

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CESAR MACHADO MAIA

Emulador de TECU ISO-11783: Uma ferramenta de apoio
para desenvolvimento de sistemas embarcados em
implementos agrícolas.

São Carlos

2016

CESAR MACHADO MAIA

Emulador de TECU ISO-11783: Uma ferramenta de apoio
para desenvolvimento de sistemas embarcados em
implementos agrícolas.

Dissertação de mestrado apresentada
ao Programa de Pós-graduação em
Engenharia Mecânica da Escola de
Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Mecânica

Área de concentração: Manufatura

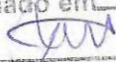
Orientador: Professor Doutor Arthur
José Vieira Porto

ESTE EXEMPLAR TRATA-SE DA
VERSÃO CORRIGIDA.
A VERSÃO ORIGINAL ENCONTRA-
SE DISPONÍVEL JUNTO AO
DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECANICA DA
EESC-USP.

São Carlos

2016



EESC/USP
Serviço de Pós Graduação
Protocolado em 23 / 06 / 2012


Class.	TESE ✓
Cutt.	9772
Tombo	T146/17
Sysno	2842840

6.07.17

3 Δ 100209588

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Maia, Cesar Machado
MC17e Emulador de TECU ISO-11783: uma ferramenta de apoio
para desenvolvimento de sistemas embarcados em
implementos agrícolas / Cesar Machado Maia; orientador
Arthur José Vieira Porto. São Carlos, 2016.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em
Manufatura -- Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, 2016.

1. ISO 11783. 2. ISOBUS. 3. ECU do Trator. I.
Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **CÉSAR MACHADO MAIA**.

Título da dissertação: "Emulador de TECU ISSO-11783: uma ferramenta de apoio para desenvolvimento de sistemas embarcados em implementos agrícolas".

Data da defesa: 17/04/2017.

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Titular **Arthur José Vieira Porto**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof. Dr. **Eduardo Paciência Godoy**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP - Sorocaba)

APROVADO

Prof. Dr. **Rubens André Tabile**
(Faculdade de | Zootecnia e Engenharia de Alimentos; FZEA-IJSP)

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica:
Prof. Associado **Gherhardt Ribatski**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Luís Fernando Costa Alberto**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de desenvolver este curso de pós-graduação na USP e colocar as pessoas certas nos momentos certos.

À minha família, meu pai Edilton, minha mãe, Lindaura, meus irmãos Cleber e Marcela, que sempre me apoiaram nos momentos bons e maus.

Ao professor Arthur José Vieira Porto e ao pesquisador Ricardo Yassushi Inamasu pelas valiosas ajudas contribuições para a realização deste trabalho.

Aos amigos e colegas da Igreja Presbiteriana Renovada de São Carlos, que em todo tempo estiveram ao meu lado incentivando a conclusão desse trabalho.

Aos colegas e profissionais da EMBRAPA que auxiliaram durante a minha estada no LANAPRE.

Aos amigos que estiveram ao meu lado, que me ajudaram sem nem saber.

*“Tudo tem o seu tempo determinado
e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.”*

Eclesiastes 3.1.

RESUMO

MAIA, C.M. **Emulador de TECU ISO-11783: Uma ferramenta de apoio para desenvolvimento de sistemas embarcados em implementos agrícolas.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 205 p. São Carlos 2016.

Atualmente, os sistemas eletrônicos de controle (ECU) têm sido utilizados em maior quantidade em máquinas e veículos agrícolas. Maior troca de informações entre estes dispositivos se fez necessária. A falta de padronização no compartilhamento de informações de dispositivos de diferentes fabricantes se tornou um entrave em aplicações em rede. Para minimizar este problema, desenvolveu-se um protocolo para redes de ECU em máquinas e veículos agrícolas. Trata-se do protocolo internacional ISO 11783, ou ISOBUS, criado da união de esforços entre grupos de pesquisa, empresas e associações. Além disso, como os equipamentos demandam cada vez menos tempo para seu desenvolvimento, a possibilidade de que testes em ECU sejam realizados em laboratório faz-se importante. O objetivo deste trabalho foi analisar e desenvolver um emulador/simulador de TECU ISOBUS-compatível para ser utilizado em laboratório. Analisou-se o conjunto de mensagens para a comunicação da TECU, seu o funcionamento, a interação com outras ECU na rede, desenvolveu-se o programa da TECU e realizaram-se testes. Foi analisada a comunicação das ECU na rede com destaque para a TECU, foi modelado o comportamento da TECU na rede, o que pode ser usado para o desenvolvimento de *softwares*. Inicialmente, a TECU foi avaliada isoladamente, em uma rede real. As mensagens foram enviadas e interpretadas corretamente. A ECU de um implemento realizou os controles corretamente, a partir da recepção das mensagens. Esse emulador/simulador pode auxiliar em atividades didáticas e em treinamentos para profissionais e desenvolvedores. Por fim, a metodologia desenvolvida neste trabalho pode servir como guia para desenvolvimentos de ECU ISOBUS-compatível e, futuramente, a comunicação proprietária entre TECU e implemento agrícola pode ser estudada, a fim de que outros tipos de TECU possam usufruir dos resultados desta pesquisa.

Palavras chave: ISO 11783, ISOBUS e ECU do Trator.

ABSTRACT

MAIA, C.M. **Emulator of TECU ISO-11783**: A support tool for the development of embedded systems in agricultural implements. Dissertation (Master) – Engineering School of São Carlos, University of São Paulo. 205 p. São Carlos 2016.

Currently, electronic control units (ECU) have been used in large scales in agriculture machines and vehicles. A great deal of data exchanges among these devices became necessary. The lack of standardization in the sharing of information among devices of different makers has become an obstacle to network applications. In order to minimize this problem, a protocol for ECU networks was developed. It deals with the international protocol ISO 11783, or ISOBUS, created from the union of efforts among groups of research, companies, and associations. Besides that, as equipment demands less time for their development, the possibility that tests in ECU are made in laboratories became important. The purpose of this work was to analyze and develop an emulator/simulator of TECU ISOBUS-compatible to be used in laboratory. It was analyzed the set of messages for the communication of the TECU, the functioning, and the interaction with other ECU in the network. It was developed the program of the TECU and tests were made. It was analyzed the communication of the ECU in the network, considering the TECU, it was modeled the behavior of the TECU in the network, which can be used for the development of software. Initially, the TECU was isolatedly evaluated in a real network. The messages were sent and correctly interpreted. The ECU of an implement accurately made the controls from the reception of messages. This emulator/simulator can assist in didactics activities and in training of professionals and developers. Eventually, the methodology developed in this work can be used as guide for the development of ECU ISOBUS-compatible, and, in the future, the proprietary communication between TECU and agriculture implement may be studied, in order that other types of TECU can use the results of this research.

Keywords: ISO 11783, ISOBUS and Tractor ECU (TECU).

Índice

Índice	11
Índice de Ilustrações	16
Índice de Tabelas	18
Lista de Siglas e Abreviaturas	19
1. Introdução	21
1.1. Objetivo Geral	24
1.1.1. Etapas do projeto	24
1.2. Justificativas	25
2. Revisão de Literatura	27
3. A rede CAN ISO 11783-compatível	32
3.1. ECU na rede CAN ISOBUS-compatível.....	35
3.1.1. O Controlador de tarefas.....	35
3.1.2. O Terminal virtual.....	38
3.1.3. ECU do Sistema de Posicionamento (GNSS)	42
3.1.4. A ECU do Trator.....	42
3.1.4.1. TECU de Classe 1	43
3.1.4.2. TECU de Classe 2.....	44
3.1.4.3. TECU de Classe 3.....	45
3.1.4.4. Mensagens adicionais.....	46
3.1.5. Fornecimento e consumo de dados na rede ISOBUS	49
3.2. O Protocolo ISO 11783.....	51
3.2.1. Parte 1: Padrão geral para comunicação de dados	52
3.2.2. Parte 2: Camada Física	53
3.2.3. Parte 3: Camada de enlace de dados.....	54
3.2.4. Parte 4: Camada de rede	59
3.2.5. Parte 5: Camada de gerenciamento de rede	60
3.2.6. Parte 6: Terminal Virtual.....	62
3.2.7. Parte 7: Mensagens do implemento na camada de aplicação	63
3.2.8. Parte 8: Mensagens do <i>Power Train</i>	64
3.2.9. Parte 9: ECU do Trator	64
3.2.10. Parte 10: Controlador de Tarefas e gerenciamento e Informações do sistema de troca de dados.....	66
3.2.11. Parte 11: Elementos do dicionário de dados.....	66

3.2.12.	Parte 12: Serviço de diagnósticos.....	68
3.2.13.	Parte 13: Servidor de Arquivos.....	70
3.2.14.	Parte 14: Controle de atividades sequenciais.....	71
4.	Mensagens Padronizadas ISO 11783.....	72
4.1.	Mensagens do Terminal Virtual.....	72
4.1.1.	Anexo C: Protocolo de transporte de objetos.....	73
4.1.2.	Anexo D: Mensagens de dados técnicos.....	73
4.1.2.1.	Mensagens de Memória.....	74
4.1.2.2.	Mensagens do número de <i>soft keys</i>	74
4.1.2.3.	Características de fonte do texto.....	75
4.1.2.4.	Mensagens de hardware.....	75
4.1.2.5.	Mensagens de <i>widechars</i>	76
4.1.2.6.	Mensagens de janela da máscara de dados.....	76
4.1.2.7.	Mensagens de objetos suportados.....	76
4.1.3.	Anexo E: Comandos de operações de memória não volátil.....	76
4.1.3.1.	Obter versões.....	77
4.1.3.2.	Armazenamento de OP.....	78
4.1.3.3.	Carregar versão do OP.....	78
4.1.3.4.	Apagar versão do OP.....	78
4.1.4.	Anexo F: Mensagens de comando e macros.....	79
4.1.4.1.	Mensagens de comandos de objetos.....	79
4.1.4.2.	Mensagens de escape (ESC).....	80
4.1.4.3.	Mensagens de comando de áudio.....	80
4.1.4.4.	Mensagens de alteração de objeto filho.....	80
4.1.4.5.	Mensagens de mudança de dimensões e plano de fundo do objeto. 80	
4.1.4.6.	Mudança de valores de número e <i>strings</i>	81
4.1.4.7.	Alteração do final do objeto, dos atributos de fonte, de linha e de preenchimento do objeto.....	81
4.1.4.8.	Mudança de máscara ativa e de soft Keys.....	82
4.1.4.9.	Alteração de prioridade.....	82
4.1.4.10.	Alteração de lista de itens, <i>label</i> e execução de macros.....	82
4.1.4.11.	Mensagem para apagar OP.....	83
4.1.4.12.	Comando de <i>Lock/Unlock</i> de Máscara.....	83
4.1.4.13.	Alterações em polígonos.....	83

4.1.4.14.	Comandos Gráficos.....	84
4.1.4.15.	Obter valor de atributo.....	84
4.1.4.16.	Selecionar mapas de cores.....	84
4.1.4.17.	Identificação de VT.....	85
4.1.4.18.	Mensagem de função não suportada pelo VT.....	85
4.1.5.	Anexo G: Mensagens de <i>status</i>	85
4.1.5.1.	Mensagem de <i>status</i>	85
4.1.5.2.	Mensagens de manutenção do <i>working set</i>	86
4.1.6.	Anexo H: Mensagens de ativação.....	86
4.1.6.1.	Ativação de <i>soft keys</i> e botões.....	87
4.1.6.2.	Eventos de Cursor.....	87
4.1.6.3.	Mensagem de seleção de objeto de entrada do VT.....	87
4.1.6.4.	Mensagens de ESC do VT.....	87
4.1.6.5.	Mudança de valores numéricos, <i>strings</i> , máscara ativa de dados e de <i>soft Keys</i>	88
4.1.6.6.	Mensagem para mostrar ou esconder a máscara ativa.....	88
4.1.6.7.	Mensagem de término de sinal de controle de áudio.....	89
4.1.7.	Anexo I: Outras mensagens.....	89
4.1.8.	Anexo J: Controles auxiliares.....	89
4.1.9.	Anexo K: Protocolo de transporte estendido.....	90
4.2.	Mensagens do TC.....	90
4.2.1.	Mensagens de dados do processo.....	90
4.2.2.	Mensagens de dados técnicos.....	91
4.2.3.	Mensagens de descrição do dispositivo.....	91
4.2.4.	Mensagens de <i>structure label</i>	91
4.2.5.	Mensagens de <i>label</i> de localização.....	92
4.2.6.	Mensagem de requisição de transferência do <i>object pool</i>	92
4.2.7.	Mensagens de transferência de <i>object pool</i>	92
4.2.8.	Mensagens de ativação do DDOP.....	92
4.2.9.	Mensagens de exclusão.....	93
4.2.10.	Mensagens de mudança do designador de um objeto.....	93
4.2.11.	Mensagens de <i>Status</i>	93
4.2.12.	Mensagem NACK.....	94
4.2.13.	Mensagem de <i>status</i> do controlador de tarefas.....	94

4.2.14.	Mensagens de <i>status</i> do <i>working set</i>	94
4.3.	Mensagens do sistema de referência de posição	94
4.4.	Mensagens da TECU	95
4.4.1.	Mensagens de Medidas	96
4.4.1.1.	Mensagens de tempo	96
4.4.1.2.	Mensagens de velocidade e distância.....	96
4.4.1.3.	Mensagens de Engate e TDP	97
4.4.1.4.	Mensagens da Tomada de Potência	97
4.4.1.5.	Mensagens de Engate de três pontos	98
4.4.1.6.	Mensagens de válvulas auxiliares.....	98
4.4.1.7.	Dados da iluminação.....	100
4.4.1.8.	Mensagens de Alteração da taxa de repetição	101
4.4.1.9.	Mensagens de <i>Working Set Master</i>	101
4.4.1.10.	Respostas às mensagens de controle	102
4.4.1.11.	Mensagens de respostas das <i>facilities</i>	102
4.4.1.12.	Mensagens de válvula de propósito geral.....	103
4.4.1.13.	Mensagens de conformidade.....	103
4.4.1.14.	Disponibilidade dos comandos do sistema de guiamento.....	103
4.4.2.	Mensagens de Comandos	104
4.4.2.1.	Manutenção de energia	104
4.4.2.2.	Comandos do engate e da TDP	104
4.4.2.3.	Comando de válvulas auxiliares	104
4.4.2.4.	Comandos de iluminação	105
4.4.2.5.	Comando de linguagem	105
4.4.2.6.	Alteração da taxa de repetição	105
4.4.2.7.	Mensagens de controle do trator.....	106
4.4.2.8.	Mensagens de controle de <i>facilities</i>	106
4.4.2.9.	Controle das válvulas de propósito geral	106
4.4.2.10.	Mensagens de comando de guiamento do trator.....	106
5.	Metodologia.....	107
5.1.	Análise do ISO 11783 – Partes 7, 8 e 9.....	108
5.2.	Modelagem do Sistema	109
5.3.	Desenvolvimento da TECU.....	115
5.4.	Testes de verificação	119

5.5.	Análise e Aquisição dos dados	121
5.6.	Arranjo Experimental	122
6.	Resultados	125
6.1.	Sistematização do protocolo	125
6.2.	Modelagem do comportamento da TECU na rede.....	133
6.3.	Desenvolvimento da TECU	134
6.4.	Testes	144
6.4.1.	Análise Isolada da TECU	145
6.4.2.	Recepção das Mensagens	147
6.4.3.	Desempenho com uma ECU de um implemento real, com simulação de saída de aplicação.	154
6.4.4.	Testes funcionais	158
6.4.4.1.	Engate de três pontos	158
6.4.4.1.1.	Comando para abaixar e elevar	158
6.4.4.2.	Liga desliga.....	163
6.4.4.3.	Luzes do trator:.....	165
6.4.4.4.	Controle de Classe:	167
6.4.4.5.	Variáveis do RPM	169
6.4.4.6.	Dados de velocidade	173
6.4.4.7.	Transmissão de data e comandos de linguagem.....	177
6.4.4.8.	Sistema GNSS	179
6.4.4.9.	Temporização do sistema	180
7.	Discussão e Conclusões.....	181
7.1.	Discussão.....	181
7.2.	Conclusão	185
7.3.	Trabalhos Futuros:	186
8.	Referências	187
	Anexo A: Funções utilizadas e tratamento de eventos TECU.....	196

Índice de Ilustrações

Figura 1: Operação do TC na rede ISO 11783 (Fonte: O autor).....	34
Figura 2 : Rede CAN ISO 11783-compatível (SOUSA; INAMASU; TORRE NETO, 2001).....	35
Figura 3 : Envio de tarefas do WS para o TC (Fonte: o autor).....	37
Figura 4 : Terminal Virtual ISOBUS (fonte: http://www.haleyequipmentinc.com/new-precision-farming-page/application-control/isobus-and-serial-interface-connectivity/).....	39
Figura 5 : Operação do VT na rede ISO 11783 (Fonte: o autor).....	41
Figura 6 : Fluxo das informações na rede CAN ISO 11783-compatível (Fonte: o autor).	51
Figura 7 : Campo NAME (ISO, 2012)	62
Figura 8 : Aparência do <i>site</i> de dicionário de dados (fonte: http://dictionary.isobus.net/isobus/)... 68	
Figura 10: Engate de três pontos, tomada de potência, barra de tração e válvulas auxiliares (extraído de http://pt.slideshare.net/knoxlomu/tratores).	99
Figura 11 : Sistema de luzes de comando, sinalização e indicação do trabalho do trator.	100
Figura 12 : Detalhes das lâmpadas instaladas no trator.	101
Figura 13 : Fluxograma de sequência de atividades (Fonte: o autor).....	108
Figura 14: Etapas para determinação do conjunto de mensagens (Fonte: o autor).	109
Figura 15 : Diagrama geral do funcionamento do trator (Fonte: o autor)	113
Figura 16 : Diagrama com a chave desligada (Fonte: o autor).	114
Figura 17 : Diagrama de funcionamento com a chave ligada (Fonte: o autor).	115
Figura 18 : Diagrama de integração de módulos do CANoe, da Vector (Fonte: o autor).....	119
Figura 19 : Roteiro dos testes realizados (Fonte: o autor).....	120
Figura 20 : Rede montada em laboratório (Fonte: o autor).	123
Figura 21 : Terminal virtual John Deere Greenstar 1800 (Fonte: o autor).	124
Figura 22: ECU do Pulverizador IC18 TeeJet (Fonte: o autor).....	124
Figura 23 : Arquivo de configuração utilizado (Fonte: o autor).....	138
Figura 24 : Telas do <i>software</i> CANoe (Fonte: o autor).....	140
Figura 25 : Painel de controle do simulador de TECU (Fonte: o autor).	144
Figura 26 : eriodicidade das mensagens da TECU (Fonte: o autor).	145
Figura 27: Tratamento de maintain power enviada na rede (Fonte: o autor).	147
Figura 28 : Tela do VT no modo monitor de desempenho, com a rede em funcionamento (Fonte: o autor).	148
Figura 29 : Dados enviados pela TECU (Fonte: o autor).	148
Figura 30 : Tela de diagnósticos do implemento com TECU de classe 1 (Fonte: o autor).....	150
Figura 31 : Mensagens enviadas na rede ISOBUS (Fonte: o autor).	150
Figura 32 : Velocidade baseada nas rodas do trator na rede ISO 11783 (Fonte: o autor).	150
Figura 33 : PGN da tomada de potência traseira enviada para a rede ISOBUS (Fonte: o autor).	151
Figura 34 : Tela de diagnósticos do implemento com um trator de classe 2 (Fonte: o autor).....	152
Figura 35 : PGN Velocidade baseada no solo, velocidade baseada nas rodas e na tomada de potência traseira (Fonte: o autor).....	153
Figura 36 : Requisição de manutenção de energia enviada pelo VT (Fonte: o autor).....	154
Figura 37 : Taxa alvo comparado com a velocidade do implemento (Fonte: o autor).....	155
Figura 38 : Velocidade e a taxa alvo do implemento (Fonte: o autor).	155
Figura 39 : Velocidade do implemento relacionada com a taxa alvo (Fonte: o autor).....	156

Figura 40 : Reação da taxa de vazão do implemento de acordo com a velocidade (Fonte: o autor).	156
.....	156
Figura 41 : Reação à variação de velocidade para manter a taxa alvo constante(Fonte: o autor)...	157
Figura 42 : Reação à velocidade mais alta do implemento agrícola (Fonte: o autor).....	157
Figura 43 : <i>Log das informações do engate traseiro</i> (Fonte: o autor).....	159
Figura 44 : <i>Log das informações do engate dianteiro</i> (Fonte: o autor).	159
Figura 45 : Fluxograma atualização dos valores do engate traseiro (Fonte: o autor).....	160
Figura 46: Fluxograma atualização dos valores do engate frontal (Fonte: o autor).....	160
Figura 47: Fluxograma função de envio das informações do engate traseiro (Fonte: o autor).	162
Figura 48: Fluxograma do envio de informações do engate dianteiro (Fonte: o autor).....	162
Figura 49: Fluxograma acionamento da chave de ignição (Fonte: o autor).	163
Figura 50 : <i>Log dos resultados da ação de liga e desliga</i> (Fonte: o autor).	164
Figura 51 : <i>Log liga desliga con detalhes para o heartbeat</i> (Fonte: o autor).	165
Figura 52 : Fluxograma da função de envio de dados de iluminação (Fonte: o autor).....	166
Figura 53 : <i>Log dados de iluminação</i> (Fonte: o autor).	167
Figura 54 : <i>Log dados enviados de classe 1</i> (Fonte: o autor).	168
Figura 55 : <i>Log dados de claase 2</i> (Fonte: o autor).	168
Figura 56 : Fluxograma controle de engate da TDP (Fonte: o autor).....	169
Figura 57 : FLuxograma envio ded dadodas das TDP (Fonte: o autor).	171
Figura 58 : <i>Log mostrando o trator a) engatado a um implemento e b) sem implemento engatado</i> (Fonte: o autor).	172
Figura 59 : Envio de dados de velocidade da TDP com a) TDP com implemento engatado e b) se implemento engatado (Fonte: o autor).	172
Figura 60: Comportamento das funções de envio de dados de velocidade (Fonte: o autor).....	174
Figura 61: Velocidade baseada nas rodas e no solo para interface de classe 1 (Fonte: o autor). ...	175
Figura 62 : Velocidade baseada nas rodas e no solo para interface de classe 2 (Fonte: o autor). ...	176
Figura 63: <i>Log dos PGN de velocidade em ponto neutro</i> (Fonte: o autor).....	177
Figura 64: <i>Log dos PGN de velocidade modo engrenado</i> (Fonte: o autor).....	177
Figura 65 : Fluxograma da trajetória usada com o sistema GNSS (Fonte: o autor).	180

Índice de Tabelas

Tabela 1: Identificadores TECU classe 1.....	126
Tabela 2: PGN do dicionário de dados da ECU do Trator classe 2	126
Tabela 3: Parâmetros enviados pelo PGN de velocidade baseada nas rodas	127
Tabela 4: Parâmetros enviados pelo PGN de engate traseiro	128
Tabela 5: Parâmetros enviados pelo PGN velocidade baseada no solo	128
Tabela 6: Dados da máquina (F004) – PGN do SAE J1939	129
Tabela 7: Parâmetros enviados pelo PGN de válvulas auxiliares.....	129
Tabela 8: Parâmetros enviados pelo PGN de engate frontal.....	130
Tabela 9: PGN de comando e informações das luzes do trator.....	130
Tabela 10: Informações enviadas pelo PGN da tomada de potência traseira.....	131
Tabela 11: Informações da tomada de potência dianteira.....	132
Tabela 12: Períodos das mensagens da TECU.....	132
Tabela 13 : Casos de teste dos comandos do engate.	161
Tabela 14 : Casos de teste do sinal de <i>In Working</i>	161

Lista de Siglas e Abreviaturas

ACK *Acknowledgement* – Indicação positiva de determinado parâmetro

AEF *Agricultural Industries Electronics Foundation*

CAN *Controller Area Network*

CAPL *Communication Application Programming Language* – Linguagem de programação baseada em C++ utilizada no *software* VECTOR CANoe

DDI *Data Dictionary Identifier* – Identificadores das mensagens de processos para comunicar implemento agrícola e controlador de tarefas

DDOP *Device Description Object Pool*

DIN *Deutsches Institut für Normung*

DP *Data Page*

ECU *Electronic Control Unit*

EDP *Extended Data Page*

ESC *Escape*

GNSS *Global Navigation Satellite System*

ID *Identity Document*

ISO *International Standard Organization*

ISOBUS parte X – Parte X da ISO 11783

ISOBUS *Protocolo ISO 11783*

NACK *Negative Acknowledgement* – Mensagem de indicação negativa

NAME Conjunto de 64 *bits* que descrevem as funções da ECU

NIU *Network Interconnection Unit*

NMEA *National Marine Electronics Association*

OP *Object Pool*

OSI *Open System Interconnection*

Parte X do Protocolo ISO 11783 – Parte do protocolo ISO 11783 documentada no protocolo a norma ISO 11783-X

PDU *Protocol Data Unit*

PGN *Parameter Group Number*

Protocolo ISO 11783 – Protocolo de comunicação entre tratores e implementos, documentadas no protocolo de comunicação ISO 11783

RC *Resistivo-Capacitivo*

RPM *Rotações por Minuto*

SA *Source Address*

SAE *Society of Automotive Engineers*

SPN *Suspect Parameter Group*

TC *Task Controller*

TDP *Tomada de Potência*

TECU *Tractor ECU*

USB *Universal Serial Bus*

VDMA *Verband Deutscher Maschinen - und Anlagenbau – associação de engenheiros alemães*

VT *Virtual Terminal*

WS *Working Set*

WSM *Working Set Master*

XML *Extensible Markup Language*

1. Introdução

O crescente avanço na produção de semicondutores permitiu que dispositivos eletrônicos se tornassem cada vez mais confiáveis e populares, dando espaço para o crescimento do uso de dispositivos eletrônicos auxiliados por microcontroladores. Atualmente, o uso desses dispositivos é largamente difundido. A indústria automotiva e de máquinas pesadas agregou aos seus projetos circuitos integrados capazes de realizar e monitorar diversas tarefas, automaticamente. Essa evolução chegou, também, ao segmento agrícola, permitindo maior utilização de sistemas embarcados em máquinas tratoras, utilizadas nesse importante setor econômico.

A integração de dispositivos eletrônicos aos projetos de tratores e a implementos agrícola ¹ permitiu que diferentes tarefas pudessem ser automatizadas. Sistemas de direção, de controle de velocidade, de freios e de conforto ao operador puderam ser utilizados simultaneamente, sem comprometer o desempenho das máquinas agrícolas utilizadas. Além disso, a obtenção de dados dos mecanismos internos da maquinaria agrícola, necessários para a operação de implementos agrícolas, pôde ser realizada de forma eletrônica e automática (STONE; MCKEE; FORMWALT, 1999).

O aumento da utilização de dispositivos microcontrolados para automatização de atividades de máquinas agrícolas implicou a necessidade de compartilhamento de informações entre esses dispositivos (HOFSTEE, 1999). Houve, então, necessidade de desenvolvimento e de instalação de redes de comunicação nos veículos e nos implementos agrícolas para envio e recebimento de informações.

Gradativamente, os equipamentos mecânicos utilizados no setor agrícola tiveram dispositivos eletrônicos de controle incorporados aos seus projetos. Essa incorporação visava melhorar os níveis de produtividade, de segurança e de conforto para o operador, além de aumentar o nível de automatização. Isso permitiu a integração das máquinas agrícolas com a Agricultura de Precisão, uma abordagem científica da agricultura que melhora seu gerenciamento com a aplicação de

¹ Equipamentos acoplados ao trator responsáveis por funções específicas como arar e gradear a terra, colher e pulverizar, por exemplo.

tecnologia da informação e sistemas de localização, para identificar, analisar e gerenciar a variabilidade espacial e temporal do solo, pragas, água e nutrientes (MONDAL; TEWARI, 2007). Por outro lado, a incorporação de dispositivos eletrônicos a projetos mecânicos deu origem ao desafio de realizar a comunicação entre esses dispositivos que não contavam com padrões uniformes de comunicação (SARAIVA; CUGNASCA, 2006).

A falta de uniformidade na comunicação dificultava que equipamentos de diferentes fabricantes pudessem se comunicar. A integração entre tratores e implementos de diferentes empresas demandavam a instalação de circuitos exclusivos para cada implemento utilizado. Em muitos casos, equipamentos com a mesma finalidade eram instalados em circuitos diferentes, já que são produzidos por fabricantes distintos. Dessa maneira, o aumento da quantidade de circuitos elevou o custo de instalação e a complexidade de manutenção. A solução para esses problemas foi a utilização de uma rede de comunicação com cabeamento único e com mensagens padronizadas para realizar a troca de informações entre os equipamentos de fabricantes diferentes. O esforço conjunto de instituições de pesquisa e, majoritariamente, de empresas e da Associação de Normas Internacionais (*International Standard Organization – ISO*) determinou o desenvolvimento de um protocolo único de mensagens e de cabeamento para comunicação entre unidades eletrônicas de controle (*Electronic Control Unit – ECU*) (INAMASU; SOUSA, 2003; STONE; MCKEE; FORMWALT, 1999).

A ISO 11783 - *Tractors and Machinery for Agriculture and Forestry – Serial Control and Communications Data Network* – especifica a rede serial para comunicação e controle de veículos agrícolas, de modo a tornar possível uma padronização para sistemas agrícolas, sendo baseado em outros protocolos, como o CAN e partes da DIN 9684² e da SAE J1939³ (SARAIVA; CUGNASCA, 2006).

A publicação do documento do protocolo ISO 11783 e sua posterior adoção possibilitou que problemas de interoperabilidade fossem minimizados. Tornou-se possível a comunicação entre equipamentos de fabricantes diferentes e a instalação do cabeamento em tratores agrícolas foi simplificada. As empresas multinacionais

² Protocolo de comunicação alemão usado para comunicação em equipamentos e máquinas agrícolas.

³ Protocolo de comunicação norte-americano desenvolvida para veículos pesados, aplicada para a comunicação entre tratores e implementos agrícolas.

adotaram com mais rapidez o protocolo, enquanto o cenário nacional entrou em descompasso, fazendo com que, por um determinado tempo, apenas produtos importados fossem compatíveis com o protocolo ISO 11783 (INAMASU; SOUSA, 2003).

A rede CAN, na qual trafegam dados e mensagens das ECU externas ao trator, em conformidade com o protocolo ISO 11783, é denominada barramento do implemento. Neste documento, as nomenclaturas “rede ISO 11783”, “rede ISOBUS”, “rede CAN ISO 11783-compatível”, “rede CAN ISOBUS-compatível” e “barramento do implemento” serão utilizadas para se referir à mesma rede de comunicação. Essa rede é composta por um terminal virtual que tem função de atuar como interface entre o operador e o implemento agrícola e é utilizado, também, pelo controlador de tarefas para controlar as taxas de aplicação de acordo com os dados especificados pelo sistema de posicionamento. Por sua vez, esse sistema indica as coordenadas de latitude e longitude do conjunto formado pelo trator e pelo implemento agrícola e pela unidade eletrônica de controle do trator, que representa o trator na rede ISO 11783. A rede deve ser instalada no trator para realizar a conexão elétrica entre as ECU.

Durante o processo de desenvolvimento de uma ECU faz-se necessário que esta seja testada, validada e calibrada, para depois ser instalada no equipamento agrícola. Este processo serve para avaliar se a ECU opera em conformidade com o protocolo de comunicação especificado e com as estratégias de controle estabelecidas no projeto da ECU. Ainda, pode-se avaliar quais ajustes de *hardware* e *software* devem ser feitos antes da instalação da ECU.

É pertinente que o desenvolvimento de sistemas eletrônicos demande o menor tempo possível. Por essa razão, é importante que as ECU na rede CAN sejam testadas a cada vez que se incorporam novos elementos aos seus *softwares* e ao *hardwares*. Esse processo proporciona *feedbacks* e verificações de forma continuada ao projeto. No entanto, o deslocamento da máquina ao campo a cada teste elevaria o custo do projeto da ECU e atrasaria sua conclusão.

Uma forma de diminuir os custos e o tempo para término do projeto seria realizar os testes de verificação em laboratório, usando-se uma ferramenta ISO 11783 compatível que pudesse substituir uma ou mais ECU na rede. Se em

laboratório pudessem ser geradas as informações necessárias, as ECU e a rede poderiam ser testadas sem a necessidade de instalação da rede, apenas conectando-se as ECU. Uma das máquinas mais críticas para a realização dos testes é o trator agrícola, pois se trata de um veículo com alto custo de aquisição. Se os testes em laboratório puderem, também, auxiliar nesta restrição, uma rede ISO 11783 poderia ser utilizada em laboratório e realizar testes com as ECU sem a necessidade de instalação no trator e sem a necessidade de um teste em campo. Dessa forma, a rede poderia ser implementada, testada e validada em laboratório. Caso haja necessidade de realizar calibrações na ECU, não há necessidade de testes em campo.

Este trabalho se encaixa dentro dessa lacuna de pesquisa e, nos próximos tópicos, são detalhados os objetivos principal e específicos deste trabalho, bem como as justificativas que embasaram esta pesquisa.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um simulador/emulador de ECU do Trator que permitisse emular o comportamento de um trator classe 1 e 2, em uma rede real ISO 11783, em laboratório. Este sistema forneceria determinadas informações, de acordo com o protocolo de comunicação ISO 11783. Estas informações serão usadas para auxiliar no desenvolvimento de ECU compatíveis com este protocolo.

1.1.1. Etapas do projeto

- Sistematização das mensagens da interface de comunicação entre o implemento agrícola e o trator. Esta etapa faz-se necessária para a definição das variáveis que devem ser alocadas nos campos de dados das mensagens. O objetivo é transmitir essas variáveis para a rede;

- Descrição da atuação da TECU na rede, necessário para modelar o fluxo de comandos e ações no *software* da TECU;
- Descrição do consumo e envio das mensagens entre as ECU na rede ISOBUS-compatível;
- Definição das mensagens que necessitam ser enviadas e recebidas pela TECU para que esta funcione em conformidade com o descrito nos documentos do protocolo ISO 11783;
- Determinação do menor conjunto de mensagens que permita a TECU operar na rede, conforme o ISO 11783 preconiza, para as classes 1 e 2.

1.2. Justificativas

A possibilidade de se realizar testes em ECU durante seu desenvolvimento pode melhorar a assertividade do projeto. Pois a comunicação ISO 11783, conjunto de mensagens, tarefas agrícolas desenvolvidas, estratégias de controle e segurança e o *software* da ECU podem ser testados. Podem-se realizar testes rápidos durante o desenvolvimento, podendo reduzir custos e retrabalhos e não há necessidade de instalar a rede nos veículos para os testes.

A rede ISOBUS-compatível pode ser validada antes de sua instalação. A comunicação pode ser testada. Há a possibilidade de avaliar o envio e consumo de mensagens ou informações, analisando o comportamento de uma determinada ECU em uma rede mais próxima da situação. Assim, pode-se prever a operação de determinada ECU da rede que será instalada em uma máquina agrícola.

A análise e o estudo especificamente da TECU, pode auxiliar desenvolvedores, meio acadêmico e programas didáticos. A análise do comportamento da TECU na rede, conjunto de mensagens para sua operação na rede, como suas mensagens são utilizadas na rede e como se estabelece sua comunicação com as outras ECU pode auxiliar no levantamento de modelos e implementações. Pode beneficiar também as pesquisas em ISOBUS e auxiliar os treinamentos para formação de corpo técnico.

O simulador de TECU diminui a necessidade de que haja um trator agrícola para testar as ECU em uma rede. É feita a simulação da rede e as ECU reais podem ser conectadas à rede em laboratório. Isso pode diminuir os custos de pesquisas, pois algumas funcionalidades básicas podem ser testadas em laboratório, sem necessidade de testes iniciais em campo.

2. Revisão de Literatura

A revisão de literatura levantou trabalhos acadêmicos sobre o ISOBUS/ISO 11783. Os aspectos analisados no trabalho foram análises do protocolo de comunicação, desenvolvimento de ECU e testes operacionais realizados na rede CAN na qual trafegam as mensagens. Selecionaram os artigos acadêmicos, dissertações e teses que cujos temas principais foram o ISOBUS/ISO 11783. Estes trabalhos relataram explicações sobre o protocolo de comunicação e implementações da ECU de suas comunicações na rede. A revisão foi organizada agrupando estudos relacionados à mesma ECU.

O protocolo ISO 11783 teve seu primeiro documento publicado e aceito durante a década de 1990. Inicialmente as análises sobre esse protocolo constavam em artigos sobre a AP. Estes trabalhos abordavam o impacto que os sistemas eletrônicos embarcados, as redes de comunicação serial e as padronizações dos protocolos poderiam causar na agricultura de precisão e as vantagens da adoção da eletrônica embarcada nesse contexto. (AUERNHAMMER, 2001; MUNACK; SPECKMANN, 2001; SIGRIMIS, 2000; STAFFORD, 2000).

Trabalhos de cunho técnico foram desenvolvidos e publicados durante os períodos posteriores à publicação do protocolo. Estes trabalhos discutiam desdobramentos da aplicação do protocolo (HOFSTEE, 1999), implementações de sistemas eletrônicos e redes embarcadas (SPECKMANN; JAHNS, 1999) e simulações de redes embarcadas usando o protocolo ISO 11783 (STONE; MCKEE; FORMWALT, 1999). Estas publicações analisavam a comunicação baseada no protocolo ISO 11783 sob a ótica de sistemas eletrônicos embarcados e descreve possibilidades de utilização e implementações do protocolo descritos nos documentos vigentes à época. Posteriormente, quando o ISOBUS já estava com parte de seus documentos elaboradas, analisou-se a possibilidade utilizar dois protocolos diferentes, ISO 11783 e *flexray*, para operar um sistema ISOBUS-compatível para analisar as ocorrências de falhas durante a operação (FANTUZZI *et al.*, 2007).

Os trabalhos nacionais concentraram-se em enfatizar as diferenças entre os protocolos de comunicação até então usados nas máquinas agrícolas, o DIN 9684, o J1939 e outros e o ISOBUS e realizar análises de equipamentos e documentos. STRAUSS (2001) realizou a implementação e a avaliação de uma rede CAN para aplicações agrícolas, desenvolvendo uma biblioteca C para comunicação via protocolo ISO 11783 e um protótipo de monitor de semeadura. SOUSA (2002) realizou a análise de protocolos disponíveis, componentes semicondutores, interfaces de comunicação e programas computacionais para aplicação de comunicação via rede CAN em máquinas agrícolas. Neste trabalho desenvolveu-se um protótipo para comunicação CAN e um documento referencial. Ainda com a temática de analisar a rede CAN ISOBUS-compatível, GUIMARÃES (2003) analisou os protocolos disponíveis e desenvolveu o *hardware* e o *software* para um monitor de semeadura, propondo um roteiro para implementações de protocolos para aplicações agrícolas.

Ao passo que a análises do protocolo foram analisadas, foram desenvolvidas estratégias para implementar, integrar e até melhorar o desempenho de ECU ISOBUS-compatíveis.

O terminal virtual ISO 11783-compatível foi assunto de trabalhos que o analisaram, estudaram a comunicação entre o VT e o implemento, desenvolveram um protótipo utilizando uma tela *touch screen* e foi desenvolvido um editor para desenvolvimento de telas. A análise da viabilidade da utilização de um computador portátil para utilizá-lo com um VT e TC foi estudada por LANDI (2004). Esse protótipo ainda contava com um controlador de tarefas integrado. A comunicação entre VT e implemento agrícola foi estudada por SAKAI (2008). Neste trabalho foi desenvolvido um protótipo de uma ECU implemento que enviava seu próprio *object pool* ao terminal virtual na rede. Foram analisados os documentos do protocolo para iniciar o envio de mensagens na rede, enviar e receber dados usando protocolo de transporte e tratamento de eventos de tela do VT. MINGZHU, ZHILI e ZHIQIANG (2009) desenvolveram um VT usando um sistema dotado com uma tela sensível ao toque. Puderam receber as telas e trocar mensagens com as ECU conectadas ao barramento ISO 11783. Foi desenvolvido o *hardware* e o *software* da ECU e o sistema foi validado com duas ECU simuladas em um computador. Além dos estudos sobre a viabilidade, comunicação e desenvolvimento do VT, foi

implementado um editor de *object pools* ISOBUS compatível, o *PoolEdit* (OKSANEN; KUNNAS; VISALA, 2011). Este editor encontra-se disponível para *download* na página da Universidade Aalto.

Outra ECU estudada foi o controlador de tarefas. Pelo fato do TC gerenciar as tarefas agrícolas executadas pelo implemento agrícola, houve o interesse de que essa ECU também pudesse receber tarefas e enviar dados durante a sua operação em campo.

MIETTINEN *et al.* (2006) desenvolveram um controlador de tarefas usando um dispositivo ISOBUS compatível, a partir do protocolo ISO 11783. Geraram tarefas e as testaram em campo. PEREIRA (2008) descreve a comunicação entre o controlador de tarefas e implemento agrícola conectado à rede. Ao passo que os estudos sobre o TC eram desenvolvidos, outras vertentes planejavam formas de conectar esta ECU ao FMIS ou à internet. Foi proposto o gerenciamento e a assistência remota de um implemento agrícola. As tarefas foram recebidas ou enviadas por canal comunicação sem fio com *internet*, conectando-se a uma base de dados. Esse modelo permitiria a alteração das tarefas quase em tempo real em casos de, por exemplo, mudanças nas condições do clima (PESONEN *et al.* 2007). O controlador de tarefas foi o foco do estudo de KAIVOSOJA *et al.* (2014), no qual o TC podia ser acessado via *internet*, conectado a uma base de dados geospaciais e receber as tarefas agrícolas durante o trabalho em campo, permitindo alterá-las enquanto o sistema estava em operação *TC/internet*.

O projeto *Agrix*, desenvolvido pela Universidade de Aalto, teve seus resultados publicados. Este projeto teve por objetivo desenvolver protótipos abertos, genéricos e configuráveis ISO 11783-compatíveis. Este projeto teve como resultados protótipos de semeadora e aplicador de fertilizantes, que foram acoplados ao trator e testados em um campo de trigo (OKSANEN, T *et al.*, 2003), foram desenvolvidos implementos ISOBUS-compatíveis (OKSANEN, TIMO *et al.*, 2005). FREIMANN (2007) discutiu a metodologia para desenvolvimento de um sistema que permitiria que o implemento guiasse o trator. Foi apresentada a estratégia de implementação do sistema proposto e um modelo para instalação em um conjunto formado por um trator e um implemento. Houve a verificação e a validação do sistema em campo. Foi implementado um sistema que permite o trator agrícola ser guiado por um

implemento com sistema de direção ativa (BACKMAN, OKSANEN e VISALA; 2013). O sistema foi instalado no implemento agrícola, permitiu que o implemento controlasse a direção do trator e também foram propostas à ISO novas mensagens para contemplar estes comandos de direção que não estão contemplados na norma. HOYNINGEN-HUENE e BALDINGER (2010) desenvolveram um sistema bidirecional que permitia ao implemento agrícola ser controlado pelo terminal ISOBUS e fazer pedidos de alteração de parâmetros do trator e este produto foi lançado no mercado posteriormente. E um controle ótimo da aplicação foi desenvolvido para aplicação de insumo, que controlou a velocidade do trator utilizando a taxa instantânea de insumo (SUOKANNAS *et al.*, 2012).

As informações geradas pelas máquinas em campo foram foco de estudos e propostas desse aproveitamento, não necessariamente usando os dados de *logs* do TC. STEINBERGER, ROTHMUND e AUERNHAMMER (2009) propôs uma arquitetura de serviço, usando o trator ISOBUS como fonte de informações que foram enviadas a uma base de dados. Em BARROS (2010) é criado um sistema de interconexão do protocolo ISO 11783 com sensores conectados em rede, que se enviavam informações do campo com uma ECU desenvolvida para este projeto. A comunicação entre ECU e sensores era feita via protocolo *zigbee*. Neste trabalho o trator recebeu as informações recebidas dos sensores que monitoravam as plantas no campo. IFTIKHAR e PEDERSEN (2011) propuseram um modelo de integração usando um barramento de comunicação sem fio, para que pudesse ser utilizado em um ambiente ISOBUS. Os dados capturados foram armazenados em uma base de dados para integração, em um sistema projetado para ser flexível, bidirecional, simples para uso e manutenção por não técnicos. Nesse trabalho, o trator pode receber as tarefas da data base e exportar dados obtidos em campo. O projeto *iGreen*, realizado na Alemanha em parceria com a empresa John Deere focou em desenvolver conceitos e componentes para realizar a conexão do FMIS às máquinas utilizadas em campo e a equipamentos móveis (BLANK *et al.* 2013).

Devido ao grande potencial do ISOBUS, foram estudadas e implementadas situações diferentes daquelas tradicionais. Por exemplo, a aplicação de diferentes tecnologias de comunicação, integração de *hardware* da rede à internet e utilização de meios de comunicação sem fios.

