

Modelo conceitual para sistema de coleta e comunicação automática de dados para máquina e implemento automatizado e para robô agrícola móvel**

Rafael Vieira de Sousa¹, Wellington Carlos Lopes², Rubens Andre Tabile³, Arthur José Vieira Porto⁴, Ricardo Yassushi Inamasu⁵

¹Professor Dr. FZEA/USP, Av. Duque de Caxias Norte, 225 - Pirassununga, SP

²Pós-graduando, EESC/USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400 - São Carlos, SP

³Professor Dr. FZEA/USP, Av. Duque de Caxias Norte, 225 - Pirassununga, SP

⁴Professor Titular, EESC/USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400 - São Carlos, SP

⁵Pesquisador, Embrapa Instrumentação. Rua XV de Novembro, 1452 - São Carlos, SP

*E-mails: rafael.sousa@usp.br, wlopes@gmail.com, tabile@usp.br, wlopes@gmail.com, ricardo.inamasu@embrapa.br

**FINEP/CT-AGRO MAPA 01/2008

Resumo: As tecnologias atuais de automação e robótica aplicadas à processos agropecuários carecem de padrões para aquisição e comunicação eletrônica de dados e padrões para integração das informações geradas para a gestão eficiente do agronegócio. No sentido de suprir tal carência, o trabalho tem como objetivo a proposta de um sistema automático de coleta e comunicação de dados e de um modelo da arquitetura de integração com um sistema gestão agrícola. Foi construído um sistema de aquisição eletrônico baseado na ISO11783 para mapeamento de variáveis agrônômica, que é empregado para viabilizar o mapeamento de condutividade elétrica do solo e de índice de vegetação. A criação do modelo envolveu a identificação dos requisitos de sistemas embarcados ISO11783 compatíveis, dos elementos mecatrônicos de robôs agrícolas, dos requisitos funcionais e dos fluxos das informações em processos agrícolas modernos. Gerou-se um protótipo do sistema de aquisição automática de dados e o modelo conceitual da arquitetura de integração contendo: a especificação do escopo e dos limites da informação; a identificação dos conteúdos e dos padrões dos dados gerados e comunicados; e a definição dos componentes da interface entre os sistema automatizados embarcados e um sistema de gestão agrícola. Esse modelo pode orientar o desenvolvimento do módulo de um sistema de gestão agrícola com serviços para aquisição e análise da variabilidade agrícola e para recomendação em operações agrícolas.

Palavras-chave: aquisição eletrônica de dados, mapeamento automático, ISO11783, sistema de gestão agrícola

Conceptual model for automatic data collection and communication systems for agricultural automated machinery and mobile robot

The recent technologies of automation and robotics applied to agricultural processes require standards for electronic data acquisition and communication and standards for the integration of generated information for the efficient management of the agribusiness. In order to overcome this reality, the work aims the proposal of an automatic data collection and communication system and a model for the integration architecture with a farm management system. It was constructed an electronic acquisition system based on ISO11783 for mapping agronomic variables, which is used to enable the mapping of the soil electrical conductivity and the vegetation index. The conception of the model involved the identification of the requirements of ISO11783 compatible embedded systems, the mechatronic elements of agricultural robots and the functional requirements and flow



of information in modern agricultural processes. It was generated a prototype of an automatic data acquisition system and the conceptual model of the integration architecture that comprises: the specification of the scope and boundaries of the information, the identification of the contents and standards for the communicated data and the definition of the interface components between the embedded system and the management system. This model can guide the development of a service module of a farm management system for the acquisition and analysis of the agricultural variability and the recommendation in agricultural operations.

automatic mapping, electronic data acquisition, farm management system, ISO11783

1. Introdução

Atualmente o desenvolvimento e a aplicação de tecnologia no setor agrícola tornou-se um dos elementos fundamentais para inserção ou manutenção da competitividade comercial no mercado globalizado de países com vocação agrícola. O baixo nível de aplicação de tecnologia conduz à baixa eficiência e à baixa produtividade dos processos agrícolas e pode colocar o país em uma posição de inferioridade nas relações comerciais internacionais, principalmente no caso do Brasil que tem ainda um grande potencial para o desenvolvimento da Agroindústria e do Agronegócio (FOOD..., 2013).

