

AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE PULVERIZAÇÃO EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Bugatti, I., G.; Menezes, D.; Martins, D., S.; Marconato, E., S..
denison@univem.edu.br, dsmartins06@hotmail.com, bugatti@univem.edu.br;

Centro Universitário Eurípides de Marília (UNIVEM) – Marília, SP – Brasil

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 de um 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 através da otimização de *hardware*.

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

1. 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 tanto para gerar sustentabilidade no processo produtivo quanto para fomentar o desenvolvimento econômico e social. A aplicação da automação é ampla e existe 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 desenvolvido. Na Seção 5 são discutidos os detalhes da implementação em FPGA das funções propostas no estudo de caso, além de serem apresentados testes práticos

para validação do sistema. Por fim, na Seção 6 são apresentados os resultados obtidos e sugestões para trabalhos futuros.

2. 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 proteção ao meio ambiente.

Segundo Balastreire (2000), a introdução da eletrônica embarcada na agricultura brasileira ocorreu de forma gradativa. No período entre 1970 e 1980, a agricultura não contava com os benefícios eletrônicos, mesmo porque a eletrônica na época era pouco difundida no Brasil. Praticamente toda forma de manuseio com a terra e suas culturas eram feitas mecanicamente e de forma semiartesanal, com máquinas que ofereciam poucos recursos e alto custo para os usuários.

A partir de 1980, surgiram as primeiras máquinas com alguma tecnologia e recursos, mas que ainda apresentavam um custo elevado. Havia ainda o paradigma de que uma máquina eletrônica não iria suportar as condições do campo, além da confiabilidade e precisão do sistema eletrônico serem duvidosas. Mas no decorrer da década o paradigma foi sendo quebrado com melhorias elétricas e mecânicas em relação aos primeiros protótipos de máquinas com módulos eletrônicos.

A partir de 1990, houve a explosão do uso da eletrônica na agricultura, com a implantação de sistemas suportando tecnologias cada vez mais confiáveis, com recursos prontos e de fácil utilização, além de apresentar resistência às intempéries e alta precisão. As máquinas sofreram uma considerável queda nos custos, tornando-as acessíveis a pequenos e médios produtores.

2.1. Conceitos sobre Pulverização

Pulverizar é reduzir um corpo em pequenos fragmentos, borrifar em gotas [JACTO01].

Pulverizador é todo equipamento capaz de produzir gotas, em função de uma determinada pressão exercida sobre a calda (produto químico mais água) [JACTO01].

O sucesso de uma boa pulverização depende de um bom pulverizador, bom produto químico, operador treinado, boa qualidade de água, pH ideal e condições de tempo favoráveis.

Os parâmetros ambientais (vento, umidade relativa do ar, temperatura, etc.), a máquina utilizada (tipo, regulagem, deslocamento) e a superfície a ser tratada (folha, caule, sementes, solo) são os principais elementos que determinam, em cada caso, um comportamento ideal do defensivo em sua trajetória até o alvo.

Uma boa pulverização requer uma tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas e a colocação de um produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade adequada, de forma econômica e com riscos mínimos de contaminação ambiental. Um critério que conduz a resultados satisfatórios é o de começarmos por determinar na planta, onde a praga e a doença se localizam. A partir desta informação, vamos regredindo, chegando até ao órgão de aplicação do defensivo (bicos de pulverização) e finalmente a máquina (pulverizador) e suas regulagens.

2.2. Tipos de Pulverizadores Utilizados nas Principais Culturas Agrícolas

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.

2.2.1. Pulverizadores Autopropelidos

Lobo Júnior (2004) caracterizou os pulverizadores autopropelidos como máquinas 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 estes 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 estes 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 entre 15 até 48 metros de comprimento.

A Figura 1 mostra um modelo de pulverizador autopropelido fabricado pela empresa CASE. A Figura 2 mostra o pulverizador autopropelido fabricado pela empresa JACTO.



