tange ao *software* e ao *hardware*, para ser aplicado ao sistema de formulação e aplicação de nutrientes líquidos a taxas variáveis.

¹ Eng. Eletricista, M.S, FEAGRI/UNICAMP, Rua Cândido Rondon S/N, Caixa Postal 6011. E-mail: erusso@uol.com.br.

² Eng. Agrícola, Prof. Dr, FEAGRI/UNICAMP. E-mail: cappelli@agr.unicamp.br.

³ Eng. Eletricista, Pesq., Dr, FEAGRI/UNICAMP. E-mail: umezu@agr.unicamp.br .

⁴ Eng. Mecânico, Prof.; Dr., Faculdades Integradas Metropolitanas de Campinas. E-mail: guilhermebezzon@metrocamp.com.br.

(Recebido para publicação em 08/03/2007, aprovado 04/03/2010)

MATERIAL E MÉTODOS

O equipamento proposto foi constituído por dois módulos funcionais: Módulo de Controle (MDC) e Módulo de

Interface (MDI), objeto de desenvolvimento deste trabalho. A Figura 1 ilustra o conjunto de blocos representativos do sistema proposto.

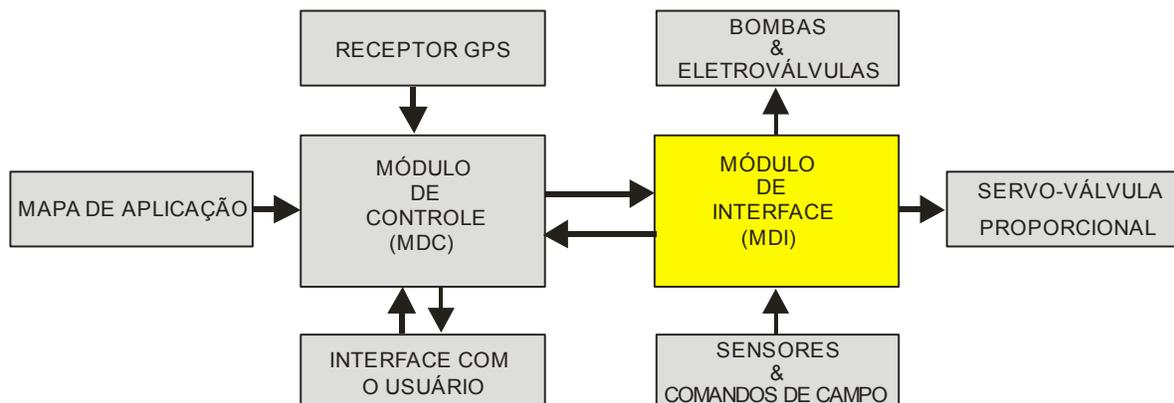


Figura 1 - Diagrama em blocos do sistema de aplicação.

Modulo de Controle - MDC

O MDC foi projetado para utilização com insumos líquidos, com possibilidade de operar com até três concentrados diferentes, obedecendo às dosagens contidas nos mapas de aplicação. Nesta aplicação, os três concentrados deverão ser adequadamente selecionados, e serão combinados de modo a suprir as necessidades localizadas dos macro-nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), possibilitando a alteração da formulação em tempo real, além da alteração da dosagem do composto resultante (UMEZU & CAPELLI, 2006). Os mapas de aplicação contêm as recomendações de adubação para toda a área a ser coberta, disponibilizadas na forma de banco de dados (WEIRICH NETO, 2006). O banco de dados, por sua vez, relaciona as coordenadas geodésicas do terreno com as informações das quantidades necessárias de cada concentrado a ser aplicado. Estas informações são armazenadas na memória interna do Módulo de Controle. A partir destas informações, o equipamento enviará os sinais de atuação para o MDI que por sua vez atua nas servo-válvulas, desenvolvidas por Johann *et al.* (2004), por meio de circuitos hidráulicos independentes, com isso regulam a vazão de cada um dos concentrados.

Na primeira etapa de desenvolvimento foram identificados os requisitos do MDC, tais como: padrão dos sinais de entrada e saída, compatibilidade de comunicação com o padrão SPP da porta paralela e taxa de transferência dos dados. A partir destes requisitos, definiram-se as características dos periféricos a serem comandados pelo MDI, levando-se em conta; durabilidade, facilidade de instalação, consumo, custo e disponibilidade no mercado nacional. Os componentes do MDI foram testados individualmente, antes do processo de integração, visando quantificar o seu desempenho e identificar possíveis problemas operacionais.

