ALEXANDRE DE ALMEIDA GUIMARÃES

**ANÁLISE DA NORMA ISO11783 E SUA UTILIZAÇÃO NA
IMPLEMENTAÇÃO DO BARRAMENTO DO IMPLEMENTO
DE UM MONITOR DE SEMEADORA**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia.**

**São Paulo
2003**

ALEXANDRE DE ALMEIDA GUIMARÃES

**ANÁLISE DA NORMA ISO11783 E SUA UTILIZAÇÃO NA
IMPLEMENTAÇÃO DO BARRAMENTO DO IMPLEMENTO
DE UM MONITOR DE SEMEADORA**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia.**

**Área de Concentração:
Sistemas Digitais**

**Orientador:
Prof. Dr. Antônio Mauro Saraiva**

**São Paulo
2003**

FICHA CATALOGRÁFICA

Guimarães, Alexandre de Almeida

Análise da norma ISO11783 e sua utilização na implementação do barramento do implemento de um monitor de semeadora / Alexandre de A. Guimarães. -- São Paulo, 2003.

98 p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1.ISO11783 2.Controller area network 3.Eletrônica embarcada
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II.t.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o Prof. Dr. Antônio Mauro Saraiva, pela companhia, paciência, colaboração, espírito de inovação e dedicação à Universidade de São Paulo e ao Brasil.

Ao Prof. Dr. Carlos Eduardo Cugnasca, pela colaboração realizada em grande parte das atividades.

Aos colegas Katia Mara Rabelo da Silva e Antônio Marcos Moreiras, que participaram quase que diariamente das emoções vividas durante a implementação do sistema e que muito me ajudaram nesta atividade.

Ao colega Cesar Strauss, que com seu gigantesco conhecimento me ajudou em diversas atividades e, sem perceber, me inspirou a buscar serenidade no mundo da tecnologia.

Ao colega Dr. Sérgio Miranda Paz por concordar gentilmente em revisar o texto.

Aos demais colegas do LAA e da GMB, que me motivaram a produzir este trabalho e os diversos artigos relacionados ao tema.

Aos meus pais Nivaldir e Anamaria e aos meus irmãos Marcelo e Fábio, eternos companheiros. Pessoas extremamente entusiasmadas com meus passos e que valorizam minhas conquistas mais do que eu mesmo poderia.

À minha esposa Tetê, pela paciência e pelo espírito de determinação que tem demonstrado em sua própria profissão, o que me inspira a tentar dar, cada vez mais, o melhor de mim.

RESUMO

A utilização de eletrônica embarcada na agricultura tem crescido rapidamente, tornando necessária a utilização de diversos módulos a bordo da máquina (trator e implemento). Considerando-se os impactos relacionados a esta tendência, alternativas tecnológicas devem ser geradas e devidamente exploradas, especialmente sobre os sistemas de controle e o cabeamento requeridos. As arquiteturas eletro-eletrônicas devem garantir o mínimo de custo de implementação e tempo de manutenção. Os sistemas de controle devem operar maximizando a disponibilidade das informações, o que implica a necessidade de troca de dados entre estes diversos sistemas de controle e, portanto, a existência de um protocolo de comunicação serial internacionalmente padronizado. Neste contexto, este trabalho aborda os diversos protocolos de comunicação serial – como o RS232, o RS485 e o CAN (*Controller Area Network*) – e as suas normas específicas, voltadas às aplicações agrícolas, como a ISO11783 e a DIN 9684, comparando-as. Dessa análise resulta a indicação da ISO11783, norma baseada no protocolo CAN, como a mais interessante para as aplicações agrícolas. Essa norma é estudada em detalhes, o que permite a criação de um roteiro de estudo e implementação do referido protocolo. Finalmente, é desenvolvida uma aplicação deste protocolo, considerando-se uma rede de comunicação de dados de um Monitor de Semeadora, a fim de demonstrar sua aplicação prática.

ABSTRACT

The use of on-board electronics in agriculture has grown quickly, requiring many electronic modules on-board machines (tractor and implement). Considering the trend related impacts, alternative technologies should be developed and used properly, especially on control systems and on the required wiring harness. Electro-electronic architectures should provide minimum implementation cost and maintenance related time. Control systems should operate maximizing the availability of information that implies on the necessity of data exchange among these variety of control systems and also, on the existence of an international standardized serial communication protocol. Considering that, this documentation covers many serial communication protocols – as RS232, RS485 and CAN (Controller Area Network) – and the agricultural applications related standards as ISO11783 and DIN 9684, comparing them. This analysis results in the indication of ISO11783, a CAN Bus based standard, as the most interesting to agricultural applications. This standard is analyzed in details, making possible the development of a protocol related study and implementation guideline. Finally, a protocol related application is developed for a Planter Monitor implement bus network, looking forward to demonstrating an ISO11783 real implementation.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	1
1.2. Justificativas	1
1.3. Organização da Dissertação	3
2. ELETRÔNICA EMBARCADA EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS	5
2.1. A Eletrônica Embarcada e a Agricultura de Precisão	5
2.2. Alternativas Tecnológicas à Arquitetura Eletro-Eletrônica	7
2.3. Exemplos de Sistemas Existentes – O Monitor de Semeadora	12
2.4. Problemas e Necessidades dos Sistemas Atuais	15
3. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO SERIAL	17
3.1. Introdução	17
3.2. RS232	18
3.3. RS485	19
3.4. CAN Bus	19
3.4.1 Conceituação Geral	21
3.4.2 Formatos das Mensagens	24
3.4.3 Padrões Existentes	25
3.4.4 Detecção de Falhas	26
3.4.5 Aspectos de Implementação	28
3.4.5.1 Dicionário de Dados	28
3.4.5.2 Exemplo de Rede	29
3.4.5.3 Montagem da Rede	30
3.5. Considerações Finais	31
4. O CAN BUS NA AGRICULTURA	32
4.1. Introdução	32
4.2. SAE J1939	32
4.3. DIN9684 – LBS	33

4.4. ISO11783	35
4.5. ISOBUS	36
4.6. Comparação entre as Normas	37
4.7. Considerações Finais	39
5. ISO11783: O CAN BUS AGRÍCOLA.....	41
5.1. Análise da Norma – Características Principais.....	41
5.2. Um Roteiro de Implementação do Protocolo em Aplicações Agrícolas	62
6. A ISO11783 NA MONITORAÇÃO DE SEMEADORA.....	66
6.1. Proposta de Arquitetura	66
6.2. Dicionário de Dados – Mensagens Relacionadas	68
6.3. Implementação da Rede CAN	72
6.3.1 Desenvolvimento do Hardware	72
6.3.2 Desenvolvimento do Software.....	74
6.4. Avaliação do Sistema.....	76
6.5. Considerações Finais	80
7. CONCLUSÃO	81
7.1. A Norma ISO11783 e as Aplicações Agrícolas.....	81
7.2. Contribuições do Trabalho.....	82
7.3. Perspectivas	83
7.4. Considerações Finais	84
LISTA DE REFERÊNCIAS	87
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Os desafios tecnológicos relacionados à AP	6
Figura 2 – Fluxo dos dados na AP	7
Figura 3 – Representação em blocos da Arquitetura Centralizada	8
Figura 4 – Representação em blocos da Arquitetura Distribuída	9
Figura 5 – Relação de Complexidade: ECUs vs. Sistema Completo.....	11
Figura 6 – Monitor de Semeadora do LAA – baseado em RS232.....	13
Figura 7 – Monitor de Semeadora do LAA – baseado em RS485.....	14
Figura 8 – Monitor de Semeadora do LAA – baseado em CAN Bus.....	15
Figura 9 – Fúsiveis e Cabos nos veículos Volvo ao longo dos anos.....	20
Figura 10 – Ligação Ponto a Ponto de sistemas embarcados.....	20
Figura 11 – Ligação via CAN de sistemas embarcados.....	21
Figura 12 – Taxa de Transmissão vs. Comprimento da Rede.....	22
Figura 13 – Níveis de Tensão no CAN (conforme ISO11898).....	23
Figura 14 – Quadro de Mensagem – CAN 2.0A.....	24
Figura 15 – Quadro de Mensagem – CAN 2.0B.....	25
Figura 16 – Exemplo de rede CAN com <i>Gateway</i> e Terminadores.....	29
Figura 17 – Geometria de uma rede CAN	30
Figura 18 – Rede de comunicação baseada na ISO11783	43
Figura 19 – Níveis de Tensão no CAN (conforme ISO11783).....	45

Figura 20 – Rompimentos e Curtos em uma rede ISO11783	46
Figura 21 – Composição dos PDUs #1 e #2	48
Figura 22 – VT: Proposta de máscara de trabalho	56
Figura 23 – VT: Proposta de máscara de verificação de falhas	56
Figura 24 – Exemplo de Parâmetro disponível no D.D.	62
Figura 25 – Roteiro de análise: Partes relacionadas ao Software	64
Figura 26 – Arquitetura Proposta.....	67
Figura 27 – Interligação Microcontrolador x Transceiver	73
Figura 28 – Protótipo desenvolvido para as ECUs	74
Figura 29 – Relação entre Hardware + <i>Firmware</i> e a Aplicação.....	75
Figura 30 – Curvas coletadas da rede CAN implementada	78
Figura 31 – Diagrama do Teste realizado com a interface CAN / USB	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – DIN9684: Produtos e seus Fabricantes	34
Tabela 2 – Partes da DIN9684 (LBS)	35
Tabela 3 – Partes da ISO11783	36
Tabela 4 – ISOBUS: Produtos e seus Fabricantes	38
Tabela 5 – Equivalência entre as partes das Principais Normas	39
Tabela 6 – Partes da ISO11783: Situação em Agosto de 2002.....	42
Tabela 7 – Campos que compõem o PDU	47
Tabela 8 – Relação entre os bits dos PDUs ISO11783 e ISO11898.....	49
Tabela 9 – Exemplos de PGNs.....	51
Tabela 10 – Tipos de NIU vs. Funções principais executadas.....	54
Tabela 11 – Bits formadores do Nome das ECUs	55
Tabela 12 – Faixas de Valores Transmítidos	57
Tabela 13 – Valores de Parâmetros Discretos Disponíveis	58
Tabela 14 – Valores de Parâmetros de Controle Disponíveis.....	58
Tabela 15 – Exemplo de Parâmetro existente no Anexo “A.8”	59
Tabela 16 – Exemplo de Parâmetro existente no Anexo “A.9”	59
Tabela 17 – Exemplo de Mensagem existente no Anexo “B.3”	59
Tabela 18 – Composição da Mensagem de Dados do Processo	62
Tabela 19 – Mensagens Propostas	68

Tabela 20 – Relação entre os bits do PDU e do Identificador (29 bits).....	70
Tabela 21 – Mensagens Propostas – Conteúdo dos Bytes de Dados	70
Tabela 22 – Conteúdo da Mensagem #1	71
Tabela 23 – Sistemática envolvida no cálculo da Velocidade	71

LISTA DE ABREVIATURAS

ABS: Antilock Brake System (Sistema Anti-Travamento de Freios)

ACK: Acknowledge

A/C: Air Conditioning (Ar Condicionado)

AP: Agricultura de Precisão

CAN: Controller Area Network

CAN_BAT: CAN Battery (Alimentação ou Positivo da Bateria)

CAN_GND: CAN Ground (Referência ou Terra)

CAN_H: CAN High

CAN_L: CAN Low

CI: Circuito Integrado

CRC: Cyclic Redundancy Check

CSMA: Carrier Sense, Multiple Access

CSMA/CD: Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detection

DD: Data Dictionary (Dicionário de Dados)

DF: Data Field

DID: Device Identifier

DIN: Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemão de Normatização)

DLC: Data Length Code

DLL: Dynamic Link Library

DP: Data Page

ECU: Electronic Control Unit

EOF: End of Frame

EPROM: Erasable and Programmable Memory

GE: Group Extension

GND: Ground

GPS: Global Positioning System

GIS: Geographical Information System

IDE: Identifier Extension

IFS: Interframe Space

IG: Industry Group

ISO: International Organization for Standardization

Kbps: Kilobits por segundo

LAA: Laboratório de Automação Agrícola

LAV: Landtechnik Vereinigung (Associação de Fabricantes de Máquinas Agrícolas)

LBS: Landwirtschaftliches BUS-System (Sistema de rede móvel agrícola)

Mbps: Megabits por segundo

NDA: Non-Destructive Arbitration

NIU: Network Interconnect Unit

NMEA: National Marine Electronics Association

NRZ: Non Return to Zero

OSI: Open Systems Interconnection

P: Prioridade

PC: Personal Computer (Computador Pessoal)

PDA: Portable Digital Assistant

PDU: Protocol Data Unit

PF: PDU Format

PG: Parameter Group

PGN: Parameter Group Number

PS: PDU Specific

R: Reservado

RAM: Random Access Memory

RTR: Request for Transmission

RX: Recepção

SA: Source Address

SAE: Society of Automotive Engineers

SDCC: Small Device C Compiler

SLIO: Serial Linked I/O Device

SO: Sensor de Operação da Semeadora

SOF: Start of Frame

SRR: Substitute Remote Request

SS: Sensor de Semente

SV: Sensor de Velocidade da Máquina

TBC_PWR: Terminal Bias Connector_Power (ou VCC)

TBC_RTN: Terminal Bias Connector_Return (ou GND)

TX: Transmissão

UART: Universal Asynchronous Receiver Transmitter

USB: Universal Serial Bus

USP: Universidade de São Paulo

Vcc: Tensão Corrente Contínua

V_{diff}: Tensão Diferencial

VT: Virtual Terminal (Terminal Virtual)

Este capítulo explica os objetivos e as justificativas desta dissertação, assim como a forma como ela está organizada.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Objetivos

Os objetivos deste trabalho são analisar comparativamente os protocolos de comunicação serial utilizados em aplicações agrícolas, de modo a identificar o mais adequado, e desenvolver uma aplicação desse protocolo tomando como caso um Monitor de Semeadora.

1.2. Justificativas

Com o crescimento da utilização da eletrônica embarcada¹ em máquinas agrícolas, faz-se necessário analisar os diversos conceitos de arquiteturas eletro-eletrônicas existentes e os vários aspectos tecnológicos a eles relacionados (ALLISON, 1994); (ALVARENGA, 1999).

Percebe-se ainda que, cada vez mais, as arquiteturas têm sido desenvolvidas com características de controle distribuído, o qual demanda a utilização de protocolos de comunicação na interligação dos diversos módulos eletrônicos utilizados em sua implementação.

Desta forma, este trabalho avalia os diversos protocolos de comunicação já utilizados em aplicações agrícolas – comerciais e acadêmicas. São considerados nesta avaliação diversos estudos existentes sobre o tema e, baseando-se em experiências anteriores de outros pesquisadores, procura-se indicar o melhor protocolo e norma para as aplicações agrícolas atuais e futuras, especialmente considerando-se a tendência de padronização mundial.

Outro ponto recém levantado por boa parte dos fabricantes de dispositivos, e ainda pouco explorado pelos pesquisadores da área, é a criação da norma ISOBUS. Ela

1: Aplicações Embarcadas são aquelas montadas em equipamentos móveis, como veículos de passeio, caminhões, ônibus, aviões, navios e tratores.

precisa ser analisada dentro do contexto formado por outros protocolos e normas voltados às aplicações agrícolas.

Além disso, dentre os diversos estudos realizados até o momento sobre eletrônica embarcada em aplicações agrícolas, especialmente os poucos encontrados e relacionados à Monitoração de Semeadora, não se explorou a real implementação da norma ISO11783 a esta aplicação. A Monitoração de Semeadora é fundamental no contexto criado pela Agricultura de Precisão (AP) e precisa ser melhor explorada tecnologicamente.

Considerando os avanços alcançados até o momento com a criação do padrão internacional ISO11783, faz-se necessário disponibilizar um roteiro de estudo e implementação desta norma, facilitando futuros desenvolvimentos na área. Acrescenta-se ainda que atividades relacionadas ao entendimento e implementação de uma norma demandam tempo e recursos intelectuais. Um roteiro de estudo e implementação auxiliaria estas atividades.

Ainda sobre as análises da norma e a sua utilização em aplicações agrícolas, sente-se a necessidade de se disponibilizar uma infra-estrutura de hardware e software que permita ensaios e testes de sistemas embarcados. Esta infra-estrutura deverá representar uma rede de comunicação de dados que represente um padrão internacional.

Selecionado um protocolo e norma, implementa-se um barramento do implemento, com algumas mensagens relacionadas a esta norma, considerando-se a aplicação Monitor de Semeadora. Esta implementação procura experimentar a escolha realizada, assim como possibilitar a criação de um roteiro de estudo e de utilização do protocolo e norma indicados.

O desenvolvimento do hardware e software envolvidos nesta implementação contribuem para a criação de uma infra-estrutura para estudos no protocolo e na norma identificados como mais adequados para aplicações agrícolas.

1.3. Organização da Dissertação

Esta dissertação de mestrado procura relacionar os tópicos envolvidos na análise e implantação de tecnologias eletrônicas em aplicações agrícolas, especialmente na Monitoração de Semeadora.

No capítulo 2, Eletrônica Embarcada em Máquinas Agrícolas, são abordadas as dificuldades associadas ao crescimento da eletrônica embarcada em aplicações agrícolas e ao desenvolvimento da Agricultura de Precisão; seus conceitos e desafios envolvidos, assim como as alternativas tecnológicas às arquiteturas eletro-eletrônicas possíveis. A aplicação “Monitor de Semeadora” é tomada como exemplo em uma análise de diversas propostas de arquitetura para a sua rede de comunicação de dados. São ainda destacadas as necessidades dos sistemas atuais em relação a quantidade de informações por eles tratadas.

No capítulo 3, Protocolos de Comunicação Serial, relacionam-se as características desejáveis de um protocolo de comunicação embarcado e avaliam-se os já considerados em aplicações agrícolas.

No capítulo 4, O CAN Bus na Agricultura, analisam-se, sucintamente, as normas baseadas no protocolo CAN considerando-se o ponto de vista das aplicações agrícolas. É realizada uma comparação técnica e de mercado entre elas.

No capítulo 5, ISO11783: O CAN Bus Agrícola, procura-se analisar a norma ISO11783, parte a parte. Destaca-se também sua situação atual dentro dos trabalhos do grupo ISO. Outro ponto abordado por este capítulo é a criação de um roteiro de estudo e implementação da norma ISO, com o intuito de facilitar os desenvolvimentos nela baseados.

No capítulo 6, A ISO11783 na Monitoração de Semeadora, a aplicação da norma ISO11783 em uma rede de comunicação de dados de um Monitor de Semeadora é apresentada, destacando-se a proposta de arquitetura e seu hardware e software envolvidos.

Finalmente, no capítulo 7, Conclusões, são apresentadas conclusões e contribuições deste trabalho e as perspectivas relacionadas ao tema.

A Lista de Referências é apresentada em ordem alfabética.

Este capítulo trata dos impactos e da relação entre a Eletrônica Embarcada e a Agricultura de Precisão. Discute alternativas de Arquiteturas Eletro-Eletrônicas e apresenta alguns conceitos sobre a aplicação Monitor de Semeadora. Sobre as aplicações eletro-eletrônicas em máquinas agrícolas em geral, relaciona seus problemas e necessidades atuais.

2. ELETRÔNICA EMBARCADA EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS

2.1. A Eletrônica Embarcada e a Agricultura de Precisão

Há muitos anos a agricultura tem feito uso de sistemas eletro-eletrônicos no controle das várias funções relacionadas aos mais diversos processos agrícolas. Observa-se que boa parte destes sistemas foi desenvolvida de forma independente, cada qual responsável por um determinado tipo de controle ou função da máquina (Trator e Implemento). Esta multiplicidade de equipamentos, em grande parte das aplicações, acarreta custos elevados de instalação, manutenção e treinamento da mão-de-obra que manuseará os sistemas.