Figura 1 – Pulverizador autopropelido CASE



Figura 2 – Pulverizador autopropelido JACTO

2.2.2. 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.

A Figura 3 mostra um modelo de pulverizador tratorizado fabricado pela empresa JACTO.



Figura 3 – Pulverizador tipo carreta JACTO

2.2.3. Pulverizadores Turbo Atomizadores

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

Esses pulverizadores são utilizados em áreas de fruticultura. A Figura 4 mostra um modelo de pulverizador atomizador também fabricado pela empresa JACTO.



Figura 4 – Pulverizador atomizador JACTO

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

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

2.2.5. 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.

2.2.6. Tipos de Controladores Eletrônicos de Pulverização

Os controladores eletrônicos de pulverização utilizados na agricultura geralmente atuam sobre o 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 pulverização 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.

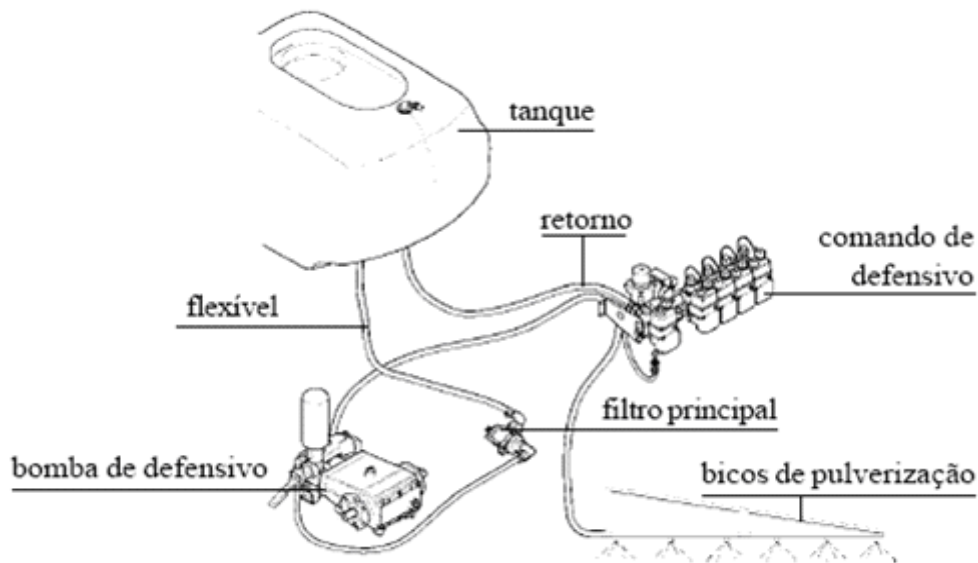


Figura 5 – Exemplo de circuito de pulverização

3. 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.

3.1. 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:

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

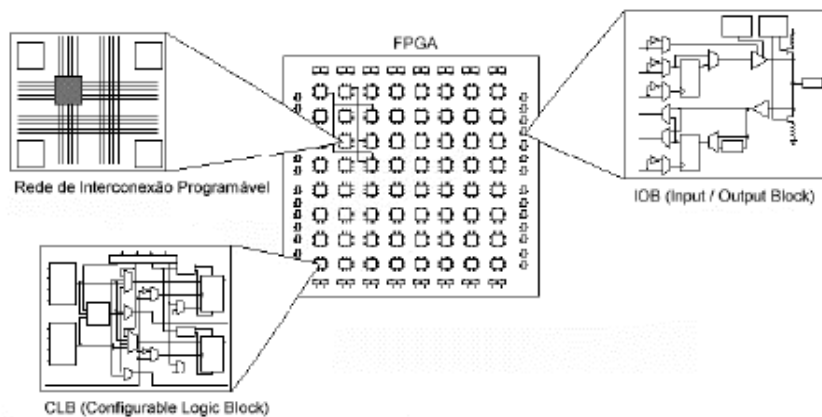


Figura 6 – Elementos básicos de um FPGA

Os FPGAs podem ser organizados internamente através 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.

