

AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE PULVERIZAÇÃO EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS¹

Denison Menezes²
Diego da Silva Martins³

Resumo

O agronegócio possui participação fundamental no cenário econômico brasileiro, com reflexos importantes sobre o produto interno bruto, as exportações e a geração de empregos. A viabilidade econômica do setor agropecuário, a partir da redução dos custos de produção, do aumento de produtividade e da redução do impacto ambiental causado pelo excesso de defensivos agrícolas, depende da agricultura de precisão. O principal objetivo da agricultura de precisão é maximizar a eficiência na utilização de insumos a partir da utilização em máquinas agrícolas de recursos eletrônicos (eletrônica embarcada) e de informática, como, por exemplo, sensores, atuadores, computadores de bordo, controladores de pulverização, controladores de adubação, mapeamento e aplicação via satélite. O presente trabalho tem como objetivo implementar um automatizador de pulverização de máquinas agrícolas totalmente nacional utilizando um FPGA (*Field Programmable Gate Array*). A partir do estudo de caso de um controlador de pulverização utilizado em pulverizadores autopropelidos fabricados por uma empresa brasileira, foi realizada a implementação das principais funções executadas por um controlador de pulverização, inserindo-as em um FPGA comercial, obtendo melhoria de desempenho, por meio da otimização de *hardware*.

Palavras-chave: agricultura de precisão; eletrônica embarcada; pulverizador; controlador de pulverização; microcontrolador; FPGA.

Abstract

Agrobusiness possesses critical participation in Brazilian economical scenery, with important reflexes on the gross domestic product, exportations and generation of employment opportunities. The economical viability of agricultural section, starting with the reduction of production costs, increased production and the reduction of ambient impact caused by excess of agricultural defensives, depends on the precision agriculture. The main objective of precision agriculture is to maximize the efficiency over the use of inputs starting from the usage of electronic resources on agricultural machines (embedded electronic) and computer science for instance, sensors, actuators, board computers, spraying and fertilization controllers, mapping and via satellite application. The present work's goal is to implement a totally national sprayer controller for agricultural machines, using a Field Programmable Gate Array (FPGA). In a case of study where a sprayer controller used in a self-propelled Sprayers produced by a brasilian company, was made the implementation of the main functions executed by a sprayer controller, inserting then in a FPGA, obtaining improvements in work though hardware optimization.

Keywords: Precision agriculture; embedded electronics; sprayer; sprayer controller; FPGA.

¹ Trabalho orientado pelo professor Ildeberto de Genova Bugatti do Curso de Ciência da Computação do UNIVEM.

² Aluno do Curso de Ciência da Computação do UNIVEM.

³ Aluno do Curso de Ciência da Computação do UNIVEM.

INTRODUÇÃO

Segundo Cruvinel (2000), o panorama mundial aponta claramente para um futuro em que a agricultura dependerá inevitavelmente da automação. A automação contribui de forma preponderante para gerar sustentabilidade no processo produtivo e também para fomentar o desenvolvimento econômico e social. A aplicação da automação é ampla e permite potencial de contribuição em várias áreas. Esse projeto propõe e implementa sistemas de automação e controle de pulverização em máquinas agrícolas, equipamento utilizado de forma generalizada e universal nas mais diversas culturas agrícolas.

O uso da automação e controle de pulverização ocorre a partir da utilização da eletrônica embarcada e viabiliza a aplicação localizada de insumos em quantidades variáveis e em tempos específicos, otimizando custos de produção e insumos, colaborando para que níveis de produtividade pré-estabelecidos para uma determinada cultura sejam obtidos.

Para atingir os objetivos gerais e específicos do projeto foi definido um estudo de caso de um sistema existente comercialmente, onde as atividades do projeto contribuíram para gerar sistemas de automação padrões, propondo o incremento de funções mais nobres e especializadas e integrando-as em uma FPGA (*Field Programmable Gate Array*). A utilização de FPGA pode contribuir também para integrar, em uma única pastilha, elementos periféricos e de interface, tais como: *latches*, multiplexadores, PWM (*Pulse Wave Modulation*), *watchdog*, entre outros.

Este documento está organizado da seguinte forma: na Seção 2, são apresentados os principais conceitos relativos à agricultura de precisão, os tipos de sensores e atuadores utilizados na instrumentação agrícola, além de considerações a respeito de pulverização, tipos de pulverizadores e controladores de pulverização. Na Seção 3, são discutidos os principais aspectos relacionados com a tecnologia FPGA, apresentando conceitos como estrutura interna, roteamento e reconfiguração. Na Seção 4, é apresentado o estudo de caso para o qual o sistema em tela foi desenvol-

vido. Na Seção 5, são discutidos os detalhes da implementação em FPGA das funções propostas no estudo de caso, além de ser apresentado testes práticos para validação do sistema. Por fim, na Seção 6, são apresentados os resultados obtidos e as sugestões para trabalhos futuros.

