MARCELO FREIRE DE BARROS

**Seletor adaptativo de tecnologia de comunicação para nós
multitecnológicos em aplicações agrícolas**

São Paulo

2016

MARCELO FREIRE DE BARROS

**Seletor adaptativo de tecnologia de comunicação para nós
multitecnológicos em aplicações agrícolas**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Ciências

Orientador:

Prof. Livre-docente Carlos Eduardo Cugnasca

São Paulo

2016

MARCELO FREIRE DE BARROS

**Seletor adaptativo de tecnologia de comunicação para nós
multitecnológicos em aplicações agrícolas**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Ciências

Área de Concentração:
Engenharia de Computação

Orientador:
Prof. Livre Docente Carlos Eduardo Cugnasca

São Paulo

(2016)

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Barros, Marcelo Freire de

Seletor adaptativo de tecnologia de comunicação para nós multitecnológicos em aplicações agrícolas. / M. F. Barros -- versão corr. -- São Paulo, 2016. 138 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1.Wireless 2.Agricultura de precisão 3.Comunicações digitais 4.Computação reconfigurável 5.Internet das coisas I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II.t.

À minha esposa que, além das contribuições valiosas que deu diretamente a este trabalho, sempre foi uma grande incentivadora, muitas vezes abrindo mão do convívio pessoal para que o trabalho pudesse ser realizado dentro do tempo previsto.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pela graça de ter tido a oportunidade de realizar este trabalho.

Ao meu orientador, professor Carlos Eduardo Cugnasca, pela sua orientação segura e precisa durante todo o período de desenvolvimento deste trabalho e, sobretudo, pelo constante incentivo ao longo desses muitos anos de convivência.

Aos professores Antonio Mauro Saraiva e André Hirakawa, pelas valiosas contribuições por ocasião do exame de qualificação, as quais foram fundamentais para o resultado deste trabalho.

Ao prof. Jose Paulo Molin e à sua equipe, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP, pelo apoio nos ensaios de campo.

À Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia – FDTE, pela bolsa oferecida.

Aos meus colegas Luis Otávio Lamardo, Marcelo Pierossi, Mara Dota e Leonardo Campos, pelas contribuições que deram a este trabalho e, principalmente, pelo convívio ao longo desses anos.

Aos funcionários do Laboratório de Automação Agrícola Edson de Sousa e Lourdes K. Takigami, pelo apoio nos ensaios.

...porque o Senhor é quem dá a sabedoria, e de sua boca é que procedem a ciência e a prudência (Pr 2,6).

RESUMO

Os processos de produção e distribuição agrícolas fazem uso de diversas tecnologias usadas para coleta de dados e gerenciamento de recursos e atividades, dentre as quais as Redes de Sensores Sem Fio, Identificação por Radiofrequência e o Wi-Fi. Devido a falhas na infraestrutura e variações ambientais, essas tecnologias possuem diversas limitações, como por exemplo, o atraso com que os dados chegam aos sistemas de gerenciamento, comprometendo a eficiência do processo. Uma solução com nós multitecnológicos, baseada nos princípios da Internet das Coisas, poderia oferecer dados de todo o processo produtivo e de distribuição, em tempo real; mas, para que esta solução seja realmente eficiente, necessita de um seletor adaptativo de tecnologias de comunicação para os “objetos” de campo que se adapte ao ambiente em tempo de execução. O objetivo deste trabalho é propor e avaliar a funcionalidade de um seletor adaptativo para esse fim. Para a proposição do seletor, buscou-se embasamento em técnicas adaptativas que oferecessem solução adequada para processos de aprendizagem pelo seletor. Dentre essas técnicas, elegeram-se as Árvores de Decisão Adaptativas para implementar a operação do seletor. A funcionalidade do seletor foi avaliada por simulações, tanto quanto ao aspecto de seleção da opção tecnológica mais adequada para o momento e a situação em questão, quanto à facilidade de se adaptar a mudanças de cenário. Os resultados das avaliações mostram que a simulação inicial, feita a partir de um cenário correspondente à fase inicial de uma cultura de milho não apresenta resultados satisfatórios. Entretanto, após alguns ciclos de aprendizagem do seletor, os resultados evoluem e superaram as exigências de qualidade propostas. Em uma segunda fase, novas simulações foram realizadas, alterando-se o cenário inicial para que, aos poucos, correspondesse à fase de colheita do milho. Nestas simulações, o processo de aprendizagem continuou ocorrendo sempre que as exigências de qualidade deixaram de ser satisfeitas, até que alcançassem a qualidade de comunicação exigida. Estes resultados permitiram concluir pela validade do seletor proposto.

Palavras-Chave: Engenharia de Computação. Telecomunicações. Internet das Coisas. Agricultura de Precisão. Técnicas Adaptativas.

ABSTRACT

Agricultural production and distribution processes employ different technologies. They are used for data collection and management of resources and activities, among which Wireless Sensor Networks, Radiofrequency Identification and WiFi. These technologies have several limitations due to flaws in infrastructure and environmental variability. For example, data arrive at management systems late, compromising process efficiency. Multi-technology nodes can be a solution to obtain real-time data from the production and distribution processes, particularly if Internet of Things principles are present. Yet, for this solution to be efficient, a communication technology selector for field “*objects*” must be necessary, which must adapt to the environment in run time. Therefore, the goal is to propose and to assess this Selector functionality. This proposition was based on adaptive techniques, which offered an appropriate solution for learning processes by the selector, such as the Adaptive Decision Tree. The selector uses an Adaptive Decision Tree to select the communication technology. The selector functionalities, such as the appropriate technology selection for the moment and how they adapt changes in scenario, were evaluated by the simulation method. Evaluation results show that simulations made from a scenario corresponding to the initial phase of a corn crop did not show satisfactory, but the results evolved and met the quality requirements after some learning cycles. In a second step, new simulations were conducted, changing the scenario slowly to the harvest phase. The learning process continued to occur whenever the quality requirements were no longer met. These results showed the validity of the proposed selector.

Keywords: Computation Engineering. Telecommunications. Internet of things. Precision Agriculture. Adaptive Technology

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Exemplo da aplicação da norma ISO 11783, em um conjunto trator-implemento.....	29
Figura 2 Ilustração do funcionamento de Rede de Sensores Sem Fio em monitoração agrícola.....	32
Figura 3 - Estrutura física proposta para a IoT	38
Figura 4- Blocos Funcionais de um <i>middleware</i> para IoT	40
Figura 5- Blocos Funcionais do <i>middleware</i> da IoT afetados pela proposta	69
Figura 6 - Representação do SATeC (em amarelo) como bloco funcional para o sistema de gestão baseado em IoT	69
Figura 7- Representação do módulo de seleção do SATeC.	71
Figura 8 - Ilustração de nó (à esquerda), transceptor (ao centro) e gateway (à direita) da linha eKo e tela do eKoView (ao fundo).	80
Figura 9 - Hastes de PVC p/ fixação do nó eKo	81
Figura 10 - Posicionamento dos nós no ensaio.	83
Figura 11 - Esquema do fluxo de dados do simulador	86
Figura 12– Esquema para obter o conjunto-exemplo de dados dos cenários.....	87
Figura 13 - Weka Explorer, ferramenta para construção de árvores de decisão.....	88
Figura 14– ADA 1 gerada pela ferramenta Weka Explorer	92
Figura 15 – ADA 2 gerada pela ferramenta Weka.....	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação entre funcionalidades dos <i>middleware</i> para IoT.	44
Quadro 2 -Tecnologias de Comunicação disponíveis nos <i>middleware</i> para IoT.....	45
Quadro 3 – Características de <i>Middleware</i> Adaptativos.....	46
Quadro 4 - Possíveis variáveis para a Árvore de Decisão Adaptativa	72
Quadro 5 - Posicionamento dos nós no cenário 1.....	75
Quadro 6 - Posicionamento dos nós no cenário 2.....	76
Quadro 7 – Limite das variáveis que definem o cenário 1.....	76
Quadro 8 – Limite das variáveis que definem o cenário 2.....	76
Quadro 9 - Índice Kappa	90
Quadro 10 - Acurácia por classe simulação da ADA 1 sobre Cenário 1	94
Quadro 11 - Acurácia por classe da simulação da ADA 1 sobre Cenário 2	95
Quadro 12 - Acurácia por classe da simulação da ADA 2 sobre cenário 2	96
Quadro 13 - <i>Kappa</i> das simulações da ADA 1 e ADA 2.....	98
Quadro 14 - <i>Kappa</i> das simulações da ADA 1 sobre os Cenários 1 e 2	99
Quadro 15 - $PER_{(médio)}$ x nó sem o SATeC (cenário 1).....	101
Quadro 16 - $PER_{(médio)}$ x nó com o SATeC (Cenário 1).....	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1G/2G/3G/4G	1a geração/2a geração/3a geração/4a geração
1xRTT	<i>Radio Transmission Technology</i>
ACE	<i>Adaptive Communication Environment</i>
ADA	Árvore de Decisão Adaptativa
AP	Agricultura de Precisão
ARLES	<i>Architecture Logicielles et Systèmes Distribués</i>
ASAE	<i>American Society of Agricultural Engineers</i>
Auto-ID	<i>Auto-Identification</i>
CAIs	Complexos Agroindustriais
CCT	Corte, Carregamento e Transporte
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CIAO	<i>Component-Integrated ACE ORB</i>
CoMPaaS	<i>Cooperative Middleware Platform as a Service</i>
CORBA	<i>Common Object Request Broker Architecture</i>
CUPUS	<i>Cloud-based Publish/Subscribe</i>
DCOM	<i>Distributed Component Object Model</i>
DIN	<i>German Institute for Standardization</i>
ECB	<i>Electronic Code Bar</i>
ECP	<i>Electronic Code Product</i>
ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
EDGE	<i>Explicit Data Graph Execution</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
EVDO	<i>Evolution-Data Optimized</i>
FAO	<i>Food and Agricultural Organization</i>
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FTS	<i>File Transfer Service</i>
GNSS	Sistemas de Navegação Global por Satélites
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile</i>
GSN	<i>Global Sensor Network</i>

Abreviaturas	(Continuação)
HLA	<i>High Level Architecture</i>
HORUS	<i>HLA Operative Relay Using Sockets</i>
HSCSD	<i>High Speed Circuit-Switched Data</i>
HSDPA	<i>High-Speed Downlink Packet Access</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
HSUPA	<i>High-Speed Uplink Packet Access</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IoT	<i>Internet of Things ou Internet das Coisas</i>
IOTMDB	<i>Internet of Things Massive Data Base</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
INRIA	<i>Institut National de Recherche Dédié au Numérique</i>
IRL	<i>Interoperable Replication Logic</i>
ISIS	<i>Interactive Similarity Search</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISOBUS	<i>Bus ISO</i>
MCS	<i>Mobile Crowd Sensing</i>
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts
NoSQL	<i>Not Only SQL</i>
Nti	número total de instâncias
OGS	<i>Oracle GlassFish Server</i>
OMG	<i>Open Management Group</i>
ORB	<i>Object Request Broker</i>
PER	<i>Packet Error Rate</i>
pH	potencial hidrogeniônico
PIPE	Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas
PVC	<i>Polyvinyl Chloride</i>
QuO	<i>Quality Objects</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RMI	<i>Remote Method Invocation</i>
RSSF	Rede de Sensores Sem Fio

Abreviaturas	(Continuação)
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SATeC	Seletor Adaptativo de Tecnologia de Comunicação
SIRENA	<i>Service Infrastructure for Real-time Embedded Networked Devices</i>
SOA	<i>Service Oriented Architecture</i>
SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
Ta	Taxa de Acerto
TAO	<i>The ACE ORB</i>
TAO-LB	<i>TAO-Load Balancing</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
UBISOAP	<i>Ubiquitous SOAP</i>
UIC	<i>Universal Interoperable Core</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
USA	<i>United State of America</i>
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
WEKA	<i>Waikato Environment for Knowledge Analysis</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>
XMPP	<i>eXtensible Messaging and Presence Protocol</i>
ZEN	<i>Z-engine</i>

SUMÁRIO

RESUMO.....	1
ABSTRACT	2
LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	5
1. INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTO.....	13
1.2 O TEMA.....	14
1.2.1 Importância para o setor agrícola	15
1.2.2 Justificativas acadêmicas	16
1.3 FORMULAÇÃO DA TESE	17
1.3.1 Questões de Pesquisa	17
1.3.2 Enunciado da Tese	18
1.3.3 Objetivo.....	18
1.3.4 Originalidade	19
1.4 O MÉTODO.....	20
1.4.1 Pesquisa bibliográfica	20
1.4.2 Etapa Experimental	21
1.5 ESTRUTURA DA TESE.....	21
2. TECNOLOGIAS APLICÁVEIS À AGRICULTURA.....	23
2.1 AVANÇOS TECNOLÓGICOS RECENTES	23
2.1.1 Sistemas de Apoio a Gestão da Produção Agrícola	24
2.1.2 Sistemas Logísticos e de estocagem	24
2.1.3 Sistemas de Rastreamento	25
2.1.4 Sensoriamento eletrônico do solo, do clima e das plantas	26

2.1.5 Sistemas de Navegação Global por Satélites.....	26
2.2 TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO DIGITAIS NA AGRICULTURA.....	27
2.2.1 O ISOBUS.....	28
2.2.2 O Wi-Fi/WiMAX	30
2.2.3 Redes de Sensores Sem Fio (RSSF).....	31
2.2.4 Comunicação Digital por células (GPRS/3G/4G).....	33
2.2.5 Comunicação digital por satélites	34
2.2.6 Radio-Frequency IDentification (RFID)	35
2.3 INTERNET DAS COISAS	37
2.4 MIDDLEWARE PARA INTERNET DAS COISAS.....	39
2.4.1 Principais Middleware propostos pela literatura.....	41
2.4.2 Comparação entre os Middleware	43
2.4.3 Middleware Adaptativos	46
2.5 APLICAÇÕES DA IOT NA AGRICULTURA	47
2.5.1 Gerenciamento do processo produtivo	47
2.5.2 Gestão do conhecimento agrícola	48
2.5.3 Monitoração de estoque	49
2.5.4 Logística	49
2.6 ÁRVORES DE DECISÃO ADAPTATIVAS.....	49
2.6.1 Tecnologia Adaptativa	50
2.6.2 Árvores de Decisão (AD).....	51
2.6.3 Algoritmos de Indução de Árvores de Decisão	52
2.6.4 Incluindo Adaptabilidade às Árvores de Decisão	54
2.7 SÍNTESE DO CAPÍTULO	55
3. COMUNICAÇÃO DIGITAL EM APLICAÇÕES AGRÍCOLAS	56
3.1 PROCESSO AGROINDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR	56
3.1.1 Processo de Corte, Carregamento e Transporte da Cana-de-açúcar	56

3.1.2 Problemas do processo de CCT da Cana-de-açúcar	57
3.1.3 Uma possível Solução por meio da Internet das Coisas.....	59
3.2 RASTREABILIDADE DE PRODUTOS AGRÍCOLAS	60
3.2.1 Processo de Rastreabilidade na Produção e Distribuição do Tomate.....	61
3.2.2 Problemas do processo de Rastreabilidade do Tomate	62
3.2.3 Uma possível solução: comunicação em tempo-real.....	63
3.3 RESUMO DO CAPÍTULO.....	64
4. SELETOR ADAPTATIVO DE TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO (SATEC).....	65
4.1 SÍNTESE DO SATEC.....	65
4.1.1 Requisitos para a proposta.....	65
4.1.2 A Solução proposta	66
4.2 O SATEC EM APLICAÇÕES DE IoT	68
4.2.1 Como o SATEC se insere na IoT	68
4.2.2 Detalhamento do SATEC.....	69
4.3 A ÁRVORE DE DECISÃO ADAPTATIVA DO SATEC	71
4.3.1 Montagem da ADA	71
4.3.2 Adaptabilidade da ADA	72
4.4 RESUMO DO CAPÍTULO.....	73
5. ETAPA EXPERIMENTAL: ENSAIOS EM CAMPO E SIMULAÇÕES.....	74
5.1 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS: DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS.....	74
5.1.1 Variáveis com valores fixos	74
5.1.2 Limites de Valores das Variáveis.....	76
5.2 PROPOSIÇÃO DE UM MODELO PARA SIMULAÇÃO	77
5.2.1 Modelo para o espaço livre	79
5.2.2 Modelo Log-Distance:	79

5.2.3 Modelo de Propagação de Shadowing	79
5.3 ENSAIOS DE CAMPO PARA CALIBRAR O MODELO DE SHADOWING.....	80
5.3.1 Materiais para os ensaios de campo	80
5.3.2 Ensaio em área aberta	81
5.3.3 Ensaio em área com obstáculos.....	82
5.3.4 Ensaio em uma Plantação de Milho	83
5.3.5 Modelo de Shadowing para Culturas Agrícolas	84
5.4 SIMULAÇÕES	84
5.4.1 Materiais para a fase de Simulação	85
5.4.2 Seleção das Ferramentas para a Simulação	85
5.4.3 O Simulador	86
5.4.4 A Sequência das Simulações	89
5.4.5 Estatística das simulações	90
5.5 RESUMO DO CAPÍTULO	91
6. RESULTADOS	92
6.1 ÁRVORES DE DECISÃO ADAPTATIVAS GERADAS	92
6.1.1 Árvore de Decisão Adaptativa 1	92
6.1.2 Árvore de Decisão Adaptativa 2	93
6.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	94
6.2.1 Resultados da Simulação do Cenário 1.....	94
6.2.2 Resultado da Simulação com Troca do Cenário 1 para o Cenário 2	95
6.2.3 Resultado da Simulação do Cenário 2 sobre a ÁDA 2	95
6.3 RESUMO DO CAPÍTULO	96
7. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
7.1 COERÊNCIA DOS RESULTADOS	97
7.1.1 Coerência das ADAs obtidas.....	97
7.1.2 Coerência dos Resultados das simulações	97

7.2 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	99
7.2.1 A aprendizagem do SATeC.....	99
7.2.2 A Introdução do nó móvel.....	99
7.2.3 Influência da Tensão das Baterias	100
7.2.4 Adequação dos Elementos de Campo ao Hardware	100
7.3 COMPARAÇÃO COM SISTEMAS SEM O SATeC	101
7.4 RESUMO DO CAPÍTULO.....	102
8. CONCLUSÕES	103
8.1 QUANTO AOS OBJETIVOS.....	103
8.2 QUANTO ÀS APLICAÇÕES.....	103
8.3 QUANTO ÀS CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	104
8.4 QUANTO A POSSÍVEIS MELHORIAS NO SATeC	105
8.5 QUANTO A DIFICULDADES ENCONTRADAS	106
8.6 QUANTO A NOVOS QUESTIONAMENTOS.....	107
8.7 QUANTO A TRABALHOS FUTUROS	108
8.7.1 Possíveis Teses a serem defendidas	108
8.7.2 Possíveis Dissertações de Mestrado.....	108
8.7.3 Trabalhos Acadêmicos de Desenvolvimento e Aplicação.....	109
REFERÊNCIAS.....	110
APÊNDICE A – Conjunto-exemplo do Cenário 1	121
APÊNDICE B – Conjunto-exemplo do Cenário 2	131

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentado o contexto que envolve a pesquisa, com o intuito de delimitar o seu alcance. Além disso, são apresentados o tema, sua importância e suas justificativas acadêmicas, a proposta de tese, os objetivos, a originalidade e o método para a sua realização.

1.1 CONTEXTO

A associação de uma política econômica orientada para o comércio global e para o aumento da competitividade nacional frente ao comércio exterior a um modelo de produção de *commodities* agrícolas em grandes propriedades levou o Brasil a um grande crescimento da sua produção, sobretudo após a década de 1990 (CARVALHO e SILVA, 2008). Esse modelo permitiu que os investidores agrícolas brasileiros se voltassem ao uso intensivo da mecanização (RODRIGUES e SAAB, 2007; NOGUEIRA, 2001) e abriu espaço para o desenvolvimento de pesquisas visando, principalmente, ao aumento de produtividade e de qualidade na indústria agropecuária (CAMPANHOLA, 2005).

Não obstante este cenário, em estudos desenvolvidos para o *United State Departament of Agriculture* (USDA), Lee (2005) conclui que a velocidade e a intensidade de novos crescimentos no setor agrícola brasileiro estão vinculadas a maior desenvolvimento da infraestrutura e à absorção de novas tecnologias. Citando proposta da *Food and Agricultural Organization* (FAO), Lee (2005) afirma que o modelo com foco apenas na produção de *commodities* não é suficiente para a continuidade do crescimento. Destaca, ainda, que a introdução do conceito de sustentabilidade (ambiental, social e econômica) é fundamental para o futuro da agricultura, ou seja, é necessária a implantação de novas tecnologias que contemplem, entre outros, os aspectos de sustentabilidade.

Portanto, todos os elementos que direcionam (*drivers*) a produção agrícola nacional devem ser repensados sob a ótica da sustentabilidade. Dentre eles, destaca-se a aplicação mecanizada de insumos, particularmente em grandes propriedades, usualmente padronizada pela média das condições das diversas áreas de produção. Ao se padronizar pela média, há áreas que recebem insumos acima de sua

necessidade enquanto outras recebem abaixo (COELHO, 2005). Em longo prazo, o uso não racional de insumos pode gerar tanto problemas de sustentabilidade como de outras naturezas. Neste contexto, algumas unidades agrícolas vêm introduzindo, em seu sistema de produção, práticas associadas à Agricultura de Precisão (AP) que consideram a variabilidade espacial e temporal, inicialmente com o objetivo de aumentar a produtividade, mas tendo como objetivos secundários a sustentabilidade e o aumento da qualidade (INAMASU e BERNARDI, 2012).