Por outro lado, a agricultura tem sido reestruturada, buscando-se cada vez mais a redução do consumo de insumos e o aumento da produtividade (SIGRIMIS, 2000). Dentro deste contexto, um termo vem se caracterizando como bom representante desta nova filosofia agrícola: Agricultura de Precisão (AP) (GUIMARÃES, 2001).

A AP, de forma geral, procura melhorar a eficiência dos processos agrícolas e a qualidade dos produtos de cada atividade (SIGRIMIS, 2000), pressupondo-se a aquisição e manipulação de uma quantidade muito maior de dados (para a tomada de decisão), do que a agricultura tradicional (SARAIVA, 1998).

O domínio sobre os diversos dados disponíveis é conseguido através da utilização de vários sistemas eletro-eletrônicos interligados entre si, cada qual responsável por uma parte da máquina. Estes sistemas realizam a coleta destas informações diretamente do processo. Por exemplo, durante a semeadura, é realizada a medição da velocidade da máquina, da quantidade de sementes depositadas, a identificação das falhas observadas durante o percurso e a identificação da posição espacial do equipamento, conseguida através de receptores GPS (*Global Positioning System* ou Sistema de Posicionamento Global).

Percebe-se com isso, que a AP é basicamente fundamentada na capacidade de se coletar, armazenar e processar os dados do campo associados às coordenadas

espaciais. O objetivo final é realizar as operações agrícolas de maneira localizada, isto é, agindo de acordo com as necessidades de cada ponto do sistema solo-planta.

Diante deste cenário, têm-se em mãos três grandes desafios tecnológicos, representados na Figura 1 (GUIMARÃES; SARAIVA, 2001b):

- Primeiramente, coletar os dados relativos a cada operação do maquinário agrícola, como a velocidade do implemento e a quantidade de sementes depositadas e de fertilizante aplicado sobre o solo entre outros. Para tanto, alguns sensores estão disponíveis atualmente no mercado, cobrindo parcialmente as necessidades existentes.
- Em seguida, identificar a posição espacial do maquinário agrícola para que cada dado coletado possa ser relacionado a uma posição geográfica do terreno. Este desafio é resolvido através da utilização de equipamentos disponíveis no mercado – os receptores GPS (CINTRA; FERREIRA, 1998).
- O terceiro elo tecnológico é o que garante o cruzamento e o processamento dos dados coletados na máquina e suas coordenadas espaciais correspondentes.

Figura 1 – Os desafios tecnológicos relacionados à AP

Desta forma, a aplicação da AP depende, dentre outras coisas, de sistemas eletrônicos, utilizados, da coleta das informações (sensores de campo e GPS) e do seu conveniente processamento (SIGRIMIS, 2000). A Figura 2 mostra o fluxo dos dados na AP, iniciando com a coleta das informações do campo, passando pelo seu devido processamento e finalizando com a aplicação dos insumos necessários em taxa variável.

Fonte: Adaptado de CASE IH

Figura 2 – Fluxo dos dados na AP

Em relação à agricultura tradicional, a AP demanda mais eletrônica embarcada e potencializa os problemas da eletrônica atualmente utilizada nas máquinas agrícolas.

2.2. Alternativas Tecnológicas à Arquitetura Eletro-Eletrônica

As formas como os diversos sistemas de medição e controle são implementados e interconectados em uma dada aplicação embarcada são chamadas de Arquiteturas Eletro-Eletrônicas (ou simplesmente Arquiteturas Elétricas) (POWERS; KIRSON; ACTON, 1998); (MIESTERFELD, 1999). Esta nomenclatura é utilizada pelo setor

automotivo e, por similaridade dos seus diversos sistemas embarcados, pode ser estendida também à agricultura.

Considerando-se os diversos tipos de arquitetura existentes, pode-se destacar a Centralizada e a Distribuída.

Arquitetura Centralizada: Em determinados casos, tem-se uma única ECU² (Unidade Eletrônica de Controle ou Módulo Eletrônico de Controle) como responsável por receber todos os sinais de entrada (ex. sensores e chaves de comando), processá-los e comandar as respectivas saídas de controle do sistema (ex. válvulas e relés). O diagrama esquemático que representa este conceito de arquitetura é representado pela Figura 3.

Figura 3 – Representação em blocos da Arquitetura Centralizada

Como vantagens desta arquitetura pode-se destacar (GUIMARÃES, 2001):

- Simplicidade do hardware utilizado, sendo constituído basicamente pelos sensores e atuadores, uma ECU para gerenciamento do sistema e o cabeamento que os conecta.
- Todos os dados estarão disponíveis à ECU durante toda a operação do sistema, não sendo crítica a lógica de varredura e coleta dos dados de cada sensor.

2: ECU é o termo utilizado para representar uma Unidade Eletrônica de Controle ou um Módulo Eletrônico de Controle.

Como desvantagens pode-se destacar (STRAUSS; CUGNASCA; SARAIVA, 1998b):

- Grande quantidade de cabeamento requerido para conectar os sensores à ECU, o que dificulta a instalação e a manutenção da rede.
- Limitação das possibilidades de expansão do sistema.

Arquitetura Distribuída: Existe a possibilidade de se utilizar várias ECUs, dividindo entre elas as diversas responsabilidades relacionadas ao sistema. O diagrama esquemático que representa este conceito de arquitetura é representado pela Figura 4.

Figura 4 – Representação em blocos da Arquitetura Distribuída

Como vantagens desta arquitetura pode-se destacar:

- Quantidade reduzida de cabeamento da rede, por instalar-se ECUs bem próximas aos sensores e atuadores e pelo número limitado de fios conectados nas ECUs (FREDRIKSSON, 1999b).
- Menor tempo de instalação do sistema (exatamente pela menor quantidade de cabeamento necessário) (FREDRIKSSON, 1999b).

- Maior robustez do sistema, reduzindo o número de paradas para manutenção por quebra do cabeamento (FREDRIKSSON, 1999b).
- Permite a ampliação do sistema com significativa facilidade (FREDRIKSSON, 1994).
- Facilita a criação do software de aplicação, uma vez que possibilita a sua modularização e distribuição de responsabilidades pelas várias ECUs (ZUBERI; SHIN, 1996).
- Possibilita a modularização do projeto do sistema e da execução dos testes de validação, aumentando a confiabilidade e reduzindo os prazos envolvidos no desenvolvimento (FREDRIKSSON, 1994).

Como desvantagens pode-se destacar:

- Implica a existência de um software de controle da rede, cuja dificuldade de desenvolvimento depende diretamente da escolha do protocolo de comunicação entre as ECUs (ZUBERI; SHIN, 1996).
- Dificil determinação da taxa de transmissão ideal para uma dada aplicação, o que impacta diretamente nos tempos internos do software de controle e na escolha dos componentes eletrônicos a serem utilizados no projeto das ECUs (HOFSTEE; GOENSE, 1999).

A decisão de escolha da arquitetura elétrica mais apropriada a uma dada aplicação agrícola depende da ponderação entre diversos fatores. Dentre eles pode-se destacar:

- A complexidade do sistema a ser controlado (quantidade de variáveis de entrada e saída e o tamanho físico do sistema).
- A disponibilidade dos dispositivos eletrônicos requeridos (à montagem das ECUs e à medição e atuação no sistema).
- O tempo necessário à implantação da arquitetura (projeto, construção de protótipos, validação e instalação final).

- O custo desejado do sistema final (limitações inerentes ao orçamento).

O relacionamento entre os fatores anteriormente colocados, considerando-se uma dada aplicação agrícola, é que determinará o conceito de arquitetura mais apropriado ao sistema a ser controlado. Tal desafio é enfrentado por outros segmentos da indústria, como por exemplo o setor automotivo.

Uma das maiores dificuldades da engenharia de produtos de uma empresa montadora de veículos³ é determinar a arquitetura elétrica de um novo modelo, garantindo o mínimo de funções desejadas pelos futuros clientes, dentro dos limites de custo de projeto e produto final determinados pela empresa.

Normalmente, os produtos têm seu desenvolvimento iniciado com três ou quatro anos de antecedência ao seu lançamento, o que dificulta ainda mais a tomada de decisão sobre qual seria a melhor solução de engenharia para determinado projeto. Tal trabalho precisa relacionar as visões de Engenharia Avançada (tecnologia), Marketing Estratégico (mercado) e Político-Econômica (orçamento) da região a que se destina o novo produto.

Na agricultura as dificuldades são muito similares, tornando a definição da arquitetura elétrica um dos maiores desafios ao time de trabalho.

Figura 5 – Relação de Complexidade: ECUs vs. Sistema Completo

3: O Mestrando é Engenheiro de Produto na General Motors do Brasil e Líder do Time de Desenvolvimento da Engenharia Eletro-Eletrônica na plataforma de veículos compactos.

De todo modo, a Figura 5 ilustra a tendência da relação entre a responsabilidade de cada ECU de um determinado sistema de controle e a complexidade deste sistema como um todo, nessas duas alternativas.

2.3. Exemplos de Sistemas Existentes – O Monitor de Semeadora

Tendo em vista o objetivo desta dissertação de Mestrado – a análise e implementação de um protocolo de comunicação em uma rede de comunicação de um Monitor de Semeadora – faz-se conveniente, como termo de comparação, a apresentação de um sistema disponível e a maneira com a qual ele foi concebido.

O Laboratório de Automação Agrícola da EPUSP (LAA) vem desenvolvendo desde 1990, diversas pesquisas sobre o projeto de um Monitor de Semeadora (SARAIVA, 1992); (SARAIVA; CUGNASCA; MASSOLA, 1993); (SARAIVA; PAZ; CUGNASCA, 1997). Este monitor foi idealizado para o acompanhamento de algumas variáveis do processo de semeadura, destacando-se (GUIMARÃES; SARAIVA, 2001a):

- A apresentação ao operador de informações do processo. Dentre elas: a taxa e a densidade de sementes depositadas sobre o solo, a área de terreno semeada e a velocidade da máquina;
- O aviso ao operador sobre as condições indevidas de trabalho, como taxa de semeadura ou velocidade fora da faixa, e posição do implemento em relação ao modo operacional do sistema;
- O armazenamento de estatísticas da operação e sua transferência a um computador pessoal (PC) para posterior análise.

O diagrama esquemático desse Monitor de Semeadura pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Monitor de Semeadora do LAA – baseado em RS232

Percebe-se pelo arranjo mostrado que a arquitetura utilizada neste monitor tem características de controle semi-distribuído, uma vez que duas ECUs são responsáveis pela coleta das informações e o acionamento das respectivas saídas. Pode-se afirmar que, caso apenas uma das ECUs fosse utilizada no controle, o sistema estaria estritamente baseado no conceito centralizado. Da mesma forma, se fossem utilizadas várias ECUs, cada qual responsável pela coleta e tratamento de parte das entradas e saídas, o sistema estaria fortemente baseado no conceito distribuído.

Outro ponto importante a ser destacado é a linha de comunicação estabelecida entre as unidades Remota e Central, respectivamente “Módulo da Semeadora” e “Módulo do Trator”. Trata-se de um canal serial baseado no padrão EIA RS232 (AXELSON, 1998), o qual será comentado no capítulo 3 desta dissertação.

Desenvolvido e analisado o Monitor de Semeadora baseado em RS232, visando seu aprimoramento, outros protocolos de comunicação passaram a ser estudados e considerados como possíveis nesta aplicação. Foi o caso do padrão RS485, o qual

permitiria um certo grau de expansão ao sistema mas com algumas limitações técnicas (STRAUSS et al., 1998) que serão abordadas também no capítulo 3.

O diagrama esquemático proposto para um Monitor de Semeadora baseado em RS485 pode ser visto na Figura 7.

Fonte: STRAUSS et al., 1998

Figura 7 – Monitor de Semeadora do LAA – baseado em RS485

Como terceira alternativa tecnológica ao Monitor de Semeadora, propôs-se o protocolo CAN Bus (*Controller Area Network Bus* ou Barramento CAN), o qual apresenta uma série de vantagens, a serem descritas adiante, também no capítulo 3.

O diagrama esquemático proposto para o Monitor de Semeadora baseado em CAN pode ser visto na Figura 8.

Fonte: STRAUSS et al., 1998

Figura 8 – Monitor de Semeadora do LAA – baseado em CAN Bus

Percebe-se claramente a busca da melhor alternativa tecnológica à arquitetura elétrica da aplicação Monitor de Semeadora. De qualquer forma, cada um dos conceitos mencionados são tecnicamente avaliados, tendo suas vantagens e desvantagens citadas ao longo desta dissertação.

2.4. Problemas e Necessidades dos Sistemas Atuais

Não apenas em um Monitor de Semeadora mas em grande parte das aplicações agrícolas, alguns requisitos mínimos devem ser observados no momento de se determinar e, em seguida, implementar, sua arquitetura elétrica. Pode-se destacar (GUIMARÃES, 2001):

- Estar preparada para trabalhar em ambientes móveis, sendo resistente especialmente à elevada vibração dos equipamentos (STRAUSS; CUGNASCA; SARAIVA, 1998b).
- Ser resistente a situações extremamente nocivas, como as condições climáticas adversas (exposição aos raios solares e à chuva) e à exposição aos produtos químicos provenientes do próprio trabalho (STRAUSS; CUGNASCA; SARAIVA, 1998b).
- Ter cabeamento reduzido entre trator e implemento para facilitar a instalação e remoção dos equipamentos e reduzir os problemas com manutenção (STRAUSS et al., 1999).
- Ser capaz de realizar diferentes funções pelo simples acoplamento de diferentes módulos de atuação e controle dependendo do implemento.
- Ser imune às interferências eletro-magnéticas (STRAUSS; CUGNASCA; SARAIVA, 1998b).

Além de requerer robustez mecânica e elétrica, o sistema de controle deve permitir sua fácil remoção de um trator e implemento e, em seguida, sua rápida instalação em outras máquinas. Da mesma forma, é desejável que partes do sistema sejam substituíveis por peças de fornecedores distintos, facilitando e, eventualmente, barateando as atividades de manutenção do sistema e proporcionando algo independente dos fabricantes.

Considerando-se estes pontos, os conceitos de arquitetura mais apropriados às aplicações agrícolas são o semi-distribuído e o distribuído. Em ambos os casos, a comunicação entre as ECUs do sistema é requerida, implicando a necessidade de se utilizar um protocolo de comunicação.

Este capítulo relaciona as características desejáveis em um protocolo para aplicações embarcadas e destaca as características principais dos protocolos mais conhecidos. O *CAN Bus* é explicado detalhadamente.

3. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO SERIAL

3.1. Introdução

Dentre as características desejáveis em um protocolo para aplicações embarcadas, pode-se destacar (BRAGAZZA, 2000):

- Possibilitar o cabeamento total da rede reduzido.
- Ser capaz de transmitir altas taxas de informação, uma vez que os sistemas operam com informações em tempo-real.
- Boa flexibilidade das linhas de comunicação para facilitar a instalação do chicote no veículo.
- Capacidade de interligar diversos nós, garantindo futuras expansões do sistema.
- Trabalhar dentro do conceito multi-mestre, eliminando a existência de um módulo principal responsável pelo gerenciamento da rede.
- Robustez suficiente para garantir seu funcionamento em ambientes móveis e nocivos.
- Capacidade para detectar e tratar eventuais falhas geradas por problemas em hardware e software ou interferências externas, como as eletro-magnéticas.

Analisando-se as aplicações agrícolas existentes, consegue-se identificar os protocolos que foram utilizados no desenvolvimento de algumas redes embarcadas. Dentre eles destacam-se o RS232, o RS485 e o CAN Bus.

3.2. RS232

Pode ser considerado (GUIMARÃES, 2001) um dos protocolos mais populares de todos os tempos, existindo em praticamente todos os computadores – pessoais e de grande porte. Foi concebido para a comunicação bidirecional de dados entre dois dispositivos, a uma distância máxima variando de 150m a 300m, dependendo da taxa de transmissão e do tipo de cabo utilizado. É caracterizado por utilizar linhas desbalanceadas, onde o sinal é aplicado a um dos fios e referenciado ao outro, conectado ao terra comum do sistema (AXELSON, 1998).

Como vantagens de se utilizar o RS232 em aplicações agrícolas, pode-se destacar (STRAUSS; CUGNASCA; SARAIVA, 1998b):

- Compatível com a grande maioria dos micro-controladores existentes.
- Protocolo simples de se implementar.

Sobre as desvantagens deste protocolo, pode-se destacar (STRAUSS; CUGNASCA; SARAIVA, 1998b):

- Dificuldade de expansão e restrições à implementação de um controle distribuído, especialmente por se trabalhar com duas ECUs (várias ECUs poderiam ser utilizadas caso fosse aplicado um sistema multiseria).
- Grande quantidade de cabeamento, principalmente pela dificuldade de instalação de várias ECUs (passa a ser necessário levar os sinais dos sensores a um dos dois nós existentes, nem sempre localizados em suas proximidades).
- Problemas com interferências eletro-magnéticas devido a não ser uma rede de linhas balanceadas ou diferenciais.

Analisando as diversas particularidades do RS232, percebe-se que apesar de simples e extremamente difundido, ele não atende grande parte das características desejáveis a um protocolo agrícola.

3.3. RS485

Este protocolo (GUIMARÃES, 2001) possibilita a troca de dados entre uma quantidade maior de nós e a uma distância maior entre eles se comparado com o RS232. A quantidade de pontos conectados à rede, dependendo do comprimento da mesma e da taxa de transmissão, pode chegar a 256 (AXELSON, 1998). Apesar disso, existe somente um nó capaz de conversar com todos os demais, sendo conhecido como mestre (STRAUSS; CUGNASCA; SARAIVA, 1998b).

Como vantagens do RS485, os autores destacam:

- Possibilidade de expansão da rede a até 256 nós.
- Protocolo simples de se implementar.
- Menor comprimento total dos cabos, uma vez que os nós podem ser melhor distribuídos na rede e aproximados dos sensores.
- Maior imunidade a ruídos elétricos, uma vez que adota par trançado e *loop* de corrente em sua linha de comunicação.

Sobre as desvantagens, pode-se destacar o fato de não ser um controle verdadeiramente distribuído, caracterizando na verdade uma comunicação mestre-escravo (STRAUSS; CUGNASCA; SARAIVA, 1998a).

Do ponto de vista de uma aplicação agrícola, a baixa eficiência desta rede devido à comunicação ser efetuada dentro do conceito mestre-escravo, dificulta a sua utilização em aplicações que necessitem de um controle completamente distribuído, onde os módulos troquem, de forma rápida e direta, as informações necessárias ao seu processamento interno.

3.4. CAN Bus

Com o passar dos anos, as exigências à troca de informações entre os diversos módulos eletrônicos nos veículos na indústria automotiva cresceram de tal forma que

o cabeamento requerido para tais conexões chegou a atingir vários quilômetros de comprimento (BRAGAZZA, 2000).

A Figura 9 mostra um estudo realizado pela KVASER (2000) sobre o crescimento exponencial dos sistemas eletrônicos embarcados nos veículos de passeio da marca Volvo. É apresentado um gráfico com o número de fusíveis incorporados ao longo dos anos, assim como o aumento do comprimento do chicote.

Fonte: FREDRIKSSON, 1999a

Figura 9 – Fúsiveis e Cabos nos veículos Volvo ao longo dos anos

Esta condição acarretou problemas crescentes relativos ao custo de material, tempo de produção dos veículos e até mesmo em relação à confiabilidade dos sistemas de controle.

Na Figura 10 pode-se ter uma noção das conexões requeridas em um sistema automotivo simples, cujas ECUs estejam conectadas ponto a ponto.