AUERNHAMMER (2007) propõem o uso da tecnologia *X-by-wire*, mostrando as vantagens e as desvantagens da aplicação dessa tecnologia em uma rede CAN. É apresentado e verificado o modelo para aplicação do *X-by-wire* na direção do trator agrícola. A integração com a *internet* é demonstrada com um sistema que permitiu acesso ao *hardware* utilizado para aplicações com o protocolo ISOBUS, via acesso *web*. Esse sistema permitiu que o um usuário pudesse utilizar uma rede CAN ISOBUS-compatível utilizando uma conta de usuário e uma senha (PEREIRA et al., 2011). A conexão de ECU ao ISOBUS utilizando outros meios físicos de comunicação foi mostrada em Calcante & Mazzetto (2014). Foi elaborado, instalado e testado um sistema capaz de identificar um equipamento capaz de reconhecer automaticamente o implemento agrícola.

Ao final da revisão de literatura avaliou-se que não há trabalhos que abordem TECU propriamente dita. Nos trabalhos em que foram realizados testes na rede, quando houve a necessidade de TECU, não houve discussões sobre a influência dessa ECU na rede. Em outros trabalhos, há uma forte influência dos dados recebidos e há a necessidade de uma troca de dados bidireccionalmente entre TECU e ECU do implemento e apenas assume-se que na rede há uma ECU do trator habilitada, sem análises sobre as características dessa TECU. Apesar dos vários estudos sobre o protocolo ISO 11783 e ECU, observa-se que a análise da ECU do trator ISOBUS-compatível é válida, pois não foi realizado um trabalho objetivando analisar e levantar características dessa ECU.

3. A rede CAN ISO 11783-compatível ⁴

O capítulo anterior contemplou o protocolo de comunicação ISO 11783 desenvolvido para resolver questões de compatibilidade, redundância de equipamentos e complexidade do cabeamento instalado no trator além das motivações do presente trabalho. Devido à importância deste protocolo para o trabalho, este capítulo tem como objetivo conceituar pontos importantes sobre o ISSO 11783 e das ECU que compõem a rede compatível com este protocolo.

O protocolo ISO 11783 especifica o sistema de comunicação para equipamentos agrícolas e foi baseada no protocolo ISO 11898, que descreve o protocolo CAN. Partes do ISO 11783 foram baseados nos documentos da SAE J1939. O propósito do ISOBUS é prover um protocolo aberto para a interconexão de sistemas eletrônicos. Pretende-se, assim, habilitar as ECU a se comunicarem umas com as outras, providenciando um sistema padronizado (ISO, 2013).

A ISO 11783 especifica a rede de dados serial para controle e comunicação em tratores para agricultura, aplicações florestais, implementos montados, semi-montado, rebocado ou auto propelidos. São padronizados os métodos e os formatos da transferência de dados entre sensores, atuadores, elementos de controle, armazenamento de informação e mostradores (ISO, 2013). Atualmente este protocolo está organizado em 14 partes, que serão abordadas no item 2.2.

Uma rede completa, de acordo com o ISO 11783, é composta por duas sub-redes menores: A rede interna do trator (ou “barramento do trator”), a rede do implemento (ou “barramento do implemento”⁵). Ambas são instaladas no trator e quando um implemento é conectado, a sua ECU comunica-se com o barramento do implemento. A comunicação entre as redes instaladas no trator é feita por uma unidade de eletrônica de controle denominada de ECU do Trator, ou TECU. A presença do Terminal Virtual (VT), do Controlador de Tarefas e da TECU é suficiente para viabilizar a operação da rede ISOBUS (SOUSA *et al.*, 2011).

⁴ Como descrito anteriormente, neste trabalho também aparecerá “rede CAN ISOBUS-compatível” ou “barramento do implemento”, “rede ISOBUS” ou “Rede ISO “783”. Os termos têm o mesmo significado.

⁵ Conforme explicado anteriormente, os termos barramento do implemento, rede ISO 11783 e a rede ISOBUS referem-se à mesma rede.

O barramento do trator é a rede na qual trafegam dados sobre as ECU dos sistemas internos do trator, como controle de combustível, freios, acelerador, marchas e temperatura do motor, por exemplo. Essa rede necessita de uma unidade de interconexão de rede para comunicar-se com o barramento do implemento.

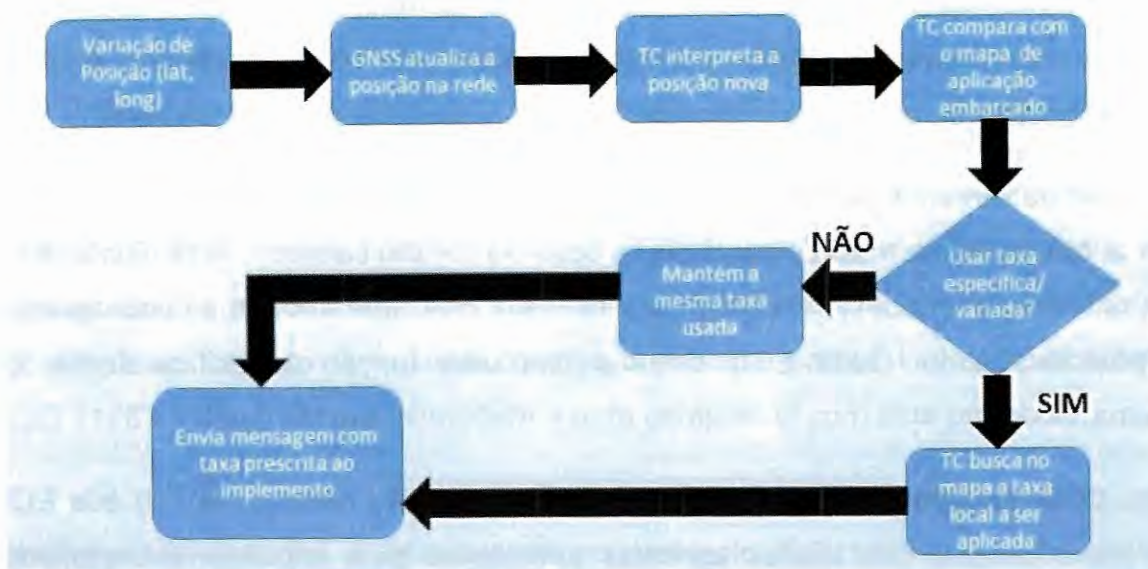
Ao barramento do implemento conectam-se outras ECU de igual importância para a operação da rede compatível. O Controlador de Tarefas (*Task Controller – TC*), o Terminal Virtual (*Virtual Terminal - VT*) e a ECU que informa as coordenadas do posicionamento. Cada ECU desempenha uma função específica dentro do sistema.

O Controlador de Tarefas, doravante denominado apenas de TC, é a ECU que faz o controle das tarefas agrícolas executadas pelo implemento conectado. Entende-se por tarefa, o trabalho ou atividade realizada em algum campo ou para algum cliente (PEREIRA, 2008). O TC envia mensagens ao implemento, informando-o sobre valores da taxa de aplicação de insumos ou defensivos agrícolas, de acordo com a localização. Nesta ECU é embarcado o mapeamento das taxas de aplicação, de acordo com as coordenadas informadas pela ECU de posicionamento.

Quando o conjunto formado pelo trator e pelo implemento move-se no campo, as coordenadas e o sistema de posicionamento são alterados. As novas coordenadas são enviadas para a rede e o TC interpreta esses novos valores. Ao comparar com o mapeamento das taxas presente na memória da ECU, a taxa pode ser alterada dependendo da localização do conjunto. O diagrama que representa a operação do TC é mostrado na figura 1.

O Terminal Virtual, doravante denominado apenas de VT, é uma ECU que funciona como uma interface entre uma ECU conectada, o operador do trator e o implemento. O VT mostra a tela e botões que outras ECU têm em suas memórias que são necessários para controle e monitoramento da ECU. A tela e os botões constituem conjuntos de objetos que descrevem completamente a interação entre o operador e a ECU, chamados *Object Pools (OP)* (ISO, 2013). Através do VT, o operador pode enviar comandos ao implemento conectado, escolher tarefas embarcadas no TC e ser informado sobre o estado de variáveis de uma ECU conectada.

Figura 1: Operação do TC na rede ISO 11783 (Fonte: O autor).



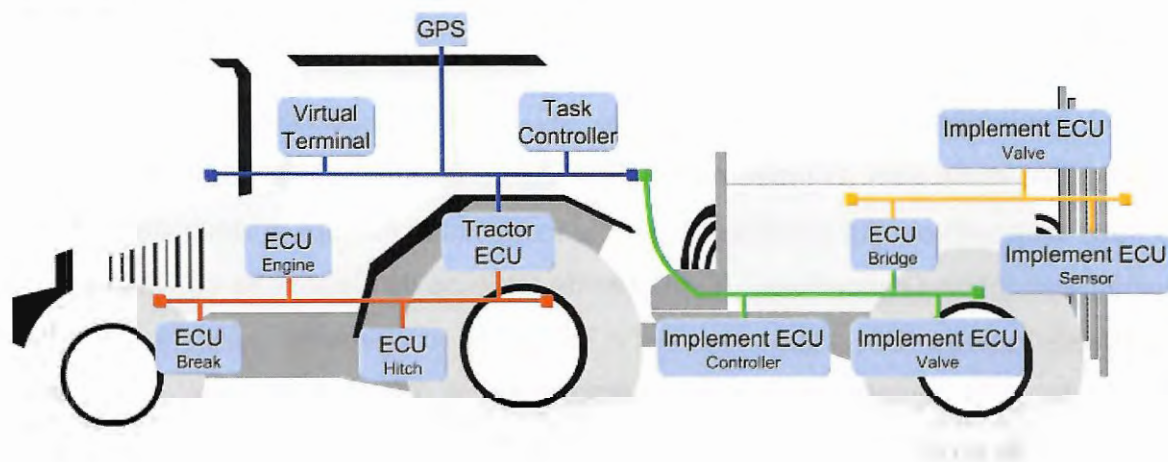
A ECU do sistema de posicionamento informa as coordenadas de latitude e longitude do sistema formado pelo trator e pelo implemento agrícola. Essa ECU utiliza o Sistema Global de Satélites de Navegação (*Global Navigation Satellite System* – GNSS). Conforme o conjunto se move no campo trabalhado, esta ECU atualiza a posição.

A ECU do trator, a TECU, faz a conexão entre o barramento⁶ do trator e do implemento. As informações de uma subrede são repassadas para outra, conforme as características de projeto. A TECU é uma unidade de interconexão dessas redes. A figura 2 mostra uma rede CAN ISO 11783-compatível, destacando o barramento do trator (em vermelho), do implemento (azul) e a rede de comunicação interna do implemento agrícola (verde) com o sistema de acionamento de válvulas (laranja).

Atualmente, a AEF (*Agricultural Industry Electronics Foundation*) disponibiliza uma ferramenta de *software* para testar a compatibilidade de sistemas ISOBUS. Esta ferramenta pode ser obtida por meio de *download* disponibilizado na página da base de dados da AEF. Para que um sistema seja ISOBUS compatível, este deve passar pelo teste de compatibilidade e constar na base de dados de produtos compatíveis da AEF.

⁶ Porção da rede a qual se conectam e comunicam as ECU que controlam os sistemas internos do trator.

Figura 2 : Rede CAN ISO 11783-compatível (SOUSA; INAMASU; TORRE NETO, 2001)



3.1. ECU na rede CAN ISOBUS-compatível

Esta seção visa descrever as ECU que compõem a rede ISOBUS. São descritos o TC, o VT, a ECU do sistema de posicionamento e a TECU.

3.1.1. O Controlador de tarefas

O TC é uma ECU básica para que a rede seja ISOBUS compatível. Esta ECU é responsável por gerenciar o controle de tarefas pré-determinadas (PEREIRA, 2008). As tarefas são atividades realizadas pelo implemento agrícola. O TC combina os dados que são disponibilizados pela prescrição da tarefa nele embarcada com os dados de posição, para enviar mensagens que contêm comandos e valores⁷ enviados ao implemento agrícola conectado e habilitado para comunicar-se com o TC. São realizados cálculos para escalonar as mensagens de processo que devem ser enviadas (ISO, 2007). A ECU ainda pode receber dados da operação do implemento agrícola, que são armazenadas para que sejam transferidas ao sistema

⁷ São chamadas de *Process Data Messages* (Mensagens de Dados de Processo), que são utilizadas para realizar a comunicação proprietária entre implemento agrícola e controlador de tarefas (TC)

de gerenciamento da fazenda. As definições do TC são descritas na parte 10 do protocolo ISO 11783.

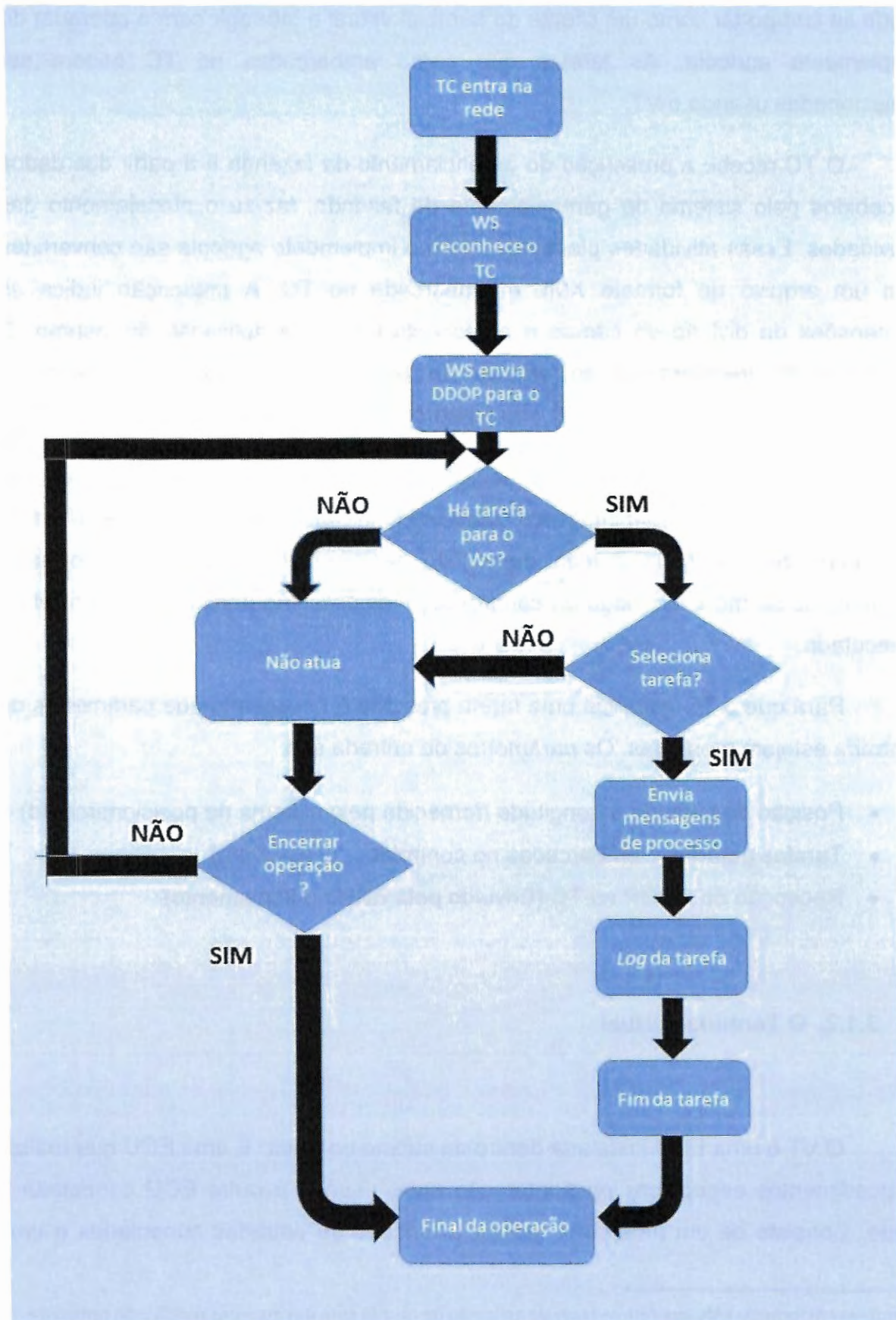
O implemento precisa informar ao TC suas características para que haja comunicação entre eles. O implemento ISOBUS compatível envia ao TC a descrição dos seus dispositivos. As características estão contidas em um arquivo denominado *Device Description Object Pool*⁸ (Conjunto de Objetos de Descrição do Dispositivo – DDOP) em formato XML. Após receber o DDOP do implemento agrícola, caso haja uma tarefa para aquele implemento embarcado, o TC já está apto a enviar as mensagens de processo ao implemento.

O TC atua na rede enviando mensagens de processo ao implemento e recebendo valores para armazenamento. Cada mensagem de processo contém um valor ou um comando para ser executado pelo implemento agrícola, de acordo com características descritas no DDOP. Essas mensagens informam ao implemento os valores da taxa de aplicação que devem ser utilizadas nas regiões trabalhadas. O implemento envia mensagens de processo para o TC, que faz o armazenamento de dados de execução da tarefa embarcada para posterior análise e tratamento.

O diagrama que mostra a entrada do TC, o processo de recebimento da DDOP e a operação na rede, levando em conta as mensagens de processo, é mostrado na figura 3.

⁸ A partir desse ponto do texto, o *Device Description Object Pool* será chamado apenas de DDOP.

Figura 3 : Envio de tarefas do WS para o TC (Fonte: o autor).



Essa ECU não necessita, obrigatoriamente, de interface gráfica. Entretanto, pode se comportar como um cliente do terminal virtual e interagir com o operador do implemento agrícola. As tarefas que serão embarcadas no TC podem ser selecionadas usando o VT.

O TC recebe a prescrição do gerenciamento da fazenda e a partir dos dados recebidos pelo sistema de gerenciamento da fazenda, faz-se o planejamento das atividades. Essas atividades planejadas para o implemento agrícola são convertidas em um arquivo de formato XML e embarcada no TC. A prescrição indica as dimensões da divisão do campo e a respectiva taxa de aplicação do insumo. O processo de transferência do arquivo de prescrição, o *task data*⁹, entre o gerenciamento da fazenda e o TC não é padronizado.

Para casos de aplicações específicas uso de informações de localização faz-se necessário. O *task data* informa a coordenada inicial do campo a ser trabalhado e as dimensões de cada porção menor do campo, o *grid cell*¹⁰. Conforme o implemento se move ao longo do campo, os *grids cells* são percorridos e a tarefa é executada.

Para que o TC gerencie uma tarefa prescrita é necessário que parâmetros de entrada estejam presentes. Os parâmetros de entrada são:

- Posição de Latitude e Longitude (fornecida pelo sistema de posicionamento)
- Tarefas geradas e embarcadas no controlador (*Task Data*)
- Recepção do DDOP no TC (Enviado pela ECU do implemento)

3.1.2. O Terminal virtual

O VT é uma ECU instalada dentro na cabine do trator. É uma ECU que realiza procedimentos específicos para interação entre usuário e outra ECU conectada à rede. Consiste de um mostrador gráfico e funções de entradas conectadas a uma

⁹ Arquivo em formato XML que tem as taxas de aplicação de acordo com das menores porções do campo de manejo.

¹⁰ Menores porções do campo de manejo.

rede ISO 11783. Tem como função prover a capacidade ao controlador de funções, composto por um implemento ou grupo de implementos de interagir com o operador (ISO, 2013).

Uma ECU, ou grupo de ECU que juntas desempenham determinada atividade são denominados *Working Set* (WS - Conjunto de Trabalho). Os WS são largamente utilizados para operação e controle de implementos agrícolas. Quando há uma ECU que representa todo o WS, essa ECU é denominada *Working Set Master* (WSM - Mestre do conjunto de trabalho). Essa ECU pode enviar um OP (*Object Pool* – Conjunto de Objetos) ao VT para operar o implemento.

O VT deve ser capaz de apresentar imagens e dados em seu monitor e receber comandos do operador pelas teclas físicas ou pela tela sensível ao toque. A figura mostra terminais virtuais comerciais. A figura 4 mostra um exemplo de um VT ISOBUS-compatível.

Figura 4 : Terminal Virtual ISOBUS (fonte: <http://www.haleyequipmentinc.com/new-precision-farming-page/application-control/isobus-and-serial-interface-connectivity/>)



A operação do VT baseia-se em quatro ações básicas: No estabelecimento de um canal de comunicação com uma ECU na rede, que pode ser um WS, um TC ou uma TECU; no recebimento e Exibição do OP; no tratamento de Eventos, que

ocorrem quando o operador pressiona uma tecla física ou pressiona a tela sensível ao toque; e nas atualizações dos OP ou do VT.

O Estabelecimento de um canal de comunicação com a ECU é um procedimento para o recebimento do OP na memória da ECU. Ocorre troca de mensagens para permitir o envio e a recepção do OP e testar as compatibilidades do OP com o VT. Quando a permissão é concedida, a ECU envia o seu OP.

O recebimento do OP ocorre depois que foi estabelecido um canal proprietário¹¹ e entre a ECU e o VT.

O tratamento de eventos consiste em interromper o fluxo do programa embarcado no VT para informar à ECU que a tela foi tocada ou algum botão foi pressionado. Esse tratamento é realizado na ECU proprietária do OP, para garantir que qualquer evento de tela ou botão altere valores na memória da ECU proprietária.

As atualizações ocorrem durante a operação da ECU na rede. Quando um evento é tratado, pode-se, ou não, alterar determinadas variáveis presentes no OP mostrado na tela do VT. Em casos de variáveis controladas pela ECU alterarem o seu valor, o respectivo objeto na tela do VT também precisa ser atualizado. Em determinados momentos faz-se necessário alterar as configurações do VT.

Essas quatro ações norteiam a operação do VT na rede ISOBUS. As duas primeiras devem ser estabelecidas logo após uma ECU, que tenha OP em sua memória, entra na rede. O tratamento de eventos e as atualizações da tela ocorrem em qualquer momento da operação da rede, após a inicialização e entrada na rede.

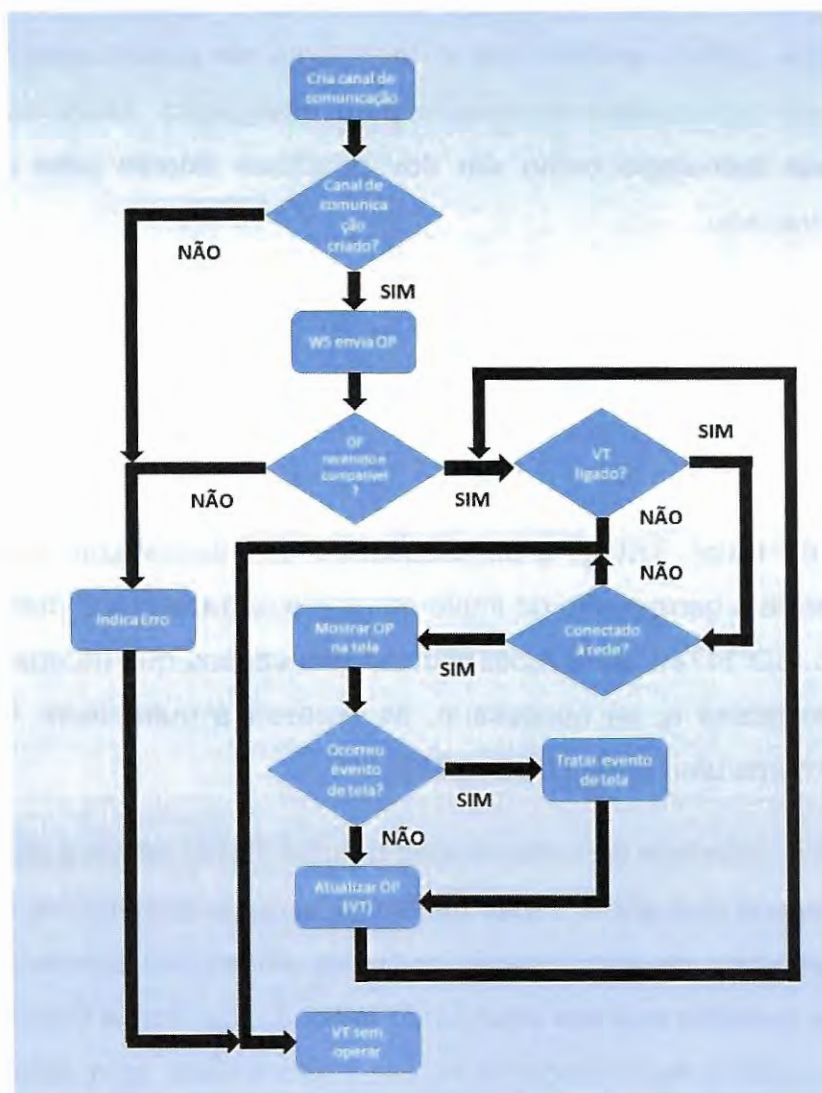
O diagrama da figura 5 mostra como o VT atua na rede ISO 11783. Inicialmente, é criado um canal de comunicação via protocolo de transporte. Caso este canal seja criado, então o WS envia o OP. Se não for criado o canal de comunicação, então não ocorre transmissão do OP e o VT não opera. Caso o VT seja incompatível, é indicado erro e o VT não opera na rede.

¹¹ Canais de comunicação utilizados para fins específicos. No caso, este canal serve para comunicar diretamente o VT e o WSM.

Se constar compatibilidade, então o VT está apto para iniciar a operação. São realizadas algumas verificações durante o funcionamento, no sentido de confirmar se o VT está ligado ou desligado ou se o VT está conectado à rede ou não. Ao final das verificações, é conferido se houve algum evento de tela para ser tratado. O tratamento desse evento de tela depende do tipo de objeto e da função que este objeto representa para o WS.

Ao final do tratamento do evento de tela, é realizada a atualização dos objetos, para que aqueles que foram modificados pela função de tratamento tenham seus atributos atualizados na tela. Assim, completa-se a operação do VT na rede ISOBUS.

Figura 5 : Operação do VT na rede ISO 11783 (Fonte: o autor).



3.1.3. ECU do Sistema de Posicionamento (GNSS)

O sistema de posicionamento, GNSS, fornece condições para que seja determinada a localização do conjunto formado pelo trator e pelo implemento agrícola. A determinação da localização é feita por triangulação e para isso, o receptor capta sinais de alguns satélites que compõem o sistema (pelo menos três, para determinar a altitude) e calcula o seu posicionamento levando em conta a posição dos satélites e o tempo de recepção entre o satélite e o receptor (PEREIRA, 2008). O GNSS informa à rede a localização do trator em períodos de tempos regulares. Essa ECU envia as coordenadas de latitude e longitude para a rede.

O impacto dessa tecnologia no setor agrícola foi importante. AUERNHAMMER (2001) analisa que a tecnologia de posicionamento pode ser usada tanto para posicionamento quanto para navegação. MONDAL e TEWARI (2007) cita essa tecnologia como um dos principais fatores para o avanço da agricultura de precisão.

3.1.4. A ECU do Trator

A ECU do trator, TECU, é um dispositivo de interconexão que promove a comunicação entre o barramento do implemento e o barramento do trator. É definido pela parte 9 do ISO 11783. Atua recebendo as mensagens que trafegam na rede de comunicação instalada e, se necessário, as repassa à outra rede. O ISO 11783 define a TECU como uma *bridge* (ISO, 2012).

A classe da interface de comunicação de uma TECU define a quantidade e os tipos de mensagens que ela é capaz de enviar e quais mensagens recebidas ela pode tratar. A interface de comunicação de classe um tem um suporte simplificado e fornece apenas medidas internas básicas do trator. O uso dessa classe permite que os fabricantes entrem mais rapidamente em conformidade com este protocolo. A interface de comunicação de classe dois fornece um conjunto maior de medidas com relação à classe um. A interface de comunicação de classe três aceita comandos

originados no barramento do implemento. A interface de classe um deve ser usada apenas para adaptações de tratores não compatíveis com a ISO 11783, é por isso que para os novos projetos de tratores ISOBUS, a ISO exige que as interfaces de comunicação sejam de classes 2 ou 3 (ISO, 2012).

A TECU representa o trator para os dispositivos da rede. Ela tem como função enviar mensagens que informem dados internos do trator para a ECU, de acordo com o definido no ISOBUS. Quando o trator tem uma rede de comunicação interna, a TECU deve receber as mensagens que trafegam e analisar os identificadores a fim de avaliar quais dados devem ser repassados ao barramento do implemento. Quando há uma TECU de classe 3 instalada, podem ser recebidos comandos do barramento do implemento e tais mensagens recebidas devem ser analisadas e repassadas ao barramento do trator, quando for necessário. A TECU pode se comunicar com o VT.

Maiores detalhes sobre as informações que a classe da TECU, isto é, classe da interface de comunicação, fornece à rede ISO 11783 serão apresentadas no item seguinte.

3.1.4.1. TECU de Classe 1

A TECU de classe 1 é um dispositivo que fornece um conjunto de informações básicas para operação como um trator ISO 11783-compatível e é recomendada para adaptações de tratores. A TECU de classe 1 pode ser conectada diretamente aos sensores ou às redes de sensores. Devido às estas características, os fabricantes podem fazer com que um trator entre em conformidade com o ISOBUS rapidamente. Essa TECU é indicada para adaptações de tratores que não possuem sistema de comunicação compatível com o padrão de mensagens definidos pelo protocolo ISO 11783

Para informar o gerenciamento de energia para as ECU na rede, o trator envia em suas mensagens o estado da chave de ignição, o tempo máximo de energia do trator e os pedidos de manutenção de energia (usados para casos em

que uma ECU precisa que a energia seja mantida por mais tempo após a chave de ignição ser desligada).

A velocidade informada é aquela que tem como referência a roda, que é usada para avaliar a diferença entre a rotação do eixo das rodas e a velocidade que o trator se movimenta; a velocidade baseada no terreno, que indica quão rápido o trator se move no terreno; e as informações dos sistemas internos do trator.

As informações do engate traseiro devem ser enviadas. As alturas do engate, em porcentagem, a indicação se a altura do engate indica a posição indicada para operar.

As informações da tomada de potência¹² traseira (TDP) indicam a velocidade de saída do eixo, em RPM¹³, e se há alguma máquina engatada na tomada de potência.

O trator ainda deve responder ao implemento ou ao controlador de tarefas cujos elementos instalados possam ser controlados por mensagens vindas da rede do trator.

O conjunto dos dados disponibilizados pela TECU de classe 1 é suficiente para que sejam transmitidas as informações básicas para uma rede ISOBUS compatível (ISO, 2012) e a presença do VT e do TC permite que tal rede seja operacionalizada (SOUSA *et al.*, 2011).

3.1.4.2. TECU de Classe 2

A interface entre o trator e o implemento de classe 2 envia mais informações, se comparada com a classe 1. As informações adicionais são o envio de tempo e data, distância com relação à roda e com relação ao solo, a força que o solo faz no engate traseiro durante a operação em um determinado terreno, mensagens sobre as luzes do trator e sobre medidas do fluxo das válvulas auxiliares. É a TECU

¹² Tomada de Potência é um eixo estriado que tem como função transmitir potência do motor em forma de rotação e torque para o implemento agrícola acoplado.

¹³ RPM significa Rotações por minuto

indicada para novos projetos de tratores. A classe dela indica os PGN que devem ser enviados na rede e não os dados informados, pois estes podem ser configurados como indisponíveis e a ECU ainda será validada como uma ECU de classe 2.

De acordo com FREIMANN (2007), a função das válvulas auxiliares dependem de sua identificação. As válvulas auxiliares de 1 a 15 indicam o *status* de operação e o fluxo do óleo do sistema hidráulico do trator para os elementos atuadores, como por exemplo, os pistões que atuam para elevar e abaixar o braço de uma válvula. A válvula auxiliar 0 indica o fluxo da bomba do sistema hidráulico.

O uso de TECU de classe 2 abre a possibilidade para que o conjunto de dados enviados seja de classe 1. O fabricante pode optar por não enviar determinados parâmetros para a rede e informá-los como indisponíveis. Isso não altera a indicação da classe, pois essa classificação depende dos identificadores enviados e não das informações disponibilizadas.

No barramento ISO 11783 trafega uma mensagem da SAE J1939/71¹⁴. Esta mensagem envia para a rede a velocidade do giro do motor (PGN¹⁵ F004) e essa informação é exigida pelo protocolo de comunicação agrícola.

3.1.4.3. TECU de Classe 3

A interface de classe 3 tem as funcionalidades da classe 2 e permite que comandos sejam aceitos pela TECU. Até a interface de classe 2, a TECU tinha um comportamento majoritariamente de fonte de dados. A classe 3 permitiu que um número maior de mensagens fossem recebidas pela TECU. Somente com a TECU de classe 3 é possível que o trator receba comandos oriundos do implemento para configurações de suas variáveis internas como, por exemplo, velocidade em relação ao solo ou velocidade do eixo da tomada de potência.

¹⁴ O SAE J1939 é um protocolo de comunicação usado em ônibus caminhões. O documento SAE J1939/71 corresponde ao documento ISO 11783/8.

¹⁵ Do inglês, *Parameter Group Number*, é o identificador das mensagens que circulam na rede CAN.

Houve adições com relação ao engate, à tomada de potência e às informações relativas às válvulas auxiliares. As adições consistiram em informações adicionais e em comandos que podem ser recebidos.

O engate, além de fornecer informações, passou a receber comandos. As informações sobre o engate mostram a posição limite do engate traseiro e seu código de *exit/reason*¹⁶. O comando envia a que altura o engate deve estar em relação ao solo.

A tomada de potência do trator, além de enviar informações, passou também a receber comandos. As informações da tomada de potência mostram o estado de *resquest* do engate traseiro, o limite de velocidade de saída do eixo da TDP traseira e o código de *exit/reason* da TDP traseira. Os comandos consistem em enviar o valor da velocidade de saída ou o eixo da TDP e solicitar o engate da TDP.

Às válvulas auxiliares foram adicionadas informações de estimativa e de medida do fluxo, código de *exit/reason* e comandos para alteração do fluxo do óleo que a válvula permite a passagem.

Há controles e medidas que não são indicados somente com a classificação da TECU. São o controle do guiamento, controle de implementos montados frontalmente, movimentação inicial, mensagens ao barramento interno do trator e envio de mensagens navegacionais (coordenadas de latitude e longitude). Essa lacuna foi resolvida com o uso de mensagens adicionais.

3.1.4.4. Mensagens adicionais

As mensagens adicionais podem ser usadas juntamente com o conjunto de mensagens da classe da TECU. As mensagens adicionais consistem em mensagens de navegação, de implemento frontalmente montados, de guiamento do trator, de barramento interno do trator e de movimentação inicial. As mensagens de navegação e implementos frontalmente montados podem ser usadas em tratores de

¹⁶ Os códigos de *exit/reason* indicam o motivo pelo qual determinada *facility* não aceita comandos ou o motivo de ter havido interrupção na resposta a determinados comandos remotos.

todas as classes. Guiamento do trator, mensagens ao barramento interno do trator e movimentação inicial só podem ser utilizadas em tratores de classe 2 ou 3.

As mensagens adicionais que podem usadas consistem em mensagens de navegação (indicado pela letra N), mensagens de implemento frontalmente montados (indicado pela letra F), mensagens de guiamento (indicado pela letra G), mensagens que devem ser repassadas para a rede interna do trator (indicada pela P) e mensagens de movimentação inicial, se para frente ou para trás (indicado pela letra M). O fabricante pode fornecer mensagens adicionais sem implementar o conjunto de mensagens da próxima classe de trator.

Além dessas mensagens, o trator deve ter a capacidade de enviar mensagens de conformidade com o ISOBUS e mensagens de informação e resposta das *facilities*¹⁷ disponíveis. As *facilities* devem ser informadas ao ligar a ECU do trator e quando requisitados.

As mensagens navegacionais são mensagens do sistema GNSS. É providenciado pela instalação de um receptor de um sistema de posicionamento global. Pode ser usado em tratores de classe 1, 2 e 3. O protocolo de comunicação usado é o NMEA 2000¹⁸ (<http://www.nmea.org/>).

As mensagens de implemento frontalmente montados são providenciadas com instalação de uma tomada de potência e engate frontais no trator. As mensagens que podem ser recebidas e enviadas são similares às da tomada de potência e de engate traseiro. As mensagens indicam a posição do engate frontal, se engate está em serviço, estado do limite da posição (Classes 2 e 3), código de *exit/reason* do engate frontal (Classes 2 e 3), força de arrasto do engate frontal (Classes 2 e 3) e comando do engate.

O estado do limite indica se foi atingindo o limite superior ou inferior dos comandos. Isso representa que apenas comandos com valores dentro de uma determinada faixa podem resultar em mudanças nesse parâmetro. Além dessa informação, a indicação do estado do limite mostra se este parâmetro não é

¹⁷ *Facility* ou *facilities* referem-se aos sistemas mecânicos instalados no trator. A partir desse ponto do texto serão usados apenas os termos *facility* ou *facilities*.

¹⁸ NMEA 2000 é o protocolo utilizado para comunicação de sistemas navais.

suportado, se houve alguma falha da qual não se pode recuperar e se esta requisição de parâmetro não foi implementado.

Para a tomada de potência, as mensagens informam a velocidade de saída do eixo da TDP, seu engate, o estado de requisição de seu engate (Classes 2 e 3), o estado do limite de velocidade de seu eixo (Classes 2 e 3), seu código de *exit/reason* (Classes 2 e 3), o comando de *set point* da velocidade de saída de seu eixo e o comando de seu engate. As mensagens de comando estão apenas disponíveis nos tratores de classe 3.

As mensagens para guiar o trator são providas pela instalação de um sistema de direção no próprio trator. As mensagens dessa funcionalidade estão descritas no documento ISO 11783/7. Essas mensagens só podem ser usadas em tratores de classe 2 e 3.

As mensagens indicam os comandos, a estimativa e o estado de comando da curvatura, o estado da requisição do comando de *reset*, estado da entrada do sistema de direção, prontidão do sistema de direção e o travamento do sistema mecânico.

A TECU reporta à rede qual é a fonte da velocidade utilizada como referência: se é a roda (teórica), se é o terreno, se é baseada nos dados de navegação (GNSS instalado), se é simulada ou se combina as fontes de velocidade para informar a velocidade total. Baseado nessa fonte, a TECU envia a velocidade, direção e distância percorridas, de acordo com a referência. Essa informação de qual é a fonte da velocidade é descrita como *selected machine* (máquina selecionada).

Os comandos são velocidade, direção, estado do limite da velocidade¹⁹, código de *exit/reason* da velocidade, da *selected machine*, *set point* da velocidade do motor do trator e comando.

A movimentação inicial define as mensagens para o trator iniciar sua movimentação por um comando externo. Essa movimentação pode ser em frente ou em marcha à ré.

¹⁹Esse parâmetro indica que se há algum comando que pede que o valor da velocidade esteja fora do intervalo de projeto

3.1.5. Fornecimento e consumo de dados na rede ISOBUS

As ECU apresentadas no item 2.1 enviam informações à rede ISOBUS. Essa seção analisará as informações que cada ECU disponibiliza e como as outras ECU reagem a estas informações. Nessa seção, além da resposta das ECU em face das informações enviadas, o WS também será exposto.

O TC fornece e recebe dados do implemento agrícola. Utilizando um conjunto de mensagens proprietárias descritas no protocolo, esta ECU informa ao implemento os valores das taxas de aplicação, de acordo com o mapa de prescrição embarcado nele. Os dados fornecidos pelo implemento informam a evolução da tarefa realizada, e são armazenados para posterior análise. A comunicação é majoritariamente feita com o implemento agrícola.

O TC comunica-se com outras ECU na rede. O TC recebe dados de localização para atualizar sua posição e informar corretamente as taxas de aplicação ao implemento agrícola. O TC pode se comunicar com o VT e oferecer ao operador a possibilidade do controle das tarefas a serem executadas. O TC se comunica com a TECU fazendo requisições das *facilities* do trator e se a TECU é capaz de aceitar comandos originados no barramento do implemento.

O VT é uma interface gráfica ao operador. As ECU na rede se comunicam com o VT em casos que é necessário usar uma interface gráfica. O TC pode enviar OP ao VT para escolha da tarefa. O TECU pode enviar OP ao VT, apesar de não ser usual esse procedimento. O GNSS não se comunica com o VT. Majoritariamente a comunicação do VT se faz o implemento agrícola, para servir-lhe de *display*.

A TECU representa o trator na rede ISOBUS. Esta ECU envia dados do trator para serem utilizados pelas ECU na rede (ISO, 2012). Pode se comunicar com o VT, apesar de não ser comum esta prática. Deve responder ao implemento ou ao TC sobre suas *facilities* e se existe a possibilidade de aceitar comandos. Recebe as mensagens de manutenção da energia no barramento do implemento (*Maintain Power*). Na comunicação com o implemento, este consome mensagens, principalmente de velocidade.

O implemento agrícola se comunica com o TC e VT e consome mensagens da TECU. A comunicação com o TC ocorre, inicialmente, enviando seu DDOP e após esse envio, é feito com mensagens proprietárias que informam as taxas de aplicação. Com o VT, é necessário estabelecer uma comunicação para enviar o OP e uma comunicação proprietária para tratamento de eventos de tela e botões, assim como atualizações de variáveis. Em relação à TECU, o implemento majoritariamente consome mensagens de destinatário global, principalmente as que informam a velocidade do trator. Pode enviar requisições sobre a possibilidade de comandar algumas ações do trator.

O GNSS não se comunica diretamente com as ECU da rede. Como sua função é enviar mensagens que informam a localização, não é necessário acesso ao VT, responder requisições de outras ECU nem receber dados da rede.

As informações vão fluir no sentido de completar as tarefas realizadas pelo implemento, conforme mostrado na figura 6. O consumo de informações e as mensagens trocadas entre as ECU na rede vão tender a completar uma tarefa. Ao final, as mensagens serão utilizadas pelo implemento agrícola desempenhando um trabalho no campo.

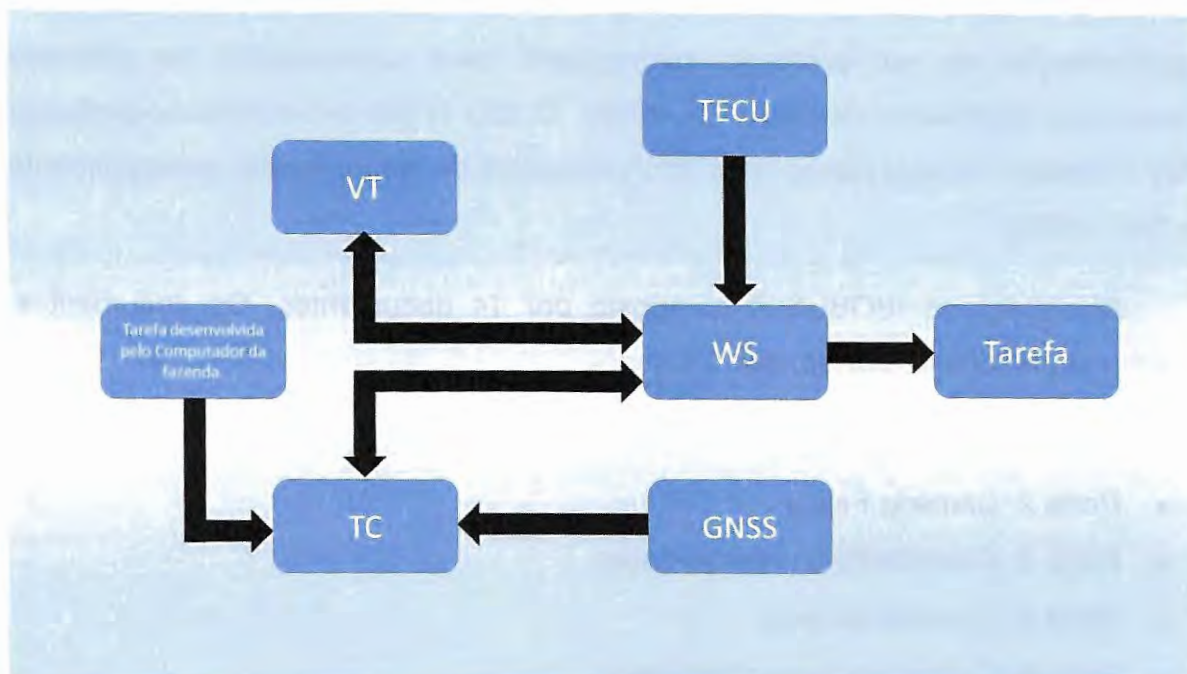
O diagrama da figura 6 mostra como os dados são gerados e consumidos na rede, com o objetivo de executar uma determinada tarefa. No diagrama, a tarefa é o trabalho realizado e não uma ECU.

As informações vão ser consumidas para realização de uma tarefa. As setas do diagrama da figura 6 mostram o sentido do consumo das mensagens com dados. A tarefa desenvolvida contém dados que são embarcados no TC. Assim como a tarefa, as informações do GNSS são consumidas pelo TC. A TECU envia mensagens que são consumidas pelo WS.