Nesta versão do equipamento, utilizou-se um computador padrão PC como MDC. A este foi incorporado um receptor GPS, da marca Garmin, modelo GPS72H, que fornece a informação das coordenadas geodésicas do local de aplicação e a velocidade de deslocamento do equipamento.

Para que o sistema fosse avaliado em condições de trabalho, desenvolveu-se um *software* de testes, na linguagem Delphi para enviar e receber dados pela porta paralela, simulando os sinais de atuação. Assim, por meio de uma

interface gráfica na tela do microcomputador foi possível controlar todas as funções de comando e monitoração do MDI.

O critério utilizado para a avaliação estática e dinâmica de funcionamento do MDI se consistiu na medição, em tempo real, da largura dos pulsos gerados, já que, segundo Johann *et al.* (2004), o servo-motor que comanda a abertura da válvula proporcional, responde linearmente em função do ciclo de trabalho do sinal PWM (modulação por largura de pulso) de comando. Com isso, a precisão do posicionamento angular do servo-motor que comanda a abertura da válvula proporcional está diretamente relacionada à qualidade do sinal de controle enviado pelo MDI. Desta forma, o envio de um sinal de controle com estabilidade na frequência no ciclo de trabalho é de fundamental importância para a aplicação de fertilizante de forma adequada.

Módulo de Interface – MDI

O MDI se constitui de uma placa eletrônica microcontrolada (Atmel 8951), que recebe as informações das taxas de aplicações dos nutrientes, enviadas via porta paralela pelo MDC, já decodificadas para um percentual de vazão. O MDI recebe também os sinais dos sensores de níveis mínimos dos reservatórios dos nutrientes e dos pressostatos que monitoram os circuitos hidráulicos. Estas informações são processadas e convertidas em sinais elétricos PWM, que comandam os três conjuntos de válvulas proporcionais para controle de vazão, o acionamento das moto-bombas e as eletro-válvulas que liberam o fluxo dos nutrientes.

A comunicação entre o MDC e o MDI foi concebida para que haja compatibilidade com a porta paralela de computadores do tipo PC. No endereço de entrada e saída (I/O) 378h está o Registrador de Dados de 8 bits, que será usado como saída, para que o MDC possa informar ao MDI o valor percentual da taxa instantânea a ser aplicada. Desta forma, é possível uma resolução máxima de 0,5%, possibilitando assim, o controle de abertura da válvula proporcional com incrementos definidos de 1%.

No endereço de I/O 379h, está o Registrador de Estado, que trabalha como uma entrada de 5 bits. Através deste registrador, o MDI informa o sistema computacional sobre eventuais falhas ocorridas, tais como: falta de algum nutriente ou perda de pressão das linhas de distribuição dos nutrientes.

Neste caso se aciona um alarme para o operador. Já no endereço de I/O 37Ah, está o Registrador de Controle, que opera com 4 bits, e que está configurado como saída, informando ao MDI qual dos dosadores de nutrientes será selecionado para receber as informações. Todas estas informações serão processadas pelo microcontrolador do MDI, que em tempo real, gera os sinais para abertura das servo-válvulas, acionam as bombas de pressão de linha e as eletro-válvulas para liberação do fluxo dos nutrientes. Este sinal deve possuir as seguintes características para ser compatível com as características da servo-válvula, isto é: amplitude de 5 volts, período de 13 ms e ciclo de trabalho em que o nível alto varie de um a dois milésimos de segundo e o nível baixo seja o complemento para treze milésimos de segundo, para se obter uma variação da abertura da válvula proporcional de 0 a 100%. Além disso, para garantir a homogeneização dos nutrientes, bem como pressão constante dos fluidos nutrientes nas válvulas proporcionais, um conjunto de até três motobombas é comandado pelo MDI, dependendo da quantidade de nutrientes selecionada para a operação.

Avaliação do protótipo

Para se identificar o comportamento dinâmico do servo-motor utilizado no equipamento, realizou-se uma série de procedimentos experimentais. Nestes procedimentos, foram aplicados, por meio de um *software*, sinais de teste do tipo degrau, de diferentes amplitudes, registrando-se o comportamento da posição do eixo do servo-motor em função do tempo. Para este procedimento, modificou-se o aplicativo residente no micro-controlador de forma a gerar um sinal de

sincronismo no início de cada mudança de posição do servo-motor.