Fonte: Baseado em BRAGAZZA, 2000

Figura 10 – Ligação Ponto a Ponto de sistemas embarcados

A solução para este problema é a troca da forma de comunicação entre estas ECUs, devendo-se considerar um protocolo que garanta os fatores mencionados no item 3.1 desta dissertação.

O protocolo que cobre todos estes requisitos é o CAN; desenvolvido originalmente pela companhia alemã Robert Bosch para utilização na indústria automotiva, a qual buscava basicamente a comunicação efetiva e de custos reduzidos às aplicações embarcadas de modo geral (SCHOFIELD, 1999).

A Figura 11 ilustra como o sistema embarcado mostrado na Figura 10 ficaria, caso a arquitetura do veículo fosse baseada em CAN.

Fonte: Baseado em BRAGAZZA, 2000

Figura 11 – Ligação via CAN de sistemas embarcados

3.4.1 Conceituação Geral

O CAN (ISO, 1993) é um protocolo de comunicação serial síncrono. O sincronismo entre os módulos conectados a rede é feito em relação ao início de cada mensagem lançada ao barramento (evento que ocorre em intervalos de tempo conhecidos e regulares).

Trabalha baseado no conceito multi-mestre, onde todos os módulos podem se tornar mestre em determinado momento e escravo em outro, além de suas mensagens serem enviadas em regime *multicast*, caracterizado pelo envio de toda e qualquer mensagem para todos os módulos existentes na rede.

Outro ponto forte deste protocolo é o fato de ser fundamentado no conceito CSMA/CD with NDA (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection with Non-Destructive Arbitration*). Isto significa que todos os módulos verificam o estado do barramento, analisando se outro módulo está ou não enviando mensagens com maior prioridade. Caso isto seja percebido, o módulo cuja mensagem tiver menor prioridade cessará sua transmissão e o de maior prioridade continuará enviando sua mensagem deste ponto, sem ter que reiniciá-la.

Outro conceito bastante interessante é o NRZ (*Non Return to Zero*), onde cada bit (0 ou 1) é transmitido por um valor de tensão específico e constante.

A velocidade de transmissão dos dados é inversamente proporcional ao comprimento do barramento. A maior taxa de transmissão especificada é de 1Mbps considerando-se um barramento de 40 metros. A Figura 12 representa a relação entre o comprimento da rede (barramento) e a taxa de transmissão dos dados.

Fonte: Baseado em ISO, 1993

Figura 12 – Taxa de Transmissão vs. Comprimento da Rede

Considerando-se fios elétricos como o meio de transmissão dos dados, existem três formas de se constituir um barramento CAN, dependentes diretamente da quantidade de fios utilizada. Existem redes baseadas em 1, 2 e 4 fios. As redes com 2 e 4 fios trabalham com os sinais de dados CAN_H (*CAN High*) e CAN_L (*CAN Low*). No

caso dos barramentos com 4 fios, além dos sinais de dados, um fio com o VCC (alimentação) e outro com o GND (referência) fazem parte do barramento, levando a alimentação às duas terminações⁴ ativas da rede. As redes com apenas 1 fio têm este, o fio de dados, chamado exclusivamente de linha CAN.

Considerando o CAN fundamentado em 2 e 4 fios, seus condutores elétricos devem ser trançados e não blindados. Os dados enviados através da rede devem ser interpretados pela análise da diferença de potencial entre os fios CAN_H e CAN_L. Por isso, o barramento CAN é classificado como Par Trançado Diferencial. Este conceito atenua fortemente os efeitos causados por interferências eletro-magnéticas, uma vez que qualquer ação sobre um dos fios será sentida também pelo outro, causando flutuação nos sinais de ambos para o mesmo sentido e com a mesma intensidade. Como o que vale para os módulos que recebem as mensagens é a diferença de potencial entre os condutores CAN_H e CAN_L (e esta permanecerá inalterada), a comunicação não é prejudicada.

No CAN, os dados não são representados por bits em nível “0” ou nível “1”. São representados por bits Dominantes e bits Recessivos, criados em função da condição presente nos fios CAN_H e CAN_L. A Figura 13 ilustra os níveis de tensão em uma rede CAN, assim como os bits Dominantes e Recessivos.

Fonte: Baseado em ISO, 1993

Figura 13 – Níveis de Tensão no CAN (conforme ISO11898)

4: O conceito de Terminação está relacionado com a impedância da rede e a forma como se deseja compatibilizá-la com as ECUs a ela conectadas.

Como mencionado no início deste item, todos os módulos podem ser mestre e enviar suas mensagens. Para tanto, o protocolo é suficientemente robusto para evitar a colisão entre mensagens, utilizando-se de uma arbitragem bit a bit não destrutiva. Pode-se exemplificar esta situação analisando o comportamento de dois módulos enviando, ao mesmo tempo, mensagens diferentes. Após enviar um bit, cada módulo analisa o barramento e verifica se outro módulo na rede o sobrescreveu (vale acrescentar que um bit Dominante sobrescreve eletricamente um Recessivo). Um módulo interromperá imediatamente sua transmissão, caso perceba que existe outro módulo transmitindo uma mensagem com prioridade maior (quando seu bit recessivo é sobrescrito por um dominante). Este módulo, com maior prioridade, continuará normalmente sua transmissão.

3.4.2 Formatos das Mensagens

Existem dois formatos de mensagens no protocolo CAN (ISO, 1993):

CAN 2.0A: Mensagens com identificador de 11 bits. É possível ter até 2048 mensagens em uma rede constituída sob este formato, o que pode caracterizar uma limitação em determinadas aplicações. A Figura 14 apresenta o quadro de mensagem do CAN 2.0A.

Fonte: ISO,1993

Figura 14 – Quadro de Mensagem – CAN 2.0A

CAN 2.0B: Mensagens com identificador de 29 bits. É possível ter aproximadamente 537 milhões de mensagens em uma rede constituída sob este formato. Percebe-se que a limitação em virtude da quantidade de mensagens não mais existe. Por outro lado, o que pode ser observado em alguns casos é que, os 18 bits adicionais no identificador aumentam o tempo de transmissão de cada mensagem, o que pode caracterizar um problema em determinadas aplicações que trabalhem em tempo-real

(problema conhecido como *overhead*⁵). A Figura 15 apresenta o quadro de mensagem do formato CAN 2.0B.

Fonte: ISO,1993

Figura 15 – Quadro de Mensagem – CAN 2.0B

3.4.3 Padrões Existentes

Os fundamentos do CAN são especificados por duas normas (GUIMARÃES, 2001): a ISO11898 e a ISO11519-2. A primeira, ISO11898, determina as características de uma rede trabalhando com alta velocidade de transmissão de dados (de 125Kbps a 1Mbps). A segunda, ISO11519-2, determina as características de uma rede trabalhando com baixa velocidade (de 10Kbps a 125Kbps).

Ambos os padrões especificam as camadas física e de dados, respectivamente 1 e 2 se considerado o padrão de comunicação OSI de 7 camadas (ISO7498). As demais camadas, da 3 à 7, são especificadas por outros padrões, cada qual relacionado a uma aplicação específica.

Existem diversos padrões fundamentados no CAN, dentre os quais pode-se destacar:

- NMEA 2000: Baseado no CAN 2.0B e utilizado em aplicações navais e aéreas.
- SAE J1939: Baseado no CAN 2.0B e utilizado em aplicações automotivas, especialmente ônibus e caminhões.
- DIN 9684 – LBS: Baseado no CAN 2.0A e utilizado em aplicações agrícolas.
- ISO 11783: Baseado no CAN 2.0B e também utilizado em aplicações agrícolas.

5: *Overhead* é o tempo de processamento requerido para a verificação de erros e o controle da transmissão.

Os padrões supracitados especificam o equivalente às camadas de Rede (3), Transporte (4), Sessão (5), Apresentação (6) e Aplicação (7), do padrão OSI, incluindo-se as mensagens pertinentes ao dicionário de dados de cada aplicação em especial.

Por diversas vezes, quando se analisa um protocolo de comunicação (BRAGAZZA, 2000), este pode ser associado a uma determinada classe, que poderá ser “A”, “B” ou “C” (conforme glossário de termos técnicos da norma SAE J1213). A Classe “A” abrange os protocolos que trabalham em baixa velocidade (até 10Kbps). A Classe “B” abrange os protocolos que trabalham em média velocidade (de 10Kbps a 125Kbps). A Classe “C”, por fim, abrange os protocolos que trabalham em alta velocidade (de 125Kbps a 1Mbps). O CAN está classificado dentro das classes “B” e “C”, dependendo diretamente da aplicação analisada.

3.4.4 Detecção de Falhas

Algumas das maiores vantagens do CAN é a sua robustez e a capacidade de se adaptar às condições de falha (ISO, 1993); (BRAGAZZA, 2000), temporárias e/ou permanentes. Pode-se classificar as falhas em uma rede CAN em três categorias ou níveis: Nível de Bit, Nível de Mensagem e Nível Físico.

Nível de Bit: Possui dois tipos de erro possíveis:

- *Bit Monitoring*: Após a escrita de um bit dominante, o módulo transmissor verifica o estado do barramento. Se o bit lido for recessivo, significará que existe um erro no barramento.
- *Bit Stuffing*: Apenas cinco bits consecutivos podem ter o mesmo valor (dominante ou recessivo). Caso seja necessário transmitir sequencialmente seis ou mais bits de mesmo valor, o módulo transmissor inserirá, imediatamente após cada grupo de cinco bits consecutivos iguais, um bit de valor contrário. O módulo receptor ficará encarregado de, durante a leitura, retirar este bit, chamado de *Stuff Bit*. Caso uma mensagem seja recebida com pelo menos seis bits consecutivos iguais, algo de errado terá ocorrido no barramento.

Nível de Mensagem: São três os tipos de erro possíveis:

- *CRC ou Cyclic Redundancy Check*: Funciona como um *checksum*. O módulo transmissor calcula um valor em função dos bits da mensagem e o transmite juntamente com ela. Os módulos receptores recalculam este CRC e verificam se este é igual ao transmitido com a mensagem.
- *Frame Check*: Os módulos receptores analisam o conteúdo de alguns bits da mensagem recebida. Estes bits (seus valores) não mudam de mensagem para mensagem e são determinados pelo padrão CAN.
- *Acknowledgment Error Check*: Os módulos receptores respondem a cada mensagem íntegra recebida, escrevendo um bit dominante no campo ACK de uma mensagem resposta que é enviada ao módulo transmissor. Caso esta mensagem resposta não seja recebida (pelo transmissor original da mensagem), significará que, ou a mensagem de dados transmitida estava corrompida, ou nenhum módulo a recebeu.

Toda e qualquer falha acima mencionada, quando detectada por um ou mais módulos receptores, fará com que estes coloquem uma mensagem de erro no barramento, avisando toda a rede de que aquela mensagem continha um erro e que o transmissor deverá reenviá-la.

Além disso, a cada mensagem erroneamente transmitida ou recebida, um contador de erros é incrementado em uma unidade nos módulos receptores, e em oito unidades no transmissor. Módulos com estes contadores iguais a zero são considerados Normais. Para os casos em que os contadores contêm valores entre 1 e 127, os módulos são considerados *Error Active*. Contadores contendo valores entre 128 e 255 colocam os módulos em condição de *Error Passive*. Finalmente, para contadores contendo valores superiores a 255, os módulos serão considerados em *Bus Off* e passarão a não mais atuar no barramento. Estes contadores também são decrementados a medida que mensagens corretas são recebidas, o que reduz o grau de incerteza em relação a atividade dos módulos ora com contadores contendo valores diferentes de zero e possibilita novamente a plena participação deles no barramento.

Nível Físico: Para os barramentos com 2 e 4 fios, caso algo de errado venha a ocorrer com os fios de dados CAN_H e CAN_L, a rede continuará operando sob uma espécie de modo de segurança. Seguem abaixo algumas das condições de falha nas linhas de comunicação que permitem a continuidade das atividades da rede:

- Curto do CAN_H (ou CAN_L) para GND (ou VCC);
- Curto entre os fios de dados CAN_H e CAN_L;
- Ruptura do CAN_H (ou CAN_L);

3.4.5 Aspectos de Implementação

3.4.5.1 Dicionário de Dados

É a parte mais dedicada à aplicação quando se trabalha com um protocolo como o CAN. O Dicionário de Dados (ou *Data Dictionary*) é o conjunto de mensagens que podem ser transmitidas naquela determinada rede (GMB, 2001).

A forma mais interessante de se organizar um dicionário de dados é criando uma matriz com todos os módulos da rede. Esta matriz mostrará cada mensagem sob a responsabilidade de cada módulo, relacionando quem a transmite e quem a recebe. Outros dados importantes nesta matriz são: o tempo de atualização dos valores da mensagem, o intervalo de transmissão da mesma e o valor relativo ao seu identificador. Além desta matriz, a documentação referente ao Dicionário de Dados deverá conter uma descrição detalhada de cada mensagem, bit a bit.

O Dicionário de Dados é implementado numa rede CAN via software e deverá ser o mesmo (ter a mesma versão de atualização, inclusive) em todos os módulos conectados à rede. Isto garantirá total compatibilidade entre os participantes do barramento.

3.4.5.2 Exemplo de Rede

Uma rede CAN (ISO, 1993), dependendo da sua aplicação, poderá ter até centenas de módulos conectados. O valor máximo para a conexão de módulos em um barramento depende da norma que se utiliza na dada aplicação.

Toda rede CAN possui dois Terminadores. Estes terminadores nada mais são que resistores com valores entre 120 e 124 ohms, conectados à rede para garantir a perfeita propagação dos sinais elétricos pelos fios da mesma. Estes resistores, um em cada ponta da rede, garantem a reflexão dos sinais no barramento e o correto funcionamento da rede CAN.

Outra característica de determinadas aplicações fundamentadas no CAN é que estas poderão ter duas ou mais sub-redes trabalhando, cada qual, em uma velocidade diferente. Os dados são transferidos de uma sub-rede para a outra através de módulos que atuam nas duas sub-redes. Estes módulos são chamados de *Gateways* (a serem explicados no capítulo 5).

A Figura 16 ilustra a rede CAN anteriormente apresentada para um sistema automotivo, com duas sub-redes e os dois terminadores ilustrados. O *Gateway* desta aplicação é o Painel de Instrumentos.

Fonte: Baseado em ISO, 1993

Figura 16 – Exemplo de rede CAN com *Gateway* e Terminadores

3.4.5.3 Montagem da Rede

Barramento é o termo técnico que representa os condutores elétricos das linhas de comunicação e a forma como eles são montados. Apesar de parecer simples, o ato de interligar os módulos requer bastante atenção.

Sobre o cabeamento necessário (ISO, 1993), considerando-se uma aplicação CAN de dois fios, deve-se utilizar par trançado onde a secção transversal de cada um dos fios deve ser de no mínimo $0,35\text{mm}^2$.

As duas terminações (resistores de aproximadamente 120 ohms), do ponto de vista teórico, podem ser instaladas nas extremidades do chicote, diretamente nos fios de dados CAN_H e CAN_L. Do ponto de vista prático isto é extremamente complexo. O que deve ser feito é adicionar as terminações nas duas ECUs conectadas aos extremos da rede. Se as ECUs forem montadas dependendo dos opcionais da máquina, deve-se procurar instalar as terminações nas ECUs que sempre estarão presentes nela. As terminações são mandatórias numa rede CAN.

Onde: S (máximo comprimento da ramificação) = 0,3m
 d (mínima distância entre ramificações) = 0,1m
 L (máximo comprimento da rede a 1Mbps) = 40m

Obs: O valor da distância “d” deve ser aleatório.

Fonte: AGRITHECNICA, 1999

Figura 17 – Geometria de uma rede CAN

No momento de se projetar o roteamento do barramento (AGRITHECNICA, 1999), algumas regras em relação ao comprimento dos chicotes devem ser observadas. O sincronismo das operações das ECUs no CAN é fundamentado no tempo de propagação física das mensagens no barramento. Assim, a relação do comprimento de determinados intervalos do chicote no barramento são fundamentais ao bom funcionamento da rede.

A Figura 17 mostra um diagrama que ilustra as medidas que devem ser observadas no desenvolvimento do chicote.

Destaca-se que, após o barramento ser montado, caso seja necessário qualquer retrabalho no mesmo, é aconselhável a troca do chicote elétrico danificado. Emendas poderão alterar a impedância característica da rede e com isso afetar o seu funcionamento.

3.5. Considerações Finais

Neste capítulo, através da avaliação dos três protocolos acima descritos (RS232, RS485 e CAN Bus), pode-se concluir que o CAN possui características que o qualificam para o desenvolvimento de aplicações embarcadas - Veiculares ou Agrícolas (GUIMARÃES, 2001).

Este capítulo trata das normas baseadas no protocolo CAN e já consideradas, de alguma forma, em aplicações agrícolas. Ao final do capítulo é feita uma comparação entre os padrões e é sugerido um deles como o melhor para aplicações agrícolas futuras.

4. O CAN BUS NA AGRICULTURA

4.1. Introdução

Como citado anteriormente, existem vários padrões fundamentados no CAN - padrão ISO11898 para redes de alta velocidade e ISO11519-2 para redes de baixa velocidade. Alguns deles já foram considerados em estudos e no desenvolvimento de algumas aplicações agrícolas. Destacam-se os seguintes:

- SAE J1939: Originalmente desenvolvida para ônibus e caminhões;
- DIN9684 – LBS: Desenvolvida especificamente para aplicações agrícolas;
- ISO11783: Padrão em desenvolvimento a ser utilizado em aplicações agrícolas;
- ISOBUS: Reunião de algumas informações da ISO11783, já liberadas (em avançado) pela ISO com o intuito de orientar determinados desenvolvimentos agrícolas.

4.2. SAE J1939

Este padrão define todos os níveis necessários a um protocolo, para que o mesmo possa ser efetivamente utilizado em aplicações completas (KVASER, 2000a), especialmente as relacionadas a ônibus e caminhões, segmentos para os quais a J1939 foi desenvolvida.

Baseada no CAN 2.0B, a J1939 foi considerada como ponto de partida dos trabalhos que buscam a criação de um padrão agrícola internacional ISO (STONE; ZACHOS, 2000); (STONE, 2000). Partes do padrão internacional (em desenvolvimento) foram baseadas na J1939. Por outro lado, partes da J1939 foram modificadas, recebendo informações e requisitos destinados às aplicações agrícolas (STONE; ZACHOS, 2000).

Trabalha com velocidade de transmissão de 250Kbps, comportando até 30 nós conectados a cada segmento do barramento.

O cabeamento utilizado possui 4 fios trançados, um para a linha CAN_H, outro para a linha CAN_L e os demais para a alimentação das terminações (Alimentação ou Bateria e Referência ou Terra).

Comparando-se as partes da J1939 com as correspondentes ISO, percebe-se claramente que o esperado padrão internacional procura tirar da norma SAE, especificações já implementadas e validadas em outras aplicações (STONE, 2000).

Destaca-se a Camada de Enlace (*Data Link Layer*) onde dois PDUs (*Protocol Data Units*) são utilizados. Estes PDUs serão melhor descritos no capítulo 5. De qualquer forma, vale adiantar que é possível transmitir até 8672 mensagens diferentes, 480 sob o PDU #1 e 8192 sob o PDU #2 e a quantidade de bytes de dados a serem transmitidos pode variar de 8 a 1785 (STEPPER, 1999).

4.3. DIN9684 – LBS

A LBS (*Landwirtschaftliches Bus System* ou *Agricultural Bus System*) (GUIMARÃES, 2001), como é chamada no meio agrícola, foi desenvolvida com base no CAN 2.0A, especificamente para as aplicações agrícolas. O grupo responsável por sua criação foi formado pela LAV (Associação dos Fabricantes de Máquinas Agrícolas), empresas e instituições alemãs. Finalizado em 1993 (LAV, 1998); (LAV, 2000a); (LAV, 2000b), a principal motivação para sua criação foi o crescimento acelerado da disponibilidade de equipamentos eletrônicos para aplicações agrícolas (SPECKMANN; JAHNS, 1999).