I. ELETRÔNICA EMBARCADA

De acordo com Saraiva (2006), a eletrônica embarcada na agricultura é representada pelo uso em máquinas agrícolas de sensores, atuadores, computadores de bordo, softwares e sistemas de informações geográficas via satélite (GPS). Seu objetivo é monitorar a operação das máquinas, realizar o controle automático e registrar dados para análise posterior. As vantagens do uso da eletrônica embarcada são melhoria da qualidade da produção, redução das perdas e desgastes, ajuda no planejamento do negócio e na proteção ao meio ambiente.

I.1. Tipos de Pulverizadores Utilizados nas Principais Culturas Agrícolas Brasileiras

De acordo com Santos e Santos Filho (2001), os pulverizadores utilizados nas principais culturas agrícolas brasileiras podem ser divididos em três categorias: pulverizadores autopropelidos, pulverizadores tratorizados e pulverizadores turbo atomizadores.

Os principais fabricantes nacionais de pulverizadores são Máquinas Agrícolas Jacto, com sede em Pompéia (SP) e Pulverizadores Montana, com sede em São José dos Pinhais (PR).

Os principais fabricantes internacionais de pulverizadores são Case (EUA), John Deere (EUA) e Hardi (Dinamarca).

Segue adiante uma breve descrição de tipos de pulverizadores em cada uma das três categorias.

I.1.1. Pulverizadores Autopropelidos

Lobo Júnior (2004) caracterizou os pulverizadores autopropelidos como má-

quinas muito rápidas, de alto desempenho, conseguindo desenvolver velocidades operacionais entre 15 e 30 km/h durante a aplicação de agroquímicos. Em situações extremamente favoráveis, é possível com esses equipamentos conseguir alcançar velocidades operacionais próximas dos 40 km/h.

A cabine deve ser hermeticamente fechada, impedindo qualquer possibilidade de contaminação do operador por agroquímicos. Visibilidade, espaço, conforto e facilidade no controle dos sistemas eletrônicos são as palavras-chave para esses equipamentos.

As barras de pulverização podem ser instaladas na parte traseira ou na parte frontal dos pulverizadores autopropelidos. As barras de pulverização possuem total acionamento hidráulico e medem de 15 a 48 metros de comprimento.

Figura 1: Pulverizador autopropelido CASE



Fonte: Empresa "CASE IH" - Cantagem/MG

Figura 2: Pulverizador autopropelido JACTO



Fonte: Empresa "JACTO"- Marília/SP

1.1.2. Pulverizadores Tratorizados

Segundo Santos e Santos Filho (2001), pulverizadores tratorizados são montados nos três pontos ou na barra de tração (neste caso também são conhecidos como pulverizadores tipo carreta) e são acionados pela tomada de potência do trator. São utilizados em áreas com cultivo de grãos e cana-de-açúcar e desenvolvem velocidade menor que os autopropelidos. Têm como componentes básicos depósitos com agitadores, bomba, filtros, reguladores de pressão e bicos.

Figura 3: Pulverizador tipo carreta JACTO



Fonte: Empresa "JACTO"- Marília/SP

1.1.3. Pulverizadores Turbo Atomizadores

De acordo com Lobo Júnior (2005), pulverizadores turbo atomizadores apresentam o sistema de assistência de ar, que é um ventilador de grande vazão, do tipo axial, que, com o auxílio de defletores, expele o ar na forma de um leque perpendicular à direção de caminhamento da máquina, que geralmente é tracionada por um trator. São utilizados em áreas de fruticultura.

1.2. Tipos de Sensores Utilizados na Instrumentação Agrícola

Um sensor é um dispositivo que detecta um sinal, condição física ou produto químico. Geralmente é composto de um

transdutor (dispositivo que converte um tipo de energia em outra) e uma parte que converte a energia resultante em um sinal elétrico.

Figura 4: Pulverizador atomizador JACTO



Fonte: Empresa "JACTO" - Marília/SP

Os tipos clássicos de sensores utilizados na instrumentação agrícola são os ultrassônicos, indutivos, capacitivos e fotoelétricos.

1.3. Tipos de Atuadores Utilizados na Instrumentação Agrícola

Atuador é um elemento que produz ações, atendendo a comandos que podem ser manuais ou automáticos. Existe uma infinidade de elementos atuadores. Dentre os mais utilizados na automação de instrumentos agrícolas estão: atuadores de movimento induzido por cilindros pneumáticos ou cilindros hidráulicos; motores hidráulicos e elétricos e dispositivos rotativos com acionamento de diversas naturezas. Na automação da atividade de pulverização, os atuadores clássicos são os reguladores de pressão de pulverização, geralmente baseados na utilização de motores elétricos.

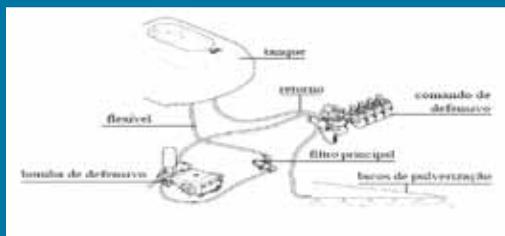
1.4. Tipos de Controladores Eletrônicos de Pulverização

Os controladores eletrônicos de pulverização utilizados na agricultura geralmente atuam no comando de pulverização (também conhecido como comando de defensivo) e/ou bomba de pulverização. O comando de pulverização permite a regulação da pressão do circuito de pulveriza-

ção, bem como a distribuição do líquido nos segmentos da barra de pulverização. A bomba de pulverização gera o fluxo de líquido para o comando a partir do tanque. O tanque tem a função de armazenar, proteger e transportar o líquido a ser pulverizado.