Para a coleta e armazenamento dos dados, utilizou-se o cartão de aquisição, modelo DAQCard 1200 e desenvolveu-se um aplicativo para visualização e registro dos sinais em ambiente LabVIEW.

Para a determinação do comportamento dinâmico foram utilizados dois canais de entrada: o primeiro registrou a tensão correspondente à posição angular do potenciômetro e o segundo, o sinal de sincronismo gerado pelo Módulo de Interface. Utilizou-se uma taxa de amostragem de 200 pontos por segundo, salvando-se os dados em um arquivo no formato texto, de modo a permitir compatibilidade com planilhas eletrônica e softwares de análise matemática e estatística.

Foi realizada uma série de experimentos com finalidade de determinar o comportamento dinâmico do sistema completo. Adotou-se 10 níveis distintos do sinal de atuação, com incrementos e decrementos uniformes, compreendendo de 0 a 100% do sinal. Foram feitas três repetições para cada um dos níveis do sinal de atuação. Para a análise e processamento dos dados utilizou-se a planilha eletrônica Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Projeto Eletrônico do Módulo de Interface

O sistema projetado pode comandar três eletros-válvula para a liberação do fluxo de nutriente por meio das servo-válvulas de aplicação. Isto garante a total contenção do fluxo, caso ocorra alguma falha nas servo-válvulas. A Figura 2 ilustra o sistema de aplicação proposto para a aplicação de um nutriente.

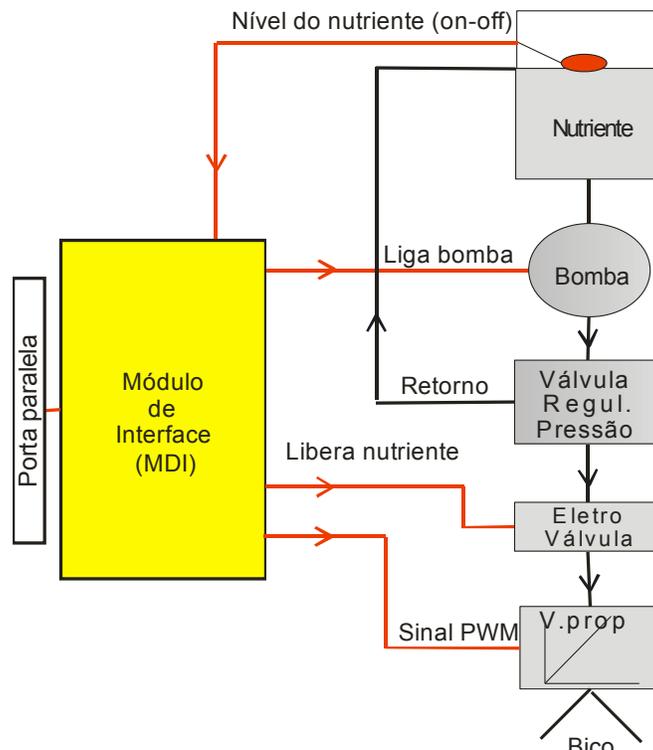


Figura 2 - Modelo do sistema de aplicação para um nutriente

Como se pode observar, além do controle das válvulas, das motobombas e das eletro-válvula de contenção de fluxo, o MDI também monitora os sensores de pressão e os sensores de "nível crítico". Caso algum destes sensores sinalize

condições impróprias para a operação, a falha será processada e enviada ao módulo de controle para que a operação seja interrompida. Este sistema deve conter ainda dois comandos do tipo botoeira, posicionados próximos aos pontos de

aplicação, e que têm como funções a calibração do sistema e, em caso de emergência, a interrupção total do equipamento. Além das funções de comunicação com o módulo de processamento, gerenciamento dos sensores e comando da parte hidráulica, o MDI tem como função o controle das válvulas proporcionais de aplicação para até três compostos distintos. Este controle é efetuado por três sinais independentes do tipo PWM, gerados pelo MDI.