Uma das tendências atuais para superação das carências apontadas é a aplicação de sistemas de automação inteligentes em áreas como, por exemplo, máquinas e implementos agrícolas, irrigação, criadouros, processamento, armazenamento e transporte de produtos agrícolas, construções rurais e ambiência. A pesquisa e o desenvolvimento de inovação nessas áreas geraram tecnologias disponíveis no mercado que foram concebidas para aquisição, armazenamento e transmissão de uma grande quantidade de dados que podem ser eletronicamente adquiridos na lavoura ou em sistemas agroindustriais. Em especial para máquinas e implementos agrícolas, sensores, controladores e atuadores são implementados usando padrões de comunicação para troca quantidades expressivas de informação, dos quais destacam as tecnologias sem fio para telemetria (TUIJL; OS; HENTEN, 2008) e o padrão de comunicação eletrônica para equipamentos agrícolas ISO11783 - ISOBUS (INAMASU et al., 2011; PEETS et al., 2012; INTERNATIONAL..., 2013).

Além das tecnologias descritas, frutos de pesquisas e de inovações desenvolvidas nas últimas

duas décadas, atualmente outro importante foco de pesquisa nessa área tem sido a busca por sistemas inteligentes que tornam viável a aplicação de Robôs Agrícolas Móveis (RAM's). Nos últimos anos, trabalhos de pesquisa como os apresentados por Slaughter, Giles e Downey (2008), Cariou et al. (2009), Dong, Heinemann e Kasper (2011), Bakker et al. (2011) e Cheein et al. (2011) têm gerado soluções viáveis para o desenvolvimento de sistemas inteligentes de automação e de sistemas robóticos que possibilitam operações mais precisas para reduzir custos e minimizar o impacto ambiental de tarefas agrícolas. Porém, a capacidade de aquisição, armazenamento e processamento de dados dos sistemas de um robô demandam tecnologias de informação e comunicação muito bem estruturadas e capazes de operar dados, em volume e diversidade, superiores aos das máquinas e implementos agrícolas convencionais.

Nesse contexto, as informações geradas pelos sistemas agrícolas automatizados ou por robôs demandam sistemas de informação específicos para a agricultura para dar suporte a interpretação da enorme quantidade de dados coletados e auxiliar na compreensão das causas da variabilidade para proposição estratégias sólidas para a gestão de sistemas agropecuários e agroindustriais. Nesse sentido, tecnologias de informação e comunicação (TIC) têm sido pesquisadas para viabilizar a integração e o processamento de informações e fornecer suporte tomada de decisão para melhorar as estratégias de manejo da lavoura, para contribuir com a gestão do agronegócio, para viabilizar a regulamentação governamental e para padronizar os processos que viabilizam a rastreabilidade e a certificação de produtos agropecuários (STEINBERGER; ROTHMUND; AUERNHAMMER, 2009; SØRENSEN et al., 2010).

A indústria de manufatura possui soluções bem estabelecidas baseadas em sistemas de informações gerenciais (*Management Information System - MIS*) que são parte integrante do sistema de planejamento de recursos e gestão global de empresas (*Enterprise Resource Planning - ERP*) (KARNOUSKOS; COLOMBO, 2011). Entretanto, o desenvolvimento e a aplicação de conceitos e de metodologias similares no setor agrícola ainda apresentam grandes desafios, principalmente devido à diversidade e à variabilidade dos processos agrícolas (SØRENSEN et al., 2010). O projeto, o desenvolvimento e a implantação de um FMIS (*Farm Management Information System - FMIS: Sistemas de Informação de Gestão Agrícola*) para processos de produção agrícola deve contemplar várias entradas de dados, originadas de diferentes equipamentos em diferentes formatos, incluindo formatos que atendam a norma ISO11783. Além disso, principalmente no contexto da Agricultura de Precisão (AP), é necessário oferecer suporte ao gerenciamento de informações geográficas e capacidade de processamento de modelos biológicos, capazes de relacionar parâmetros descritivos com informações de solo, atributos biológicos dos cultivos e parâmetros climatológicos (NIKKILÄ; SEILONEN; KOSKINEN, 2010; SØRENSEN et al., 2010).