A Figura 5 mostra os elementos básicos de um circuito de pulverização.

Figura 5: Exemplo de circuito de pulverização



2. TECNOLOGIA FPGA

Seguem adiante alguns tópicos sobre a tecnologia FPGA, que foi empregada no estudo de caso proposto. Será apresentada uma breve descrição dos principais conceitos, técnicas e estrutura interna de um FPGA.

2.1. Estrutura Interna de um FPGA

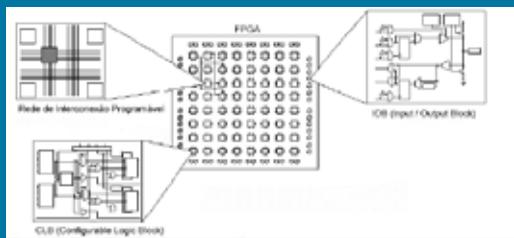
Os FPGAs são circuitos programáveis formados por conjuntos de células lógicas em arranjo matricial. Cada célula contém capacidade computacional para implementar funções lógicas e realizar roteamento para comunicação entre elas. O roteamento e as funções lógicas das células são configuráveis via software.

De acordo com Martins (2003), a estrutura básica de um FPGA (Figura 6) é composta pelos seguintes elementos:

- CLB (*Configurable Logic Block*): unidade lógica configurável;
- IOB (*In/Out Block*): unidade de entrada e saída;
- SB (*Switch Box*): unidade de conexão entre os diversos CLBs;
- Canais de roteamento: interligam as unidades de conexão para formar a rede

de interconexão programável.

Figura 6: Elementos básicos de um FPGA



Os FPGAs podem ser organizadas internamente por meio das seguintes configurações:

a) Matriz simétrica: possui canais de roteamento verticais e horizontais com grande flexibilidade;

b) PLD hierárquico: matriz de blocos lógicos interligados e que podem ser agrupados entre si;

c) *Row-based*: blocos lógicos em disposição horizontal com área dedicada para o roteamento;

d) *Sea of gates*: blocos lógicos de complexidade pequena dispostos em grande número por unidade de área. Não há área dedicada para o roteamento.

3. ESTUDO DE CASO

O projeto em tela propôs e gerou a implementação de sistemas de automação e controle de pulverização com tecnologia nacional. Para tanto, foi definida, como estudo de caso, a automatização do pulverizador Autopropelido JACTO mostrado na Figura 2. O pulverizador em questão é fabricado pela empresa Máquinas Agrícolas Jacto S/A. A empresa JACTO é totalmente nacional e está situada na cidade de Pompéia (SP).

O pulverizador autopropelido JACTO utiliza atualmente o controlador eletrônico de pulverização JMC1000/4, mostrado na Figura 7. O controlador JMC1000/4 utiliza microcontroladores para processar suas funções. Esse projeto, nessa fase de desenvolvimento, substituiu várias das funções realizadas pelos microcontroladores substituindo-as e implementando-as em FPGAs. A descrição das principais funções

implementadas estão descritas na subseção 4.1.

Figura 7: Controlador JACTO JMC1000/4



3.1. Descrição e definição das funções implementadas

O controlador de pulverização JMC1000/4 tem como função básica manter a dose de defensivo em litros por hectare (L/ha) desejada pelo usuário, independente das variações de velocidade do pulverizador.

Para manter a dose de defensivos homogênea, o controlador realiza a leitura dos pulsos dos sensores de roda e vazão para calcular, respectivamente, a velocidade de deslocamento do pulverizador e a vazão de líquido nas barras de pulverização. O controlador faz também a leitura de um sensor de nível mínimo de líquido no tanque de pulverização. Essas funções, por estarem relacionadas com o desempenho do sistema de pulverização, são consideradas funções nobres e, por isso, foram escolhidas para serem sintetizadas, projetadas e implementadas em um FPGA.

A equação básica para conseguir a homogeneidade da dose de defensivos aplicados é:

$$\text{Dose(L/ha)} = (\text{Vazão(l/min)} * 600) / (\text{Velocidade(km/h)} * \text{Comprimento da barra(m)})$$

O controlador faz a leitura de pulsos de dois sensores indutivos acoplados nas rodas do pulverizador para calcular a velocidade de deslocamento em quilômetros por hora (*km/h*). A vazão em litros por minuto (*l/min*) é calculada a partir da leitura

de pulsos de um sensor indutivo localizado no medidor de vazão, que está localizado no comando de pulverização. O comprimento da barra de pulverização em metros (m) é digitado pelo usuário via teclado. A dose desejada em *l/ha* é digitada pelo usuário via teclado.