4. 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 definido, 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

4.1. 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. Estas 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, o qual 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 em L/ha desejada pelo usuário. 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. Estas 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.

5. 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.

5.1. Funções periféricas

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

a) **Watchdog do microcontrolador:** função que tem como 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 como objetivo realizar a leitura dos sinais das chaves que formam o teclado momentâneo e o de segmentos, entregando os valores para o microcontrolador.

5.2. 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 como 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 como 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 detalhes da sequência de trabalho apresentada.

5.3. Definição do FPGA utilizado

Levando-se em conta a disponibilidade de material no laboratório de Arquitetura de Sistemas do UNIVEM, 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 através da porta paralela. A figura 8 mostra a placa XS40 utilizada.

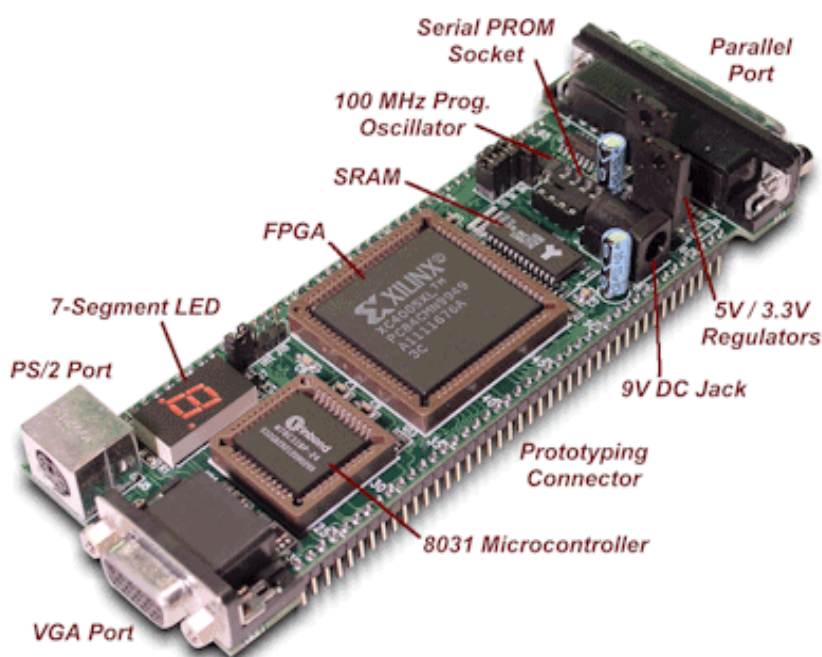


Figura 8 – Placa de desenvolvimento XS40

5.4. 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 rodas; b) Bloco de captura do período do sinal do sensor de vazão; c) Bloco de leitura dos sinais das chaves momentâneas e 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 através de testes nos laboratórios da empresa JACTO. As subseções 5.4.1 a 5.4.7 descrevem as implementações de todos os blocos do sistema na FPGA escolhida. A técnica utilizada para a implementação de todos os blocos está sendo exemplificada no item 5.4.1 através do detalhamento do desenvolvimento do bloco de captura do período do sinal do sensor de vazão.

Todos os blocos desenvolvidos foram integrados em um único FPGA, o circuito lógico obtido está contido na Figura 11.