Assim, há espaço para melhoria das tecnologias para máquinas e implementos agrícolas aplicadas para aquisição de dados e para operações em campo como a aplicação insumos, principalmente para sistemas de interpretação e manipulação de quantidades massivas e diversas de dados coletados que auxiliem na compreensão das causas da variabilidade. Nesse sentido, este trabalho busca através do mapeamento de processos agrícolas e dos respectivos fluxos de informações propor uma arquitetura para um sistema automático de coleta e comunicação de dados baseado na norma ISO11783 e o respectivo modelo conceitual de integração informações desse sistema a um FMIS.

2. Material e Métodos

Para atingir o objetivo da construção de um sistema de instrumentação agrícola automatizado e da definição dos elementos para sua integração com um FMIS, o trabalho de pesquisa e

desenvolvimento foi dividido nas seguintes etapas principais:

- a) pesquisa dos elementos mínimos para projeto de sistemas embarcados ISO11783 compatíveis;
- b) estudo e definição dos requisitos mínimos de sistemas mecatrônicos de robôs agrícolas móveis;
- c) levantamento dos requisitos funcionais de processos comuns das práticas de AP;
- d) levantamento das mensagens definidas na norma ISO11783 que atendem os requisitos identificados em “b” e “c”;
- e) especificação e projeto de unidade eletrônica de controle universal para implemento agrícola (I-ECU - *Implement Electronic Control Unit*);
- f) definição de requisitos interface FMIS aplicado às práticas de AP;
- g) modelagem conceitual de integração de informações para sistemas de coleta e comunicação automática de dados de máquinas agrícolas automatizadas (trator e implemento automatizado ou robô agrícola móvel).

As etapas “a” e “d” foram realizadas a partir da pesquisa de trabalhos publicados, do estudo sistemas de aquisição e comunicação de dados e do estudo da norma ISO11783. As etapas “b” e “c” foram realizadas da mesma forma, porém incluíram levantamentos em campo através de visitas técnicas a cooperativas e unidades produtoras, em especial para execução da etapa “c”.

Na etapa “b” observou-se que os principais dispositivos especiais utilizados no estágio de percepção para guiagem e navegação de robôs agrícolas móveis são: câmeras; receptor GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*); varredor Laser (*Scanner Laser*); e sistema inercial (INS - *Inertial Navigation System: Sistema de Navegação Inercial*).

A definição do FMIS na etapa “f” foi realizada a partir da pesquisa de trabalhos publicados e das informações obtidas nas etapas de “a” à “d”. A modelagem proposta na etapa “g” foi realizada a partir da sistematização de informações e da estruturação de um modelo que atende-se todos os requisitos e características dos fluxos de informação de cada sub-sistema.

Para a especificação e projeto da I-ECU utilizou-se as informações obtidas nos levantamentos e especificações das etapas “a” à “d”.

As especificações preliminares da I-ECU orientou a aquisição do conjunto de desenvolvimento de *software* e de *hardware* i.MX28 EVK da empresa Freescale, que foi utilizado para familiarização com o processador escolhido e para definir o conjunto apropriado *firmware-hardware* através de implementação de testes.

A especificação da I-ECU também foi embasada em características de *software* e de *hardware* típicos de sistemas embarcados para automação com destaque para: quantidade e tipos de entradas e saídas para sensores e atuadores; quantidade e tipos de interfaces de comunicação; capacidade de processamento; necessidades do sistema operacional; capacidade de armazenamento de dados; fonte de alimentação e requisitos de consumo de energia; e características físicas do ambiente de operação (ex. temperatura, umidade, vibração e ruídos eletromagnéticos). Considerando as características citadas, os levantamentos e especificações das etapas de “a” à “d” e os resultados dos testes com o conjunto i.MX28 EVK definiu-se um esquemático básico para o circuito eletrônico da I-ECU ilustrada na Figura 1.

Como ilustrado na Figura 1, o circuito eletrônico da I-ECU baseia-se no processador i.MX287 da empresa Freescale (tecnologia ARM - *Advanced RISC Machine*) que está conectada a quatro tipos de memórias diferentes: memória

tipo NAND (4 Gb) utilizada para armazenar o sistema operacional embarcado e o *firmware* das aplicações ISO11783 compiladas; memória DDR2 SDRAM (64 MB × 16) para armazenamento de dados temporários para operações realizadas pelo processador; memória EEPROM SPI (256 kb) com interface de comunicação padrão SPI (*Serial Peripheral Interface*) para armazenamento de quantidade restrita de dados; e conector (*SLOT*) para cartão de memória SD/MMC que pode ser inserido e removido para armazenamento e transferência de quantidade massiva de dados, inclusive para o carregamento do sistema operacional e de aplicações ISO11783.