O controlador calcula, então, a dose real em *l/ha*, a partir da equação mostrada, e compara com o valor desejado. Se diferente, o controlador atua no regulador de pressão do comando de pulverização aumentando ou diminuindo a pressão e, conseqüentemente, a vazão nas barras de pulverização, para manter sempre a dose pelo usuário em *l/ha* desejada. Isso garante economia de produto, cobertura eficiente da lavoura e riscos mínimos de contaminação ambiental.

Para permitir a navegação entre os menus mostrados no *display* e a digitação de valores, o controlador realiza a leitura das chaves que formam o teclado momentâneo. Para saber o estado das chaves que ligam e desligam os segmentos da barra de pulverização, o controlador realiza a leitura do teclado de segmentos. Além disso, existe uma função de gerenciamento do controlador (*watchdog*), que permite a recuperação do mesmo em caso de falha do microcontrolador mestre, evitando sua entrada em estado de *deadlock*, para não prejudicar a operação de pulverização. Essas funções são chamadas periféricas, pois não estão diretamente relacionadas com o desempenho do sistema de pulverização, mas são consideradas importantes do ponto de vista operacional e, por esse motivo, também foram escolhidas para serem sintetizadas, projetadas e implementadas em um FPGA.

4. IMPLEMENTAÇÃO DAS FUNÇÕES EM FPGA

Conforme definido no estudo de caso, as funções que foram implementadas no FPGA seguem relacionadas e são classificadas como funções nobres e funções periféricas.

4.1. Funções Periféricas

As funções classificadas como periféricas estão relacionadas tanto com as interfaces de entrada e saída de dados, comunicação homem/máquina, quanto com o monitoramento do funcionamento adequado do sistema de automatização implementado. As principais funções periféricas são:

a) *Watchdog* do microcontrolador: função que tem por objetivo monitorar o funcionamento do microcontrolador, atuando em seu pino de *reset*, caso ocorra, por motivo de ruído ou interferência, uma entrada em estado de *deadlock* (impasse);

b) Leitura do teclado momentâneo e do teclado de segmentos da barra de pulverização: função que tem por objetivo realizar a leitura dos sinais das chaves que formam o teclado momentâneo e o teclado de segmentos, fornecendo os valores para o microcontrolador.

4.2. Funções Nobres

As funções classificadas como nobres estão relacionadas com a função principal do automatizador que é manter homogênea a dose de insumos aplicados na cultura. As principais funções nobres são:

a) **Captura dos pulsos dos sensores de roda:** função que tem como objetivo fazer a leitura dos períodos dos pulsos dos sensores de roda, entregando os valores ao microcontrolador para cálculo da velocidade de deslocamento da máquina. São utilizados dois sensores indutivos para geração dos pulsos.

b) **Captura dos pulsos do sensor de vazão:** função que tem por objetivo fazer a leitura do período dos pulsos do sensor de vazão, entregando o valor ao microcontrolador para cálculo da vazão de líquido na barra de pulverização. É utilizado um sensor indutivo para a geração dos pulsos.

c) **Captura do pulso do sensor de nível mínimo do tanque de pulverização:** função que tem por objetivo fazer a leitura do pulso do sensor de nível mínimo, entregando o valor ao microcontrolador para geração de sinal de alerta ao operador da máquina. É utilizado um sensor indutivo para a geração do pulso.

A seguir são apresentados os deta-

lhes da seqüência de trabalho apresentada.

4.3. Definição do FPGA utilizado

Levando-se em conta a disponibilidade de material, foi escolhido o FPGA XC4010XLPC84 integrante da família XC4000XL do fabricante Xilinx, para a implementação do circuito completo. Trata-se de um FPGA com encapsulamento PLCC (*Plastic Lead Chip Carrier*) de 84 pinos, sendo 61 deles disponíveis para entrada e saída.

Para auxiliar o teste funcional de validação, foi utilizada a placa de desenvolvimento XS40, versão 1.2 do fabricante Xess Corporation. A placa contém, basicamente, uma FPGA XC4010XLPC84, funcionando a 3.3 V, um microcontrolador 80C31, uma memória RAM estática de 32 Kbytes, um oscilador de 12 MHz, um *display* de 7 segmentos e um conector VGA para leitura de sinais de vídeo. A programação do FPGA é feita via PC por meio da porta paralela. A

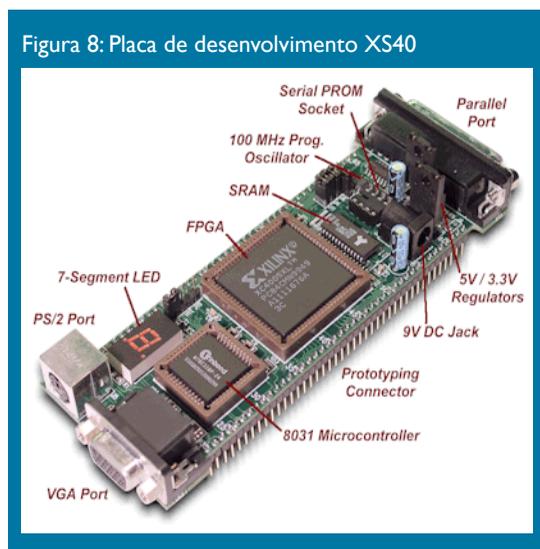


figura 8 mostra a placa XS40 utilizada.