Para dar suporte à AP, diversas tecnologias de comunicação são necessárias, em especial as que permitem a conexão com a Internet. O paradigma tecnológico que sustenta esta conexão é denominado Internet das Coisas, ou do inglês, *Internet of Things* (IoT), que pode ser entendida como a possibilidade de se conectar o mundo físico (coisas) com o mundo digital por meio da Internet (DUQUENNOY, GRIMAUD, e VANDEWALLE, 2009). Entre as tecnologias que utilizam a comunicação digital, contempladas pela IoT, e que hoje estão presentes no campo, estão as Redes de Sensores sem Fio (RSSF), a Identificação por Radiofrequência (RFID), o Wi-Fi e a comunicação de dados por células. Entretanto, o paradigma que se apresenta é como utilizar tais tecnologias na agricultura de modo integrado e eficiente, sendo este o desafio enfrentado no presente trabalho.

1.2 O TEMA

O tema deste trabalho está relacionado ao uso da tecnologia de comunicação adequada às aplicações específicas de IoT na agricultura, cujos elementos de campo (as coisas) disponham de mais de uma opção de tecnologia de comunicação digital e estejam sujeitos a condições de contorno variáveis ao longo do espaço e tempo. Ou seja, o desenvolvimento do tema, está relacionado à proposição de uma interface – um seletor adaptativo - entre duas camadas definidas para sistemas de IoT: a camada *middleware* e a camada de borda.

1.2.1 Importância para o setor agrícola

A AP está cercada por grandes desafios advindos principalmente de problemas de comunicação, por exemplo, os apresentados nos itens “a”, “b” e “c”, a seguir. Tais problemas poderiam ser mais bem equacionados a partir da seleção automática da tecnologia de comunicação que fosse mais eficiente para cada caso em questão.

- a) Processo de Corte, Carregamento e Transporte (CCT) da cana-de-açúcar: este processo representa 25% dos custos da tonelada de cana (SCHEIDL e SIMON, 2012) e, mesmo com o emprego de tecnologias de comunicação como Wi-Fi e RFID em alguns sistemas de gestão, apresenta muitas ineficiências, dificultando a redução de custos para o agricultor. Uma solução que integre essas e outras tecnologias de comunicação de modo automático e com comunicação *on-line* pode contribuir para a melhoria do processo e consequente redução de custo e, inclusive, aumento de produtividade.
- b) Rastreabilidade no campo: diz respeito a aplicações que devem registrar e armazenar grande número de informações e eventos ocorridos durante o processo produtivo de determinados lotes de produtos agrícolas. Em geral, problemas verificados no produto final levam ao descarte de todo o lote, gerando grandes prejuízos (PAPETTI et al., 2012). Um processo que permitisse descartar apenas as unidades com problema minimizaria custos e aumentaria a produtividade. Portanto, o desafio está em criar sistemas de gestão que permitam obter informações relacionadas a pequenos lotes (no limite, uma unidade) (RUIZ-GARCIA, STEINBERGER e ROTHMUND, 2010) e disponibilizá-las ao gestor em tempo real, permitindo atuações corretivas quando necessárias.
- c) Integração de informações nos Complexos Agroindustriais (CAIs): Os CAIs são cadeias produtivas nas quais um produto agropecuário é insumo para uma indústria cujo produto é insumo para produção de outro produto agropecuário (PEREIRA et al., 2010). Um exemplo é a cadeia de produtos à base de frango, que se inicia com a produção do milho que é insumo para a produção de ração, que é insumo para a produção de frango. Estes, por sua vez, podem ser insumo para os frigoríficos que produzem inúmeros outros produtos à base de frango. A falta ou o atraso na informação sobre a produção do insumo, em qualquer elo da

cadeia, pode gerar desperdício ou escassez de recursos no elo seguinte comprometendo a eficiência de toda a cadeia. Pode, ainda, gerar prejuízos econômicos. Também neste caso, um sistema de comunicação automático e *on-line*, que integre os diferentes elos da cadeia, cada um com suas características e necessidades específicas, pode contribuir para redução de custos de produção, aumento de produtividade e até mesmo para a melhoria da qualidade dos produtos.

1.2.2 Justificativas acadêmicas

Diversos trabalhos acadêmicos têm sido publicados com foco em tecnologias de comunicação para IoT, mostrando a preocupação do meio científico com o tema. Algumas pesquisas relevantes para a agricultura e para o tema do trabalho são aqui destacadas:

- a) O *Institut National de Recherche Dédié au Numérique - Architecture Logicielles et Systèmes Distribués* (INRIA – ARLES) foi criado com o objetivo principal de discutir as abordagens da IoT e superar os seus desafios específicos, em especial em relação ao desenvolvimento de *middleware* orientados a serviços. Dentre os trabalhos do grupo citam-se os de: Teixeira et al. (2011) e Billet e Issarny (2015). Neste último trabalho é apresentado o *Dioptase - Data Streaming Middleware*, que faz uso de técnicas de *streaming* de dados visando facilitar o desenvolvimento de aplicações para IoT;
- b) Amaral et al. (2015) - desenvolveram o *Cooperative Middleware Platform as a Service* (CoMPaaS), uma plataforma de *middleware* baseada na Web que permite uma cooperação fácil e de baixo acoplamento entre aplicações e dispositivos da IoT;
- c) Sathyadevan, Achuthan e Poroor (2015) - apresentam uma série de recomendações visando à construção de arquiteturas de *middleware* para IoT;

- d) AntoniĆ et al. (2016) - desenvolveram o *Mobile Crowd Sensing* (MCS), um *middleware* baseado no *Cloud-based Publish/Subscribe* (CUPUS), destinado a aplicações com grande quantidade de “coisas” móveis.

1.3 FORMULAÇÃO DA TESE

O contexto anteriormente apresentado mostra os desafios tecnológicos e acadêmicos envolvidos com a aplicação de um novo paradigma de comunicação para melhoria dos processos agrícolas. Solucionar todos os problemas é tarefa extensa, não cabendo a uma só pesquisa. Assim, visando enunciar a tese e estabelecer os seus objetivos, são inicialmente apresentados questionamentos derivados das lacunas identificadas nos trabalhos científicos estudados sobre o tema e que direcionaram o desenvolvimento deste trabalho.

1.3.1 Questões de Pesquisa

- Qual o estágio atual das tecnologias de comunicação usadas na AP? Quais suas vantagens e limitações?
- Quais as estruturas de *middleware* para IoT propostas pela academia? Qual ou quais seriam as mais adequadas para o desenvolvimento deste trabalho?
- O que os pesquisadores indicam para sistemas de comunicação complexos como os apresentados neste trabalho? As técnicas adaptativas seriam uma possível solução?
- O uso de árvores de decisão adaptativas (ADA) responderia à problemática abordada neste trabalho?
- O que os trabalhos acadêmicos indicam para avaliar os resultados? Quais os parâmetros de referência?

1.3.2 Enunciado da Tese

Buscando responder estas e outras questões e avançar na busca por sistemas de comunicação na agricultura mais eficientes é que se apresenta a tese deste trabalho, assim enunciada:

“Em aplicações agrícolas que necessitem de comunicação em tempo real e que possam ser aplicados paradigmas de comunicação da IoT é possível que a um mesmo elemento de campo (coisa) sejam associadas diversas tecnologias de comunicação, passíveis de serem selecionadas automaticamente em tempo de execução, em função das variações de contexto”.

Para que se possa demonstrar essa tese, é apresentado, a seguir, o objetivo a ser alcançado.

1.3.3 Objetivo

Neste trabalho tem-se como objetivo a concepção e validação de um bloco funcional de comunicação digital aplicado a IoT que trabalhe, simultaneamente, com diversas tecnologias de comunicação e que selecione a que possibilite a qualidade de comunicação mais adequada a cada elemento de campo (em relação a uma dada aplicação e ao contexto em cada instante). Esse bloco funcional é aqui denominado Selecionador Adaptativo de Tecnologia de Comunicação - SATeC.

Devido à grande diversidade de aplicações e contextos, uma única lógica de seleção da tecnologia pode não ser eficiente; portanto, a lógica de seleção da tecnologia a ser usada deverá poder ser alterada em tempo real e de execução. Ou seja, sempre que ocorrerem alterações no contexto ou na aplicação, o sistema deverá se adaptar às novas condições, possivelmente fazendo uso de uma nova lógica de seleção de tecnologia de comunicação mais adequada ao novo contexto, tudo isto com o sistema em pleno funcionamento e sem interferência do usuário. Para tanto, o bloco funcional de seleção deverá fazer uso de técnicas adaptativas adequadas ao cenário estudado.

Em resumo o objetivo deste trabalho é propor o SATeC, bloco funcional para IoT, que possibilite a seleção eficiente em tempo de execução da tecnologia de comunicação digital para cada um dos elementos de campo por meio de técnicas adaptativas.

A validação do SATeC será feita por meio de simulações de cenários de aplicações agrícolas.

1.3.4 Originalidade

A originalidade desta pesquisa pode ser verificada a partir de demandas recentes explicitadas por trabalhos acadêmicos, aqui sintetizadas:

- Miorandi et al. (2012) fazem um resumo do estágio atual da IoT em que mostram dois grandes desafios a serem pesquisados: a identificação das “coisas” e a comunicação entre elas, particularmente a comunicação dos sensores e atuadores presentes nas “coisas”, de modo que possam operar independentemente da aplicação. Esses autores propõem, então, o desenvolvimento de trabalhos em que as “coisas” possam identificar as condições do ambiente local e agir a partir delas, sem a necessidade de uma configuração prévia específica.
- Bandyopadhyay et al. (2011) também destacam a necessidade de desenvolvimento de trabalhos em que a IoT seja provida de mecanismos de autoconfiguração, isto é, que descubram os dispositivos no campo e que estabeleçam, de modo dinâmico, os meios de comunicação e as rotas, para ambientes e cenários em constante mudança. A autoconfiguração dos dispositivos de campo está incluída no escopo desta proposta.
- Khan et al. (2012) também apresentam como desafios científicos o desenvolvimento de trabalhos em que os serviços da IoT sejam adaptáveis ao dinamismo do ambiente.
- Ainda que RSSF e RFID sejam tecnologias já aplicadas na agricultura, estas são soluções incompletas e insuficientes para a grande variedade de aplicações que existem no ambiente agrícola. Khan et al. (2012) listam diversas aplicações para IoT, as quais necessitam do desenvolvimento de trabalhos acadêmicos, entre as quais aplicações agrícolas. Também afirmam

que soluções para aplicações agrícolas são consideradas um importante desafio, uma vez que podem ser responsáveis pelo aumento da produtividade e por evitar condições inapropriadas da produção agrícola.

Em consonância a esses desafios acadêmicos, Dutra (2012) apresenta alguns *middleware* para IoT com técnicas adaptativas, como o *Common Object Request Broker Architecture* (CORBA), o *Java Remote Method Invocation* (Java RMI) e o *Java Remote Method Invocation* (Java RMI). Porém, estes *middleware* usam técnicas adaptativas apenas nas funções de abstração de contexto e gerenciamento dos serviços do *middleware*, não alcançando os elementos de campo e, por isto, não atendem aos problemas que se propõe resolver com este trabalho, apresentados no Capítulo 3.

O tema desenvolvido neste trabalho - que foca a seleção automática e *online* de tecnologias de comunicação – busca atender às necessidades de desenvolvimento destacadas por Miorandi et al. (2012) e estão em consonância com as propostas dos demais trabalhos apresentados neste item. Além disto, trata-se de um tema que foi contemplado, pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), com recursos do programa de Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (PIPE), no ano de 2015, sinalizando o seu caráter inovador e necessário.

1.4 O MÉTODO

O método utilizado foi o indutivo, ou seja a partir de uma pesquisa bibliográfica uma hipótese é formulada (item 1.3.2). Essa hipótese é detalhada e comprovada por experimentos de campo e simulações.

1.4.1 Pesquisa bibliográfica

A tese é fundamentada a partir de uma pesquisa e análise da literatura disponível e acessível sobre o tema. Neste estudo, buscou-se responder às questões de pesquisa, apresentadas no item 1.3.1, e reunir informações e conteúdos (apresentados nos Capítulos 2 e 3) que possibilitassem propor uma solução que atendesse às aplicações foco deste trabalho, ou seja, que permitissem desenvolver

um bloco funcional para IoT que possibilite a Seleção Automática de Tecnologias – SATeC.

1.4.2 Etapa Experimental

Para demonstrar que o SATeC atende às necessidades para as quais se destina, foi desenvolvida uma etapa experimental. em que foram realizados ensaios em campo e simulações. Os ensaios em campo foram realizados em dois cenários distintos com o objetivo de se definir parâmetros para o modelo a ser usado na simulação do SATeC, de modo a verificar a sua adaptação a cenários distintos

Os cenários foram criados a partir de medições realizadas em uma área da Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz (ESALQ-USP), no município de Piracicaba, Estado de São Paulo, destinada a ensaios agrícolas e a partir de informações meteorológicas da região obtidas do *site* Climatempo¹.

Após definido o modelo, as simulações foram realizadas com o objetivo de mostrar que o SATeC possibilita a seleção da tecnologia mais adequada ao cenário, como a sua lógica de seleção vai se adaptando as mudanças de cenário.

O método utilizado é detalhado no Capítulo 5, assim como são apresentados os materiais utilizados nos ensaios e simulações.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

A tese está dividida em cinco capítulos, sendo este o primeiro, no qual se apresentam, de forma sucinta, o tema, as motivações e as justificativas para escolha do tema. Também é apresentado o objetivo do trabalho, os materiais usados nos ensaios, um resumo do método utilizado para comprovar a tese e a estrutura da tese.

(2) <http://www.climatempo.com.br/previsao-do-tempo/cidade/513/piracicaba-sp> acessado em outubro de 2014

O Capítulo 2 contextualiza a tese frente aos avanços tecnológicos e científicos que vêm sendo e que poderão ser introduzidos na agricultura. Esse capítulo tem como objetivo apresentar e analisar as tecnologias que fundamentam a tese. Inicia-se com uma síntese dos principais avanços e detalham-se as principais tecnologias de comunicação digital na agricultura. Por fim, são abordados dois conceitos que vem sendo apresentados em diversos trabalhos acadêmicos: Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT) e as Árvores de Decisão Adaptativas (ADA).

O Capítulo 3 apresenta duas aplicações problema. O objetivo desse capítulo é mostrar as deficiências das tecnologias hoje empregadas e a necessidade de que sejam complementadas. A primeira aplicação é o processo de Corte, Carregamento e Transporte (CCT) da cana-de-açúcar, a segunda um processo de rastreabilidade da cultura do tomate.

No Capítulo 4 propõe-se o SATeC, o bloco funcional adaptativo que é o objeto principal deste trabalho. Além da sua proposição, é apresentado onde o SATeC está inserido, suas funcionalidades e a interface com as demais funções da IoT. Também é detalhada a árvore de decisão adaptativa na qual este se baseia.

O Capítulo 5 apresenta a etapa experimental do trabalho utilizada para demonstrar que a proposta atende aos objetivos. Esta etapa foi dividida em fase de campo, em que foram obtidos os parâmetros para o modelo a ser usado na segunda fase, a de simulação do SATeC. Nesse capítulo também são detalhados os cenários usados nas simulações do SATeC.

O Capítulo 6 apresenta os resultados das simulações e duas das árvores decisão adaptativas geradas.

No Capítulo 7 os resultados são avaliados e discutidos.

No Capítulo 8 são apresentadas as conclusões e, por fim, apresentam-se as referências utilizadas neste trabalho.

No final do trabalho se encontram-se dois apêndices, os quais referem-se aos dados utilizados para definição dos cenários utilizados nas simulações.

2. TECNOLOGIAS APLICÁVEIS À AGRICULTURA

Neste capítulo busca-se posicionar o tema do trabalho em relação aos avanços tecnológicos e científicos que são aplicáveis à agricultura. Para tanto, faz-se uma síntese dos principais avanços e, em seguida, são detalhadas as principais tecnologias de comunicação digital passíveis de serem empregadas na agricultura. Aborda-se também um conceito que vem sendo apresentado em diversos trabalhos acadêmicos relacionados à comunicação digital: *Internet das Coisas* ou *Internet of Things* (IoT), o qual tem grande potencial para ser mais explorado em aplicações na agricultura. Por fim é feito um resumo das técnicas adaptativas e em especial, das Árvore de Decisão Adaptativas (ADAs).

2.1 AVANÇOS TECNOLÓGICOS RECENTES

Até pouco tempo, falar em avanços tecnológicos na agricultura era falar de mecanização; porém, com a introdução das tecnologias de comunicação digital no campo, novos avanços têm sido possíveis, por exemplo, os que vêm sendo introduzidos no contexto da Agricultura de Precisão (AP).

A variabilidade espacial, por exemplo, princípio básico da AP, era conhecida há muitos anos, porém pouco utilizada, pois sem tecnologias de apoio, exigiam muito trabalho e retorno duvidoso. A AP somente se tornou viável quando tecnologias para obtenção de informação, indexação da informação no tempo e espaço, ferramentas de classificação e análise da informação e sistema de apoio à decisão, se tornaram disponíveis ao agricultor.

Segundo Lee (2005), não é possível aplicar os conceitos da AP sem uma base sólida de informações. Consequentemente a implantação efetiva da AP foi facilitada após os recentes avanços na capacidade de processamento de rede e dos computadores. O uso dos conceitos da AP na gestão de culturas agrícolas pode direcionar toda área agrícola a um processo mais sustentável, mais produtivo e com mais qualidade.

Com o auxílio de tecnologias de apoio como as redes de comunicação digital, os Sistemas de Navegação Global por Satélites (GNSS) e os sistemas de

gerenciamento de banco de dados foi possível desenvolver: sistemas de gestão da produção; sistemas logísticos e de estocagem; sistemas de rastreamento, entre outros avanços, alguns dos quais são apresentados e discutidos na sequência.

2.1.1 Sistemas de Apoio a Gestão da Produção Agrícola

A gestão da produção agrícola procura controlar todas as fases da produção e, para isto, fazem uso de diversos sistemas de apoio a gestão. Muitos destes sistemas já estão disponíveis no mercado, porém o meio acadêmico, em particular, tem trabalhado para que tais sistemas contemplem ações visando à sustentabilidade, particularmente ambiental e social, merecendo destaque os trabalhos de:

- Lewis e Bardon (1998), que propõem um sistema de gestão desenvolvido pela Universidade de Herfordshire e recomendado pela UK's Ministry of Agriculture, Fisheries and Food;
- Li et al. (2000) que desenvolveram um sistema de gestão de águas pluviais para ser integrado a sistemas de gestão mais amplos.
- Westerman e Bicudo (2005), que propõem um sistema de gestão de resíduos orgânicos;
- Voulodimos et al. (2010), que propõem um sistema de gestão voltado à pecuária baseado na tecnologia de RFID.

2.1.2 Sistemas Logísticos e de estocagem

Logística e estocagem têm sido um gargalo na produção agrícola, uma vez que a ineficiência destes elementos da produção pode comprometer a qualidade e aumentar desperdícios e custos da safra agrícola. Assim, pesquisadores têm buscado desenvolver sistemas que minimizem esse gargalo. Trabalhos que se destacam pelo foco em sistemas de logística e estocagem são os de:

- Larson et al. (2010), que fizeram um estudo de sistemas logísticos aplicado à produção e distribuição do pão nos Estados Unidos;
- Kalestad (2006), que desenvolveu e patenteou nos Estados Unidos um sistema para controlar o arejamento de grãos incorporado ao controle da estocagem agrícola;
- Toor e Savage (2006), que fizeram um estudo da variação nutricional sofrida por tomates durante o processo de estocagem, sob temperatura controlada no Texas-USA;
- Sorensen e Bochtis (2010), que desenvolveram um modelo conceitual para gerenciamento de frotas agrícolas para a Dinamarca;
- Vergara et al. (2007), que fizeram avaliação de um sistema logístico de frutas na Espanha.

2.1.3 Sistemas de Rastreamento

Muitos dos problemas de qualidade na agricultura só se tornam visíveis no final da cadeia de produção e de transporte, o que dificulta a solução e o dimensionamento do problema, uma vez que não se consegue determinar em que etapa ou em que local o problema ocorreu. Sistemas de rastreamento têm sido propostos pelo meio acadêmico, sendo que alguns foram introduzidos na cadeia agrícola.

Dentre os trabalhos que abordam sistemas de rastreamento destacam-se os de:

- Opara (2003), que realiza uma revisão dos conceitos envolvidos na rastreabilidade agrícola;
- Regattieri, Gamberi e Manzini (2007), que mostram a importância da rastreabilidade em todas as fases da cadeia de alimentos;
- Bosona e Gebresenbet (2013), que compilam 74 estudos científicos, realizados entre 2000 e 2013, que abordam a rastreabilidade na cadeia de alimentos.