Este protocolo define todos os componentes necessários a um barramento de comunicação agrícola, tendo como características principais (SPECKMANN; JAHNS, 1999) a capacidade de trabalhar com até 2048 mensagens diferentes e interligando o máximo de 20 nós em uma rede de 40 metros e taxa de transmissão de 125 Kbps.

Diversos equipamentos, desenvolvidos sob ela, já são comercializados. Como exemplo, pode-se citar o sistema *Fieldstar* (FIELDSTAR, 2000), hoje comercializado como opcional dos tratores da empresa *Massey Ferguson ou AGCO*. Trata-se de um terminal de operação responsável por receber todos os dados disponíveis no trator e implementos, calcular a partir deles uma série de informações e orientar o operador do sistema à realização de determinadas ações requeridas à boa continuidade das atividades. A Tabela 1 mostra alguns equipamentos disponíveis, desenvolvidos considerando-se a LBS.

Fabricante	Equipamento em Comercialização
Hardi	Controlador de Pulverização
LH-Agro	Interface Adaptadora (Sinais Discretos X LBS)
AGCO-Fieldstar	Terminal Virtual
John Deere	Terminal Virtual
Muller / AgroCom	Terminal Virtual
Kverneland	Terminal Virtual
WTK	Terminal Virtual

Tabela 1 – DIN9684: Produtos e seus Fabricantes

Entretanto, analisando-se as várias literaturas disponíveis (SPECKMANN; JAHNS, 1999); (SIGRIMIS, 2000); (SPECKMANN, 2000), percebe-se que mesmo sendo aplicado a equipamentos já em comercialização, a LBS não é a melhor solução para todas as aplicações agrícolas, especialmente as futuras. Um padrão com uma maior quantidade de pontos disponíveis na rede, maior taxa de transmissão e maior quantidade de mensagens, o que aumentaria a flexibilidade do sistema, é realmente necessário. De qualquer forma, todos os trabalhos realizados sobre a LBS têm sido utilizados como referência às atividades da Comissão ISO que trata da criação da ISO11783.

A Tabela 2 relaciona as partes existentes da norma LBS (SPECKMANN; JAHNS, 1999).

Parte	Descrição em Português (Descrição Oficial em Inglês)
Parte 1	Conexão Ponto a Ponto (Point to Point Connection)
Parte 2	Barramento Serial de Dados (Serial Data Bus)
Parte 3	Funções do sistema, Identificador (System Functions, Identifier)
Parte 4	Estação do Usuário (User Station)
Parte 5	Troca de Dados com o Sistema de Gerenciamento de Informações. Controlador de Tarefa #1 (Data Exchange with the Management Information System, Task Controller #1)

Tabela 2 – Partes da DIN9684 (LBS)

4.4. ISO11783

O ISO11783 é um padrão de comunicação agrícola baseado no CAN 2.0B. Está em desenvolvimento pelo grupo de trabalho ISO TC23/SC19/WG1, que procura reunir os diversos requerimentos dos sistemas agrícolas atuais e predizer o que seria interessante em um protocolo de comunicação, para que o mesmo seja flexível e possa suportar as diversas aplicações futuras (SIGRIMIS, 2000).

Esta norma, assim como a DIN9684 – LBS, define todos os componentes necessários a um barramento agrícola. Tem como características principais (HOFSTEE; GOENSE, 1999); (STONE, 2000) a capacidade de trabalhar com até 8672 mensagens diferentes (condição adquirida da SAE J1939) e interligando o máximo de 256 nós em uma rede de 40 metros e taxa de transmissão de 250 Kbps. Adiante, no capítulo 5 desta dissertação, a norma ISO11783 terá seus conceitos principais explicados.

Como dito anteriormente (SPECKMANN; JAHNS, 1999); (SIGRIMIS, 2000); (SPECKMANN, 2000), grande parte dos resultados obtidos com os demais protocolos de comunicação em aplicações agrícolas têm sido direcionados aos trabalhos de criação da ISO11783. Este fator garante a abrangência desta norma a

todas as aplicações agrícolas existentes (as atuais que operam sob a DIN9684) e às futuras.

A Tabela 3 relaciona as partes existentes da norma ISO11783 (SPECKMANN; JAHNS, 1999). Vale mencionar que se optou pela separação da norma em onze partes, nomeando-as da forma apresentada a seguir, com o intuito de facilitar a relação da ISO11783 ao padrão de comunicação OSI de 7 camadas (ISO7498).

Parte	Descrição em Português (Descrição Oficial em Inglês)
Parte 1	Padrão Geral para Comunicação Móvel de Dados (General Standard for Mobile Data Communication)
Parte 2	Camada Física (Physical Layer)
Parte 3	Camada de Enlace (Data Link Layer)
Parte 4	Camada de Rede (Network Layer)
Parte 5	Camada de Gerenciamento (Network Management)
Parte 6	Terminal Virtual (Virtual Terminal)
Parte 7	Camada de Aplicação de Mensagens do Implemento (Implement Messages Applications Layer)
Parte 8	Mensagens do Motor e Transmissão (Powertrain Messages)
Parte 9	ECU do Trator (Tractor ECU)
Parte 10	Controlador de Tarefa & Interface do Computador de Gerenciamento (Task controller & Management Computer Interface)
Parte 11	Dicionário de Dados (Data Dictionary)

Tabela 3 – Partes da ISO11783

4.5. ISOBUS

A ISOBUS é assim chamada pois reúne algumas informações de determinadas partes da norma ISO11783. O objetivo desta recomendação – ISOBUS – é permitir que alguns segmentos da indústria de equipamentos agrícolas, especialmente os ligados ao desenvolvimento de Monitores de Operação ou Terminais Virtuais, iniciem suas atividades fundamentados em documentos com conteúdo oficial, internacional e, especialmente, padronizado.

O que se espera com a liberação do chamado “Conjunto Mínimo do Padrão⁶” é que parte dos desenvolvimentos atualmente em andamento, já considerem os conceitos da ISO11783 em seus projetos (FELLMETH, 2002).

O trecho abaixo, retirado do documento oficial da ISOBUS (ISO, 2002), descreve o sentimento do grupo responsável por sua liberação:

“ISOBUS é a especificação comum dos fabricantes participantes da aplicação uniforme do padrão internacional de Controle Serial e Rede de Comunicação de Dados ISO11783. Como o padrão ISO é muito extenso e muito complexo para aplicação direta, uma especificação orientada à aplicação foi dele derivado: ISOBUS”.

De acordo com membros participantes do grupo ISO, a ISOBUS será atualizada no início de 2003; quando ocorrerão mudanças nas especificações relacionadas aos Terminais Virtuais e, conseqüentemente, nos projetos relacionados a tais sistemas (FELLMETH, 2002).

Iniciativas como esta, de liberar um conjunto mínimo de especificações relacionadas a um padrão completo, mostram a preocupação das instituições e empresas relacionadas à agricultura em dar subsídios tecnológicos ao desenvolvimento de sistemas de controle modernos e, acima de tudo, internacionalmente padronizados.

4.6. Comparação entre as Normas

Pode-se avaliar cada um dos padrões citados anteriormente de duas formas: Técnica e de Mercado (GUIMARÃES, 2001).

Do ponto de vista técnico, os padrões SAE J1939 e ISO11783 são similares, posição reforçada pelo fato de eles terem partes de suas normas em comum. Sendo fundamentados no CAN 2.0B e com taxa de transmissão de 250Kbps, torna-se possível através deles a implementação de sistemas flexíveis e com boa capacidade de expansão.

6: O *Minimum Standard Set* (ou Conjunto Mínimo do Padrão) é o nome do documento que representa o ISOBUS.

Já o DIN9684 – LBS, especialmente por ter sido fundamentado no CAN 2.0A, por agregar não mais que 20 nós e trabalhar com taxa de transmissão máxima de 125Kbps, não suportaria determinadas necessidades de controle embarcado (SPECKMANN; JAHNS, 1999); (SIGRIMIS, 2000); (STONE, 2000).

Do ponto de vista de mercado, se analisados os mesmos três padrões, percebe-se que o único com sistemas efetivamente implementados e comercializados é o DIN9684 – LBS, sendo em sua grande maioria Monitores de Operação e Terminais Virtuais (HOFSTEE; GOENSE, 1999); (STONE; ZACHOS, 2000); (FIELDSTAR, 2000). Por outro lado, a ISOBUS tem sido referência a diversos fabricantes e ferramentas de trabalho no desenvolvimento de vários sistemas, especialmente Receptores GPS, Terminais Virtuais e Unidades de Controle de Trator e Implemento, que deverão estar disponíveis a partir de 2003 (FELLMETH, 2002).

A Tabela 4 relaciona alguns fabricantes e seus dispositivos cujo desenvolvimento tem sido fundamentado na ISOBUS (FELLMETH, 2002).

Fabricante	Dispositivo ou Equipamento em Desenvolvimento
Beeline Technologies	Receptor GPS
Caterpillar / AGCO	ECU de Trator
CNH Global	Terminal Virtual
John Deere	Terminal Virtual ECU de Implemento
Kverneland	Terminal Virtual ECU de Implemento
Satloc	Receptor GPS
Technical University of Muenchen	ECU Controladora de Tarefas Indicador de Implemento (espécie de Terminal Virtual)
Trimble	Receptor GPS
Vector Informatik	Ferramenta de Análise CANoe 4.0

Tabela 4 – ISOBUS: Produtos e seus Fabricantes

Finalmente, considerando-se as partes de cada uma das normas como similares entre si em vários aspectos, a análise de suas documentações resulta em uma tabela de equivalência entre elas.

A Tabela 5 relaciona as partes das normas SAE J1939, DIN9684 – LBS e ISO11783 (GUIMARÃES, 2001).

Descrição da Parte	Normas e Partes		
	ISO 11783	SAE J1939	DIN 9684
Padrão Geral para Comunicação Móvel de dados	#1	#2	Não Disponível
Camada Física	#2	#12	#2
Camada de Enlace	#3	#21	#3
Camada de Rede	#4	#31	#2 e #3
Camada de Gerenciamento	#5	#81	#3
Terminal Virtual	#6	#72	#4
Camada de Aplicação de Mensagens do Implemento	#7	Não Disponível	#3
Mensagens do Motor e Transmissão	#8	Não Disponível	Não Disponível
ECU do Trator	#9	#71	Não Disponível
Controlador de Tarefa & Interface do Computador de Gerenciamento	#10	Não Disponível	#5
Dicionário de Dados	#11	Não Disponível	#3

Tabela 5 – Equivalência entre as partes das Principais Normas

4.7. Considerações Finais

Neste capítulo mencionou-se que grande parte das atividades executadas até o momento, não só com a LBS, mas também com a SAE J1939, buscaram e contribuíram para o aumento das experiências com os protocolos de comunicação serial nas aplicações agrícolas e auxiliaram o desenvolvimento do padrão ISO11783.

Por observações como esta, reforçada ainda pela liberação de um padrão ISO simplificado, o ISOBUS, é que se acredita ser a ISO11783 a melhor norma para as aplicações agrícolas atuais e futuras (GUIMARÃES, 2001).

Este capítulo analisa a norma ISO11783 parte a parte e sugere um roteiro de estudo e implementação da norma, que facilitará o desenvolvimento de aplicações futuras.

5. ISO11783: O CAN BUS AGRÍCOLA

Considerando-se as atividades envolvidas no desenvolvimento de uma determinada aplicação, deve-se considerar como uma das etapas do processo a análise da norma do protocolo a ser utilizado. Este trabalho de avaliação de uma norma é, geralmente, complexo e demorado, demandando recursos nem sempre disponíveis. Baseando-se nisso, este capítulo propõe um roteiro de análise e implementação da ISO11783.

5.1. Análise da Norma – Características Principais

A norma ISO11783 tem sido desenvolvida desde 1991 pelo grupo internacional ISO TC23/SC19/WG1⁷, com o intuito de estabelecer um padrão internacional de comunicação às aplicações agrícolas. É composta por onze partes, das quais quatro já estão finalizadas e publicadas como padrão internacional, enquanto as demais têm sido objeto de estudos e atualizações por parte desse grupo de trabalho.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa de mestrado, foram estabelecidos vários contatos nacionais e internacionais, dos quais pode-se destacar, a abertura de um canal de comunicação direto com o grupo ISO, conseguido através da empresa Vector Informatik GmbH (FELLMETH, 2002). Dentre os vários *e-mails* trocados com esta empresa, destaca-se o que relaciona cada uma das partes da norma e a sua situação em Agosto de 2002, última reunião do grupo ISO. A Tabela 6 relaciona estas informações (FELLMETH, 2002).

O grupo ISO tem como plano de trabalho a realização de três a quatro reuniões anuais para discussões gerais da norma, sendo atualmente o foco das atividades o estudo e desenvolvimento das partes 6 (Terminal Virtual) e 9 (ECU do Trator) (FELLMETH, 2002).

7: TC23/SC19/WG1 significa "Technical Committee 23 (Tractors and machinery for agriculture and forestry) / Sub-Committee 19 (Agricultural Electronics) / Working Group 1 (Mobile equipment) – [www.iso.org].

A finalização das atividades sobre esta norma, assim como sua publicação final, não possui data estabelecida (FELLMETH, 2002). Entretanto, percebe-se forte pressão por parte das empresas e instituições agrícolas no sentido de se finalizar este padrão durante o ano de 2003.

Parte	Descrição em Português (Descrição Oficial em Inglês)	Situação em Agosto 2002
Parte 1	Padrão Geral para Comunicação Móvel de dados (General Standard for Mobile Data Communication)	Rascunho de Trabalho (Working Draft)
Parte 2	Camada Física (Physical Layer)	Padrão Internacional (International Standard)
Parte 3	Camada de Enlace (Data Link layer)	Padrão Internacional (International Standard)
Parte 4	Camada de Rede (Network Layer)	Padrão Internacional (International Standard)
Parte 5	Camada de Gerenciamento (Network Management)	Padrão Internacional (International Standard)
Parte 6	Terminal Virtual (Virtual Terminal)	Rascunho Final (Final Draft)
Parte 7	Camada de Aplicação de Mensagens do Implemento (Implement Messages Applications Layer)	Rascunho Final (Final Draft)
Parte 8	Mensagens do Motor e Transmissão (Powertrain Messages)	Rascunho de Trabalho (Working Draft)
Parte 9	ECU do Trator (Tractor ECU)	Rascunho Final (Final Draft)
Parte 10	Controlador de Tarefa & Interface do Computador de Gerenciamento (Task controller & Management Computer Interface)	Rascunho de Trabalho (Working Draft)
Parte 11	Dicionário de Dados (Data Dictionary)	Rascunho de Trabalho (Working Draft)

Tabela 6 – Partes da ISO11783: Situação em Agosto de 2002

A Figura 18 ilustra uma rede de comunicação de dados baseada na ISO11783. Cada componente desta rede será abordado adiante.

Fonte: Adaptado de SOUSA, 2002

Figura 18 – Rede de comunicação baseada na ISO11783

Os parágrafos seguintes descrevem as características principais de cada parte da norma:

Parte 1 – Padrão Geral para Comunicação Móvel de dados (*General Standard for Mobile Data Communication*) (ISO, 1994a):

Esta parte é uma espécie de introdução às demais. Menciona os documentos ISO que servem de referência à criação da ISO11783, assim como uma Lista de Definições e uma Lista de Abreviações utilizadas pelas demais partes.

O modelo OSI de 7 camadas (ISO7498) é sucintamente explicado, assim como cada uma das demais partes da ISO11783 (da 2 à 11).

Em seus anexos, podem ser encontradas tabelas que relacionam os valores possíveis dos seguintes componentes do protocolo:

- PDUs #1 e #2 – *Protocol Data Unit* (Unidade de Dados do Protocolo),
- PG – *Parameter Group* (Grupo de Parâmetros),

- IG – *Industry Group* (Grupo de Indústria),
- SA – *Source Address* (Endereço-Fonte) e
- DID – *Device Identifier* (Identificador de Dispositivo).

Além destas tabelas, alguns formulários para solicitação de alteração da norma estão disponíveis. Eles podem ser utilizados por qualquer pessoa, empresa ou entidade que tenha alguma sugestão às partes da norma.

Parte 2 – Camada Física (*Physical Layer*) (ISO, 1994b):

Esta parte estabelece as características físicas do protocolo que devem ser consideradas por aplicações baseadas na ISO11783.

A quantidade máxima de ECUs permitida por segmento em uma dada aplicação é de 30 unidades. O cabeamento deve ser constituído por um conjunto não blindado de quatro fios trançados, cujas denominações são:

- CAN_H – CAN High
- CAN_L – CAN Low
- CAN_BAT – CAN Battery
- CAN_GND – CAN Ground

Assim como descrito na ISO11898 (Figura 13), existem dois níveis de tensão em um barramento baseado na ISO11783 (referentes aos bits dominante e recessivo). Por outro lado, diferentemente do especificado pela ISO11898, a ISO11783 estabelece que um bit recessivo é representado por uma tensão diferencial V_{diff} de -1 volt, enquanto que um bit dominante é representado por uma tensão diferencial V_{diff} de $+1$ volt.

A curva que representa tal comportamento pode ser vista na Figura 19.

Fonte: ISO, 1994b

Figura 19 – Níveis de Tensão no CAN (conforme ISO11783)

A taxa de transmissão indicada pelo padrão é de 250 Kbps e o comprimento máximo da rede é de 40 metros.

A norma também trata dos requisitos relacionados aos tempos internos às ECUs e à rede (como o tempo interno de atraso e a sua propagação), e as formas de sincronização das ECUs conectadas à rede.

Outro ponto tratado pela parte 2 da ISO11783 é o conceito de terminação. Deve-se considerar terminações ativas, as quais têm seus conceitos eletrônicos descritos nos anexos da parte em questão. Vale mencionar que a norma ISO11898 especifica terminações passivas, implementadas por dois resistores de 120 ohms cada (ambos conectados em qualquer parte da rede, entre as linhas CAN_H e CAN_L).

Sobre a topologia da rede, é especificado que ela deve seguir uma estrutura linear com o intuito de evitar ressonâncias no cabeamento. O diagrama anteriormente mostrado na Figura 17 mostra as medidas recomendadas pelo padrão.

Outros componentes especificados pela ISO11783 são os conectores utilizados na montagem da rede. Seus formatos, tamanhos e disposição dos pinos e funções são

relacionados com o intuito de assegurar a intercambiabilidade entre sistemas de diferentes fabricantes.

Diversos testes de conformidade são descritos procurando-se garantir que as características elétricas da rede satisfaçam a norma. Além disso, uma série de condições de rompimento e curto-circuito dos quatro fios envolvidos na comunicação e alimentação são descritas e seus efeitos explicados. A Figura 20 mostra cada uma das condições consideradas pela norma.

Fonte: STRAUSS, 2001

Figura 20 – Rompimentos e Curtos em uma rede ISO11783

Parte 3 – Camada de Enlace (*Data Link Layer*) (ISO, 1997):

Esta parte da norma é responsável por descrever o método e o formato da transferência dos dados entre os vários componentes do sistema. De acordo com a descrição desta parte, o controle de fluxo dos dados em uma dada transmissão é conseguido através de um formato de quadro de mensagem consistente. No caso da ISO11783, o formato das mensagens é baseado na especificação CAN 2.0B, onde os identificadores das mensagens são formados por 29 bits. De qualquer forma, uma rede desenvolvida sob os conceitos desta norma ISO deverá ser capaz de trabalhar com ambos os formatos, CAN 2.0B e CAN 2.0A, sendo este último caso utilizado

por mensagens proprietárias. As Figuras 14 e 15, mostradas anteriormente, ilustram os dois formatos possíveis de mensagens.