O diagrama mostrado na figura 6 indica a lógica do consumo e geração das informações contidas nas mensagens que trafegam na rede CAN ISO 11783-compatível. Não se refere localização física das ECU e nem como elas estão alocadas na rede CAN ISO 11783-compatível. As setas indicam o fluxo das informações que devem fluir para a realização das tarefas. O *working set* presente

no diagrama tem a função de representar como são consumidos os dados. A TECU representada pode ser de classe 1 ou classe 2.

Figura 6 : Fluxo das informações na rede CAN ISO 11783-compatível (Fonte: o autor).



O diagrama mostra dois canais de comunicação bidirecional. Um dos canais é com o VT, pois a cada evento de tela que ocorre, seja tratamento de eventos ou atualizações do OP, há trocas de mensagens entre as ECU. Com o TC acontece o mesmo tipo de troca, mas de maneira diferente, pois há mensagens usadas pelo TC para enviar comandos para o WS e mensagens do WS para enviar o estado da completude da tarefa.

3.2. O Protocolo ISO 11783

Devido à importância da protocolo ISO 11783 para este trabalho, a seção 2.2 abordará brevemente os 14 documentos que compõem protocolo²⁰. Serão recapitulados conceitos importantes para esse trabalho que estão descritos em cada parte publicada.

²⁰ Esses documentos são comumente chamados de parte da norma.

O ISO 11783 especifica a comunicação em equipamentos agrícolas e tem o objetivo de fornecer um sistema padronizado, aberto e que faça a interconexão de sistemas eletrônicos *on-board* (ISO, 2013). Assim, é especificada uma rede de controle e comunicação para veículos agrícolas, de modo que se pode viabilizar a implementação de um protocolo padronizado para comunicação de sistemas embarcados (SARAIVA; CUGNASCA, 2006). O ISO 11783 foi baseado no protocolo CAN e também utilizou partes de outros protocolos de comunicação, principalmente na SAE J1939.

Atualmente o ISOBUS é composto por 14 documentos. Os documentos, também chamados de partes, que o compõem atualmente são:

- Parte 1: Padrão geral para comunicação móvel de dados
- Parte 2: Camada Física
- Parte 3: Camada de enlace de dados
- Parte 4: Camada de rede
- Parte 5: Camada de gerenciamento
- Parte 6: Terminal Virtual
- Parte 7: Mensagens do implemento na cada de aplicação
- Parte 8: Mensagens do *Power Train*²¹
- Parte 9: ECU do Trator
- Parte 10: Controlador de Tarefas e gerenciamento de informações do sistema de troca de dados
- Parte 11: Elementos do dicionário de dados
- Parte 12: Serviço de diagnósticos
- Parte 13: Servidor de Arquivos
- Parte 14: Controle de sequências.

3.2.1. Parte 1: Padrão geral para comunicação de dados

²¹ Elementos e sistemas mecânicos internos ao trator. Refere-se à rede de comunicação do trator.

A parte 1 do protocolo ISO 11783 apresenta definições técnicas, explicações de vocabulário e abreviações usadas ao longo das 14 partes. Define-se que a comunicação e o desenvolvimento do protocolo devem seguir o modelo *Open System Interconnection* (OSI) com arquitetura em sete camadas. Definem-se as camadas, e suas atribuições, e é mostrado o fluxo da informação nas camadas. São definidas, também, as redes do trator e do implemento e a topologia e o padrão das conexões das ECU da rede ISO 11783, mostrando a ligação com o barramento de dados.

Essa parte também faz uma breve descrição de ECU que são detalhadas em documentos posteriores do protocolo. A interface de comunicação com o computador da fazenda (FMIS²²) é apresentado e esse elemento é definido na parte 10. Apresentam-se os serviços de diagnósticos, servidor de arquivos e controles sequenciais.

É apresentada a base de dados e a maneira de se inserir novas mensagens às definições do ISO 11783. É possível propor modificações ao conjunto de mensagens das partes 7, 12 e 13 da ISOBUS.

3.2.2. Parte 2: Camada Física

A parte 2 do ISO 11783 define as características, especificações elétricas, testes de conformidade e condições de falha do meio físico usado para transmissão de dados na rede ISOBUS. O documento consultado para elaboração desse item foi o NBR ISO 11783 (ABNT, 2009).

O meio físico de transmissão é definido como conjunto de quatro cabos trançados. Dois cabos para transmissão de dados, CAN_H e CAN_L, um para referência de tensão, GND (*ground*²³) e outro para transmissão de energia (V+). A transmissão de dados é feita pelos CAN_H e CAN_L, usando a tensão diferencial

²² Farm Management Information System – FMIS: Sistema de Gerenciamento de Informações da Fazenda. É o “computador da fazenda”.

²³ *Ground* é o termo em inglês para referir à referência de tensão do circuito elétrico. Popularmente chamado de “terra” do circuito.

(CAN_H - CAN_L) que são medidas em relação ao GND. O meio físico apresenta características de circuitos RC (Resistivo e Capacitivo).

Durante a transmissão de dados, o barramento pode assumir os estados de dominante e recessivo. O estado dominante representa o nível lógico 1 e o estado recessivo representa o nível lógico 0. No estado dominante, a diferença de potencial entre CAN_H e CAN_L é de cerca de 2 volts. CAN_H e CAN_L têm diferença de potencial de aproximadamente zero quando o *bit* é recessivo. Em caso de transmissão simultânea, um estado dominante anula um recessivo.

O circuito deve ser terminado a fim de evitar erros na comunicação. O terminador do circuito tem função de *pull down*, um resistor que evita flutuações de tensão no estado baixo e que previne o barramento de ondas estacionárias. O circuito apresenta características de circuito RC e pode apresentar defasagens prejudiciais ao sincronismo das mensagens na rede.

A parte 2 apresenta as especificações das características elétricas do barramento. São descritas características estáticas e dinâmicas, em situações de corrente contínua e alternada para os casos de ECU conectada e não conectada ao barramento. São mostrados os limites de resistência e capacitância para o bom funcionamento da rede.

A parte 2 define as características dos conectores. As configurações dos pinos, as dimensões e as características elétricas para os conectores de extensão, conectores de desengate e de diagnósticos são apresentados.

São apresentados os procedimentos de testes de conformidade para avaliação do barramento ISO 11783. Os testes definidos pelo protocolo medem a resistência e resistência diferencial interna, limiares de entrada dominantes e recessivos, saída dominante e tempo de atraso. Finalmente, é apresentada a descrição de falhas típicas do barramento ISOBUS.

3.2.3. Parte 3: Camada de enlace de dados

A parte 3 do ISO 11783 define a camada de enlace de dados. De acordo com TANEMBAUM (2011), a função da camada de enlace de dados é transformar um canal de transmissão real em um canal aparentemente livre de erros, ou seja, promover uma comunicação confiável através da camada física. Esse documento especifica o *frame* de dados e a sincronização necessária, o controle de sequência, o controle de erros e o controle de fluxo das mensagens enviadas.

O ISO 11783 utiliza o formato CAN 2.0, com identificador estendido de 29 *bits* que forma uma Unidade de Dados do Protocolo, isto é, a especificação do campo de dados em um quadro de mensagens que define a informação transmitida (*Protocol Data Unit* - PDU). O PDU é formado por sete campos: prioridade (P), página de dados estendida (EDP), página de dados (DP), formato do PDU, PDU específico, endereço do remetente de dados. Segue abaixo a descrição de cada campo especificado:

O *bit* de Prioridade (*Priority* – P) define a prioridade da mensagem no barramento. Deve ser ignorado para o recebimento das mensagens. A prioridade maior tem o menor valor numérico de 3 *bits* (000₂) e a menor prioridade tem o maior valor (111₂). O valor padrão da prioridade é 3 (011₂). O *default* para mensagens de informação, proprietária, requisição e NACK é 6 (110₂).

Página de dados e Página de dados estendida (*Data Page* - DP - e *Extended Data Page* - EDP) são os campos que selecionam a estrutura do identificador CAN do quadro da mensagem. Seleciona a página de dados usada na transmissão e recepção de dados na rede. Esse *bit* pode ser igual a 0 ou 1. Atualmente, a ISO 11783 usa apenas a página de dados 0.

PDU específico (*PDU specific* é um parâmetro que pode ser Endereço de Destino (*Destination Address* – DA), Extensão de Grupo (*Group Extension* – GE) ou proprietário. Este parâmetro depende do *PDU format*. Para *PDU format* entre 0 e 239 (0 e EF) usa-se o endereço de destino no campo *PDU Specific*, que depende da configuração da ECU na rede. Para *PDU* entre 240 e 255 (F0 a FF), usa-se a Extensão de Grupo.

Endereço de Origem (*Source Address* - SA) é o número único que identifica a ECU na rede. Varia conforme a disponibilidade de endereços para a ECU na rede.

O campo de Dado (*Data*) é o campo que carrega as informações definidas pelo identificador CAN. Esse campo pode ter tamanho variável. Quando os dados enviados têm mais que 8 *bytes*, usa-se uma função de protocolos de transporte, ou *multi packet*²⁴. Este tipo de mensagens é gerenciado por funções que permitam que os dados sejam enviados e recebidos corretamente.

O PDU é a forma que a aplicação ISO 11783 compatível usa para envio de dados no barramento. Essa unidade pode usar uma ou mais mensagens. Os formatos que os PDU podem assumir são de dois tipos: Formato 1 e Formato 2.

Os formatos dos PDU permitem diferentes tipos de endereçamentos das mensagens. As mensagens com PDU de formato 1 permitem que sejam enviadas mensagens de destino global e específico. As mensagens podem conter o endereço de remetente e o endereço de destino. O valor do campo PF (*PDU Format*) varia entre 0 e 239 (0 a EF). O PDU de formato 2 só permite mensagens de destino global. O valor do campo PF vai de 240 a 255 (F0 a FF).

Os PGN são os números de parâmetros de grupo. Identificam as mensagens e servem como parâmetros para os dados que são inseridos nas mensagens. O PGN das mensagens é formado pelo PDU *format*, PDU *specific* e sem os dados das mensagens. Os PGN podem ser de destino global ou específico. É um dos campos de identificação da mensagem e além de ser fundamental para a comunicação de dados na rede. O PGN é o primeiro item que deve ser interpretado nas mensagens recebidas. Os *bits* de prioridade do PGN servem para gerenciar o acesso ao barramento.

Nesse documento do protocolo ISO 11783 também se definem quais tipos de mensagens trafegam no barramento. Até o momento, o ISOBUS suporta cinco tipos de mensagens: Mensagens de comandos, requisições, respostas/*broadcasts*, reconhecimento e funções de grupo.

As mensagens de comando são PGN que definem comandos a um destinatário específico ou ao endereço global. Tanto o PDU *format* 1 quanto 2 podem ser usados para transmissão desse tipo de mensagens.

²⁴ *Multi packet* indica que os dados são enviados em vários pacotes de dados em diferentes mensagens sequenciais.

As mensagens de requisição podem ser enviadas para um destino específico ou a toda a rede. Essas mensagens têm o campo de dados reduzido, que é preenchido com o PGN requisitado.

As mensagens de resposta/transmissão podem enviar mensagens ciclicamente, tais como a velocidade do trator, ou respostas a um comando ou requisição, como a pergunta que o controlador de tarefas faz ao TECU sobre as *facilities* disponíveis para serem controladas.

As mensagens de reconhecimento podem ser de dois tipos. O primeiro tipo compreende as mensagens providas pelo protocolo CAN. É uma confirmação que uma mensagem foi recebida por pelo menos um controlador. O segundo é uma resposta a uma mensagem de transmissão, a uma mensagem de reconhecimento ou de reconhecimento negativo a um comando ou requisição.

As mensagens de funções de grupo são mensagens usadas para funções proprietárias, protocolo de transporte com múltiplos pacotes (*multi packet*) e funções de gerenciamento de rede. Incluem também mensagens para o terminal virtual, controlador de tarefas, servidor de arquivos e controlador de sequências. Cada função de grupo é reconhecida pelo seu PGN. As funções de grupo também podem ser usadas para comunicação por mensagens proprietárias, que é uma alternativa para transmitir mensagens entre equipamentos de fabricantes diferentes sem conflitos de identificadores.

A parte 3 define os procedimentos para processamento dos SA (*source address*) e dos PGN. A recepção de um PGN deve reconhecer sua prioridade, sua taxa de atualização, a importância do dado para outras funções de controle de outra rede. Também deve reconhecer o comprimento dos dados associados com aquele parâmetro de grupo.

A parte 3 define os requisitos para implementações de funções de protocolos de transporte na rede ISOBUS. As mensagens do protocolo de transporte são subdivididas em mensagens de “empacotamento” e rearranjo e mensagens gerenciamento de conexão. O protocolo de transporte comum é usado para mensagens com dados entre 9 e 1785 *bytes*. As mensagens com dados a partir de

1786 *bytes* usam protocolos de transporte estendidos para completar o envio de dados.

O empacotamento é usado para alocar os dados em mensagens de 8 *bytes* que serão transmitidas sequencialmente, para manter a ordem e coerência dos dados. As mensagens de rearranjo são usadas para recompor os dados que foram recebidos em pacotes recebidos pela ECU. As mensagens de gerenciamento têm como função abrir e fechar o canal de comunicação virtual entre as ECU que recebem e enviam dados usando os protocolos de transporte.

As mensagens de empacotamento e rearranjo são necessárias para pacotes maiores que 8 *bytes*. Este dado é repartido em vários pacotes que cabem em uma mensagem para serem transmitido. O primeiro *byte* do *frame* de mensagem é o número do pacote enviado, que deve estar em ordem crescente, essa identificação deve ser mantida até que toda a mensagem empacotada seja enviada.

O protocolo de transporte especifica o gerenciamento da conexão. Existem mensagens usadas para iniciar a conexão virtual entre dois dispositivos e posterior envio de dados entre estes. Antes do envio de uma grande quantidade de dados, é enviada uma mensagem global para anunciar a ação. Essa mensagem contém o PGN enviado, o tamanho do dado e o número de pacotes. Assim, a ECU que receberá os pacotes poderá alocar espaço em sua memória para recepção das mensagens.

Após esses alertas à rede, a ECU que enviará os dados faz um pedido à ECU que os receberá. Caso seja aceita a conexão, a segunda ECU envia uma mensagem para iniciá-la. A conexão entre as ECU permite realizar o controle do fluxo de mensagens. Após o envio dos pacotes, a conexão é fechada e é enviada uma mensagem de *End of Message ACK*, para disponibilizar os dispositivos e rede para outras conexões.

A parte 3 define o envio de mensagens com tamanhos variados, usando um ou mais pacotes. Permitindo também o uso de protocolos de transporte estendido para mensagens de quantidade de dados maiores. O protocolo de transporte estendido é similar ao protocolo de transporte comum, porém para dados a partir de 1786 *bytes*.

3.2.4. Parte 4: Camada de rede

A parte 4 do ISO 11783 define as unidades de interconexão das redes (ISO, 2011). As unidades de interconexão de redes permitem que dados e mensagens trafeguem entre duas redes instaladas. Os processos de transferência de dados são definidos por encaminhamento de mensagens, filtragem, tradução de endereços e reagrupamento.

O encaminhamento de mensagens ocorre entre diferentes redes. No encaminhamento, a NIU (*Network Interconnection Unit* – Unidade de Interconexão de Rede) deve manter a integridade do dado e a prioridade das mensagens encaminhadas.

A função de filtro é definida pelos endereços que a NIU deve tratar. A função de filtragem depende de quais mensagens estão programadas para serem repassadas para outra rede. Se determinado parâmetro de uma mensagem recebida estiver programado para ser repassado para a outra rede, a filtragem atua enviando o dado para a outra rede.

A tradução de endereços consiste em modificar o identificador de tal forma que a mensagem possa ser interpretada por outro segmento de rede. Caso seja recebida uma mensagem em particular, o endereço é traduzido de forma que o segmento de rede específico receba a mensagem com seu próprio endereço. Para isso é necessário o uso de um banco de dados para reconhecimento e tratamento das mensagens.

O reagrupamento das mensagens pode reduzir o tráfego de dados no barramento e a redução do número de mensagens, ocasionando menor carregamento da rede.

Uma NIU deve possibilitar a leitura e o acesso ao banco de dados do seu filtro, além disso, deve ser transparente aos outros elementos da rede. Não deve ter filas de mensagens, antes deve enviá-las na mesma ordem, de acordo com as prioridades.

A ECU do trator é um tipo de NIU, que conecta as redes do implemento e do trator. Deve isolar eletricamente as redes instaladas e proteger o barramento do trator. Funciona como um *gateway*.

3.2.5. Parte 5: Camada de gerenciamento de rede

A camada de gerenciamento de dados é responsável por gerenciar o acesso à rede ISO 11783. Este documento descreve o procedimento para obtenção dos endereços para as ECU da rede e para associação do endereço com a identificação das suas funções. Detecção e informações sobre erros de rede também são atribuições da camada de rede. Especifica procedimentos para inicialização da ECU, e requisitos mínimos para esta operação, e resposta com relação a uma breve interrupção de energia em ECU conectadas na rede.

O campo NAME é um conjunto de 64 *bits* cujos campos são definidos no protocolo. Cada ECU deve ter um NAME único. O campo NAME descreve a função da ECU na rede de comunicação e serve como valor numérico para determinar quem vence disputas de endereço na rede. O NAME de uma ECU não se altera, mesmo quando a ECU é desligada da energia.

O campo NAME informa à rede as características da ECU. Esse campo indica se a ECU tem condições de autoconfiguração de endereço, o grupo industrial, a instância da classe do dispositivo, a classe do dispositivo, a função, a instância da função, a instância da ECU, o código do fabricante e o número de identificação da ECU.

Os campos do NAME têm diferentes funções. A seguir, há a lista dos campos, usando a mesma abordagem de SOUSA (2002). A definição do campo NAME utilizados para sistemas ISO 11783-compatíveis é mesmo de sistemas que usam o protocolo SAE J199 – parte 31 (SAE, 2003). Os dados enviados pelo NAME, a quantidade e posição dos *bits* são mostrados na figura 7.

Self-Configurable Address: O primeiro *bit* define a capacidade de autoconfiguração que a ECU tem. É um campo independente de outros campos do NAME.

Industry Group: Este campo é associado a um determinado tipo de indústria que fabrica equipamentos associados à ECU. Por exemplo, uma empresa de “Equipamentos Agrícolas” tem um determinado *Industry Group*, enquanto empresas que manufacturam “Veículos Pesados” terá um *Industry Group* diferente.

Device Class Instance: Indica se há mais de uma ECU da mesma classe. No caso de haverem duas ECU do Trator, uma será de instância 0 e outra de instância 1.

Device Class: Informa a que classe pertence o dispositivo conectado à rede. Pode ser uma plantadeira, um trator ou um pulverizador, por exemplo.

Reserved: Reservado para aplicações futuras.

Function: Indica a que a função no veículo que a ECU na rede controla. A tomada de potência representa um determinado grupo funcional, por exemplo. Os grupos funcionais são definidos pelo ISOBUS, e aqueles com valores de representação de 0 a 127, não estão relacionados com valores de outros campos. Os valores de 128 a 255 estão relacionados com os campos que indicam o grupo industrial e a classe de dispositivo.

Function Instance: Significa a instância de uma determinada função presente na rede de comunicação. Por exemplo, se houver duas ECU que comandam a mesma função, uma delas será de instância de função 0 e outra 1.

ECU Instance: Indica se existe mais de uma ECU associada ao mesmo grupo funcional.

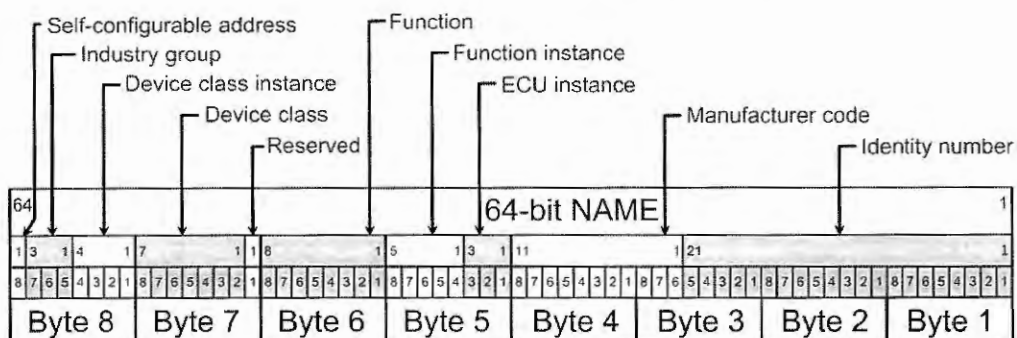
Manufacturer Code: Indica qual é o fabricante da ECU. É um campo independente dos outros.

Identify Number: Valor que identifica a ECU que deve ser atribuído pelo fabricante. É um valor que depende do fabricante que desenvolve a ECU.

O endereço na rede é definido nessa parte do ISO 11783. O endereço é um valor de um *byte* que identifica a ECU na rede e deve ser incorporado a cada mensagem enviada. O endereço obtido é independente do NAME da ECU e pode ser alterado conforme a disponibilidade do mesmo na rede. A ECU pode tentar usar um endereço configurado de fábrica e tal endereço pode ser reconfigurado pela ECU

que tem essa capacidade. Ainda podem ser usados endereços nulos (254 ou FE), que são usados para mensagens de gerenciamentos, e endereços globais (255 ou FF), que podem ser usadas apenas para envio de dados. O campo NAME é mostrado na figura 7.

Figura 7 : Campo NAME (ISO, 2012)



Quanto à configuração de endereços durante a entrada na rede, podem-se encontrar as ECU que não configuram seus endereços, ECU que configuram automaticamente os endereços, ECU que podem ter seus endereços reconfigurados em campo e ECU que podem ter seus endereços configurados por mensagens.

O procedimento de entrada da ECU na rede é definido pela camada de gerenciamento de rede. São diferentes para ECU que são autoconfiguráveis e as que não são. As ECU reconfiguráveis enviam uma mensagem requisição de endereço à rede e aguardam pelo menos 250 milissegundos. Os endereços das ECU que respondem à requisição são armazenados e a ECU tenta usar um endereço não usado. Caso a ECU não reconfigure seu endereço, então o endereço usado que tiver o menor valor do campo NAME vence a disputa do endereço. A ECU só poderá enviar dados na rede após conseguir um endereço válido.

3.2.6. Parte 6: Terminal Virtual

O terminal virtual é uma ECU com mostrador gráfico que atua como interface de comunicação entre o operador e uma ECU conectada ao barramento ISO 11783.

O VT Recebe conjuntos de objetos, como caixas de texto, linhas, figuras geométricas e letras (para serem mostrados na tela do terminal e representar elementos da ECU).

Os requisitos de *hardware* e *software* do terminal estão descritos na parte 6. Dimensões padronizadas de tela, tipos de objetos que podem ser usados, mensagens de operações no mostrador, mensagens de eventos, mensagens de gerenciamento de memória, por exemplo, estão descritas no protocolo. Define-se o formato dos arquivos dos conjuntos de objetos (XML) e os códigos escritos dos objetos.

3.2.7. Parte 7: Mensagens do implemento na camada de aplicação

A parte 7 é denominada de *Implement Messages Application Layer* (Camada de Aplicação das Mensagens do Implemento). Esta parte descreve as mensagens da camada de aplicação, especifica o conjunto de mensagens e define as mensagens usadas na comunicação entre trator e implementos conectados (ISO, 2014). A parte 7 apresenta os grupos de parâmetros e os parâmetros que são enviados nas mensagens.

As mensagens contêm as seguintes informações:

- Data e hora;
- Velocidade: Com relação ao solo e velocidade das rodas;
- Distância;
- Navegação;
- Parâmetros da tomada de potência;
- Engate de três pontos;
- Dados gerais de processo;
- Funções de parâmetros das luzes.

As mensagens descritas na parte 7 dividem-se em dois grandes grupos:

- Mensagens de transmissão de dados medidos;

- Mensagens de transmissão de comandos.

As mensagens ainda dividem-se em periódicas e não periódicas. As mensagens periódicas são enviadas em tempos regulares por uma ECU na rede. As mensagens não periódicas podem ser enviadas a qualquer momento durante a operação de uma ECU, como, por exemplo, requisições e suas respostas enviadas na rede.

3.2.8. Parte 8: Mensagens do *Power Train*

A parte 8 do ISO 11783 é integralmente retirada da SAE J1939 – parte 71. Essa parte descreve a Camada de Aplicação para o uso no veículo (SAE, 2003). Esse protocolo não está restrito somente ao uso em tratores. São definidas as mensagens que trafegam internamente na rede do trator. São definidos os PGN e os SPN²⁵ das mensagens que informam dados da rede SAE J1939. Dados do motor, freios, consumo de combustível, marchas são enviados usando esses identificadores. Os parâmetros podem ser filtrados pela TECU em tratores que possuem rede interna de dados.

O processo de filtragem das mensagens é feito baseado no reconhecimento dos parâmetros que devem ser enviados de um barramento para outro. Quando um grupo de parâmetros é recebido em uma rede, é feita a interpretação dos parâmetros recebidos. Se determinado parâmetro tiver que se ser repassado à outra rede, então é empacotado no respectivo parâmetro e enviado na rede. Neste caso, o endereço na rede é o mesmo da NIU que faz a conexão entre os barramentos.

3.2.9. Parte 9: ECU do Trator

²⁵ Do inglês *Suspect Parameter Number* identificam as informações que são enviadas no campo de dados das mensagens, de acordo com os PGN.

A parte 9 descreve a ECU do trator. A TECU é um *gateway* que faz a comunicação entre os barramentos do implemento e do trator. A ECU de classe 1 pode ser diretamente conectada aos sensores instalados no trator, enquanto as classes 2 e 3 precisam de portas de comunicação. Os componentes internos do trator que precisam ter seus dados enviados na rede são representados no barramento do implemento pela TECU.

A TECU tem requisitos e funções específicas em seu projeto. Essa ECU precisa de uma porta de comunicação conectada com a rede ISOBUS e a outra porta para se comunicar com o trator. Sua função é enviar informações dos sistemas internos do trator ao barramento do implemento usando os identificadores descritos na parte 7. Esta ECU também pode redirecionar para o trator mensagens de controle vindas da rede do implemento. O endereço de origem inicial da TECU é F0. Pode controlar as luzes do implemento e quando pedido, a TECU envia mensagens das *facilities* disponíveis para serem controladas por outras ECU. Monitora o estado da chave de ignição e informa às ECU conectadas se o trator está ligado ou desligado. A TECU Deve tratar as requisições de manutenção de energia pedidas por qualquer ECU na rede.

Cada trator suporta um determinado conjunto de mensagens que determina sua classe. As classes podem ser 1, 2 ou 3. A classe 1 é apropriada para projetos de compatibilização de tratores não adaptados ao ISOBUS e não é recomendado para novos projetos. A classe 2 fornece o conjunto maior de informações com relação ao trator de classe 1, permitindo controles e estratégias de segurança diferenciadas com relação ao trator de classe 1. A classe 3 permite que a TECU receba controles do barramento do implemento.

Mensagens adicionais podem ser utilizadas na operação da TECU. Algumas mensagens adicionais estão disponíveis apenas para as classes 2 e 3. A TECU pode suportar um conjunto de mensagens que permitem as diferentes funcionalidades que não são obrigatórias.

3.2.10. Parte 10: Controlador de Tarefas e gerenciamento e Informações do sistema de troca de dados

A parte 10 define o controlador de tarefas e suas atribuições na rede ISOBUS. O TC é uma ECU que gerencia as tarefas agrícolas. O TC Utiliza informações do sistema de posicionamento e do mapa de prescrição para prescrever as taxas de aplicação para o implemento agrícola. O TC atua enviando mensagens de processo que contêm informações sobre a tarefa agrícola que deve ser executada. O controlador também faz o registro das atividades que foram realizadas pelo implemento ao receber mensagens de processo vindas do deste.

A parte 10 da ISO 11783 define opções importantes para o gerenciamento da tarefa. O processo de comunicação e transferência de dados entre o sistema de gerenciamento da fazenda e o TC pode ser feito via rede sem fio ou via dispositivo de armazenamento. Define-se o formato do arquivo contendo as taxas de prescritas como binário e definem-se o DDOP e o *task file* como XML.

O protocolo traz a lista de comandos e instruções para escrever os arquivos binários com a taxa por setor (*grid file*), e o *task file*, com a descrição do implemento agrícola e das mensagens dos processos de comunicação entre TC e o implemento agrícola.

3.2.11. Parte 11: Elementos do dicionário de dados

O dicionário de dados da ISO 11783 está disponível no *website* <http://dictionary.isobus.net/isobus/>. Neste endereço é possível fazer o *download* dos arquivos que contêm os PGN contemplados pelo ISOBUS, os SPN e os códigos do campo NAME, conforme o especificado pelo ISO 11783. A aparência do *site* é mostrada na figura 8.

A aparência do *site* é mostrada na figura 8. Na figura, cada seção que pode ser acessada foi indicada pelas letras com traços ligando-as às seções. As explicações dos campos do *site* seguem:

a. Login

É necessário fazer um pedido VDMA *Fachverband Landtechnik* ISOBUS para que seja cadastrado um novo perfil de usuário.

b. Pesquisas das DDI (*Data Dictionary Identifier*)

Identificadores das mensagens de processos usadas para comunicar ao implemento o valor da taxa de aplicação ou o comando.

c. Requisição para uma nova DDI ou alteração uma DDI existente

Setor da página para fazer um pedido de inclusão ou alteração de uma DDI existente. Para acessar essa seção, é necessário ter um perfil cadastrado e com acesso liberado.

d. Tópico de ajuda para o item (c)

Esta seção representa um item para ajudar ao usuário quanto à requisição ou alteração das DDI existentes.

e. Lista completa de itens do dicionário de dados.

Esse arquivo é liberado para todos que acessarem a página e é usado para fazer o *download* completo do dicionário de dados da parte 10.

f. Documentos com parâmetros

Esse espaço é usado para fazer *download* de um arquivo com a listagem dos NAMES das empresas, os endereços preferidos de ECU do barramento do trator e do implemento, o códigos das empresas desenvolvedoras de sistemas ISOBUS compatível e a listagem dos SPN e dos PGN do ISO 11783, separadamente.

g. Formulário para adição e modificação de parâmetros

Nesse item, fica disponível um formulário para requerer a adição de SPN, PGN, NAME ou modificar parâmetros já existentes.

Figura 8 : Aparência do site de dicionário de dados (fonte: <http://dictionary.isobus.net/isobus/>)



3.2.12. Parte 12: Serviço de diagnósticos

A parte 12 descreve o serviço de diagnósticos da ISO 11783. O diagnóstico prevê que as ECU conectadas forneçam informações necessárias para que seja possível identificar a ECU que está com problemas. As ECU devem suportar as informações de diagnósticos definidas pelo protocolo. O serviço de diagnósticos requer o uso de uma interface de diagnóstico, que pode ser disponibilizada pelo VT ou por outra interface.

O protocolo descreve outras funções sobre o serviço de diagnósticos. O serviço de diagnósticos tem um conector próprio, definido na parte 2. O protocolo define o conjunto de mensagens de requisições e respostas para este fim. Também é definida a topologia da rede, a localização física do conector e a tela para informações do diagnóstico da rede.

As ECU conectadas devem comunicar-se com a interface de diagnóstico da rede. As informações da rede devem ser providas por todas as ECU conectadas à interface de diagnósticos. Essas informações permitem uma visão geral do comportamento e do funcionamento da rede (ISO, 2014).

As informações que cada ECU deve enviar são relativas às funcionalidades da ECU. As informações que o serviço de diagnóstico deve receber é o *part number*, *serial number* e nome da empresa que produziu a ECU, o NAME da ECU, a versão do *software* da ECU, os dados do teste de conformidade e a mensagem de identificação do produto (ISO, 2014).

A interface de diagnósticos deve mostrar medidas das estatísticas da rede. No mínimo, as estatísticas da rede que devem ser apresentadas mostram o carregamento do barramento, erros detectados durante o envio ou recebimento de mensagens, contagem de mensagens, média da diferença de potencial no barramento – medidos em um período entre 250 milissegundos a 5 segundos (se suportado pelo *hardware*) (ISO, 2014).

Para determinação de qual dispositivo conectado está em falta, além de informações da rede, são necessárias as estatísticas da rede, informações da ECU, funcionalidades da ECU e diagnósticos e o conjunto de caracteres (ISO, 2014).

As informações da ECU devem servir como parâmetro adicional para determinar se a falha ocorre especificamente em uma ECU. Códigos ativos de erros dos parâmetros – incluem parâmetros com indicações de falhas; códigos anteriores de erros dos parâmetros – incluem parâmetros com indicações de falhas e ocorrência de falhas (se estiver disponível) (ISO, 2014).

Cada ECU deve informar as funcionalidades, ativas e não ativas disponíveis ao serviço de diagnósticos. Funcionalidades presentes, mas não habilitadas, não devem ser comunicadas.

Em casos de a ECU com problemas ser detectada, pode-se utilizar a ferramenta de diagnósticos para determinar qual parâmetro encontra com problema.

O protocolo apresenta as mensagens usadas para diagnósticos. São apresentados os SPN e os PGN usados para as mensagens, assim como a posição dos parâmetros e as informações contidas nos *bytes* no campo de dados dos identificadores.

3.2.13. Parte 13: Servidor de Arquivos

O servidor de arquivos é uma ECU na rede ISO 11783 que permite aos outros controladores armazenar ou retirar dados desse dispositivo na rede. O servidor usa o formato de mensagens e PGN próprios e, se necessário, pode usar protocolos de transporte, descritos na parte 3 do ISOBUS, para enviar e receber dados.

A parte 13 apresenta definições e diretivas sobre as ações do servidor de arquivos. Essas orientações referem-se aos tipos dos dados, o controle da transmissão de dados, suporte para data e horário, comunicação com vários clientes, manipulação de arquivos e os tipos de elementos usados para armazenamento.

Os tipos dos dados podem ser grupos de *bits*, números inteiros de até 32 *bits*, caracteres e cadeias de caracteres. Os caracteres válidos para nomear arquivos e indicar os caminhos para o arquivo são mostrados no anexo A.

O controle da transmissão dos dados é apresentado nesse documento do ISO 11783. É descrita a estratégia para envio e recebimento das mensagens, visando reduzir os erros de comunicação. Mostra como lidar com problemas de tempos muito grandes sem resposta, os *timeouts* na comunicação.

Define-se o suporte para data e horários pela ECU, a necessidade de comunicar com outras ECU simultaneamente, o procedimento para criação e nomeação dos arquivos que serão armazenados e os tipos de volumes de armazenamento que podem ser usados nos servidores de arquivos.

3.2.14. Parte 14: Controle de atividades sequenciais

O sistema de controle de sequências se refere às atividades que são realizadas automaticamente pelos elementos conectados à rede ISO 11783. Esta funcionalidade permite que funções que são realizadas pelo operador sejam executadas a partir de um evento predeterminado. O sistema consiste em um mestre do controle de sequências se comunicando com um cliente na rede ISO 11783.

4. Mensagens Padronizadas ISO 11783

Devido à importância das mensagens para o estudo da TECU e da rede ISOBUS, este capítulo sistematiza e explica os parâmetros das mensagens utilizadas pelo Terminal Virtual, pelo Controlador de Tarefas e pela ECU do Trator. Este capítulo fornece subsídios para compreender as mensagens utilizadas no desenvolvimento da TECU e o tráfego de dados durante a operação da rede ISO 11783.

4.1. Mensagens do Terminal Virtual

O terminal virtual é uma ECU que tem a função de interface entre operador e ECU conectada na rede ISOBUS. Podem se comunicar com o TC, a TECU e o implemento agrícola. As mensagens do VT estão definidas nos anexos C, D, E, F, G, H, I, J e K da parte 6 da ISO 11783 (ISO, 2012). Os Anexos A e B não descrevem as mensagens enviadas na rede ISO 11783 e sim requisitos do terminal.

Os documentos que descrevem as mensagens são os anexos. Destes documentos, aqueles que contêm descrição de mensagens usadas para comunicação com o VT são os seguintes anexos:

- Anexo C: Protocolo de transporte de objetos
- Anexo D: Mensagens de dados técnicos
- Anexo E: Comandos de operações de memória não volátil
- Anexo F: Mensagens de comando e macros
- Anexo G: Mensagens de *status*
- Anexo H: Mensagens de ativação
- Anexo I: Outras mensagens
- Anexo J: Controles auxiliares
- Anexo K: Protocolo de transporte estendido

4.1.1. Anexo C: Protocolo de transporte de objetos

O protocolo de transporte é um método de comunicação de dados maiores que 8 *bytes* e está definido na parte 3 do protocolo ISO 11783. O protocolo de transporte é o método que as ECU usam para enviar os OP para o VT.

São reservados dois PGN para que sejam trocadas mensagens entre VT e ECU na rede. Ambos os PGN são usados para mensagens diretamente enviadas. Uma refere-se às mensagens que são enviadas do VT para o WS e outra se refere às mensagens enviadas do WS para o VT.

Antes do envio, deve ser avaliada a compatibilidade do OP e o envio deve ser requisitado. As operações de envio usando o protocolo de transporte devem ser requisitadas por mensagens e, se permitidas, devem ser efetuadas. Antes do envio dos dados é verificada a compatibilidade entre arquivo que será recebido e as especificações do VT. Quando é detectada a compatibilidade, é permitido o envio do arquivo para o VT.

A transferência do OP para o VT é realizada usando mensagens do protocolo de transporte. Antes de enviar o OP, a ECU envia uma mensagem requerendo a permissão para envio. Se o envio for aceito, o VT recebe o conjunto de objetos transferido pela ECU. Ao final do processo, a ECU envia a mensagem de término e caso não existam erros na recepção, a mensagem é respondida com um ACK (resposta afirmativa) pelo VT. Se houver erros na recepção, o VT deve apagar o OP recebido, informar ao operador e indicar a razão do erro.

Apesar de ser possível fazê-lo usando o protocolo de transporte, é recomendada a utilização do protocolo de transporte estendido, isto é, para arquivos maiores que 1786 *bytes*, para envio dos OP. Ainda permite que sejam feitas atualizações dos OP durante o envio.

4.1.2. Anexo D: Mensagens de dados técnicos

As mensagens de dados técnicos são usadas para determinar a compatibilidade entre as características do VT e as do OP que será recebido. As mensagens de dados técnicos devem ser respondidas pelo VT sempre que uma ECU fizer a requisição desses dados. A cada requisição feita por uma ECU, usando as mensagens do Anexo D, uma resposta é enviada por outra ECU. Essas mensagens são enviadas com destinatário específico, tanto da ECU para o VT como do VT para a ECU.

As mensagens de dados técnicos permitem que se avalie memória disponível, números de *soft Keys* (*botões virtuais criados no OP*), características das fontes de texto, mensagens de *hardware*, *widechars* (caracteres com mais de 2 *bytes* de tamanho), janela da máscara²⁶ de dados e objetos suportados.

4.1.2.1. Mensagens de Memória

Esse par de mensagens permite ao WS determinar se o VT tem memória suficiente receber o OP e também pode ser usada para reconhecer a versão do VT. Essa mensagem pode ser usada para calcular o espaço de memória requerido pelo WS. O WS envia uma mensagem com a quantidade de memória requerida igual a zero para receber como resposta a versão do terminal.

A resposta a essa mensagem indica a versão e também mostra se há espaço suficiente para armazenar o OP de um determinado WS da rede. Caso não haja espaço para armazenamento, o envio do OP é vetado.

4.1.2.2. Mensagens do número de *soft keys*

²⁶ Máscara é um objeto que contém informações ou objetos que podem ser mostrados ao operador do VT.

As *soft keys* são teclas com funções programáveis. As *soft keys* podem ser físicas, quando estão permanentemente disponíveis para o WS; podem ser um botão na tela sensível a toque ou um botão físico ou até mesmo virtuais, quando estão presentes em determinada área do OP recebido pelo VT.

As mensagens das *soft key* são usadas para informações sobre estas. São usadas pelo WS para requisitar a quantidade de divisões disponíveis para estes objetos. Pode-se solicitar a quantidade de *soft keys* e o número de *soft keys* físicas. Pode-se ainda, disponibilizar a quantidade de *soft keys* usadas para navegação entre as telas.

A mensagem de resposta deve informar ao WS o número de teclas usadas para navegação, para determinar a quantidade de *pixels* disponíveis para as *soft keys*, nos eixos X e Y da tela, e o número teclas físicas e virtuais.

4.1.2.3. Características de fonte do texto

As mensagens de dados do texto permitem que o WS seja informado sobre as características das fontes, os tamanhos dos tipos, atributos e as cores disponíveis. A resposta deve enviar as dimensões das fontes maiores e menores e os estilos suportados como, por exemplo, negrito, itálico e sublinhado.

4.1.2.4. Mensagens de hardware

As mensagens do *hardware* servem para o WS requisitar as especificações de projeto do *hardware* do VT. A resposta contém tempo máximo que o VT leva para ligá-lo (ou reiniciá-lo), até a primeira mensagem de *status*, os modos gráficos e as características, tais como, *touch screen*, *pointing*, frequências e volume do áudio e outros.

4.1.2.5. Mensagens de *widechars*

O *widechar* é um caractere simples com um tamanho de 2 *bytes*.

Essa mensagem é uma requisição que permite ao WS ser informado sobre as *widechars* suportadas pelo VT. Podem ser enviadas mais de uma mensagem para obter esta resposta. A resposta envia o conjunto de caracteres maiores de 2 *bytes* que são suportados.

4.1.2.6. Mensagens de janela da máscara de dados

A máscara de dados (*Data Mask*) é a tela que pode ser carregada no VT. Essa mensagem requer informações do VT sobre a cor do plano de fundo, da máscara de dados do usuário e do espaço reservado para as teclas na máscara de *soft keys*.

4.1.2.7. Mensagens de objetos suportados

Esta mensagem é usada para informar ao WS a lista de objetos (lista de elementos gráficos que compõem as imagens mostradas no terminal virtual) suportados pelo VT que é retornada pelo VT. Entretanto, essa resposta não inclui, necessariamente, objetos proprietários (objetos de um OP que são definidos pelo fabricante do WS e que não necessariamente estão padronizados), ficando a cargo do projetista a forma como será tratado o recebimento destes. O VT pode ainda rejeitar o OP que contenha este tipo de objeto.

4.1.3. Anexo E: Comandos de operações de memória não volátil

A memória não volátil do VT é um espaço de memória que não perde seus dados quando ocorre a interrupção de energia do VT.

O terminal virtual deve armazenar o OP em sua memória não volátil. O local de memória onde o OP é armazenado deve ser associado apenas ao único WS. Um espaço de memória que armazena um conjunto de OP pode ser gerenciado pelo WS conectado. Qualquer WS deve manipular apenas o seus próprios OP armazenados no VT.

O WS precisa determinar a versão do OP armazenado no VT. Para isso usa mensagens de dados técnicos para obter dados sobre a compatibilidade do OP armazenado.

Neste anexo, as mensagens permitem apenas que o VT atue sobre sua memória. O WS apenas pode enviar comandos, mas não agir diretamente sobre a memória do VT, a fim de manter a integridade dos dados.

As mensagens nesse anexo permitem obter as versões armazenadas no VT, requisitar o armazenamento, carregar uma versão do OP na memória do VT e apagar um determinado OP.

4.1.3.1. Obter versões

As versões do OP apresentam alterações importantes em sua implementação, melhorias e evoluções com relação a outros lançados anteriormente, ou correções de erros (*bugs*). Nesse caso, a versão do OP é indicada nele. É importante para o WS, ou outra ECU, analisar a compatibilidade do seu OP com a versão do *firmware* do VT disponível.

Estas mensagens estão disponíveis para requisitar informações das versões normais e estendidas dos OP. Para cada tipo de OP, normal e estendido, há uma mensagem específica. São mensagens de requisição para verificar o indicador (*label*) de versão associado ao *pool* de objetos armazenados na memória do VT.

A resposta desse comando envia todos os rótulos de versões de OP armazenadas na memória não volátil que estão relacionadas ao WS que fez a requisição. As versões estendida e normal têm suas respostas.

4.1.3.2. Armazenamento de OP

A mensagem de armazenamento é o comando que permite ao WS armazenar uma cópia do atual OP em uma porção de memória não volátil do terminal virtual, com a devida indicação da versão. Esta mensagem pode ser enviada quando necessário. Se uma determinada cópia do OP já existir em uma determinada área de memória, a versão nova se sobrescreve sobre a anteriormente gravada. Essas mensagens podem ser enviadas para comandar o armazenamento de OP com versões estendidas e normais.

A resposta enviada indica ao WS se a cópia foi armazenada corretamente ou se houve algum erro no armazenamento.

4.1.3.3. Carregar versão do OP

Essa mensagem permite ao WS carregar uma versão de um OP armazenado anteriormente na memória do dispositivo. Quando o OP é carregado pelo VT, o WS pode utilizá-lo. As mensagens de carregamento da versão do OP são diferentes para versões normais e estendidas de OP.

A resposta a esse comando envia uma mensagem que indica que foi possível, ou não, realizar o processo de carregamento do OP. Caso não seja carregado o OP, na mensagem de resposta deve indicar o motivo do erro.

4.1.3.4. Apagar versão do OP

Essa mensagem permite ao WS apagar um determinado OP armazenado na memória não volátil do VT. Esse comando serve apenas para a memória não volátil. Se um OP estiver em uma porção de memória volátil, não é afetado pelo comando. A resposta indica se a requisição foi atendida.