2.1.4 Sensoriamento eletrônico do solo, do clima e das plantas

Segundo Atzberger (2013), o ambiente agrícola possui problemas que não são comuns a outros setores produtivos devido a fatores como a sazonalidade, que traz variações de clima, temperatura e umidade e dependência das condições físicas do ambiente como poeira, desníveis, irregularidade do solo, dentre outras. Todos estes fatores são altamente dependentes de espaço e tempo, o que mostra a necessidade de monitoramento constante (MEIRELES et al., 2007). Há cerca de duas décadas, diversos tipos de sensores aplicados às condições agrícolas vêm sendo desenvolvidos e introduzidos em campo para análise do solo, para monitoração do clima e do desenvolvimento das plantas (MULLA, 2013).

O emprego de sensores é fundamental na AP para obtenção de dados de variabilidade espacial e temporal e podem ser: diretos ou por contato, quando são posicionados no local; por varredura, quando são deslocados, envolvendo uma determinada área; ou remotos, quando os dados são obtidos a distância (SILVA et al., 2014).

Entre os trabalhos que demonstram a preocupação do meio científico com o tema tem-se:

- Mulla (2013) faz uma avaliação da aplicação de sensoriamento na agricultura nos últimos vinte e cinco anos;
- Ge, Thomasson e Sui (2011) estudam sensores de solo em aplicações de agricultura de precisão;
- Amaral et al. (2012) fazem um estudo do uso de sensores ópticos ativos terrestres na avaliação da recomendação de aplicação de nitrogênio em plantações de cana-de-açúcar.

2.1.5 Sistemas de Navegação Global por Satélites

Com a popularização dos GNSS, tem sido possível indexar as informações obtidas a partir dos sensores, assim como, automatizar a aplicação de insumos a taxas variáveis. Os sistemas de comunicação baseados em navegação global por satélite podem ser manuais, fornecendo apenas as coordenadas de posicionamento, ou

integrados a sensores ou a equipamentos de aplicação de insumos a taxas variáveis, de acordo com a posição geográfica. Estes sistemas também têm sido objeto de pesquisa no meio acadêmico, como demonstram trabalhos de:

- Stabile e Balastreire (2006), que avaliaram três tipos de equipamentos baseados no GNSS para determinar sua adequação às aplicações agrícolas de posicionamento geográfico;
- Machado et al. (2010), que realizaram estudos de desempenho cinemático de sistemas GNSS;
- Li et al. (2012), que fizeram uso do sistema Global Positioning System (GPS) em aplicações agrícolas visando auxiliar na obtenção de altitudes.

2.2 TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO DIGITAIS NA AGRICULTURA

A maioria dos avanços tecnológicos na agricultura fazem uso em maior ou menor escala da tecnologia de redes de comunicação digital que, nos últimos anos, tem sido introduzida no campo, como o ISOBUS, o Wi-Fi, as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) ou mesmo a comunicação de dados por meio da rede de celulares ou de satélites. Diversos trabalhos acadêmicos mostram aplicações nas quais tais redes podem ser usadas, dentre os quais:

- Meera, Jhamtani e Rao (2004), que fazem um comparativo entre três aplicações do uso de tecnologias de comunicação digital na Índia;
- Tseng et al. (2006), que fazem um estudo sobre o uso da comunicação de dados por meio da rede *Global System for Mobile* (GSM), em duas áreas agrícolas;
- Hu et al. (2009), que fazem uso das RSSF para obter informações sobre a qualidade da irrigação em uma cultura de cana-de-açúcar na Austrália;
- Rodrigues e Cugnasca (2014), que, usando RSSF, apresentam um modelo de rastreabilidade passível de ser aplicado ao ciclo de produção agrícola, visando identificar possíveis falhas do processo produtivo;
- Awasthi e Reddy (2013), que mostram o potencial do uso de RSSF em culturas de cana-de-açúcar na Índia.

Pela importância das tecnologias de redes de comunicação digital para os avanços na agricultura, elas são abordadas na sequência, dando-se destaque para alguns trabalhos acadêmicos que propõem o uso destas tecnologias na agricultura.

2.2.1 O ISOBUS

A norma ISO 11783, *Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network*, é o resultado dos esforços entre grupos de pesquisa europeus e norte-americanos, empresas, associações como o *German Institute for Standardization* (DIN), a *Society of Automotive Engineers* (SAE), a *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE) e a *International Organization for Standardization* (ISO), com o propósito de prover um padrão aberto para interconexão de sistemas eletrônicos embarcáveis em veículos agrícolas. Esta norma estabelece um barramento (cabos, conectores e fonte de energia) que interconecta os dispositivos eletrônicos embarcados, permitindo a comunicação de dados entre eles.

Para acelerar o processo de implantação dessa norma pelos fabricantes de equipamentos embarcados, foi criado um padrão, correspondente a uma versão simplificada da norma, chamado ISOBUS.

A norma ISO 11783 é dividida em partes, sendo as principais:

1. *General standard for mobile data communication;*
2. *Physical layer;*
3. *Data link layer;*
4. *Network layer;*
5. *Network management;*
6. *Virtual terminal;*
7. *Implement messages applications layer;*
8. *Power train messages;*
9. *Tractor Electronic Control Unit (ECU);*
10. *Task controller and management information system data interchange;*
11. *Mobile data element dictionary;*

12. *Diagnostic;*

13. *File Server.*

Novas partes estão sendo propostas, estudadas e aprovadas pelo comitê internacional de normatização, porém as partes relacionadas já estão sendo aplicadas. A Figura 1 mostra um exemplo de aplicação da norma.

Figura 1- Exemplo da aplicação da norma ISO 11783, em um conjunto trator-implemento

Fonte: Sousa et al., 2014

O *ISOBUS* padroniza a comunicação entre os equipamentos eletrônicos embarcados nos tratores e implementos agrícolas e, por meio de conceitos como o “*plug and play*”, cria compatibilidade entre equipamentos - independentemente do fornecedor - visando simplificar sua instalação (SAKAI e MILHOR, 2014). O *ISOBUS* também simplifica a operação dos equipamentos, pois todos passam a ser controlados por um único terminal (SOUSA et al., 2014). A tecnologia também controla a documentação das tarefas a serem executadas e gerencia a troca de dados com o computador da fazenda (SAKAI e MILHOR, 2014).

O *ISOBUS* simplifica a implantação da AP, uma vez que os operadores dos equipamentos recebem, do sistema de gerenciamento de produção, as tarefas a serem executadas diretamente nos terminais dos tratores. E, por meio de um controlador de tarefas embarcado, configuram os equipamentos em função de sua posição, a qual é obtida por um sistema de posicionamento global (SAKAI e MILHOR, 2014).

No entanto, o uso do ISOBUS tem limitações no processo de transferência de informação entre o computador da fazenda e o trator que, em geral, é feita apenas uma vez por dia, por meio de dispositivos de armazenamento de dados portáteis como CDs, *pen-drives* ou cartões de memória. O ISOBUS, por ser uma rede cabeada, não permite a comunicação com os sistemas de gestão alocados no escritório da fazenda; por isto, inviabiliza alterações no processo durante sua execução, não sendo possíveis rápidos redirecionamentos das tarefas que podem ser necessários em função de eventuais quebras de equipamentos, alterações climáticas e atrasos na logística.

2.2.2 O Wi-Fi/WiMAX

O Wi-Fi é o nome dado à rede de comunicação sem fio, baseada no padrão IEEE 802.11, que faz uso de faixas de frequências que não necessitam de licenças, desde que utilizadas em baixa potência e, por consequência, são de baixo alcance, sendo de, no máximo, 100 m para a versão IEEE 802.11a ou 300 m para a versão IEEE 802.11n. Comumente são utilizadas duas frequências de comunicação: 5 GHz na versão IEEE 802.11a e 2,4 GHz na versão IEEE 802.11n. A capacidade de transmissão vai de 2 Mbit/s, na versão IEEE 802.11a, até 600 Mbit/s, na versão IEEE 802.11n.

Devido à facilidade que ela apresenta em se conectar a redes cabeadas baseadas no padrão Ethernet, ao baixo custo dos equipamentos e à simplicidade de conexão, o Wi-Fi se tornou um dos padrões de comunicação de dados sem fio mais utilizados. Mas, apesar da popularização do Wi-Fi, o seu uso na área agrícola é limitado, principalmente devido ao baixo alcance de comunicação que ele proporciona (cerca de 300 m, no máximo) (PODEROSO et al., 2009).

Dadas as limitações do padrão Wi-Fi para a agricultura, alguns pesquisadores estão propondo o emprego do padrão *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, usualmente denominado WiMAX (OFORI-DWUMFUO e SALAKPI, 2011).

O WiMAX foi publicado pela primeira vez em 2002 como IEEE 802.16, com o objetivo de desenvolver e promover a compatibilidade da comunicação de dados em

metrópoles, em frequências de micro-ondas. O padrão é semelhante ao Wi-Fi, porém pode atingir taxas de transmissão acima de 1 Gbit/s e alcance de comunicação de até 90 km.

Dentre os trabalhos acadêmicos que propõem o uso do WiMAX na área agrícola, destacam-se os de:

- Ofori-Dwumfuo e Salakpi (2011), que publicaram os resultados de um estudo para implantação do Wi-Fi e do WiMAX para o ministério de alimentos e agricultura de Gana;
- Jha e Dalal (2012), que fazem um estudo de caso de governança rural, avaliando o desempenho da comunicação do WiMAX na Índia;
- Chaudhari et al. (2012), que propõem um sistema de conectividade baseado no WiMAX, para gerenciamento de dispositivos móveis no meio rural na Índia;
- Vorakulpipat et al. (2015), que fazem um relatório do desenvolvimento do WiMAX, para uma região rural na Tailândia.

Esse sistema possui limitações para o uso agrícola, destacando-se a necessidade de pelo menos uma estação base fixa para roteamento. Essa exigência dificulta a comunicação entre dois ou mais veículos agrícolas, uma vez que a informação transmitida por um veículo deverá passar por uma das estações base, para chegar ao outro, mesmo que os dois veículos estejam próximos entre si.

2.2.3 Redes de Sensores Sem Fio (RSSF)

As RSSF são muito usadas nos sistemas de gestão agrícola, tarefa fundamental na AP, pois permitem uma monitoração eficiente, em tempo real e com menores custos (SANTOS, DOTA e CUGNASCA, 2010)

Uma RSSF é uma rede *ad hoc* que faz uso do padrão IEEE 802.15.4 e permite a conexão de um número grande de sensores, sendo que a informação de um dado sensor é retransmitida de um para o outro, até chegar ao destino (RABER et al., 2013).

O padrão IEEE 802.15.4 é uma especificação física que prevê a conectividade entre equipamentos com baixa taxa de dados e que consomem pouca energia, que é o que ocorre com os sensores. Este padrão de comunicação é comumente usado para

quando as distâncias entre os elementos são curtas (poucos metros). Com um grande número de nós é possível cobrir grandes áreas, sem se preocupar com topologia ou roteamento (REHMAN et al., 2014 et al. 2014). A Figura 2 ilustra uma RSSF para uso agrícola.

Com a facilidade atual para se desenvolver e produzir componentes eletrônicos, os fabricantes têm reduzido o tamanho e o preço dos sensores. Isto está levando ao desenvolvimento de diversos tipos de sensores para todas as aplicações da vida humana, alguns dos quais estão descritos no *site* da Memsic². A agricultura é um dos campos em que este desenvolvimento vem sendo intenso, com inúmeros benefícios associados (REHMAN et al., 2014)

Figura 2 Ilustração do funcionamento de Rede de Sensores Sem Fio em monitoração agrícola

Fonte: Autor (elementos gráficos obtidos em www.google.com).

Existem diversos protocolos de comunicação indicados para as RSSF; porém, um dos mais usados é o ZigBee, um protocolo aberto gerenciado pela ZigBee Alliance que congrega mais de 70 empresas da área (ZIGBEE, 2015). O ZigBee controla a

² <http://www.memsic.com/> acessado em setembro de 2014.

aplicação, a rede, a segurança e a comunicação com o padrão IEEE 802.15.4. A especificação ZigBee ainda está em desenvolvimento.

Diversos trabalhos acadêmicos mostram que a aplicação de RSSF na agricultura ainda possui limitações como necessidade de muitos nós para cobrir grandes áreas, baixa duração das cargas das baterias e até mesmo dificuldade de se encontrar informações centralizadas sobre os diferentes sensores. Entre os trabalhos que fazem avaliação de aplicações de RSSF na agricultura, destacam-se os de:

- Lima Silva e Neto (2010), que desenvolveram uma ferramenta para irrigação de precisão baseada nas RSSF no Brasil;
- Mafuta et al. (2012), que avaliaram uma aplicação de RSSF no Malawi, África;
- Murillo, Peña e Martinez (2012), que propõem o uso das RSSF em duas aplicações de monitoração: em uma cultura de cogumelos e de clima na agricultura colombiana.

2.2.4 Comunicação Digital por células (GPRS/3G/4G)

GPRS, 3G, 4G são tecnologias de comunicação bidirecionais de voz e dados, utilizáveis em uma área geográfica chamada de célula. São baseadas na compressão das informações e ou na sua distribuição. Cada célula é servida por um transmissor/receptor que opera com uma tecnologia específica: (HANZO et al., 2012).

- 1G ou primeira geração opera com transmissões analógicas;
- 2G ou segunda geração opera com tecnologia digital como o Global System for Mobile (GSM), Code Division Multiple Access (CDMA) e Time Division Multiple Access (TDMA) e utilizam tecnologias como General Packet Radio Service (GPRS), Explicit Data Graph Execution (EDGE), High Speed Circuit-Switched Data (HSCSD) e a Radio Transmission Technology (1xRTT) para comutação e conexão;
- 3G ou terceira geração utiliza tecnologias como o Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), Evolution-Data Optimized

(EVDO), High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA), High Speed Packet Access (HSPA) e High-Speed Uplink Packet Access (HSUPA);

- 4G ou quarta geração usa como base o protocolo Internet Protocol (IP) para alcançar velocidades de acesso entre 100 Mbit/s e 1 Gbit/s.

A principal limitação dos sistemas de comunicação por célula é a necessidade de infraestrutura próxima (estação rádio base - ERB), o que nem sempre está disponível na área rural. Outra limitação é que esta infraestrutura compartilha os canais de comunicação com usuários externos, cuja demanda pode ocupar todos os canais e, por consequência, pode haver indisponibilidade imediata de canais (HANZO et al., 2012), ou seja, o sistema não garante o tempo de resposta, o que pode ser um empecilho em algumas aplicações de tempo real.

Alguns trabalhos acadêmicos estudam o uso dessas tecnologias no campo, mostrando que são possibilidades para comunicação agrícola. Dentre eles, destacam-se as pesquisas de:

- Prasad Peddoju e Ghosh (2013), que propõem um *cloud-framework* para distribuir dados de equipamentos móveis no campo; e
- Zenobio et al. (2013), que propõem uma conexão de tecnologias 3G/4G com redes cabeadas.

2.2.5 Comunicação digital por satélites

A comunicação digital por satélite, em teoria, está disponível em qualquer parte do planeta, e conta com uma infraestrutura de vinte ou mais satélites geoestacionários que podem receber e transmitir dados a terminais que estejam localizados no campo (TALEB, HADJADJ-AOUL e AHMED, 2011).

O sistema é indicado para comunicação móvel que envolvem grandes distâncias. Na agricultura estão sendo utilizados associados a sistemas como o GNSS. Atualmente, diversas máquinas agrícolas possuem terminais de comunicação satelital, que transferem dados tanto para computadores embarcados em veículos agrícolas quanto para *gateways* de outros sistemas de comunicação (CHAUHAN, 2010).

Apesar do uso restrito, devido aos custos dos equipamentos, a comunicação satelital é uma possibilidade para rastreamento de máquinas agrícolas no campo, e pode ser usada no gerenciamento logístico de frotas dessas máquinas. Diversos trabalhos acadêmicos indicam esta tecnologia para comunicação no campo e, dentre eles, destacam-se os de:

- Chauhan (2010), que desenvolveu uma pesquisa entre agricultores chineses, para avaliar se a comunicação por satélite com conexão à rede mundial atende às suas expectativas;
- Taleb, Hadjadj-aoul e Ahmed (2011), que discutem os desafios e o potencial da comunicação satelital, apresentando questões e soluções acerca da interoperabilidade com domínios terrestres;
- Verma, Pillai e Hu. (2013), que propõem uma topologia de rede adequada à integração de RSSF com comunicação satelital;
- Celandroni et al. (2013), que propõem a difusão dos dados obtidos pelas RSSF por uma rede de comunicação satelital.

O principal limitante da comunicação satelital é a alta latência da comunicação que, muitas vezes, inviabiliza a aplicação. Porém, é muito eficiente em aplicações nas quais o tempo não é um fator crítico (VIEIRA, ELIAS e RIBEIRO, 2015; NASSIF, 2001).

2.2.6 Radio-Frequency IDentification (RFID)

Radio-Frequency IDentification (RFID) ou identificação por radiofrequência consiste de *tags* de identificação dos objetos a serem identificados e de um sistema de identificação (leitor). Os *tags* enviam, por meio de onda de rádio, um código de identificação assim que percebem a presença de um sistema de identificação (leitor) (DOBKIN, 2012).

As primeiras iniciativas se originaram durante a segunda guerra mundial, com a frota de aviões ingleses. Estes, ao captarem o sinal de um radar inglês, enviavam um sinal de rádio identificando-se, evitando o seu abatimento pelos próprios ingleses (DOBKIN, 2012).

David Brock e Sanjay Sarma, pesquisadores do Auto-ID Center do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), têm realizado pesquisas com o objetivo de identificar objetos existentes com *tags* RFID de baixo custo.

O Auto-ID Center desenvolveu o padrão *Electronic Code Bar* (ECB) que padronizou a identificação dos mais diversos produtos de diversos fabricantes; porém, existem *tags* que, além de enviar um código de identificação, podem armazenar e enviar dados ou até executar processamentos de pequena envergadura (AUTO-ID CENTER, 2015)

Os sistemas de RFID podem ser classificados pela faixa de frequência em que operam (DOBKIN, 2012), sendo as mais usadas:

- Sistemas de Média e Alta Frequência (30 a 500 KHz) usados para controle de acesso, identificação ou localização;
- Sistemas de Ultra Alta Frequência (850 a 950 MHz e 2,4 a 2,5 GHz), usados para transmissão e recebimento de dados, possibilitam a comunicação com *tags* em movimento.

Ruiz-Garcia e Lunadei (2011) afirmam que os sistemas de RFID oferecem muitas oportunidades de pesquisa na área agrícola. Em seu artigo, mostram uma visão abrangente das atuais aplicações nessa área, destacando que o RFID tem sido uma ferramenta fundamental na rastreabilidade de alimentos, em especial os de origem animal. Indicam, ainda, possíveis aplicações para o futuro da agricultura. Também destacam limitações e desafios dessa tecnologia, dentre as quais:

- os sistemas não são projetados para operar em ambientes agressivos, com sujeira ou em temperaturas muito altas ou muito baixas;
- os *tags* convencionais em movimento possuem pouco tempo para transmitir, inviabilizando a transmissão de grande quantidade de dados;
- os *tags* não possuem recursos para gerir grande quantidade de dados;
- o sinal transmitido pelos *tags* apresenta forte atenuação ao atravessar plantas;

- os *tags* apresentam diferenças de comportamento em função da frequência usada;
- os *tags* possibilitam comunicação apenas ponto a ponto;
- não existe um único padrão global.

Há pesquisadores realizando trabalhos visando ao desenvolvimento de RFID para o meio agrícola, com destaque para:

- Voulodimos et al. (2010) que, a partir de *tags* RFID, desenvolveram um sistema de gerenciamento da produção de animais na Grécia;
- Catarinucci et al. (2011), que propõem a tecnologia RFID para rastreamento da produção de uvas, visando à avaliação da qualidade de vinhos na Itália;
- Ruiz-Garcia Steinberger e Rothmund (2010), que indicam o uso do RFID em aplicações de rastreabilidade para AP na Espanha;
- Papetti et al. (2012), que desenvolveram um processo de rastreabilidade da produção de leite, visando à avaliação da qualidade de queijos artesanais na Itália.

2.3 INTERNET DAS COISAS

A literatura acadêmica propõe muitos conceitos diferentes para Internet das Coisas ou Internet of Things (IoT), sendo destacados aqui os de maior relevância para este trabalho:

- Miorandi et al. (2012) consideram que Internet das Coisas é o paradigma tecnológico que possibilita conectar o mundo físico (coisas) com o mundo digital por meio da Internet.
- Atzori et al. (2010) afirmam que Internet das Coisas é uma infraestrutura de rede dinâmica e global, com capacidades de autoconfiguração, baseada em protocolos de comunicação padronizados e interoperáveis, em que “coisas” físicas e virtuais têm identidades, atributos físicos e personalidades virtuais. Usam interfaces inteligentes e são naturalmente integradas à Internet.
- Ashton (2009) afirmou que a ideia original da IoT previa a conexão de todos os objetos físicos à Internet. Com isto, tais objetos poderiam ter capacidade de capturar informações por meio de identificação por radiofrequência (RFID)

e tecnologias de sensoriamento. Essas informações permitiriam aos objetos observar, identificar e compreender o mundo independentemente das pessoas e de suas limitações de tempo, atenção e precisão.