O *hardware* da I-ECU ilustrado na Figura 1 contempla as seguintes interfaces de comunicação: porta Ethernet, porta USB e porta RS232 para comunicação com dispositivos eletrônicos especiais que utilizam dados e parâmetros mais elaborados (maior banda) como aqueles utilizados em robôs móveis (ex. câmeras, scanner laser, sistema inerciais e receptores GNSS); porta RS232 para interface com computador pessoal para gravação e depuração do *firmware*; e portas CAN (Controller Area Network) para viabilizar implementação física de rede ISO11783 (camada física). O *hardware* da I-ECU também contém entradas e saídas para sensores e atuadores com padrões comuns.

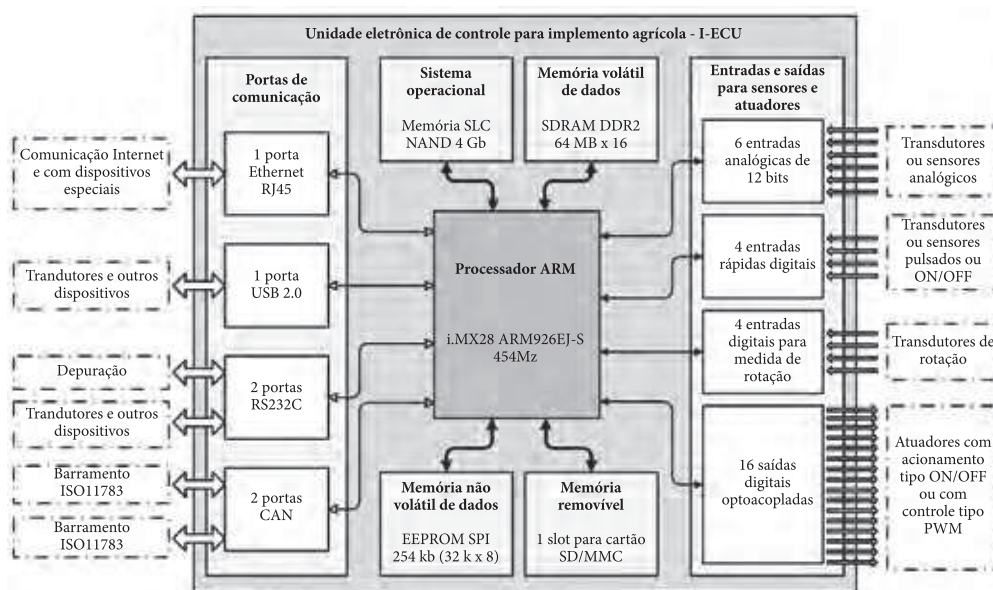


Figura 1. Diagrama funcional do circuito eletrônico da I-ECU.

Inicialmente utilizou-se o Sensor de Condutividade Elétrica do Solo (S_{CE}) e o Sensor de Índice de Vegetação (S_{CE}^i) para implementações e experimentos iniciais. Os sensores comerciais empregados foram: sensor de condutividade elétrica do solo desenvolvido pela Embrapa Instrumentação de São Carlos (RABELLO et al., 2011); sensor ativo Crop Circle ASC 470 da empresa Holland Scientific (HOLLAND..., 2013) que emite, capta e analisa o espectro de luz refletida em comprimentos de onda específicos pela planta, gerando índices relacionados com o seu estado nutricional.

A Tabela 1 lista os principais elementos de *software* definidos para utilização do projeto de aplicações baseadas na norma ISO11783

3. Resultados e Discussão

Os sensores utilizados no sistema automático de aquisição possuem dispositivo controlador de registro e conversão de dados (CTR) que dispõem de porta para transferência de dados baseada no padrão RS232C. O CTR de condutividade elétrica foi integrado à I-ECU através de sua porta RS232C, porém o CTR de índice de vegetação foi integrado à I-ECU através de interface CAN tendo em vista a aplicação de mais de um sensor na mesma operação de mapeamento em campo (rede CAN permite diversos nós conectado à I-ECU).