4.1.4. Anexo F: Mensagens de comando e macros

Os macros são definidos pela parte 6 do ISO 11783 como objetos usados para aumentar o desempenho da interface do operador (ISO, 2013). Estes objetos devem obedecer algumas regras para operarem em OP compatíveis com o ISOBUS. Os macros podem usar apenas os comandos listados no anexo F.

O anexo F descreve as mensagens utilizadas para comandos de macros. Essas mensagens são enviadas pelo *working set* e são respondidas pelo VT. A seguir, maiores descrições sobre as mensagens contidas nesse documento do ISO 11783.

As mensagens foram sistematizadas conforme os objetos cujas características são alteradas pelos comandos. Não estão organizados na mesma sequência encontrada na parte 6, anexo F, do ISO 11783.

4.1.4.1. Mensagens de comandos de objetos

As mensagens de comando de objeto permitem esconder ou mostrar, habilitar ou desabilitar, selecionar objetos de entrada ou mudar o rótulo de um objeto. Entende-se por um objeto um campo de entrada, um botão ou um objeto de tecla. Cada um desses comandos possui mensagens próprias. Cada mensagem tem uma resposta específica, informando a alteração ocorrida ou os erros ocorridos nesse processo.

4.1.4.2. Mensagens de escape (ESC)

Essa mensagem permite que alguma entrada especificada pelo operador seja desconsiderada. Essa mensagem envia uma mensagem de resposta.

4.1.4.3. Mensagens de comando de áudio

Podem-se usar as mensagens de comando de áudio para controlar o sinal de áudio e o volume dos sinais de áudio de um terminal virtual.

O controle do sinal de áudio interrompe qualquer processo de áudio em execução no VT e inicia um novo processo referente à mensagem. Essa mensagem não se refere a um sinal sonoro aplicado a um alarme gerado pelo VT.

O comando do volume permite regular a intensidade do áudio que está sendo executado pelo VT. Assim, como o caso do controle de áudio, essa mensagem não altera o volume de um alarme.

4.1.4.4. Mensagens de alteração de objeto filho

As mensagens de alteração de “objeto filho” permitem que se altere a posição de um objeto atrelado a outro, chamado de “objeto pai”. Para esse fim, existem mensagens de alteração de localização, que alteram a coordenada a partir da posição relativa ao objeto pai; e de alteração da posição, que altera a coordenada com relação ao canto superior esquerdo da tela.

4.1.4.5. Mensagens de mudança de dimensões e plano de fundo do objeto.

Essas mensagens são usadas para alterar as dimensões dos objetos na tela. Valores zero para largura ou altura, ou ambos ao mesmo tempo, indicam que o objeto não será desenhado. Essa mensagem é endereçada diretamente ao objeto, independentemente se é objeto filho ou não.

As mensagens de mudança de cor do plano de fundo de um objeto precisam ser endereçadas ao objeto, pelo ID no OP, e na mensagem deve ser estabelecida a nova cor, de acordo com a paleta de cores disponíveis.

4.1.4.6. Mudança de valores de número e *strings*

A mensagem de valores numéricos altera os dados de campos declarados como dados numéricos, enquanto as mensagens de alteração de cadeias de caracteres (*strings*) alteram os campos de dados referentes às cadeias de caracteres. Nenhuma dessas mensagens é capaz de alterar as dimensões do objeto que contém o dado numérico. Apenas o objeto indicado tem o valor alterado, as variáveis referenciadas não alteram seus valores.

No caso de variáveis do tipo *string*, a cadeia pode ser transferida usando protocolo de transporte, caso o conteúdo seja maior que três *bytes*.

4.1.4.7. Alteração do final do objeto, dos atributos de fonte, de linha e de preenchimento do objeto

Esse conjunto de mensagens permite alterar as características, ou atributos, dos objetos. Os atributos que podem ser alterados são de dimensão do objeto e de direção além do final da linha do objeto, dos atributos da fonte (estilo, cor, tipo e tamanho da fonte), do comando de preenchimento, dos atributos das linhas criadas, como cor, largura da linha e o tipo de arte disponível.

4.1.4.8. Mudança de máscara ativa e de soft Keys

A máscara ativa do OP é a tela que está sendo mostrada na tela do VT. A mensagem de alteração de máscara ativa é usada para alterar a tela do WS que está ativa na visualização na tela do VT para outra tela ou uma tela de alarme. Para o caso da máscara de *soft keys*, é usada a mesma lógica, mas para alterar as máscara de *soft keys* associada a outra tela ou a uma tela de alarme.

4.1.4.9. Alteração de prioridade

Este comando altera a prioridade de uma Máscara de Alarme (*Alarm Mask*). Este comando faz o VT alterar a prioridade das telas em sua memória. Caso a *Alarm Mask* seja alterada esta deve se tornar a máscara ativa do WS ou ser ativada em um período curto de tempo. A resposta a esta mensagem deve informar se foi possível alterar a prioridade, a nova prioridade da *Alarm Mask* ou se houve erros na alteração.

4.1.4.10. Alteração de lista de itens, *label* e execução de macros

Comandos usados para alterações da listagem de objetos e *lable*. A listagem de objetos que pode ser alterados compreende objetos: de entrada, de saída, animados ou objetos definidos externamente. Outra alteração que se permite realizar é a do rótulo de um objeto.

Outra mensagem usada é a de execução de macros. Nesse caso, é necessário enviar o ID da macro e do comando de execução diretamente ao VT, por parte do WS. Esse comando também é válido para execução de macros estendidas, isto é, macros para objetos de 16 *bits*.

4.1.4.11. Mensagem para apagar OP

Essa mensagem é usada para apagar um OP inteiro de uma memória volátil. Essa mensagem é um complemento da mensagem usada no gerenciamento da memória não volátil, que é usada para apagar OP neste espaço de memória.

4.1.4.12. Comando de *Lock/Unlock* de Máscara

As mensagens de comando de *Lock/Unlock* são usadas para permitir, ou desabilitar, as atualizações na tela do WS que está sendo exibida pelo VT. Esta mensagem pode ser usada quando várias mudanças na tela precisam ser sincronizadas. A tela não deixa de ser atualizada, apenas as modificações não são mostradas enquanto estas ocorrem.

Existe um mecanismo que encerra o comando de bloqueio da atualização da tela, como um comando que desabilita o bloqueio, os objetos de entrada de dados que são selecionados, as teclas de navegação que são pressionadas ou botões que são acionados. Quando uma máscara visível recebe o comando para ser omitida ou quando o OP recebe o comando para ser apagado, também ocorre do desbloqueio da tela.

4.1.4.13. Alterações em polígonos

As mensagens de alterações de polígonos são usadas para alterar um único ponto e alterar a escala de um polígono.

A mensagem de alteração de um ponto é usada para modificar um ponto em um objeto de saída. Há, porém, uma desvantagem nesse comando caso seja necessário que vários pontos sejam alterados, porque várias mensagens devem ser

enviadas ao VT. Em situações assim, recomenda-se congelar a tela e realizar as alterações dos pontos.

A mensagem de alteração de escala altera completamente as dimensões de um polígono. Quando essa mensagem é processada pelo VT o polígono deve ter suas dimensões alteradas consistentemente, de acordo com a área disponível na tela do VT.

4.1.4.14. Comandos Gráficos

Essa mensagem permite manipular objetos gráficos. Podem ser desenhados objetos por esse comando e o VT os ajustará de acordo com as dimensões da tela, podendo cortar partes, ajustar o tamanho ou mostra-lo parcialmente na tela. O protocolo de transporte pode ser usado, caso os comandos excedam 8 *bytes*.

Para cada ação realizada pelas mensagens, há comandos que devem ser enviados nas mensagens enviadas para o VT.

4.1.4.15. Obter valor de atributo

Essa mensagem é usada para informar o WSM sobre os atributos dos objetos no VT no momento em que a mensagem é recebida. A resposta a essa mensagem envia para o WSM o estado do objeto requisitado. Caso haja algum erro, ele responde o tipo de erro ao WSM.

4.1.4.16. Selecionar mapas de cores

A mensagem de seleção de cores é uma mensagem de comando. Usada por algum WSM na rede para selecionar o mapa de cores ativo, o que pode também

alterar a exibição de objetos de outros WSM. Este comando pode levar um tempo maior para ser executado. O VT responde a esta mensagem indicando se houve ou não erros neste processo.

4.1.4.17. Identificação de VT

Esta mensagem é usada por WSM ou VT na rede. Ao receber essa mensagem, o VT mostra por um período de 3 segundos o seu número de identificação, se não houver nenhuma máscara de alarme ativa. Esta mensagem pode ter um destinatário global ou específico. Caso a mensagem seja endereçada diretamente, o VT responde enviando o número de identificação ao destinatário que fez a requisição. Essas mensagens podem ser de pergunta e resposta

4.1.4.18. Mensagem de função não suportada pelo VT

Esta mensagem é enviada pelo WSM ou pelo VT, quando um recebe uma mensagem direta com uma função que não pode ser processada pela ECU recebedora. Tanto o WSM quanto o VT podem enviar mensagens desse tipo. Estas mensagens não têm resposta

4.1.5. Anexo G: Mensagens de *status*

As mensagens de *status* permitem ao WS saber o estado de funcionamento do VT e monitorar as tarefas. O VT também pode verificar o estado do WS. Essas mensagens são divididas em mensagens de *status* e de manutenção do *working set*.

4.1.5.1. Mensagem de *status*

A mensagem de *status* deve ser enviada após a inicializada e serve como indicativo de que o VT está pronto para trocar mensagens com as ECU na rede. É uma mensagem de endereço global.

Essa mensagem é enviada em conjunto com a mensagem que mostra tela ativa no VT, mostrando ao WS se é o OP está sendo mostrado.

4.1.5.2. Mensagens de manutenção do *working set*

A mensagem de manutenção do *working set* é enviada uma vez por segundo para o VT. Essa mensagem informa a versão do WS para o VT, pois cada membro não pode informar a versão de seu *software*. Por conta disso, essa mensagem informa ao VT a compatibilidade do conjunto, em relação à versão do terminal, como sendo a compatibilidade do mestre.

A compatibilidade com a versão é verificada internamente no barramento proprietário e o protocolo não contempla esse procedimento.

4.1.6. Anexo H: Mensagens de ativação

As mensagens que compõem este anexo são opcionais. Usam os PGN descritos no anexo C, protocolo de transporte de objetos, para realizar a comunicação.

São usadas para ativar *soft keys*, botões, indicar eventos e a localização na tela, seleção de um objeto, processamento de escapes (ESC), alteração de valores numéricos, mudança de *active mask*, mudança da máscara de *soft keys*, alteração de valores de *string*, mensagem indicativa que a máscara ativa foi selecionada para ser mostrada ou omitida na tela e mensagem de controle do sinal de áudio.

4.1.6.1. Ativação de *soft keys* e botões.

As mensagens de ativação das *soft keys* permitem ao VT transmitir a tecla selecionada pelo operador. A tecla pode assumir os estados livre, pressionado e abortado. Após 300 milissegundos, se a tecla, ou o botão continuar pressionado, o VT altera o estado da tecla para livre. Caso seja suportado, o estado pode ser alterado para abortado. A resposta a essa mensagem é opcional.

4.1.6.2. Eventos de Cursor

A mensagem de eventos do cursor é usada para indicar o ponto da máscara de dados que foi pressionado. Essas mensagens só podem ser usadas caso o VT suporte mensagens de cursor do dispositivo ou caso possua tela sensível ao toque. Essa mensagem não é usada caso seja pressionado um botão ou uma entrada de dados.

As respostas para as mensagens dos eventos de cursor são opcionais. Devem ser retornadas as coordenadas do objeto relativo ao canto superior esquerdo e o estado do objeto, isto é, se o objeto estiver livre, pressionado ou ainda pressionado.

4.1.6.3. Mensagem de seleção de objeto de entrada do VT

Essa mensagem é enviada pelo VT em qualquer momento, desde que algum campo, botão ou *key* que seja selecionado, desmarcado, aberto para edição ou fechado após ser editado ou em casos em que se pressiona a tecla ESC. A resposta é opcional.

4.1.6.4. Mensagens de ESC do VT

Essa mensagem é usada pelo VT para informar que a tecla de escape (ESC) foi pressionada. Também é usada quando VT fecha algum objeto de entrada de dados da máscara ativa, devido a uma mudança da mesma. A resposta é opcional e informa o ID do objeto que foi alterado sem erros.

4.1.6.5. Mudança de valores numéricos, *strings*, máscara ativa de dados e de *soft Keys*

O VT envia uma mensagem de mudança de valor numérico em qualquer momento em que o operador altere o valor numérico de um objeto ou variável, independentemente de a mudança ser concluída ou não.

A mensagem de mudanças de *strings* é usada para envio ou alteração de caracteres em campos e em variáveis com o mesmo tipo. Se a mensagem tiver tamanho menor que 3 *bytes* não se deve o protocolo de transporte.

A mensagem de alteração de máscara ativa é enviada caso aconteça algum erro durante o desenho da tela atual. A mensagem de mudança de máscara de *soft keys* é enviada em casos de erros quando a máscara de *soft keys* é mostrada ou do desenho desta na tela. Essa mensagem também é enviada após o recebimento e processamento das mensagens de comando para mudança da máscara de *soft keys*.

Todas essas mensagens têm respostas opcionais, orientada aos eventos ocorridos.

4.1.6.6. Mensagem para mostrar ou esconder a máscara ativa

Esta mensagem é enviada para notificar o WS que uma determinada janela está visível ou não.

4.1.6.7. Mensagem de término de sinal de controle de áudio

Essa mensagem deve ser enviada quando termina uma mensagem de controle de sinal de áudio antes de ser completa. Esta mensagem não deve se enviada quando o VT termina um sinal acústico de uma máscara de alarme de prioridade baixa. Não há resposta para essa mensagem.

4.1.7. Anexo I: Outras mensagens

O VT pode gerar outras mensagens além daquelas descritas na parte 7 da ISO 11783, não estando limitado às mensagens de parâmetros de linguagem. O VT pode usar o PGN de velocidade e de distância baseada na roda, para monitorar o estado da chave de ignição. O objetivo desse monitoramento é usar as mensagens de *maintain power* e gerenciar o desligamento.

4.1.8. Anexo J: Controles auxiliares

Os controles auxiliares permitem ao operador controlar funções específicas independentemente da interface do VT enquanto as entradas e funções auxiliares mantêm a conexão entre as entradas e funções e o VT (ISO, 2012). As entradas auxiliares podem ser binárias, variáveis que podem assumir apenas dois estados 0 e 1, analógicas, que podem assumir diversos valores em um determinado intervalo, ou *encoder*, que são variáveis que enviam vários pulsos e precisam ser tratadas com auxílio de contadores.

As entradas e funções auxiliares são definidas nos OP do WS que as enviam ao VT. São definidos objetos próprios tanto para as entradas quanto as funções auxiliares descritas neste documento do ISOBUS.

4.1.9. Anexo K: Protocolo de transporte estendido

O protocolo de transporte estendido é o mesmo descrito na parte 3 do ISO 11783.

4.2. Mensagens do TC

O controlador de tarefas é uma ECU responsável por gerenciar tarefas pré-programadas e se comunica majoritariamente com o implemento agrícola. O seu conjunto de mensagens é padronizado pela parte 10 do protocolo ISO 11783. As mensagens compreendem as seguintes funções:

1. Mensagens de dados de processo
2. Mensagens de dados técnicos
3. Mensagens de descrição do dispositivo
4. Mensagens de *status*

A seguir, a descrição mais detalhada dessas mensagens.

4.2.1. Mensagens de dados do processo

As mensagens de dados de processo são mensagens que contêm comandos e valores que são enviados às ECU do WS. Após o TC comparar a posição do sistema formado pelo trator e pelo implemento com o mapa de prescrição nele embarcado e verificar se existe um DDOP do implemento agrícola engatado, as mensagens de processo são transmitidas. Assim, o controlador de tarefas indica para o implemento a aplicação de acordo com a localização. As mensagens de processos precisam ser escalonadas conforme a localização, para poder executar tarefas e aplicação com taxas variadas.

A utilização das mensagens de processo por parte do TC funciona como uma comunicação proprietária. É realizada apenas entre o implemento e o controlador de tarefas.

4.2.2. Mensagens de dados técnicos

Essas mensagens são utilizadas para requerer as características do controlador de tarefa e do WS do implemento conectado. Esse subconjunto de mensagens é composto por uma mensagem que faz a requisição da versão da implementação e a resposta a esta requisição. Essas mensagens usam o PGN de mensagens de processo e destino específico. São mensagens não temporizadas.

4.2.3. Mensagens de descrição do dispositivo

Essas mensagens são usadas para transferir a descrição do dispositivo do WS para o controlador de tarefas e manter o *Object Pool* de descrição do dispositivo (DDOP). Elas trabalham aos pares de requisição-resposta, como uma espécie de par ação-reação: a cada requisição feita pelo WS, uma mensagem de resposta é enviada àquela requisição específica por parte do TC. Todas essas mensagens usam os identificadores das mensagens de processo.

4.2.4. Mensagens de *structure label*

Esta mensagem permite ao WS determinar qual a versão da estrutura da descrição do dispositivo (DDOP) presente no controlador de tarefas. A esta requisição, o controlador deve responder informando a versão da estrutura de descrição presente nele. Caso não haja nenhuma estrutura indicada ou ele não ofereça suporte a essa requisição, deve responder uma mensagem de NACK.

4.2.5. Mensagens de *label* de localização

Permite ao WS determinar a versão do *label* localização presente e disponível no TC. O *localization label* indica a versão, a linguagem e unidades utilizadas na configuração do DDOP. Se não houver *lable* de localização disponível ou não for suportado esse tipo de mensagem, uma mensagem de processo NACK é enviada como resposta.

4.2.6. Mensagem de requisição de transferência do *object pool*

Mensagem para o WS obter permissão para enviar seu DDOP, ou uma parte dele, ao TC. Na mensagem de resposta, o WS envia ao TC o espaço de memória necessária para receber o OP. Caso haja espaço suficiente, o envio é permitido. Se não houver espaço suficiente, o TC envia uma mensagem não permitindo o envio do OP.

4.2.7. Mensagens de transferência de *object pool*

Outro par de mensagens usado. A requisição habilita o envio do DDOP por parte do WS. O DDOP pode ser enviado em várias mensagens de transferência de dados. Caso seja essa forma de envio seja escolhida, cada parte do DDOP enviado deve ter um conjunto de descrições de objeto.

4.2.8. Mensagens de ativação do DDOP

Esta mensagem indica que o OP foi recebido corretamente e pronto para uso. Esta é a última mensagem enviada depois de que as configurações de versão, de *structure label*, de *localization label* e as últimas alterações do OP foram feitas e todas as compatibilidades foram testadas. A resposta por parte do TC é uma mensagem de ACK destinada ao WSM que enviou o DDOP. Caso haja erros de envio, o TC exclui o DDOP de sua memória e, ocasionalmente, pode enviar ao operador o motivo da exclusão.

4.2.9. Mensagens de exclusão

Mensagem que o WS envia uma requisição para o TC apagar de sua memória o DDOP enviado. Assim, o TC pode apagar completamente o DDOP antes de enviar o DDOP atualizado usando mensagem de transferência. O TC envia a mensagem confirmando, ou não, a exclusão do DDOP.

4.2.10. Mensagens de mudança do designador de um objeto

Mensagem para atualização do designador de um objeto.

4.2.11. Mensagens de *Status*

As mensagens de *status* permitem ao WS determinar a qualidade do estado do TC e monitorar os progressos das tarefas do controlador. Permitem ao controlador verificar o estado, os comandos e os dados de processo que o WS suporta.

4.2.12. Mensagem NACK

Esta mensagem é enviada pelo WSM para rejeitar comandos e dados de processo que o TC envia. As razões são enviadas no byte de dados.

4.2.13. Mensagem de *status* do controlador de tarefas

Esta mensagem, enviada pelo TC, informa o seu *status* atual. É uma mensagem temporizada que informa o WS a cada 2 segundos ou a cada mudança de estado. Após seis segundos que essa mensagem falha, o WS fecha a conexão por considerar que há um erro com o TC.

4.2.14. Mensagens de *status* do *working set*

Essa mensagem é enviada ao TC por todos os WSM conectados. Esta mensagem deve indicar o andamento da atual da tarefa executada pelo WS. É enviada a cada dois segundos ou a cada mudança de estado.

4.3. Mensagens do sistema de referência de posição

As mensagens do sistema de referência de posição têm como função informar as referências da localização, de acordo as coordenadas geográficas de latitude e longitude. O protocolo que regula o formato das mensagens e as informações para a localização é a NMEA 2000. É um protocolo de comunicação serial e, assim como o SAE J1939 e o ISO 11783, é baseado no protocolo CAN. Composto por 8 documentos, o NMEA tem dois apêndices que foram retirados integralmente do ISO 11783 (www.nmea.org).

A rede CAN ISOBUS-compatível necessita dos dados de localização de latitude e longitude para trabalhar com taxas variadas e georreferenciadas para aplicações de insumos e/ou defensivos agrícolas. O PGN 1F805 é usado para transmitir os dados de localização geográfica do sistema de posicionamento global. A taxa de atualização destes dados na rede de comunicação ISO 11783-compatível é de 1 segundo.

4.4. Mensagens da TECU

A parte 7 do protocolo ISO 11783 lista as mensagens usadas como interface de comunicação entre o trator e os elementos conectados ao barramento do implemento. As mensagens enviadas pela TECU têm uma estrutura fixa e as ECU na rede, exceto o GNSS, devem ter capacidade de recebê-las e interpretá-las. As mensagens estão diretamente relacionadas à TECU e servem para envio e recebimento de comandos, requisições e dados medidos.

A estrutura das mensagens no protocolo ISO 11783 é formada por um identificador único e pelos campos de dados. O identificador define a prioridade, a função da mensagem, a página de dados ISOBUS e se o destinatário é global ou específico. O campo de identificador está relacionado com o Número de Parâmetro de Grupo, PGN (*Parameter Group Number*). O PGN mostra o conjunto de parâmetros que são enviados e as posições dos respectivos parâmetros nos *bytes* dos campos de dados. O campo de dados tem extensão fixa e é definido conforme o identificador. Cada *byte* do campo de dados tem um significado diferente dentro do contexto desta parte do protocolo. Cada parâmetro enviado pelos PGN está descrito no anexo A da parte 7 do ISO 11783. Neste anexo definem-se os intervalos de medidas, o significado dos *bits* em cada *byte* e a resolução.

Os dados disponibilizados para a rede contêm informações de tempo, velocidade, distância, navegação, parâmetros da tomada de potência, engate de três pontos, dados de processo e parâmetros de funções da iluminação do trator.

Essa interface separa suas mensagens em dois grupos principais: **Medidas e Comandos**. As mensagens de medidas servem para envio de dados medidos no

trator e as mensagens de comando, transmitem comandos a outras ECU conectadas. A seguir, serão explicadas as mensagens de comando e de medidas.

4.4.1. Mensagens de Medidas

Este conjunto de mensagens tem como objetivo informar à rede o valor e/ou estado de determinados parâmetros. Esses dados podem ser obtidos diretamente pela leitura dos sensores conectados à TECU ou pela interpretação dos dados que trafegam pela rede interna do trator.

O anexo A da desta parte do protocolo define os limites dos valores medidos, descrição de estados e códigos que informam o motivo da parada. Os identificadores e PGN são definidos pelo anexo B.

4.4.1.1. Mensagens de tempo

As mensagens de tempo são repetidas a cada requisição. Essas mensagens informam o tempo, de acordo com o relógio mundial e o *offset* de minutos e horas com relação ao meridiano de *Greenwich*.

4.4.1.2. Mensagens de velocidade e distância

As mensagens de velocidade e distância informam estas grandezas com relação ao terreno, que pode ser medido por radar, por exemplo, ou com relação à roda do trator, também conhecida por velocidade teórica desenvolvida pelo trator, caso não houvesse perdas de energia. São mensagens periódicas, enviadas em intervalos de 100 milissegundos. Elas informam, também, o sentido de movimento do trator, se é para frente ou para trás.

O PGN de velocidade baseado nas rodas ainda indica o sentido do movimento do ponto de vista da roda e o reverso do ponto de vista do operador, se a chave de ignição está ligada ou desligada e se o implemento está pronto para ser usado.

O PGN de velocidade baseado no terreno indica a velocidade do trator, o sentido do movimento e a distância percorrida.

4.4.1.3. Mensagens de Engate e TDP

A tomada de potência, TDP, de um trator é o sistema mecânico que fornece energia mecânica utilizando um eixo rotativo para entregar a energia aos sistemas mecânicos internos do implemento agrícola. É localizado na parte traseira do trator como mostra a figura 9, em azul.

O engate de três pontos é um sistema que transmite a energia mecânica para mover o implemento agrícola, utilizando a tração de um conjunto de hastes no qual é engatado o implemento. O engate é posicionado na parte traseira do trator e pode aumentar ou diminuir a sua altura com relação ao solo.

A barra de tração, indicado em vermelho na figura 9, não tem mensagens que a contemplem.

4.4.1.4. Mensagens da Tomada de Potência

Essas mensagens de engate e TDP, tanto para o frontal para o traseiro são repetidas a cada 100 milissegundos, em caso de haver implemento engatado. Caso contrário, apenas quando requisitado.

As mensagens da TDP podem ser para uma tomada de potência instalada na parte frontal ou traseira de um trator. Cada um desses casos tem um identificador diferente. Essas mensagens informam a velocidade de rotação do eixo, em RPM; o *set point* de velocidade, caso aceite comandos externos de velocidade; o limite de

velocidade, se houver um implemento engatado à TDP; e se está funcionando em modo de economia, que significa que a TDP funciona com 540 ou 1000 RPM com o mínimo de giro da máquina. As mensagens da TDP também enviam o código que informa o motivo do mau funcionamento

O estado da requisição é o parâmetro que informa à rede a condição da requisição se ela foi aceita, se precisou ser ignorada porque o operador tomou uma ação ou se a *facility* não está disponível para a determinada requisição. Este tipo de parâmetro está disponível para requisições da TDP frontal e traseira, do modo de economia e do modo da TDP.

4.4.1.5. Mensagens de Engate de três pontos

As mensagens de engate de três pontos indicam a distância em relação ao solo, em porcentagem; se o trator está em posição de trabalho, isto é, abaixo de uma determinada altura; o estado do limite da posição, se o comando da altura está fora do intervalo estabelecido; a tração exercida sobre a barra; e o código que informa o motivo do mau funcionamento. Estes parâmetros são enviados pelos PGN usados para informar parâmetros do engate frontal e traseiro. É destacado em verde na figura 10.

4.4.1.6. Mensagens de válvulas auxiliares

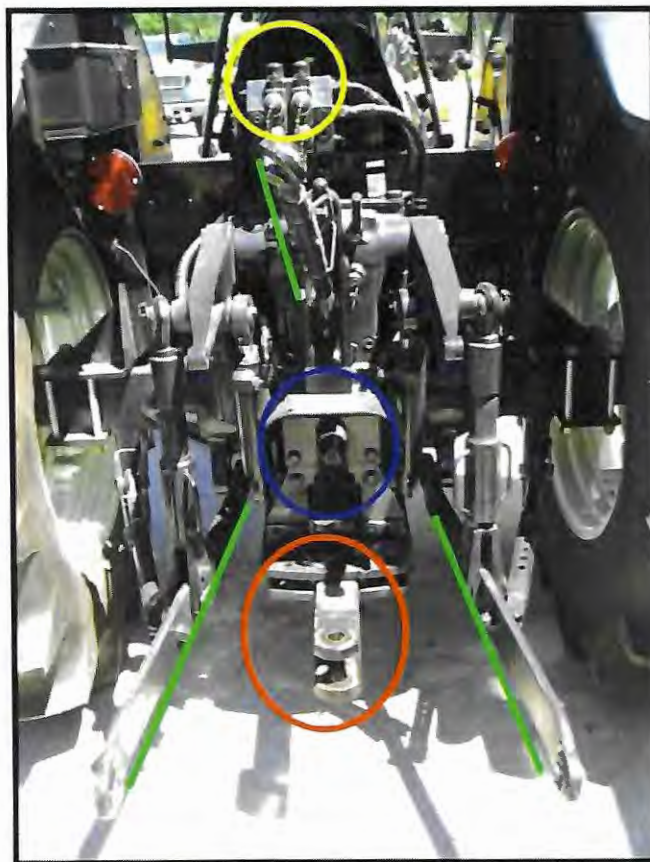
As válvulas auxiliares são válvulas de controle do sistema hidráulico interno do trator e também são responsáveis pela transmissão de energia. A válvula auxiliar 0 controla o fluxo de óleo a partir da bomba central do sistema hidráulico. As válvulas de 1 a 15 controlam atuadores do sistema hidráulico do trator. As válvulas auxiliares estão mostradas na figura 9, indicado em amarelo.

As mensagens de medidas das válvulas auxiliares informam os fluxos medidos e estimados. Caso estejam disponíveis, essas mensagens são repetidas a

cada 0,1 segundos. O máximo de válvulas auxiliares que o trator comporta é 16, identificadas de 0 a 15. Cada uma dessas válvulas tem mensagens específicas que têm o mesmo formato, mas PGN diferentes.

As mensagens informam a estimativa e a medida da porta de extensão do pistão do atuador do sistema hidráulico e da porta de retração do pistão do atuador, o modo de falha segura, configurando para o modo que não há riscos às vidas dos trabalhadores em caso de falha da válvula, se está ligada ou desligada e se fluxo está dentro do intervalo especificado para o controle. Informa também o motivo de mau funcionamento.

Figura 9: Engate de três pontos, tomada de potência, barra de tração e válvulas auxiliares (extraído de <http://pt.slideshare.net/knoxlomu/tratores>).



4.4.1.7. Dados da iluminação

Esta é uma resposta a uma mensagem de comando de iluminação. Essas mensagens controlam os estados dos faróis, luzes de segurança, identificação da mudança de direção (seta) e as luzes de indicação de trabalho do trator. Podem estar localizadas na parte frontal, traseira e superior da cabine do motorista. Essa mensagem envia o estado das lâmpadas, isto é, ligada ou desligada. Quando a lâmpada estiver ligada, é enviado o *bit* de valor 1 para representar o estado ligado da lâmpada e 0 para representar o desligado. O protocolo ISO 11783 apresenta os parâmetros que informam as luzes para neblina, frontais e traseiras, as luzes de parada, da luz rotativa, luzes de período noturno.

As figuras 10 e figura 11 mostram exemplos do sistema de iluminação do trator. Os faróis, as luzes rotativas, os indicadores de direção e lâmpadas de trabalho, por exemplo, são mostradas nas figuras.

Figura 10 : Sistema de luzes de comando, sinalização e indicação do trabalho do trator.

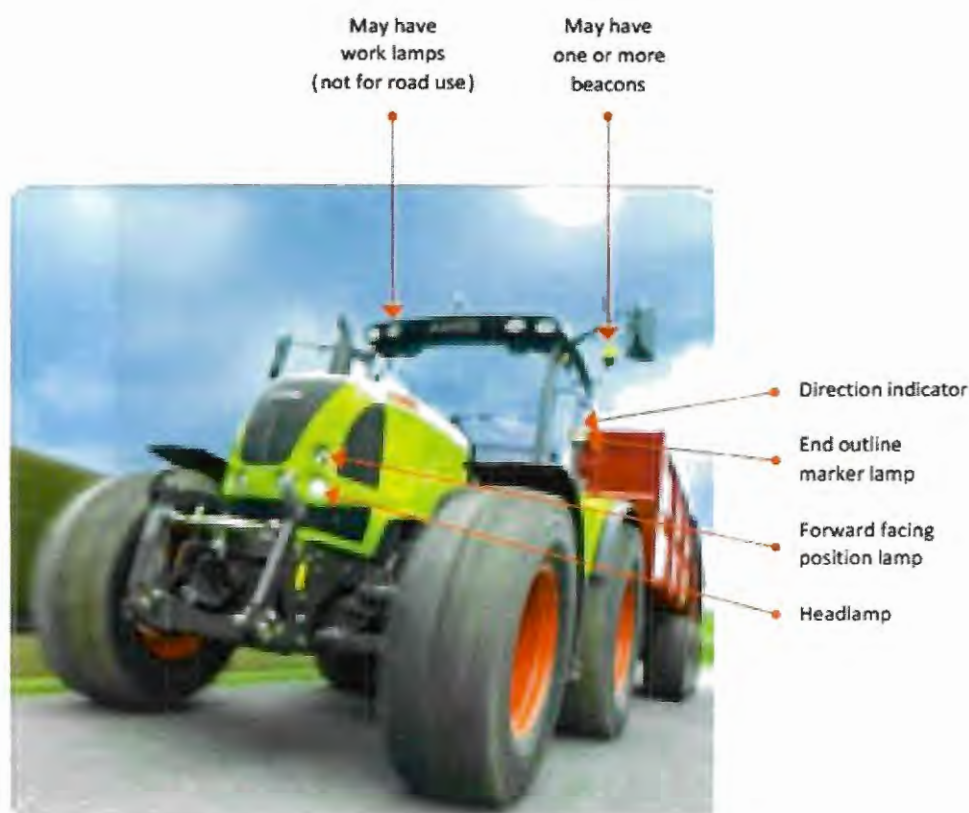
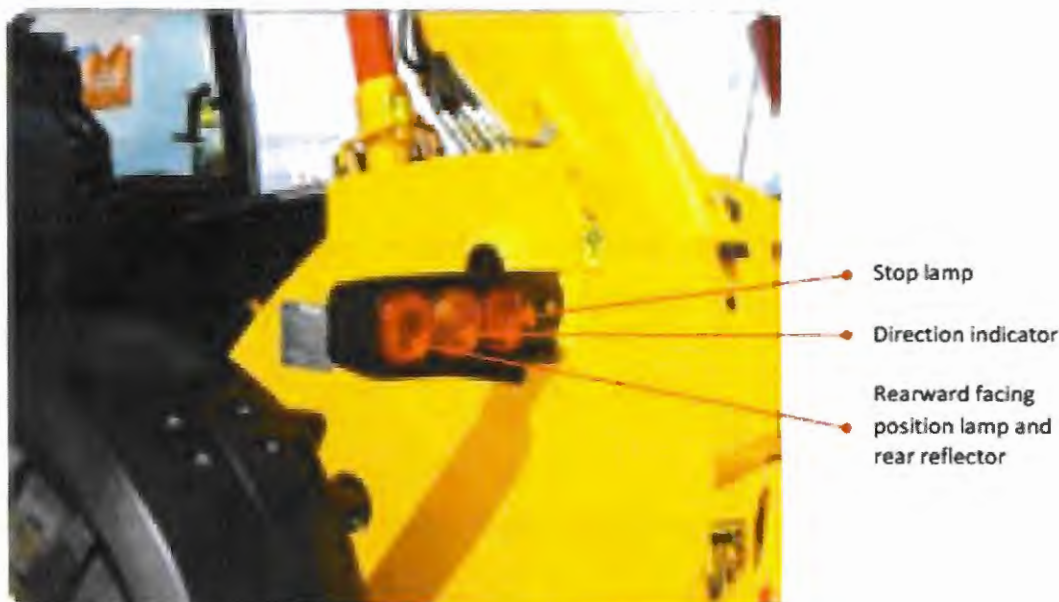


Figura 11 : Detalhes das lâmpadas instaladas no trator.



4.4.1.8. Mensagens de Alteração da taxa de repetição

A ECU pode pedir para que sejam alteradas as taxas de repetição de determinado PGN. Essas mensagens servem para adaptar a largura de banda, isto é, a diferença entre a frequência mais alta e a mais baixa da comunicação de dados que trafegam na rede. Essa mensagem é enviada para resolver a comunicação de acordo com necessidade do usuário da rede.

Essas mensagens podem ser usadas quando alguma ECU na rede não recebe corretamente determinada PGN e servem para solicitar que seja alterada a taxa de repetição para que estas informações sejam recebidas corretamente.

Caso a taxa seja alterada, deve ser enviada uma resposta global informando a nova taxa de repetição daquela determinada PGN que será alterada.

4.4.1.9. Mensagens de *Working Set Master*



O WSM envia uma mensagem na rede informando quantos membros estão em seu barramento de dados internos, incluindo o mestre. O endereço dessa mensagem é o mesmo que o WSM obtém quando entra na rede, assim como o NAME.

O WSM também pode enviar mensagens para identificar um membro específico do WSM. Para o caso do WSM, não é necessária mensagem para identifica-lo.

4.4.1.10. Respostas às mensagens de controle

O trator responde ao implemento se há sistemas instalados internamente que podem ser controlados por comando do barramento do implemento. Em caso afirmativo, essa mensagem informa quais sistemas podem ser controlados.

4.4.1.11. Mensagens de respostas das *facilities*

Essas mensagens respondem ao controlador de tarefas e ao implemento agrícola sobre quais *facilities*, isto é, os sistemas instalados internamente ao trator, para controles de determinados elementos, estão disponíveis para serem controlados.

Essa resposta envia à classe do trator informações de gerenciamento de energia (estado da chave de ignição, tempo de potência máxima do trator e manutenção de energia), informações de velocidade, distância e direção (baseada na roda, no terreno e velocidade de giro da máquina), informações da TDP (engate, velocidade, comandos de velocidade e engate) traseiro e frontal, engate de três pontos (posição, em porcentagem da altura, posição de trabalho, arrasto sofrido e comando de altura do engate) frontal e traseiro, luzes, comandos e estado das

válvulas auxiliares, sistema de navegação, sistema de direção, velocidade de giro do motor do trator e controle da velocidade de giro e linguagem.

4.4.1.12. Mensagens de válvula de propósito geral

As válvulas de propósitos gerais são válvulas de controle do fluxo de óleo no sistema hidráulico interno do trator. Também podem disponibilizar a medida de pressão. A aquisição de dados pode ser por sensor (ou conjunto de sensores), a pressão da válvula piloto e a válvula de suprimento. Não é obrigatório o envio dessas informações por parte do trator.

Da mesma maneira que as válvulas auxiliares, as válvulas para propósitos gerais também enviam mensagens que informam os valores estimados e medidos.

4.4.1.13. Mensagens de conformidade

A ECU pode enviar uma mensagem que confirma que foi verificada sua conformidade com o ISOBUS. Essa mensagem é enviada a cada pedido feito na rede.

4.4.1.14. Disponibilidade dos comandos do sistema de guiamento

O sistema de guiamento instalado no trator pode enviar ao barramento ISOBUS uma mensagem indicando que está disponível para ser usado. Essa mensagem serve para indicar que o sistema de guiamento está operando na rede e que o sistema se comunica com o controle de direção.

4.4.2. Mensagens de Comandos

As mensagens de comando enviam comandos ao trator ou ao implemento conectado à rede ISOBUS. As mensagens de comando só podem ser recebidas por tratores com interface de mensagens de classe 3.

4.4.2.1. Manutenção de energia

Essa mensagem tem como objetivo fazer uma requisição que a energia fornecida às ECU na rede seja mantida, mesmo após ser informado que a chave de ignição do trator foi desligada. Essa mensagem estabelece que a energia seja mantida por mais dois segundos.

4.4.2.2. Comandos do engate e da TDP

As mensagens para controle da TDP e do engate de três pontos são usadas para sistemas que aceitam comandos do barramento do implemento.

Pode se configurar a posição, a altura, a configuração de velocidade e comando de engate pelo implemento. Ainda pode-se comandar o trator para fazê-lo funcionar com a TDP em 540 ou 100 RPM e modo de economia, isto é, usando o mínimo de rotações do motor do trator.

4.4.2.3. Comando de válvulas auxiliares

As válvulas auxiliares podem receber comandos do implemento atuando na porcentagem do fluxo total, no modo falha segura, na configuração da válvula para evitar colocar em risco a vida dos trabalhadores envolvidos no processo, e no

comando do estado da válvula, situação na qual o implemento controla o fluxo do fluido no sistema hidráulico. Assim, o implemento agrícola pode atuar no circuito hidráulico para desenvolver tarefas agrícolas com mais qualidade.

4.4.2.4. Comandos de iluminação

Essas mensagens devem ser enviadas para que haja mudança no estado das lâmpadas de iluminação. No máximo, deve haver um período máximo de 1 segundo entre as mensagens e não mais que dez mensagens devem ser enviadas a cada segundo. Estas mensagens permitem o controle da iluminação do trator e do implemento: dos faróis dianteiros, traseiros, superiores e das luzes de indicação de mudança de direção (seta).

É possível que o trator tenha a capacidade de alterar o nível de iluminação de fundo do painel de controle do trator. Deve ser enviada a cada mudança da luminosidade do painel e o período máximo entre as mensagens é de 5 segundos.

4.4.2.5. Comando de linguagem

Esse comando permite ajustar a linguagem, configurar a data, o formato das horas e as unidades de medidas enviadas no barramento de implemento. Esta mensagem é enviada ao inicializar a ECU ou quando requisitado.

4.4.2.6. Alteração da taxa de repetição

Uma ECU pode pedir a alteração da taxa de repetição de uma determinada PGN. Caso este comando esteja disponível, ele deve ser enviado à rede PGN para que a taxa de repetição seja alterada.

4.4.2.7. Mensagens de controle do trator

As mensagens de controle são enviadas pelo implemento ou pelo controlador de tarefas. Caso aceite os comandos, o trator pode receber mensagens para que o implemento controle determinadas *facilities* instaladas.

4.4.2.8. Mensagens de controle de *facilities*

É uma mensagem que solicita ao trator, sua classe e suas *facilities* disponíveis. Tal mensagem é enviada pelo implemento agrícola ou pelo TC e verifica se há *facilites* que podem ser controladas e quais são elas.

4.4.2.9. Controle das válvulas de propósito geral

Essa mensagem permite que sejam controladas as válvulas hidráulicas de propósitos gerais pelo do implemento. A lógica de controle é a mesma das válvulas auxiliares: Comando da válvula, modo de estado de falhas segura e estado da válvula, isto é, controlando o fluxo de óleo que a válvula permite que passe pelos seus *ports*.

A diferença entre esse parâmetro e o parâmetro de válvula auxiliar é que há a possibilidade de impedir a passagem do fluido e permitir que não haja controle do fluxo pelo implemento além da possibilidade de o fluido circular em diferentes sentidos, dependendo de como se configura a entrada e a saída do fluido do sistema hidráulico na válvula.

4.4.2.10. Mensagens de comando de guiamento do trator.

Essa mensagem é uma resposta à mensagem que avalia se o sistema de guiamento do trator está disponível para ser utilizado na rede.

5. Metodologia

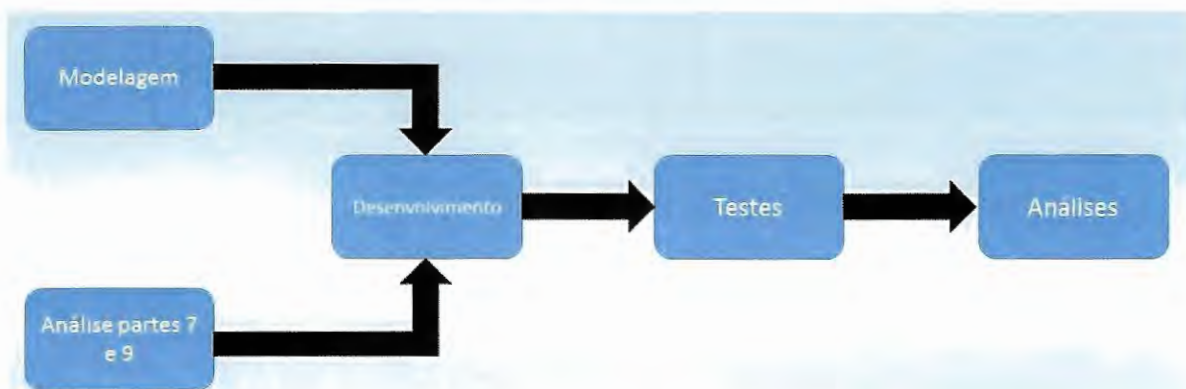
A metodologia visou fornecer subsídios para o desenvolvimento da TECU. Foram analisadas as mensagens que a TECU envia e recebe, o comportamento dela na rede e o procedimento para implementação da TECU. Além desses aspectos, foram avaliadas a recepção das mensagens pelas ECU na rede e a reação do implemento às mensagens enviadas por uma TECU em laboratório.

A metodologia usada neste trabalho se baseou na metodologia adotada por SAKAI (2008) e PEREIRA (2008), a partir da qual foram realizados trabalhos de análise do protocolo, sistematização de informações para implementações da comunicação entre as ECU e testes usando a ECU desenvolvida.

A investigação se fundamentou em cinco principais etapas:

1. Análise do protocolo ISO 11783 – Partes 7, 8 e 9;
2. Modelagem do sistema;
3. Desenvolvimento da TECU;
4. Testes;
5. Análises.

Figura 12 : Fluxograma de sequência de atividades (Fonte: o autor).



O fluxograma da figura 12 mostra a sequência das atividades previstas para a conclusão do trabalho.