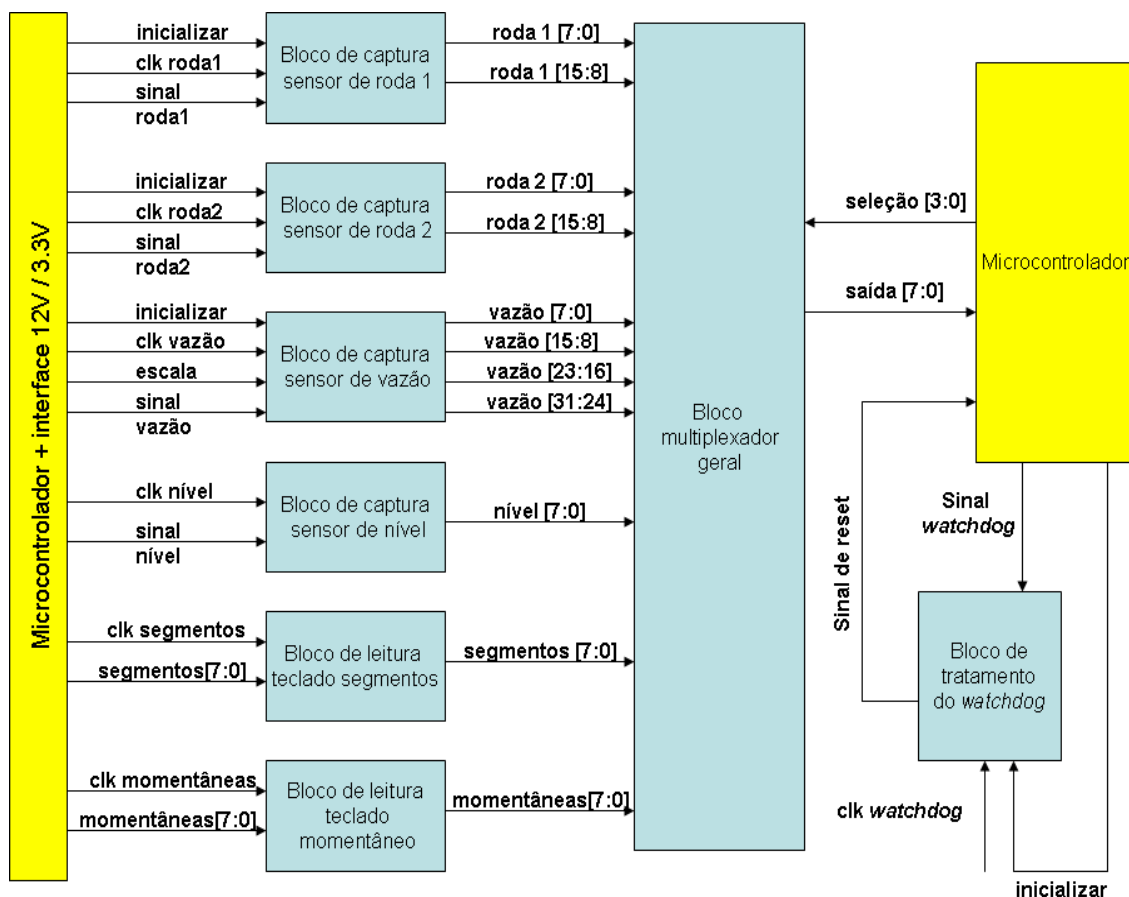


Figura 9 – Diagrama de blocos do sistema

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

O bloco de captura do período do sinal do sensor de vazão tem como 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 o pior caso do resultado da leitura do período utiliza 3 *bytes* para armazenamento, foi projetado um contador de 24 *bits* para atender a toda faixa de frequência. Conforme contido na Figura 9, o bloco de captura recebe em sua entrada os sinais de inicialização, *clock* de varredura, pulsos do sensor de vazão e escala, disponibilizando na saída o resultado da leitura do período.

O diagrama lógico do bloco foi desenvolvido com a ferramenta de desenvolvimento Project Manager do ambiente *Xilinx Foundation F3.1i*. O circuito obtido é mostrado na Figura 10. Após a depuração e validação do bloco através de testes de bancada e testes de comunicação e interfaceamento tanto com os subsistemas que utilizam os resultados processados pelo bloco quanto com os subsistemas que geram sinais para o bloco.