- O *European Research Cluster Projects on the Internet of Things* (CERP) (2014), usa uma definição semelhante ou seja é uma infraestrutura de rede global dinâmica, baseada em protocolos de comunicação em que “coisas” físicas e virtuais têm identidades, atributos físicos e personalidades virtuais, utilizando interfaces inteligentes e integradas às redes telemáticas.

A partir destes conceitos, neste trabalho, IoT será considerada como um sistema que possibilita interconectar as “coisas” ao mundo virtual pela Internet e que possui pelo menos os seguintes componentes básicos com seus respectivos atributos:

- As coisas: com capacidade individual de comunicação e processamento;
- Redes de comunicação digital: que possam se conectar à Internet;
- Uma aplicação: que controle e gerencie as necessidades de comunicação das coisas.

Diversos pesquisadores propõem algum tipo de estrutura para a IoT. Neste trabalho será adotada a estrutura ilustrada pela Figura 3 por ser a base da maioria das propostas. Esta estrutura resume a proposta de Atzori et al. (2010) e é apresentada nos trabalhos de Tan e Wang (2010) e Bandyopadhyay et al. (2011).

Figura 3 - Estrutura física proposta para a IoT

Fonte: traduzido de Bandyopadhyay e Sem (2011) e Tan e Wang (2010)

É baseada em quatro camadas, cujas principais características são aqui destacadas:

- Camada de Borda: nela ocorrem aquisição dos dados e identificação dos objetos. Nesta camada são encontradas as RSSF e os *tags* de RFID;
- Camada de Acesso ao Gateway: realiza a comunicação entre os dispositivos, ou seja, o roteamento das mensagens. Essa camada incorpora e retira elementos da rede além de realizar a comunicação entre plataformas;
- Camada do Middleware: interconecta as camadas de acesso ao *gateway* e de aplicação. É responsável por: gerenciamento de dispositivos e de informações; filtragem e agregação de dados; análise semântica, controle de acesso e descoberta da informação.
- Camada de Aplicação: é responsável por executar as aplicações definidas pelos usuários.

Na Figura 3, Bandyopadhyay et al. (2011) acrescentam, à estrutura, a camada de Internet apenas para indicar em que ponto o acesso a ela ocorre.

Para os objetivos deste trabalho, apenas as camadas de *middleware* e *borda* serão detalhadas, pois a proposta a ser apresentada não interfere nas demais camadas.

2.4 MIDDLEWARE PARA INTERNET DAS COISAS

Para avaliar as diversas propostas de *middleware* para IoT, apresentadas neste trabalho, utiliza-se a proposta de Atzori et al. (2010), que organizam os *middleware* para IoT, a partir do conceito de blocos funcionais, particularmente:

- Bloco de Interfaces e protocolos: bloco funcional que gerencia a rede de sensores e elementos de campo. Define os roteamentos, identifica os elementos e faz a troca de informação, segundo um determinado protocolo, sem considerar o conteúdo da informação;
- Abstração de dispositivos: bloco funcional que, segundo uma sintaxe e semântica padronizadas, converte os dados comuns a qualquer possível elemento de campo, de modo que todos possam ser tratados pelas suas funcionalidades, independentemente do tipo de elemento e do contexto de uso;

- Detector de contexto e gerenciamento: bloco funcional cujo objetivo é obter contextos livres para que seja possível trocar dados em ambientes inteligentes. Para isto, faz a aquisição de dados e identifica os fatores que têm impactos significativos na resposta. Então, processa os dados reorganizando-os de modo a eliminar o contexto;
- Abstração da Aplicação: bloco funcional cujo processo é semelhante ao bloco de abstração de dispositivos; porém, tem o objetivo de possibilitar a execução dos softwares aplicativos locais.

Bandyopadhyay et al. (2011) propõem o diagrama apresentado na Figura 4 para ilustrar os blocos funcionais de um *middleware* para IoT.

Figura 4- Blocos Funcionais de um *middleware* para IoT

Fonte: traduzido de Bandyopadhyay et al., 2011

2.4.1 Principais Middleware propostos pela literatura

a) **Middleware Hydra**

O *middleware* Hydra foi desenvolvido por pesquisadores da União Europeia (UE) para ser usado por sistemas embarcados em rede, de modo que dispositivos heterogêneos possam cooperar entre si, visando alcançar um objetivo comum (EISENHAUER, MARKUS e ANTOLIN, 2014). Assim, o *middleware* HYDRA permite que desenvolvedores incorporem, de modo simples, dispositivos heterogêneos em seus aplicativos, possibilitando controlar qualquer dispositivo de rede independentemente da tecnologia de comunicação (EISENHAUER, MARKUS e ANTOLIN, 2010).

b) **Middleware GSN**

O *Global Sensor Network* (GSN) é um *middleware* cujo objetivo é minimizar o tempo de implantação nas aplicações da IoT, eliminando as funcionalidades desnecessárias e repetitivas em diferentes plataformas (ABERER et al., 2006). O GSN suporta a integração flexível e a descoberta de redes e dados de sensores, e também permite a implantação e adição de novas plataformas de forma rápida, possibilitando consultas, filtragem e combinação dos dados do sensor, além de facilitar a adaptação dinâmica da configuração do sistema durante a operação (ABERER et al., 2006). O GSN cria o conceito de sensor virtual, descrito em *eXtensible Markup Language* (XML), o que permite usar os recursos do *Structured Query Language* (SQL) para desenvolvimento da aplicação (ABERER et al., 2006).

O GSN é um *middleware* “*open source*” e esta disponível na internet no *site* do *middleware* GSN³.

Middleware VIRTUS

O *middleware* VIRTUS tem como foco aplicações na área da saúde. Entretanto, ele é uma possibilidade para sistemas baseados em *Service Oriented Architecture* (SOA). O VIRTUS disponibiliza um protocolo de mensagens instantâneas, do tipo *eXtensible Messaging and Presence Protocol* (XMPP), que permite a comunicação

³ (<http://globalsn.sourceforge.net/>). acessado em janeiro de 2016

em tempo real de modo seguro e confiável entre dispositivos heterogêneos (BAZZANI et al., 2012).

c) **Middleware AspireRFID**

O *Middleware AspireRFID* foi desenvolvido para suportar implementações não triviais de RFID, em ambientes heterogêneos complexos. Ele fornece suporte para as aplicações RFID em vários campos, incluindo a gestão da cadeia de suprimentos, logística, controle de acesso, gerenciamento de ativos e produtos farmacêuticos (KEFALAKIS et al., 2008).

d) **Middleware UBIWARE/UBISOAP/UBIROAD**

O *Ubiquitous Ware* (UBIWARE) foi desenvolvido para facilitar a gestão de dados em um ambiente de constante aumento de dispositivos heterogêneos e, consequentemente, em situações em que há aumento no fluxo de dados e de funcionalidades. O UBIWARE facilita o desenvolvimento de aplicativos por meio de uma *Application Programming Interface* (API) que simplifica o desenvolvimento de aplicações e é compatível com os mecanismos de consulta em sistemas de gestão de dados de fluxo ou de sistemas ubíquos para gestão ambiental (SCUTURICI et al., 2012).

O *Ubiquitous Service Oriented Applications* (UBISOAP) aproveita a capacidade das RSSF que permitem a montagem de uma rede efetivamente de serviços ubíqua e especifica um *middleware* de comunicação em camadas baseado no SOAP padrão, permitindo suportar parte dos serviços oriundos da *Web*, ao mesmo tempo em que disponibiliza a conectividade das RSSF (CAPORUSCIO et al., 2012).

Terziyan, Kaykova e Zhovtobryukh (2010) propuseram a utilização de linguagens e tecnologias semânticas para especificação declarativa de dispositivos e serviços, além da criação de ontologias comuns para facilitar e gerenciar a interoperação contínua de dispositivos, serviços e seres humanos em um ambiente inteligente de tráfego de objetos e pessoas. A esta proposta chamou de *middleware Ubiquitous Road* UBIROAD. Esses autores propõem um sistema que seja capaz de interoperar dispositivos internos aos veículos (Incar) com os que estão nas vias de tráfego,

produzidos e programados por diferentes fornecedores e prestadores de serviços e que sejam capazes de oferecer colaboração transparente e flexível.

e) **Middleware WHEREX**

O WHEREX é um *middleware* apresentado no trabalho de Puliafito et al. (2010), destinado a aplicações de identificação baseada em eventos e em diversos contextos. Tem por base a tecnologia RFID e procura abstrair as diferenças tecnológicas dos dispositivos, de modo que o usuário foque seus esforços nos problemas de gerenciamento de cada dispositivo.

f) **Outros Middleware**

Diversos outros middleware foram estudados ao longo do desenvolvimento deste trabalho; porém, não são abordados por serem desenvolvimentos antigos, como o *Service Infrastructure for Real-time Embedded Networked Devices* (SIRENA) (BOHN et al., 2006), SOCRADES (DE SOUZA et al., 2008), e o SMEPP (BENITO et al., 2009).

2.4.2 Comparação entre os Middleware

Bandyopadhyay et al. (2011) fizeram um levantamento dos principais middleware identificados e compararam funcionalidades tais como interoperabilidade, gerenciamento de dispositivos, portabilidade de plataformas, contexto e segurança e privacidade. Estas funcionalidades são descritas na sequência.

- Interoperabilidade: é a capacidade de compartilhar informações, independente do contexto e da tecnologia de comunicação utilizada. A interoperabilidade deve ser avaliada sob três aspectos: rede, sintática e semântica (TERZIYAN, KAYKOVA e ZHOVTOBRYUKH, 2010).
- Gerenciamento de Dispositivos: é a capacidade de configurar, agregar ou segregar os mais diversos dispositivos à rede. Segundo Taylor e Leidinger (2011), o *middleware* deve propor uma ontologia comum para todos os dispositivos.
- Portabilidade entre as plataformas: deve ser possível a migração de plataformas sem perda de funcionalidades.

- Contexto: é a capacidade de atender às necessidades de um determinado contexto ou mesmo de qualquer contexto, no caso dos *middleware* livres de contexto.
- Segurança e privacidade: é a capacidade de garantir que as informações ficarão restritas aos seus usuários e que agentes externos não poderão alterá-las, seja incluindo ou excluindo informações.

Nos Quadro 1 e Quadro 2 resumem-se as características dos *middleware* anteriormente abordados. Dentre as funcionalidades citadas, gerenciamento de dispositivos e portabilidade entre plataformas são oferecidos por todos os middlewares abordados; por isto, estas funcionalidades não foram incluídas nos quadros.

Quadro 1 - Comparação entre funcionalidades dos *middleware* para IoT.

IoT (Middleware)	Interoperabilidade	Funcionalidades Livre de contexto	Segurança e Privacidade
HYDRA	sim	Sim	sim
ISMB	não	Não	não
ASPIRE	não	Não	sim
UBIWARE	não	Sim	não
UBISOAP	sim	Não	não
UBIROAD	sim	Sim	sim
GSN	não	Não	sim
SMEPP	não	Sim	sim
SOCRADES	sim	Não	sim
SIRENA	sim	Não	sim
WHEREX	sim	Não	não

Fonte: Adaptado de Bandyopadhyay et al. (2011)

Quadro 2 -Tecnologias de Comunicação disponíveis nos *middleware* para IoT

IoT (Middleware)	ZigBee	RFID	BlueTooth	Tecnologias GPRS/3G/4G	Satelital	outras
HYDRA	sim	sim	sim	não	não	não
ISMB	não	sim	não	não	não	não
ASPIRE	não	sim	não	não	não	não
UBIWARE	não	sim	não	não	não	não
UBISOAP	não	sim	não	não	não	não
UBIROAD	não	sim	sim	não	não	não
GSN	não	sim	não	não	não	sim
SMEPP	não	não	sim	não	não	não
SOCRADES	não	sim	não	não	não	não
SIRENA	não	sim	sim	não	não	não
WHEREX	sim	sim	sim	não	não	não

Fonte: Adaptado de Bandyopadhyay et al., 2011

Fortino et al. (2014) destacam que o levantamento do estado da arte dos *middleware* para a IoT mostra diferentes abordagens que buscam explorar as funcionalidades desses *middleware*, visando à aplicações IoT; porém, nenhuma das propostas identificadas pelos pesquisadores abrange todas as funcionalidades exigidas para um *middleware* específico para aplicações agrícolas, como as aplicações detalhadas no Capítulo 3.

O UBIROAD, por exemplo, é um *midllware* possível de ser aplicado na agricultura, em aplicações de logística da cadeia de alimentos, pois ainda que tenha sido desenvolvido para aplicações em estradas, provavelmente, não teria desempenho adequado em aplicações agrícolas, uma vez que o ambiente das estradas não se altera tanto quanto o de uma cultura agrícola ao longo do ciclo de produção.

Como se pode observar pelos Quadro 1 e Quadro 2, nenhum dos protocolos atende a todas as funcionalidades ou mesmo às principais tecnologias de comunicação digital desejadas em um *middleware* para IoT na área agrícola. Esta conclusão é corroborada por Bandyopadhyay et al. (2011), neste mesmo trabalho, ao propor que haja o desenvolvimento de um *middleware* genérico que possa atender à maioria das aplicações e tecnologias de comunicação.

2.4.3 Middleware Adaptativos

Sadjad (2009) e Dutra (2013) fizeram um estudo detalhado de middleware adaptativos, cujas principais características estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Características de *Middleware* Adaptativos

Middleware	foco da aplicação	Orientado a	estrutura
ACE	tempo real	qualidade do serviço	não definida
TAO	tempo real	qualidade do serviço	CORBA
CIAO	tempo real	qualidade do serviço	CORBA
Orbix	tempo real	qualidade do serviço	CORBA
OpenORB	fluxo de dados	qualidade do serviço	não definida
OpenORB v2	fluxo de dados	qualidade do serviço	DCOM
Squirrel	fluxo de dados	qualidade do serviço	CORBA
Metasockets	fluxo de dados	qualidade do serviço	não definida
FlexNET	reflexão computacional	qualidade do serviço	CORBA
Open CORBA	reflexão computacional	qualidade do serviço	CORBA
QuO	aspecto computacional	qualidade do serviço	CORBA/RMI
AspectIX	aspecto computacional	qualidade do serviço	CORBA/RMI
Isis	confiabilidade da comunicação	segurança	não definida
Horus	confiabilidade da comunicação	segurança	não definida
Ensemble	confiabilidade da comunicação	segurança	não definida
Totem	confiabilidade da comunicação	segurança	não definida
Rocks	confiabilidade da comunicação	segurança	não definida
Racks	confiabilidade da comunicação	segurança	não definida
Electra	tolerante a falhas	segurança	CORBA
Orbix + Isis	tolerante a falhas	segurança	CORBA
OGS	tolerante a falhas	segurança	CORBA
Eternal	tolerante a falhas	segurança	CORBA/RMI
IRL	tolerante a falhas	segurança	CORBA
FTS	tolerante a falhas	segurança	CORBA
Friends	tolerante a falhas	segurança	CORBA
TAO-LB	Equalizador de cargas	segurança	CORBA
Orbix/E	minimizado	embarcados	CORBA
PersonalJava	minimizado	Embarcados	RMI
EmbeddedJava	minimizado	Embarcados	RMI
UIC	intercambiável	Embarcados	CORBA/RMI/DCOM
ZEN	intercambiável	Embarcados	CORBA

Fonte: Adaptado de Sadjad (2009) e Dutra (2013)

Sadjad (2009) os classifica em função das estruturas de *software* utilizadas, as quais se tornaram padrão para as propostas de *middleware*, notadamente:

- *OMG-Common Object Request Broker Architecture (CORBA)* (KHAN et al., 2010);
- *Microsoft Distributed Component Object Model (DCOM)* (KHAN et al., 2010);
- *Java Remote Method Invocation (Java RMI)* (KHAN et al., 2010).

2.5 APLICAÇÕES DA IOT NA AGRICULTURA

Na literatura acadêmica voltada à agricultura são encontradas diversas aplicações que fazem uso de conceitos da IoT, como os apresentados a seguir.

2.5.1 Gerenciamento do processo produtivo

Chen e Jin (2012) propõem o gerenciamento dos processos de produção agrícola empregando-se técnicas da IoT. O processo de produção tradicional faz uso de coleta manual de dados, os quais são avaliados segundo a experiência do agricultor, resultando em baixa acurácia e muita força de trabalho. Com a IoT, as informações podem ser coletadas em tempo real e com acurácia suficiente para previsões científicas. Proporciona, também, controle mais eficiente. Com isto, é possível: reduzir os custos de produção; melhorar as condições ambientais; melhorar os produtos agrícolas; e reduzir os efeitos sobre a atmosfera e o solo.

Baseado no trabalho de Zhao et al. (2010), uma implantação básica tem início com a obtenção de informações como temperatura do ar, umidade, velocidade do vento, quantidade de chuva, condutividade elétrica e pH do solo, entre outras. Essas informações são coletadas por vários tipos de sensores, os quais as transmitem a um *gateway*, em geral, com o uso do protocolo ZigBee.

Finalmente, essas informações alimentam aplicativos e ferramentas de gestão da produção, que determinam, automaticamente, tarefas como regar, adubar, ventilar ou controlar a temperatura.

2.5.2 Gestão do conhecimento agrícola

Segundo Hori, Kawashima e Yamazaki (2010), ao analisarem os processos agrícolas no Japão, concluem que o processo produtivo agrícola deve se alterar nos próximos anos. Sairá de um processo baseado em conhecimentos empíricos, isto é, fundamentado na experiência e na intuição do agricultor e transmitidos de maneira quase informal, e passará para um processo que seja o resultado da comparação das condições locais com o conhecimento (*know-how*), disponibilizado em um “grande banco de dados mundial”. E neste cenário, os autores destacam a necessidade de se criar um mecanismo automático para armazenar as experiências obtidas com as inovações nos processos agrícolas, para que sejam usadas como base dos processos futuros.

Para a criação desse que seria o “grande banco de dados mundial”, Zhao et al (2012) propõem o uso da IoT, que possibilitaria o armazenamento, na “nuvem”, de todo o ciclo de gestão. Para isto, Hori, Kawashima e Yamazaki (2010) também já haviam proposto solução utilizando computação em nuvem (*cloud computing*), que teria as seguintes características:

- Redução dos custos iniciais;
- Alocação de recursos sob demanda;
- Manutenção e *upgrades* realizados ao fim de cada ciclo da cultura;
- Facilidade e rapidez no desenvolvimento das aplicações;
- Compartilhamento com outros sistemas na nuvem; e
- Rastreabilidade.

Outra proposta de Chen e Jin (2012) visando a gestão do conhecimento agrícola é implementar a rastreabilidade de alimentos. Os autores propõem que etiquetas do tipo *Electronic Code Product* (ECP) sejam anexadas aos produtos, ainda na fase de produção no campo. Com isto, leitores dispostos ao longo da cadeia de produção, estocagem e distribuição podem registrar tanto a passagem como as condições a que o produto foi submetido nesse percurso, tais como, temperatura, umidade, tempo de estocagem, condições de transporte etc.

2.5.3 Monitoração de estoque

Li et al. (2012) propõem um sistema de gerenciamento de estoque de produtos agrícolas cujo desafio está na grande quantidade e heterogeneidade de dados. O sistema proposto por esses autores é denominado *Internet of Things Massive Data Base* (IOTMDB). Ele é capaz de trabalhar com armazenamento maciço de dados, partilhar estes dados segundo uma ontologia proposta e segundo um conjunto de sintaxes de consulta que atendam às necessidades de diferentes tipos de consultas feitas pela IoT, com base no *Not Only SQL* (NoSQL).

2.5.4 Logística

Aplicações da IoT em logística são recomendadas por pesquisadores como:

- Yu e Jing (2011) recomendam a IoT como modo de melhorar o gerenciamento da cadeia de produção de alimentos frescos na China, por meio de controle logístico em tempo real e fluxo de informação.
- Lin e Huang (2011) fazem proposta semelhante para produção em estufas.
- Dengfeng (2011) objetiva o controle logístico da produção e distribuição de alimentos, na China, a partir do uso de: ECP; arquitetura da IoT, em função das necessidades de gestão de cada aplicação; e tecnologia de RSSF, para gerenciar e construir um sistema logístico inteligente e estratégico.

Em sua pesquisa, Dengfeng (2011) compara sua proposta com métodos tradicionais de controle logístico, de modo a verificar se sistemas fundamentados na IoT são capazes de aumentar a eficiência da logística e atender às necessidades da gestão dos bens de produção, do monitoramento ambiental e da transmissão de dados, com resultados relevantes.

2.6 ÁRVORES DE DECISÃO ADAPTATIVAS

O emprego de Árvores de Decisão Adaptativas (ADAs) é pouco comum na agricultura, principalmente porque as ferramentas que possibilitam incluir adaptabilidade são relativamente recentes. Não obstante, as ADAs têm grande importância para a proposta deste trabalho e, por isto, são abordadas neste item.

Árvores de Decisão Adaptativas (ADAs) são Árvores de Decisão que possuem saídas que alteram as próprias regras a fim de se obter uma árvore que responda mais adequadamente às necessidades do contexto, ou seja, pode-se dizer que a ADA é uma árvore de decisão que “aprende” e implementa novas regras em função de um dado contexto.