Um conceito importante, que deve ser entendido quando se analisa a norma ISO11783, é o relacionado ao termo PDU. Um PDU determina qual tipo de informação será agrupada (e como), para que uma dada mensagem seja criada e transmitida. A parte 3 da ISO estabelece que o PDU deve ser formado por sete campos pré-determinados, conforme mostrado na Tabela 7.

Representação	Descrição em Português (Descrição Oficial em Inglês)
P	Prioridade (Priority)
R	Reserva (Reserved)
DP	Página de Dados (Data Page)
PF	Formato do PDU (PDU Format)
PS	Especificidade do PDU (PDU Specific)
SA	Endereço-Fonte (Source Address)
DF	Campos de Dados (Data Fields)

Tabela 7 – Campos que compõem o PDU

Define-se cada um dos campos do PDU da seguinte forma:

- Prioridade (P): Utilizado para otimizar a latência de transmissão das mensagens. O menor valor binário deste campo significará maior prioridade e vice-versa.
- Reserva (R): Bit reserva da ISO11783. Deve ser sempre considerado igual a zero para não distorcer a verificação de prioridade.
- Página de Dados (DP): Possibilita o trabalho com duas páginas de Grupos de Parâmetros, dobrando a quantidade de PGNs⁸ disponíveis.

8: PGN é um número que representa um grupo de parâmetros que podem ser dados ou comandos.

- Formato do PDU (PF): É um dos campos utilizados na determinação dos PGNs.
- Especificidade do PDU (PS): Representa o endereço de destino da mensagem. Depende diretamente do valor do campo PF.
- Endereço-Fonte (SA): É o valor que identifica cada ECU.
- Campo de Dados (DF): Campo que pode ter até oito bytes de informações relativas às variáveis medidas no trator ou no implemento.

Percebe-se através da análise da norma que, alguns bits disponíveis no quadro completo de dados (mostrado na Figura 15) não fazem parte do PDU. São eles: SOF, SRR, IDE, RTR, campo CRC, campo ACK e campo EOF. Isto ocorre pois são controlados diretamente pela especificação CAN e, conseqüentemente, tornam-se invisíveis à aplicação em questão.

Existem dois formatos de PDU, respectivamente chamados de PDU #1 e PDU #2. O que diferencia um do outro é o conteúdo do campo PF. Caso seu valor esteja entre 0 e 239, o PDU será de formato #1. Para valores entre 240 e 255, o PDU será de formato #2. O campo PS, dependendo da mensagem a ser transmitida, carrega uma informação chamada de Endereço Destino (*Destination Address* ou DA) ou uma Extensão de Grupo (*Group Extension* ou GE) ou ainda uma mensagem proprietária. A Figura 21 ilustra o quadro de dados de cada um dos PDUs citados.

Fonte: Adaptado de SOUSA, 2002

Figura 21 – Composição dos PDUs #1 e #2

O PDU #1 permite que os Grupos de Parâmetros (PG) sejam enviados para destinos específicos e globais. O campo PS, neste caso, contém o endereço de destino do Grupo de Parâmetros (PG). Já o PDU #2 é utilizado somente para enviar grupos de parâmetros globais. Neste caso, o campo PS contém o valor Extensão de Grupo (GE).

Bits	Funções ISO11898	Bits Relacionados, Descrições e Possibilidades ISO11783			
39	DLC 1	DLC 1	Código Comprimento de Dados		
38	DLC 2	DLC 2			
37	DLC 3	DLC 3			
36	DLC 4	DLC 4			
35	r 0	r 0	Bits Reserva		
34	r 1	r 1			
33	RTR	RTR	Bit Remote Transmission Request		
32	ID0	SA 1	Endereço-Fonte (Source Address)		
31	ID1	SA 2			
30	ID2	SA 3			
29	ID3	SA 4			
28	ID4	SA 5			
27	ID5	SA 6			
26	ID6	SA 7			
25	ID7	SA 8			
24	ID8	PS 1	Especificidade do PDU (PDU Specific)	PDU #1 Endereço de Destino (DA): PF = 0 - 239 PDU #2 Extensão de Grupo (GE): PF = 240 - 254 Broadcast: PF = 255	
23	ID9	PS 2			
22	ID10	PS 3			
21	ID11	PS 4			
20	ID12	PS 5			
19	ID13	PS 6			
18	ID14	PS 7			
17	ID15	PS 8			
16	ID16	PF 1	Formato do PDU (PF) ou Conteúdo dos Dados (DC)		
15	ID17	PF 2			
14	IDE	IDE	Bit Identificador de Extensão (11 bits ou 29 bits)		
13	SRR	SRR	Substitute Remote Request		
12	ID18	PF 3	Formato do PDU	PDU #1 0 - 239 PDU #2 240 - 255	
11	ID19	PF 4			
10	ID20	PF 5			
9	ID21	PF 6			
8	ID22	PF 7			
7	ID23	PF 8			
6	ID24	DP	Página de Dados	Duas Páginas = "0" ou "1"	
5	ID25	R 1	Bit Reserva	0	
4	ID26	P 1	Prioridade	Orientada ao Controle = 011 Demais = 110	
3	ID27	P 2			
2	ID28	P 3			
1	SOF	SOF	Bit Início de Quadro		

Tabela 8 – Relação entre os bits dos PDUs ISO11783 e ISO11898

A Tabela 8 mostra a relação entre os 29 bits do identificador da norma CAN 2.0B (ISO11898) e os 29 bits da ISO11783.

Existem cinco tipos de mensagens possíveis, as quais são sumarizadas a seguir:

- Comando (*Command*): São mensagens enviadas tanto no formato PDU #1 quanto no formato PDU #2 e destinam-se à realização de ações diretas no sistema, como o controle de transmissão e torque da máquina ou seu sistema de iluminação.
- Solicitação (*Request*): São mensagens que permitem a solicitação de informações globais ou de uma fonte específica.
- Por Toda a Rede ou Resposta (*Broadcast/Response*): São mensagens utilizadas para o envio de informações por toda a rede ou para responder a uma mensagem de comando ou solicitação.
- Reconhecimento (*Acknowledgement*): São mensagens enviadas para confirmar o recebimento de uma mensagem qualquer.
- Função de Grupo (*Group Function*): São mensagens utilizadas por grupos de funções especiais, como funções proprietárias, funções de gerenciamento de rede e funções de transporte multi-pacote, entre outras.

A prioridade entre as mensagens, como explicado anteriormente, é determinada bit a bit durante a transmissão. A parte da norma ISO11783 que cobre esta tarefa é a parte 3. Da mesma forma, os mecanismos de detecção de erros, já comentados anteriormente, são especificados por esta parte.

Outro termo bastante utilizado é o PGN (*Parameter Group Number* ou Número do Grupo de Parâmetros). Um PGN na norma ISO11783 é formado pelos campos R, DP, PF e PS e representa um grupo de parâmetros que podem ser dados ou comandos.

A Tabela 9 ilustra alguns exemplos de PGNs, destacando seus campos principais e seus valores finais em hexadecimal e decimal.

PGN									
Byte 1			Byte 2	Byte 3	HEX		DEC	Tipo de PDU	
8 - 3	R	DP	PF	PS					
0	0	0	0 - 238	0	00	<i>PF</i>	00	de 00000 a 60928	PDU #1
0	0	0	239	0	00	EF	00	61184	PDU #1 Proprietário
0	0	0	240 - 254	0 - 255	00	<i>PF</i>	<i>PS</i>	de 61440 a 65279	PDU #2
0	0	0	255	0 - 255	00	FF	<i>PS</i>	de 65280 a 65535	PDU #2 Proprietário
0	0	1	0 - 239	0	01	<i>PF</i>	00	de 65536 a 126720	PDU #1
0	0	1	240 - 255	0 - 255	01	<i>PF</i>	<i>PS</i>	de 126976 a 131071	PDU #2

Tabela 9 – Exemplos de PGNs

O processo de atribuição dos PGNs leva em consideração a prioridade, a taxa de atualização dos dados, sua importância no pacote e sua quantidade associada ao grupo de parâmetros. Além de especificar os critérios de atribuição de PGNs, a norma define o formato do campo de dados, procurando maximizar sua utilização, reduzindo o *overhead* e possibilitando grandes oportunidades de expansão futura.

Outro tópico abordado por esta parte da ISO11783 é o que trata das funções do protocolo de transporte. Pode-se dividi-las em dois grandes grupos: Empacotamento / Remontagem das Mensagens e Gerenciamento das Conexões. No primeiro grupo, são especificadas as formas de tratamento de mensagens onde a quantidade de dados ultrapassa, teoricamente, os oito bytes disponíveis em um quadro normal de mensagem. No segundo grupo, são tratadas a abertura, a utilização e o fechamento de conexões virtuais entre controladores de transferência com destino específico. Neste

grupo são mencionadas as Mensagens de Gerenciamento de Conexões e as Mensagens de Transferência de Dados.

As primeiras, Mensagens de Gerenciamento de Conexões (TP.CM), são utilizadas para iniciar, fechar e controlar o fluxo dos dados, estando sub-divididas em cinco tipos:

- *Connection Mode Request to Send (TP.CM_RTS)*
- *Connection Mode Clear to Send (TP.CM_CTS)*
- *End of Message Acknowledgement (TP.CM_EndofMsgAck)*
- *Connection Abort (TP.Conn_Abort)*
- *Broadcast Announce Message (TP.CM_BAM)*

As demais, Mensagens de Transferência de Dados, (TP.DT) são utilizadas para comunicar os dados associados a um grupo de parâmetros (PG), que tenha mais de oito bytes.

Esta parte da norma é finalizada com algumas notas de aplicação, que procuram orientar o desenvolvimento de determinadas atividades relacionadas à Camada de Enlace de uma aplicação baseada na ISO11783.

Parte 4 – Camada de Rede (*Network Layer*) (ISO, 1998):

Esta parte da norma procura, principalmente, especificar a transferência de mensagens de um segmento para outro na rede. Deve-se garantir que apenas um caminho entre duas ECUs quaisquer esteja disponível. Por outro lado, na existência de segmentos de barramento redundantes, um mecanismo de detecção, seleção e reconfiguração automática do roteamento deverá ser utilizado, devendo permanecer sob a responsabilidade de controle de uma Unidade de Interconexão de Rede (NIU – *Network Interconnect Unit*).

Preserva-se nesta parte da ISO11783 a capacidade de utilização de mensagens proprietárias. Entretanto, caso estas venham a afetar o carregamento ou latência da rede, um segmento separado deverá ser considerado. A utilização de mensagens baseadas no CAN 2.0A é possibilitada; estando seu funcionamento e relacionamento com as várias ECUs da rede sob a responsabilidade do fabricante ou fornecedor do sistema.

A parte 4 da norma ISO11783 especifica as várias funções possíveis de uma NIU. São elas:

- Encaminhamento (*Forwarding*): Transferência individual de mensagens entre duas ou mais ECUs.
- Filtragem (*Filtering*): Bloqueio de mensagens a um determinado segmento, reduzindo, conseqüentemente, o seu carregamento.
- Translação de Endereço (*Address Translation*): Referenciamento de duas informações distintas (de segmentos diferentes), através de uma tabela de referência cruzada. Um simples endereço-fonte serviria para identificar um segmento destino, sem que a função particular da mensagem fosse conhecida.
- Re-empacotamento de Mensagens (*Message Repackaging*): Otimização do tráfego no barramento através do empacotamento de alguns parâmetros em uma mesma mensagem.
- Gerenciamento de Banco de Dados (*Database Management*): Capacidade de permitir a leitura e a alteração de suas características de trabalho através da rede.

Além das funções, os tipos de NIU são definidos pela ISO. A Tabela 10 mostra os tipos de NIU existentes e suas funções principais.

	Forwarding	Filtering	Address Translation	Message Management
Repeater	X			
Bridge	X	X		
Router	X	X	X	
Gateway	X	X	X	X

Tabela 10 – Tipos de NIU vs. Funções principais executadas

Parte 5 – Gerenciamento de Rede (*Network Management*) (ISO, 1999a):

Esta parte da norma apresenta os requisitos e recomendações ao gerenciamento dos endereços-fonte (*Source Address* ou SA) das ECUs conectadas à rede. A atribuição inicial do SA, feita pelo fabricante, a uma dada ECU, assim como a sua capacidade de auto-configuração, são especificadas definindo-se os processos de solicitação do uso de determinados SAs, priorização de solicitações e mensagens envolvidas.

Além disso, a sistemática para atribuição de um nome lógico a cada ECU é especificado.

A Tabela 11 apresenta os dados necessários a composição de um nome a uma determinada ECU.

		Bits		
Campo	Definição	Qtd	Nº	Byte
Endereço Auto-Configurável	Indica se a ECU é capaz de reconfigurar automaticamente seu endereço.	1	8	8
Grupo Industrial	Define e atribui o valor associado à indústria (ex.: Agricultura)	3	7 - 5	
Identificação do Dispositivo	Identifica o dispositivo (ex.: Semeadora "1")	4	4 - 1	
Classe do Dispositivo	Define o tipo de dispositivo utilizado (ex.: Semeadora)	7	8 - 2	7
Reservado	Reservado	1	1	
Definição da Função	Define o tipo de Função executada pela ECU (ex.: Controle de Taxa)	8	8 - 1	6
Identificação da Função	Identifica o número específico da função (ex.: Controle de Taxa "1")	5	8 - 4	5
Identificação da ECU	Identifica o número específico da ECU (ex.: ECU #1)	3	3 - 1	
Código do Fabricante	Identifica o Fabricante da ECU	11	8 - 1	4
			8 - 6	3
Número Identificador	Atribuído pelo Fabricante para diferenciar duas ECUs diferentes mas com a mesma função	21	5 - 1	
			8 - 1	2
			8 - 1	1

Tabela 11 – Bits formadores do Nome das ECUs

Parte 6 – Terminal Virtual (*Virtual Terminal*) (AGRITHECNICA, 1999):

Esta parte da norma especifica os conceitos relacionados aos chamados Terminais Virtuais (ou VT – *Virtual Terminal*). Estes terminais funcionam como Monitores de Operação, permitindo e facilitando a interação entre o operador e o maquinário.

O Terminal Virtual é basicamente uma reunião de recursos relacionados à Sequência de Controle do Display e às Funções de Entrada e Saída do próprio terminal. Estes recursos podem ser do tipo Máscara, Bloco, Campo, Figura, Gráfico e Variável.

A parte 6 da ISO11783 sugere, por exemplo, critérios para a criação de máscaras de visualização. A Figura 22 ilustra uma das propostas de máscaras relacionadas ao acompanhamento dos trabalhos da máquina.

Fonte: AGRITHECNICA, 2000

Figura 22 – VT: Proposta de máscara de trabalho

A Figura 23 ilustra uma das propostas de máscaras relacionadas à verificação de ocorrência de falhas.

Fonte: AGRITHECNICA, 2000

Figura 23 – VT: Proposta de máscara de verificação de falhas

Ainda não estão disponíveis no mercado, terminais virtuais baseados na norma ISO11783. Entretanto, como mencionado anteriormente, existem diversos fabricantes trabalhando em dispositivos baseados no ISOBUS, com previsão de lançamento para 2003.

Parte 7 – Camada de Aplicação de Mensagens do Implemento (*Implement Messages Application Layer*) (ISO, 2001a):

Esta parte da norma relaciona as mensagens básicas requeridas à comunicação entre o trator e seus implementos. Além disso, são especificadas as faixas de valores possíveis aos parâmetros que formam as mensagens. As Tabelas 12, 13 e 14 destacam, respectivamente, a faixa de valores para mensagens de 1, 2 e 4 bytes e formato ASCII, os Parâmetros Discretos e os Comandos de Controle.

FAIXA DE VALORES TRANSMITIDOS				
DESCRIÇÃO	1 Byte	2 Bytes	4 Bytes	ASCII
Sinal Válido	0 - 250 dec 00 - FA hex	0 - 64.255 dec 0000 - FAFF hex	0 - 4.211.081.215 dec 00000000 - FAFFFFFF hex	1 - 254 dec 01 - FE hex
Faixa Reservada	251 - 253 dec FB - FD hex	64.256 - 65.023 dec FB00 - FDFF hex	4.211.081.216 - 4.261.412.863 dec FB000000 - FDFFFFFF hex	-----
Indicação de Erro	254 dec FE hex	65.024 - 65.279 FE00 - FEFF hex	4.261.412.864 - 4.278.190.079 dec FE000000 - FEFFFFFF hex	0 dec 00 hex
Não Disponível	255 dec FF hex	65.280 - 65.535 dec FF00 - FFFF hex	4.278.190.080 - 4.294.967.294 dec FF000000 - FFFFFFFF hex	255 dec FF hex

Tabela 12 – Faixas de Valores Transmítidos

VALORES DE PARÂMETROS DISCRETOS	
DESCRIÇÃO	VALOR
Desabilitado	00
Habilitado	01
Indicação de Erro	10
Não Disponível	11

Tabela 13 – Valores de Parâmetros Discretos Disponíveis

VALORES DE PARÂMETROS DE CONTROLE	
DESCRIÇÃO	VALOR
Comando p/ Desabilitar	00
Comando p/ Habilitar	01
Reservado	10
Sem Ação	11

Tabela 14 – Valores de Parâmetros de Controle Disponíveis

Seus anexos A e B relacionam, respectivamente, as Definições dos Parâmetros e as Definições dos Parâmetros de Grupo.

No primeiro, Definições dos Parâmetros, são relacionadas as variáveis formadoras das mensagens.

As Tabelas 15 e 16 demonstram as variáveis Velocidade e Distância baseadas na Roda do Trator.

A.8	Velocidade baseada na Roda
Comprimento dos Dados = 2 Bytes	
Resolução = 0,001 m/s/bit (Byte menos significativo)	
0,256 m/s/bit (Byte mais significativo)	
Faixa de Dados = 0 - 64,255 m/s	

Tabela 15 – Exemplo de Parâmetro existente no Anexo “A.8”

A.9	Distância baseada na Roda
Comprimento dos Dados = 4 Bytes	
Resolução = 0,001 m/bit	
Faixa de Dados = 0 - 4.211.081,215 m	

Tabela 16 – Exemplo de Parâmetro existente no Anexo “A.9”

No segundo, Definições dos Parâmetros de Grupo, são relacionadas as informações pertinentes a cada mensagem. Taxa de repetição, comprimento e conteúdo do campo de dados, formato do PDU, prioridade e valor PGN são algumas informações existentes em cada mensagem especificada nesta parte da norma.

A Tabela 17 demonstra a mensagem Velocidade e Distância baseadas na Roda do Trator. Percebe-se que os Parâmetros definidos no Anexo “A” são utilizados na composição das mensagens existentes no Anexo “B” da norma. Os bytes “1” e “2” da mensagem “B.3” são formados pelo conteúdo do parâmetro “A.8”. Já os bytes “3” ao “6” são formados pelo conteúdo do parâmetro “A.9”.

B.3	Velocidade e Distância baseadas na Roda
Bytes: 1-2	= Velocidade Baseado na Roda = XX (A.8)
3-6	= Distância Baseada na Roda = XX (A.9)
7	= Tempo Máximo de Carga Elétrica = 00
8	= bits: 8-5 = Reservado = 0000
4-3	= Estado da Chave de Ignição = 11
2-1	= Direção do Trator = XX (A.10)

Tabela 17 – Exemplo de Mensagem existente no Anexo “B.3”

Parte 8 – Mensagens do Motor e Transmissão (*Powertrain Messages*)
(AGRITHECNICA, 1999):

Esta parte da norma é similar à parte 7. Entretanto, ela relaciona as mensagens básicas relativas ao funcionamento do Motor, como por exemplo:

- Posição do Pedal do Acelerador,
- Controle de Torque e Velocidade,
- Situação de Trabalho da Transmissão e
- Condição Instantânea do Sistema de Freios.