O sinal de comando dos servo-motores das válvulas possui uma variação de 1 ms no tempo ligado do sinal PWM para que a abertura varie de 0 a 100%. Como a proposta de resolução de abertura é de 1%, a menor variação para o sinal de controle é de 10µs. Levando-se em consideração que a frequência de trabalho adotada para o microcontrolador é de 24MHz, e que, por razões construtivas, o mesmo necessita de 12 ciclos de máquina para executar uma instrução, ou seja, um tempo de 0,5µs por instrução, com um total de 20 instruções a cada interrupção interna de relógio. Este reduzido número de instruções realizadas entre cada interrupção, aliado ao fato de que o microprocessador deve controlar três servo-motores simultaneamente, além de controlar os periféricos e portas de entrada e saída de dados, levou a escolha de uma programação em linguagem de máquina (*assembly*).

Para que as limitações de tempo anteriormente descritas fossem respeitadas, adotou-se o procedimento de

sincronizar os sinais de controle para os três canais, assim, apesar dos sinais de comando serem independentes, o início e o final de cada ciclo são sincronizados e duram exatamente 13 ms. Desta forma, todas as tarefas a serem executadas pelo processador do Módulo de Interface foram distribuídas em um ciclo de controle dos servo-motores.

Após a análise dos sinais de comunicação, controle e do modo de operação do MDI, determinou-se a arquitetura de *hardware* capaz de executar todas as tarefas propostas. A Figura 3 ilustra o diagrama de blocos referente às principais funções dos circuitos eletrônicos que compõem o MDI. Nela pode-se observar que a Unidade Lógica de Processamento, o micro-controlador IC-8951, se comunica, de forma bidirecional, via Porta Paralela com o MDC, recebendo informações referentes aos ângulos de abertura das válvulas e enviando informações de falhas do sistema.

Devido à grande quantidade dos sinais de campo, e o limitado número de portas do micro-controlador, estes sinais são multiplexados no tempo, e em seguida enviados para processamento.

Os sinais PWM de controle de abertura das válvulas proporcionais, gerados pela Unidade Lógica de Processamento, são amplificados em corrente e protegidos contra curto-circuitos pelos amplificadores de saída.

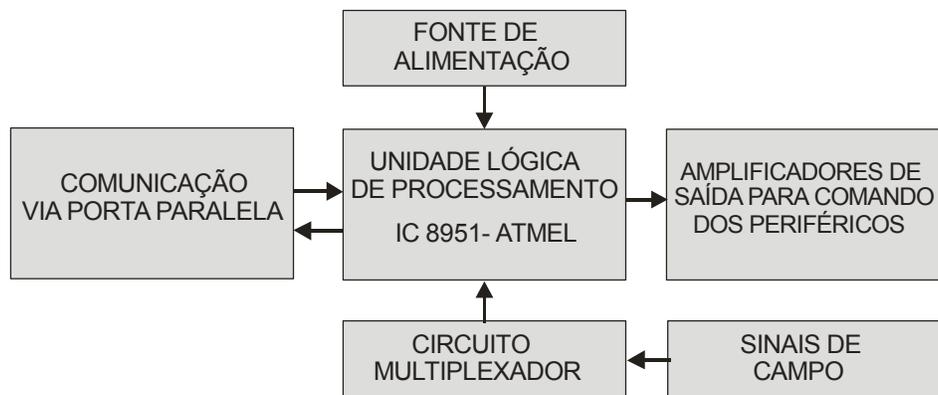


Figura 3 - Diagrama de blocos representativo do MDI

A Figura 4 ilustra o aspecto final da placa principal do MDI. Nela pode-se observar que todos os sinais de comando são protegidos por fusíveis de simples substituição. As conexões possuem robustez para suportar vibrações sem

causar interferências elétricas. A fonte de alimentação é capaz de receber tensões de entrada entre 10 e 30 Volts DC e manter os níveis de tensões de trabalho para os circuitos eletrônicos do MDI.



Figura 4 - Aspecto final da placa principal do Módulo de Interface

Sinais PWM gerados pelo MDI

O sistema se apresentou estável, a rotina de geração dos sinais de controle possui prioridade sobre as demais. Isto garante que, apesar da alta demanda por processamento, necessária para o controle e gerenciamento do MDI, os sinais PWM de saída são gerados sem interferências.