5.1. Análise do ISO 11783 – Partes 7, 8 e 9.

Inicialmente, foi feita a análise da parte 9 do protocolo – ECU do Trator. Foi realizado o levantamento das informações que devem ser enviadas pelas mensagens emitidas pela TECU para a rede ISOBUS. O levantamento também listou quais requisições que a TECU deve obrigatoriamente receber e analisou-se como devem ser tratadas.

A etapa posterior à análise das informações que a TECU envia, foi a listagem das mensagens correspondentes a essas informações, que são chamados de parâmetros no contexto do protocolo. Foi analisada a parte 7 do ISO 11783 (*Application Layer - Camada de Aplicação*), que se refere aos grupos de parâmetros que formam os identificadores das mensagens que trafegam na rede e que são enviadas e recebidas pela TECU.

A importância dessas etapas foi estabelecer o conjunto de mensagens que a TECU disponibiliza na rede. Uma TECU de classe 1 fornece uma quantidade menor de informações às ECU na rede. A TECU de classe 2 envia um conjunto de dados completo sobre as variáveis internas do trator. Para cada caso, o conjunto das mensagens varia, bem como as informações contidas nelas.

Esse foi o processo pelo qual se obteve o dicionário de dados que a TECU utiliza em sua operação. Foram relacionados os grupos de parâmetros com as informações que são enviadas nos *bytes* do campo de mensagens e de cada identificador descrito pelas partes 7 e 9, assim como a posição que essas informações devem ocupar no campo de dados. Dessa forma, relacionaram-se os PGN (*Parameter Group Number – Número de Parâmetro de Grupo*) com os SPN (*Suspect Parameter Number – Número de Parâmetro Suspeito*). O conjunto foi estabelecido para as TECU de classe 1 e classe 2. Analisou-se também o destinatário das mensagens, se estas seriam globais ou específicos.

O diagrama que mostra como foi obtido o conjunto de mensagens para a comunicação da TECU ISOBUS-compatível é mostrado na figura 13.

Figura 13: Etapas para determinação do conjunto de mensagens (Fonte: o autor).



5.2. Modelagem do Sistema

Essa etapa da metodologia visa estabelecer um modelo para a implementação da TECU. Para a descrição desse modelo, analisaram-se as trocas de mensagens com as ECU da rede, as mensagens que devem ser recebidas e como devem ser tratadas.

O processo de modelagem do sistema foi realizado analisando a interação da TECU no barramento ISOBUS. Foi analisada a troca de dados com o implemento agrícola com o VT, com o TC, com o GNSS e com o operador do simulador trator. Foi analisada também a periodicidade do envio das mensagens e eventos não periódicos que a TECU precisa tratar.

A troca de dados entre trator e implemento foi analisada. As mensagens que o trator envia são consumidas pelo WS conectado foram levantadas. O implemento agrícola consome as mensagens de destinatário global que a TECU envia. As mensagens que o WS envia e que são consumidas pela TECU foram levantadas. Foi constatado que as mensagens de consulta das *facilities* do trator e *maintain power* são trocadas com destinatário específico entre essas ECU.

A troca de dados entre a TECU e o VT é reduzida com relação às quantidades de mensagens trocadas entre o VT e o WSM. Não existe necessidade de que o trator envie OP para o VT, porque o trator tem o seu próprio painel de controle. Por isso, o uso de protocolos de transporte no desenvolvimento da TECU

não é prioritário. A mensagem que o VT envia para a TECU é mensagem de *maintain power*.

Igualmente ao caso de implemento agrícola, a comunicação entre TC e TECU envolve duas mensagens. A consulta de *facilities*, que permite ao trator responder se estão disponíveis comandos às variáveis internas do trator e a requisição de manutenção da energia.

O sistema de posicionamento não troca mensagem nenhuma com a TECU, assim como não troca com as outras ECU na rede. Ela apenas envia dados de localização para as ECU conectadas que precisam interpretar a localização do conjunto.

O operador do simulador efetua várias alterações. Pode-se ligar e desligar o trator, definir que a engrenagem das marchas não alterem a velocidade (ponto neutro), ligar ou desligar a tomada de potência, alterar a velocidade do trator, alterar valores das válvulas auxiliares, elevar e abaixar o engate de três pontos e ligar ou desligar as luzes do trator, tais como setas e faróis. O traçado do caminho que o trator fez foi realizado alterando as coordenadas de latitude e longitude entregues pelo GPS, por isso o operador não pôde alterar o caminho livremente.

A forma como a TECU classe 1 ou 2 envia suas mensagens de compartilhamento das informações do trator, observa-se que ela é, majoritariamente, uma fonte de dados de endereçamento global. As informações são enviadas para a rede e podem ser consumidas por qualquer ECU conectada que tenha condições de interpretar as mensagens.

As mensagens de obtenção de endereço (*adres claim*) trocadas durante o processo de entrada de uma ECU na rede não foram discutidas. O *software* usado no desenvolvimento da TECU não necessita da implementação desse procedimento. O trabalho de SAKAI (2008) fez a discussão e a implementação desse procedimento de entrada da ECU.

A periodicidade das mensagens é importante para que o barramento do implemento seja atualizado durante toda a operação da TECU. Com a exceção da mensagem dos dados das luzes do trator, o período das mensagens enviadas pela

TECU é de 100 milissegundos. A mensagem de dados da iluminação tem período de 1 segundo.

Outro evento que deve ser relacionado ao projeto da TECU de classe 1 ou classe 2 é a recepção de mensagens. As mensagens que devem ser tratadas são de requisição de *facilities*, *maintain power* e *address claim*²⁷. Dessas, o *address claim* não será discutido nesse trabalho, pois não houve necessidade da implementação dessa rotina. A requisição de *facilities* deve ter como resposta as *facilities* disponíveis para serem controladas pelo implemento ou pelo TC. Caso não estejam disponíveis, resposta terá de ser enviada indicando a falta de disponibilidade. A requisição de *maintain power* deve ser tratada de tal forma que o barramento do implemento continue energizado por mais dois segundos para que as ECU sejam colocadas em condições de operação segura. As mensagens de *address claim* são enviadas periodicamente para indicar que o ECU ainda está na rede.

O modelo foi separado em diagramas: diagrama geral, diagrama da chave desligada e diagrama da chave ligada.

O primeiro diagrama (figura 14) mostra o comportamento geral da ECU do trator. Após ser ligada, a TECU inicializa os sistemas computadorizados internos. Após realizada a inicialização, é feita a entrada na rede. Neste diagrama, considera-se que a TECU consegue entrar na rede e obter um endereço. Após a obtenção do endereço, o trator faz seu primeiro envio de dados para a rede. Este envio será a referência temporal para as mensagens de todos os PGN temporizados.

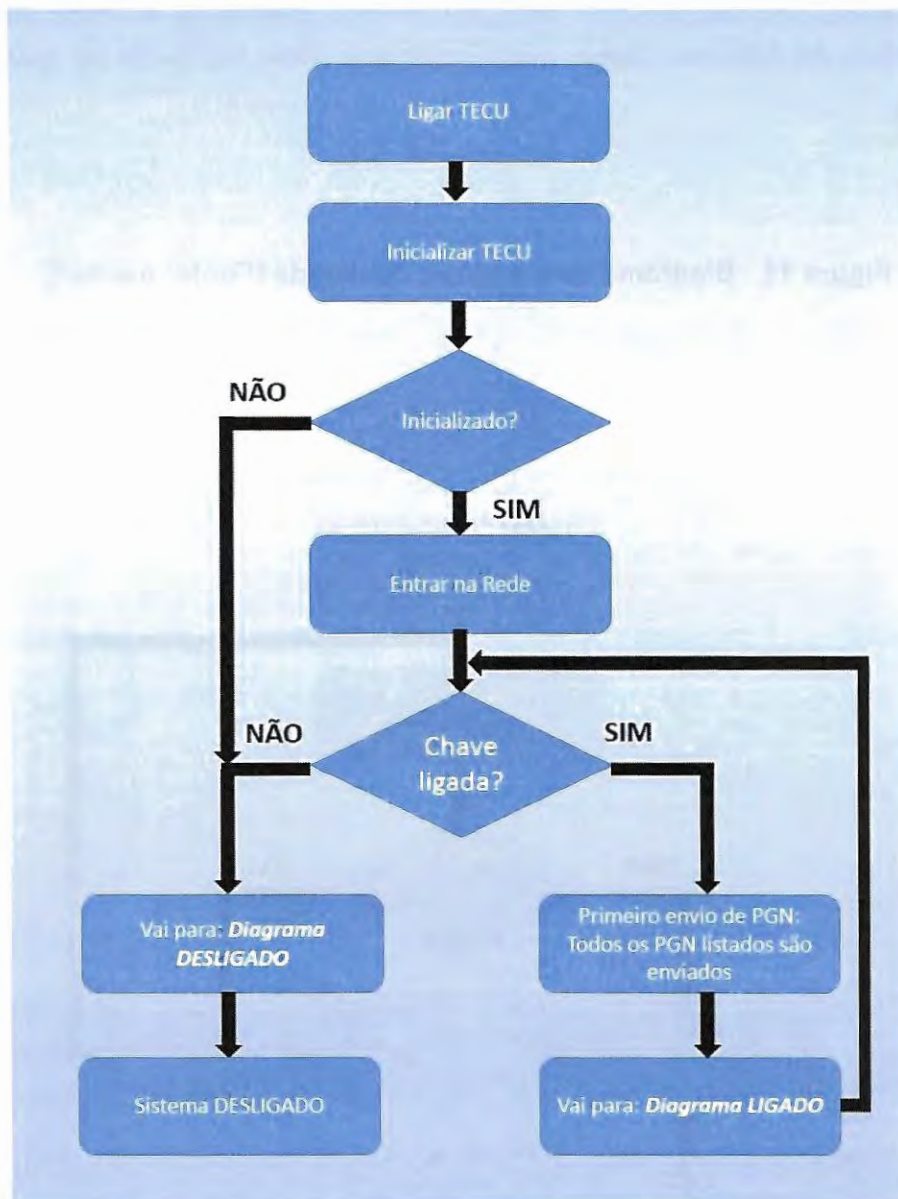
Após a entrada na rede e obtenção do endereço, a ECU vai verificar se a chave de ignição está ligada. Observa-se que a chave de ignição desligada não indica que a ECU do trator esteja desligada a energia das ECU.

Se a chave estiver desligada, seguirá o sequenciamento de ações propostas pelo diagrama da figura 15. Esse diagrama mostra o comportamento da ECU quando a chave de ignição estiver desligada. A ECU espera o tempo requerido para manutenção da energização da rede. Durante este tempo, a TECU aguarda o fim do procedimento. Devem-se aguardar no máximo 3 segundos e então é desligada a

²⁷ Mensagem enviada por uma ECU para obter um número de identificação válido na rede de comunicação CAN ISOBUS-compatível.

energização do barramento do implemento. Este tempo é necessário para que o sistema seja colocado em modo seguro.

Figura 14 : Diagrama geral do funcionamento do trator (Fonte: o autor)



O diagrama da figura 16 mostra o procedimento para o caso da chave de ignição estar ligada. A TECU analisa se houve mensagem recebida e, caso seja mensagem de resposta de *facilities*, é enviado para a rede que o trator disponibiliza para o implemento controlar; caso seja uma mensagem de outra ECU querendo entrar na rede, ela responde o seu NAME.

Caso não receba nenhuma mensagem, a TECU atualiza os valores das variáveis alocadas na memória do trator. Este processo pode ser feito por filtragem

das mensagens da rede interna ou por atualização das entradas do TECU. Após a atualização, a TECU vai verificar o tempo transcorrido desde o envio anterior. Caso seja 100 milissegundos, deve ser enviado um grupo de PGN. Caso seja 1 segundo, deve ser enviado outro grupo de PGN. Em tempos regulares, a TECU deve enviar um novo pedido de *Address Claim*, que funcionará como indicador de que esta ECU está na rede

Figura 15 : Diagrama com a chave desligada (Fonte: o autor).

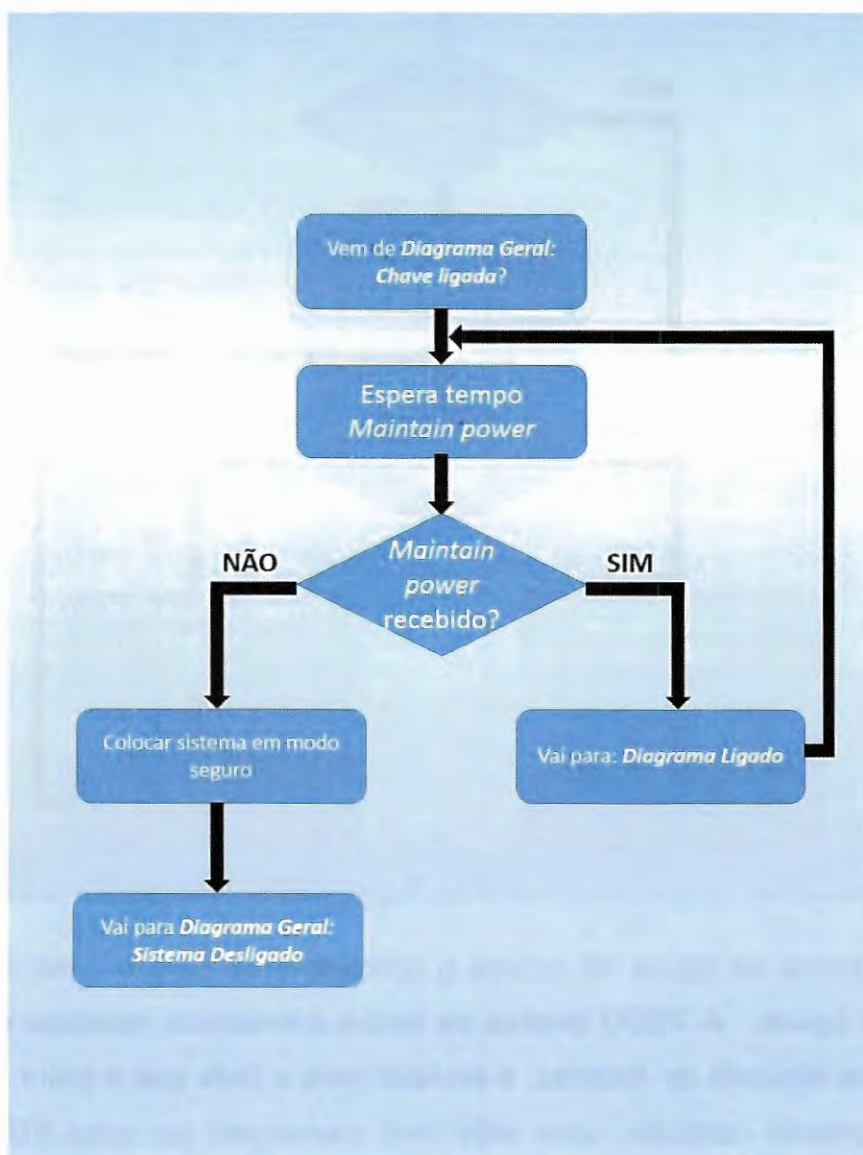
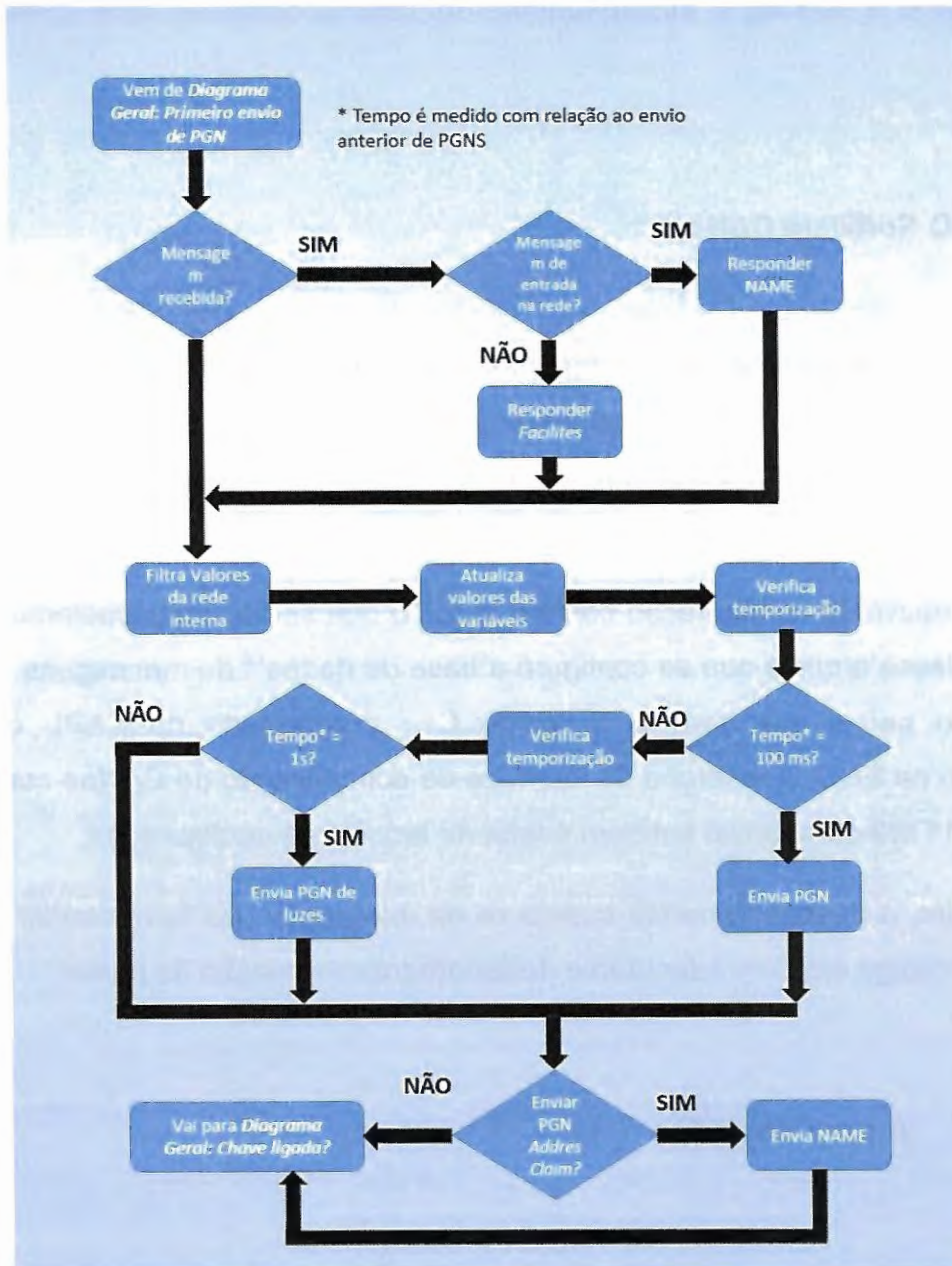


Figura 16 : Diagrama de funcionamento com a chave ligada (Fonte: o autor).



5.3. Desenvolvimento da TECU

O desenvolvimento da TECU foi realizado usando o *software* CANoe, da VECTOR, versão para Windows. O CANoe é um ambiente de desenvolvimento,

teste e análise para sistemas em redes CAN. Está disponível para o projeto de todos os participantes do processo de desenvolvimento (VECTOR, 2010). Com o CANoe pode-se tanto simular uma rede virtual CAN ISOBUS-compatível, internamente no programa, como analisar uma rede real, usando o conversor USB, por exemplo, e assim, avaliar e verificar o funcionamento do sistema como um todo (SAKAI *et al.* 2007a).

5.3.1. O Software CANoe

O *software* CANoe tem 4 elementos principais: O arquivo de configuração, o código em C++ elaborado na ferramenta CAPL, a ferramenta de implementação de mensagens e variáveis de ambiente²⁸ e a ferramenta de criação de painel (interface para usuário).

O arquivo de configuração contém as ECU que serão simuladas/emuladas no sistema. Nesse arquivo que se configura a base de dados²⁹ de mensagens que será utilizada, o painel que será e o código C++ programado no CAPL que será embarcado na ECU. A inserção da interface de comunicação do CANoe com a rede CAN ISO 11783-compatível também é feita no arquivo de configuração.

Assim, o desenvolvimento baseia-se na integração das ferramentas de base de dados, código em C++ adaptado e da ferramenta de criação de painel.

5.3.1.1. A base de dados

A base de dados contém a declaração de objetos do tipo mensagens, sinais e informações que devem ser enviados. As variáveis de ambiente e da base de dados que podem ser referenciadas com objetos do painel de controle também são

²⁸ Variáveis de um módulo do programa que se comunicam com outros módulos. Quando criada nas base de dados, essas variáveis comunicam-se com quaisquer outro elemento presente no arquivo de configuração.

²⁹ O termo “base de dados” usado no CANoe refere-se ao conjunto de mensagens, sinais e variáveis que poderão ser usadas nos outros módulos do programa.

referenciadas. Nela estão mapeadas as mensagens e os PGN disponíveis. Caso seja necessário, pode-se editar a base de dados, inserindo-se novas mensagens ou variáveis de ambiente.

As variáveis de ambiente podem ser relacionadas aos objetos do painel desenvolvido na configuração da base de dados. Os sinais são incorporados às mensagens. As variáveis e mensagens declaradas nessa ferramenta, pode ser referenciadas às variáveis do painel e acessadas, ou modificada, no CAPL. Quando ocorre algum evento relacionado à objetos declarados na base de dados, ocorre uma interrupção no programa para tratamento desses objetos.

A base de dados não é a única maneira de se declarar uma mensagem. Esta pode ser declarada também no programa desenvolvido no CAPL.

5.3.1.2. O CAPL

A codificação é realizada em linguagem C++ adaptada. Essa linguagem é voltada para fazer referências aos PGN na base de dados e aos elementos gráficos (objetos) do painel desenvolvido. Esta ferramenta é denominada CAPL, que se assemelha à uma IDE³⁰ em linguagem similar ao C++, desenvolvida pela VECTOR *Informatik*, e tem a execução orientada a eventos. A compilação é realizada no próprio CANoe, dentro de um módulo específico e dedicado ao CAPL. Usando esta linguagem é possível acessar os objetos mensagens, sinais, variáveis de ambiente e variáveis de sistema. Pode-se ainda usar funções predefinidas do CANoe e outras similares à linguagem C. Com esses recursos, podem ser desenvolvidas e testadas as ECU desenvolvidas no VECTOR CANoe (LOBMEYER; MARKTL, 2014). O *software* da ECU tem seu programa escrita com auxílio dessa ferramenta e, então, é embarcado na ECU virtual, permitindo que a ECU envie e receba as mensagens relacionadas e trate eventos do painel integrado ao projeto.

³⁰ IDE significa *Integrated Development Environment*, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado. É um programa de computador desenvolvido para diminuir o tempo do processo de desenvolvimento de *softwares*.

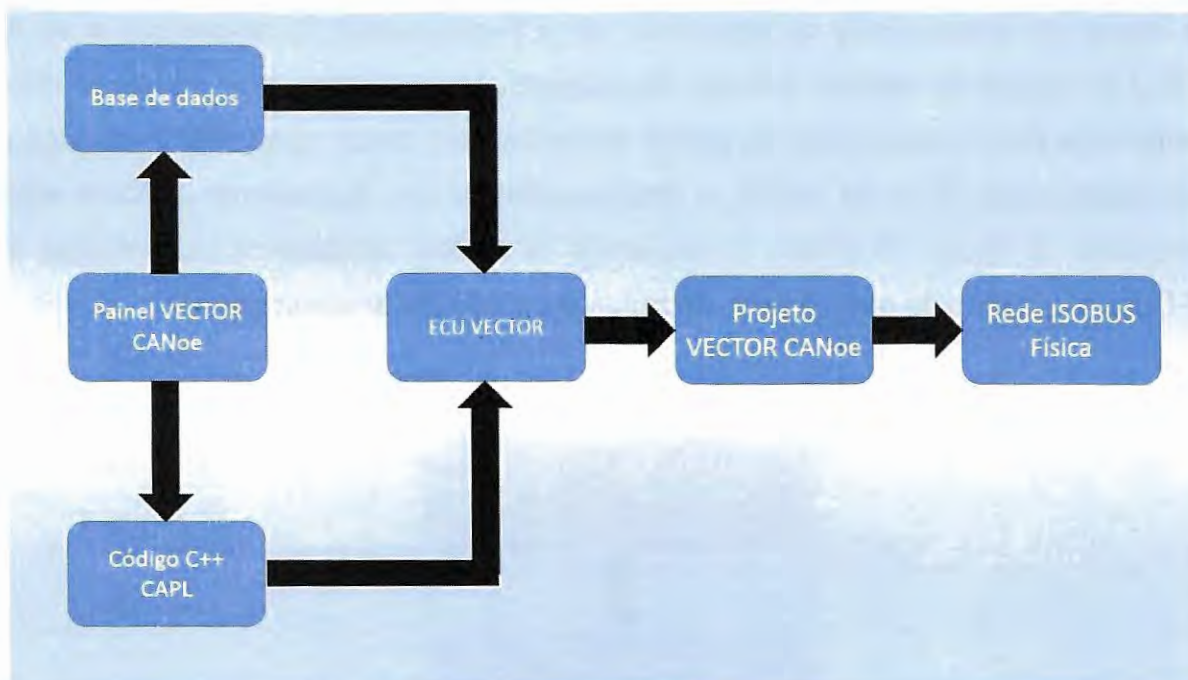
5.3.1.3. A ferramenta de painel.

A ferramenta de criação de painéis permite desenvolver uma interface ao usuário da ferramenta. Essa interface é integrada à base de dados e ao código C++ pelas variáveis de ambiente. Essas variáveis podem ser acessadas, modificadas e monitoradas nessas três ferramentas. Pode-se acessar essa ferramenta pela tela do arquivo de configuração.

A base de dados, o programa da ECU e o painel são integrados por um arquivo de configuração de rede. Nesse arquivo, a rede virtual é implementada e uma interface USB é utilizada para comunicar-se com a rede ISOBUS real.

O arquivo de projeto integra a rede virtual com a rede real. Ao iniciar um projeto, define-se a base de dados. O projeto do CANoe cria uma rede virtual, a qual pode-se adicionar ECU no ambiente do programa. Ao inserir a ECU na rede virtual, deve-se embarcar o *software* desenvolvido. Assim, a base de dados é integrada à ECU. Quando o painel desenvolvido é inserido no projeto, devido às configurações das variáveis de ambiente na base de dados, ele tem seus objetos referenciados no projeto principal do CANoe e tais objetos podem ser alterados pela ECU.

Figura 17 : Diagrama de integração de módulos do CANoe, da Vector (Fonte: o autor).



O diagrama da figura 18 mostra como é feita a integração dos módulos do *software* CANoe. O painel é integrado à base de dados e ao *software* desenvolvido com o CAPL, via variáveis de ambiente. A base de dados e o código são integrados pela ECU na rede virtual do projeto desenvolvido. A ECU é conectada à rede CAN ISO 11783-compatível via interface conversora USB-CAN, que permite à ECU desenvolvida nesse ambiente enviar mensagens à rede física. A interface está no bloco Projeto VECTOR CANoe.

O bloco chamado “Rede ISOBUS Física” representa o conjunto das conexões utilizadas para realizar a comunicação com a ECU do pulverizador, do terminal virtual e com o controlador de tarefas. Representa as conexões dos cabos, isto é, representa a camada física descrita pelo protocolo ISO 11783. É por onde trafegaram os sinais elétricos que contêm as informações enviadas na rede.

5.4. Testes de verificação

Os testes para a verificação da TECU tiveram o objetivo de avaliar se a base de dados foi desenvolvida corretamente, se a periodicidade foi respeitada e se a TECU foi capaz de receber e tratar mensagens. Visou comparar a alteração dos dados feita pelo usuário com os dados enviados pelo trator, observou a recepção dos dados pelas ECU na rede e o desempenho de um implemento agrícola real conectado. A figura 19 mostra a sequencia de testes necessários para avaliar a TECU e o conjunto de mensagens utilizadas para seu desenvolvimento.

Figura 18 : Roteiro dos testes realizados (Fonte: o autor).



O primeiro teste teve o objetivo de avaliar a base de dados, sua periodicidade e a reação da TECU quando o usuário alterava alguma variável disponível na interface de usuário do trator. Observaram-se quais PGN foram enviados para a rede e o tempo entre o envio das mensagens. A cada alteração feita pelo usuário, era observada a variação que ocorria nos parâmetros das mensagens enviadas.

O segundo teste realizado foi o de recepção de dados pela ECU. Usando modos de diagnósticos de recepção de mensagens das ECU conectadas na rede, foi possível analisar se as ECU recebiam corretamente as mensagens e se as mensagens continham os valores corretos. Foi usado o modo de diagnóstico do implemento agrícola e do VT conectado na rede.

O terceiro teste foi o de desempenho de um implemento real conectado. Durante esse teste, variou-se a velocidade do simulador e observou-se a reação do implemento quanto à taxa de vazão do insumo descrito pela configuração, uma taxa alvo de aplicação do insumo, que deveria ser mantida constante. Caso a taxa de vazão simulada pela ECU do implemento fosse alterada para manter a taxa alvo de aplicação configurada constante, seria um indicativo de que o implemento foi capaz de receber a mensagem de velocidade.

Os testes de recepção foram realizados para as mensagens que devem ser interpretadas pela TECU. Conectou-se o controlador de tarefas na rede e aguardou-se que este enviasse uma mensagem de *request*. O teste de *maintain power* foi realizado desligando a chave de ignição do simulador de trator e configurando um indicador no programa que a mensagem foi recebida com sucesso. Esse processo se deve ao fato de que é necessário avaliar a recepção das mensagens recebidas, validando a base de dados desenvolvida para o trabalho.

Observou-se, pois, que a base de dados foi implementada corretamente, a periodicidade estava de acordo com o protocolo, as ECU foram capazes de receber tanto os dados enviados, quanto uma ECU de implemento agrícola

Estes procedimentos de testes foram aplicados para verificar o funcionamento da TECU e o modelo desenvolvido para implementação da TECU. Verificou-se, também, a recepção das mensagens e a periodicidade do envio de informações. Também foi verificada se a TECU funcionaria na rede, juntamente com outras ECU. Dessa forma, observa-se se o projeto desenvolvido é funcional e pode ser usado para outros projetos de ECU.

5.5. Análise e Aquisição dos dados

Os dados foram obtidos usando a ferramenta de verificação de mensagens do CANoe e a ferramenta do LABVIEW que permite monitorar as mensagens que trafegam na rede CAN ISO 11783-compatível, o *bus monitor*. A aquisição foi utilizada para verificação da base de dados e da periodicidade das mensagens enviadas. Ao atribuir um valor de tempo à mensagem enviada, foi possível realizar essa análise.

A recepção dos dados na rede ISOBUS foi analisada inspecionando as páginas de diagnósticos das ECU conectadas. As variações no simulador deveriam corresponder às variações interpretadas pela ECU. A inspeção foi realizada no implemento agrícola conectado e no VT.

A análise da reação do implemento agrícola conforme a variação da velocidade foi realizada inspecionando o OP que o implemento enviou ao VT na rede. O WS permite que o VT seja usado para configurar a taxa alvo e atualiza os valores das taxas de vazão de acordo com a velocidade interpretada. A manutenção da taxa dentro dos limites configurados, iria mostrar que a interpretação dos valores pelo implemento estava correta.

As verificações indicariam que a TECU é funcional e que pode ser usada para auxiliar no desenvolvimento de outras ECU compatíveis com o ISOBUS.

5.6. Arranjo Experimental

A rede montada no laboratório atende ao descrito na figura 20: consiste em uma TECU e um sistema de posicionamento (implementados no CANoe e simulada no computador, indicada pela letra **a**), um terminal virtual John Deere, indicadas pela letra **d**, *Greenstar 1800* (figura 21) e a ECU do implemento *computer IC18 Sprayer*, produzido pela TeeJet *Techologies* (figura 22 e letra **e**). A ECU do implemento contém um sistema que simula a abertura das válvulas de saída de um implemento real, como se estivesse instalado em um implemento.

Foi utilizado um módulo de conexão CAN, que teve a função da camada física. É o módulo *CAN BreakOut box*, da *National Instruments* (letra **c**). Esse módulo permitiu o uso de uma rede compacta no laboratório de tal forma que todas as ECU da rede puderam ser acomodadas sobre uma única bancada do laboratório (figura 20). Também utilizou-se uma fonte de corrente contínua, configurada para fornecer 12 Vcc, para energizar o VT John Deere e a ECU do implemento agrícola.

Os elementos foram conectados à rede física, que tinha a função do barramento do implemento. Dessa forma puderam-se analisar as mensagens que trafegavam na rede, a periodicidade das mensagens da TECU, a recepção dos dados por cada ECU e a reação do implemento frente às alterações de velocidade.

Figura 19 : Rede montada em laboratório (Fonte: o autor).



Figura 20 : Terminal virtual John Deere Greenstar 1800 (Fonte: o autor).



Figura 21: ECU do Pulverizador IC18 TeeJet (Fonte: o autor).



6. Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante os testes realizados nesta pesquisa. Esses testes visaram verificar as etapas da metodologia que foi elaborada para realizar o desenvolvimento da TECU. Foram levantadas as mensagens, foi descrito o comportamento da TECU na rede e foi desenvolvida esta ECU na ferramenta de *software* CANoe. A implementação da TECU foi verificada analisando-se a recepção das mensagens pelas ECU e como um implemento real reagiu às mensagens enviadas pela TECU. Além disso, os resultados mostraram como as informações foram utilizadas para o desenvolvimento.

6.1. Sistematização do protocolo

A primeira parte da análise foi o levantamento das informações que devem ser enviadas pela TECU na rede ISO 11783. O resultado da análise da parte 9 mostra essas mensagens para um trator de classe 2:

- Velocidade baseada na roda;
- Velocidade baseada no solo;
- Informações de linguagem;
- Engate traseiro;
- Tomada de potência traseira;
- Engate Dianteiro (se houver);
- Tomada de Potência Dianteira (se houver);
- Comandos de Iluminação; e
- Informações dos Sistemas Internos do Trator.

Essas informações estão contidas nos números de parâmetro de grupo do protocolo. A tabela 1 mostra a relação das informações com seus respectivos PGN para a TECU de classe 1. A primeira coluna da tabela refere-se ao título do

identificador, a segunda refere-se ao *byte* de prioridade e às páginas de dados comuns e estendidos e a última coluna mostra os *bytes* do PGN como são obtidos, registrando as mensagens que trafegam no barramento.

Tabela 1: Identificadores TECU classe 1

Tipos de Identificadores	1º Byte	PGN
Velocidade baseada na roda	0C	FE48
Velocidade baseada no solo	0C	FE49
Informações de linguagem	0C	FE45
Engate traseiro	0C	FE46
Tomada de potência traseira	0C	FE43
Comandos de Iluminação	0C	FE41
Informações dos sistemas internos do trator	0C	F004*

Foram levantadas as informações de uma TECU de classe 1 e de classe 2. A tabela 2 mostra os identificadores (PGN) e o 1º *byte*³¹ enviado pela TECU classe 2. O primeiro *byte* indica a prioridade da mensagem.

Tabela 2: PGN do dicionário de dados da ECU do Trator classe 2

Tipo dos Identificadores	1º Byte	PGN
Velocidade baseada na roda	0C	FE48
Velocidade baseada no solo	0C	FE49
Informações de linguagem	0C	FE45
Engate traseiro	0C	FE46
Tomada de potência traseira	0C	FE43
Engate Dianteiro (se houver)	0C	FE46
Tomada de Potência Dianteira (se houver)	0C	FE44
Comandos de Iluminação	0C	FE41
Informações do Maquinário	0C	F004*
Válvulas Auxiliares 1	0C	FE10
Válvulas Auxiliares 2	0C	FE11
Válvulas Auxiliares 3	0C	FE12
Válvulas Auxiliares 4	0C	FE13

O PGN F004 é um parâmetro de grupo do protocolo SAE J1939, parte 71. O ISO 11783 exige que esta informação seja enviada com este formato. Esse PGN envia à rede ISO 11783 a informação sobre dados internos do trator.

³¹ O primeiro *byte* refere-se à prioridade da mensagem e a página de dados definida pela *International Standard Organization*. Atualmente, usa-se somente a página de dados 0 do protocolo ISO 11783.

Os PGN foram relacionados com os anexos A e B da parte 7 do protocolo ISO 11783. As informações enviadas pela TECU em seu campo de dados do PGN estão mostradas nas tabelas 3 a 9.

Esta seção dos resultados relacionou os PGN descritos pelo protocolo e os SPN que compuseram os campos de dados das mensagens. Assim, ficou determinado o conjunto de mensagens e as informações que a TECU precisa enviar para a rede durante sua operação.

A tabela 3 apresenta o PGN de “Velocidade baseado nas rodas” e os SPN que são enviados no campo de dados. Esse PGN trás informações de velocidade, distância percorrida e direção do movimento. Esse PGN também mostra informações que não se referem ao movimento, como estado da chave de ignição, por exemplo.

Tabela 3: Parâmetros enviados pelo PGN de velocidade baseada nas rodas

Velocidade baseada na roda - PGN FE48				
Parâmetros	SPN	Posição		Nº de bits
		byte	bit	
Direção reversa do operador	5244	8	7	2
Velocidade baseada na roda	1862	1	1	16
Distância baseada na roda	1863	3	1	32
Tempo máximo de potência do trator	1866	7	1	8
Direção baseada na roda	1864	8	1	2
Estado da chave de ignição	1865	8	3	2
Estado de início-parada	5203	8	5	2

A tabela 4 apresenta o PGN referente às informações enviadas sobre o engate traseiro, um dos componentes do sistema de transmissão de potência. Indicam-se quantos *bits* compõem o dado e a sua respectiva posição nos *bytes*. Entre as informações, pode-se destacar a posição (altura) do engate, a indicação do limite da altura e a indicação do trabalho.

Tabela 4: Parâmetros enviados pelo PGN de engate traseiro

Engate traseiro - PGN FE45				
Parâmetros	SPN	Posição		Nº de bits
		byte	bit	
Posição do engate traseiro	1873	1	1	8
Estado da posição limite do engate traseiro	5151	2	4	3
Indicação de trabalho do engate traseiro	1874	2	7	2
Força nominal do power link traseiro	1881	3	1	8
Arraste traseiro	1879	4	1	16

A tabela 5 apresenta o PGN de velocidade baseada no terreno. Assim como também as informações enviadas na rede. Esse PGN envia para a rede apenas dados referentes ao movimento.

Tabela 5: Parâmetros enviados pelo PGN velocidade baseada no solo

Velocidade baseada no terreno - PGN FE49				
Parâmetros	SPN	Posição		Nº de bits
		byte	bit	
Velocidade Baseada no Terreno	1859	1	1	16
Distância baseada no terreno	1860	3	1	32
Direção	1861	8	2	2

A tabela 6 mostra os dados enviados pelo PGN F004, que também está incluído no protocolo SAE J1939. Este PGN envia informações sobre os sistemas conectados ao barramento interno do trator. É um PGN descrito pelo documento 71 do protocolo SAE J1939. A descrição desse identificador não é encontrada no texto da parte 7 do protocolo ISO 11783.

A tabela 7 apresenta as informações enviadas pelos PGN de válvulas auxiliares. As válvulas compõem o sistema de transmissão de potência do trator. A descrição dos SPN é válida para os 16 PGN de informações de válvulas auxiliares. Estas mensagens também podem ser utilizadas para elaboração de estratégias de segurança.

Tabela 6: Dados da máquina (F004) – PGN do SAE J1939

Dados da máquina - F004				
Parâmetros	SPN	Posição		Nº de bits
		byte	bit	
Porcentagem atual do torque	513	3	1	8
Demanda de torque dos drivers, em porcentagem	512	2	1	8
Porcentual de demanda de torque	2432	8	1	8
Velocidade da máquina	190	6	1	8
Modo de início da máquina	1675	7	1	4
Modo de torque da máquina	899	1	1	4
Endereço remetente do dispositivo de controle para controle da máquina	1483	6	1	8

Tabela 7: Parâmetros enviados pelo PGN de válvulas auxiliares

Válvulas Auxiliares - PGNs FE10, FE11, FE12, FE13				
Parâmetros	SPN	Posição		Nº de bits
		byte	bit	
Estado do Limite da válvula	5161	4	6	3
Fluxo estimado da porta estendida	1901	1	1	8
Fluxo estimado da porta retraída	1902	2	1	8
Estado da válvula auxiliar	1903	3	1	4
Modo de modo seguro da válvula	1910	3	7	2

Na tabela 8 são mostrados os parâmetros enviados pelo PGN de engate frontal, outro componente do sistema de transmissão de potência. As informações enviadas são as mesmas que as enviadas pelo engate frontal. Entre as informações, pode-se destacar a posição (altura) do engate, a indicação do limite da altura e a indicação do trabalho.

Na tabela 9 são mostrados os PGN de comando e informações do sistema de iluminação do trator, seja este de aviso, de segurança ou de indicação de operação. Esse PGN pode ser usado também como sistema de diagnóstico.

Tabela 8: Parâmetros enviados pelo PGN de engate frontal

Engate Frontal - PGN FE46				
Parâmetros	SPN	Posição		Nº de bits
		byte	bit	
Posição do engate dianteiro	1872	1	1	8
Estado da posição limite do engate dianteiro	5150	2	4	3
Indicação de trabalho do engate dianteiro	1876	2	7	2
Força nominal do power link dianteiro	1880	3	1	8
Arraste dianteiro	1878	4	1	16

Tabela 9: PGN de comando e informações das luzes do trator

Comando de Luzes - PGN FE41				
Parâmetro	SPN	Posição		Nº de bits
		byte	bit	
Comando de farol alto	2347	1	7	2
Comando de farol baixo	2349	1	5	2
Comando de alternar faróis	2351	1	3	2
Comandosde operação em período claro	2403	1	1	2
Comando de seta para esquerda	2367	2	7	2
Comando de seta para direita	2369	2	5	2
Comando de luz rotativa de baliza	2385	2	3	2
Comando de luz frontal para neblina	2387	2	1	2
Comando de luz esquerda de parada	2371	3	7	2
Comando de luz direita de parada	2373	3	5	2
Comando de luz central de parada	2375	3	3	2
Comando de luz superior traseira e do topo	2391	3	1	2
Comando de luzes do marcador de posição do trator	2377	4	7	2
Comando de luzes do marcador de posição do implemento	2379	4	5	2
Luz de comando de liberação do trator	2381	4	3	2
Luz de comando de liberação do implemento	2383	4	1	2
Comando de luzes de trabalho traseira superior	2361	5	7	2
Comando de luzes de trabalho da parte traseira baixa	2359	5	5	2
Comando de luzes de trabalho da parte traseira inferior do trator	2357	5	3	2
Comando de luz de neblina traseira	2389	5	1	2
Comando de luzes de trabalho traseira superior	2355	6	7	2

Comando de luzes de trabalho da parte traseira baixa	2353	6	5	2
Comando de luzes laterais superior do trator	2365	6	3	2
Comando de luzes laterais inferior do trator	2363	6	1	2
Comando de luzes de trabalho dianteira à esquerda do implemento	2597	7	7	2
Comando de luzes de trabalho dianteira à direita implemento	2406	7	5	2
Comando de luz de opção OEM 1 do trator	2395	7	3	2
Comando de luz de opção OEM 2 do trator	2397	7	1	2
Comando de luz de trabalho traseira do implemento	2405	8	7	2
Comando de luz de trabalho esquerda do implemento	2399	8	5	2
Comando de luz de trabalho direita do implemento	2401	8	3	2
Comando de requisição de mensagem de dados das luzes	2393	8	1	2

A tabela 10 mostra as informações enviadas pelo PGN de tomada de potência traseira. A TDP faz parte do sistema é um dos sistemas de transmissão de potência para o implemento. Pode haver casos em que sejam usadas essas mensagens para elaborar a estratégia de segurança para o implemento agrícola, indicando que a TDP está conectada ou não ao implemento.

Tabela 10: Informações enviadas pelo PGN da tomada de potência traseira

Tomada de Potência Traseira - PGN FE43				
Parâmetros	SPN	Posição		Nº de bits
		byte	bit	
Estado do limite da velocidade do eixo da tomada de potência traseira	5159	6	2	3
Estado do modo de requisição da tomada de potência traseira	5157	5	1	2
Estado da requisição de engate da tomada de potência traseira	5156	6	5	2
Estado de requisição do modo de economia da tomada de potência traseira	5158	6	2	3
Velocidade do eixo da TDP traseira	1883	1	1	16
Set Point da velocidade do eixo da TDP traseira	1885	3	1	16
Modo de economia da TDP traseira	1892	5	3	2
Modo da TDP traseira	1890	5	5	2
Engate da TDP traseira	2408	5	7	2

Na tabela 11 são mostradas as informações da tomada de potência dianteira. As informações enviadas são as mesmas que a tomada de potência dianteira. Este PGN é opcional e é enviado pela TECU de classe 1, caso o trator possua um sistema de TDP dianteira instalado.