Parte 9 – ECU do Trator (*Tractor ECU*) (ISO, 2000):

Esta parte da norma classifica a ECU do Trator considerando determinadas categorias: três relacionadas às interfaces de implemento, uma relacionada ao suporte à navegação e uma relacionada ao suporte de implementos montados na parte frontal do trator.

Esta ECU (ECU do Trator) trabalha como *Gateway* entre o barramento do trator e o barramento do implemento, o que implica em conduzir as mensagens da rede instalada no trator à rede instalada no implemento e vice-versa.

Outra tarefa realizada por esta ECU é o controle das funções do trator. Destacam-se entre elas: as funções de Controle da Iluminação (faróis e lanternas), de Controle da Alimentação dos Implementos conectados ao barramento, da Medição dos Valores de Velocidade da Roda e de Monitoramento da Situação do Engate que conecta o trator aos implementos.

Parte 10 – Controlador de Tarefa & Interface do Computador de Gerenciamento (*Task Controller & Management Computer Interface*) (ISO, 2001b):

Esta parte da norma define os requisitos e serviços necessários à comunicação entre o Controlador de Tarefas (ECU responsável por enviar, receber e armazenar os dados do processo) e as demais ECUs, e especifica o gerenciamento das tarefas previstas e realizadas pela máquina.

O formato dos dados a serem trocados entre o Controlador de Tarefas e as demais ECUs é especificado considerando-se diversos critérios, conhecidos como Entidades. Além disso, diversas unidades de medida dos Elementos de Dados e das Entidades são relacionadas na parte 10.

Em relação ao formato dos arquivos de transferência de dados, estão disponíveis os seguintes tipos:

- Tarefa,
- Resposta,
- Lista de Códigos de Dados e
- Dados de Configuração de Máquina.

Parte 11 – Dicionário de Dados (*Data Dictionary*) (ISO, 1999b):

Esta parte da norma relaciona o conjunto de variáveis disponíveis e seus parâmetros relacionados. Este conjunto é conhecido como Dicionário de Dados (D.D.) e suas informações são utilizados na composição das chamadas Mensagens de Dados de Processo.

A Tabela 18 mostra a composição, bit a bit, de uma mensagem relacionada aos Dados de Processo.

B.24 Mensagem de Dados de Processo	
Byte: 1	= bits: 8 = Reservado
	7-6 = Formato dos Dados
	5-4 = Tipo do Dado de Processo
	3-1 = Modificador do Dado de Processo
2	= bits: 8-1 = Número Contador
3	= bits: 8-5 = Tipo de Implemento
	4-1 = Posição do Implemento
4	= bits: 8-5 = Linha do Dicionário de Dados
	4-1 = Coluna do Dicionário de Dados
5-8	= bits: 8-1 = Valor da Variável de Processo

Tabela 18 – Composição da Mensagem de Dados do Processo

Na Figura 24 é mostrada a composição de um dos parâmetros envolvidos no processo de semeadura.

AMDED Number:	491	Type: 4	Row: 9	Column: 1
Name:	Implement Acquisition Time			
Definition:	Time Acquisition for Implement			
Comments:				
Format:	Type: BCD	Length: 6	Resolution: 1 s	Units: HH:mm:ss
MOD	000=Duration, 001=Start Date, 010=Stop Date, 011=Start Time, 100=Stop Time, 101=Threshold, 110=Times<Threshold, 111=Time>Threshold			
Count	Group:		Aggregate:	

Fonte: Adaptado de ISO, 1999

Figura 24 – Exemplo de Parâmetro disponível no D.D.

5.2. Um Roteiro de Implementação do Protocolo em Aplicações Agrícolas

Apesar de ser importante o entendimento de cada uma das partes da ISO11783 quando se inicia o desenvolvimento de uma aplicação agrícola específica, nem todas as partes da norma são, necessariamente, fundamentais a esta dada aplicação. Isso foi percebido durante o desenvolvimento deste trabalho, no qual a norma completa foi analisada.

Considerando uma aplicação constituída por uma ou mais ECUs, que serão utilizadas na coleta de sinais do campo (leitura de sensores e interruptores) e no acionamento de determinadas saídas (atuação em relés, atuadores e válvulas), algumas partes da norma serão fundamentais, enquanto que outras poderão ser simplesmente deixadas de lado durante o projeto.

Tomando como referência a aplicação Monitor de Semeadora, deve-se observar que existem dois ramos, de certa forma independentes, no desenvolvimento de sua rede de comunicação de dados: o Hardware e o Software.

Do ponto de vista das informações prévias necessárias ao projeto destes ramos, deve-se considerar, inicialmente, o estudo da Parte 1 da norma, especialmente sua introdução, os parágrafos que tratam do Conceito OSI de 7 camadas e os parágrafos que conceituam a ISO11783.

Passada esta introdução, aconselha-se o início do desenvolvimento do Hardware da rede, explorando a Parte 2 da norma. Nela devem ser estudados os conectores, terminadores, cabeamento, geometria da rede, sistemas inerentes de detecção de falhas e os testes elétricos especificados. Estas análises permitirão a construção da rede física envolvida no sistema de comunicação de dados da aplicação.

Sobre o desenvolvimento do Software do sistema de controle, sugere-se seguir o roteiro apresentado na Figura 25. São duas as partes cujas análises podem ser consideradas extremamente importantes no momento de se desenvolver o Software do sistema de controle: Partes 3 e 7.

Na Parte 3 são encontradas informações relativas ao formato das mensagens (CAN 2.0A e 2.0B), à composição dos identificadores de 11 e 29 bits e à conceituação e composição dos PDUs #1 e #2 e dos PGNs, entre outras. Já na Parte 7 são relacionadas as mensagens, parâmetros e faixa de valores disponíveis na norma.

Deve-se considerar o fato de que, em muitas ocasiões, durante a análise de qualquer parte mencionada neste roteiro, será necessário retornar à parte 3 para esclarecimentos adicionais.

Além destas duas partes (3 e 7), o desenvolvimento do software do sistema de controle depende das Partes 5 e 11. A primeira, Parte 5, é responsável pela determinação dos nomes à cada ECU e pelo gerenciamento dos endereços destas, enquanto que a segunda, Parte 11, consolida as informações pertinentes ao Dicionário de Dados, material importante na composição das mensagens do barramento.

Figura 25 – Roteiro de análise: Partes relacionadas ao Software

Sobre as demais partes da norma pode-se acrescentar:

- Parte 4: Responsável pela especificação da Topologia da Rede e das Funções e Tipos das NIUs. Mostra-se importante em aplicações constituídas por dois ou mais segmentos. Em aplicações onde apenas um segmento é utilizado, enxerga-se pouca importância nesta parte da norma.

- Parte 6: Por ser responsável pela especificação dos chamados Terminais Virtuais, esta parte deve ser utilizada em ocasiões em que a aplicação demandá-los. Nos demais casos, não precisará ser considerada.
- Parte 8: Similar à parte 7, como anteriormente explicado, esta parte relaciona as mensagens pertinentes ao funcionamento do Motor e da Transmissão. Em aplicações onde o controle destes sistemas não for considerado, a análise desta parte poderá ser descartada.
- Parte 9: Sendo responsável pela especificação da ECU do Trator, esta parte é importante em aplicações onde sistemas de navegação, como os baseados em receptores GPS, forem utilizados. Outro caso que requer a utilização desta parte é o relacionado à utilização de um Controlador de Tarefas.
- Parte 10: Assim como a anterior, esta parte especifica o Controlador de Tarefas e a Sistemática de Gerenciamento das Informações do Maquinário e da Fazenda. Deve ser considerada especialmente em aplicações baseadas em receptores GPS.

As informações mencionadas neste capítulo consolidam um roteiro inicial de estudo e implementação da norma ISO11783 para aplicações agrícolas cobertas pelo padrão em questão, sendo importante reforçar que as atividades relacionadas ao entendimento de uma norma, especialmente complexa e extensa como é a ISO11783, demandam diversos recursos – intelectuais e financeiros. Este capítulo procura auxiliar o desenvolvimento de novas aplicações agrícolas.

Este capítulo trata da norma ISO11783 na aplicação Monitor de Semeadora. Explica os passos que devem ser seguidos na criação do Dicionário de Dados e no desenvolvimento do Hardware e do Software. O capítulo é finalizado com o relato das análises realizadas no sistema desenvolvido.

6. A ISO11783 NA MONITORAÇÃO DE SEMEADORA

Após as análises realizadas sobre a ISO11783, procurou-se utilizar esta norma em uma aplicação agrícola. A aplicação selecionada foi um Monitor de Semeadora, sobre o qual o LAA tem grande experiência. Os parágrafos seguintes tratam da implementação de sua rede de comunicação de dados.

6.1. Proposta de Arquitetura

A arquitetura proposta para este desenvolvimento considerou alguns requisitos mínimos. Destacam-se entre eles os seguintes:

- Ter ao menos duas ECUs físicas ligadas à rede CAN,
- Ter um dispositivo para permitir a monitoração da rede CAN, especialmente o comportamento das mensagens baseadas na ISO11783,
- Permitir a leitura das entradas fundamentais de qualquer sistema destinado à Monitoração de Semeadura e colocá-las na rede CAN, e
- Ter a capacidade de acionar saídas através de comandos enviados pela rede CAN.

Em relação ao dispositivo para a monitoração da rede, optou-se pela utilização da monitoração da comunicação CAN através das portas de comunicação serial RS232 dos microncontroladores das ECUs.

A respeito dos sinais de entrada considerados na implementação proposta, destacam-se:

- SO = Sensor de Operação da Semeadora,
- SV = Sensor de Velocidade da Máquina e

- SS = Sensor de Semente.

A respeito dos sinais de saída considerados, destacam-se:

- Farol Alto,
- Luz de Freio Auxiliar e
- Luz de Ré.

Considerando estas informações, determinou-se a arquitetura ilustrada pela Figura 26.

Figura 26 – Arquitetura Proposta

Analisando esta proposta de arquitetura, pode-se comentar o seguinte:

- A rede CAN é formada por duas ECU's: ECU #1 e ECU #2,
- Trabalhou-se com a hipótese de que a semeadora possui duas linhas de semeadura e que cada ECU coletará as informações de cada uma delas,

- Além de coletar os sinais provenientes do Sensor de Semente de uma das linhas de semeadura, a ECU #1 coletará também os sinais dos Sensores de Operação do Implemento e Velocidade da Máquina,
- Os blocos de saída, chamados de Luzes, representam as saídas existentes no sistema (Farol Alto, Luz de Freio Auxiliar e Luz de Ré) e
- As informações transmitidas através da rede CAN serão monitoradas por um computador pessoal, através do canal de comunicação serial RS232 de cada ECU.

6.2. Dicionário de Dados – Mensagens Relacionadas

Após a determinação dos sinais a serem coletados por cada ECU (STAFFORD; AMBLER, 1993), foi preciso identificar quais mensagens, especificadas pela ISO11783, tratam as informações em questão. Como resultado desta análise, pôde-se consolidar o conteúdo da Tabela 19, que relaciona as mensagens necessárias à rede de comunicação de dados proposta, os valores de cada identificador e as responsabilidades de cada ECU em relação a cada mensagem.

#	Descrição da Mensagem	Taxa de Transmissão e Repetição	MATRIX TX - RX		IDENTIFICADOR - 29 bits					
			ECU #1 (B1 hex)	ECU #2 (B2 hex)	P	R	DP	PF	PS	SA
1	(B.3) Velocidade e Distância Baseadas na Roda	100 ms	Tx	Rx	011	0	0	FE	48	B1
2	(B.4) Informações da Alimentação	Na Atualização	Tx	Rx	110	0	0	FE	47	B1
3	(B.18) Comando de Iluminação	Na Atualização	Rx	Tx	011	0	0	FE	41	B0
4	(B.24) Mensagem de Dados do Processo da ECU #1	No Evento	Tx	Rx	011	0	0	CB	B0	B1
5	(B.24) Mensagem de Dados do Processo da ECU #2	No Evento	Rx	Tx	011	0	0	CB	B0	B2

Tabela 19 – Mensagens Propostas

Cada mensagem mencionada na Tabela 19 é responsável pela condução de determinados sinais. Destaca-se o seguinte:

Mensagem #1: Carrega os dados relativos à velocidade medida da máquina e à distância percorrida calculada pela ECU #1;

Mensagem #2: Carrega, entre outras, a informação do Sensor de Operação do Implemento;

Mensagem #3: Carrega os comandos de ligar e desligar as lâmpadas de Farol Alto, Luz de Freio Auxiliar e Luz de Ré;

Mensagem #4: Carrega os dados relativos ao cálculo da Taxa de Sementes depositadas pela linha monitorada pela ECU #1;

Mensagem #5: Carrega os dados relativos ao cálculo da Taxa de Sementes depositadas pela linha monitorada pela ECU #2.

Analisando ainda a Tabela 19, pode-se comentar:

- Foi identificada a necessidade de utilização de quatro tipos diferentes de mensagens da ISO11783 (as mensagens #4 e #5 são iguais do ponto de vista da ISO11783),
- A Tabela especifica a Taxa de Transmissão e Repetição de cada mensagem. Vale reforçar que:
 - A mensagem #1 é enviada a cada 100ms (como determina a ISO11783);
 - As mensagens #2 e #3 são enviadas quando ocorre uma alteração no nível dos sinais carregados por elas (segundo determinação da ISO11783);
 - As mensagens #4 e #5 são enviadas tão logo as ECUs #1 e #2 terminem os cálculos relativos às Taxas de Sementes depositadas em cada uma das linhas por elas monitoradas (segundo determinação da ISO11783).

- As duas colunas chamadas de MATRIZ TX – RX, indicam qual ECU é responsável pela transmissão de determinada mensagem e qual é responsável por recebê-la.
- As seis colunas finais, chamadas de IDENTIFICADOR – 29 bits, relacionam os valores dos identificadores de cada uma das mensagens. A Tabela 20 mostra a relação entre a nomenclatura dos bits do PDU e a nomenclatura dos bits do identificador (29 bits) do CAN 2.0B.

PDU	Identificador (29 bits)
SA1 - SA8	ID0 - ID7
PS1 - PS8	ID8 - ID15
PF1 - PF2	ID16 - ID17
PF3 - PF8	ID18 - ID23
DP	ID24
R	ID25
P1-P3	ID26 - ID28

Tabela 20 – Relação entre os bits do PDU e do Identificador (29 bits)

Da mesma forma que cada mensagem possui seu identificador específico, cada uma, por carregar dados diferentes, possui valores relativos aos seus Bytes de Dados com valores diferentes. A Tabela 21 mostra na coluna DLC, o valor correspondente à quantidade de Bytes de Dados existentes na mensagem. Nesta mesma Tabela, pode-se observar nas oito colunas BYTES DE DADOS, o conteúdo de cada Byte de Dado de cada mensagem.

#	Descrição da Mensagem	Taxa de Transmissão e Repetição	MATRIZ TX - RX		DLC	BYTES DE DADOS							
			ECU #1 (B1 hex)	ECU #2 (B2 hex)		D #1	D #2	D #3	D #4	D #5	D #6	D #7	D #8
1	(B.3) Velocidade e Distância Baseadas na Roda	100 ms	Tx	Rx	08	XX	XX	XX	XX	XX	XX	00	XX
2	(B.4) Informações da Alimentação	Na Atualização	Tx	Rx	08	F0	XX	00	00	00	00	00	00
3	(B.18) Comando de Iluminação	Na Atualização	Rx	Tx	08	XX	FF	XX	FF	FF	FF	FF	FF
4	(B.24) Mensagem de Dados do Processo da ECU #1	No Evento	Tx	Rx	08	4C	02	50	52	XX	XX	XX	XX
5	(B.24) Mensagem de Dados do Processo da ECU #2	No Evento	Rx	Tx	08	4C	03	50	52	XX	XX	XX	XX

Tabela 21 – Mensagens Propostas – Conteúdo dos Bytes de Dados

Os valores das colunas BYTES DE DADOS da Tabela anterior, representados pelo símbolo XX, expressam dados dependentes de alguma medição ou cálculos a serem realizados pelas ECUs pertencentes à rede.

A Tabela 22, por exemplo, mostra a descrição de cada um dos bytes representados pelo símbolo XX na mensagem #1.

B.3	Velocidade e Distância baseada na Roda		
	Bytes: 1-2 = Velocidade Baseada na Roda	=	XX (A.8)
	3-6 = Distância Baseada na Roda	=	XX (A.9)
	7 = Tempo Máximo de Carga Elétrica	=	00
	8 = bits: 8-5 = Reservado	=	0000
	4-3 = Estado da Chave de Ignição	=	11
	2-1 = Direção do Trator	=	XX (A.10)

Tabela 22 – Conteúdo da Mensagem #1

A Tabela 23 mostra a sistemática adotada para o cálculo dos valores a serem colocados no lugar do símbolo XX dos bytes 1 e 2 da mensagem #1.

A.8	Velocidade baseada na Roda
	Comprimento dos Dados = 2 Bytes
	Resolução = 0,001 m/s/bit (Byte menos significativo)
	0,256 m/s/bit (Byte mais significativo)
	Faixa de Dados = 0 - 64,255 m/s

Tabela 23 – Sistemática envolvida no cálculo da Velocidade

O raciocínio apresentado para a determinação do conteúdo dos bytes 1 e 2 da mensagem #1, deve ser utilizado para os demais bytes representados pelo símbolo XX na Tabela 21, obviamente considerando-se as informações da ISO11783 relacionadas a cada valor XX em particular.

6.3. Implementação da Rede CAN

As ECUs #1 e #2 foram implementadas através de placas microcontroladas. Os próximos parágrafos tratam do projeto e implementação destas ECUs.

6.3.1 Desenvolvimento do Hardware

As ECUs #1 e #2, apesar de destinadas à leitura de sinais diferentes, foram implementadas considerando-se o mesmo esquema elétrico. Esta decisão foi tomada com o intuito de garantir o máximo de funções em ambas as ECUs, facilitar o processo de implementação da rede e atender eventuais necessidades de expansão do sistema.

Em relação às características técnicas de cada ECU, pode-se listar:

- Microcontrolador P87C591 (OTP baseado em 8051) com Controlador CAN incorporado (PHILIPS, 2000c), (estão disponíveis dez pinos programáveis de Entrada e Saída com funções adicionais),
- Cristal de 11,0592 MHz,
- Memória RAM de 16 Kbytes (HITACHI, 1997),
- Memória EPROM de 16 Kbytes (TEXAS INSTRUMENTS, 1997),
- Porta de Comunicação Serial RS232 (utilizando-se o transceiver MAX232) (PHILIPS, 2000a) para comunicação com o PC através do programa Hyper Terminal do MS Windows,
- Linha de Comunicação CAN de dois fios (utilizando-se o transceiver PCA 82C250) (PHILIPS, 1997).

A Figura 27 destaca a interligação do Microcontrolador P87C591 ao Transceiver⁹ CAN PCA82C250 (PHILIPS, 1992); (PHILIPS, 1996b); (PHILIPS, 2000b).

Figura 27 – Interligação Microcontrolador x Transceiver

O microcontrolador (PHILIPS, 1993); (SILVA, 1999) tem como responsabilidades a leitura das entradas e o acionamento das saídas pertinentes a cada ECU, a recepção e a transmissão das informações via CAN e o controle da comunicação serial via RS232 com o PC (através do programa Hyper Terminal do MS Windows).

O transceiver CAN tem como função compatibilizar os níveis de tensão dos sinais enviados pelo microcontrolador aos níveis de trabalho do barramento e vice-versa.

Sobre a forma de armazenamento dos programas em cada ECU, optou-se pela utilização de uma memória RAM (INTEL, 1985); (PHILIPS, 1996) gerenciada por

9: Transceiver = Palavra resultante da composição das funções Transmissor e Receptor – Transmitter / Receiver.

um programa tipo Monitor, gravado em uma memória EPROM. O objetivo desta estratégia será esclarecido no item Desenvolvimento do Software.