A Figura 2 mostra os diagramas esquemáticos com simbologia definida na Norma ISA-S5 da (ISA: *International Society of Automation* - Sociedade Internacional de Automação) propostos para os sistemas de coleta e comunicação automática de dados de condutividade elétrica e de índice de vegetação. Na Figura 2 observa-se que a I-ECU comunica-se através do barramento ISO11783 com o Terminal Virtual (VT - *Terminal Virtual*), com o Controlador de Tarefas (TC - *Task Controller*) e com a Unidade Eletrônica de Controle do Trator (TECU - *Tractor Electronic Control Unit*). A I-ECU conectada à rede ISO11783 é qualificada como Mestre do Grupo (*Working Set Master*), sendo responsável por interconectar todos os dispositivos do implemento e demais ECUs (*Electronic Control Units* - Unidades Eletrônicas de Controle) relacionadas com a aplicação agrícola com o VT através de um arquivo padrão denominado *Object Pool* trafegado na rede.

Confrontando os requisitos mínimos de sistemas mecatrônicos de robôs agrícolas móveis e os requisitos funcionais de processos comuns das práticas de AP com as mensagens definidas na norma ISO11783 determina-se o grupo de mensagens explicitados na Tabela 2, que contem parâmetros a serem comunicados através do TC entre um sistema automatizado de um conjunto trator-implemento ou de um robô móvel e um FMIS. Para que as tarefas possam ser realizadas, os sistemas ISO11783 compatíveis enviam

Tabela 1. Ferramentas e ambientes de *software* utilizados no projeto de aplicações baseadas na norma ISO11783

Ferramenta de Software	Fabricante / Fornecedor	Descrição
CANoe	Vector Informatik	Ferramenta de software para desenvolvimento, teste e análise de projetos de redes e dispositivos CAN (<i>Controller Area Network</i>).
Eclipse	Eclipse Foundation	Ambiente integrado de desenvolvimento de software (IDE - <i>Integrated Development Environment</i>).
GCC C++	Free Software Foundation	Compilador do conjunto GCC (<i>GNU Compiler Collection</i>) para compilação de programas em linguagem C++.
ISOAgLib	OSB	Biblioteca em C++ com funções que implementam protocolos da ISO11783.
Linux Ubuntu	Ubuntu	Distribuição aberta do sistema Linux para computadores pessoais.
LTIB	Freescale	Ambiente de software para customização de sistema operacional Linux com características próprias para sistemas embarcados.
VT-Designer	OSB	Ambiente de software para criação de telas para Terminais Virtuais.

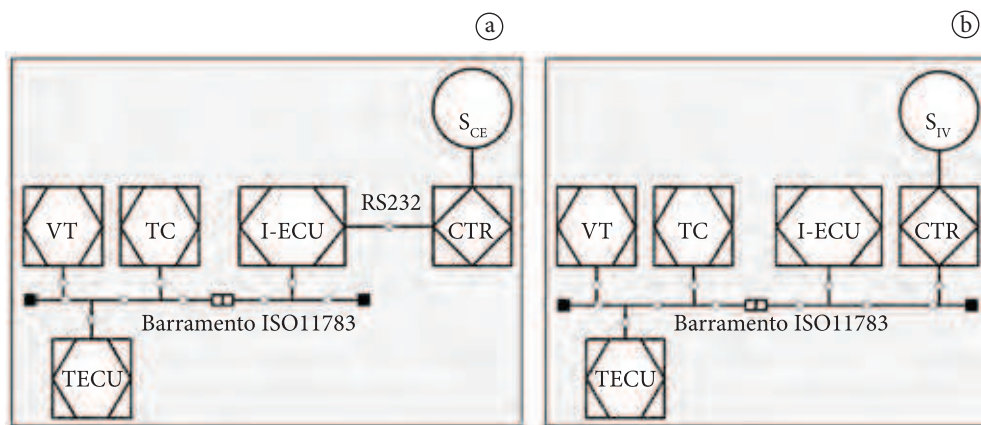


Figura 2. Sistemas de coleta e comunicação automática de dados baseado na ISO11783: (a) medição de condutividade elétrica; (b) medição de índice de vegetação.