Tabela 11: Informações da tomada de potência dianteira

Tomada de Potência Dianteira - PGN FE44				
Parâmetros	SPN	Posição		Nº de bits
		<i>byte</i>	<i>bit</i>	
Estado do limite da velocidade do eixo da tomada de potência dianteira	5155	6	2	3
Estado do modo de requisição da tomada de potência dianteira	5153	6	7	2
Estado da requisição de engate da tomada de potência dianteira	5152	5	1	2
Estado de requisição do modo de economia da tomada de potência dianteira	5154	6	1	2
Velocidade do eixo da TDP dianteira	1882	1	1	16
Set Point da velocidade do eixo da TDP dianteira	1884	3	1	16
Modo de economia da TDP dianteira	1891	5	3	2
Modo da TDP dianteira	1889	5	5	2
Engate da TDP dianteira	1888	5	7	2

A tabela 12 mostra os períodos de envio de cada PGN enviado pela TECU. Os períodos dizem respeito ao tempo que deve transcorrer entre as atualizações desses dados na rede, exceto os indicadores "Recebido" e "Após recepção".

Tabela 12: Períodos das mensagens da TECU

Nome dos Identificadores	PGN	Tempo (ms ³²)
Velocidade baseada na roda	FE48	100
Velocidade baseada no solo	FE49	100
Informações de linguagem	FE45	100
Engate traseiro	FE46	100
Tomada de potência traseira	FE43	100
Engate Dianteiro (Se houver)	FE46	100
Tomada de Potência Dianteira (Se houver)	FE44	100
Comandos de Iluminação	FE41	1000
Informações dos Sistemas Internos do Trator	F004*	100
Válvulas Auxiliares 1	FE10	100
Válvulas Auxiliares 2	FE11	100
Válvulas Auxiliares 3	FE12	100
Válvulas Auxiliares 4	FE13	100
<i>Maintain Power</i>	FE47	Recebido
Requisição de facilities	FE08	Recebido
Resposta à requisição de facilities	FE09	Após recepção

6.2. Modelagem do comportamento da TECU na rede

O levantamento do modelo para o comportamento da TECU no barramento levou em conta as mensagens que devem ser enviadas e as mensagens que devem ser recebidas. As mensagens enviadas dependem das ECU com as quais a TECU faz comunicação direta.

Os PGN levantados servem para envio e recebimento de mensagens. Observou-se que a TECU de classe 1 e 2 atua, majoritariamente, enviando mensagens para a rede, 12 PGN para a classe 2 e 8 para classe 1. Dois PGN são recebidos pela TECU, *maintain power* e requisição das *facilities* disponíveis, e podem ser enviados por qualquer ECU. As mensagens enviadas são globais e as recebidas têm destinatário específico. A TECU atuou predominantemente como fonte de mensagens, que serviram para uso de qualquer ECU conectada à rede.

³² Milissegundos ou 0,001 segundos.

Não houve necessidade de implementar comunicação direta com nenhuma ECU. O VT foi substituído pelo painel do simulador, que permitiu ao operador modificar as variáveis do trator. Não foi necessário comunicar diretamente com o TC, apenas deixar a recepção da requisição das *facilities* do trator. Para as classes implementadas (classe 1 e 2), o implemento não enviou mensagens diretas. O GPS, por sua vez, não se comunicou com nenhuma outra ECU.

6.3. Desenvolvimento da TECU

A TECU foi desenvolvida usando como base o modelo levantado e usando como referência o tutorial da VECTOR. Os dados recebidos da interface de usuário, chamado de painel no *software* CANoe, são periodicamente atualizados na TECU, por meio de interrupções temporizadas dos sistema. Esses valores atualizados são enviados para a rede CAN ISO 11783-compatível. A interface de usuário gera uma interrupção no programa da TECU e na rotina da interrupção é feito o tratamento do valor atualizado.

A TECU atualiza a rede com os dados das variáveis internas do trator. Essas variáveis são atualizadas na rede periodicamente, de acordo com o que especifica o protocolo ISO 11783. O simulador faz a aquisição dos valores das variáveis no painel e atualiza os valores que devem ser enviados para a rede.

As atualizações no realizada no painel geram interrupções no programa da TECU. Esse valor é recebido pela ECU e atualizado dentro da aplicação. Os valores atualizados são processados e enviados na rede. As informações enviadas são aquelas especificadas pelo protocolo ISO 11783. A integração entre o painel e o código elaborado é realizado por variáveis chamadas de variáveis de ambiente. Estas variáveis integram os diversos módulos do CANoe.

O painel é elaborado por uma ferramenta específica e tem a função de realizar a interação com a TECU. Essa interação é realizada com mostradores, botões, barras deslizantes, caixas de dados ou outros objetos de entrada e saída. Esses objetos devem ser referenciados à variáveis dentro da base de dados do programa. Essas variáveis são atualizadas no processamento do programa. Se a

variável tiver a função de saída, mostrará o valor processado e se for de entrada, terá seu valor processado pelo programa da TECU.

As mensagens são declaradas na base de dados. Cada mensagem deve ter seu identificador (PGN) e os sinais que compõem o campo de dados. Os sinais são as declarações das informações enviadas no campo de dados das mensagens do PGN, ou os SPN. Na base de dados também declaram-se as variáveis de ambiente do sistema. As declarações geram objetos do sistema que podem ser referenciados à um evento de painel ou de recebimento de mensagens.

O CANoe recebe todas as mensagens na rede e pode usar como filtro um determinado evento indicado por uma PGN recebido ou por um sinal, isto é, um SPN. Assim, pode elaborar uma rotina de recepção de mensagens, ou sinais, de e trata-las de acordo com o recomendado.

As mensagens enviadas na rede utilizam uma função própria. Como um SPN não é enviado sem estar associado a um identificador, a função de envio deve sempre enviar todo os dados do identificador declarado na base de dados. Caso a informação não seja obrigatória de ser enviada, pode-se configurar esses dados como indisponíveis e enviá-los a rede. As outras ECU receberão os dados e reconhecerão que aquele parâmetro é tem informações indisponíveis.

O desenvolvimento da ECU necessitou da integração de todos os elementos do CANoe. Esses elementos serão detalhados nos itens 6.3.1 ao 6.3.5. Os itens utilizados foram: Arquivo de Configuração, Base de Dados, Ferramenta de Painel e Editor de Código – CAPL.

6.3.1. O Software/ CANoe

O CANoe, da Vector, é um *software* para desenvolvimento, teste e análise de ECU individuais e em rede. Esta ferramenta suporta um modo específico para

realizar desenvolvimentos com base de dados ISO 11783. Assim, pode-se analisar e simular redes mais complexas (VECTOR, 2010).

Segundo (SAKAI *et al.*, 2007b) é uma ferramenta apropriada para desenvolvimento de sistemas ISOBUS-compatíveis, pois reúne características bastante úteis para desenvolvimento e para testes, como verificação do tráfego de mensagens na rede, verificação de execução dos procedimentos e análise de desempenho. O CANoe foi utilizado também no trabalho de Pereira (2008).

O CANoe suporta vários protocolos de comunicação em redes embarcados em veículos: LIN, SAE J1939, *Flex Ray*, NMEA 2000 e o ISO 11783. Para cada protocolo há ferramentas específicas para suporte na declaração de mensagens, sinais e tratamento de eventos. Será abordada nessa seção as especificidades para o ISO 11783.

Ao que se refere ao protocolo de comunicação ISO 11783, o CANoe oferece ao usuário opções de controlador de tarefas interativo, terminal virtual, servidor de arquivos, diagnósticos, suporte de sistema de posicionamento global. É possível, também, embarcar um programa executável ISOBUS-compatível em uma ECU na rede. Usando o CAPL, pode-se programar a atuação do programa de acordo com o envio e recebimento de mensagens de destinatário global, alterações de variáveis de entrada e saída e carregar os valores processados nas variáveis. O programa fornece, ainda, ferramentas de análises e simulação, nas quais pode-se alterar variáveis do trator, carregar tarefas predeterminadas e filtrar mensagens.

O CANoe pode ser conectado a um barramento real e comunicar-se com outras ECU operando em rede. Para isso, foi utilizada uma interface específica, que deve ser inserida, também virtualmente, no Arquivo de Configuração do CANoe e seu *baud rate* deve ser de 250 kbps. Estas interfaces se comunicam usando os níveis de sinal para realizar a comunicação de acordo com protocolo CAN e com ISO 11783. Dessa forma, o CANoe faz a conexão do barramento virtual, incluindo as ECU desenvolvidas, com uma rede real. E assim, a ECU desenvolvida neste *software* pôde ser usada para emular/simular o comportamento de uma TECU.

A seguir serão explicados os arquivos de configuração, a ferramenta de base de dados, o arquivo de configuração e CAPL.

6.3.2. Arquivo de configuração

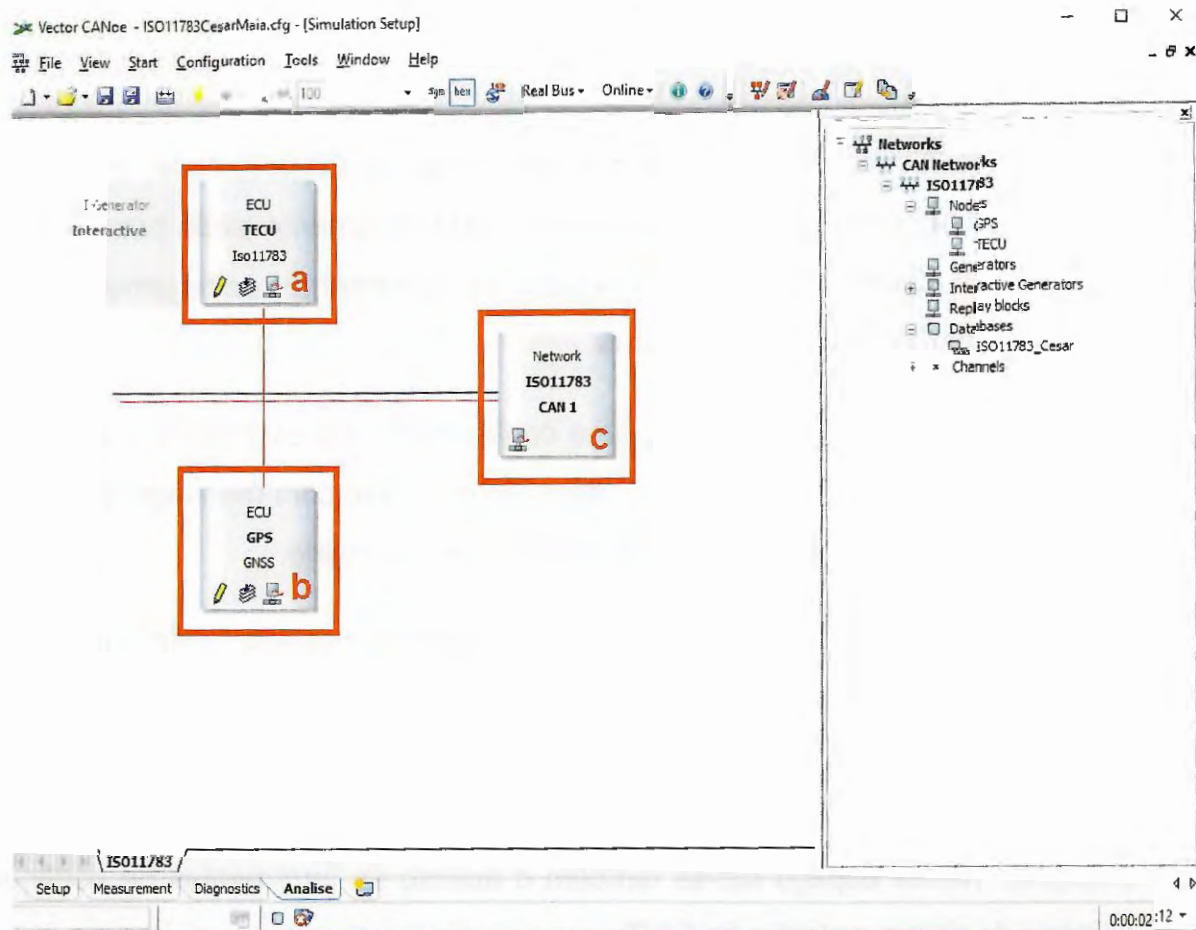
O Arquivo de Configuração é a tela inicial do CANoe. Nele, inserem-se as ECU que serão desenvolvidas e simuladas. Esta ferramenta ainda possibilita que sejam feitas análises dos dados enviados no barramento, carregamento da rede, quais ECU estão conectadas e outros.

Usando esta ferramenta faz-se a configuração e a escolha da base de dados que utilizada. Para este trabalho foi utilizada uma base com mensagens ISO 11783, que foi modificada para atender a especificações do projeto.

Há também uma tela de saída de mensagens. A janela “*write*”, na qual pode-se enviar mensagens de texto com informações internas sobre a execução do programa. Por exemplo, erros ou usar para indicar o fluxo das informações no programa e dar informações de quais funções foram ativadas pelas variáveis de ambiente. Nesse espaço faz-se também o acesso às ferramentas de configuração de base de dados, painel e ao CAPL.

Para este projeto foram simuladas as ECU do Trator e a ECU do sistema de gerenciamento de posicionamento global. A TECU fornece informações do trator e o GNSS informa uma rota determinada. O arquivo de configuração que foi usado está mostrada na figura 23. O item **a** mostra é a TECU virtual, a letra **b** é a ECU virtual do sistema GNSS e o item **c** refere-se à conexão com o módulo USB para comunicar com uma rede ISO 11783.

Figura 22 : Arquivo de configuração utilizado (Fonte: o autor).



6.3.3. Base de dados

A base de dados é uma ferramenta que permite a criar as mensagens, variáveis e sinais para serem utilizados, que são objetos da base de dados. Esses objetos podem ser referenciados a elementos criados no painel e podem ser acessados e modificados pelo programa desenvolvido. A base de dados pode ser editada e, assim, inseridas ou retiradas mensagens, variáveis de ambiente ou sinais que estão declarados.

O termo “base de dados” usado no texto é uma tradução livre de *database* usada para designar o conjunto de mensagens, sinais e variáveis de ambiente que estão declaradas.

A base de dados deve ser inserida na ECU utilizando do arquivo de configuração. Os elementos da base de dados podem ser referenciados a objetos do painel ou acessados pelo código fonte do programa desenvolvido.

A definição da base de dados no CANoe indica o protocolo de comunicação que será usado para a comunicação da ECU. No nosso caso foi usada e editada uma base de dados compatível com o protocolo ISO 11783. Foram inseridas variáveis para realizar testes e controles.

6.3.4. Ferramenta de Painel

A ferramenta de painel é utilizada para criar interfaces com o usuário. Estas interfaces tem a função de um painel de controle e podem ser mostradas variáveis, numéricas ou de textos, para o usuário do sistema. Essa ferramenta inibe a necessidade da comunicação do sistema com o VT conectado à rede.

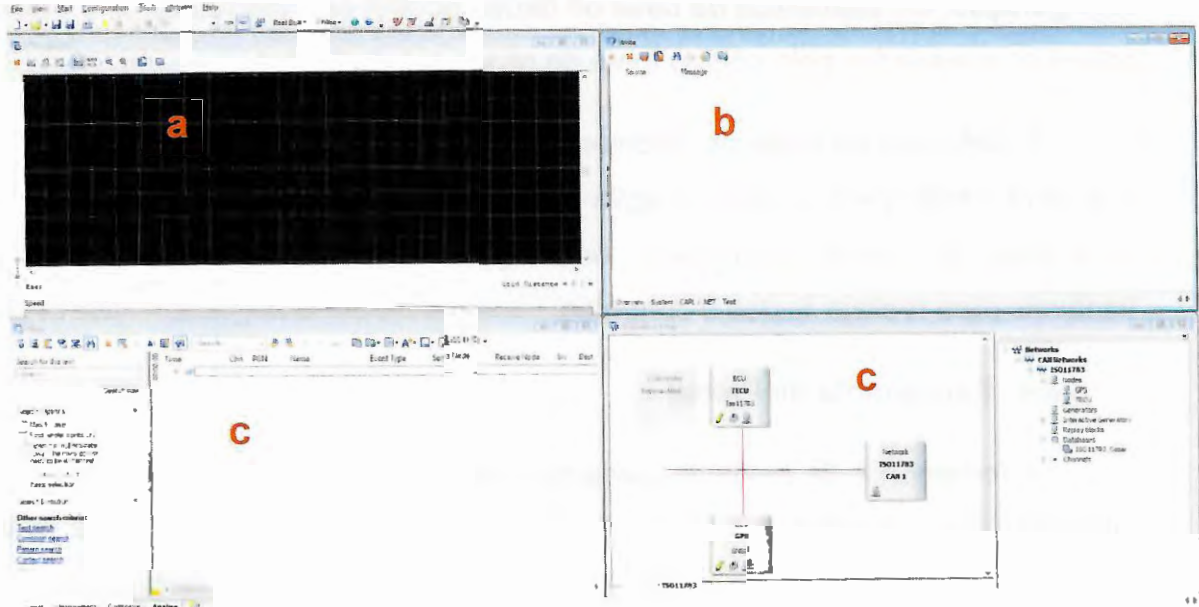
Os objetos gráficos são criados no painel, que deve ser inserido no projeto atual que está sendo utilizado no arquivo de configuração. Assim, o painel passará a constar no projeto e as alterações dos objetos gerarão interrupções no programa.

Os objetos podem ser objetos de entrada ou saída. Cada objeto de entrada de dados geram interrupções a cada alteração e assim os seus valores podem ser obtidos e processados pelo *software*. Os objetos de saída precisa ter valores carregados para poderem exibir ao usuário. Esses objetos permitem que sejam capturados e exibidos valores e modificações.

Neste projeto foram usadas as telas de controle, para alterar valores no código fonte e uma tela de monitoramento, para avaliar as alterações os valores inseridos no programa e enviados para a rede. As telas estão na figura 24.

A tela **a** é o monitor do sistema GNSS, que mostra o caminho simulado pelo trator. A tela **b** é a janela *write*, que tem a função de um console de saída para textos. A tela **c** registra as mensagens que trafegam na rede. A janela **d** mostra o arquivo de configuração.

Figura 23 : Telas do software CANoe (Fonte: o autor).



6.3.5. CAPL

O CAPL funciona como a IDE para fazer a programação das ECU no CANoe. Utiliza uma linguagem C++ modificada. A programação não contém uma função *int main ()* e é recomendável escrever o código em três partes distintas: Variáveis, eventos e funções.

As declarações de variáveis e funções são similares as da linguagem C++. A mudança mais significativa é em relação ao tratamento dos eventos, que podem ser do sistema ou da base de dados. Cada evento gera uma interrupção no programa e este pode ser tratado de acordo com o especificado no projeto. Podem ser declaradas mensagens diretamente no código fonte do CAPL.

As mensagens recebidas podem ser recebidas inserindo uma rotina para a respectiva recepção. Nesse caso, a mensagem é recebida como um objeto e pode ser atribuídos os valores recebidos a variáveis declaradas ou. Na rotina de recepção podem ser chamadas funções declaradas. No projeto foram projetadas as recepções das mensagens de *maintain power* e requisições de *facilities* do trator.

As interrupções do sistema geram a periodicidade da atualização das mensagens enviadas na rede. Dessa forma, pode-se atualizar a rede na taxa que a norma recomenda de acordo com o PGN especificado.

6.3.6. A TECU desenvolvida.

O fator fundamental para a TECU desenvolvida foi que ele deve atualizar periodicamente a rede com os valores processados. Esses ciclos de tempo foram de 100 milissegundos ou de 1 segundo, dependendo do PGN enviado. A questão da temporização é um aspecto importante para que a TECU sempre mantenha a rede atualizada com os valores das informações que a norma exige que sejam enviados.

Outro ponto fundamental para o projeto da TECU são as mensagens que devem ser recebidas e tratadas. *A priori*, quaisquer mensagem é recebida pelo sistema implementado no CANoe, o que difere é o tratamento que deve ser dado a determinadas mensagens. Nesse ponto, a classe do trator é importante, pois determina o conjunto de mensagens que devem ser recebidas e como será o tratamento dessas mensagens pelo programa. Nesse projeto foi elaborada o conjunto de mensagens para TECU de classe 1 e 2. A classe 1 foi discutida pois é um conjunto de mensagens voltado para adaptações de tratores sem comunicação com o ISOBUS.

Foi utilizado como base o tutorial da VECTOR e inseridas novas funcionalidades a TECU. No projeto, foram inseridos controles de classe, podendo variar a classe de 1 para 2, controles de velocidade da TDP, mudança para o valor máximo de velocidades no eixo da TDP. Foi inserida uma função de *maintain power* e foram modificadas a bases de dados para comportar novas funções adicionadas a TECU. Também foi definido um trajeto de percurso, mediante a utilização de uma ECU do sistema de posicionamento, o GNSS. Esse caminho que o sistema emula, foi fixo e controlado apenas no código fonte da respectiva ECU. A figura 25 mostra a tela do trator que foi desenvolvido e as suas respectivas funções.

O programa tratava as alterações no painel usando funções para tratamento de itens gráficos. Internamente, o programa da TECU recebia as interrupções das alterações do painel e atualizava as variáveis associadas aos respectivos objetos no painel do trator. Sempre que um objeto da tela, botão ou barra deslizante, era acionado, ou alterado, seu valor ou estado da variável eram modificados. Os objetos permitiram ao usuário alterar os seguintes parâmetros:

- Velocidade;

- Chave de ignição: Ligada ou Desligada;
- Marcha: Posição neutra ou ativa;
- Freios;
- Tomada de potência do trator: Liga e desliga (frontal e traseiro), alteração da velocidade e mudança do valor máximo da TDP.
- Engate de três pontos: Altura (frontal e traseiro);
- Válvulas auxiliares;
- Setas e luzes de comandos

É possível ter um comportamento parecido ao de um trator em campo, quanto a variação de posição, velocidade, freios, engate da TDP, engates de três pontos e luzes da seta e de indicações do trator.

A tela do simulador é mostrada na figura 25. A janela **A** mostra o esquemático do trator, onde se pode aumentar e abaixar o engate (botões de + e -, engatar e desengatar a tomada de potência (botão “*Engagement*”), colocar as marchas em ponto desengatadas (botão N) e engatadas (botão D). Mostra também o conector de energia do barramento do implemento a energia e energização das ECU.

Maiores detalhes são mostrados na figura 25, janela B. O item **a**, mostram a saídas de velocidade e de rotação do motor. As velocidades são mostrada em quilômetros por hora (km/h). A velocidade é alterada pelo acelerador (item **b**), que é o parâmetro de entrada para a velocidade baseada nas rodas e no solo. A velocidade interfere diretamente nos valores de distância percorrida. Os itens **c** e **d**, fazem a variação das velocidades de giro das tomadas de potência frontais e traseiras, respectivamente. E o item **j** permite que se altere a velocidade máxima de 1000 para 540 RPM. Esses valores são enviados para a rede e as alterações são captadas a cada período de tempo.

A chave de ignição do trator é mostrada pelo item **e**. A chave tem duas posições: ligada ou desligada. Essas posições alteram o estado da chave de ignição que enviado na rede, pelo PGN de velocidade baseada nas rodas. O sistema de engrenagens e o acionamento dos freios são indicados pela letra **f**. O freio é indicado por *brakes*, o botão com a letra **D** faz com que o trator esteja engrenado enquanto o indicado com a letra **N** coloca o trator em ponto neutro, isto é, nenhuma

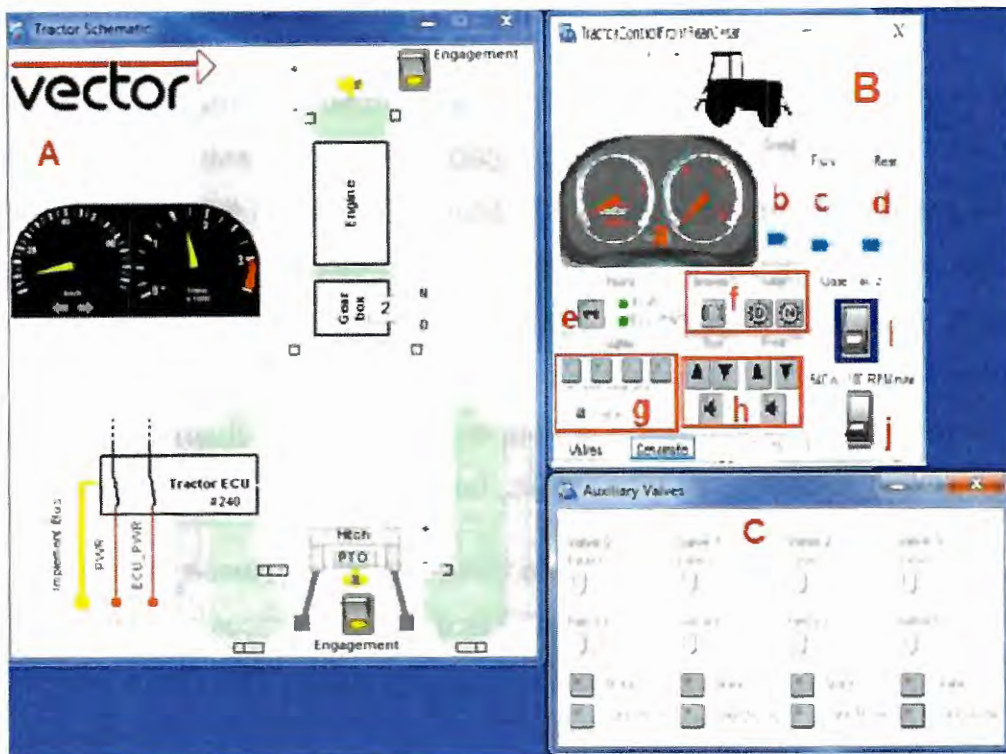
energia mecânica do motor é usada para movimentação do trator. O sistema de engrenagens não altera o funcionamento das tomadas de potência.

As luzes de indicação de alteração de direção são mostradas no item **g**. Também está mostrado as luzes de indicação que o trator está em funcionamento (*Marker Work*) e as luzes de freio, que indicam que o freio foi acionado. O item h mostra o sistema de engates frontais e traseiros do trator e os botões responsáveis por elevar e abaixar os engates de três pontos, frontais e traseiros. As setas para cima e para baixo, aumentam ou diminuem a altura dos engates, que a partir de 30% da altura mínima já indicam que está em estado de trabalho e este estado é alterado nos PGN de engate de três pontos, tanto o frontal quanto o traseiro.

O item i permite que seja alterada a classe do trator. Nesse caso, há a alteração do conjunto de mensagens enviadas e das informações enviadas na rede. A classe dois envia um conjunto de dados maior, se comparado com a classe 1, e por consequência mais completo. A

A janela **C** apresenta as válvulas auxiliares. Nessa janela, pode-se alterar a vazão do óleo nas portas de extensão e porta de retração dos pistões dos acionadores (***Extract*** para a porta de extensão e ***Retract*** para a porta de retração), alterar o estado da válvula e ainda usar o para modo de falha segura.

Figura 24 : Painel de controle do simulador de TECU (Fonte: o autor).



6.4. Testes

Os testes se basearam na análise do comportamento da TECU sob três aspectos:

- Análise somente da TECU no barramento do implemento;
 - Procedimento de entrada na rede;
 - Envio de mensagens com período correto;
 - Recepção de mensagens.
- A recepção das mensagens na rede pelo VT e pelo Implemento;
- A reação do implemento às mensagens enviadas pela TECU.

Esses resultados foram determinantes para averiguar se o simulador se comportou como previsto pelo protocolo e se poderia substituir uma TECU real em uma rede ISOBUS em bancadas de laboratório.

6.4.1. Análise Isolada da TECU

A análise da TECU isolada visou observar a entrada da ECU na rede, as mensagens que foram enviadas e a recepção das mensagens. A TECU desenvolvida foi capaz de realizar a rotina de entrada no barramento de dados. A TECU também atendeu corretamente à periodicidade de envio dos PGN determinada pelo protocolo ISO 11783. A figura 26 apresenta os tempos de envio das mensagens, os PGN e os dados enviados. Os conjuntos de dados transmitidos pela TECU estão destacados em vermelho.

Figura 25 : eriodicidade das mensagens da TECU (Fonte: o autor).

Tempos	PGN	Dados																		
3,554135	CFE45F0	00	40	FF	00	7D	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,554727	CFE49F0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,555311	CF004F0	FF	FF	FF	C0	0D	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
3,555893	CFE10F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,556459	CFE11F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,557027	CFE12F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,557603	CFE13F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,558175	CFE46F0	00	40	FF	00	7D	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,558763	CFE48F0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	FF	05	00	00	00	00	00	00	00	00
3,604976	9FB011C	00	06	E2	F2	F8	37	73	E3	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,632960	CCBFFFB	0E	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,654001	CFE45F0	00	40	FF	00	7D	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,654593	CFE49F0	00	00	00	00	00	00	00	00	01	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,655177	CF004F0	FF	FF	FF	C0	0D	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
3,655749	CFE10F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,656325	CFE11F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,656893	CFE12F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,657469	CFE13F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,658041	CFE46F0	00	40	FF	00	7D	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,658629	CFE48F0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	FF	05	00	00	00	00	00	00	00	00
3,705222	9FB011C	00	06	E2	F2	F8	37	73	E3	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,754107	CFE45F0	00	40	FF	00	7D	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,754699	CFE49F0	00	00	00	00	00	00	00	00	01	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,755283	CF004F0	FF	FF	FF	C0	0D	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
3,755855	CFE10F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,756431	CFE11F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,756999	CFE12F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,757575	CFE13F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,758147	CFE46F0	00	40	FF	00	7D	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3,758735	CFE48F0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	FF	05	00	00	00	00	00	00	00	00
3,804188	CFE41F0	FF	0F	03	0F	03	00	FF	C3	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
4,804713	CFE41F0	FF	0F	03	0F	03	00	FF	C3	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
5,804205	CFE41F0	FF	0F	03	0F	03	00	FF	C3	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

O procedimento de entrada foi realizado com sucesso. Após a entrada na rede, a TECU iniciou o envio das mensagens na rede. A primeira coluna da figura 26

apresenta os tempos nos quais as mensagens são enviadas, a segunda coluna apresenta os PGN enviados para a rede e a terceira apresenta os dados enviados para a rede.

Percebe-se o padrão de tempo de 1000 milissegundos entre as mensagens, onde os tempos 3,804, 4,804 e 5,804 referem-se aos PGN de iluminação, 0xFE41.

O mesmo se configura para o sistema de posicionamento, PGN F801. A mensagem é atualizada a cada 1000 milissegundos. Assim, a rede está atualizada durante o período de funcionamento da sua posição de acordo com as coordenadas de latitude e longitude, emulando um trajeto em um determinado local.

A recepção de mensagens foi testada. Não houve, na rede, nenhuma requisição de *facilities* por parte do implemento ou do TC. A mensagem de manutenção da energia foi recebida e tratada com um indicador interno do programa “*Maintain ECU power was required*”, conforme mostrado na figura 27. A recepção da mensagem do requerendo a manutenção de energia, e o respectivo tratamento, indicou que a TECU foi capaz de receber a mensagem requerendo a manutenção da energização por um determinado período de tempo.

Para a recepção do pedido de manutenção da energização do barramento, foi utilizado o evento de recepção *on*, presente no CAPL. A rotina para a recepção foi:

```
on pg MP
{ if ( /*flagActuatorPower*/this.MaintainActuatorPower == 1) {
    gMaintainPWR = 1; // Variável interna para as animações }
if ( /*flagEcuPower*/ this.MaintainECUPower == 1) {
    gMaintainECU_PWR = 1; // Variável interna para as animações }
write("Maintain ECU power was required"); }
```

Nessa rotina, o ponteiro “*this*” é usado para acessar os dados recebidos na rede. Ao final, escrito na janela “*write*” “*Maintain ECU power was required*”.

display do console e a mensagem enviada pela TECU. A figura 29 mostra os dados que são enviados pela TECU.

Figura 27 : Tela do VT no modo monitor de desempenho, com a rede em funcionamento (Fonte: o autor).

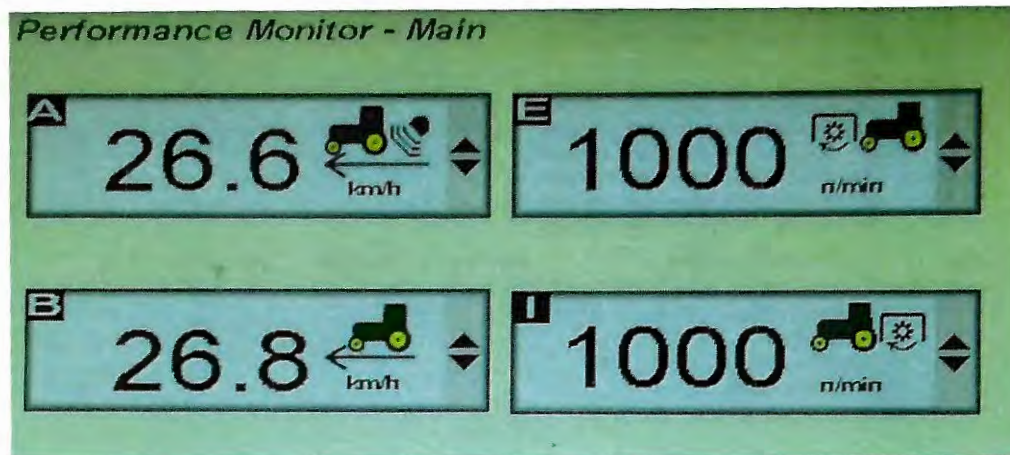


Figura 28 : Dados enviados pela TECU (Fonte: o autor).

Msg	Id	Nome	Valor	Unidade	Id	Nome	Valor	Unidade
2105	1	FF44p: GBSU TELU	LAN Frame	TELU	FF	FF	1	8
		GroundBasedImplementeeSpeed	7.4970	m/s	1049			
		GroundBasedDistance	20588.0860	m	13A2636			
		GroundBasedDirection	1					
2105	1	FF44p: WBSU TELU	LAN Frame	TELU	FF	FF	1	8
		OperatorDirectionReversed	0		0			
		WheelBasedSpeed	7.4970	m/s	1049			
		WheelBasedDistance	19558.6810	m	12A7119			
		MaxTimeOfTractorPower	255		FF			
2105	1	FF44p: RPTU TELU	LAN Frame	TELU	FF	FF	1	8
		RearPTOShaftSpeedLimitStatus	0		0			
		RearPTOModeRqStatus	0		0			
		RearPTOEngagementRqStatus	0		0			
		RearPTOEconomyModeRqStatus	0		0			
		RearPTOOutputShaftSpeed	1006.1250	1/min	1F71			
		RearPTOOutputShaftSpeedSetPoint	8191.8250		FFFF			
		RearPTOEconomyMode	3		3			
		RearPTOMode	3		3			
		RearPTOEngagement	1		1			
2105	1	FF44p: FPTU TELU	LAN Frame	TELU	FF	FF	1	8
		FrontPTOShaftSpeedLimitStatus	0		0			
		FrontPTOModeRqStatus	0		0			
		FrontPTOEconomyModeRqStatus	0		0			
		FrontPTOEngagementRqStatus	0		0			
		FrontPTOOutShaftSpeed	1006.1250	1/min	1F71			
		FrontPTOOutShaftSpeedSetPoint	8191.8250		FFFF			
		FrontPTOEconomyMode	3		3			
		FrontPTOMode	3		3			
		FrontPTOEngagement	1		1			

Os campos da figura 28 mostram os diagnósticos das mensagens. O campo A da figura 28 mostra a velocidade medida pelo radar que, para o caso, é a

mensagem de velocidade baseada no terreno. O campo B mostra a velocidade baseada nas rodas ou velocidade teórica, obtida pelo barramento pela recepção das mensagens de velocidade baseada na roda. Os campos E e I mostram os valores da velocidade da tomada de potência dianteira e traseira, respectivamente (**JOHN DEERE, 2008**).

Na figura 29, o valor da velocidade é de 7,497 m/s. Convertendo para quilômetros por hora, tem-se 26,98 km/h. Comparando com valor mostrado pela figura 28, campo B, 26,8 km/h, vê-se diferença de 0,7%.

Os valores da TDP dianteiras e traseiras foram configurados para serem os mesmos, portanto ambos os campos mostram os mesmos valores. Os valores enviados pela TECU foram de 1006, 125 RPM. O *display* mostrou 1000 RPM. Erro de 0,6%.

Como o VT e o TC estão integrados no mesmo console, o fato de o VT interpretar corretamente as mensagens implica no fato de que o TC também recebeu corretamente as mensagens. Assim, se o TC precisasse dos dados enviados pelas mensagens, as informações poderiam ser utilizadas.

A segunda verificação da recepção das mensagens enviadas na rede foi feita utilizando a opção de diagnósticos da ECU *sprayer*. Foi escolhido o modo de diagnóstico da recepção das mensagens da TECU. A tela de diagnósticos mostrou as informações que a TECU disponibilizou na rede de comunicação contidos nos campos de dados dos seguintes PGN: i) velocidade baseada no solo, ii) velocidade baseada na roda e iii) tomada de potência traseira. A figura 30 mostra a tela de diagnóstico, com os dados interpretados pela ECU do pulverizador (**TEEJET TECHNOLOGIES, 2012**).

As figuras 31, 32 e 33 mostram em destaque as informações que o *sprayer* interpreta. As velocidades baseadas na terra e na roda³³ correspondem a 10,89 km/h. Comparando com o valor mostrado na tela de diagnósticos do *sprayer*, 10,8 km/h, tem-se um erro de 0,8%. A velocidade da tomada³⁴ de potência apresenta erro de 0,7%.

³³ As velocidades foram convertidas de metros por segundo (m/s) para quilômetros por hora (km/h).

³⁴ A velocidade da tomada de potência é medida em rotações por minuto (RPM).

Figura 29 : Tela de diagnósticos do implemento com TECU de classe 1 (Fonte: o autor).

```

TECU Data

Ground based:
Speed                10.8
Distance             0
Direction            1

Wheel based:
Speed                10.8
Distance             0
Direction            1
Max power time [min] 0
Key switch state     0

Rear PTO:
Actual speed         1208
  
```

Figura 30 : Mensagens enviadas na rede ISOBUS (Fonte: o autor).

```

171.... C... FE48p WBSD_TECU  CAN Frame TECU
OperatorDirectionReversed 0
WheelBasedSpeed           3.0250 m/s
WheelBasedDistance        4294967.2950
MaxTimeOfTractorPower     255
WheelBasedDirection       3
KeySwitchState            1
StartStopState            0
  
```

Figura 31 : Velocidade baseada nas rodas do trator na rede ISO 11783 (Fonte: o autor).

```

171.... C... FE49p GBSD_TECU  CAN Frame TECU
GroundBasedImplementedSpeed 3.0250 m/s
GroundBasedDistance        4294967.2950
GroundBasedDirection       3
  
```

Figura 32 : PGN da tomada de potência traseira enviada para a rede ISOBUS (Fonte: o autor).

171.... C... FE43p RPTO_TECU CAN Frame TECU		
RearPTOShaftSpeedLimitStatus		0
RearPTOModeRqStatus		0
RearPTOEngagementRqStatus		0
RearPTOEconomyModeRqStatus		0
RearPTOOutputShaftSpeed	1217.8750	1/min
RearPTOOutputShaftSpeedSetPoint	8191.8750	
RearPTOEconomyMode		3
RearPTOMode		3
RearPTOEngagement		1

A TECU de classe 2 também foi avaliada utilizando o modo de diagnósticos da ECU *sprayer*. Conforme mostrado nas figuras 34 (tela de diagnósticos da ECU *sprayer*) e 35 (PGN de velocidades baseada no solo, nas rodas e RPM da TDP). As velocidades apresentam erros de 0,1%. As distâncias e a velocidade de giro da TDP apresentaram o mesmos valores aos que foram enviados pela TECU e a direção também foi corretamente interpretada pelo implemento.

Figura 33 : Tela de diagnósticos do implemento com um trator de classe 2 (Fonte: o autor)

TECU Data	
Ground based:	
Speed	26.7
Distance	19426
Direction	1
Wheel based:	
Speed	26.7
Distance	18455
Direction	1
Max power time [min]	0
Key switch state	0
Rear PTO:	
Actual speed	994

Figura 34 : PGN Velocidade baseada no solo, velocidade baseada nas rodas e na tomada de potência traseira (Fonte: o autor).

1948... C... FE49p GBSD_TECU CAN Frame TECU	
GroundBasedImplementedSpeed	7.4070 m/s
GroundBasedDistance	19426.3410 m
GroundBasedDirection	1
1948... C... FE48p WBSD_TECU CAN Frame TECU	
OperatorDirectionReversed	0
WheelBasedSpeed	7.4070 m/s
WheelBasedDistance	18455.0240 m
MaxTimeOfTractorPower	255
WheelBasedDirection	1
KeySwitchState	1
StartStopState	0
1948... C... FE43p RPTO_TECU CAN Frame TECU	
RearPTOShaftSpeedLimitStatus	0
RearPTOModeRqStatus	0
RearPTOEngagementRqStatus	0
RearPTOEconomyModeRqStatus	0
RearPTOOutputShaftSpeed	994.0000 1/min
RearPTOOutputShaftSpeedSetPoint	8191.8750
RearPTOEconomyMode	3
RearPTOMode	3
RearPTOEngagement	1

O implemento agrícola recebeu as mensagens que a TECU enviou na rede e as interpretou corretamente. A verificação final ocorreu quando houve mudança na chave de ignição. Quando a chave foi mudada para a posição desligada, o VT enviou uma mensagem de requisição da manutenção da energização do barramento CAN, como é mostrada na figura 36. O programa tratou essa mensagem recebida usando o indicador interno “*Maintain ECU power was required*” para mostrar que a mensagem foi recebida corretamente.

alvo³⁵ foi mantida constante pelo implemento foi capaz de manter a taxa por área constante.

Figura 36 : Taxa alvo comparado com a velocidade do implemento (Fonte: o autor).

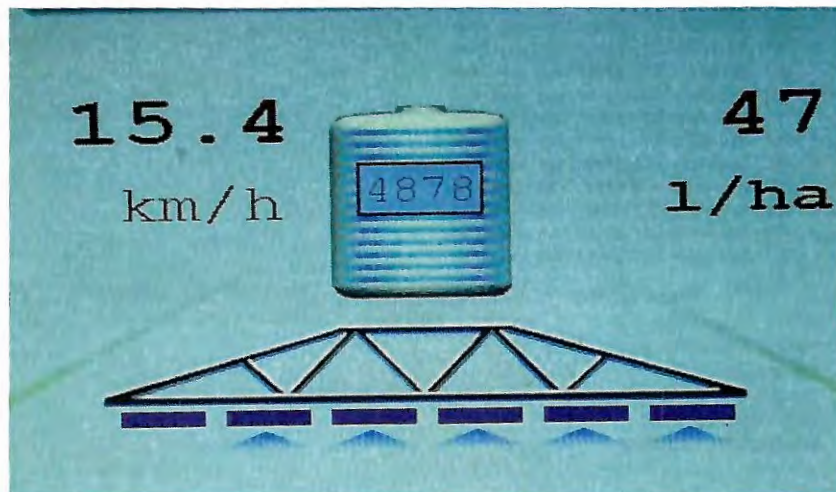
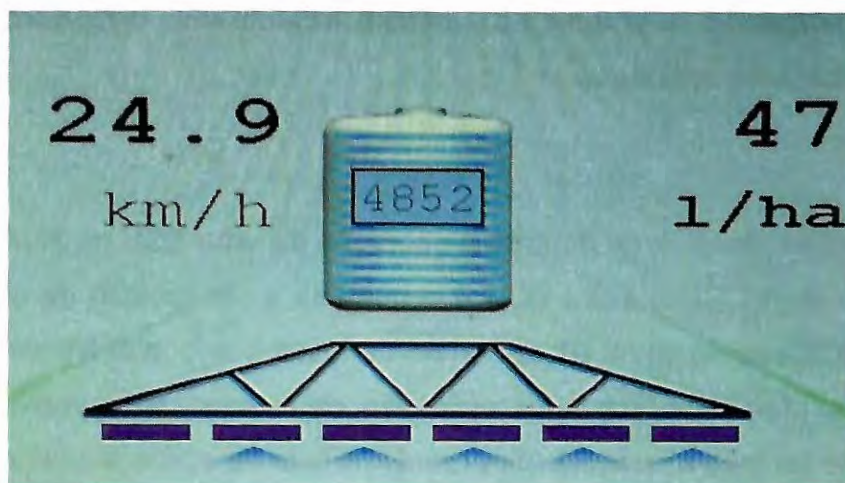
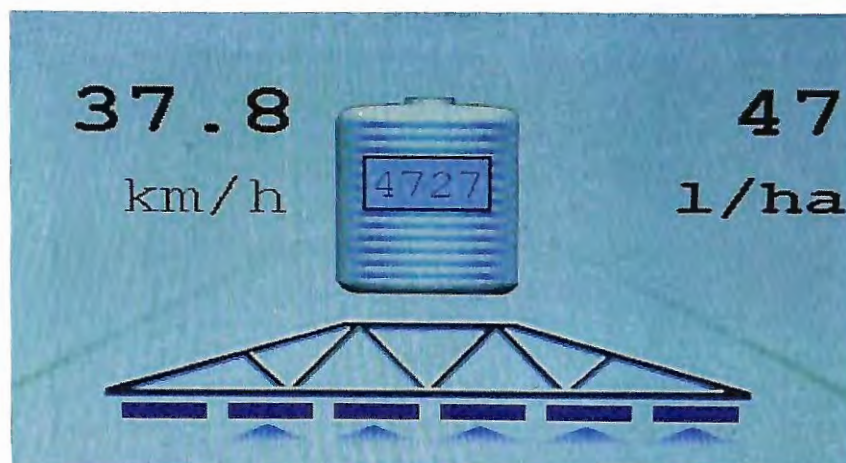


Figura 37 : Velocidade e a taxa alvo do implemento (Fonte: o autor).