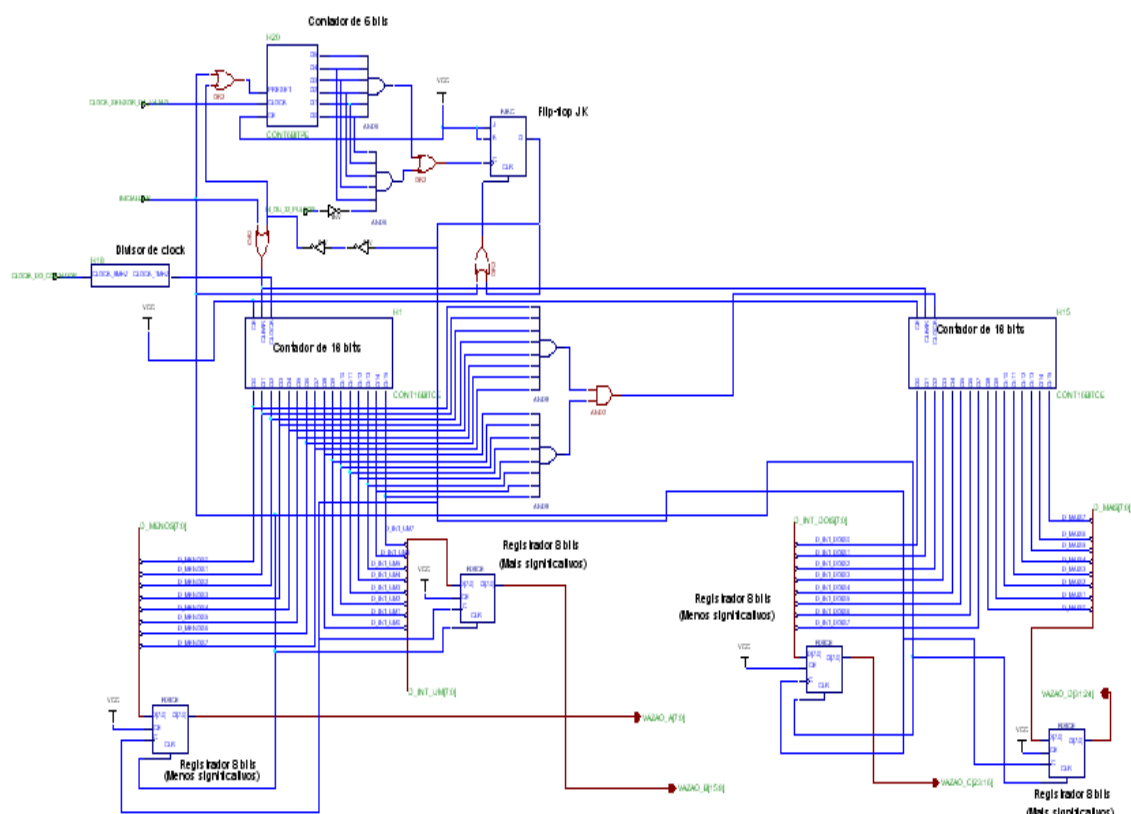


Figura 10 – Diagrama lógico do bloco de captura do sensor de vazão

5.4.2. 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 como 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.

Conforme mostra 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.

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

Os blocos de leitura dos sinais das chaves têm como 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 provenientes dos teclados, momentâneo e de segmentos, para as saídas dos registradores.

5.4.4. 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 como 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.

5.4.5. Bloco de Tratamento do Watchdog do Microcontrolador

O bloco de tratamento do *watchdog* do microcontrolador tem como 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*.

5.4.6. Bloco Multiplexador Geral

O bloco multiplexador geral tem como função receber os dados fornecidos pelos blocos de captura dos sensores e de leitura do teclado, disponibilizando via barramento de 8 *bits*, o dado escolhido pelo microcontrolador através 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 11.