A Figura 5 representa dois sinais PWM gerados pelo MDI monitorados por um osciloscópio digital de duplo canal,

conectado diretamente aos pontos de saída para os sinais de controle do MDI. Nela pode-se observar, além da precisão dos sinais de controle gerados para os nutrientes N e P, o sincronismo de trabalho entre estes canais que, apesar de estarem ajustados para valores extremos, mantêm-se em sincronismo.

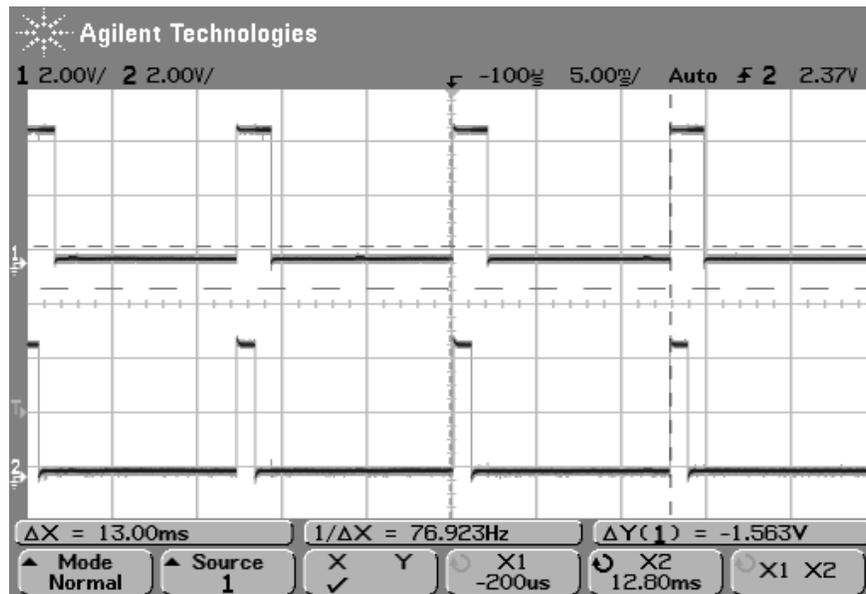


Figura 5 - Sinais PWM de saída para 0% e 50% de abertura

Após a avaliação do sinal PWM de comando gerado pelo MDI, iniciou-se a avaliação da resposta angular em função do valor percentual de abertura solicitado. A partir dos dados obtidos experimentalmente, foi possível a determinação da calibração estática do conjunto completo. Foram calculados os valores médios dos ângulos do servo-motor, considerando-se as três repetições, com incrementos e decrementos do sinal de atuação. Considerou-se como referência a posição angular de 0° e que um aumento da posição angular implica na rotação do servo-motor em sentido horário.

Observou-se que existe um comportamento linear da posição angular do servo-motor em função do sinal de atuação. A expressão que relaciona tal comportamento é dada através da equação 1, onde θ é a posição angular do servo-motor e S é o sinal de atuação expresso em %.

$$\theta = 1,136S - 0,736 \quad (1)$$

A Equação 1 é válida para sinais de atuação na faixa de 0 a 100%, com um coeficiente de correlação de 0,9999, denotando um comportamento linear.

Em testes preliminares, constatou-se que o comportamento da velocidade angular do servo-motor é semelhante nos dois sentidos, ou seja, rotação no sentido horário e anti-horário. Observou-se também a ausência do

fenômeno da histerese, fato justificado pela presença de um controlador eletrônico incorporado ao servo-motor que praticamente elimina os erros em regime permanente.

Na Figura 6, pode-se observar os resultados dos testes para identificação do comportamento dinâmico, onde são exibidos, simultaneamente, os resultados das posições angulares do servo-motor para os sinais de atuação de 10 a 100%, com incrementos de 10%.

Por meio da análise da Figura 6, nota-se que o servo-motor tem uma velocidade angular praticamente constante na mudança de uma posição angular para outra, fato que pode ser identificado pelo comportamento linear da posição angular em função do tempo. Nota-se também que a velocidade angular independe da amplitude da variação do incremento do sinal de atuação. A partir dos resultados experimentais, obteve-se a velocidade angular média no sentido horário de $5,23 \text{ rad.s}^{-1}$ e para o sentido anti-horário a velocidade angular média foi de $5,31 \text{ rad.s}^{-1}$. A máxima excursão angular obtida para o servo-motor foi de $1,97 \text{ rad.}$, para um sinal de atuação de 100%. A partir das velocidades angulares pode-se calcular o tempo necessário para se realizar uma excursão máxima, obtendo-se 0,38 segundos para o giro completo no sentido horário e 0,37 segundos para o giro completo no sentido anti-horário.