4.4. Composição do Circuito Geral

De maneira global, a composição do circuito geral para o estudo de caso é formada pelos seguintes blocos: a) Blocos de captura do período dos sinais dos sensores

de roda 1 e 2; b) Bloco de captura do período do sinal do sensor de vazão; c) Bloco de leitura dos sinais das chaves momentâneas e das chaves dos segmentos da barra de pulverização; d) Bloco de leitura do sinal do sensor de nível mínimo do tanque de pulverização; e) Bloco de tratamento do *watchdog* do microcontrolador; f) Bloco de seleção da informação a ser lida pelo microcontrolador. O diagrama de blocos do sistema implementado segue na Figura 9.

Todos os blocos presentes na Figura 9 foram sintetizados, implementados e simulados utilizando a ferramenta de desenvolvimento Project Manager do ambiente Xilinx Foundation F3.1i. A validação e integração das funções implementadas na FPGA com o microcontrolador existente foram realizadas por meio de testes nos laboratórios da empresa JACTO. As subseções 4.4.1 a 4.4.7 descrevem as implementações de todos os blocos do sistema na FPGA escolhida.

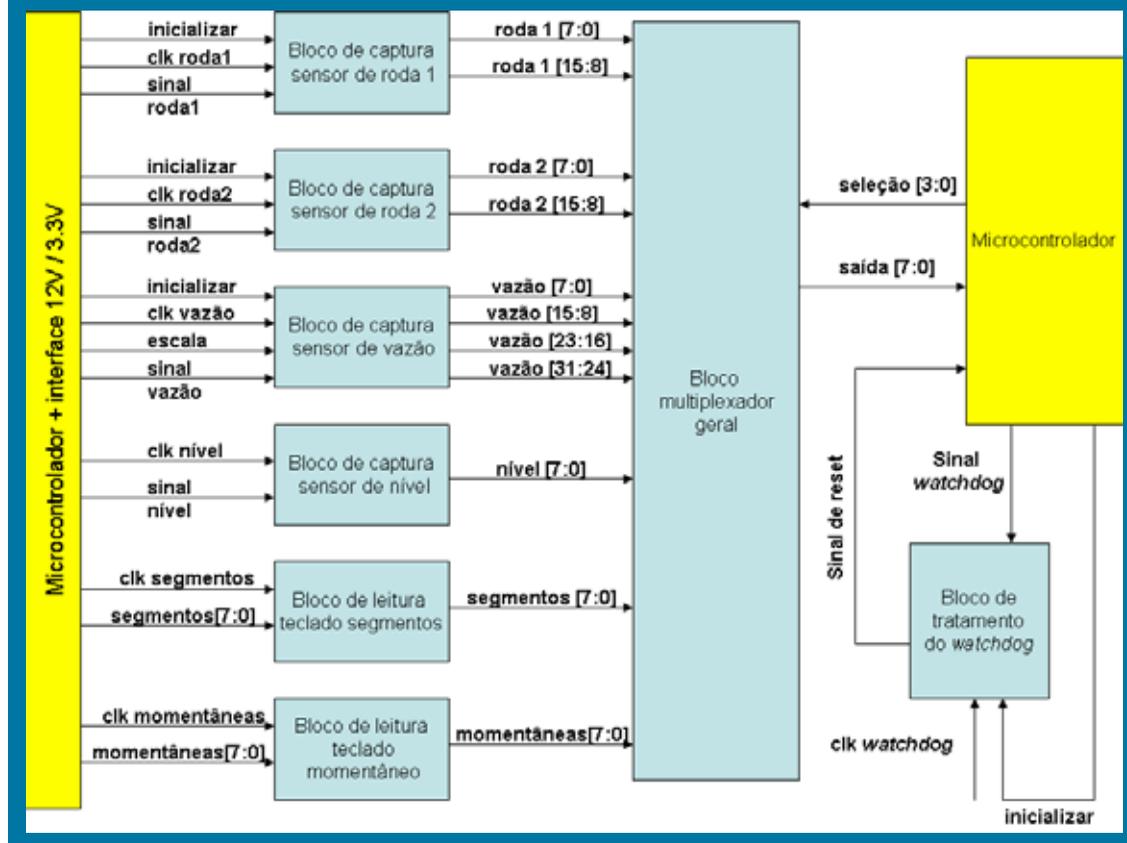
4.4.1. Bloco de Captura do Período do Sinal do Sensor de Vazão

O bloco de captura do período do sinal do sensor de vazão tem por função fazer a leitura do período dos pulsos do sensor de vazão, entregando o valor ao microcontrolador para cálculo da vazão de líquido na barra de pulverização.

O dimensionamento dos registradores e contadores necessários ao circuito de captura do sinal do sensor de vazão foi efetuado considerando os piores e melhores casos tanto na faixa de frequência dos sensores quanto na faixa de vazão de insumos. A faixa de frequência mínima para os pulsos do sensor de vazão é de 5 Hz e a máxima de 1,5 kHz, variando de acordo com a vazão desejada na barra de pulverização.