5.4.7. Integração dos Circuitos

A integração dos circuitos foi realizada a partir da criação de macros que permitiram o encapsulamento dos circuitos lógicos projetados e validados separadamente em blocos lógicos individuais. Os pinos utilizados do FPGA foram determinados de para propiciar uma organização lógica adequada que propiciou o interfaceamento com todos os subsistemas do controlador: sinais dos sensores, dados do teclado e comunicação com o microcontrolador.

A Figura 11 mostra a estrutura final do circuito implementado e cujo respectivo diagrama de blocos foi mostrado na Figura 9.

Para efeito de geração de uma base de testes foi acrescentado ao circuito final 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.

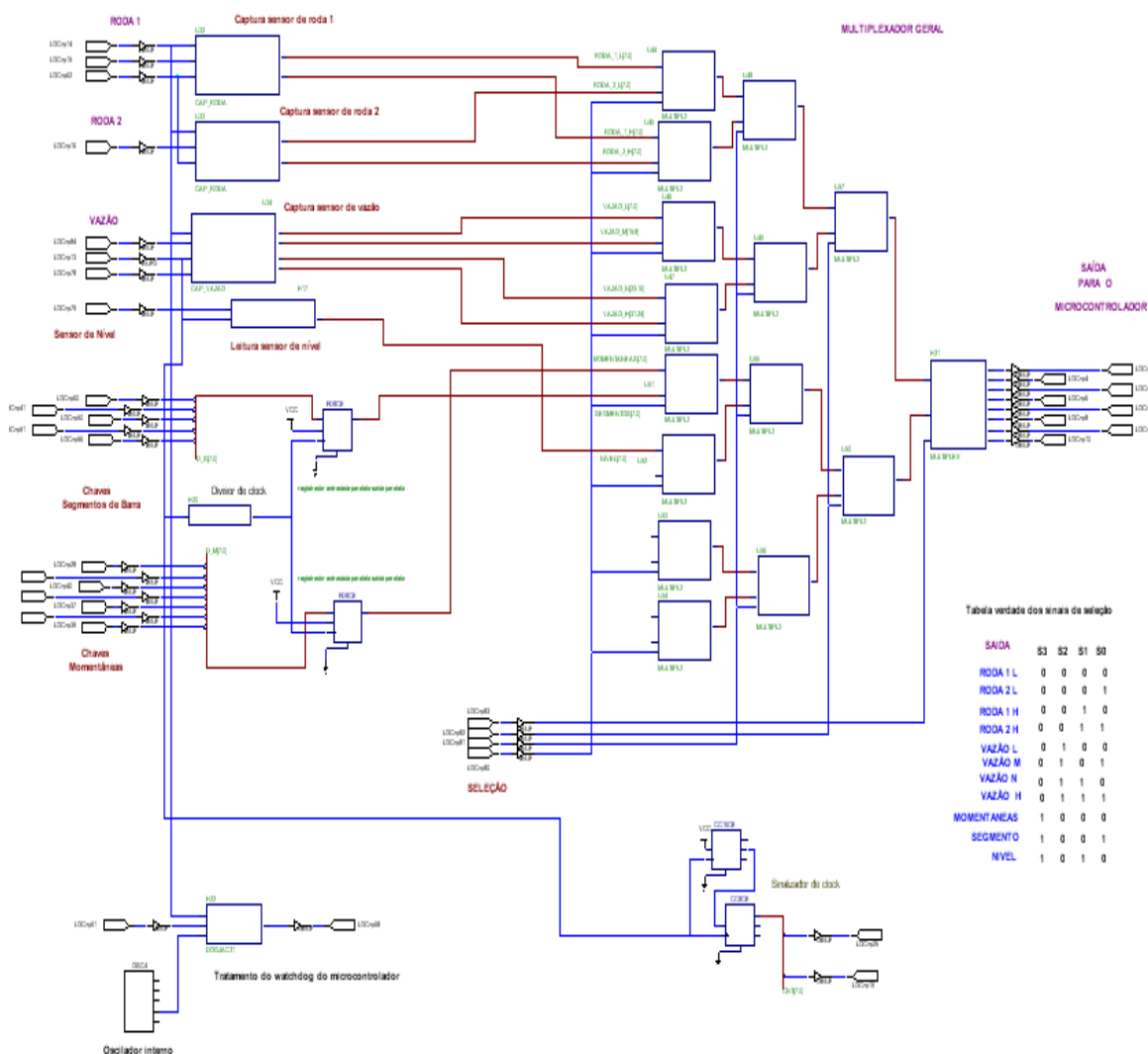


Figura 11 – Diagrama lógico do circuito geral

5. VALIDAÇÃO DO CIRCUITO IMPLEMENTADO

Após a depuração de cada bloco através de simulações e testes de bancada, todos os blocos gerados separadamente foram integrados em um único FPGA XC4010XLPC84 (Figura 11).

A validação de todas as funções ou blocos do circuito universal contido no FPGA foi realizada em testes de bancada através do interfaceamento do FPGA com o controlador JMC1000/4. A comunicação entre os dois sistemas foi realizada com sucesso, possibilitando a simulação e testes de todas as funções implementadas no FPGA, liberando os microcontroladores existentes no controlador original. A Figura 12 apresenta foto de bancada que mostra a interligação entre as placas de circuito impresso do controlador JMC1000/4 e a placa de desenvolvimento XS40.

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 amostrado na Figura 13.