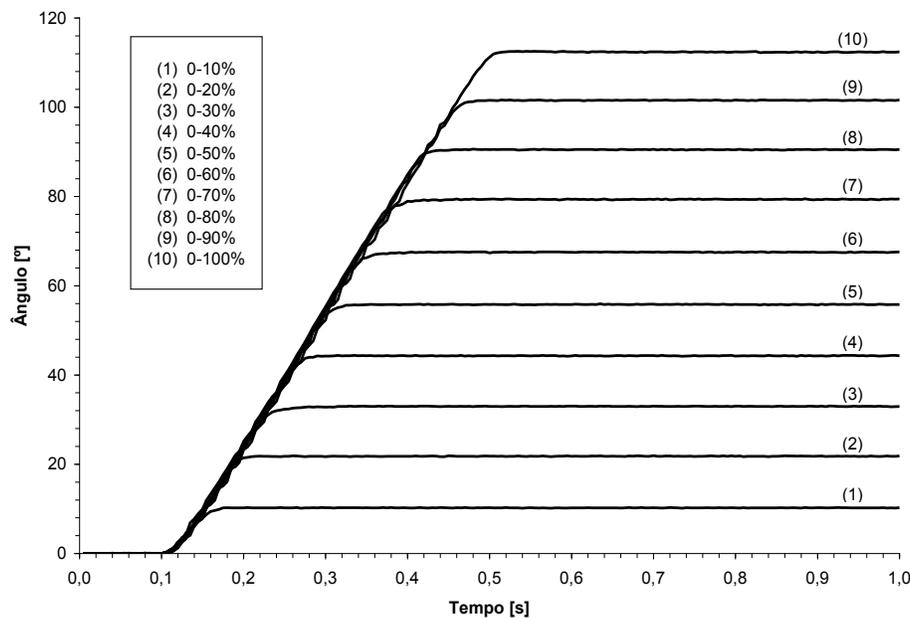


Figura 6 - Posição angular do servo-motor para os sinais de atuação de 10 a 100%, com incrementos de 10%

CONCLUSÕES

O do sistema eletrônico, denominado Módulo de Interface foi capaz de controlar simultaneamente e de forma autônoma, três sistemas hidráulicos para aplicação de insumos líquidos a taxa e formulação variáveis.

O comportamento dos sinais de acionamento das servoválvulas é estável e possibilita um controle preciso do ângulo de abertura das mesmas.

A comunicação bi-direcional, via porta paralela, entre o Módulo de Interface e o Módulo de Controle apresentou performance superior às necessidades do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GUPTA, R.K.; MOSTAGHIMI, S.; MCCLELLAN, P.W. Spatial variability and sampling strategies for NO₃-N, P and K determinations for site specific farming. **Transactions of the ASAE**, v.40, n.2, p.337-342, 1997.

JOHANN, André L. *et al.* Desenvolvimento e avaliação de uma servoválvula de baixo custo para a aplicação de insumos líquidos. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.142-150, 2006.

MALAVOLTA, E. Situação da adubação fluída no Brasil. Fertilizantes fluídos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUÍDOS, 343., 1993, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: Potafos, 1994, v.1, p.31-54.

OLIVA, R.A.G.; CAPPELLI, N.L.; UMEZU, C.K. Máquina para aplicação de fertilizantes sólidos a taxas variáveis – Adaptação de um modelo comercial convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola – SBEA, 2001. CD-ROM.

JOHANN, André L. *et al.* Desenvolvimento e avaliação de uma servoválvula de baixo custo para a aplicação de insumos líquidos. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.142-150, jan./abr., 2006.

WANG, M. Possible adoption of precision agriculture for developing countries at the threshold of the new millennium. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.30, n.1-3, p.45-50, 2001.

WEIRICH NETO, Pedro H. *et al.* Necessidade de fertilizante e calcário em área sob sistema plantio direto considerando variabilidade espacial. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.10, n.2, p.338-343, 2006.

ZHANG, N.; WANG, M.; WANG, N. Precision agriculture - a worldwide overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.36, n.2-3, p.113-132, 2002.