2.6.1 Tecnologia Adaptativa

Segundo Neto (2007), adaptatividade refere-se à capacidade que um sistema tem de, sem a interferência de qualquer agente externo, tomar a decisão de modificar seu próprio comportamento, em resposta ao seu histórico de operação e aos dados de entrada.

A área de Tecnologia Adaptativa é um campo de pesquisa emergente, que foca problemas relacionados com a organização de sistemas complexos em ciência da computação, engenharia de computação e tecnologia da informação (PISTORI, 2002).

Pistori (2003) define tecnologia adaptativa como um conjunto de tecnologias cujo formalismo utiliza a teoria de dispositivos adaptativos baseados em regras. Parte do princípio de que dispositivos complexos podem ser obtidos a partir da progressão gradual de dispositivos simples e que por meio de inserção de novas regras e remoção das antigas podem atender aos sistemas complexos.

Segundo Neto (2007), no contexto das tecnologias adaptativas, dispositivo é uma abstração formal, na qual o comportamento é regido por um conjunto finito explícito de regras que especificam, para cada situação em que se encontre o dispositivo, sua nova situação e também as correspondentes alterações esperadas no conjunto de regras que o definem.

Neto (2007) classifica os dispositivos nas seguintes categorias:

- **dispositivos de reconhecimento**, da classe dos autômatos, baseados na sucessão de mudanças de estados;
- **dispositivos de geração**, da classe das gramáticas, baseados na aplicação sucessiva de regras de substituição;
- **dispositivos para representação de sistemas assíncronos**, tais como os *statecharts*, que incorporam mecanismos responsáveis pela representação de fenômenos de sincronização;
- **dispositivos estocásticos**, como as redes de Markov, capazes de representar fenômenos de caráter aleatório;
- **dispositivos de processamento**, que permitem descrever a lógica de programas com código automodificável, como as linguagens de programação adaptativas;
- **dispositivos de auxílio à tomada de decisões**, representados principalmente pelas tabelas de decisão e pelas árvores de decisão (ADs). No próximo item este tipo de dispositivo é detalhado para que se possa melhor compreender a proposta deste trabalho.

2.6.2 Árvores de Decisão (AD)

Segundo Barros et al. (2012), ADs são classificadores representados em forma de fluxograma que se assemelha a uma árvore natural com seu tronco e seus galhos. Elas têm sido amplamente utilizadas para representar modelos de classificação, devido à sua natureza compreensível e semelhante à razão humana.

As ADs costumam ser de fácil implantação, podendo ser implementadas em hardwares simples. Os algoritmos de indução de ADs apresentam várias vantagens sobre outros algoritmos de aprendizagem como, por exemplo, robustez ao ruído, baixo custo computacional e capacidade de lidar com atributos redundantes (TAN, STEINBACH e KUMAR, 2005). Essas características fazem com que as ADs sejam recomendadas como ferramenta para incluir adaptabilidade a um sistema.

Os elementos básicos associados a uma AD são:

- Atributos: conjunto de variáveis que representam o ambiente;
- Classes: também chamadas de folhas. São os possíveis resultados de uma AD;
- Nó: ponto de decisão dentro da árvore;
- Ramos: sequência de pontos de decisão da AD, até alcançar uma folha.

ADs são classificadores do tipo *bottom-up* que avaliam um conjunto finito de atributos e os classificam em classes pré-determinadas. A AD possui uma estrutura em que os nós são testes de pertença a um dos atributos e os ramos são as possíveis alternativas aos testes dos atributos. Ao final de cada ramo, associa-se uma das classes.

Segundo Barros et al. (2012) alguns requisitos são necessários para que se use a AD como classificador:

- O número de atributos deve ser finito;
- As regras de pertença de um item a um atributo devem ser discretas, ou seja ou ele pertence cem por cento ou não pertence cem por cento;
- Deve haver uma quantidade maior de itens do que de classes;
- Deve ser possível escrever a regra de pertença ao atributo na forma de uma equação matemática.

As ADs possuem duas fases de trabalho: a aprendizagem e a execução. O aprendizado é feito por meio de algoritmos de indução da árvore, a partir de um conjunto de dados usado como exemplo.

2.6.3 Algoritmos de Indução de Árvores de Decisão

Os algoritmos de indução de ADs fazem uso de um processo top-down que vai produzindo de forma implícita e recursiva, as regras e construindo a árvore por sucessivas divisões do conjunto exemplo, de acordo com os valores de seus atributos preditivos.

Segundo Basgalupp et al. (2009), ainda que as ADs sejam ideais para hardware simples, a indução de ADs pode ser um processo de alta demanda computacional, em especial porque podem existir inúmeras ADs que solucionam um problema e decidir qual delas é a melhor, é uma tarefa computacional exaustiva. Para minimizar o tempo e quantidade de processamento computacional, algoritmos baseados em heurística têm sido propostos e, ainda que não se chegue a AD ideal, pode-se chegar a uma relação ótima entre eficiência-tempo.

A literatura apresenta diversos algoritmos de indução de ADs. Todos eles trabalham de modo recursivo, distribuindo os atributos em áreas de influência e criando regras que dividem as áreas até obter a árvore completa. Os algoritmos mais significativos para este trabalho são aqui sintetizados:

ID3: Proposto por Cios e Liu (1991), utiliza o ganho de informação para fazer a divisão das áreas. Por ser o primeiro algoritmo proposto, possui algumas deficiências como gerar árvores mais complexas, não faz pós-poda para eliminar ramos desnecessários e não trabalha com atributos ordinais.

C4.5: Utiliza a razão de ganho de informação para fazer a divisão gerando árvores menos complexas; possui recursos como pós-poda e trabalha com ordinais, gerando árvores em menos tempo que o ID3 (Drazin e Montag, 2012).

CART (*Classification and Regression Tree*): Segundo Denison, Mallick e Smith, (1998), o CART induz tanto árvores de decisão como árvores de regressão. Possui tratamento de ordinais e se diferencia dos demais por expandir a árvore exaustivamente e, então, aplica técnica de pós-poda para reduzir a árvore. Por isto, necessita de maior capacidade do hardware e, em geral, é mais lento que os demais, mas gera árvores precisas e simples.

NBTree ou Naives Bayes: faz a divisão das áreas por meio da probabilidade de uma instância pertencer a cada uma das classes. Trabalha com ordinal, porém não faz pós-poda uma vez que gera uma árvore complexa e em geral mais precisa que o C4.5, porém também exige mais capacidade computacional.

LADTree: Utiliza uma estratégia chamada *logitbust* para fazer a divisão que consiste em seguir todos os caminhos para o qual todos os nós de decisão são verdadeiros; então, soma-se aos demais nós já mapeados. Ainda que este algoritmo seja

relativamente lento quando comparado aos demais e não seja tão preciso, faz uso de uma estratégia que pode apresentar resultados adequados em situações específicas (BIRANT, 2011).

J48: É a implementação *release 8* do C4.5; portanto, possui as mesmas características, vantagens e limitações do C4.5. Atualmente existe uma nova versão batizada de C50 (GIASON et al., 2013).

A literatura disponibiliza diversos outros algoritmos de classificação como o ADTree, LMT, BFTree, SimpleChart, Random Tree e o REP Tree, entre outros. Porém, a avaliação completa de todos estes classificadores foge dos objetivos deste trabalho, podendo vir a ser objeto de trabalhos futuros. Um ponto de partida para futuro estudo podem ser os trabalhos de Giason et al. (2013) e de Birant (2011) que apresentam uma análise de cinco dos principais algoritmos.

2.6.4 Incluindo Adaptabilidade às Árvores de Decisão

Árvores de Decisão Adaptativas (ADAs) são dispositivos adaptativos que possuem um mecanismo subjacente em uma AD comum o qual permite que a estrutura hierárquica da árvore de decisão possa ser dinamicamente alterada durante o processo de decisão, quando a árvore é varrida da raiz para as folhas (PISTORI e NETO, 2002).

Em geral este mecanismo é complexo, pois deve resolver as inconsistências que podem aparecer sempre que o próprio ramo (que está sendo percorrido durante a execução) está sendo alterado. Uma simplificação é a alternância das fases de aprendizado e execução, ou seja, todas as alterações se processam após a execução chegar às folhas, então, inicia-se uma nova fase de aprendizado.

O *AdapTree* é um algoritmo de aprendizagem de máquina supervisionado e incremental que permite que as fases de aprendizado e teste sejam executadas intercaladamente (PISTORI e NETO, 2002). No *AdapTree*, as amostras ou o conjunto exemplo de treinamento é armazenado em uma estrutura similar à de uma árvore de prefixos ou de um autômato adaptativo coletor de nomes, em que cada nível hierárquico corresponde a um dos elementos de um vetor de atributos, o qual

representa cada uma das amostras. O funcionamento do *AdapTree* se assemelha ao de algoritmos de aprendizagem baseados em conjuntos exemplos (PISTORI e NETO, 2002).

A indução de ADAs pode ser feita por algoritmos específicos para indução de ADAs como o *AdapTree* ou por meio dos algoritmos tradicionais para ADs as quais devem incluir as regras da adaptabilidade que conduzam a uma classe binária: adapta ou não adapta. Esta classe dispararia uma nova indução da AD. Esta técnica tem a vantagem de ter as funções de adaptabilidade incorporadas a AD porém, possui alguns problemas:

- O processo de indução de uma nova ADA, em geral, é mais lento que a alteração de um ou mais ramos;
- Os algoritmos de indução teriam que estar implementados na aplicação, exigindo mais hardware do que a simples execução da ADA;
- O número de classes dobraria pois existiriam classes com disparo de uma nova ADA e as mesmas classes sem disparo de uma nova ADA.

2.7 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foi feita uma breve revisão das tecnologias envolvidas neste trabalho, a partir do estudo de diversos trabalhos acadêmicos, buscando-se sintetizar o estágio de desenvolvimento de cada uma das tecnologias. Foram apresentados o conceito e a estrutura da IoT propostos por diferentes pesquisadores, além de uma comparação entre os *middleware* para IoT propostos na literatura acadêmica. Ao final foi apresentado o conceito de adaptabilidade e de ADAs.

No próximo capítulo são apresentadas e discutidas duas aplicações nas quais as tecnologias estudadas até aqui são necessárias. Também são apresentadas as limitações que estas tecnologias possuem e que comprometem uma melhor eficiência das aplicações.

3. COMUNICAÇÃO DIGITAL EM APLICAÇÕES AGRÍCOLAS

Para mostrar as limitações que as tecnologias de comunicação digital apresentam em aplicações da área agrícola, duas atividades importantes são aqui apresentadas com vistas a se mostrar que a proposta deste trabalho, uma vez implementada, poderá trazer benefícios relevantes para o setor.

3.1 PROCESSO AGROINDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR

O complexo agroindustrial canavieiro do Brasil vem se modernizando, passando de um processo manual e empírico para um processo mecanizado e, mais recentemente vem sendo automatizado a partir da racionalização de dados que são previamente coletados e analisados (ALVES, 2009).

Entre as principais operações objeto de mecanização e automatização estão as de corte, carregamento e transporte (CCT), detalhadas nos trabalhos de Hahn (1994) e Tognoli et al. (2011). São operações que fazem uso de equipamentos como colhedoras, carregadoras, tratores-reboque, caminhões e caçambas, muitos dos quais providos de tecnologias embarcadas de comunicação, visando à automatização do processo envolvido. Pela importância dessas atividades no processo agroindustrial da cana-de-açúcar, por representarem em torno de 25% do custo de produção (SCHEIDL e SIMON, 2012), e por serem passíveis de aplicação da proposta desenvolvida neste trabalho, elas são aqui sintetizadas, apresentando-se, na sequência, os principais desafios que apresentam para um possível sistema de gestão e para o processo de gerenciamento.

3.1.1 Processo de Corte, Carregamento e Transporte da Cana-de-açúcar

Uma plantação de cana-de-açúcar é usualmente dividida em talhões (unidades de cultivo), no qual uma colhedora automotriz executa a tarefa de corte, limpeza e picação de toletes, fazendo a descarga em carretas chamadas de transbordo que, uma vez carregadas, são acopladas a tratores que levam a colheita até uma determinada área, destinada à carga dos caminhões, os quais transportam a cana

até a usina. Após o processo de carga dos caminhões, os tratores retornam ao local das colhedoras para buscar novo transbordo (MEURER e LOBO, 2015).

É comum que os caminhões possuam dois ou três reboques que permitem duplicar ou triplicar a capacidade de carga, respectivamente. Para essa operação, usualmente carretas e reboques reservas permanecem à disposição para cobrir eventuais falhas dos equipamentos. Na usina a carga é pesada, qualificada e processada, sendo que após a descarga, os caminhões são limpos e retornam para buscar nova carga (MILAN, 2006).

Este processo se repete simultaneamente em diversos talhões, muitos dos quais em unidades de produção distantes umas das outras, com produtividades diferentes. Portanto, a atividade de colheita ocorre em distâncias diferentes em cada uma das fases, apesar de compartilhar os mesmos recursos, o que torna a distribuição destes um fator crítico na eficiência do CCT. Todas as operações possuem uma forte dependência umas das outras, devendo ocorrer de modo sincronizado para que se evitem perdas de recursos e de qualidade na moenda da cana, ou seja, estas operações formam um sistema ou um subsistema de sistemas maiores como o de produção de etanol ou de açúcar (GONÇALVES, 2012).

3.1.2 Problemas do processo de CCT da Cana-de-açúcar

Segundo Mundim (2009), a falta de matéria-prima na usina, ainda que temporária, tem sido responsável por diversas interrupções na produção da indústria açucareira, comprometendo o seu desempenho, seja em relação à qualidade ou aos custos de produção. Esse autor afirma também que para o abastecimento de cana na moenda seja feito de forma contínua, deve-se dimensionar a frota envolvida nas operações de corte, carregamento e transporte (CCT) da cana-de-açúcar até a sua entrega na usina, de forma racional, sob pena de se incorrer em elevado custo operacional.

O sistema de gestão do CCT deve ser alimentado com diversos tipos de informações, por exemplo, a produtividade e o posicionamento de cada unidade, paradas para reabastecimento ou para manutenção de cada um dos equipamentos, alterações de rotas, velocidade dos diferentes equipamentos, dentre outras. Estas informações precisam estar disponíveis dentro de intervalos de tempos que

permitam, ao sistema de gestão, avaliá-las, tomar decisões de correção e ativar as correções necessárias, sem que isto signifique parada parcial ou total do processo.

Este é um desafio para os que buscam o aumento de produtividade e qualidade do sistema produtivo de CCT da cana-de-açúcar e, por isso, alguns trabalhos acadêmicos têm buscado soluções para o gerenciamento desse processo, tais como os de:

- Rangel et al. (2009) propõem um modelo matemático que estima o tempo de ciclo (*lead time*), isto é, a somatória dos tempos que vão do corte até a pesagem final na usina, avaliando os resultados das simulações sobre nove cenários diferentes, podendo ser usado independente das tecnologias de comunicação usada;
- Mundim et al. (2009) avaliam os impactos ambientais decorrentes de um mau dimensionamento dos recursos, mostrando a importância que uma operação eficiente de CCT pode oferecer ao meio ambiente;
- Paiva e Morabito (2009) propõem uma estratégia baseada no processo industrial a ser usado na usina. O processo deve gerar as necessidades de matéria-prima e a velocidade que esta deverá ser disponibilizada na usina, propondo uma logística que atenda às necessidades;
- Scheidl e Simon (2012) que propõem um modelo para empresas que terceirizam o CCT, comparando este modelo com dados de processos sem terceirização, obtidos de outros trabalhos científicos;
- Silva (2011) que, a partir dos trabalhos de Ramos (2010), propõe um modelo matemático para dimensionamento dos recursos em operações de CCT, baseado nas variedades de cana-de-açúcar, em unidades de plantio de dimensões determinadas pelo modelo;
- Le Gal et al. (2009) que propõem um modelo baseado na gestão do CCT, considerando as negociações necessárias entre os diversos elementos do sistema, de modo a mitigar as limitações de cada um no processo.

Todos estes trabalhos propõem uma alternativa para melhorar o processo de CCT que, em geral, é pré-avaliada por meio de simuladores. Estas alternativas possuem diversas limitações, por exemplo:

- em todas as alternativas propostas, o agricultor necessita de mão de obra qualificada para implementar.
- o dimensionamento dos recursos por simulação nem sempre apresenta resultados satisfatórios, pois pequenos erros na calibração dos modelos podem levar a soluções inadequadas ou que não apresentem resultados satisfatórios em determinadas situações.
- há casos em que a solução proposta pelas simulações é a correta, porém exige um desempenho no gerenciamento do processo que não é possível obter com as tecnologias usadas no campo. Esta dificuldade foi identificada particularmente na proposta de Le Gal et al. (2009).

3.1.3 Uma possível Solução por meio da Internet das Coisas

O sistema de gestão do CCT deve prever não só a distribuição inicial dos recursos durante o processo, como também a possibilidade de sua constante realocação, em função da variação das condições reais em relação às previstas pelos simuladores. Ou seja, o processo deve ser eficiente, mesmo que ocorram eventos não previstos nas simulações. Para que isto seja possível, faz-se necessário que a atualização das informações do status de cada talhão, implemento e veículo ocorra em tempo real, o que direciona a uma solução baseada na IoT.

Se por um lado, a IoT é a solução para que se atue em tempo real, por outro ela possui limitações que precisam ser contornadas, por exemplo, a tecnologia de comunicação a ser utilizada, a qual deve ser diferente em cada caso, pois nenhuma das tecnologias atende a todas as aplicações de CCT dadas às suas limitações intrínsecas, aqui destacadas:

- Wi-Fi: possui baixo alcance e, por isto, não consegue cobrir toda a extensão do plantio;
- RFID: necessita de pontos fixos de coleta de informação, obrigando o deslocamento do *tag* até o ponto de coleta;

- RSSF: necessita de um grande número de sensores espalhados pela área de plantio ou que os veículos com tecnologia embarcada não se distanciem muito um do outro;
- GPRS/3G/4G: além dessas tecnologias não estarem contempladas na maioria dos *middleware* para IoT, possuem áreas de cobertura limitadas; muitas vezes não cobrem zonas rurais.
- Comunicação satelital: não é contemplada pela maioria dos *middleware* para IoT e possui custo maior.

3.2 RASTREABILIDADE DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

Segundo Mattos et al. (2009), um dos grandes desafios na produção de alimentos é o controle de qualidade dos alimentos disponibilizados ao consumidor, em especial devido a perecibilidade dos produtos e sua fragilidade ao manuseio. Problemas com o controle de qualidade pode gerar grandes perdas econômicas e, muitas vezes, perda de credibilidade.

Para reduzir esse tipo de problema, sistemas de rastreabilidade têm sido implementados para permitir que o distribuidor ou mesmo o consumidor final possa obter informações de todo o caminho percorrido pelo alimento, do plantio à sua mesa, possibilitando que se avalie a qualidade do produto, as condições do processo de embalagem, de conservação e de transporte, além de permitir um controle de riscos em relação à segurança relativa à qualidade do alimento, por meio de *recalls* dos produtos (HERTOG et al., 2006).

Por exemplo, o tomate é uma hortaliça extremamente suscetível a doenças e frágil ao manuseio (ANDRADE, OETTERER e TORNISIELO, 2010). O sistema de rastreabilidade aplicado a seu processo de produção tem tido êxito em garantir a qualidade do produto final, em especial quanto à redução de resíduos gerados pelos insumos tóxicos, melhora na estimativa de datas de validade e redução de perdas (CARAMANTE et al., 2011).

Pela importância dessa aplicação no contexto deste trabalho, ela será detalhada e analisada nos itens que seguem.

3.2.1 Processo de Rastreabilidade na Produção e Distribuição do Tomate

A maior parte dos grandes produtores de tomate vêm implementando processos de rastreabilidade, coletando informações em campo ou de modo manual com auxílio de formulários específicos ou por meios automatizados (Paripassu⁴). Quando os meios estão automatizados, o produtor recebe mudas cujos dados de lote encontram-se registrados em etiquetas RFID, coladas nas caixas dessas mudas. Esses dados são coletados e registrados em dispositivo tipo *tablet*, que permite armazenar, também, o código de barras da estufa em que a muda é plantada. Posteriormente, os dados são transferidos ao sistema de gestão por meio de uma conexão com fio. O sistema associa os dados da estufa aos de lote da muda e envia essa informação ao banco de dados, por meio da *Internet*. As leituras dos dados da etiqueta RFID e do código de barras são feitas por leitores eletrônicos, evitando, com isto, erros de digitação.

O sistema de rastreabilidade utilizado pela empresa Paripassu⁴ é tomado como exemplo neste trabalho, sendo sintetizado na sequência.

No sistema da Paripassu as informações são associadas a outras informações como temperatura, umidade da estufa, dados de irrigação durante todo o tempo de permanência da planta na estufa. Também podem ser associadas informações de ocorrências como doenças, pragas e quantidade aplicada de defensivos agrícolas (ANDRADE et al., 2010). Posteriormente, os dados são transferidos para o banco de dados por meio da Internet.

Durante a colheita, os códigos de barras das estufas em que houve o cultivo e da caixa que receberá os tomates para serem transportados são registrados e transferidos para o sistema de rastreamento (PARIPASSU, 2015).