A Figura 28 mostra a imagem de uma das ECUs desenvolvidas.

Figura 28 – Protótipo desenvolvido para as ECUs

Vale comentar que a barra de terminais à esquerda (Barra de E/S) é utilizada para a conexão de cada ECU a uma placa eletrônica auxiliar, com circuitos de entrada e saída, responsáveis pela simulação dos sensores e das lâmpadas de iluminação do trator.

6.3.2 Desenvolvimento do Software

Dada a natureza da aplicação, Monitor de Semeadora, identificou-se a necessidade de se criar dois tipos diferentes de software: o responsável pela interface homem-máquina e o responsável pelo controle das operações do hardware.

O primeiro, Interface Homem-Máquina, foi implementado através de rotinas de comunicação serial nos microcontroladores e o programa Hyper Terminal do MS Windows, instalado em um PC. Já o segundo, o *firmware*, responsável pelo controle das operações do hardware, foi desenvolvido no microcontrolador procurando-se atender os requisitos mínimos colocados (leitura de entradas, acionamento das saídas e comunicação via CAN e RS232).

A Figura 29 mostra a interação entre o hardware e o *firmware* e a relação deles com o software da aplicação.

Figura 29 – Relação entre Hardware + *Firmware* e a Aplicação

Considerando-se então os dados retirados da norma ISO11783, desenvolveu-se um programa, na linguagem C, para o controle das seguintes operações:

- Tratamento das Entradas – Sensores do Sistema,
- Tratamento das Saídas – Lâmpadas de Iluminação do Trator,
- Criação e Envio de mensagens CAN,
- Recepção e Tratamento de mensagens CAN,

além da Transmissão e Recepção de dados via RS232 para a comunicação com o PC.

O compilador utilizado foi o SDCC (Small Device C Compiler) (SOURCEFORGE, 2001) e, após compilados, os programas eram colocados na RAM das ECUs através de suas portas de comunicação RS232. Esta estratégia foi considerada com o intuito de facilitar a atualização do *firmware*.

Um programa Monitor, obtido na Internet (STOFFREGEN, 2001), foi utilizado na implementação desta estratégia de execução do *firmware* via RAM. Após gravado na EPROM de cada uma das ECUs, este programa Monitor permitia a abertura da comunicação entre elas (as ECUs) e um PC equipado com o programa Hyper Terminal (do MS Windows). Por comandos alfanuméricos orientados por um menu de auxílio, os programas de controle, já compilados, eram gravados nas respectivas memórias RAM de cada ECU e, em seguida, executados.

6.4. Avaliação do Sistema

Alguns testes foram realizados no sistema montado. Destacam-se os seguintes:

Avaliação da rede CAN entre as duas ECUs físicas: Realizado com o intuito de verificar o funcionamento da comunicação CAN entre as duas ECUs, este teste possibilitou a análise das rotinas de inicialização do CAN, como a responsável pela determinação da Taxa de Transmissão das ECUs e a responsável pelos Filtros de Aceitação de Mensagens.

A Taxa de Transmissão foi avaliada através da medição desta grandeza utilizando-se um osciloscópio conectado à rede.

A verificação dos Filtros de Aceitação de Mensagens foi realizada utilizando-se a comunicação serial RS232 das ECUs. Como todas as mensagens efetivamente recebidas pelas ECUs eram encaminhadas por suas respectivas portas RS232 ao PC, alterando-se a composição dos Filtros de Aceitação nas ECUs, pôde-se verificar quais mensagens eram efetivamente recebidas e processadas e quais eram simplesmente recebidas eletricamente, mas descartadas por não coincidirem com o conteúdo dos Filtros de Aceitação.

Avaliação da interação das Entradas e Saídas em função da rede CAN: Este teste permitiu a análise da implementação efetiva de algumas mensagens da ISO11783, especificamente das mensagens #2 e #3 propostas pela aplicação em questão.

A mensagem #2, responsável pela transmissão das informações do Sensor de Operação do Implemento, foi transmitida pela ECU #1 e recebida pela ECU #2. A ECU #1 tinha conectado, a uma de suas entradas digitais, um interruptor que simulava o funcionamento do referido Sensor de Operação. Assim que seu estado era alterado (passando de ligado para desligado e vice-versa), uma mensagem CAN, padronizada pela ISO11783, era gerada e enviada através da rede. Uma vez que seu Identificador era compatível com o Filtro de Aceitação da ECU #2, ela era efetivamente recebida por esta ECU, que imediatamente informava o PC através de sua porta RS232. Procurou-se também alterar os valores relativos ao identificador da mensagem e, em seguida, do filtro de aceitação da ECU #2, com o intuito de avaliar a funcionalidade deste sistema de filtragem. Pôde-se observar, de forma simples e didática, o seu comportamento.

A mensagem #3, responsável pela transmissão dos comandos de ligar e desligar as lâmpadas de Farol Alto, Luz de Freio Auxiliar e Luz de Ré, foi transmitida pela ECU #2 e recebida pela ECU #1. A ECU #2 possuía conectados três interruptores (um para cada lâmpada prevista no sistema), enquanto que a ECU #1 possuía conectados três LEDs. Toda vez que um dos interruptores tinha seu estado alterado (passando de ligado para desligado e vice-versa), uma mensagem CAN, também padronizada pela ISO11783, era gerada e enviada através da rede pela ECU #2. Assim que a ECU #1 identificava o sinal recém atualizado, ela alterava o estado do LED correspondente.

Análise do sinais CAN H e CAN L na rede implementada: Medidos através de um osciloscópio, estes sinais foram analisados com o intuito de melhorar os conhecimentos em relação ao CAN.

A Figura 30 ilustra algumas curvas coletadas com o auxílio de um osciloscópio.

Figura 30 – Curvas coletadas da rede CAN implementada

Percebe-se na Figura 30 que as informações marcadas em vermelho ilustram os sinais CAN_H e CAN_L, assim como a curva resultante da subtração de ambos (chamada de VDiff). Nesta última curva – VDiff – destacam-se os bits Dominante e Recessivo.

A marcação feita em azul, ilustra o nível de ruído das linhas CAN_H e CAN_L e o ruído resultante na curva VDiff. Observa-se aqui a capacidade do CAN em reduzir, significativamente, o nível deste tipo de ruído.

Avaliação da rede CAN através da utilização de uma interface CAN / USB:

Utilizando-se uma interface¹⁰ capaz de converter informações do padrão CAN no padrão USB e vice-versa, e um software¹¹ desenvolvido em um PC utilizando-se uma DLL (*Dynamic Link Library*) fornecida juntamente com esta interface, avaliou-se a troca de mensagens CAN entre as ECUs #1 e #2.

10: Adquirida junto a empresa alemã *ifak system GmbH*.

11: O Software utilizado nesta avaliação é parte do projeto de Mestrado AgriCAN, que está sendo desenvolvido pela Mestrando Kátia Mara Rabelo da Silva (SILVA, 2003).

A figura 31 apresenta o diagrama esquemático utilizado na interligação da interface CAN / USB (e conseqüentemente do PC) à rede CAN formada pelas ECUs #1 e #2. A intenção de se utilizar o conjunto formado pela interface CAN / USB e o software AgriCAN foi possibilitar a monitoração da rede CAN, tendo acesso às mensagens trocadas entre as ECUs físicas #1 e #2.

Figura 31 – Diagrama do Teste realizado com a interface CAN / USB

Pode-se verificar, através deste teste, a forma como os identificadores das mensagens e os dados são enviados através da rede CAN. A maior preocupação, durante a realização deste teste, foi observar e entender o comportamento dos bits dentro de cada um dos bytes formadores dos identificadores das mensagens e de seus bytes de dados. Para isso, avaliou-se a disposição dos bits antes da sua transmissão (realizada por uma das ECUs) e logo após sua recepção (realizada pela outra ECU e também pelo software AgriCAN). Após capturada uma mensagem do barramento, o software AgriCAN separava cada um dos bytes, mostrando-os em uma tabela que facilitava a compreensão e permitia a comparação dos valores recebidos com os transmitidos.

Destaca-se a importância deste teste à iniciativa de se desenvolver uma infraestrutura CAN no LAA, uma vez que possibilitou a interligação das ECUs concebidas durante a pesquisa de Mestrado a um sistema (interface CAN / USB) atualmente disponível no mercado.

6.5. Considerações Finais

Esta rede de comunicação de dados de um Monitor de Semeadora, implementada com parte das mensagens necessárias a esta aplicação, mostrou as possibilidades da ISO11783 em termos de disponibilidade de mensagens, facilidade de sua representação prática e avaliação.

O comportamento observado em cada parte do sistema – hardware e software – conferem à implementação destas ECUs, a capacidade de atender grande parte das aplicações agrícolas experimentais.

O projeto das ECUs mostrou-se flexível em relação às conexões de entradas e saídas, dos canais de comunicação e da alimentação elétrica, facilitando a avaliação do sistema. Além disso, sua capacidade de integração aos sistemas atualmente comercializados foi verificada através de testes de comunicação realizados.

7. CONCLUSÃO

7.1. A Norma ISO11783 e as Aplicações Agrícolas

Como observado no item 4.7 desta dissertação, *“Grande parte das atividades executadas até o momento, não só com a LBS, mas também com a SAE J1939, buscaram e contribuíram para o aumento das experiências com os protocolos de comunicação serial nas aplicações agrícolas e auxiliaram o desenvolvimento do padrão ISO11783”*, o padrão em desenvolvimento pelo grupo ISO tende a ser finalizado em poucos meses e, a partir desse momento, utilizado no desenvolvimento de sistemas de controle e monitoração de aplicações agrícolas multiplexadas.

Suas partes integrantes (de 1 a 11) procuram cobrir os diversos conceitos técnicos genéricos existentes no protocolo CAN, assim como as peculiaridades de cada uma das principais aplicações agrícolas existentes. Além disso, procura-se garantir um padrão com capacidade de expansão de hardware e software que comporte, em um futuro próximo, os avanços tecnológicos incorporados à agricultura, considerando soluções técnicas conhecidas, validadas e mundialmente padronizadas.

O autor acredita que a ISO11783, da forma como tem sido desenvolvida e documentada, dificilmente causará dúvidas durante os trabalhos de projeto e implementação de dispositivos eletrônicos e redes de comunicação destinados às redes embarcadas internacionalmente padronizadas.

Vale reforçar que a atividade de análise e estudo de uma norma como a ISO11783, extremamente complexa, demanda diversos recursos de custo e tempo. Esta dissertação de Mestrado fornece um roteiro com informações que facilitarão a compreensão da norma e a sua implementação em aplicações agrícolas.

Percebe-se ainda que o CAN, especialmente a ISO11783, entre os pesquisadores e empresas fabricantes de equipamentos eletrônicos para a agricultura, é considerado como um facilitador dos sistemas de controle e monitoração futuros e, nesta direção, também da Agricultura de Precisão.

Vale destacar a grande adoção das normas DIN 9684 – LBS e ISOBUS. Este fato é um passo importante para a adoção da ISO11783 e, portanto, para a interligação de equipamentos eletrônicos embarcados.

7.2. Contribuições do Trabalho

- Uma das contribuições deste trabalho é uma análise comparativa dos protocolos de comunicação e normas já considerados em aplicações agrícolas, destacando vantagens e desvantagens de cada tecnologia e conceitos envolvidos.
- Como resultado desta análise, concluiu-se que a ISO11783, quando finalizada, cobrirá as necessidades atuais e futuras, sem sucatear as tecnologias atualmente utilizadas (especialmente aquelas baseadas na DIN9684 – LBS).
- Procurou-se explicar a norma ISO11783 parte a parte, destacando suas características fundamentais. Desta forma, este trabalho representa um documento de referência aos pesquisadores de aplicações agrícolas eletronicamente multiplexadas.
- Uma metodologia para projeto e implementação de uma rede de comunicação de dados de um Monitor de Semeadora baseado na ISO11783 foi apresentada, do hardware ao software, resultando em um guia de desenvolvimento aos engenheiros e técnicos de sistemas de controle para aplicações agrícolas.
- A implementação realizada por esta dissertação de mestrado – projeto e montagem do barramento de comunicação de dados do implemento de um Monitor de Semeadora – caracteriza-se na primeira implementação do gênero sob a ISO11783.

- As ECUs desenvolvidas são parte de um conjunto de dispositivos que estão sendo criados no LAA, com o intuito de se constituir um sistema experimental baseado na norma ISO11783. O objetivo principal desta infraestrutura será permitir a experimentação das mais variadas aplicações fundamentadas no padrão internacional agrícola.
- Durante o desenvolvimento do trabalho, uma série de contatos nacionais e internacionais foram realizados. Dentre os quais, pode-se destacar, a abertura de um canal direto de comunicação com o grupo ISO (através da empresa Vector Informatik). Outro importante contato realizado durante os estudos foi o conseguido junto à ABNT, que se mostrou interessada em criar uma comissão nacional para analisar, adaptar e liberar a norma no Brasil. O LAA estará negociando o início das atividades e buscará contribuir para a definição da norma de maneira ativa, não só garantindo sua liberação no país mas também interferindo no seu direcionamento técnico para que seja economicamente viável e conveniente.

7.3. Perspectivas

- Deve-se perseguir a finalização da implementação do Monitor de Semeadora baseado na ISO11783, identificando todas as mensagens necessárias ao funcionamento completo do sistema. Para isso, outro trabalho de Mestrado está sendo iniciado pelo LAA, procurando tratar da implementação de um Terminal Virtual baseado na ISO11783.
- Tendo em mente a quantidade de informações levantadas por este trabalho e as tendências de mercado observadas, especialmente em relação aos sistemas de Terminais Virtuais, pode-se considerar a possibilidade de se implementar um protótipo nacional puramente baseado nas necessidades locais e tecnicamente ancorado no padrão internacional – ISO11783.

- Ainda sobre os sistemas de Terminais Virtuais, pode-se considerar a possibilidade de se desenvolver aplicações auxiliares ao operador tendo como hardware principal um Computador de Bolso (ou PDA).
- Em relação à evolução das atividades do grupo ISO, deve-se manter contato direto com os envolvidos e acompanhar a progressão dos trabalhos, interferindo, na medida do possível, nas definições técnicas do grupo.
- Além disso, deve-se aproveitar o interesse da ABNT em relação ao tema e procurar trabalhar com ela na nacionalização dos documentos gerados pela organização internacional ISO.
- As análises de cada uma das partes da ISO11783 deverão auxiliar na finalização do projeto AgriCAN (SILVA, 2003), um Simulador de Redes baseadas na ISO11783, que está em desenvolvimento pela Mestrando Katia Mara Rabelo da Silva (LAA) e terá grande importância na infra-estrutura CAN em desenvolvimento.
- Apesar de originalmente concebida para integrar aplicações embarcadas, deve-se considerar a possibilidade de se empregar a ISO11783 em aplicação fixas, como plasticultura e pecuária. Sobre esta possibilidade técnica, outro trabalho de Mestrado tem sido desenvolvido pelo Mestrando Antônio Marcos Moreiras (LAA).

7.4. Considerações Finais

Este trabalho é uma etapa a mais numa linha de atividade iniciada em 1995 pelo orientador que, com o apoio do então Engenheiro Sérgio Miranda Paz, que desenvolvia pesquisa na Texas A&M University, obteve o primeiro material sobre as atividades do comitê ISO TC23/SC19/WG1 e passou a difundir esses trabalhos no Brasil.

Os contatos realizados e já mencionados com a ISO e a ABNT, se bem administrados, possibilitarão a expansão das atividades do LAA em relação ao tema e até mesmo em relação à outros tópicos relacionados à eletrônica na agricultura.

Diversos trabalhos técnicos relacionados ao tema foram desenvolvidos e publicados pelo Mestrando durante o desenvolvimento da dissertação. São eles:

- As Aplicações Agrícolas e o Protocolo CAN: Uma Aplicação a um Monitor de Semeadora. 3º Congresso da SBI-Agro – 2001 (GUIMARÃES; SARAIVA, 2001a).
- Uma Análise Comparativa entre os Protocolos de Comunicação para Máquinas Agrícolas com impacto na Agricultura de Precisão. 3º Simpósio sobre Agricultura de Precisão – 2001 (GUIMARÃES; SARAIVA, 2001b).
- Uma Análise Comparativa entre os Protocolos de Comunicação para Máquinas Agrícolas com impacto na Agricultura de Precisão. Parte integrante do livro “Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no Período de 1999 - 2001 – 2001 (GUIMARÃES; SARAIVA, 2001c).
- O Protocolo CAN Bus em Aplicações Off-Road: Uma Análise Comparativa entre os Padrões Existentes. SAE Brasil – 2001 (GUIMARÃES, 2001). **Premiado como melhor artigo da categoria Veículos.**
- Protocolos de Comunicação Serial: O CAN Bus e a Agricultura de Precisão. 2º Simpósio de Agricultura de Precisão – 2002 (GUIMARÃES; SARAIVA, 2002b).
- O Protocolo CAN Bus: Entendendo e Implementando uma Rede de Comunicação Serial de Dados baseada no Barramento “*Controller Area Network*”. SAE Brasil – 2002 (GUIMARÃES; SARAIVA, 2002a). **Premiado como melhor artigo da categoria Eletro-Eletrônica.**

Acredita-se que a realização de trabalhos como este, no Brasil, possibilita:

- A disponibilização do conhecimento no país,
- O desenvolvimento de tecnologia e produtos nacionais,
- A avaliação do funcionamento e da qualidade de sistemas importados,
- A orientação dos consumidores deste tipo de tecnologia e
- A participação do país na criação dos documentos internacionais relacionados ao tema.

LISTA DE REFERÊNCIAS

São apresentadas abaixo, as referências bibliográficas utilizadas na elaboração deste trabalho, em ordem alfabética.

AGRITHECNICA. **ISO11783 – Workshop – Agrithecnica 1999**. Apresentação sobre a ISO11783. Disponível em: <<http://www.iso.ch>>. Acesso em: 10 de jan. 2000.

ALLISON, N. Rethinking Multiplex. Artigo SAE 941650, 1994. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series**. Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.3-11.

ALVARENGA, C. Multiplexing in Automobiles – An Application Example of the CAN Protocol. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series**. Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.503-514.

AXELSON, J. **Serial Port Complete**: Programming and Circuits for RS-232 and RS-485 Links and Networks. ISBN 0-9650819-2-3. Madison, EUA: Lakeview Research, 1998. 306p.

BRAGAZZA, B.D. (Org.) **Treinamento BOSCH Modulo 6 – Controller Area Network (CAN)**. EAS31, Versão 3, 2000.

CINTRA, J.P.; FERREIRA, L.F. **GPS: Uma Ferramenta para Navegação e Controle de Frotas**. Artigo SAE 982930, 1998. In: CONGRESSO SAE BRASIL 1998, 7., São Paulo, 1998.

FELLMETH, P. **ISO11783 related information**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <alexandre.guimaraes@gm.com> em 18 de nov. 2002.

FIELDSTAR. Apresenta informações sobre o Monitor Virtual Fieldstar. Disponível em: <<http://www.agcocorp.com>>. Acesso em: 02 de fev. 2000.

FREDRIKSSON, L.B. **Bluetooth in Automotive Applications**. 1997. Apresenta informações sobre os protocolos CAN e Bluetooth. Disponível em: <<http://www.kvaser.com>>. Acesso em: 21 de nov. 1999.

FREDRIKSSON, L.B. **Controller Area Networks and the protocol CAN for machine control systems**. Mechatronics, 1994. v.4, n.2. p.159-192.

FREDRIKSSON, L.B. **Distributed Embedded Control Systems in Robotics: Ten years of Development**. 1997. Apresenta informação sobre o CAN Bus. Disponível em: <<http://www.kvaser.com>>. Acesso em: 24 de nov. 1999.