Como no pior caso o resultado da leitura do período utiliza 3 bytes para armazenamento, foi projetado um contador de 24 bits para atender a toda faixa de frequência. De acordo com a Figura 9, o bloco de captura recebe em sua entrada os sinais de inicialização, *clock* de varredura, pulsos do sensor de vazão e escala, dispo-

Figura 9: Diagrama de blocos do sistema



nibilizando na saída o resultado da leitura do período.

4.4.2. Blocos de Captura dos Períodos dos Sinais dos Sensores de Roda

Os blocos de captura dos períodos dos sinais dos dois sensores de roda têm por função fazer a leitura dos períodos dos pulsos dos sensores de roda, entregando os valores ao microcontrolador para cálculo da velocidade de deslocamento da máquina.

De acordo com a Figura 9, cada bloco de captura recebe em sua entrada os sinais de inicialização, *clock* de varredura e pulsos do sensor de roda correspondente e disponibiliza na saída o resultado da leitura do período.

Os blocos de captura do período dos sinais dos sensores de roda possuem funcionamento idêntico. Em cada bloco existe um contador de 2 *bits* que recebe como

clock os pulsos do sensor de roda correspondente. Um contador de 16 *bits* com *clock* de 1 kHz gerado pelo microcontrolador faz a contagem do período até que sejam adquiridos 4 pulsos do sensor de roda.

4.4.3. Blocos de Leitura das Chaves Momentâneas e Chaves dos Segmentos de Barra

Os blocos de leitura dos sinais das chaves têm por função realizar a leitura dos sinais das chaves que formam o teclado momentâneo e o de segmentos da barra de pulverização, entregando os valores para o microcontrolador.

Cada bloco de leitura dos sinais das chaves é constituído por um registrador de 8 bits com entrada paralela e saída paralela com *clock* de 1 MHz obtido pelo divisor de *clock*, a partir do *clock* de 8 MHz gerado pelo microcontrolador.

O circuito transfere os sinais prove-

nientes dos teclados, momentâneo e de segmentos, para as saídas dos registradores.

4.4.4. Bloco de Captura do Sensor de Nível Mínimo do Tanque de Pulverização

O bloco de captura do pulso do sensor de nível mínimo do tanque de pulverização tem por função fazer a leitura do pulso do sensor de nível mínimo, entregando o valor ao microcontrolador para geração de sinal de alerta ao operador da máquina.

O bloco de captura recebe em sua entrada o pulso do sensor de nível e *clock*, disponibilizando na saída o resultado da leitura.

O bloco de leitura do sinal do sensor de nível mínimo do tanque de pulverização consiste, basicamente, num *flip-flop* tipo D com *clock* obtido internamente no FPGA, a partir da divisão de frequência de um sinal de *clock* externo de 8 MHz gerado pelo microcontrolador. O *flip-flop* transfere o sinal do sensor de nível para a saída.

4.4.5. Bloco de Tratamento do Watchdog do Microcontrolador

O bloco de tratamento do *watchdog* do microcontrolador tem por função monitorar o funcionamento do microcontrolador, atuando em seu pino de *reset*, caso ocorra, por motivo de ruído ou interferência, uma entrada em estado de *deadlock*.

O bloco de *watchdog* recebe em sua entrada os sinais de inicialização, onda *watchdog* e *clock*, disponibilizando na saída o sinal para atuar no pino de *reset* do microcontrolador. Quando o microcontrolador deixar de gerar a onda *watchdog*, o circuito detecta a ausência da onda e gera um sinal de *reset*.

4.4.6. Bloco Multiplexador Geral

O bloco multiplexador geral tem por função receber os dados fornecidos pelos blocos de captura dos sensores e de leitura do teclado, disponibilizando via barramen-

to de 8 *bits*, o dado escolhido pelo microcontrolador por meio dos sinais de seleção da informação.

O bloco multiplexador geral recebe em suas entradas: 16 *bits* resultantes do bloco de captura dos pulsos do sensor de roda 1; 16 *bits* resultantes do bloco de captura dos pulsos do sensor de roda 2; 32 *bits* resultantes do bloco de captura dos pulsos do sensor de vazão; 16 *bits* resultantes dos blocos de leitura de teclado e 8 *bits* resultantes do bloco de captura do sensor de nível. A saída do bloco multiplexador geral é um barramento de 8 *bits* que fornece a informação desejada ao microcontrolador.

O bloco multiplexador geral é constituído por quatro estágios de multiplexadores, cujo diagrama lógico pode ser visualizado na Figura 10.

4.4.7. Integração dos Circuitos

A integração dos circuitos foi realizada a partir da criação de macros que permitiram o encapsulamento dos circuitos lógicos dos blocos individuais. A Figura 10 mostra a estrutura final do circuito implementado.