As caixas de tomate são, então, enviadas para a empresa de embalagem. Leitores de códigos de barras, conectados a terminais de computadores, registram a passagem do produto pela expedição do produtor e pelo recebimento da empresa de embalagem, associando a dados como data, hora, tipo de transporte utilizado

⁴ Informações obtidas no site <http://www2.paripassu.com.br/guiadarastreabilidade>, acessado em dezembro de 2015.

(usualmente caminhões refrigerados). As informações são reenviadas ao banco de dados do sistema de rastreamento.

A empresa de embalagem irá classificar cada tomate, higienizá-los e embalá-los segundo a classificação. Uma vez embalados, os tomates recebem um código de lote que está associado ao código da caixa pela qual os tomates foram transportados. Ao código de lote também são associadas as etapas do processo de embalagem e classificação, de modo a ser possível identificar por qual célula de trabalho o lote do produto passou.

Após o processo de embalagem, o produto é distribuído ao comércio com o código de lote e data de validade, em função do dia da colheita constante no banco de dados.

Todos os dados são transferidos para um sistema do tipo *Enterprise Resource Planning* (ERP) que, por meio da Internet, permite a qualquer usuário, obter informações quanto a, por exemplo: caminho percorrido pelo produto; data e hora em que cada etapa foi realizada; em que estufa foi cultivado; qual o meio de transporte empregado; por qual célula de seleção passou etc., desde que tenha o código de barras da embalagem do produto.

Uma análise estatística dos dados gerados ao longo de todo o processo de produção pode associar uma tendência de falta de qualidade dos produtos a um elemento ou fase da produção, embalagem ou distribuição, facilitando a identificação de falhas no processo, bloquear lotes com problemas, por exemplo, contaminações, evitando, com isto, maiores perdas.

3.2.2 Problemas do processo de Rastreabilidade do Tomate

O processo de rastreabilidade permite que, a partir de uma reclamação do consumidor ou revendedor, o produtor identifique a falha no processo e a corrija para que não volte a ocorrer nos lotes futuros. Uma vez identificado o problema, o processo de rastreabilidade permite, por exemplo, que sejam feitas correções no manuseio, no tipo de embalagem ou mesmo em relação à seleção das melhores rotas de transporte para que o produto chegue mais cedo ao consumidor.

Entretanto, o principal problema do sistema de rastreabilidade é semelhante à aplicação do CCT da cana-de-açúcar, anteriormente apresentado, isto é, os problemas são detectados somente no final do processo que, no caso desta aplicação, terá chegado ao consumidor final ou ao varejista. Portanto, não permite a correção durante o processo. Com isto, os lotes possivelmente afetados pelo problema, em geral, são descartados ou repassados como produtos de menor valor agregado. A imagem do produtor perde valor e o produto é rotulado como de qualidade inferior.

Para que se melhore o sistema de rastreabilidade na agricultura, ao ocorrer um evento não previsto, por exemplo, a quebra de um veículo de transporte ou uma falha na refrigeração, faz-se necessário que, imediatamente, o sistema de gestão envie informações a um centro de gerenciamento e este dispare ações para contornar ou resolver o problema, antes que o evento comprometa a qualidade do produto, levando ao seu descarte. No processo atual, ainda que os tomates sejam transportados por veículos refrigerados, perdas no transporte ainda são significativas (ANDRADE et al., 2010). Acredita-se que isto ocorra, em parte, porque a infraestrutura de comunicação nem sempre está disponível em todo o trajeto.

3.2.3 Uma possível solução: comunicação em tempo-real

Como no caso das atividades de CCT da cana-de-açúcar, a comunicação dos dados em tempo real traria o benefício de permitir que as correções pudessem ocorrer durante o processo, evitando-se a perda de todo o lote, ou mesmo que os produtos afetados chegassem ao varejista ou ao consumidor.

A IoT possibilitaria que os dados fossem enviados ao banco de dados do sistema de gerenciamento da produção em tempo real ou *on-line*, o que poderia disparar correções imediatas. Hertog et al. (2006), por exemplo, propõem que à rastreabilidade da cadeia produtiva do tomate sejam associados sistemas inteligentes para permitir alterações em tempo real. Em seu trabalho fazem uso de etiquetas RFID e leitores distribuídos ao longo da cadeia produtiva e de distribuição do tomate.

A comunicação durante a movimentação em estrada raramente é feita e, quando feita, utiliza uma única tecnologia de comunicação (satelital ou GPRS/3G), o que

aumenta a possibilidade da existência de zonas de “sombra”, por falhas na infraestrutura ao longo da rota. O uso de sensores sem fio, instalados nos veículos de transporte e que façam uso de diversas tecnologias de comunicação, pode resolver ou atenuar o problema, para a maioria das aplicações.

3.3 RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentadas duas situações na agricultura em que a IoT poderia vir a ser aplicada; entretanto, as soluções apresentadas pela literatura técnica-científica é ainda insuficiente, comprometendo a eficiência do processo e mostrando a necessidade de desenvolvimentos específicos para esta área.

No próximo capítulo apresenta-se a proposta deste trabalho, uma das possíveis soluções para aplicações como as citadas neste capítulo.

4. SELETOR ADAPTATIVO DE TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO (SATeC)

Neste capítulo propõe-se uma possível solução para os problemas apresentados no Capítulo 3: um bloco funcional adaptativo, o Seletor Adaptativo de Tecnologia de Comunicação (SATeC).

As características do SATeC são sintetizadas e, na sequência, são apresentados e detalhados os dois módulos que o compõem: o gerenciador e o de campo. Por fim, apresenta-se a característica de adaptabilidade do SATeC e sua implementação por meio de ADAs , as quais também são detalhadas.

4.1 SÍNTESE DO SATeC

Para sintetizar as características do SATeC, inicialmente são apresentados os requisitos necessários para que atenda aos objetivos apresentados no capítulo 1, seguidos das justificativas do porquê utilizar tecnologias adaptativas. A proposta para o seu funcionamento é apresentada e, em seguida, são mostrados quais blocos funcionais da IoT seriam afetados pelo SATeC, segundo a estrutura apresentada no Capítulo 2.

4.1.1 Requisitos para a proposta

Para uma solução que atenda aplicações como as apresentadas no Capítulo 3, os seguintes requisitos são necessários:

- tomada de decisão em tempo real, para que haja eficiência na gestão dos processos agrícolas, são necessárias informações precisas que possibilitem a tomada de decisão visando à atuação no processo em tempo hábil;
- emprego simultâneo de diferentes tecnologias de comunicação como RFID, Wi-Fi, RSSF, GPRS/3G/4G e satelital, para que seja possível, por um custo adequado, garantir grande cobertura, nas mais diversas aplicações;
- ambiente de comunicação deverá ser acessível (automático e transparente) ao usuário, para que o agricultor, com o mínimo de

conhecimento e com pouca mão de obra especializada, possa implantar o sistema;

- possibilidade de troca automática do ambiente computacional, em tempo de execução, sempre que ocorrerem eventos que alterem as condições de contorno (inclusão, exclusão, movimentação e ou danos em elementos do sistema, mudança em condições climáticas etc.), ou seja, quando um elemento do sistema perder a capacidade de comunicação, por qualquer que seja o motivo, o sistema deverá recriar o ambiente de comunicação por alteração de rotas, troca de tecnologia etc.

4.1.2 A Solução proposta

Uma solução que faça uso dos princípios da IoT, pode atender aos requisitos anteriormente definidos de tempo real e trabalho simultâneo com diversas tecnologias de comunicação. Porém, de pronto, não atende a alguns dos requisitos definidos no item anterior, para um sistema de gestão agrícola. Por isto, é necessário complementar a estrutura da IoT apresentada no Capítulo 2 com um bloco funcional que faça a seleção da tecnologia de comunicação a ser usada pelo sensor em campo e que se adapte a possíveis alterações do cenário. Ou seja, as regras que o bloco faz uso para tomada de decisão (seleção da tecnologia) devem se alterar sempre que os resultados não atenderem a padrões preestabelecidos de qualidade de comunicação.

As funções adaptativas deverão facilitar a implantação, uma vez que partindo de um conjunto de regras padronizadas iniciais, estas vão se “adaptando”, até chegar a um conjunto de regras que atenda ao ambiente e à aplicação desejada.

A necessidade de que este módulo faça uso de técnicas adaptativas decorre das seguintes características das aplicações:

- Multiplicidade de culturas: o sistema deverá atender a diversas culturas, desde as rasteiras até aquelas em que os cultivares atinjam vários metros de altura. O critério de altura dos cultivares foi selecionado porque essa grandeza pode influenciar diretamente na propagação dos sinais de comunicação. Há culturas cuja altura é distinta ao longo de um ciclo de produção (milho, cana-de-açúcar etc.); por isto, ocorrem mudanças na forma de comunicação dos sensores as quais deverão ser absorvidas pelo sistema de gestão.
- Variabilidade de clima e microclima: o clima pode variar ao longo do ciclo da cultura ou mesmo durante uma das fases do cultivo, ou seja, durante a colheita podem ocorrer períodos de estiagem, de chuva, de calor ou frio intensos ou não etc. Estas variações climáticas podem alterar as condições de propagação do sinal de comunicação em função da tecnologia utilizada. O sistema de gestão deve absorver essas variações.
- Diversidade de topografia: a topografia da região de plantio pode provocar áreas de “sombra” para algumas tecnologias de comunicação e não influenciar para outras. O sistema de gestão deve absorver a diversidade topográfica.
- Movimentação dos pontos de comunicação: em algumas aplicações os pontos de comunicação estão fixados em máquinas agrícolas que podem se deslocar por toda área de plantio. Essa mobilidade altera as condições de comunicação, mas não deve influenciar no sistema de gestão que deve estar preparado para este tipo de ocorrência.
- Diversidade de Aplicações: a produção de cultivares possui diversidade de tarefas, algumas das quais exigem mais do sistema de comunicação, enquanto outras, menos. O sistema de gestão deve funcionar independentemente dessa variável.

Segundo Fradkov et al.(2013), características como grande número de elementos autônomos trabalhando simultaneamente, possibilidade de inserção e exclusão de novos elementos com prioridades e funções diferentes das existentes e forte influência de fatores externos na operação definem o sistema como um sistema

complexo. Para estes sistemas, devido ao alto número de combinações entre as variáveis, não é possível criar um modelo que preveja todos os possíveis eventos que possam ocorrer. Uma solução que se altere e se adapte automaticamente (que aprenda) a cada novo evento não previsto que ocorra, ou seja uma solução com uso de técnicas adaptativas (HIGHSMITH, 2013) para a seleção da tecnologia de comunicação, seria indicada.

Em resumo, propõe-se:

“Um sistema de comunicação digital baseado na Internet das Coisas (IoT) que possua em seu middleware funções de seleção da tecnologia de comunicação a partir do emprego de técnicas adaptativas, permitindo que um mesmo elemento (coisa) possa se comunicar selecionando automaticamente em tempo de execução uma determinada tecnologia de comunicação. Este sistema necessitaria que o middleware da IoT tivesse um bloco funcional, que neste trabalho será chamado de Seletor Adaptativo de Tecnologia de Comunicação (SATEC).

4.2 O SATEC EM APLICAÇÕES DE IoT

Para descrever o SATEC, inicialmente é mostrado como ele se insere nas aplicações de IoT.

4.2.1 Como o SATEC se insere na IoT

O SATEC deverá definir as tecnologias de comunicação e o protocolo correspondente a serem usados em cada instante, para cada um dos sensores, em função da aplicação específica. Portanto, deverá estar inserido entre o bloco de protocolos e interfaces e os sensores (“as coisas”).

A Figura 5 (simplificação da Figura 4) ilustra a situação em que foram retirados os módulos funcionais de um *middleware* para IoT não afetados pelo SATEC, e a Figura 6 apresenta a mesma figura com o SATEC incluído. Pode-se observar na Figura 6, que o SATEC possui funções que devem ser incluídas tanto no *middleware* como nos sensores (coisas).

Figura 5- Blocos Funcionais do *middleware* da IoT afetados pela proposta

Fonte: Adaptado de Bandyopadhyay et al. (2011)

Figura 6 - Representação do SATeC (em amarelo) como bloco funcional para o sistema de gestão baseado em IoT

Fonte: o autor

4.2.2 Detalhamento do SATeC

O SATeC possui um módulo gerenciador dentro do *middleware* e módulos de campo para cada “coisa” que precisa ter comunicação (sensores, *tags* RFID etc.).

Os módulos de campo recebem do gerenciador uma ADA contendo a lógica de seleção da tecnologia e de adaptabilidade, além de atualizações das variáveis globais usadas pelas ADA. A cada necessidade de se comunicar, o módulo de

campo deverá utilizar a ADA para selecionar a tecnologia de comunicação mais adequada e, então, ativará a interface correspondente e os protocolos necessários.

As ADAs contêm, além da lógica de seleção, a lógica de adaptabilidade, de modo a avaliar a necessidade de se adaptar a um novo contexto, por meio da análise das variáveis relacionadas à qualidade da comunicação e de estatísticas de sucesso da comunicação, ou seja, além de selecionar a tecnologia, determina a necessidade de uma nova ADA.

Como exemplo, pode-se ter um módulo de campo associado a um nó da rede que recebe uma ADA que necessita das seguintes variáveis para determinar a tecnologia de comunicação: temperatura, precipitação, tensão da bateria e latitude. Supondo que este nó possua um dispositivo tipo GPS e que monitore a tensão da bateria localmente, o módulo receberá do gerenciador apenas atualizações das variáveis temperatura e precipitação. O módulo irá operar pela tecnologia definida pela ADA e enviará para o módulo gerenciador as variáveis globais e uma possível solicitação de uma nova ADA.

O gerenciador do SATeC permanece monitorando as comunicações para detectar: um novo elemento que queira entrar no sistema; um elemento que se tornou inativo; taxas de insucessos acima de um determinado limite; ou mesmo um módulo de campo que solicitou uma nova ADA. Neste caso, o gerenciador irá gerar uma nova ADA com possíveis novas regras implementadas, e as enviará ao módulo correspondente. A Figura 7 ilustra uma representação destes módulos de campo.

Figura 7- Representação do módulo de seleção do SATeC.

Fonte: o autor

O SATeC, além de selecionar a melhor tecnologia para comunicação de cada nó, é capaz de incorporar novos elementos, novas tecnologias ou mesmo eliminar elementos sem a interferência humana. Ao gerar uma nova ADA, o sistema se adapta a novas realidades ou alterações das condições iniciais, ainda que não previstas.

4.3 A ÁRVORE DE DECISÃO ADAPTATIVA DO SATeC

O SATeC faz a seleção da tecnologia de comunicação gerando uma ADA para as “coisas” que desejam participar da comunicação, a partir de um conjunto de exemplos, como recomendados por Wang, Dong e Yan (2012). Os exemplos são um conjunto de atributos associados a variáveis que podem influenciar no resultado da comunicação e que estejam disponíveis ao gerenciador do SATeC.

4.3.1 Montagem da ADA

O Quadro 4 descreve algumas das possíveis variáveis para a ADA. Variáveis numéricas são organizadas em classes e cada classe equivale a uma nova variável da ADA, com o atributo de pertencer ou não à classe.

Quadro 4 - Possíveis variáveis para a Árvore de Decisão Adaptativa

Variável	valores possíveis
Temperatura local	muito baixa/baixa/amena/alta/muito alta
Meses após o plantio	0 a 12 meses
Chuva	ausência/garoa/fraca/moderada/forte/muito forte
Velocidade do vento	ausência/brisa/fraco/moderado/forte/muito forte
Direção do vento	N/S/L/O/NE/NO/SE/SO
Umidade relativa do ar	baixa/média/alta
Velocidade do nó	< 10Km/h, ente 10 e 20 km/h, a cima de 20 km/h
Direção do nó	N/S/L/O/NE/NO/SE/SO
Pressão atmosférica	baixa/média/alta
Altitude relativa	baixa/média/alta
Poeira	ausente/presente
Distância ao nó mais próximo	próximo/médio/longe/muito longe
Nível do sinal GPRS	0 a 7
Tensão da bateria	0 a 6
Declividade	leve/moderada/intensa

Fonte: o autor

Os exemplos iniciais podem ser gerados por ensaios genéricos realizados antes da implantação do sistema e pré-configurados no gerenciador. Um configurador simples deve fazer parte do gerenciador, pois este necessita apenas que se determine a fonte

4.3.2 Adaptabilidade da ADA

Apesar de existirem diversos middlewares adaptativos, como os apresentados no Capítulo 2, nenhum deles é específico para aplicações em que a informação possua mais de uma alternativa tecnológica para comunicação no nó em campo e nem possuem recursos de adaptabilidade específicos para seleção desta tecnologia.

Nesta proposta, para facilitar a implementação, as funções de adaptabilidade podem ser incluídas na mesma árvore de decisão que possui a lógica de seleção da tecnologia. Uma saída especial desta árvore deve determinar a necessidade de gerar uma nova ADA sempre que os índices de qualidade da comunicação estiverem abaixo de valores padronizados, motivados pela:

- ocorrência de uma mudança significativa nas condições de contorno;
- acréscimo ou retirada de um novo elemento (coisa);

qualquer motivo que provoque taxas de falha da comunicação acima de um limite determinado.

A ADA deverá ter uma classe para cada tecnologia sem a indicação para gerar uma nova ADA e uma classe pra cada tecnologia com a indicação para gerar uma nova ADA, ou seja o número de classes será duas vezes o número de tecnologias.

4.4 RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi feita uma descrição do SATeC - Seletor Adaptativo de Tecnologias de Comunicação, para ser implementado em aplicações agrícolas e apresentou-se também como deve ser o seu funcionamento geral. Foi sugerido o uso de ADAs como técnica de implementação da adaptabilidade.

No Capítulo 5 serão apresentados os ensaios de campo e as simulações utilizados para validar o SATeC.

5. ETAPA EXPERIMENTAL: ENSAIOS EM CAMPO E SIMULAÇÕES

Segundo Gil (2007), uma pesquisa experimental é sistematizada nas seguintes etapas, as quais foram utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho:

- formulação da hipótese (Item 1.3.2). Neste trabalho a hipótese é fruto da revisão bibliográfica;
- seleção das variáveis que atuam sobre os fenômenos estudados. Neste trabalho, além da seleção das variáveis, foram definidos limites para cada uma delas. O conjunto de variáveis e limites formam um cenário;
- ensaios em que as variáveis são controladas. Estes ensaios foram realizados por meio de simulações em computador. Para a realização das simulações é proposto um modelo, também baseado em pesquisas bibliográficas. Para ajustar os parâmetros deste modelo ao ambiente agrícola, foram realizados ensaio em campo;
- análise estatística dos resultados. Neste trabalho para a análise estatística empregou a ferramenta Weka, descrita no item 5.3.2.

Resumindo, foram realizados dois experimentos, o primeiro por meio de ensaios em campo, cujo objetivo foi definir os parâmetros do modelo para o segundo experimento: as simulações.

5.1 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS: DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS

Um conjunto de variáveis que podem afetar a qualidade de comunicação forma um cenário. Foram definidos dois cenários semelhantes aos usados nos ensaios em campo, pois os resultados estariam mais próximos de uma aplicação real. Apesar de algumas variáveis possuírem valores fixos, estes valores são diferentes de um cenário para outro.

5.1.1 *Variáveis com valores fixos*

O primeiro cenário representa uma plantação de cana-de-açúcar em sua fase inicial (plantas com 20 a 30 cm de altura) e tem as seguintes características:

- Local: Piracicaba, interior do Estado de São Paulo;
- Época: Outubro de 2013;
- Estágio: plantas com 20 a 30 cm de altura;
- Pontos: 8 nós sensores e um nó coletor;
- Tecnologia disponível em todos os nós: RSSF, Wi-Fi e GPRS.

Para o cenário 2, definido para uma fase adulta dos cultivares (plantas com 1,80 a 2,30 m de altura), os nós 5 e 8 foram retirados, simulando uma parada de operação por algum fator externo atuante nestes nós. Além disso, acrescentou-se um nó em uma possível colhedeira (nó 9) que percorre a plantação lentamente, resultando nas seguintes características:

- Local: Piracicaba, interior do Estado de São Paulo;
- Época: Dezembro de 2013;
- Estágio: plantas com 1,80 a 2,30 m de altura;
- Pontos: 6 nós sensores fixos, um móvel e um nó coletor
- Tecnologia disponível em todos os nós: RSSF, Wi-Fi e GPRS.

Variáveis relativas ao posicionamento e à tecnologia disponível em cada nó formam o conjunto de variáveis cujos valores são constante para cada cenário. O Quadro 5, representa as variáveis com valores constante do cenário 1, enquanto que o Quadro 6 apresenta as variáveis de valores constantes do cenário 2.