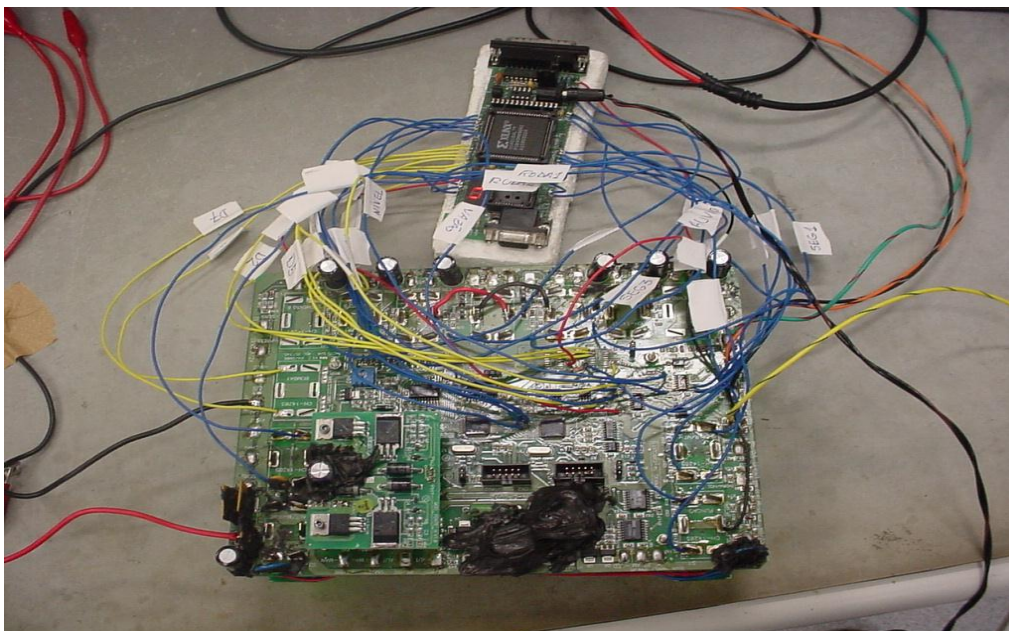


Figura 12 – Interligação entre as placas de circuito impresso

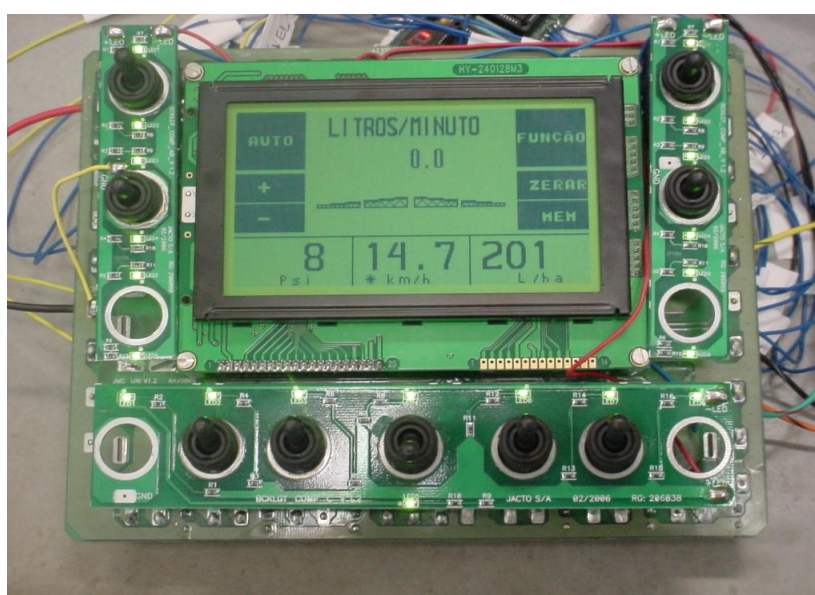


Figura 13 – Display do controlador JMC1000/4

5. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido mostrou ser possível a integração de elementos de eletrônica embarcada utilizados em controladores de pulverizadores em um FPGA, gerando a integração e universalização de funções através do projeto e implementação de um *chip* universal para ser utilizado em projetos de controladores de pulverização, minimizando o número de componentes de *hardware* e proporcionando relevante melhoria no desempenho, uma vez que a captura de pulsos dos sensores realizada pelo FPGA ocorre em tempo real e o controlador JMC1000/4 faz uma captura via interrupções. Considerando ainda, que os controladores também utilizados nos pulverizadores nacionais não utilizam tecnologia desenvolvida em nosso país, esse projeto viabiliza o projeto e reprodução de um controlador desenvolvido totalmente no Brasil.

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

automação de pulverizadores agrícolas.

6. REFERÊNCIAS

- BALASTREIRE, L., A.. **O estado da arte da Agricultura de Precisão no Brasil**. ed. Piracicaba, SP : L.A. Balastreire, 2000. 224 p.