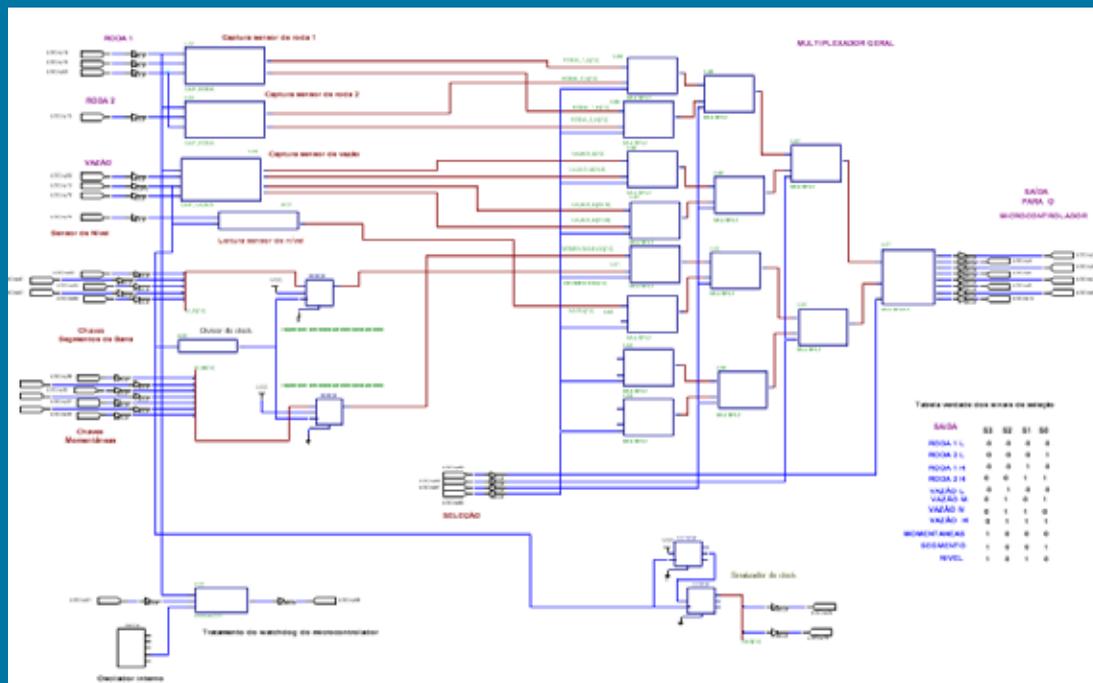
Foi acrescentado ainda um bloco chamado “sinalizador de *clock*” para auxiliar durante os testes de bancada. O bloco sinaliza visualmente que o FPGA está recebendo o sinal de *clock* do microcontrolador.

Foram escolhidos também os pinos do FPGA mais adequados para interfaceamento com os sinais dos sensores, do teclado e para comunicação com o microcontrolador.

5. INTEGRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS CIRCUITOS IMPLEMENTADOS

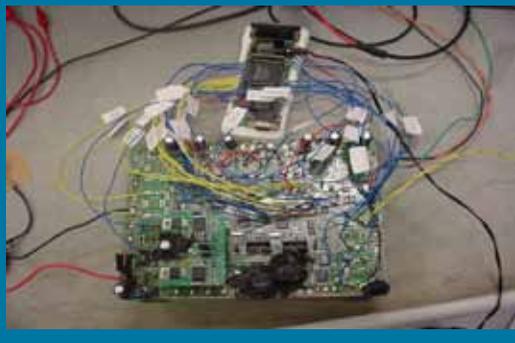
Após a validação de cada bloco, por meio de simulações e testes de bancada, os blocos foram integrados em um único FPGA na forma apresentada na Figura 10. A validação das funções ou blocos contidos no FPGA foi realizada em testes de bancada, apresentando o interfaceamento do FPGA com o controlador JMC1000/4. A co-

Figura 10: Diagrama lógico do circuito geral



municação entre os dois sistemas ocorreu com sucesso, possibilitando simulação e testes de todas as funções implementadas no FPGA, liberando os microcontroladores existentes no controlador original. A Figura 11 apresenta foto de bancada que mostra a interligação entre as placas de circuito impresso do controlador JMC1000/4 e a placa de desenvolvimento XS40.

Figura 11: Interligação entre as placas de circuito impresso



O software original do controlador foi alterado para desabilitar as rotinas residentes para captura de pulsos dos sensores e leitura de teclado. Foram acrescentadas rotinas para realizar a comunicação

com o FPGA e obter os dados desejados, tais como: período dos sinais dos sensores de roda e vazão; *status* do sensor de nível e estado das chaves do teclado momentâneo e de segmentos. As demais funcionalidades de interfaceamento com o usuário foram mantidas para auxiliar os testes e a visualização de valores no *display* do controlador, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 Display do controlador JMC1000/4



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido mostra ser possível a integração de elementos de ele-

trônica embarcada utilizados em controladores de pulverizadores em um FPGA, além de proporcionar, dentro do estudo de caso proposto, a universalização de funções, uma vez que foi projetado um *chip* universal para ser utilizado em outros projetos de controladores de pulverização, minimizando o número de componentes de *hardware*. A melhoria no desempenho também ocorre, uma vez que a captura de pulsos dos sensores realizada pelo FPGA acontece em tempo real e o controlador JMC1000/4 faz uma captura via interrupções. Considerando, ainda, que os controladores também utilizados nos pulverizadores nacionais não são desenvolvidos em nosso país, esse trabalho viabiliza o projeto e reprodução de um controlador desenvolvido totalmente no Brasil.