Quadro 5 - Posicionamento dos nós no cenário 1

nó	altitude Relativa (m)	declividade (%)	latitude	longitude	distância RSSF ⁽¹⁾ (m)	distância Wi-Fi ⁽²⁾ (m)	distância GPRS ⁽³⁾ (m)
coletor	0	3,1	-22,7122	-47,6288			1264,4
1	-23,9	2,9	-22,7135	-47,6272	19,5	274,7	1336,5
2	-25,5	5,2	-22,7137	-47,6268	58,2	261,9	1336,5
3	-23,5	1,2	-22,7131	-47,6268	38,1	229,4	1337,0
4	-25,2	5,1	-22,7125	-47,6267	69,9	214,1	1337,5
5	-23,1	0,8	-22,7119	-47,6267	202,4	202,4	1339,1
6	-23,7	1,9	-22,7112	-47,6266	44,1	207,1	1347,9
7	-23,7	0,7	-22,7111	-47,6267	75	234,8	1350,6
8	-23,9	1,1	-22,7116	-47,6269	29,7	251,2	1355,8

Fonte: o autor

⁽¹⁾ até o nó mais próximo

⁽²⁾ até o *gateway*

⁽³⁾ até a Estação Rádio Base (ERB)

Quadro 6 - Posicionamento dos nós no cenário 2

nó	altitude Relativa (m)	declividade (%)	latitude	longitude	distância RSSF ⁽¹⁾ (m)	distância WI-FI ⁽²⁾ (m)	distância GPRS ⁽³⁾ (m)
coletor	0	3,1	-22,7122	-47,6288	-	-	1264,4
1	-23,9	2,9	-22,7135	-47,6272	19,5	274,7	1336,5
2	-25,5	5,2	-22,7137	-47,6268	58,2	261,9	1336,5
3	-23,5	1,2	-22,7131	-47,6268	38,1	229,4	1337
4	-25,2	5,1	-22,7125	-47,6267	69,9	214,1	1337,5
6	-23,7	1,9	-22,7112	-47,6266	44,1	207,1	1347,9
7	-23,7	0,7	-22,7111	-47,6267	75	234,8	1350,6
9 ⁽⁴⁾	-23,7 a -24,0	1,3 a 3,2	-22,7114 a -22,7127	-47,6280 a -47,6275	14,8 a 40,0	250,7 a 209,8	1336,7 a 1353,2

Fonte: o autor.⁽¹⁾ até o nó mais próximo;⁽²⁾ até o gateway;⁽³⁾ até a Estação Rádio Base (ERB);⁽⁴⁾ Intervalo percorrido.

5.1.2 Limites de Valores das Variáveis

Os limites usados são apresentados no quadro 7, para o cenário 1 e no quadro 8, para o cenário 2.

Quadro 7 – Limite das variáveis que definem o cenário 1

Variável	limite inferior	limite superior	observação
Temperatura	12,6 °C	31°C	Considerou-se os limite do dia obtido dos sites climatológicos
Chuva	0 mm	30 mm	Considerou-se os limite do dia obtido dos sites climatológicos
umidade	33,5	62,5	Dados obtidos de sites climatológicos
Tensão da bateria	3,4V	2,68V	
distância			Calculada em função da posição do nó transmissor e receptor.

Fonte: o autor.**Quadro 8 – Limite das variáveis que definem o cenário 2**

Variável	limite inferior	limite superior	observação
Temperatura	17,4 °C	32,3°C	Considerou-se os limite do dia obtido dos sites climatológicos
Chuva	0mm	30,7mm	Considerou-se os limite do dia obtido dos sites climatológicos
umidade	51,5	54,2	Dados obtidos de sites climatológicos
Tensão da bateria	3,3V	2,61V	
distância			Calculada em função da posição do nó transmissor e receptor.

Fonte: o autor.

Também foi considerada como variável a perda de potência provocada pela queda de tensão da bateria, uma vez que a tensão possui uma relação direta com a potência do sinal transmitido.

Para cálculo das distâncias considerou-se que a base da rede WiFi se encontrava na mesma posição do nó gateway da RSSF, enquanto que a estação base da rede GPRS se encontrava a 274,7 m do nó mais próximo (nó 1).

A posição do nó 9 no cenário 2 varia a cada simulação. Inicia-se com o nó na mesma posição do nó 1 e este se desloca linearmente até o nó 8.

5.2 PROPOSIÇÃO DE UM MODELO PARA SIMULAÇÃO

Este trabalho parte da hipótese de que a qualidade da comunicação em um ambiente agrícola pode ser obtida por uma relação direta com a perda do sinal de propagação. Segundo Khalili e Salamatian (2004) e Petrova et al. (2006), tem-se uma relação direta da qualidade da comunicação dada pelo *Packet Error Rate* (PER) com o nível do sinal de rádio recebido pelo receptor, o *Received Signal Strength Indicator* (RSSI).

Assim, o modelo proposto corresponde a somar as perdas do sinal de RF provocadas pelas variáveis individualmente e assim determinar o nível do sinal recebido ou seja o RSSI, que é convertido em um padrão de qualidade para cada uma das tecnologias.

Definiu-se um critério para relacionar o RSSI com a qualidade de comunicação, a partir da proposta de Wu et al. (2008). Estes pesquisadores propõem que para RSSI abaixo de 35 dBm, a qualidade seria insatisfatória ou fora de alcance e entre 45 dBm e 35 dBm a comunicação seria possível, mas ocorreriam falhas que poderiam ser contornadas pelos protocolos; porém, implicariam em redução da velocidade real devida a possíveis repetições. Acima de 45 dBm a qualidade seria satisfatória.

A partir desta proposta, neste trabalho foram definidos três padrões de qualidade de comunicação:

- Satisfatória: RSSI acima de 45 dBm.
- Com falhas: RSSI entre 35 dBm e 45 dBm.
- Insatisfatória: RSSI abaixo de 35 dBm.

Para a determinação das perdas de sinal provocadas pelas variáveis individualmente, foram considerados os resultados obtidos nos seguintes trabalhos acadêmicos:

- Buono et al. (2009) - estudaram o impacto da chuva, temperatura e umidade na qualidade das comunicações com redes Wi-Fi e o efeito da luz solar e de sua variação ao longo do dia. Os resultados obtidos por esses pesquisadores foram incorporados ao modelo do WiFi e das RSSF;
- Maral e Bousquet (2011) - buscaram mostrar a influência de fatores meteorológicos na relação sinal/ruído em enlaces de comunicação digital. Os resultados obtidos por esses pesquisadores foram incorporados ao modelo da comunicação satelital;
- Carvalho, Santos e Costa (2002) e Sarraf et al., (2012) - apresentaram resultados de pesquisa em campo com foco na comunicação no padrão GSM e GPRS. Seus resultados foram incorporados no modelo do GPRS;
- Baptista e Marins (2016) - apresentaram um estudo da influência da chuva sobre comunicações com acesso à Internet, por meio de satélites. Apresentaram, também, novas técnicas para atenuar o problema. Os resultados dos seus experimentos foram incorporados ao modelo da comunicação satelital;
- Rappaport (2001) - fez um estudo de três modelos de predição do nível do sinal de rádio, em função da distância entre os transceptores - espaço livre, *log-distance* e *Shadowing*. O modelo de *Shadowing* foi selecionado para ser utilizado neste trabalho por duas razões: primeiro porque Rappaport (2001) recomenda esse modelo como sendo o mais adequado a ambientes externos com variações ambientais, como ocorre em ambientes agrícolas; segundo, porque o modelo se mostrou adequado nos ensaios de campo realizados.

Dada a importância destes modelos para a compreensão dos resultados dos ensaios de campo e simulações, na sequência é feita uma síntese de suas principais características.

5.2.1 Modelo para o espaço livre

O modelo de propagação no espaço livre (sem obstáculos) e segundo Rappaport (2001) é dado pela Equação (1) e mostra que o nível do sinal recebido esta relacionado com a frequência do sinal e da distância entre o receptor e o transmissor:

$$P_r(d_0) = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - 10 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)^2 \quad (1)$$

onde:

- P_r – Potência Recebida (em dBm);
- P_{TX} – Potência Transmitida (em dBm);
- G_{TX} – Ganho da Antena de Transmissão;
- G_{RX} – Ganho da Antena de Recepção;
- d_0 – é a distancia entre a antena emissora e a receptora;
- λ - é o comprimento de onda da portadora.

5.2.2 Modelo Log-Distance:

O modelo de propagação do Sinal de RF Log-Distance foi obtido a partir do modelo de propagação no espaço livre acrescido de um termo de perdas referente ao tipo de ambiente e é dado pela Equação (2):

$$L_{TOTAL} = 10 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)^2 + 10\beta \log \frac{d}{d_0} \quad (2)$$

onde L_{TOTAL} é a atenuação do sinal entre as estações transmissora e receptora.

Rappaport (2001) afirma que este modelo pode ser usado tanto em ambientes externos como internos, mas se adequa melhor a ambientes internos, Os valores de β variam de acordo com a caracterização do ambiente, existindo valores tabelados para ambientes padronizados.

5.2.3 Modelo de Propagação de Shadowing

O modelo Shadowing é uma variação do modelo Log-Distance, considerando um fator de incerteza χ . É dado pela equação:

$$P_r(d)_{dB} = P_r(d_0)_{dB} - 10\beta \log \frac{d}{d_0} + \chi_{dB} \quad (3)$$

O termo χ é uma função aleatória, uma normal de média igual a 0 (zero), que tem o objetivo de compensar as discrepâncias entre as medições empíricas. O desvio padrão desta função também possui valores tabelados para ambientes padronizados.

5.3 ENSAIOS DE CAMPO PARA CALIBRAR O MODELO DE SHADOWING

O modelo de Shadowing possui alguns parâmetros (β e a função χ), que precisam ser determinados em função do ambiente em que a propagação do sinal ocorre. Necessitou portanto ser calibrado por ensaios de campo realizados a partir dos modelos espaço livre e *log-distance*.

5.3.1 Materiais para os ensaios de campo

- Kit para RSSF da linha eKo composto por um conjunto de sensores comumente utilizados na agricultura, uma miniestação meteorológica, 11 nós, transceptor e *gateway* da linha eKo cujos dados estão disponível no site MEMSIC⁵ (Figura 8).

Figura 8 - Ilustração de nó (à esquerda), transceptor (ao centro) e gateway (à direita) da linha eKo e tela do eKoView (ao fundo).

Fonte: Memsic⁵ acessado em 10/10/2015

⁵ <http://www.memsic.com/> acessado em outubro de 2014

- Computador pessoal portátil tipo PC, com sistema operacional Windows 7;
- No-break para fornecer energia para o gateway e para o computador;
- Software eKoView para monitoramento da rede;
- Hastes tubulares de PVC para fixação dos nós (Figura 9);
- Planilhas eletrônicas tipo Excel para registro de dados e posterior análise dos resultados.

Figura 9 - Hastes de PVC p/ fixação do nó eKo

Fonte: Foto tirada pelo autor em 15/03/2014

O objetivo deste ensaio foi encontrar o parâmetro β e o desvio padrão da função χ . Como a média desta função é definida como zero, resta apenas determinar o desvio padrão. Foram realizados três ensaios em campo com a RSSF da linha eKo.

5.3.2 Ensaio em área aberta

Realizado em área aberta, em que se buscou confirmar se os parâmetros do sinal de rádio fornecido pelo fabricante estão de acordo com o modelo de espaço livre, além de se considerar os ganhos das antenas e as perdas dos conectores.

A aplicação da RSSF ocorreu no mês de abril de 2014, em uma praia do município de Bertioga-SP, Brasil, com cerca de 4 km de comprimento e 600 m de largura. De um lado, a área era limitada pelo mar e, de outro, por vegetação rasteira (menor que 0,5 m de altura). A rede foi montada com três nós (gateway, nó atuando como repetidor e nó terminal). O nó repetidor foi alocado a 300 m do gateway e a 2 m de altura do solo, enquanto que o nó terminal foi posicionado em diversos pontos da praia, também a 2 m de altura do solo. A visada era total, ou seja, não existiam obstáculos entre receptores e transmissores.

Os ensaios foram realizados dia ensolarado, com temperaturas entre 22 °C e 28 °C, com umidade relativa em torno de 72%, segundo dados meteorológicos da agência Climatempo⁶.

A rede foi configurada de modo a não ocorrerem transmissões diretas entre o nó terminal e o gateway. O aplicativo *ekoView*, fornecido pelo fabricante da RSSF, executado em computadores tipo notebook, foi usado para determinar a qualidade do sinal por meio do PER e do roteamento.

5.3.3 Ensaio em área com obstáculos

Realizado em área com obstáculos físicos e interferências típicas de um ambiente rural (árvores, cercas, rios etc.), a fim de se obter o parâmetro β dos modelos *log-distance* e *shadowing*.

A aplicação da rede ocorreu em abril de 2013, na raia olímpica da Universidade de São Paulo. A área possui cerca de 2.000 m de comprimento por 40 m de largura. Em uma das laterais dessa raia há uma fila de árvores com cerca de 5 m de altura e espaçadas entre si de aproximadamente 10 m, seguidas de pequenas construções dispostas em linha e uma cerca de arame. A mesma configuração de árvores se repete na outra lateral da raia.

⁶ <http://www.climatempo.com.br/previsao-do-tempo/cidade/513/piracicaba-sp> acessado em maio de 2013

O ensaio, com duração de dois dias, foi realizado no corredor central entre as árvores, onde era possível obter visada total. No primeiro dia havia sol, temperaturas entre 20 oC e 24 oC, umidade relativa do ar em torno de 75%. O segundo dia estava com céu encoberto por nuvens, temperaturas entre 21 oC e 25 oC e umidade relativa do ar em torno de 83%. A rede foi configurada de modo a não ocorrerem transmissões diretas entre o nó terminal e o gateway.

5.3.4 Ensaio em uma Plantação de Milho

O ensaio foi realizado com a aplicação de uma RSSF na fase inicial de crescimento de uma cultura experimental de milho, durante os meses de outubro a dezembro de 2013, no Campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP (ESALQ), em Piracicaba.

A RSSF foi montada com 11 nós, com até 4 sensores por nó e espalhados pela plantação conforme mostra a foto da FX. Foi usado também um roteador para conexão à Internet. A rede foi monitorada durante os três meses até que a cultura de milho entrasse na fase de colheita. Neste período pode-se observar a alta variabilidade das condições ambientais, climatológicas e de medição devidas ao crescimento das plantas.

Figura 10 - Posicionamento dos nós no ensaio.

Fonte: o autor

Na aplicação em campo os nós foram alocados a distâncias que variaram de 6,5 a 161 m. Em especial o nó 11 foi disposto de modo a operar como repetidor como mostra a Figura 10.

A comunicação foi monitorada em dois locais distintos. O primeiro, próximo da cultura experimental, no laboratório da ESALQ, onde estava instalado o nó coletor (base) que recebia as informações por meio de um gateway. Este continha um dispositivo de memória móvel, tipo pen-drive e também disponibilizava os dados na Web por meio de um aplicativo embarcado no próprio gateway, que permitiu a monitoração a partir do campus da USP em São Paulo

5.3.5 Modelo de Shadowing para Culturas Agrícolas

O parâmetro β representa a influência do ambiente no modelo *log-distance*, quando comparado ao modelo de espaço livre que considera apenas as perdas da instalação (cabos, conectores etc). Logo este parâmetro pode ser obtido pela diferença entre os resultados obtidos nos dois primeiros ensaios.

O desvio padrão da função normal pode ser obtido fazendo um paralelo com o desvio padrão dos os PERs obtidos no ensaio com a cultura de milho.

Desta forma, substituindo os dois parâmetros obtidos na equação (3) chegou-se ao modelo abaixo:

$$L_{TOTAL} = 80,2 + 30,8 \log\left(\frac{d}{100}\right) + \chi(0,0;3,52)_{dB} \quad (4)$$

5.4 SIMULAÇÕES

O objetivo da etapa experimental é comprovar a hipótese apresentada no Capítulo 1; portanto, mostrar que a cada interação feita pelo simulador mais a ADA gerada pelo SATeC tende a se modificar e se adequar ao cenário. Neste contexto, foram realizadas interações até que os dados mostrassem uma convergência, ou seja a cada nova interação a nova ADAs gerada respondia melhor ao cenário que as anteriores. Em algumas simulações esta convergência foi obtida logo nas primeiras

interações em outras após dezenas de simulações. Portanto estabeleceu-se o limite de 120 interações a para cada cenário, sendo o suficiente para que observasse a convergência desejada em todas as simulações realizadas.

Utilizando-se o modelo de Shadowing, anteriormente definido, foram realizadas simulações, por computador, de uma aplicação a partir de dois cenários. Os cenários foram criados a partir de situações próximas à realidade para a mesma cultura (milho ou cana-de-açúcar); sendo um para a fase imediatamente após o plantio, e outro para a fase de colheita, os quais geram um comportamento distinto da comunicação.

5.4.1 Materiais para a fase de Simulação

- Computador pessoal portátil tipo PC com sistema operacional Windows 10;
- Planilhas eletrônicas tipo Excel para gerar dados aleatórios;
- Software *Waikato Environment for Knowledge Analysis* (Weka) C4.5 (J48) para gerar árvores de decisão.

5.4.2 Seleção das Ferramentas para a Simulação

O simulador foi construído com o auxílio de duas ferramentas: o Excel e a ferramenta Weka.

Como não se tinha completa definição do processo de simulação no início dos ensaios, optou-se por usar a ferramenta Excel para trabalhar os dados e implementar o modelo por meio de equações matemáticas e seleção de dados em tabelas.

A opção pela ferramenta WeKa foi feita em função desta incluir, em uma única ferramenta, diversos algoritmos para geração de árvores de decisão e possibilitar testar a árvore com um conjunto exemplo definido pelo usuário. A ferramenta também faz uma análise estatística dos resultados destes testes.

Drazin e Montag (2012) fazem uma avaliação da ferramenta *Weka Explorer*. Em seu trabalho, confirmam a eficiência e a precisão dos resultados obtidos com a ferramenta.

Algumas das recomendações desses autores para melhorar a precisão e simplificar as árvores de decisão resultantes foram utilizadas neste trabalho, por exemplo, a eliminação de ramos em que uma determinada condição de uma das variáveis já leva a resposta, sendo desperdício computacional continuar executando os ramos sub-sequentes.

5.4.3 O Simulador

A Figura 11 ilustra as funções e o fluxo de dados do simulador. O Excel realiza as funções até a obtenção do conjunto exemplo; as demais funções são realizadas pela ferramenta Weka, exceto o cálculo do $PER_{(médio)}$ que foi feito manualmente.

Figura 11 - Esquema do fluxo de dados do simulador

Fonte: o autor

A Figura 12 detalha as funções do Excel, de como é gerado um conjunto de dados aleatórios, mas dentro dos limites estabelecidos no item 5.1.2. Para isto faz-se uso de um relógio de horas, pois a seleção dos limites na tabela de limites é feita em

função do dia e da hora. Como citado no item 5.1.2 estes limites foram obtidos de sites climatológicos. Os dados aleatórios foram gerados pela função RANDOM do Excel. Também foi implementado no Excel o modelo para cada tecnologia e uma função de seleção que seleciona a tecnologia com melhor desempenho. Os dados gerados, a tecnologia selecionada e o padrão de qualidade obtido pelo modelo, formam um conjunto exemplo como os que são apresentados nos Apêndices A e B.

O primeiro conjunto-exemplo corresponde a dez possíveis valores de cada variável. Os demais conjuntos são montados acrescentando mais dez valores até o último conjunto contendo 120 valores de cada variável. As planilhas contendo os valores finais gerados na última simulação do cenário 1 é apresentadas no apêndice A, enquanto que a última do cenário 2, no apêndice B.

Figura 12– Esquema para obter o conjunto-exemplo de dados dos cenários

Fonte: o autor

Foram usadas macros do Excel, as quais são programadas em *Visual Basic for Application* (VBA) para converter a planilha conjunto exemplo em um arquivo *Attribute-Relation File Format* (.arff) usado pela ferramenta Weka.

A ferramenta WeKa (Figura 13) usa o conjunto exemplo para testar a ADA (Selecionar a tecnologia), simulando o funcionamento do SATeC, confrontando os

resultados da ADA com o do simulador e apresentando uma estatística dos resultados.

Também é calculado o $PER_{(médio)}$ para determinar se a qualidade da comunicação simulada foi satisfatória. O PER é calculado independentemente para as três tecnologias e com o auxílio da eq. 5 chega-se ao $PER_{(médio)}$:

$$PER_{(médio)} = (\sum PER_1 \times ta + \sum PER_2 \times (1 - ta)) / nti \quad (5)$$

Onde:

- PER_1 = menor PER entre as três tecnologias de comunicação: (RSSF, Wi-Fi ou GPRS);
- PER_2 = segundo melhor PER entre as três tecnologias de comunicação (RSSF, Wi-Fi ou GPRS);
- Ta = taxa de acerto da ADA;
- Nti = número total de instâncias.

Este $PER_{(médio)}$ é então confrontado com um valor padrão de qualidade exigido e caso não seja satisfatório, este conjunto exemplo é usado para gerar uma nova ADA. Segundo Shin et al. (2005). o PER de 0,1 (10%) é o mais usado como referência em trabalhos científicos, portanto este PER foi usado como padrão.

Figura 13 - Weka Explorer, ferramenta para construção de árvores de decisão.

Fonte: O autor

As ADAs foram geradas utilizando-se o algoritmo J48 (Figura 13). Este algoritmo foi escolhido por ser adequado a árvores que contenham variáveis discretas e qualitativas contínuas (LORENZETT e TELOKEN, 2016), como é o caso da aplicação apresentada.