Tabela 2. Grupo de mensagens com informações comunicadas entre um sistema automatizado embarcado e um FMIS

Tipo de Serviço	Documento da Norma	Parâmetro
Operação trator-implemento	ISO11783-7	Navegação, tomada de potência, engates traseiro e dianteiro, supervisão e controle processos, comando de atuadores do implemento e leitura sensores do implemento.
Dados automotivos	ISO11783-8	Motor, transmissão, freios, caixa de marcha e sistema de combustível
Operação trator	ISO11783-9	Sistema hidráulico do implemento, tomada de potência, gerenciamento de potência e navegação (velocidade e distância baseado nas rodas e solo).
Diagnóstico de sistemas	ISO11783-12	Protocolos para diagnóstico e identificação de ECUs, versão de softwares e certificação.

as características de seus dispositivos para o TC utilizando o arquivo denominado *Device Description Object Pool* (DDOP). Esse arquivo trocado entre o TC e ECUs contem também informações de processo.

A norma ISO11783 não estabelece um meio específico para a transferência de dados entre a máquina agrícola em campo e um FMIS. Entretanto estabelece no documento ISO 11783-10 uma padronização baseada na linguagem de marcação XML (*Extensible Markup Language*) que permite a criação de documentos com dados organizados hierarquicamente, tais como textos, banco de dados ou desenhos vetoriais. São definidos no documento ISO 11783-10 formatos de dados, parâmetros necessários para o controle de processos agrícolas e formatos de

mensagens para comunicação entre um FMIS e o TC. A Figura 3 mostra o modelo conceitual para a arquitetura de integração entre um sistema embarcado automatizado baseado na norma ISO11783 e o FMIS através de um terminal de acesso implantado em computador pessoal.

Os dados referentes a processos agrícolas seguindo o fluxo ilustrado na Figura 3 podem ser transferidos para o conjunto máquina-implemento ou para um robô móvel utilizando identificadores próprios para mensagens de dados de processo especificados no Dicionário de Dados (base de dados denominado ISO 11783-11 e disponível em <http://dictionary.isobus.net/isobus>). As mensagens descritas na Tabela 2 podem ser utilizadas para a transmissão de dados medidos ou comandos para um ou

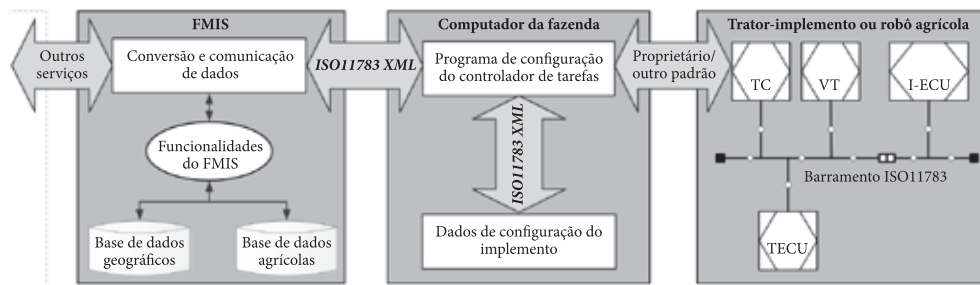


Figura 3. Arquitetura de integração entre um sistema embarcado ISO11783 e um FMIS: elementos, interfaces e fluxo de dados.

mais controladores associado a ECUs, sendo que a identidade dos dados é determinada por uma entrada do Dicionário de Dados. O FMIS possui um elemento de conversão e comunicação de dados para acesso a serviços providos pelo FMIS. Entre as funcionalidade do FMIS está incluso o acesso a bancos de dados geográficos e agrícolas que armazena as informações referentes a aquisição automática dos dados colocados na Tabela 2.