Para tanto, será necessário estudar novas famílias de FPGAs; projetar placa de circuito impresso utilizando o *chip* universal desenvolvido; e integrar o *core* completo do microcontrolador dentro do FPGA, levando a um projeto de microcontrolador nacional para uso específico em automação de pulverizadores agrícolas.

REFERÊNCIAS

- ATUADOR. In: **Wikipédia**: A Enciclopédia Livre. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Atuador>>. Acesso em: 20 mai. 2007.
- BALASTREIRE, LUIZ ANTONIO. **O estado da arte da Agricultura de Precisão no Brasil**. ed. Piracicaba, SP : L.A. Balastreire, 2000. 224 p.
- CRUVINEL, Paulo E. **Instrumentação agropecuária no agronegócio brasileiro do século XXI**: Parte 1. Disponível em: <http://www.embrapa.br/noticias/artigos/2000/artigo.2004-12-07.2432500046/mostra_artigo>. Acesso em: 09 jun. 2007.
- GERICOTA, Manuel Gradim de Oliveira. **Metodologias de Teste para FPGAs (Field Programmable Gate Arrays) Integradas em Sistemas Reconfiguráveis**. 2003. Dissertação (Doutorado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2003.
- HONEYWELL. **Ultrasonic Distance Sensors**. Catalogue E90. Issue, December 1999. 51p. Catálogo.
- HURN, JEFF. **GPS: Um Guia para a Próxima Utilidade**. Ed. E.U.A. : Trimble, 1999. 76 p.
- INSTITUTO FNP. **Agrianual 2006**: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo, SP, p.149-434, out. 2005.
- LOBO JÚNIOR, Manoel Ibrain. **Aplicação Terrestre com Pulverizadores Auto-propelidos**. Disponível em: <<http://www.pulverizador.com.br/aplic-terrestre-01.htm>>. Acesso em: 15 mai. 2007.
- LOBO JÚNIOR, Manoel Ibrain. **Pulverizador Tratorizado com Barras e Bicos Hidráulicos**. Disponível em: <<http://www.pulverizador.com.br/aplic-terrestre-02.htm>>. Acesso em: 15 mai. 2007.
- LOBO JÚNIOR, Manoel Ibrain. **Pulverizador Turbo Atomizador**. Disponível em: <<http://www.pulverizador.com.br/aplic-terrestre-03.htm>>. Acesso em: 15 mai. 2007.
- [JACTO 01] MÁQUINAS AGRÍCOLAS JACTO S/A. **Manual Técnico sobre Orientação de Pulverização**. Pompéia : s.n., 2000. 32 p.
- [JACTO02] MÁQUINAS AGRÍCOLAS JACTO S/A. **Manual de Instruções**: JSC 4000 controlador eletrônico de pulverização. Pompéia : s.n., 1998. 27 p.
- MARTINS, C. A. P. S., et al. **Computação Reconfigurável**: conceitos, tendências e aplicações. In: *Ciência, Tecnologia e Inovação: Atalhos para o Futuro*: anais. Campinas, 2003, v. 2, p. 339-388.
- MICROCONTROLADOR. In: **Wikipédia**: A Enciclopédia Livre. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>>. Acesso em: 01 jun. 2007.
- ORDONEZ, Edward David Moreno et

al. **Projeto, Desempenho e Aplicação de Sistemas Digitais em Circuitos Programáveis (FPGAs)**. 1. ed. atual. Pompéia, SP: Bless, 2003. 300p.

PEROSA, Gleyson Cortez. **A Eletrônica na Agricultura**. 2000. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade de Marília, Marília, SP, 2000.

[RECONF] **Reconfigurable Computing Definition**. Disponível em: <http://www.acm.uiuc.edu/sigarch/projects/reconf/report_1.html>. Acesso em 02 jun. 2007.

SANTOS, João Eduardo Granetti Garcia dos; SANTOS FILHO, Abílio Garcia dos. **Apostila de Máquinas Agrícolas**. Universidade Estadual Paulista, Campus Universitário de Bauru, Faculdade de Engenharia, Bauru, SP, 2001, p. 81-82.

SARAIVA, Antônio Mauro. **Eletrônica Embarcada e ISOBUS**. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2006, São Pedro, SP, p.4-5.

SENSE. **Sensores e Instrumentos**: Catálogo Geral'99. s.l., 1999. 230 p. Catálogo.

SENSOR. In: **Wikipédia**: A Enciclopédia Livre. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Sensor>>. Acesso em: 20 mai. 2007.

SILVA, Daniella Dias Cavalcante da. **Desenvolvimento de um IP Core de Pré-Processamento Digital de Sinais de Voz para Aplicação em Sistemas Embutidos**. 2006. Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PE, 2006.