- CRUVINEL, P., E. **Instrumentação agropecuária no agronegócio brasileiro do século XXI**: Parte 1. Disponível em: <http://www.embrapa.br/noticias/artigos/2000/artigo>. 2004-12-07.. Acesso em: 09 jun. 2007.
- GERICOTA, M., G., O.. **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, J.; Manoel I.. **Aplicação Terrestre com Pulverizadores Autopropelidos**. Disponível em: < <http://www.pulverizador.com.br/aplic-terrestre-01.htm>>. Acesso em: 15 mai. 2007.
- LOBO J.; Manoel I.. **Pulverizador Tratorizado com Barras e Bicos Hidráulicos**. Disponível em: < <http://www.pulverizador.com.br/aplic-terrestre-02.htm>>. Acesso em: 15 mai. 2007.
- LOBO J.; Manoel I.. **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.
- ORDONEZ, E., M.; et al. **Projeto, Desempenho e Aplicação de Sistemas Digitais em Circuitos Programáveis (FPGAs)**. 1. ed. atual. Pompéia, SP: Bless, 2003. 300p.
- PEROSA, G., C.. **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, J., E., G., G.; SANTOS FILHO, A., G.. **Apostila de Máquinas Agrícolas**. Universidade Estadual Paulista, Campus Universitário de Bauru, Faculdade de Engenharia, Bauru, SP, 2001, p. 81-82.
- SARAIVA, A., M.. **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.
- SILVA, D., D., C. **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.