GMB – GENERAL MOTORS DO BRASIL. **Especificação do Dicionário de Dados V-Bus, v.1.3**. Especificação Técnica, 2001.

GUIMARÃES, A.A. **O Protocolo CAN Bus nas Aplicações Off-Road: Uma Análise Comparativa entre os Padrões Existentes**. Artigo SAE 2001-01-3853, 2001. In: CONGRESSO SAE BRASIL 2001, 10., São Paulo, 2001.

GUIMARÃES, A.A.; SARAIVA, A.M. **As Aplicações Agrícolas e o Protocolo CAN: Uma Aplicação a um Monitor de Semeadora**. In: CONGRESSO DA SBIAgro 2001, 3., Foz do Iguaçu, 2001.

GUIMARÃES, A.A.; SARAIVA, A.M. **O Protocolo CAN: Entendendo e Implementando uma Rede de Comunicação Serial de Dados baseada no Barramento “Controller Area Network”**. Artigo SAE 2002-01-3569, 2002. In: CONGRESSO SAE BRASIL 2002, 11., São Paulo, 2002.

GUIMARÃES, A.A.; SARAIVA, A.M. **Protocolos de Comunicação Serial: O CAN Bus e a Agricultura de Precisão**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., Viçosa, 2002.

GUIMARÃES, A.A.; SARAIVA, A.M. **Uma Análise Comparativa entre os Protocolos de Comunicação para Máquinas Agrícolas com Impacto na Agricultura de Precisão**. In: SIMPÓSIO SOBRE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3., Piracicaba, 2001.

GUIMARÃES, A.A.; SARAIVA, A.M. Uma Análise Comparativa entre os Protocolos de Comunicação para Máquinas Agrícolas com Impacto na Agricultura de Precisão. In: BALASTREIRE, L.A. (Org.) **Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período 1999-2001**. ISBN 85-900627-1-6, 2001. p.317-323.

HITACHI. **HM62256B Series**. Especificação Técnica. 1997.

HOFSTEE, J.W.; GOENSE, D. **Simulation of a Controller Area Network-based Tractor – Implement Data Bus according to ISO 11783**. J. Agric. Engng Res., 1999, Artigo 73. p.383-394.

INTEL. **Designing With The 80C51BH**. Nota de Aplicação – AP-252, n.270068-002, 1985.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.
ISOBUS Specification – Implementation Level 1. 2002.

_____. Road vehicles – Interchange of digital information – Controller Area Network (CAN) for high-speed communication – **ISO 11898**. 1993.

_____. Tractors, machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network, Part 1: General Standard. **ISO/WD 11783 – 1**, 1994.

_____. Tractors, machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network, Part 2: Physical layer. **ISO/CD 11783 – 2**, 1994.

_____. Tractors, machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network, Part 3: Data Link Layer. **ISO/FDIS 11783 – 3**, 1997.

_____. Tractors, machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network, Part 4: Network Layer. **ISO/DIS 11783 – 4**, 1998.

_____. Tractors, machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network, Part 5: Network Management Layer. **ISO/DIS 11783 – 5**, 1999.

_____. Tractors, machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network, Part 9: Tractor ECU. **ISO/CD 11783 – 9**, 2000.

_____. Tractors, machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network, Part 7: Implement Messages Application Layer. **ISO/DIS 11783 – 7**, 2001.

_____. Tractors, machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network, Part 10: Task Controller and Farm Management Information System Data Interchange. **ISO 11783 – 10**, 2001.

_____. Tractors, machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network, Part 11: Process Data Dictionary. **ISO/WD 11783 – 11**, 1999.

KVASER. **HLPs: J1939**. Apresenta informações sobre a J1939. Disponível em: <<http://www.kvaser.com>>. Acesso em: 27 de mar. 2000.

_____. **Why CAN ?**. Apresenta informações sobre o CAN. Disponível em: <<http://www.kvaser.com>>. Acesso em: 27 de mar. 2000.

LAV – LANDTECHNIK-VEREINIGUNG. **DIN 9684 – LBS Harmonization Paper – Interpretation of the 9-pin tractor/implement socket and the connection of implements including start up and power-down features**. LAV, Frankfurt, Alemanha, 2000.

_____. **DIN 9684 – LBS+ Harmonization Paper – Chapter 1 and 2**. LAV, Frankfurt, Alemanha, 2000.

_____. **LBS Documentation**. v.2.0-08.1988. LAV, Frankfurt, Alemanha, 1998.

MIESTERFELD, F. The Next Generation Vehicle Architecture.. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series**. Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.645-652.

PHILIPS. **80C51 Based 8-bit Microcontrollers**. IC20. Especificação Técnica, 1993.

_____. **80C51 External Memory Interfacing**. Nota de Aplicação – AN457, 1996.

_____. **Application of the P8xC592 Micro Controller with CAN Interface**. Nota de Aplicação – HKI/AN 91014, 1992.

_____. **In-circuit and In-application programming of the 89C51Rx+/Rx2/66x microcontrollers**. Nota de Aplicação – AN461, 2000.

_____. **P87xC591 Microcontroller in CAN Applications**. Nota de Aplicação – AN 00043, 2000.

_____. **P8xC591 – Single Chip 8-bit Micro Controller with CAN Controller**. Especificação Técnica, 2000.

_____. **PCA 82C250 / 251 CAN Transceiver**. Nota de Aplicação – AN 96116, 1996.

_____. **PCA82C250 – CAN Controller Interface.** Especificação Preliminar, 1997.

POWERS, C.; KIRSON, A.; ACTON, D. Today's Eletronics in Today's Vehicles. Artigo SAE 98C028, 1998. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series.** Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.245-250.

SARAIVA, A.M. **Um equipamento para a monitoração de semeadoras de sementes graúdas.** 1992. 90p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.

SARAIVA, A.M. **Um modelo de objetos para sistemas abertos de informações de campo para agricultura de precisão – MOSAICo.** 1998. 235p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

SARAIVA, A.M.; CUGNASCA, C.E.; MASSOLA, A.M.A. **Planter monitoring: a management approach.** Artigo ASAE 93-1552, 1993. In: ASAE INTERNATIONAL WINTER MEETING, Chicago, 1993.

SARAIVA, A.M.; PAZ, S.M.; CUGNASCA, C.E. **Improving a planter monitor with a GPS receiver.** In: STAFFORD, J. Spatial Variability in Soil and Crop, v.1, ISBN 1-85996-136-3), 1997. ed. Precision Agriculture '97, Oxford, BIOS Scientific Publisers, 1997. p.321-327.

SCHOFIELD, M.J. **Controller Area Network (CAN Bus) – An Introduction to the Serial Communication Bus.** 1999. Apresenta informação básicas sobre o CAN Bus. Disponível em: <<http://www.omegas.co.uk/can/>>. Acesso em: 28 de maio 1999.

SIGRIMIS, N. et al. **Prospects in Agricultural Engineering in the Information Age.** 2000. CIGR e-Journal, invited paper, Toronto, 2000.

SILVA, K.M.R. **AgriCAN – Simulador de Rede baseada no Protocolo ISO11783 para ambiente Web.** 2003. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. /trabalho em elaboração/

SILVA, V.P. **Aplicações Práticas do Microcontrolador 8051.** ISBN 85-7194-194-7. Editora Érica, 1999. 296p.

SOURCEFORGE. **SDCC** – Small Device C Compiler, v.2.2.2, 2001. Compilador C para 8051. Disponível em: <<http://sdcc.sourceforge.com>>. Acesso em: 21 de nov. 1999/2001.

SOUSA, R.V. **CAN (Controller Area Network): Uma Abordagem para Automação e Controle na Área Agrícola**. 2002. 83p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

SPECKMANN, H. **Providing Measured Position Data for Agricultural Machinery**. Elsevier, Computer and Electronics in Agricultural, 25, 2000. p.87-106.

SPECKMANN, H.; JAHNS, G. **Development and Application of an Agricultural BUS for Data Transfer**. Elsevier, Computer and Electronics in Agricultural, 23, 1999. p.219-237.

STAFFORD, J.V.; AMBLER, B. **A CAN data bus application on a patch sprayer**. Artigo ASAE 93-1534, 1993. In: ASAE INTERNATIONAL WINTER MEETING, Chicago, 1993.

STEPPER, M.R. J1939 High Speed Serial Communicatio, The Next Generation Network for Havy Duty Vehicles. Artigo SAE 931809, 1993. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series**. Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.401-420.

STOFFREGEN, P. **PAULMON – Free 8051 Monitor Program**. Programa Monitor para 8051. Disponível em: <<http://www.pjrc.com/tech/8051/>>. Acesso em: 20 de out. 2001.

STONE, M.L. **High Speed Networking in Construction and Agricultural Equipment**. 1994. Apresenta informações sobre a ISO 11783 e a SAE J1939. Disponível em: <<http://www.biosystems.okstate.edu/Home/mstone/>>. Acesso em: 23 de nov. 2000.

STONE, M.L.; ZACHOS, M. **Application of J1939 Networks in Agricultural Equipment**. 1993. Apresenta informações sobre a J1939 e a sua aplicação em um pulverizador. Disponível em: <<http://www.biosystems.okstate.edu/Home/mstone/>>. Acesso em: 18 de jan. 2000.

STRAUSS, C. **Implementação e Avaliação de uma Rede Experimental baseada em CAN para Aplicações Agrícolas**. 2001. 59p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

STRAUSS, C.; CUGNASCA, C.E.; SARAIVA, A.M. **Padrões de Comunicação em Automação Agrícola.** In: SIAGRO, 1998. Anais, 1998.

STRAUSS, C.; CUGNASCA, C.E.; SARAIVA, A.M. **Protocolos de Comunicação para Equipamentos Agrícolas.** In: CONAI, São Paulo, 1998. Anais, 1998.

STRAUSS, C.; CUGNASCA, C.E.; SARAIVA, A.M.; HIRAKAWA, A.R. **Applications of the CAN and ISO11783 protocols to a Planter Monitor.** In: PROGRESS IN SIMULATION, MODELING, ANALYSIS AND SYNTHESIS OF MODERN ELECTRICAL AND ELECTRONIC DEVICES AND SYSTEMS, Grécia, 1999. World Scientific and Engineering Society Press, 1999. p.211-216.

STRAUSS, C.; CUGNASCA, C.E.; SARAIVA, A.M.; PAZ, S.M. **The ISO 11783 standard and its use in precision agriculture equipment.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, Saint Paul, 1998. Proceedings. ASA/CSSA/SSSA, 1998. p.1253-1261.

TEXAS INSTRUMENTS. **TM27C256** – Programmable Read-Only Memories. Especificação Técnica. 1997.

ZUBERI, K.M.; SHIN, K.G. **Real-time decentralized control with CAN.** In: IEEE CONFERENCE ON EMERGING TECHNOLOGIES AND FACTORY AUTOMATION, 1996. IEEE, 1996. p.93-99.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

São apresentadas abaixo sugestões para leitura complementar:

CAN Technical Overview. Apresentação sobre o CAN Bus preparada em 1998. Motorola, 1998. Não publicado.

BRIGNELL, J.E. **The future of intelligent sensors: a problem of technology or ethics?** Elsevier, Sensors and Actuators, A56, 1996. p.11-15.

BUEHRING, P. CAN Controller Architecture Optimized for SAE-J1939 Applications. Artigo SAE 940361, 1994. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series.** Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.515-519.

CASSIDY, F. **NMEA 2000 Explained – The Latest Word.** 1999. Apresenta informações sobre o padrão NMEA 2000. Disponível em: <<http://www.kvaser.com>>. Acesso em: 21 de nov. 1999.

COX, S.W.R. **Electronics in UK agriculture and horticulture.** IEE Proceedings, v.134, Pt.A, n.6, 1987. p.466-492.

DIETMAYER, K.; OVERBERG, K.W. CAN Bit Timing Requirements. Artigo SAE 970295, 1997. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series.** Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.585-592.

EMAUS, B.D. Elements, Definitions, and Timing of Network Conversation. Artigo SAE 941660, 1994. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series.** Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.137-146.

FREDRIKSSON, L.B.; TEMPLIN, M. **Diesel Engine Control, CAN Kingdom and J1939.** 1996. Apresenta informações sobre os padrões CAN Kingdom e J1939 na aplicação controle de motor diesel. Disponível em: <<http://www.kvaser.com>>. Acesso em: 21 de nov. 1999.

GARNER, J.P. **Smooth Sailing: High-Speed Ferries Cross Over to RTK GPS.** GPS WORLD, p.20-8, Novembro 1998.

HARTWICH, F.; BASSEMIR, A. **The Configuration of the CAN Bit Timing**. In: INTERNATIONAL CAN CONFERENCE, 6., 2000. Proceedings. Turin, 2000.

HOBBS, R. **Precision Farming: A Producer's Perspective**. 2000. Apresenta informações sobre agricultura de precisão e eletrônica. Disponível em: <<http://www.ssca.usask.ca/2000proceedings/hobbs.htm>>. Acesso em: 28 de ago. 2001.

HURN, J. **GPS - A guide to the next utility**. Sunnyvale, Trimble Navigation, 1989.

INTEL. **82527** – Serial Communications Controller Architectural Overview. Especificação Técnica, 1996.

_____. **87C196** – Microcontroller 16 bits with CAN 2.0. Especificação Técnica, 1998.

INTEL. **Interfacing an MCS51 Micro Controller to an 82527 CAN Controller**. Nota de Aplicação – AP724, 1995.

JAMALI, M.M. A Comparative Study of Physical Layers of In-Vehicle Multiplexing Systems. Artigo SAE 1999-01-1271, 1999. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series**. Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.109-115.

KIENCKE, U. et al. Open Systems and Interfaces for Distributed Electronics in Cars (OSEK). Artigo SAE 950291, 1995. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series**. Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.209-216.

KORANE, K.J. **Mobile Machines get CAN in Gear**. 1996. Apresenta informações sobre o CAN. Disponível em: <<http://www.kvaser.com>>. Acesso em: 21 de nov. 1999.

LANGLEY, R.B. **The GPS End-of-Week Rollover**. GPS WORLD, p.40-7, Novembro 1998.

LENNARTSSON, K. **Design of Mixed Higher Layer Protocol Systems**. 1998. Apresenta informações sobre os padrões CAN Kingdom, DeviceNet, SDS, J1939, CAL e CANOpen. Disponível em: <<http://www.kvaser.com>>. Acesso em: 21 de nov. 1999.

LENNARTSSON, K.; FREDRIKSSON, L.B. **Fundamental Parts in SDS, DeviceNet and CAN Kingdom**. 1996. Apresenta informações sobre os padrões SDS, DeviceNet e CAN Kingdom. Disponível em: <<http://www.kvaser.com>>. Acesso em: 21 de nov. 1999.

LINDGREN, M.; PERSSON, P. The Multiplexed Vehicle – a Maintenance Time Bomb!?. Artigo SAE 960391, 1996. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series**. Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.99-107.

LUETJENS, H.W.; EISELE, H. How to Qualify EMC in Multiplexing. Artigo SAE 1999-01-1272, 1999. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series**. Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.117-125.

MATHONY, H.J.; POLEDNA, S. Real-Time Software for In-Vehicle Communication. Artigo SAE 960117, 1996. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series**. Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.187-195.

MCLAUGHLIN, R.T.; KHOH, S.B. A SLIO (Serial Link Input/Output CAN Implementation. Artigo SAE 941661, 1994. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series**. Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.497-501.

MISBAHUDDIN, S.; AL HOLOU, N.; MAHMUD, S.M. A Data Reduction Algorithm for Automotive Multiplexing. Artigo SAE 981104, 1998. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series**. Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.45-48.

PEZETA, D.M.; BARTACEVICIUS, J.A.M. **Rede de Sensores para o Sistema de Controle de Avarias das Fragatas Classe Niterói da Marinha do Brasil (SENSCAV)**. 2001. 76p. Projeto de Formatura (Graduação) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

PHILIPS. **EMC Design Rules For Electronic Systems**. v.2.0, Ref. AR29-R-48/95. Especificação Técnica, 1995.

_____. **Extended Frame Format – A New Option of the CAN Protocol**. Nota de Aplicação – HAI/AN 92002, 1993.

_____. **P82C150** - CAN Serial Linked (I/O) device (SLIO) with digital and analog functions. Especificação Preliminar, 1996.

_____. **SJA1000** – Stand Alone CAN Controller. Especificação Técnica, 1997.

_____. **The I²C-bus and how to use it**. v.2.0. Especificação Técnica, 1998.

PURDY, D.R. **Target's Common Digital Architecture**. 1999. Apresenta informações sobre o padrão CAN e NMEA 2000 em aplicações aeroespaciais e navais. Disponível em: <<http://www.kvaser.com>>. Acesso em: 21 de nov. 1999.

RAUCHAUPT, L. **Performance Analysis of CAN based Systems**. 1994. Apresenta informações sobre medidas de desempenho de redes CAN. Disponível em: <<http://www.kvaser.com>>. Acesso em: 21 de nov. 1999.

SAE – SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. Recommended Practice for Serial Control and Communication Vehicle Network, Part 2: Off-Road Machinery Control and Communication Network. **SAE J1939/02**, 1997.

SAMUEL, J. Developing Diagnostics on KWP 2000 and CAN. Artigo SAE 981112, 1998. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series**. Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.521-527.

SIEMENS. **C505C** – Microcontroller 8 bits with CAN 2.0B. Especificação Técnica, 1997.

SPARKS, D. et al. Multi-Sensor Modules with Data Bus Communication Capability. Artigo SAE 1999-01-1277, 1999. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series**. Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.155-159.

STONE, M.L. **Dynamic Address Configuration in SAE J1939**. 1999. Apresenta informações sobre a atribuição de endereços em uma rede CAN. Disponível em: <<http://www.biosystems.okstate.edu/Home/mstone/>>. Acesso em: 23 de nov. 2000.

SUZUKI, S. et al. A Distributed Control System Framework for Automotive Powertrain Control with OSEK Standard and CAN Network. Artigo SAE 1999-01-1276, 1999. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series**. Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.553-558.

TEXAS INSTRUMENTS. **UC5350** – CAN Transceiver. Especificação Técnica. 2000.

TINDELL, K.; BURNS, A. **Guaranteeing Message Latencies on Controller Area Network (CAN)**. In: INTERNATIONAL CAN CONFERENCE, 1., 1994. Proceedings. Mainz, 1994.

TÖRNGREN, M. **A Perspective to the Design of Distributed Real-Time Control Applications based on CAN**. 1996. Apresenta informações sobre o CAN. Disponível em: <<http://www.kvaser.com>>. Acesso em: 21 de nov. 1999.

UPENDER, B.P.; DEAN, A.G. **Variability of CAN Network Performance**. 1997. Apresenta informações sobre medidas de desempenho de redes CAN. Disponível em: <<http://www.kvaser.com>>. Acesso em: 21 de nov. 1999.

ZELTWANGER, H. CAN Implementations and Conformance Testing. Artigo SAE 1999-01-1273, 1999. In: JURGEN, R. K. **Multiplexing and Networking: Automotive Electronics Series**. Nr. SAE PT-78, ISBN 0-7680-0472-1, 1999. p.529-535.

ZUBERI, K.M.; SHIN, K.G. **Non-Preemptive Scheduling of Messages on Controller Area Network for Real-Time Control Applications**. In: REAL-TIME TECHNOLOGY AND APPLICATIONS SYMPOSIUM, 1995. Proceedings. 1995. p.240-249.

ZUBERI, K.M.; SHIN, K.G. **Scheduling Messages on Controller Area Network for Real-Time CIM Applications**. 1995. Apresenta informações sobre o carregamento de redes CAN. Disponível em: <<http://www.kvaser.com>>. Acesso em: 21 de nov. 1999.