³⁵ "Taxa alvo" é um valor que é configurado para a ECU *sprayer* manter constante sobre uma unidade de área. Nas figuras 37, 38 e 39 foi utilizado o litro por hectare (l/ha).

Figura 38 : Velocidade do implemento relacionada com a taxa alvo (Fonte: o autor).



A verificação ocorreu mostrando a alteração da vazão da aplicação para manter a taxa por área constante. As figuras 40, 41 e 42 mostram a correspondência na alteração da velocidade e a simulação da vazão da aplicação agrícola para manutenção da taxa alvo constante.

Em 13,26 km/h, a vazão simulada (em litros por minuto) foi de 16 l/min (figura 38). Com velocidade de 23,29 km/h a vazão foi de 26 l/min (figura 39). Quando a velocidade foi de 38,70 km/h, a vazão foi de 45 l/min (figura 40).

Figura 39 : Reação da taxa de vazão do implemento de acordo com a velocidade (Fonte: o autor).

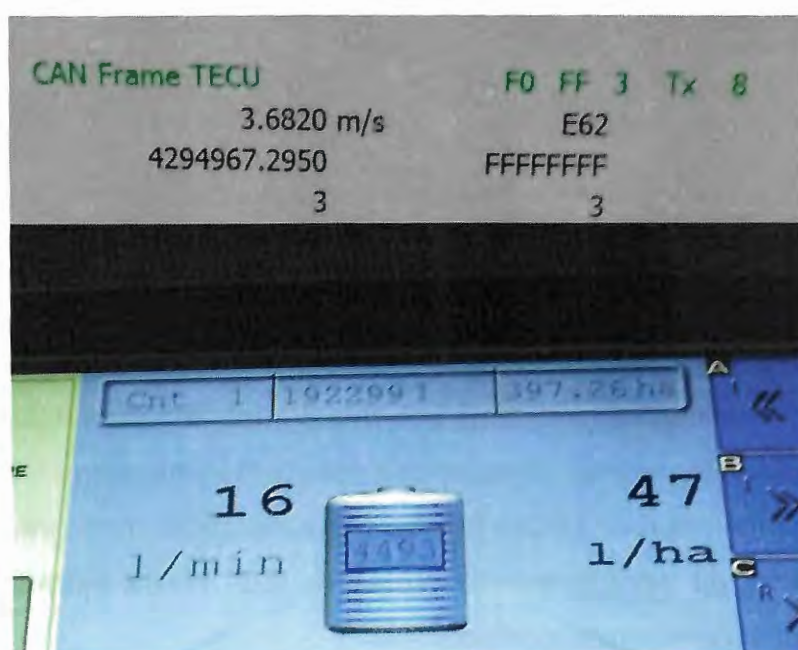


Figura 40 : Reação à variação de velocidade para manter a taxa alvo constante(Fonte: o autor).

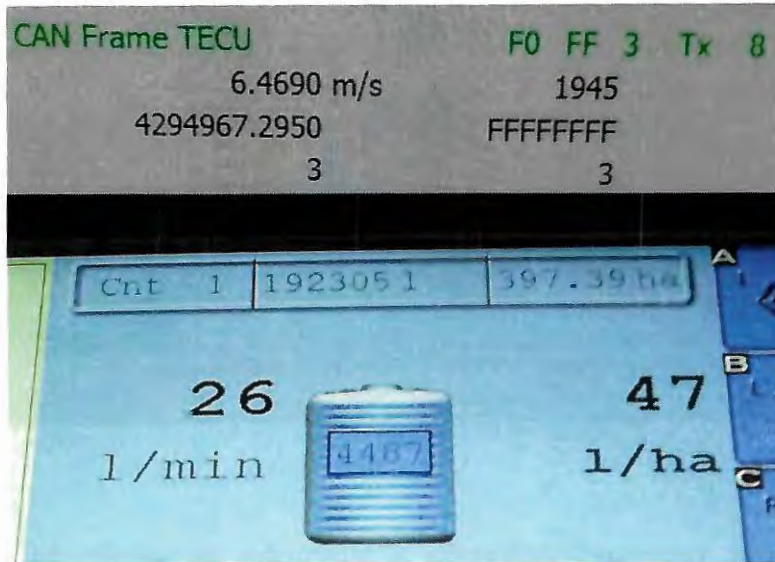
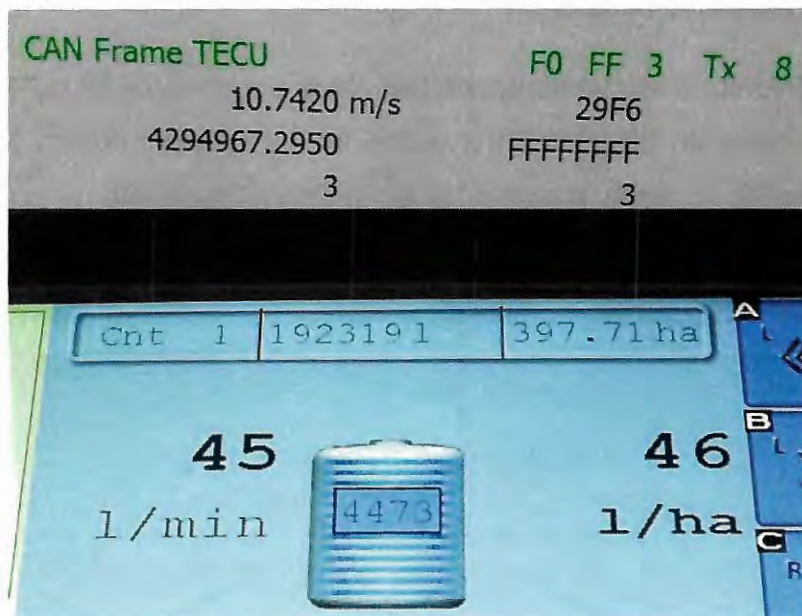


Figura 41 : Reação à velocidade mais alta do implemento agrícola (Fonte: o autor).



Foi feita a verificação do sistema sob três pontos de vistas diferentes: Análise da TECU isoladamente, análise da recepção das mensagens pelas ECU e operação de um implemento com a TECU funcionando na rede. Nas três situações o comportamento foi de acordo com o protocolo ISO 11783 e foram enviadas e recebidas as mensagens regulamentadas.

6.4.4. Testes funcionais

Esta seção vai mostrar a relação de entradas e saídas do *software* utilizado no trabalho realizado. Estão apresentados nessa seção os fluxogramas de funções com comandos de decisões e/ou repetições. Não foram elaborados fluxogramas para as funções que tem apenas comandos de atribuição. Foram testadas as entradas que estavam disponíveis ao usuário do simulador/emulador.

A sequência dos blocos funcionais dos fluxogramas seguem a mesma ordem e organização dos blocos funcionais elaborados no Anexo A. Assim, as explicações sobre os fluxogramas também referem-se aos códigos fontes utilizados.

6.4.4.1. Engate de três pontos

6.4.4.1.1. Comando para abaixar e elevar

As elevam ou abaixam a altura simulada do engate traseiro. A altura vai de 0 a 100% e abaixo de 30% da altura é colocado é acionado o sinal de ***In Work***.

As figuras 43 e 44 mostram nos campos mostram a resultado do *log* realizado com o *bus* monitor do LABVIEW. O primeiro *byte* do campo de dados é a altura, em porcentagem (coluna A). Para alturas maiores que 90% da altura máxima, o valor esperado é 0XFA, que equivale a 100% da altura. O segundo *byte* (coluna) contém a indicação de *In Work*. Quando o engate de três pontos está na posição correta de trabalho, deve aparecer no segundo *byte* o valor 0x40 (01000000). Com a altura maior que 0x32, aparecerá o valor 0x00 (00000000).

Essa situação é válida para os PGN FE45 e FE46, engate de três pontos traseiro e dianteiro, respectivamente.

Figura 42 : Log das informações do engate traseiro (Fonte: o autor).

Tempo	PGN	A	B									
19,046972	CFE45F0	00	40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
19,145950	CFE45F0	00	40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
19,245855	CFE45F0	00	40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
19,345901	CFE45F0	00	40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
19,446039	CFE45F0	00	40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
19,545997	CFE45F0	00	40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
19,646026	CFE45F0	00	40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
19,745828	CFE45F0	00	40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
19,845826	CFE45F0	00	40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
19,946020	CFE45F0	00	40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
20,045953	CFE45F0	32	40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
20,145951	CFE45F0	64	00	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
20,245864	CFE45F0	64	00	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
20,345862	CFE45F0	7D	00	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
20,445996	CFE45F0	96	00	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
20,545966	CFE45F0	C8	00	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
20,645996	CFE45F0	FA	00	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
20,745901	CFE45F0	FA	00	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
20,845872	CFE45F0	FA	00	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
20,945962	CFE45F0	FA	00	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	
21,046025	CFE45F0	FA	00	FF	FF	FF	00	00	00	8	E	

Figura 43 : Log das informações do engate dianteiro (Fonte: o autor).

Tempo	PGN	A	B									
118,755481	CFE46F0	00	40	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
118,855523	CFE46F0	00	40	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
118,955610	CFE46F0	00	40	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
119,055589	CFE46F0	00	40	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
119,155601	CFE46F0	00	40	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
119,255483	CFE46F0	00	40	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
119,355473	CFE46F0	00	40	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
119,455652	CFE46F0	19	40	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
119,555653	CFE46F0	32	40	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
119,656219	CFE46F0	32	40	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
119,755489	CFE46F0	32	40	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
119,855472	CFE46F0	4B	00	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
119,955605	CFE46F0	64	00	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
120,055612	CFE46F0	64	00	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
120,155622	CFE46F0	7D	00	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
120,255480	CFE46F0	7D	00	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
120,355527	CFE46F0	7D	00	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
120,455626	CFE46F0	7D	00	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
120,555616	CFE46F0	7D	00	FF	00	7D	00	00	00	8	E	

As variáveis **EnvTECU_RearHitchUpSwitch** (bloco 1 do fluxograma da figura 45) e **EnvTECU_RearHitchDownSwitch** (bloco 7 do fluxograma da figura 45) são responsáveis por elevar e abaixar, respectivamente, o engate traseiro.

As variáveis **EnvTECU_FrontHitchUpSwitch** (bloco 2 da figura 46) e **EnvTECU_FrontHitchDownSwitch** (bloco 7 da figura 46), elevam e abaixam a

altura simulada do engate frontal. Não se pode abaixar e levantar ao mesmo tempo o engate, então as condições são mutuamente excludentes.

As variáveis **EnvTECU_RearHitchPosition** (bloco 2 do fluxograma da figura 45) e **EnvTECU_FrontHitchPosition** (bloco 7 do fluxograma da figura 46) indicam a altura do engate de três pontos. Esse trecho está inserido no bloco ativado a cada 100 ms. O bloco 5 é a função que atualiza o painel para o usuário, após serem atualizados todos os valores.

Figura 44 : Fluxograma atualização dos valores do engate traseiro (Fonte: o autor).

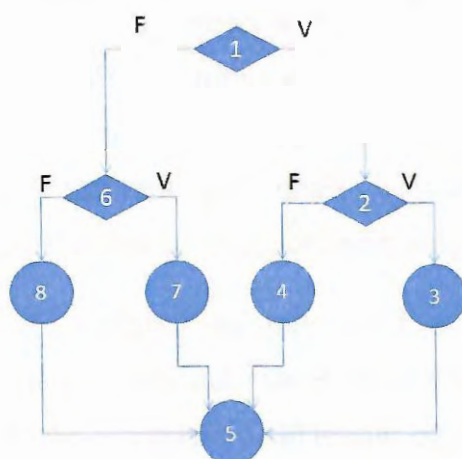
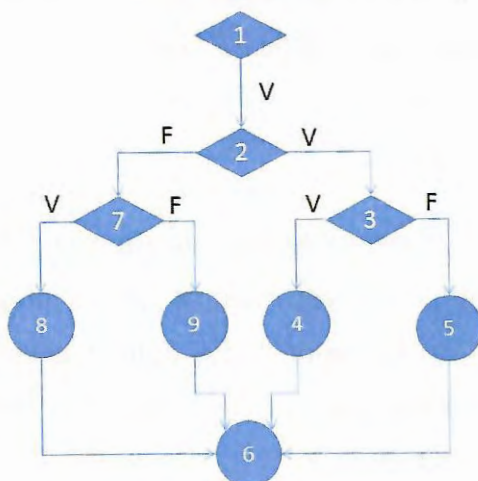


Figura 45: Fluxograma atualização dos valores do engate frontal (Fonte: o autor).



Os casos de teste os seguintes:

Tabela 13 : Casos de teste dos comandos do engate.

EnvTECU_RearHitchUpSwitch	F	V
EnvTECU_RearHitchDownSwitch	V	F
EnvTECU_FrontHitchUpSwitch	F	V
EnvTECU_FrontHitchDownSwitch	V	F

Apesar de parecerem associados, os casos de testes são separados por se tratarem de engates diferentes. E, como não se pode subir e descer ao mesmo tempo os engates, então uma condição exclui a outra. Se for requisitada que o engate se eleve, então vai somar 10 à altura, com valor máximo de 100. Caso seja requerido que abaixe, então será subtraído. Esse valor atualizado será carregado na variável de posição, tanto para o engate traseiro quanto para o engate frontal.

O envio das mensagens é feito com as funções: `TransmitFrontHitchStatus` e `TransmitPrimaryOrRearHitchStatus`. Essas funções enviam as variáveis dos engates dianteiros e traseiros. A função *output* faz o envio dos *bytes* do

Os casos de teste são:

Tabela 14 : Casos de teste do sinal de *In Working*.

EnvTECU_RearHitchPosition < 30 (bloco 2 figura 3)	V	F
EnvTECU_FrontHitchPosition < 30 (bloco 2 figura 4)	V	F
kTractorClass (bloco 6 figura 3)	1	2

Estes casos de teste não são dependentes um do outro. Se a variável de posição estiver abaixo de 30%, então ele vai mostrar que o engate está na posição de trabalho, isto é, a variável vai ter valor 1. Se estiver acima desse valor, então vai receber valor 0. Isso vai indicar que o *byte* correspondente na mensagem vai ter valor 0x40 ou 0x00, respectivamente.

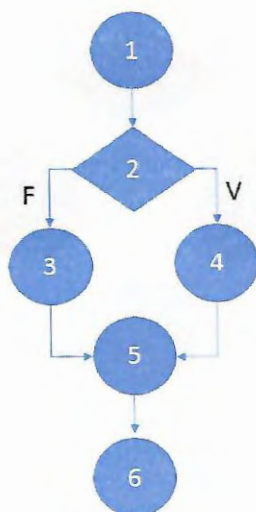
A variável da classe do trator vai indicar que o arrasto traseiro será mostrado. Uma trator de classe 2 deve enviar dado do arrasto medido. Ainda quem não estejam disponíveis os valores, o dado será enviado como "indisponível".

As figuras 47 e 48 mostram o fluxograma das funções de transmissão. O bloco 2 da figura 47 e o bloco 2 da figura 48 indicam que a o engate está na posição de trabalho quando a resposta é verdadeira (V).

Figura 46: Fluxograma função de envio das informações do engate traseiro (Fonte: o autor).



Figura 47: Fluxograma do envio de informações do engate dianteiro (Fonte: o autor).



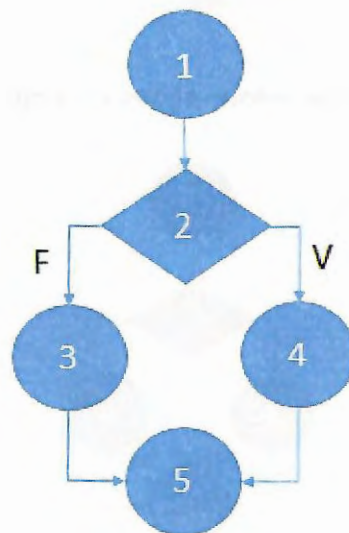
6.4.4.2. Liga desliga

A chave de liga e desliga é o sistema que faz com que o trator inicie o envio de dados, caso este esteja desligado. Caso o trator esteja ligado, isto é, enviando mensagens e informações na rede, ele para o envio.

A variável de entrada de liga e desliga é **EnvTECU_KeySwitch** e sua alteração corresponde ao bloco 2 do fluxograma da figura 49. Quando a Esta variável aceita dois valores: 0 (F) e 1 (V). Quando a variável assume valor 1, a TECU inicializa e atualiza os *bits* referentes no PGN de velocidade baseada na roda.

A função *PowerPreShutDown()*, na linha 8 do anexo A5, é a função faz o desligamento da TECU. Essa função envia na rede o novo estado da *Key Switch*

Figura 48: Fluxograma acionamento da chave de ignição (Fonte: o autor).



Entre os dois pontos destacados da figura 50 a TECU foi desligada. A mensagem CFE48F0 mostra nos *bytes* destacados o estado da *Key Switch*. Com a chave ligada, o valor é 0x07 e com a chave desligada tem o valor 0x03. Após ser enviado o sinal do desligamento, é pedida a manutenção da energia do barramento.

Figura 49 : Log dos resultados da ação de liga e desliga (Fonte: o autor).

100,249002	CFE48F0 1E	18	FF	FF	FF	FF	FF	FF	07	8	E
100,249586	18FECAF0		FF	FF	00	00	00	00	FF	FF	E
100,297643	9F8011C D1	31	E2	F2	50	43	73	E3	8	E	
100,305559	18FECA26	01	FF	12	FF	EC	49	FF	FF	8	E
100,316957	1CE72682	A8	09	52	FF	E4	00	00	00	8	E
100,318677	1CE68226	A8	09	52	00	E4	00	00	00	8	E
100,346698	CFE45F0 FA	00	FF	FF	FF	FF	00	00	00	8	E
100,347270	CFE49F0 5D	18	FF	FF	FF	FF	00	03	8	E	
100,347846	CF004F0 FF	FF	FF	FF	48	3E	FF	FF	FF	8	E
100,348418	CFE46F0 4B	00	FF	00	7D	00	00	00	8	E	
100,348986	CFE48F0 5D	18	FF	FF	FF	FF	FF	(07)	8	E	
100,383590	10EFC4D2	4B	81	2							E
100,383591	10EFC0D2	4B	81	2							E
100,386438	10EFCED2	4B	81	2							E
100,388058	10EFE1D2	4F	88	FE	FE	00	00	00	00	8	E
100,388898	10EFE1D2	4B	86	FE	FE	00	00	00	00	8	E
100,391798	10EFC3D2	4F	88	FE	FE	00	00	00	00	8	E
100,392642	10EFC3D2	4B	86	FE	FE	00	00	00	00	8	E
100,397691	9F8011C 98	31	E2	F2	50	43	73	E3	8	E	
100,425640	CFE48F0 00	00	FF	FF	FF	FF	FF	(03)	8	E	
100,432733	1CE72682	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	8	E
100,497746	9F8011C 98	31	E2	F2	50	43	73	E3	8	E	
100,558451	1CE6FF26	FE	26	15	09	35	04	00	00	8	E
100,597756	9F8011C 98	31	E2	F2	50	43	73	E3	8	E	
100,697621	9F8011C 98	31	E2	F2	50	43	73	E3	8	E	
100,745062	1CE6FF26	FE	26	53	0A	FF	FF	00	00	8	E
100,759478	18FE4726	7F	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	8	E
100,793341	1CE72682	A8	09	52	FF	E1	00	00	00	8	E
100,794705	CCBF782 07	00	00	00	00	00	00	00	8	E	

Mensagens
TECU

Velocidade baseada
na roda

Maintain Power

Após o último envio da mensagem de manutenção do barramento. Na figura 51, vê se o trator com envio de mensagens apenas para mostrar que ele ainda está conectado à rede. Essas mensagens são chamadas de mensagens de “heartbeat”. Existem apenas duas mensagens enviadas pela TECU a partir do momento que recebe o último *maintain power* PGN 0xFE41 e 0xFECA.

Figura 50 : Log liga desliga con detalhes para o *heartbeat* (Fonte: o autor).

```

104,097833 9F8011C 98 31 E2 F2 50 43 73 E3 8 E
104,176326 18FE4726 7F FF FF FF FF FF FF FF 8 E
104,197718 9F8011C 98 31 E2 F2 50 43 73 E3 8 E
104,246703 18FECAFO FF FF 00 00 00 00 FF FF 8 E
104,297704 9F8011C 98 31 E2 F2 50 43 73 E3 8 E
104,377341 18FE4726 7F FF FF FF FF FF FF FF 8 E
104,397674 9F8011C 98 31 E2 F2 50 43 73 E3 8 E
104,497796 9F8011C 98 31 E2 F2 50 43 73 E3 8 E
104,578329 18FE4726 7F FF FF FF FF FF FF FF 8 E
104,597821 9F8011C 98 31 E2 F2 50 43 73 E3 8 E
104,697735 9F8011C 98 31 E2 F2 50 43 73 E3 8 E
104,797648 9F8011C 98 31 E2 F2 50 43 73 E3 8 E
104,815657 CFE41FO FF OF OF OF FF 51 FF 17 8 E
104,897682 9F8011C 98 31 E2 F2 50 43 73 E3 8 E
104,996792 DF8051C C0 2B 6A 99 43 66 65 C6 8 E
104,997704 9F8011C 98 31 E2 F2 50 43 73 E3 8 E
104,998252 DF8051C C1 2C 00 99 B4 2A 26 33 8 E
104,999112 DF8051C C2 F2 FC 40 45 CF B4 52 8 E
105,000021 DF8051C C3 4D 5A F9 AA 69 OF 12 8 E
105,001057 DF8051C C4 00 00 00 00 00 00 00 8 E
105,002045 DF8051C C5 00 00 00 00 00 00 00 8 E
105,003049 DF8051C C6 00 00 FF FF FF FF FF 8 E
105,097831 9F8011C 98 31 E2 F2 50 43 73 E3 8 E
105,197813 9F8011C 98 31 E2 F2 50 43 73 E3 8 E
105,246741 18FECAFO FF FF 00 00 00 00 FF FF 8 E
105,297715 9F8011C 98 31 E2 F2 50 43 73 E3 8 E

```

6.4.4.3. Luzes do trator:

As variáveis de entrada para os comandos das luzes são aquelas que se referem às luzes de seta, freios e luzes de marcação. As variáveis de entrada são:

EnvTECU_StopLight, *EnvTECU_MarkerLight*, *EnvTECU_RearWorkLight*, *EnvTECU_LeftTurnLights*, *EnvTECU_RightTurnLights*. Cada uma dessas variáveis pode assumir os valores 0 ou 1. Entretanto, não há comandos de decisão com estas variáveis. Apenas comandos de atribuição.

As entradas dos comandos de luz são estes:

```

on envVar EnvTECU_StopLight // Quando acontecer o evento desta variável
{ TransmitLightningCommand();}

on envVar EnvTECU_MarkerLight
{ TransmitLightningCommand(); }

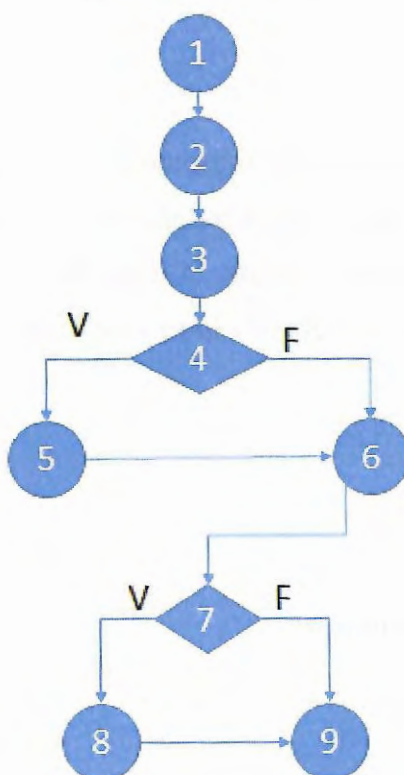
on envVar EnvTECU_RearWorkLight
{ TransmitLightningCommand(); }

```

O fluxograma da função de envio das mensagens do comando de iluminação é feito pela rotina TransmitLightningCommand, no Anexo A6, e é mostrado na figura 52. Nessa rotina, podem-se acontecer dois caminhos: A classe do trator igual a 1 (F no bloco de decisão 4 da figura 52) ou a 2 (V no bloco de decisão 4 da figura 52). Caso, a TECU seja de classe 1 as informações enviadas na rede tem um conjunto menor de informações. Caso seja de classe 2 tem-se um conjunto maior. Quaisquer marcações no sistema de iluminação do simulador/emulador deve refletir nas mensagens que são enviadas para a rede ISOBUS.

O bloco 7 da figura 52 analisa se a TECU continua ligada. Nesse trecho é recarregado o valor dos temporizadores (bloco 8). O bloco 9 é virtual e representa o final do trecho do código.

Figura 51 : Fluxograma da função de envio de dados de iluminação (Fonte: o autor).



O envio das mensagens do comando de iluminação tem como resposta os seguintes valores:

Figura 52 : Log dados de iluminação (Fonte: o autor).

Tempo	PGN	1	Dados					8			
14,995964	CFE41F0	FF	0F	0F	0F	FF	00	00	00	8	E
15,995939	CFE41F0	FF	0F	0F	0F	FF	00	00	00	8	E
16,995343	CFE41F0	FF	0F	0F	0F	FF	00	00	00	8	E
17,995942	CFE41F0	FF	0F	0F	0F	FF	00	00	00	8	E
18,995958	CFE41F0	FF	0F	0F	0F	FF	00	00	00	8	E
19,995432	CFE41F0	FF	0F	0F	0F	FF	00	00	00	8	E
20,995915	CFE41F0	FF	0F	0F	0F	FF	00	00	00	8	E
21,995986	CFE41F0	FF	0F	0F	0F	FF	00	00	00	8	E
22,995450	CFE41F0	FF	0F	0F	0F	FF	00	00	00	8	E
23,996113	CFE41F0	FF	0F	03	0F	03	00	FF	C3	8	E
24,996126	CFE41F0	FF	0F	03	0F	03	00	FF	C3	8	E
25,495614	CFE41F0	FF	4F	03	0F	03	00	FF	C3	8	E
25,995551	CFE41F0	FF	0F	03	0F	03	00	FF	C3	8	E
26,338871	CFE41F0	FF	0F	03	5F	03	00	FF	C3	8	E
26,495621	CFE41F0	FF	5F	03	5F	03	00	FF	C3	8	E
26,856377	CFE41F0	FF	5F	03	5F	57	51	FF	D7	8	E
26,995543	CFE41F0	FF	0F	03	5F	57	51	FF	D7	8	E
27,495616	CFE41F0	FF	5F	03	5F	57	51	FF	D7	8	E
27,995661	CFE41F0	FF	0F	03	5F	57	51	FF	D7	8	E
28,495661	CFE41F0	FF	5F	03	5F	57	51	FF	D7	8	E
28,995593	CFE41F0	FF	0F	03	5F	57	51	FF	D7	8	E

As luzes de seta estão mostradas no segundo *byte* mostrado na figura 53. O valor 0x0F mostra que nenhuma seta estava acionada. O valor 0x4F mostra que a seta apenas do lado esquerdo estava ligada. O valor 0x5F mostra que as duas setas estão ligadas. Caso somente a seta do lado direito estivesse ligada, apareceria o valor 0x1F.

6.4.4.4. Controle de Classe:

O controle de classe pode ser feito com a seguinte rotina:

```
on envVar EnvTECU_ClassControl
{ kTractorClass = getValue(EnvTECU_ClassControl)+1;}
```

Este controle mudou, inicialmente, os PGN enviados. Após o tratamento da rotina, a classe da interface de comunicação pode assumir dois valores: 1 ou 2, isto é, é carregado o valor 1 ou 2 na variável global `kTractorClass`. Como resultados, alterou o conjunto de PGN enviados e adicionou as informações de distância baseada na roda e no solo aos PGN de velocidade. As figuras 54 e 55 contrastam a quantidade de PGN e as informações indisponíveis (0xFF) nos *bytes* relativos a distância percorrida. Os destaques em vermelho mostram essas diferenças.

Figura 53 : Log dados enviados de classe 1 (Fonte: o autor).

15,745219	CFE43F0	00	00	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
15,745803	CFE45F0	00	40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E
15,746379	CFE49F0	0A	11	FF	FF	FF	FF	00	03	8	E
15,746951	CF004F0	FF	FF	FF	8F	2B	FF	FF	FF	8	E
15,747523	CFE46F0	00	40	FF	00	7D	00	00	00	8	E
15,748103	CFE44F0	00	00	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
15,748683	CFE48F0	0A	11	FF	FF	FF	FF	FF	07	8	E
15,796208	9F8011C	EF	0D	E2	F2	F8	37	73	E3	8	E
15,845293	CFE43F0	00	00	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
15,845877	CFE45F0	00	40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E
15,846453	CFE49F0	48	11	FF	FF	FF	FF	00	03	8	E
15,847017	CF004F0	FF	FF	FF	2F	2C	FF	FF	FF	8	E
15,847589	CFE46F0	00	40	FF	00	7D	00	00	00	8	E
15,848169	CFE44F0	00	00	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
15,848745	CFE48F0	48	11	FF	FF	FF	FF	FF	07	8	E
15,896190	9F8011C	18	0E	E2	F2	F8	37	73	E3	8	E

Figura 54 : Log dados de classe 2 (Fonte: o autor).

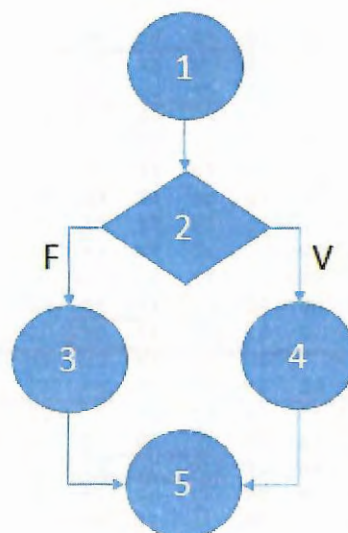
27,096396	9F8011C	8B	1F	E2	F2	F8	37	73	E3	8	E
27,145429	CFE43F0	00	00	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
27,146005	CFE45F0	FA	00	FF	00	7D	00	00	00	8	E
27,146565	CFE49F0	7A	11	22	0B	01	00	00	01	8	E
27,147138	CF004F0	FF	FF	FF	AF	2C	FF	FF	FF	8	E
27,147710	CFE10F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	8	E
27,148286	CFE11F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	8	E
27,148854	CFE12F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	8	E
27,149431	CFE13F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	8	E
27,150002	CFE46F0	4B	00	FF	00	7D	00	00	00	8	E
27,150583	CFE44F0	00	00	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
27,151131	CFE48F0	7A	11	32	19	01	00	FF	05	8	E
27,195587	ICE6FF26		FE	26	15	09	35	04	00	00	8
27,196391	9F8011C	E2	1F	E2	F2	F8	37	73	E3	8	E
27,245460	CFE43F0	00	00	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
27,246036	CFE45F0	FA	00	FF	00	7D	00	00	00	8	E
27,246600	CFE49F0	E4	10	BD	0C	01	00	00	01	8	E
27,247172	CF004F0	FF	FF	FF	2F	2B	FF	FF	FF	8	E
27,247744	CFE10F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	8	E
27,248320	CFE11F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	8	E
27,248888	CFE12F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	8	E
27,249464	CFE13F0	7D	7D	30	FF	FF	00	00	00	8	E
27,250036	CFE46F0	4B	00	FF	00	7D	00	00	00	8	E
27,250616	CFE44F0	00	00	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
27,251168	CFE48F0	E4	10	E2	1A	01	00	FF	05	8	E

Nota-se a diferença entre os casos. Os PGN 0xFE10, 0xFE11, 0xFE12 e 0xFE13 passam a ser enviados quando a classe do trator altera de 1 para 2. E também os campos destacados são enviados na rede. Esses dados dizem a respeito da distância percorrida. Assim, vê-se que a TECU reagiu corretamente ao controle de classe. Os dados indicados como 0xFF mostravam que estes valores estavam indisponíveis. Ou seja, os valores de classe foram recebidos corretamente no programa.

6.4.4.5. Variáveis do RPM

A variável EnvTECU_chooseRPM seleciona o RPM máximo alterar de 540 para 1000. Essa variável pode assumir **V** (escolha pelo máximo de 1000 RPM) ou **F** (Escolha pelo máximo de 540 RPM). Essa entrada de controle atua sobre as duas tomadas de potência, tanto frontal como traseira.

Figura 55 : Fluxograma controle de engate da TDP (Fonte: o autor).



O Controle do engate da TDP indica que se é simulado o engate de um implemento que precisa de energia mecânica do trator. O engate é recebido por essa rotina:

```

on envVar EnvTECU_RearPTOShaftEngagement
{
  if (getValue(this) == 0) {
    putValue( EnvTECU_RearOutputShaftBitmap, 0 );
    TransmitRearPTOOutShaft(); }
}

on envVar EnvTECU_FrontPTOShaftEngagemen
{
  if (getValue(this) == 0) {
    putValue( EnvTECU_FrontOutputShaftBitmap, 0 );
    TransmitFrontPTOOutShaft(); }
}

```

Quando ocorrer alguma mudança no estado botão de engate da TDP é acionado, então é analisado o valor do botão.

Os comando de atribuição da velocidade de rotação das TDP é feito com a através das variáveis `controlFrontPTO` e `controlRearPTO`, de acordo com as rotinas de tratamento dessas variáveis. Nesse caso, cada vez que ocorre uma interrupção gerada pelas variáveis de ambiente, faz-se o tratamento e carrega o novo valor da velocidade do eixo da TDP, de acordo com o máximo configurado.

```

on envVar EnvTECU_FrontPTOControl
{ controlFrontPTO = kRPM*getValue(EnvTECU_FrontPTOControl);}

on envVar EnvTECU_RearPTOControl
{ controlRearPTO = kRPM*getValue(EnvTECU_RearPTOControl); }

```

A atribuição da velocidade para enviar para a rede é realizado com o comando `putValue` que faz a atribuição do valor de controle das TDP carregando nas variáveis que fazem o envio dos dados de TDP.

```

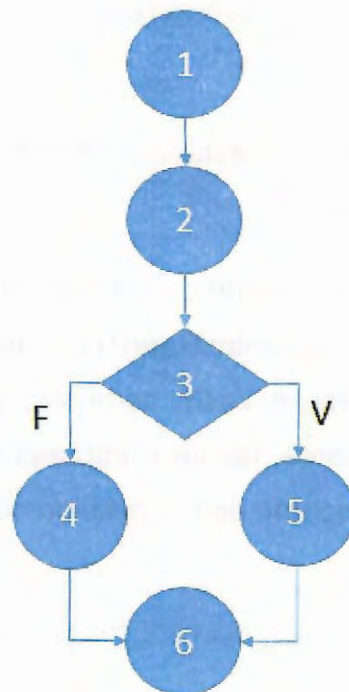
putValue( EnvTECU_RearPTOShaftSpeed, controlRearPTO);
putValue( EnvTECU_FrontPTOShaftSpeed, controlFrontPTO);

```

O fluxograma que representa o funcionamento da função de transmissão das TDP traseira e dianteira são mostrados na figura 57. A variável do engate (bloco 3, linha 8 do anexo A9 e linha 7 do anexo A10) é analisada para que seja enviado a velocidade de rotação. Caso exista implemento engatado, condição verdadeira (V), a velocidade é o valor configurado pela entrada. Caso não exista (Falso, F), é

configurado como nulo o valor a ser enviado. Estes valores são alocados no campo da mensagem, no respectivo *byte*. As duas funções de envio tem o mesmo comportamento, isso mostra o porque que só há um fluxograma mostrado. A diferença se resume somente ao PGN enviado e a fonte do recebimento dos dados.

Figura 56 : Fluxograma envio de dados da TDP (Fonte: o autor).



Caso não exista nenhuma indicação de engate, tanto para a TDP frontal quanto a traseira, então a velocidade do eixo da TDP é zero.

A figura mostra os dados da TDP traseira que foram enviadas na rede. O valor de 0x0DC0 indica uma velocidade de 440 RPM, cujo máximo é de 540 RPM. Os valores de 0x14F8, 0x1810, 0x1658, 0x15A8 representa valores de 671, 770, 715 e 693 RPM, respectivamente. O máximo para estes valores é de 1000 RPM.

Figura 57 : Log mostrando o trator a) engatado a um implemento e b) sem implemento engatado (Fonte: o autor).

Tempo	PGN	1	Dados				8				
104,050868	CFE43F0	C0	0D	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
104,150722	CFE43F0	C0	0D	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
104,250690	CFE43F0	C0	0D	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
104,350704	CFE43F0	C0	0D	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
104,450814	CFE43F0	C0	0D	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
104,550811	CFE43F0	C0	0D	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
104,651314	CFE43F0	C0	0D	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
104,750733	CFE43F0	C0	0D	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
104,850687	CFE43F0	C0	0D	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
104,950812	CFE43F0	C0	0D	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
105,050823	CFE43F0	10	18	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
105,150684	CFE43F0	58	16	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
105,250686	CFE43F0	A8	15	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
105,350698	CFE43F0	F8	14	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
105,450848	CFE43F0	F8	14	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
105,550831	CFE43F0	F8	14	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
105,651281	CFE43F0	F8	14	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
77,346304	CFE43F0	00	00	FF	FF	7C	00	00	00	8	E
77,401010	CFE43F0	00	00	FF	FF	3C	00	00	00	8	E

A figura 58 mostra o log em caso de engate e não engatado, mostra se o foi engatado. O valor 0x7C (01111100 – figura 58a) indica que há implemento engatado. Já o valor 0x3C (00111100 – figura 58b) indica que não existe nenhum implemento engatado.

O mesmo ocorre para o engate da TDP dianteira, conforme mostrada na figura 59: São mostrados os valores de 275 (0x0898) e 649 (0x01448) RPM. E mostra também quando há engate (0x7C) e quando não há engate (0x03C).

Figura 58 : Envio de dados de velocidade da TDP com a) TDP com implemento engatado e b) se implemento engatado (Fonte: o autor).

Tempo	PGN	1	Dado				8				
102,956048	CFE44F0	98	08	FF	FF	7C	00	00	00		
103,055943	CFE44F0	98	08	FF	FF	7C	00	00	00		
103,155822	CFE44F0	98	08	FF	FF	7C	00	00	00		
103,255823	CFE44F0	98	08	FF	FF	7C	00	00	00		
103,355837	CFE44F0	98	08	FF	FF	7C	00	00	00		
103,456003	CFE44F0	48	14	FF	FF	7C	00	00	00		
103,556006	CFE44F0	48	14	FF	FF	7C	00	00	00		
103,656420	CFE44F0	48	14	FF	FF	7C	00	00	00		
103,755834	CFE44F0	48	14	FF	FF	7C	00	00	00		
103,855828	CFE44F0	48	14	FF	FF	7C	00	00	00		
103,956030	CFE44F0	48	14	FF	FF	7C	00	00	00		
76,149170	CFE44F0	00	00	FF	FF	7C	00	00	00		
76,211111	CFE44F0	00	00	FF	FF	3C	00	00	00		

6.4.4.6. Dados de velocidade

É enviado na rede os dados de velocidade baseada na rodas, no solo e a velocidade de giro do motor.

A entrada para alteração da velocidade é a variável `EnvTECU_Accelerator`, cujo valor está na faixa de 0 a 1 e `kMaxTractorSpeed` é igual a 15,3 m/s. Essa variável vai proporcionar a configuração da velocidade, usando esta rotina de comando:

```
if (GetValue(EnvTECU_EngineRunning) == 1) {
    speedSetPoint = kMaxTractorSpeed * getValue(EnvTECU_Accelerator); }
else {speedSetPoint = 0.0;}
```

A variável `EnvTECU_EngineRunning` indica que o simulador/emulador está em funcionamento. Caso a `EnvTECU_Accelerator` seja igual 0, então as velocidades serão iguais a 0. A atualização das velocidades do trator e do giro do motor é realizada com os seguintes trechos do código, que são colocados integralmente no texto por não terem comando de decisões ou repetições que gere casos de teste importante. Esse trecho também mostra o cálculo das distâncias.

```
tractorSpeed=CalcNewTractorSpeed( tractorSpeed, gear, speedSetPoint );
engineSpeed = CalcEngineSpeed( tractorSpeed, gear, speedSetPoint );

if (engineSpeed < 0.0) {
    engineSpeed = 0.0; }

wheelBasedSpeed = tractorSpeed;
groundBasedSpeed = tractorSpeed * kTractorSlip;

gGroundBasedDistance += wheelBasedSpeed * kSystemTimeSec;
gWheelBasedDistance += groundBasedSpeed * kSystemTimeSec;
```

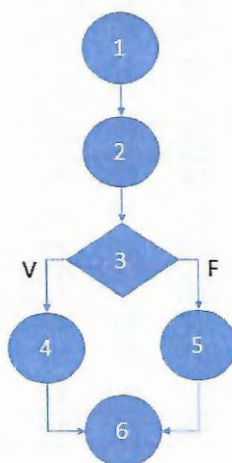
A atualização das variáveis de ambiente relacionadas a velocidade são feitas por linhas de código:

```
putValue( EnvTECU_EngineSpeed, engineSpeed );
putValue( EnvTECU_TractorSpeed, tractorSpeed * 3.6 );
```

O fluxograma mostra o comportamento da função. A única variável que pode mudar o conjunto de mensagens é a classe do trator, que é representada pelo bloco 3 da figura 60. A classe pode ser 1, condição Falsa, ou 2, condição verdadeira, observar linhas 9 do anexo A10 e linha 7 do A11.

Ambos os fluxogramas das funções são iguais, por isso optou-se por apresentar apenas um para as velocidades baseadas nas rodas e no solo.

Figura 59: Comportamento das funções de envio de dados de velocidade (Fonte: o autor).



O fluxograma que apresenta a função que envia a velocidade de giro do motor seria representado por apenas um bloco com comandos de atribuição, por isso optou-se mostrar o código fonte.

```
void TransmitEEC1()
{
    pg EEC1_TECU eecl;
    eecl.dword(0) = eecl.dword(4) = 0xffffffff;
    eecl.EngSpeed.phys = GetValue( EnvTECU_EngineSpeed );
    output(eecl);}
```

Caso o trator seja de classe 2 (condição verdadeira do fluxograma), então será enviada a distância baseada na roda e no solo. O trator indicou somente que está se movendo para a frente. Caso seja de classe 1, então somente enviará a velocidade e, para o caso do PGN de velocidade baseada nas rodas, o estado da chave de ignição. As figuras 61 e 62 mostram os logs obtidos. O PGN FE49 e FE48 apresentam campos com 0xFFFF, conforme a figura 61. Isso indica a indisponibilidade e que esse conjunto de mensagens é para uma interface de classe 1.

Figura 60: Velocidade baseada nas rodas e no solo para interface de classe 1 (Fonte: o autor).

Tempo	PGN	1	Dado	8
14,445412	CFE43F0	00 00	FF FF 7C	00 00 00
14,445996	CFE45F0	00 40	FF FF FF	00 00 00
14,446576	CFE49F0	2F 11	FF FF FF FF	00 03
14,447152	CF004F0	FF FF	FF EF 2B	FF FF FF
14,447724	CFE46F0	00 40	FF 00 7D	00 00 00
14,448304	CFE44F0	00 00	FF FF 7C	00 00 00
14,448880	CFE48F0	2F 11	FF FF FF FF	FF 07
14,496381	9F8011C	EA 0B	E2 F2 F8	37 73 E3
14,545378	CFE43F0	00 00	FF FF 7C	00 00 00
14,545962	CFE45F0	00 40	FF FF FF	00 00 00
14,546530	CFE49F0	6E 11	FF FF FF FF	00 03
14,547106	CF004F0	FF FF	FF 8F 2C	FF FF FF
14,547678	CFE46F0	00 40	FF 00 7D	00 00 00
14,548258	CFE44F0	00 00	FF FF 7C	00 00 00
14,548834	CFE48F0	6E 11	FF FF FF FF	FF 07

No campo destacado na figura 62, aparecem valores diferentes de 0xFF, que indicam que estão sendo computados as distância para e enviadas na rede, indicando uma interface de classe 2. A variação de velocidade já foi testada no item que mostra que a recepção e como a ECU do implemento reagiu às mensagens de velocidade.

Figura 61 : Velocidade baseada nas rodas e no solo para interface de classe 2 (Fonte: o autor).