4. Conclusões

O sistema de aquisição e a arquitetura de integração viabilizam a coleta automática de dados e a geração de informação para um sistema de gestão, assim com são definidas especificações para desenvolvimento de um módulo para um sistema de gestão agrícola com serviços para aquisição e análise da variabilidade agrícola e para recomendação em operações agrícolas. O protótipo do sistema de aquisição de dados para máquinas agrícolas (trator-implemento ou robô móvel) contempla a arquitetura do sistema eletrônico e a topologia para conexão de instrumento de medição de condutividade elétrica do solo e medida do índice de vegetação. Associado ao protótipo é desenvolvido e proposto o modelo conceitual da arquitetura de integração desse sistema com um FMIS, que contém: a especificação do escopo e dos limites da informação; a identificação dos conteúdos e dos padrões dos dados gerados e comunicados; e a definição dos componentes da interface entre os sistemas automatizados embarcados e um sistema de gestão agrícola. Embora o sistema de aquisição

tenha sido testado com instrumentos de medição de condutividade elétrica do solo e medida do índice de vegetação, a topologia de conexão e a arquitetura proposta permitem o emprego de outros instrumentos para medida de outras variáveis agrônômicas, de dados operacionais da máquina agrícola e de dados de processo.

Referências

- BAKKER, T.; ASSELT, K. V.; BONTSEMA, J.; MULLER, J.; VAN STRATEN, G. Autonomous navigation using a robot platform in a sugar beet field. *Biosystems Engineering*, v. 109, n. 4, p. 357-368, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.05.001>
- CARIOU, C.; LENAIN, R.; THUILOT, B.; BERDUCAT, M. Automatic guidance of a four-wheel-steering mobile robot for accurate field operations. *Journal of Field Robotics*, v. 26, n. 6-7, p. 504-518, 2009. <http://dx.doi.org/10.1002/rob.20282>
- CHEEIN, A. F.; STEINER, G.; PAINA, G. P.; CARELLI, R. Optimized EIF-SLAM algorithm for precision agriculture mapping based on systems detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 78, n. 2, p. 195-207, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2011.07.007>
- DONG, F.; HEINEMANN, W.; KASPER, R. Development of a row guidance system for an autonomous robot for white asparagus harvesting. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 79, n. 2, p. 216-225, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2011.10.002>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. How to feed the World in 2050. Rome. Disponível em: <<http://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfs-background-documents/issues-briefs/en/>>. Acesso em: 13 jun. 2013.
- HOLLAND SCIENTIFIC. Disponível em: <<http://www.hollandscientific.com/>>. Acesso em: 13 jun. 2013.

INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. 334 p. (v. 1).

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. ISO 11783: tractors and machinery for agriculture and forestry: serial control and communications data network. Disponível em: <<http://www.iso.org/>>. Acesso em: jun. 2013.

KARNOUSKOS, S.; COLOMBO, A. W. Architecting the next generation of service-based SCADA/DCS system of systems. In: ANNUAL CONFERENCE ON IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS SOCIETY - IECON, 37., 2011, Karlsruhe. Proceedings... 2011. p. 359-364.

NIKKILÄ, R.; SEILONEN, I.; KOSKINEN, K. Software architecture for farm management information systems in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 70, n. 2, p. 328-336, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2009.08.013>

PEETS, S.; MOUAZEN, A. M.; BLACKBURN, K.; KUANG, B.; WIEBENSOHN, J. Methods and procedures for automatic collection and management of data acquired from on-the-go sensors with application to on-the-go soil sensors, *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 81, n. 1, p. 104-112, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2011.11.011>

RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; MOLIN, J. P. Mapeamento da condutividade elétrica do solo: sistema protótipo. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 41-45. (v. 1).

SLAUGHTER, D. C.; GILES, D. K.; DOWNEY, D. Autonomous robotic weed control systems: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 61, n. 1, p. 63-78, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2007.05.008>

SØRENSEN, C. A. G.; FOUNTAS, S.; NASH, E.; PESONEN, L.; BOCHTIS, D.; PEDERSEN, S. M.; BASSO, B.; BLACKMORE, S. B. Conceptual model of a future farm management information system. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 72, n. 1, p. 37-47, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2010.02.003>

STEINBERGER, G.; ROTHMUND, M.; AUERNHAMMER, H. Mobile farm equipment as a data source in an agricultural service architecture. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 65, n. 2, p. 238-246, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2008.10.005>

TUIJL, B. V.; OS, E. V.; HENTEN, E. V. Wireless sensor networks: state of the art and future perspective. *Acta Horticulturae*, v. 801, n. 1, p. 547-554, 2008.