Tempo	PGN	1	Dado	8
30,445614	CFE43F0	00 00	FF FF 7C 00	00 00 8 E
30,446190	CFE45F0	FA 00	FF 00 7D 00	00 00 8 E
30,446762	CFE49F0	3C 11	D5 40 01 00	00 01 8 E
30,447330	CF004F0	FF FF	FF 0F 2C FF	FF FF 8 E
30,447902	CFE10F0	7D 7D	30 FF FF 00	00 00 8 E
30,448478	CFE11F0	7D 7D	30 FF FF 00	00 00 8 E
30,449046	CFE12F0	7D 7D	30 FF FF 00	00 00 8 E
30,449622	CFE13F0	7D 7D	30 FF FF 00	00 00 8 E
30,450194	CFE46F0	4B 00	FF 00 7D 00	00 00 8 E
30,450774	CFE44F0	00 00	FF FF 7C 00	00 00 8 E
30,451334	CFE48F0	3C 11	B8 51 01 00	FF 05 8 E
30,495551	CFE41F0	FF 5F	03 5F 57 51	FF D7 8 E
30,496467	9F8011C	D6 24	E2 F2 F8 37	73 E3 8 E

Outras variáveis de entrada que afetam a velocidade são aquelas alteradas pelos botões de engate do sistema de marchas (EnvTECU_GearModeDriveSwitch) e o botão que colocava o sistema em ponto neutro (EnvTECU_GearModeNeutralSwitch), isto é, nenhum de dado de velocidade era gerado na programação.

As rotinas para recepção destes eventos de botões são mostradas a seguir. A variável gGearMode, que pode assumir valores 0 e 1, tem a função de sinalizar se o sistema está engrenado ou se nenhuma velocidade é gerada pelo programa. Esta situação representa o momento que nenhuma engrenagem para movimentação é utilizada. Esta situação não interfere no sistema de transmissão de potência da TDP.

```
on envVar EnvTECU_GearModeNeutralSwitch
{ gGearMode = 0; }

on envVar EnvTECU_GearModeDriveSwitch
{ gGearMode = 1; }
```

Os campos em destaque da figura 63 referem-se as velocidades. Em ambos os casos, estão em 0 devido ao fato de estar em ponto neutro. Quando é colocado em modo engrenado, a velocidade eleva-se e diferencia de 0, conforme apontado na figura 64.

Figura 62: Log dos PGN de velocidade em ponto neutro (Fonte: o autor).

Tempo	PGN	1	Dado						8	
1,496163	9F8011C	00 06	E2	F2	F8	37	73	E3	8	E
1,545200	CFE45F0	00 40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E
1,545780	CFE49F0	00 00	FF	FF	FF	FF	00	03	8	E
1,546360	CF004F0	FF FF	FF	E0	06	FF	FF	FF	8	E
1,546932	CFE46F0	00 40	FF	00	7D	00	00	00	8	E
1,547516	CFE48F0	00 00	FF	FF	FF	FF	FF	07	8	E
1,596045	9F8011C	00 06	E2	F2	F8	37	73	E3	8	E
1,645130	CFE45F0	00 40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E
1,645710	CFE49F0	00 00	FF	FF	FF	FF	00	03	8	E
1,646290	CF004F0	FF FF	FF	E0	06	FF	FF	FF	8	E
1,646862	CFE46F0	00 40	FF	00	7D	00	00	00	8	E
1,647446	CFE48F0	00 00	FF	FF	FF	FF	FF	07	8	E

Figura 63: Log dos PGN de velocidade modo engrenado (Fonte: o autor).

Tempo	PGN	1	Dado						8	
8,345062	CFE45F0	00 40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E
8,345642	CFE49F0	00 00	FF	FF	FF	FF	00	03	8	E
8,346222	CF004F0	FF FF	FF	E0	06	FF	FF	FF	8	E
8,346794	CFE46F0	00 40	FF	00	7D	00	00	00	8	E
8,347378	CFE48F0	00 00	FF	FF	FF	FF	FF	07	8	E
8,396015	9F8011C	02 06	E2	F2	F8	37	73	E3	8	E
8,445184	CFE45F0	00 40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E
8,445756	CFE49F0	AF 00	FF	FF	FF	FF	00	03	8	E
8,446336	CF004F0	FF FF	FF	DD	07	FF	FF	FF	8	E
8,446908	CFE46F0	00 40	FF	00	7D	00	00	00	8	E
8,447480	CFE48F0	AF 00	FF	FF	FF	FF	FF	07	8	E
8,496161	9F8011C	05 06	E2	F2	F8	37	73	E3	8	E
8,545234	CFE45F0	00 40	FF	FF	FF	00	00	00	8	E
8,545805	CFE49F0	5E 01	FF	FF	FF	FF	00	03	8	E
8,546381	CF004F0	FF FF	FF	BA	0F	FF	FF	FF	8	E
8,546954	CFE46F0	00 40	FF	00	7D	00	00	00	8	E
8,547537	CFE48F0	5E 01	FF	FF	FF	FF	FF	07	8	E

6.4.4.7. Transmissão de data e comandos de linguagem.

A transmissão de data e comandos de linguagem foram utilizadas durante a inicialização da TECU e mediante requisições. A rotina de transmissão da hora e da data é mostrada a seguir. O fluxograma nesse caso é apenas um bloco e sem condicionais. Como os trechos de código apresentam apenas comandos de atribuição sem casos de testes importantes para análises, optou-se por apresentar o código fonte usado.

```
void TransmitTimeAndDate()
{
    pg TD_TECU td;
    DWORD currentTime;
    DWORD seconds, minutes, hours;

    currentTime = timeNow() / 100000;
    seconds = currentTime % 60;
    minutes = (currentTime / 60 + kTimeMinute) % 60;
    hours = (currentTime / 360 + kTimeHour);

    td.Day.phys = 07 ;
    td.Month.phys = 01;
    td.Year.phys = 2017;
    td.Hours.phys = hours ;
    td.Minutes.phys = minutes;
    td.Seconds.phys = seconds;
    td.LocalHourOffset.phys = 0;
    td.LocalMinuteOffset.phys = 0;

    output (td); }

```

O comando de linguagem enviou a linguagem utilizada, o sistema de unidades, o símbolo de decimais, o formato de data e hora.

```
TransmitLanguageCommand ()
{
    pg LC_TECU langCmd;

    langCmd.AreaUnitCmd = 0; // Métrico
    langCmd.DateFormatCmd = 0; // dia/mês/ano
    langCmd.DecimalSymbolCmd = 0; // vírgula
    langCmd.DistanceUnitCmd = 0; // Métrico
    langCmd.LanguageCodeCmd = 01; // inglês
    langCmd.MassUnitCmd = 0; // Métrico
    langCmd.TimeFormatCmd = 0; // 24 horas
    langCmd.VolumeUnitCmd = 0; // Métrico

    output (langCmd); }

```

6.4.4.8. Sistema GNSS

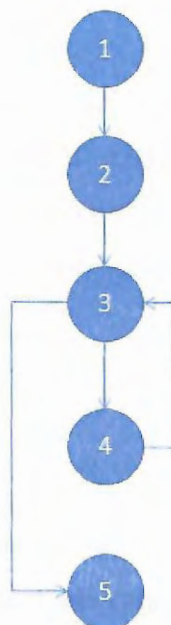
O sistema do GNSS implementado precisou também capturar valores da velocidade, para a simulação da localização ser coerente com a velocidade que estava disponível no barramento. A rotina que recebeu os valor de velocidade foi:

```
on envVar EnvTECU_TractorSpeed
{   if (gECUAddress != kNullAddr) {
    GNSSSetSpeed(getValue(this) ); } }
```

Caso a ECU do sistema do GNSS estivesse operando na rede, com um endereço válido e diferente do endereço nulo (0xFE), então a ECU receberia os valores de velocidade e simulação da localização enviada seria coerente com a velocidade configurada pela TECU.

O fluxograma da figura 65 mostra o comportamento da função geradora da trajetória que foi seguida pela TECU implementada. O bloco 3 da figura 65, apresentado na linha 8 do Anexo A12, é um comando de repetição, que configura a quantidade de raias que o sistema devera percorrer.

Figura 64 : Fluxograma da trajetória usada com o sistema GNSS (Fonte: o autor).



6.4.4.9. Temporização do sistema

A periodicidade do sistema foi feita utilizando eventos de tempo. Os tempos usados para a execução foram 100 milissegundos e 1 segundo.

O controle dos timers do sistema é realizado com o evento **on timer**. Ao final do tratamento deste evento temporizado, usa-se o comando `setTimer(Timer_Declarado, quantidade_de_tempo)`. A variável `Timer_Declarado` deve ser declarada como um timer para poder ser acessada e configurada dessa maneira. A temporização foi mostrada no item do trabalho que relata a TECU operando isolada e a periodicidade do envio dos dados. Na TECU implementada foram usados timers de 100 milissegundos e 1 segundo.

7. Discussão e Conclusões

Neste capítulo serão desenvolvidas as discussões a respeito dos resultados obtidos pela implementação da TECU ISOBUS-compatível. Também serão apresentadas as conclusões gerais da realização deste trabalho, observando se foram atingidos os objetivos gerais e específicos.

7.1. Discussão

Esse trabalho compõe um conjunto de trabalhos que realizaram estudos e análises sobre o ISO 11783. Neste conjunto de trabalhos destacam-se os trabalhos de PEREIRA (2008), SAKAI (2008), LANDI (2004), GUIMARÃES (2003) e BARROS (2010). Esse trabalho discutiu os conjuntos de mensagens, requisitos e informações enviadas, além da modelagem da TECU, enquanto nos outros trabalhos foram discutidos o controlador de tarefas, a troca de informações com a ECU do implemento agrícola (PEREIRA, 2008), a comunicação do implemento agrícola com o terminal virtual (SAKAI, 2008), a ECU de monitoramento (GUIMARÃES, 2003) e a integração com um sistema de coleta de dados sem fio (BARROS, 2010).

Foram levantados os PGN que são utilizados para enviar informações do trator, de acordo com a classe. Para a TECU de classe 1, tem-se 6 PGN da ISO 11783 e uma da SAE J1939 (F004), como mostra a tabela 1. Essa quantidade de grupos de parâmetros não varia, pois as mensagens da interface de classe 1 fornecem à rede as informações mínimas requeridas pela protocolo. A classe 2 usa, pelo menos, 8 PGN da ISO 11783 e 1 PGN da SAE J1939 (F004), como mostra a tabela 2. Durante a operação da TECU, os PGN enviados correspondem ao envio de informações de grandezas relacionadas à velocidade, potência e iluminação do trator.

A quantidade de PGN utilizada para informar dados sobre as válvulas auxiliares do trator depende da quantidade de válvulas. Na implementação foram utilizadas informações de 4 válvulas auxiliares. Assim, para a implementação de

uma interface de classe 2, foram usados 14 identificadores diferentes. De forma exata, deve-se usar 9 PGN mais os identificadores das válvulas auxiliares. As válvulas de uso geral aumentam, também, a quantidade de identificadores que podem ser utilizados.

As mensagens que, necessariamente, devem ser recebidas pela TECU de classe 1 e 2, são duas: *Maintain Power* e Disponibilidade das Instalações que podem ser controladas. A manutenção da energia é importante para que o sistema possa ser colocado em estado seguro, para casos nos quais a chave de ignição seja desligada. Por se tratar de uma condição aleatória, o trator deve, obrigatoriamente, tratar quaisquer mensagens de pedidos de manutenção da energização da rede, enviada por qualquer ECU, antes de desligar a energização da mesma. O desligamento da chave de ignição deve ser tratado de tal forma que essa ação seja segura para o operador e aos trabalhadores envolvidos. A disponibilidade das *facilities* deve estar contida, necessariamente, entre as mensagens recebidas, para que o controlador de tarefas e o implemento agrícola sejam informados se podem controlar alguma variável do trator para o melhor desempenho.

A ISO 11783 recomenda que os projetos novos de TECU sejam desenvolvidos com interfaces de classe 2 ou classe 3. A classe da interface de comunicação da TECU não se refere às informações disponibilizadas, mas sim aos identificadores que a ECU compartilha na rede. Esse fato permite que uma TECU de classe 2 informe dados referentes a uma classe 1 e, ainda assim, ser validada como classe 2. Para isso, configuram-se determinados SPN como “não disponíveis”.

As tabelas 3 a 9 relacionam os parâmetros e as posições que estes parâmetros assumem nos *bytes* de dados dos identificadores. Tanto o ISO 11783 Parte 7 (ISO, 2012) quanto os documentos disponibilizados na página www.isobus.net, mostrado no item (f) da figura 5, não sistematizam as mensagens e seus parâmetros, relacionando os PGN aos SPN. Esse resultado se torna interessante, pois relacionam diretamente esses dois entes em um documento que será aberto e disponível. Nessas tabelas, os *bits* que não são listados, são reservados pelo protocolo e devem ser configurados como estado lógico alto. Este fato não altera a interpretação da mensagem por parte das ECU que consomem estas mensagens.

O relacionamento de PGN e SPN das mensagens auxiliar o levantamento das mensagens que a TECU envia. Determinando-se o conjunto das mensagens que a TECU deve enviar e receber, pode-se usar qualquer codificação para empacotar os devidos parâmetros aos PGN e enviar os quadros de mensagens. Além disso, tem-se determinado o dicionário de dados da ECU. Como as mensagens da parte 7 devem ser utilizadas também pelo implemento agrícola e pelas ECU que precisam interpretar as mensagens enviadas pela TECU na rede, esse resultado torna-se vantajoso do ponto de vista de implementação do sistema ISOBUS compatível.

Não foi implementada a comunicação com o terminal virtual e não foi necessário o uso de protocolos de transporte. Mesmo sem utilizar protocolos de transporte, a recepção por parte do VT e o envio das mensagens pela TECU não foram afetados. Notam-se dois pontos interessantes: (a) o projeto do TECU pode desconsiderar a comunicação com o VT, pois o painel do trator é uma interface ao operador, e (b) não há necessidade de protocolos de transportes, pois os dados enviados são comportados em campos de dados de 8 *bytes*.

Quando a TECU é colocada na rede, apresenta o comportamento de fonte de dados e sobrepõe o de consumidor. As mensagens de *broadcast* da TECU independem de quaisquer outras ECU conectadas na rede. A TECU deve receber, obrigatoriamente, dois PGN, já o envio depende da classe da TECU: A classe 1 deve enviar, no mínimo, sete PGN e a classe 2, no mínimo, nove. As mensagens enviadas são de destinatário global e são recebidas pelas ECU conectadas. Não houve mensagens diretamente endereçadas à TECU foi, o que não interferiu na operação da ECU na rede.

O PGN FE49 envia informações bastante utilizadas durante a operação das ECU na rede CAN ISO 11783-compatível. Este PGN informa a velocidade do conjunto formado pelo trator e implemento. A aplicação de qualquer insumo deve levar em conta a área coberta pelo implemento. A área na qual o implemento agrícola aplica o insumo depende das dimensões do implemento e de sua velocidade, assim o sistema de controle de fluxo pode corrigir a vazão do produto, conforme varia a velocidade do conjunto. A reação do implemento, corrigindo a taxa de vazão do produto a cada mudança de velocidade, mostra que a informação mais

básica que a TECU deve disponibilizar na rede para que o implemento opere satisfatoriamente é a velocidade do trator.

A TECU implementada conseguiu transmitir os dados corretamente e substituiu com sucesso o trator na simulação em laboratório. Com ela, foi possível realizar testes com a ECU de implemento agrícola, do terminal virtual e do controlador de tarefas, implementando uma rede ISOBUS completa compatível no laboratório.

A TECU fornece ao usuário um controle de grandezas e variáveis próximo ao que é encontrado em tratores utilizados em aplicações agrícolas. Controla a velocidade de movimentação, velocidade do eixo de potência da TDP e altura do engate. As válvulas auxiliares, que fazem parte do sistema de transmissão de potência da TECU, interferem pouco do ponto de vista de aplicação agrícola, apesar de estar disponíveis para serem feitas alterações.

O usuário pode também alterar a classe da TECU utilizada. Esta possibilidade pode ser bastante útil para aplicações didáticas, ao explicar a diferença, do ponto de vista do conjunto de mensagens da TECU classe 1 e classe 2. Por se tratar de um assunto referente ao conjunto de informações, necessita de uma maior abstração para se diferencia

A TECU pode ser usada para operacionalizar uma rede ISO 11783 em laboratório. Esta rede pode ser usada para testar a comunicação entre o implemento, analisar a recepção das mensagens por parte de um implemento e avaliar se uma tarefa agrícola pode receber ajustes quanto às taxas aplicadas no local.

Manteve-se a coerência ao não poder alterar a classe do TECU durante sua operação e nem poder alterar o modo do RPM (1000 ou 540) com o TDP em operação. A escolha da classe é uma questão de projeto e por isso não se pode alterar esse dado com a chave ligada.

Esta TECU permite que se altere a sua classe, modificando o conjunto de mensagens enviadas na rede. Para isso, deve-se ter a TECU desligada. Pode-se usar para comparar o conjunto de mensagens e alterar estas informações sem ter que entrar no código fonte da programação da TECU. É um recurso que não está presente em um trator normal, pois os tratores tem suas classes configuradas no

projeto inicial. Pode-se ainda configurar com indisponível determinadas informações e assim validar uma TECU de classe 2 apenas com informações de classe 1.

A TECU não recebe comandos oriundos da rede. É controlada somente pelo usuário. Não foi implementado nenhuma comunicação proprietária com outras rede ISOBUS-compatível. Isso reforça que a operacionalização da TECU não depende das ECU conectadas na rede e sim das informações que a TECU envia para a rede. A comunicação não é proprietária como acontece com o VT e implemento agrícola ou TC e implemento agrícola.

A TECU implementada também não tem um barramento de energia elétrica real. Apenas uma animação simulando a operação do sistema de energia elétrica. O sistema de maintain power mantém por 2 segundos esse barramento energizado. Durante esse período, é fundamental que sejam recebidas quaisquer mensagens requerendo a manutenção da energia, pois esta mensagem também tem função de viabilizar uma situação de segurança.

A ideia do projeto foi prover uma simulação da operação de um trator em um campo agrícola. A movimentação do trator foi fornecida pela ECU do sistema GNSS, que variou sua posição nas coordenadas do LANAPRE. Não é necessário para a TECU o monitoramento do relevo do campo. A TECU envia seus dados sobre movimentação, velocidade, potência e iluminação. A topografia do local não altera as mensagens enviadas.

A o trator simulado não pode ser dirigido. As mensagens do sistema do GNSS simulam a movimentação em um determinado lugar, a ser configurado na própria ECU. As informações do GPS são importantes para aplicações com taxas variadas, caso estas taxas sejam utilizadas pelo implemento conectado ao trator. Nenhum painel pode comunicar com o GPS, entretanto isto pode ser um elemento a ser acrescentado e permitir outros rotas dentro do campo além daquela que foi configurada.

7.2. Conclusão

A proposta deste trabalho foi o desenvolvimento de um emulador de TECU ISO-11783, uma ferramenta de apoio ao desenvolvimento de sistemas embarcados em implementos agrícolas. Para viabilizar essa proposta, foi realizada uma ampla pesquisa sobre o protocolo ISO 11783, ou ISOBUS, onde foi analisada a comunicação de dispositivos na rede CAN ISOBUS-compatível, através de suas mensagens de informação, requisição ou resposta. A ferramenta obtida como resultado deste trabalho justifica o mesmo, pois auxilia no desenvolvimento de outras ECU, principalmente de implementos agrícolas. Ainda, essa ferramenta possibilita a realização de testes de *hardware* e *software* em laboratório e a verificação de tarefas agrícolas embarcadas no TC, o que reduz custos e tempo de desenvolvimento de qualquer ECU. Por fim, esse trabalho pode servir, ainda, como guia para aplicações em ECU do trator ISOBUS-compatível.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento mostrou-se tão importante quanto o desenvolvimento em si. Os documentos do protocolo foram analisados e, assim, foram determinados os dados mínimos para operacionalizar a TECU de classe 1 e 2. A análise também levou em consideração as funções e a operação da TECU na rede CAN, a fim de modelar o *software* embarcado. Os testes realizados demonstraram que a TECU operou de acordo com o protocolo ISO 11783, fornecendo as informações corretas e que foram recebidas e utilizadas por outras ECU. A metodologia aplicada neste trabalho pode ser generalizada, modificada e aplicada a qualquer ECU ISOBUS-compatível.

O desenvolvimento da TECU operando de acordo com o que determina os documentos da ISO 11783 possibilitou a análise de sua interação com outras ECU conectadas à rede e a avaliação sobre quais comunicações proprietárias dentro da rede devem ser levadas em conta no processo. Ainda, foram observadas quais mensagens são fornecidas e quais são consumidas na rede pelas ECU, principalmente pela TECU. Por fim, a TECU desenvolvida foi aplicada para realizar testes na rede CAN e pode ser aplicados em atividades didáticas, treinamentos para novos profissionais e desenvolvimentos de novas ECU.

7.3. Trabalhos Futuros:

Espera-se que os próximos trabalhos sobre o ISO 11783 possam trabalhar com automação de tratores e implementos (Tractor Implement Automation - TiA),

usando uma TECU de classe 3 para receber de implemento valores de velocidade, por exemplo, para melhorar o rendimento da operação em campo. Outros trabalhos que utilizem TECU de classe 3, com dois barramentos de comunicação, barramento do trator e do implemento, podem utilizar os resultados produzidos.

8. Referências

AUERNHAMMER, H. Precision farming - The environmental challenge. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 30, p. 31–43, Fevereiro. 2001.

BACKMAN, J.; OKSANEN, T.; VISALA, A. Applicability of the ISO 11783 network in a distributed combined guidance system for agricultural machines. *Biosystems Engineering*, v. 114, n 3 p. 306–317. Março. 2013.

BARROS, M. F. D. E. Proposta de interconexão do padrão ISO 11783 com redes de sensores sem fio padrão zigbee. 2010. 115 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

BLANK, S.; BARTOLEIN, C.; MEYER, A.; OSTERMEIER, R.; ROSTANIN, O. iGreen: A ubiquitous dynamic network to enable manufacturer independent data exchange in future precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.98, p.109–116, Outubro.2013.

CALCANTE, A.; MAZZETTO, F. Design, development and evaluation of a wireless system for the automatic identification of implements. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.101, p.118–127. Fevereiro. 2014.

EHRL, M.; AUERNHAMMER, H. X-by-wire via ISOBUS communication network. *Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal Manuscript*. v 9. 12 p. Julho. 2007.

FANTUZZI, Cesare *et al.* A distributed embedded control system for agricultural machines. *IEEE International Conference on Industrial Informatics*, 4. 2006. Singapura. Proceedings... INDIN, 2006.

FREIMANN, R. A Basic Approach to Implement Guided Tractor Control. *Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal Manuscript*, v. 9. 12 p. Julho. 2007.

GUIMARÃES, A. A. Eletrônica embarcada automotiva. Érica, 2007.

GUIMARÃES, A.A. Análise da norma ISO 11783 e sua utilização na implementação do barramento do implemento de um monitor de semeadora.

2003. 98 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

HOFSTEE, J. Simulation of a controller area network-based tractor-implement data bus according to ISO 11783. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 73, n. 4. p. 383–394, Agosto. 1999.

HOYNINGEN-HUENE, M.V; M. BALDINGER, M. Tractor-Implement-Automation and its application to a tractor-loader wagon combination. In *Proceedings of 2nd International Conference on Machine Control and Guidance*. 2010, Bonn, Germany. pp 171-185.

IFTIKHAR, N.; PEDERSEN, T. B. Flexible exchange of farming device data. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 75, n. 1, p. 52–63, Janeiro 2011.

INAMASU, Ricardo; SOUSA, Rafael. Projeto e implementação de um barramento CAN para suporte ao desenvolvimento de sistemas de automação para máquinas agrícolas. *Revista Minerva - Pesquisa e Tecnologia*. v. 1, n. 1, p. 1–6, 2003.

ISO 11783 - 1. Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network - Part 1: General standard for mobile data communication. ISO 2013.

ISO 11783 - 2. Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network — Part 2 : Physical layer. 2002.

ISO 11783 - 3. Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network — Part 3: Data link layer., 2013.

ISO 11783 - 4. Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network — Part 4 : Network layer. 2011.

ISO 11783 - 5. Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network — Part 5: Network management., 2011.

ISO 11783 - 6 . Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network — Part 6: Virtual Terminal. , 2013.

ISO 11783 - 7. Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network - Part 7: Implement messages application layer. ISO 2012.

ISO 11783 - 9. Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network - Part 9: Tractor ECU. ISO 2012.

ISO – 11783 - 10. Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network — Part 10: Task controller and management information system data interchange. , 2007

ISO 11783 - 11 . Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network — Part 11 : Snap shot of the online data base. , 2013. Disponível em <http://dictionary.isobus.net/isobus/>. Acesso em 05 de dezembro de 2016.

ISO 11783-12 . Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network — Part 12: Diagnostics services. , 2014.

ISO 11783 - 13. Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network — Part 13 :. , 2013.

ISO 11783 - 14. Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network — Part 14:Sequence Control. , 2013.

JOHN DEERE AG MANAGEMENT SOLUTIONS. Operator's Manual: GS2 1800 Display. Califórnia: 2008. 164p.

KAIOSOJA, J.; JACKENROLL, M.; LINKOLEHTO, R.; WEIS, M.; GERHARDS, R. Automatic control of farming operations based on spatial web services. Computers and Electronics in Agriculture, v. 100, p. 110–115, Janeiro. 2014.

LANDI, D. Uma proposta para adoção de dispositivos computacionais portáteis para implementação do terminal virtual e do controlador de tarefas da norma ISO 11783 em redes embarcadas em máquinas agrícolas. 2004. 69f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

LOBMEYER, M; Marktl, R. Tips and tricks for the use of CAPL. Disponível em < http://vector.com/portal/medien/cmc/press/PND/CAPL_1_CANNewsletter_201406_PressArticle_EN.pdf>. Acesso em 08 Dezembro de 2016.

MIETTINEN, Mikko et al. Implementation of ISO 11783 compatible task controller. In: Congrès International du Génie Rural – CIGR World Congress, 16, 2006. Bonn, Alemanha. Proceedings... CIGR, 2006.

MINGZHU, Zhang; ZHILI, Zhou; ZHIQIANG, Xi. Design of virtual terminal for agriculture machinery based on ISO11783. In: International Conference on Intelligent Computing Technology and Automation, 2. 2009. Zhangjiajie, China. Proceedings... ICICTA, 2009.

MONDAL, Pinaki; TEWARI, V. K. *Present status of precision farming: A review*. International Journal of Agricultural Research. v. 2. p. 1-10. 2007.

MUNACK, A; SPECKMANN, H. Communication Technology Is the Backbone of Precision Agriculture. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal, v. 3, p. 1–12. Maio. 2001.

National Marine Electronics Association. NMEA 2000: Standard Standard for Serial-Data Networking of Marine Electronic Devices. Disponível em < http://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_2000_ed3_10.asp>. Acesso em fevereiro de 2016.

OKSANEN, T.; KUNNAS, A.; VISALA, A. Development and runtime environment for embedded controller supporting ISO 11783 standard. International Federation of Automatic Control – IFAC World Congress, 18.,2011, Milano, Italia. Proceedings.. IFAC, 2011.

OKSANEN, T.; OHMAN, M.; MIETTINEM, M.; VISALA, A. ISO 11783 - Standard and its implementation. In: INTERNATIONAL FEDERATION OF AUTOMATIC CONTROL - IFAC WORLD CONGRESS, 16., 2005, Prague, Czech Republic. Proceedings...IFAC, 2005.

OKSANEN, T.; OHMAN, M.; MIETTINEN, M.; VISALA; A. Open Configurable control system for precision farming. In: American Society of Agricultural and Biological Engineers - International Conference of Automation Technology for Off-road Equipment. , 2004, Kyoto, Japan. Proceedings... Kyoto:. 2004.

OKSANEN, T.; SUOMI, P.; VISALA, A.; HAAPALA, H. ISOBUS compatible implements in the project AGRIX. In: European Conference On Precision Agriculture, 5., 2005, Uppsala, Sweden. Proceedings... Uppsala, 2005.

PEREIRA, R. R. D. Protocolo ISO 11783: Procedimentos para comunicação serial de dados com o Controlador de Tarefas. 188 p. 2008. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2008.

PEREIRA, R. R.; LOPES, W. C.; SOUSA, R. V.; PORTO, A. J.; INAMASU, R. Y. Object oriented C++ library IsoAgLib study and implementation from the remote CAN-Based Distributed Control System. In: IEEE International Conference of Control and Automation - ICCA, 9., 2011, Santiago, Chile. Proceedings... ICCA, 2011.

PESONEN, L.; KAIVOSOJA, J.; VIROLAINEN, V.; OITTINEN, J.; KIVIPELTO, J. Remote Assisted Task Management for ISOBUS Equipped Tractor- Implement Combination. Agricultural Engineering International: CIGR E-journal. v. 9, p. 8. July 2007.

SAE. Recommended Practice for a Serial Control and Communications Vehicle Network. Vehicle Application Layer. SAE J1939/71. Warrendale, 2003.377p.

SAE. Recommended Practice for a Serial Control and Communications Vehicle Network. Network Layer . SAE J1939/31. Warrendale, 2004. 27p.

SAKAI, R.M.R.; CAVANI, F.A.; SOUSA, R.V.; INAMASU, R.Y.; PORTO, A.J.V. (2007a). Softwares para desenvolvimento de aplicações ISOBUS. SBIAgro 2007 - 6º Congresso Brasileiro de Agroinformática, p. 301-305. 8-11 outubro 2007, São Pedro - SP, Brasil.

SAKAI, R.M.R.; PEREIRA, R.R.D.; SOUSA, R.V.; INAMASU, R.Y.; PORTO, A.J.V. (2007a). Revisão do padrão ISOBUS para comunicação do implemento agrícola com Terminal Virtual e Controlador de Tarefas. SBIAgro 2007 - 6º Congresso Brasileiro de Agroinformática, p. 311-315. 8-11 outubro 2007, São Pedro - SP, Brasil.

SAKAI, R.M.R. Rede serial para comunicação de dados e controle em sistema embarcado: Estudo de implementação da ISO 11783. 119f. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2008.

SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E. Redes de comunicação serial em máquinas agrícolas: uma revisão. *Revista Brasileira de Agroinformática*, v. 8, n.1. p. 17–35, 2006.

SIGRIMIS, Nick et al. Prospects in agricultural engineering in the information age-technological developments for the producer and the consumer. *Agricultural Engineering International: CIGR E-journal*, v. 1. p. 21, July, 1999.

SOUSA, R. V.; INAMASU, R. Y.; TORRE-NETO, A. CAN (Controller Area Network): um padrão internacional de comunicação de transdutores inteligentes para máquinas agrícolas. Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos. Circular Técnica, 2001.

SOUSA, R.V. CAN (Controller Area Network): Uma abordagem para automação e controle na área agrícola. 2002. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

SOUSA, R.V.; LOPES, W.C; PEREIRA, R.R.D. INAMASU, R.Y. Estudo dos elementos mínimos para projeto de sistemas embarcados compatíveis para máquinas e implementos agrícolas. *Agricultura de Precisão - um novo olhar*, pp. 126–131, 2011.

SPECKMANN, H.; JAHNS, G. Development and application of an agricultural BUS for data transfer. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 23,n3. p. 219–237. Setembro. 1999.

STAFFORD, J. V. Implementing precision agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 76, n 3. p. 267–275, Julho. 2000.

STAFFORD, John V. Implementing precision agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 76, n. 3, p. 267-275, 2000.

STEINBERGER, G.; ROTHMUND, M.; AUERNHAMMER, H. Mobile farm equipment as a data source in an agricultural service architecture. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 65,n 2. p. 238–246. Março. 2009.

STONE, M.L.; MCKEE, K.D.; FORMWALT, C.W.; BENNEWEIS, R.K. (1999). ISO 11783: In electronic communications protocol for agricultural equipment. In: *Agricultural Equipment Technology Conference*. 1999. Kentucky, USA. *Proceedings...* Kentucky, 1999.

STRAUSS, C. Implementação e avaliação de uma rede experimental baseada em CAN para aplicações agrícolas. 2001. 66 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001.

SUOKANNAS, Antti *et al.* Automation and control system of tractor and loader wagon in forage harvesting. In: General Meeting of the European Grassland Federation: Grassland – a European Resource?, 24. 2012. Lublin, Poland. Proceedings... EGF, 2012.

TANEMBAUM, Andrews. Redes de Computadores. 4a. Edição. Editora Campus, Ltda , 1997.

TEEJET TECHNOLOGIES. IC18 Sprayer Job Computer: User Manual. Springfield: 2012. 62p.

Vector Informatik GmbH. User Manual: CANoe. Stuttgart: Vector Informatik GmbH, 2010. 188p.

Anexo A: Funções utilizadas e tratamento de eventos TECU

Os códigos mostrados são aqueles representados pelos fluxogramas mostrados no item 6.4.4. Testes funcionais. Nesse anexo, serão mostrados as linhas dos códigos fontes e os blocos funcionais que estes representam nos fluxogramas.

A1. Recepção das alterações de valores do engate traseiro.

Linha	Bloco	Código
1	1	if (getValue(EnvTECU_RearHitchUpSwitch) == 1) {
2	2	if (getValue(EnvTECU_RearHitchPosition) > 90) {
3	3	putValue(EnvTECU_RearHitchPosition, 100);
4		}
5	4	else {
6		putValue(EnvTECU_RearHitchPosition, getValue(
7		EnvTECU_RearHitchPosition) + 10);
8	5	}
9		UpdatePanel();
10	6	}
11	6	else if (getValue(EnvTECU_RearHitchDownSwitch) == 1) {
12	7	if (getValue(EnvTECU_RearHitchPosition) < 10) {
13		putValue(EnvTECU_RearHitchPosition, 0);
14	8	}
15	8	else {
16		putValue(EnvTECU_RearHitchPosition, getValue(
17	5	EnvTECU_RearHitchPosition) - 10);
		}
		UpdatePanel();
		}

A2. Recepção das alterações de valores do engate frontal

Linha	Bloco	Código
1	1	if (kTractorClassF == 1) { // Suporte para engate frontal.
2		
3	2	if (getValue(EnvTECU_FrontHitchUpSwitch) == 1) {
4	3	if (getValue(EnvTECU_FrontHitchPosition) > 90) {
5	4	putValue(EnvTECU_FrontHitchPosition, 100);
6		}
7	5	else {
8	5	putValue(EnvTECU_FrontHitchPosition, getValue(
9		EnvTECU_FrontHitchPosition) + 10);
10	6	UpdatePanel();
11		}
12	7	else if (getValue(EnvTECU_FrontHitchDownSwitch) == 1) {
13	7	if (getValue(EnvTECU_FrontHitchPosition) < 10) {
14	8	putValue(EnvTECU_FrontHitchPosition, 0);
15		}
16	9	else {
17	9	putValue(EnvTECU_FrontHitchPosition, getValue(
		EnvTECU_FrontHitchPosition) - 10);

A3. Transmissão de dados do engate traseiro

linha	bloco	Código
1		void TransmitPrimaryOrRearHitchStatus()
2		{
3	1	pg RHS_TECU rhs;
4		
5	2	if ((GetValue(EnvTECU_RearHitchPosition) < 30){
6	3	rhs.RearHitchInWorkIndication = 1;}
7	4	else {
8		rhs.RearHitchInWorkIndication = 0;}
9		
10	5	rhs.RearHitchPosition.phys =GetValue(EnvTECU_RearHitchPosition);
11		rhs.RearNominalPowerLinkForce = 0xffff;
12		
13	6	if (kTractorClass >= 2) {
		rhs.RearDraft.phys = GetValue(EnvTECU_RearHitchDraft1) +
7		GetValue(EnvTECU_RearHitchDraft2) + GetValue(EnvTECU_RearHitchDraft3)
		+ GetValue(EnvTECU_RearHitchDraft4) +
		GetValue(EnvTECU_RearHitchDraft5); }
14		
15	8	else {
16		rhs.RearDraft = 0xffff; }
17	9	output (rhs);}

A.4. Transmissão dos valores do engate dianteiro

linha	bloco	código
1		void TransmitFrontHitchStatus()
2		{
3	1	pg FHS_TECU fhs;
4		
5	2	if(GetValue(EnvTECU_FrontHitchPosition) < 30) {
6	3	fhs.FrontHitchInWorkIndication = 1;}
7	4	else {
8	4	fhs.FrontHitchInWorkIndication = 0; }
9	5	fhs.FrontHitchPosition.phys = GetValue(EnvTECU_FrontHitchPosition);
10	5	fhs.FrontNominalLowerLinkForce = 0xffff;
		 fhs.FrontDraft.phys = GetValue(EnvTECU_FrontHitchDraft1) + GetValue(EnvTECU_FrontHitchDraft2) + GetValue(EnvTECU_FrontHitchDraft3) + GetValue(EnvTECU_FrontHitchDraft4) + GetValue(EnvTECU_FrontHitchDraft5) + GetValue(EnvTECU_FrontHitchDraft6);
11	5	
12	6	output(fhs); }

A5. Recepção de alterações da chave de ignição

Linha	Bloco	Código
1		on envVar EnvTECU_KeySwitch //
2	1	{ // Bloco de início. Não tem função no programa
3	2	if (getValue(this) == 1) {
4	3	writeDbgLevel(kDbgInfo, "<%s> Key switch on", gECULabel);
5	3	PowerStartUp(); }
6	4	else if (TECUState == 1) {
7	4	writeDbgLevel(kDbgInfo, "<%s> TECU: Key switch on", gECULabel);
8	4	PowerPreShutDown(); } }
9	5	// Bloco final. Não tem função no programa

A6. Transmissão de dados das luzes do trator

Linha	Bloco	Código
1		void TransmitLightningCommand()
2		{
3	1	pg LIC_TECU lic;
4	2	int workLight, stopLight, markerLight;
5		
6	3	workLight = getValue(EnvTECU_RearWorkLight);
7	3	stopLight = getValue(EnvTECU_StopLight);
8	3	markerLight = getValue(EnvTECU_MarkerLight);
9	3	lic.DWORD(0) = lic.DWORD(1) = 0xffffffff;
10		
11	3	lic.LeftStopLightCmd = stopLight;
12	3	lic.RightStopLightCmd = stopLight;
13	3	lic.LeftTurnSignalLightCmd = getValue(EnvTECU_LeftTurnLights);
14	3	lic.RightTurnSignalLightCmd = getValue(EnvTECU_RightTurnLights);
15	3	lic.TractorMarkerLightCmd = markerLight;
16	3	lic.ImplementMarkerLightCmd = markerLight;
17	3	lic.ImplementRearWorkLightCmd = workLight;
18		
19	4	if (kTractorClass >= 2) {
20	5	lic.CentreStopLightCmd = stopLight;
21	5	lic.ImplementLeftFacingWorkLightCmd = workLight;
22	5	lic.TractorRearHighWorkLightCmd = workLight;
23	5	lic.TractorRearLowWorkLightCmd = workLight;
24	5	lic.ImplementRightFacingWorkLightCmd = workLight;
25	5	lic.TractorFrontHighWorkLightCmd = workLight;
26	5	lic.TractorFrontLowWorkLightCmd = workLight;
27	5	lic.TractorSideLowWorkLightCmd = workLight;
28	5	lic.TractorUndersideWorkLightCmd = workLight;
29	5	lic.AlternateHeadLightCmd = 0x03;
30	5	lic.BackUpLightAndAlarmHornCmd = 0x03;
31	5	lic.DaytimeRunningLightCmd = 0x03;
32	5	lic.LowBeamHeadLightCmd = 0x03;
33	5	lic.HighBeamHeadLightCmd = 0x03;
34	5	lic.ImplementLeftForwardLightCmd = 0x03;
35	5	lic.ImplementRightForwardLightCmd = 0x03;
36	5	lic.ImplementOEMOption1LightCmd = 0x03;
37	5	lic.ImplementOEMOption2LightCmd = 0x03;

```

38 5     lic.LightingDataRequestCmd           = 0x03;
39 5     lic.FrontFogLightCmd                 = 0x03;
40 5     lic.RearFogLightCmd                  = 0x03;
41 5     lic.RotatingBeaconLightCmd          = 0x03;
42 5     lic.TractorClearanceLightCmd        = 0x03;
43 5     lic.ImplementClearanceLightCmd      = 0x03;
44 5     lic.ImplementRearWorkLightCmd       = 0x03;   }
45
46 6     output(lic);
47
48 7     if (TECUHandle != 0) {
49 8         cancelTimer( TimerLight );
50 8         setTimer( TimerLight, 1000 );   }}

```

A7. Escolha do RPM da TDP da TECU.

linha	bloco	código
1		on envVar EnvTECU_chooseRPM
2	1	{ int escolheRPM;
3	2	escolheRPM=getValue(EnvTECU_chooseRPM);
4	3	if (escolheRPM==1){
5	4	kRPM=1000;}
6	5	else kRPM=540;}

A8. Transmissão dos dados da TPD traseira

linha	bloco	código
1		void TransmitRearPTOOutShaft()
2		{
3	1	pg RPTO_TECU rpto;
4		
5	2	rpto.RearPTOEconomyMode = 0x03;
		rpto.RearPTOEngagement =
6	2	GetValue(EnvTECU_RearPTOShaftEngagement);
7	2	rpto.RearPTOMode = 0x03;
8	3	if (GetValue(EnvTECU_RearPTOShaftEngagement) == 1) {
		rpto.RearPTOOutputShaftSpeed.phys=
9	4	GetValue(EnvTECU_RearPTOShaftSpeed); }
10	5	else {
11	5	rpto.RearPTOOutputShaftSpeed.phys = 0;}
12	6	rpto.RearPTOOutputShaftSpeedSetPoint = 0xffff;

```
13 6  output (rpto); }
```

A9. Transmissão dos dados da TPD frontal

Linha	bloco	Código
1		void TransmitFrontPTOOutShaft()
2		{
3	1	pg FPTO_TECU fpto;
4	2	fpto.FrontPTOMode = 0x03;
5	2	fpto.FrontPTOEconomyMode = 0x03;
6	2	fpto.FrontPTOEngagement = GetValue(EnvTECU_FrontPTOShaftEngagemen);
7	3	if (GetValue(EnvTECU_FrontPTOShaftEngagemen) == 1) {
8	4	fpto.FrontPTOOutShaftSpeed.phys = GetValue(EnvTECU_FrontPTOShaftSpeed); }
9	5	else {
10	5	fpto.FrontPTOOutShaftSpeed.phys = 0; }
11	6	fpto.FrontPTOOutShaftSpeedSetPoint = 0xffff;
12	6	output(fpto); }

A10. Envio de dados de velocidade baseada nas rodas, ou velocidade teórica.

Linha	Bloco	Código
1		void TransmitWheelBasedSpeedAndDistance()
2		{
3	1	pg WBSD_TECU wbsd;
4		
5	2	wbsd.KeySwitchState = GetValue(EnvTECU_KeySwitch);
6	2	wbsd.MaxTimeOfTractorPower = 0xff;
7	2	wbsd.WheelBasedSpeed.phys = GetValue(EnvTECU_TractorSpeed)/3.6;
8		
9	3	if (kTractorClass >= 2) {
10	4	wbsd.WheelBasedDirection = wbsd.WheelBasedDirection::Forward;
11	4	wbsd.WheelBasedDistance.phys = gWheelBasedDistance;
12	5	else {
13	5	wbsd.WheelBasedDirection = 0x03;


```

14 5      wbsd.WheelBasedDistance      = 0xffffffff;}
15
16 6      output(wbsd);}

```

A11. Envio de dados de velocidade baseada no solo.

Linha	Bloco	Código
1		void TransmitGroundBasedSpeedAndDistance()
2		{
3	1	pg GBSD_TECU gbsd;
4		
5	2	gbsd.GroundBasedImplementedSpeed.phys = GetValue(EnvTECU_TractorSpeed) / 3.6;
6		
7	3	if (kTractorClass >= 2) {
8	4	gbsd.GroundBasedDirection = gbsd.GroundBasedDirection::Forward;
9	4	gbsd.GroundBasedDistance.phys = gGroundBasedDistance; }
10	5	else {
11	5	gbsd.GroundBasedDirection = 0x03;
12	5	gbsd.GroundBasedDistance.phys = 0xffffffff; }
13		
14	6	output(gbsd); }

A12. Trajetória do sistema de GNSS

```
linha  bloco  código
1      InitWaypoints()
2      {
3      1  int i;
4      // Configuração do ponto de partida.
5      2  GNSSSetRefPoint(-21.9545361, -47.8535738, 303 /* LANAPRE SÃO
        CARLOS*/);
6      2  GNSSAddWpRef( 0, 0, 0 ); // Nova referência para movimentação.
7      2  // Configuração da largura das Raias de aplicação.
8      3  for( i = 0; i < 2; i++ ) {
9      4      GNSSAddWpRel( 200, 0, 0 ); // "Altura da raia"
10     4      GNSSAddWpRel( 0, 20, 0 ); // "Largura da raia"
11     4      GNSSAddWpRel(-200, 0, 0 );
12     4      GNSSAddWpRel( 0, 20, 0 ); }
13     // Configuração do ponto de volta.
14     5  GNSSAddWpRel( 200, 0, 0 );
15     5  GNSSAddWpRel( 0, 20, 0 );
16     5  GNSSAddWpRel(-220, 0, 0 );
17     5  GNSSAddWpRef( 0, 0, 0 ); }
```