As ADAs referentes ao décimo quarto conjunto de cada cenário estão apresentadas no Capítulo 6, e foram denominadas ADA1, a ADA gerada pelo décimo quarto conjunto do cenário 1, e ADA2, pela gerada pelo décimo quarto conjunto do cenário 2.

5.4.4 A Sequência das Simulações

As simulações foram realizadas em 6 passos:

Passo 1: foi simulado com o primeiro conjunto-exemplo do Cenário 1 (com dez valores para cada variável) sobre a ADA gerada pela ferramenta Weka a partir deste mesmo conjunto-exemplo.

Passo 2: caso a qualidade de comunicação verificada na simulação do Passo 1 não seja satisfatória, uma nova ADA é gerada pelo segundo conjunto-exemplo (que contém os dados do primeiro conjunto, acrescido de outros dez para cada variável). O processo se repete até que a qualidade de comunicação seja satisfatória. Esta última ADA foi denominada ADA 1 e está representada na Figura 14 do Capítulo 6.

Passo 3: Simulações da ADA1 com o conjuntos-exemplo do cenário 2.

Passo 4: a simulação do item anterior é refeita substituindo 10 valores do Cenário 1 por 10 do Cenário 2 para cada variável.

Passo 5: o passo anterior é repetido até que todos os valores tenham sido substituídos pelos do Cenário 2.

Passo 6: os itens 1, 2 e 3 foram repetidos, porém com os conjuntos-exemplos do Cenário 2. A última ADA foi então denominada ADA 2 e esta representada na Figura 15 do Capítulo 6.

Foram realizadas 42 simulações:

- 14 simulações dos conjuntos de dados referentes ao Cenário 1;
- 14 simulações dos conjuntos de dados referentes ao Cenário 1 misturados com os do 2;

- 14 simulações dos conjuntos de dados referentes ao Cenário 2.
- classes resultantes da predição.

Também foram simulados eventos, tais como paradas operacionais temporárias de alguns nós, em instantes determinados, pela função randômica da planilha em Excel.

5.4.5 Estatística das simulações

Uma análise estatística foi feita após cada simulação, utilizando a ferramenta *Weka*, que fornece o índice Kappa, a precisão da classificação, o erro médio, a taxa de positivos verdadeiros e de positivos falsos; comparando o resultado simulado com o do conjunto-exemplo que gerou a ADA.

Kappa é um índice estatístico que determina a concordância entre dois conjuntos de valores, dando uma ideia do quanto as observações se afastam daquelas esperadas (Quadro 9) (SATO et al., 2013) e pode ser determinado pela Equação 6.

$$\text{Kappa} = \frac{\% \text{ de acerto verificado} - \% \text{ de acerto esperado}}{1 - \% \text{ de acerto esperado}} \quad (6)$$

Quadro 9 - Índice Kappa

Kappa	Concordância
0	pobre
0,1 a 0,2	leve
0,21 a 0,4	considerável
0,41 a 0,6	moderada
0,61 a 0,8	substancial
0,81 a 1	excelente

Fonte: SATO et al., 2013

5.5 RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os materiais e o método usado para a etapa experimental (testes em campo e simulações). Foram apresentados os cenários criados para as simulações e o método usado para construção dos conjuntos exemplo, necessários para gerar as ADAs. Também foi nomeada a ferramenta e o algoritmo utilizados para gerar as ADAs. Os resultados das simulações são apresentados no Capítulo 6.

6. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas as ADA 1 e 2 geradas pelo item 5.2 e as estatísticas das simulações finais de cada conjunto-exemplo.

6.1 ÁRVORES DE DECISÃO ADAPTATIVAS GERADAS

6.1.1 Árvore de Decisão Adaptativa 1

A ADA 1, apresentada na Figura 14, foi gerada pela ferramenta *Weka Explorer*, a partir de dados referentes ao Cenário 1. Os dados encontram-se no apêndice A.

Figura 14– ADA 1 gerada pela ferramenta Weka Explorer

Fonte: Weka 3.6 adaptado pelo autor

6.1.2 Árvore de Decisão Adaptativa 2

A ADA 2 apresentada na Figura 15 foi gerada pela ferramenta *Weka Explorer* a partir do conjunto-exemplo de dados referentes ao Cenário 2. Os dados se encontram no apêndice A.

Figura 15 – ADA 2 gerada pela ferramenta Weka

Fonte: Weka 3.6 adaptado pelo autor

6.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

6.2.1 Resultados da Simulação do Cenário 1

A primeira simulação do Cenário 1 com um conjunto-exemplo com apenas 10 valores por variável apresentou os seguintes resultados:

- Instâncias classificadas corretamente 9
- Instâncias classificadas incorretamente 1
- *Kappa* 0,0
- Erro absoluto médio 42,35%

$$PER_{(médio)} = 18,26\% \quad (7)$$

A ADA 1 foi gerada na nona simulação do Cenário 1. Os dados a seguir se referem à décima quarta simulação sobre o Cenário 1, obtidos com auxílio da ferramenta *Weka Explorer*:

- Instâncias classificadas corretamente 139
- Instâncias classificadas incorretamente 5
- *Kappa* 0,889
- Erro absoluto médio 1,67%

A acurácia por classe da simulação da ADA 1 sobre o Cenário 1 é apresentada no Quadro 10..

Quadro 10 - Acurácia por classe simulação da ADA 1 sobre Cenário 1

Classe	Precisão ⁽⁴⁾	TP rate ⁽²⁾	FP rate ⁽³⁾
RSSF:ok	99,20%	96,30%	4%
RSSF: Falhando	66,70%	66,70%	0,70%
GPRS:Ok	100%	100%	0%
GPRS: Falhando	87,50%	100%	0,70%
WIFI: Ok	100%	100%	0%
WIFI: Falhando	83,30%	90,90%	1,50%
NOK	(1)	(1)	(1)
Média ponderada:	96%		

Fonte: Weka 3.6

(1) Ocorrências insuficiente para estatística.

(2) Índice de verdadeiros positivos.

(3) Índice de Falsos Positivos.

(4) Instâncias corretas/instâncias classificadas.

$$PER_{(médio)} = 3,72\% \quad (8)$$

6.2.2 Resultado da Simulação com Troca do Cenário 1 para o Cenário 2

Os dados abaixo referem-se a primeira simulação

- Instâncias classificadas corretamente 132
- Instâncias classificadas incorretamente 12
- *Kappa* 0,837
- Erro absoluto médio 17,44%

$$PER_{(\text{médio})} = 5,21\% \quad (9)$$

A simulação final do Cenário 2 sobre a ADA 1 apresentou os seguintes resultados:

- Instâncias classificadas corretamente 39
- Instâncias classificadas incorretamente 51
- *Kappa* 0,0106
- Erro absoluto médio 18,54%

A acurácia por classe da simulação da ADA 1 sobre o Cenário 2 é apresentada no Quadro 11.

Quadro 11 - Acurácia por classe da simulação da ADA 1 sobre Cenário 2

Classe	Precisão ⁽⁴⁾	TP rate ⁽²⁾	FP rate ⁽³⁾
RSSF:ok	53,50%	84,40%	73,3%
RSSF: Falhando	(1)	(1)	(1)
GPRS:Ok	(1)	(1)	(1)
GPRS: Falhando	(1)	(1)	(1)
WI-FI: OK	(1)	(1)	(1)
WI-FI: Falhando	5,30%	7,10%	23,70%
NOK	(1)	(1)	(1)
Média ponderada:	27,6%		

Fonte: Weka 3.6

⁽¹⁾ Ocorrências insuficiente para estatística.

⁽²⁾ Índice de verdadeiros positivos.

⁽³⁾ Índice de Falsos Positivos.

⁽⁴⁾ Instâncias corretas/instâncias classificadas.

$$PER_{(\text{médio})} = 23,44\% \quad (10)$$

6.2.3 Resultado da Simulação do Cenário 2 sobre a ADA 2

Nesta simulação a ADA 2 foi obtida apenas na décima quarta simulação e apresentou os seguintes resultados:

- Instâncias classificadas corretamente 107
- Instâncias classificadas incorretamente 19
- *Kappa* 0,8
- Erro absoluto médio 6,49%

A acurácia por classe da simulação da ADA 2 sobre o Cenário 2 é apresentada no Quadro 12.

Quadro 12 - Acurácia por classe da simulação da ADA 2 sobre cenário 2

Classe	Precisão ⁽⁴⁾	TP rate ⁽²⁾	FP rate ⁽³⁾
RSSF:ok	83,60%	93,90%	11,7%
RSSF: Falhando	88,00%	73,30%	3,10%
GPRS:Ok	85,70%	85,70%	1,80%
GPRS: Falhando	75,00%	90,00%	2,60%
WI-FI: OK	(1)	(1)	(1)
WI-FI: Falhando	86,70%	86,70%	1,80%
NOK	100,00%	71,40%	0%
Média ponderada:	84,8%		

Fonte: Weka 3.6

⁽¹⁾ Ocorrências insuficiente para estatística.

⁽²⁾ Índice de verdadeiros positivos.

⁽³⁾ Índice de Falsos Positivos.

⁽⁴⁾ Instâncias corretas/instâncias classificadas.

$$PER_{(médio)} = 9,62\% \quad (11)$$

6.3 RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo Foram apresentados os resultados obtidos, ou seja as ADAs 1 e 2 e as estatísticas resultantes das simulações Estes resultados são analisados e discutidos no Capítulo 7.

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo é feita uma análise dos resultados apresentados no Capítulo 6. No item 7.1, as ADAs induzidas e os resultados das simulações são avaliados quanto à coerência. No item 7.2, os resultados das simulações são interpretados e discutidos, enquanto que no item 7.3, os resultados das simulações são confrontados com a aplicação de CCT descrita no Capítulo 3, ou seja o mesmo cenário 1, porém sem o uso do SATeC para seleção adaptativa da tecnologia de comunicação.

7.1 COERÊNCIA DOS RESULTADOS

7.1.1 Coerência das ADAs obtidas

Tanto a ADA 1 quanto a ADA 2 são ADAs relativamente simples, com poucos passos e poucos nós, demonstrando a eficiência do algoritmo de indução escolhido, o J48. A ADA 2 é mais complexa que a ADA 1, o que era de se esperar, uma vez que o Cenário 2 também é mais complexo, pois possui um nó em movimento.

O nó móvel do Cenário 2 provavelmente também é causa da ADA 2 fazer maior uso das variáveis de posição (longitude e latitude).

Ainda que pelos trabalhos de Buono et al. (2009) algumas das variáveis das ADAs geradas, como a chuva e a umidade do ar, possam aparentar ter pouca influência na seleção da tecnologia de comunicação, não se pode dizer que as ADAs não sejam coerentes, pois a coerência é uma das características dos algoritmos de indução baseados na entropia do sistema.

7.1.2 Coerência dos Resultados das simulações

Para avaliar os resultados das simulações foi calculado o índice *Kappa* como explicado no item 5.4.5.

Os índices *Kappa* das simulações dão uma indicação da adequação do uso de ADAs para o SATeC e conseqüentemente para os objetivos deste trabalho.

Os índices *Kappa* também demonstram uma relação com a quantidade de dados usados para gerar a ADA. No item 6.2.1 pode-se observar que o *Kappa* sai de zero na primeira simulação com um conjunto de dez valores por variável e chega a 0,889,

na décima quarta simulação, com um conjunto de 144 valores para cada variável, sobre o mesmo cenário. Comportamento semelhante foi observado nos resultados das simulações do item 6.2.3. Os resultados do item 6.2.2 não foram considerados, pois não é possível inferir nada sobre este quesito uma vez que todas as simulações foram realizadas com a mesma quantidade de dados (144 valores por variável).

Os índices *Kappa* obtidos de 0,889 para a ADA 1 e 0,8 para a ADA 2 são considerados por Giasson et al. (2013) como bons, ou seja as ADAs oferecem um resultado satisfatório. Observou-se, porém, uma redução destes fatores no cenários 2 quando comparado com o Cenário 1 (sintetizado no Quadro 13).

Quadro 13 - *Kappa* das simulações da ADA 1 e ADA 2

ADA	cenário	<i>Kappa</i>	Precisão
1	1	0,889	96%
2	2	0,8	84,80%

Fonte: o autor

Isto ocorre provavelmente devido ao nó 9 se encontrar em movimento, aumentando a entropia dos parâmetros relacionados a posição como latitude, longitude, altitude e consequente distância entre nós.

Os $PER_{(médio)}$ obtidos também são coerentes com o que se esperava, pois vão melhorando a medida que uma maior quantidade de dados permite uma melhor acurácia da ADA. No item 6.2.1 o $PER_{(médio)}$ inicia com 18,26% e chega a 3,72%, o que também reflete a entropia do sistema, ou seja a ADA 1 com $PER_{(médio)}$ de 3,72%, enquanto que a ADA 2 chega a 9,62%.

O $PER_{(médio)}$ é usado pelo SATeC como índice de qualidade da comunicação e para disparar uma nova aprendizagem (gerar uma nova ADA). O $PER_{(médio)}$ fixado como limite de qualidade é 10,00% e foi alcançado com um conjunto exemplo com poucos dados: 90 valores para cada variável para o cenário 1 e 140 valores para cada variável para o cenário 2.

7.2 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

7.2.1 A aprendizagem do SATeC

Ao avaliar as simulações do item 6.2.2, observa-se que a medida que os dados do Cenário 2 vão substituindo os do Cenário 1, nos conjuntos de dados, ocorre uma piora expressiva, tanto no índice *Kappa*, quanto no $PER_{(médio)}$ (Quadro 1).

Quadro 14 - *Kappa* das simulações da ADA 1 sobre os Cenários 1 e 2

ADA	cenário	<i>Kappa</i>	PER (%)
1	1	0,889	3,72
1	2	0,0106	23,44

Fonte: o autor

Recorda-se aqui que o $PER_{(médio)}$ é a saída da ADA que faz com que o SATeC dispare a indução e carregamento de uma nova ADA, pois os requisitos de qualidade de comunicação não são mais satisfeitos, isto é $PER_{(médio)}$ é maior que o estabelecido como limite (10,00%).

Na simulação do item 6.2.2, propositalmente foi bloqueada a geração de uma nova ADA e as simulações ocorreram até a implantação completa dos dados do cenário 2, sendo que o $PER_{(médio)}$ alcançou 23,44% e o *Kappa* 0,106, considerados resultados ruins e demonstrando a inviabilidade do SATeC continuar usando a ADA 1. Caso a geração da ADA não tivesse sido bloqueada o SATeC teria induzido uma nova ADA a partir da quinta simulação, quando o $PER_{(médio)}$ superou 10,00%.

É natural que à medida que mais dados do mesmo cenário são usados, a entropia destes dados diminua e, conseqüentemente, o SATeC gere ADAs mais adequadas. Pode-se concluir que o SATeC vai se adaptando automaticamente às mudanças de cenário (Cenário 1 para o Cenário 2) para manter o sistema de comunicação dentro dos parâmetros de qualidade propostos. Ou seja o SATeC vai aprendendo o Cenário 2.

7.2.2 A Introdução do nó móvel

No Cenário 2 foi acrescentado o nó 9 que se desloca na região monitorada. Neste mesmo cenário, simulou-se o crescimento das plantas que dificultam a propagação do sinal de rádio, fazendo com que os parâmetros relacionados à posição tenham

relevância maior no Cenário 2 do que no Cenário 1. Isto pode ser constatado pela quantidade de vezes que estes parâmetros são testados na ADA 2 em relação a ADA 1.

Esses parâmetros geram maior entropia nos dados, o que justifica o *Kappa* da ADA 2 (item 6.2.3) ser menor do que o da ADA 1.

7.2.3 Influência da Tensão das Baterias

Observa-se que apesar de poucas alterações terem ocorrido do Cenário 1 para o cenário 2, o SATeC gera ADAs completamente diferentes para cada cenário. Em ambas as ADAs a variável tensão da bateria tem relevância para a seleção da tecnologia. Isto pode ser explicado porque a queda na tensão de bateria reduz a potência de transmissão e como ocorre maior perda de energia do sinal de rádio ao se propagar com o crescimento das plantas (Cenário 2), fatores relacionados a distância percorrida pelo sinal de rádio passam a ter papel importante com a menor potência de transmissão, influenciando na qualidade da comunicação.

Seria de se esperar, portanto, que os nós da ADA que testam a tensão de bateria fossem os primeiros da árvore. Porém, não é o que ocorre nas ADAs geradas, possivelmente porque o algoritmo J48 trabalhe de modo a resolver, primeiro, os parâmetros de menor entropia, reduzindo com isto o tamanho da árvore, ainda que com perda de precisão.

7.2.4 Adequação dos Elementos de Campo ao Hardware

Elementos de campo em geral são providos de *hardware* limitado, pois necessitam ter baixo consumo de energia, uma vez que operam por baterias e estas precisam durar por meses. Como visto no Capítulo 4, o SATeC faz uso do hardware disponível no elemento de campo para a função de seleção da tecnologia, por meio da execução da ADA. Por isto, é recomendável que tanto a função de execução da ADA quanto a própria ADA não exijam muitos recursos computacionais (*hardware*).

As ADAs obtidas podem ser consideradas simples, pois possuem poucos passos e, em geral, softwares de execução de árvores de decisão costumam ser muito simples e demandam pouco hardware.

7.3 COMPARAÇÃO COM SISTEMAS SEM O SATeC

A literatura acadêmica estudada registra sistemas com elementos de campo possuindo uma única opção tecnológica para comunicação de dados (ABERER et al., 2006; CARVALHO, SANTOS e COSTA, 2002; OFORI-DWUMFUO e SALAKPI, 2011), ou seja, sem a necessidade de um seletor de tecnologia. O comportamento destes sistemas está resumido no Quadro 15 que apresenta o $PER_{(médio)}$ para cada nó, obtido com os dados gerados pela simulação do item 6.2.1, tomando-se por base o Cenário 1.

Quadro 15 - $PER_{(médio)}$ x nó sem o SATeC (cenário 1)

Nó	RSSF (%)	Wi-Fi (%)	GPRS (%)
1	4	60	5
2	5	62	4
3	5	61	4
4	5	58	5
5	35	35	9
6	4	40	5
7	4	15	5
8	7	59	12

Fonte: o autor.

Pelos resultados do Quadro 15, nenhuma das tecnologias atenderia completamente o requisito de qualidade para todos os nós ($PER_{(médio)}$ menor que 10,00%).

As simulações com o SATeC, tanto do Cenário 1 como as do Cenário 2 atenderam aos requisitos de qualidade como mostra o $PER_{(médio)}$ por nó obtidos com o SATeC para o Cenário 1 (Quadro 16).

Quadro 16 - PER(médio) x nó com o SATeC (Cenário 1)

nó	PER(médio) (%)
1	4,07
2	4,07
3	4,07
4	5,08
5	9,15
6	4,07
7	4,07
8	7,12

Fonte: o autor.

7.4 RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo em que os resultados do Capítulo 6 foram analisados e discutidos, foi possível verificar que o SATeC conseguiu obter uma ADA que atendesse aos requisitos de qualidade de comunicação para o Cenário 1 (ADA 1), que esta ADA vai se alterando a medida que o cenário 1 vai se transformando no Cenário 2, de modo a tentar continuar a atender estes requisitos até chegar a ADA 2 que atende aos requisitos de qualidade para o Cenário 2. No próximo capítulo serão apresentadas as conclusões.

8. CONCLUSÕES

As conclusões apresentadas neste capítulo estão classificadas em: quanto aos objetivos, quanto às aplicações, quanto às contribuições deste trabalho, quanto às possíveis melhorias do SATeC, quanto às dificuldades encontradas, quanto aos novos questionamentos e quanto aos trabalhos futuros.

8.1 QUANTO AOS OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho:

“conceber um bloco funcional de comunicação digital que trabalhe, simultaneamente, com diversas tecnologias de campo e que selecione a que possibilite a qualidade de comunicação mais adequada a cada elemento de campo (em relação a uma dada aplicação e ao contexto em cada instante) e que possa ser aplicado a um middleware de IoT”.

foi atingido. Foi proposto um bloco funcional, denominado Seleccionador Adaptativo de Tecnologia de Comunicação – SATeC, detalhado no Capítulo 4, que faz a seleção da tecnologia de comunicação mais adequada a ser usada em tempo de execução, a partir de ADAs configuradas nos elementos de campo, as quais são modificadas em tempo de execução, adequando-se ao cenário, sempre que a qualidade da comunicação estiver abaixo do especificado.

8.2 QUANTO ÀS APLICAÇÕES

O bloco proposto – SATeC - atende a aplicações comuns na Agricultura de Precisão, tais como as apresentadas no Capítulo 3, pois é relativamente simples e de fácil implementação por máquinas de software, como montadores ou interpretadores simples, que devem estar entre as funções do SATeC, sendo que:

- é possível implementá-lo com códigos computacionais simples, curtos e rápidos, em hardwares limitados como os dos sensores em uma RSSF;
- O SATeC é facilmente simulável;
- As ADAs usadas pelo SATeC possuem regras simples, facilmente identificáveis.

Com o SATeC implantado em uma aplicação de CCT, como descrita no item 3.1, seria possível utilizar sensores em campo com tecnologias de RSSF, Wi-Fi, GPRS e

satelital nos tratores e caminhões, sem grandes preocupações com a infraestrutura de cada tecnologia. O SATeC se adaptaria às condições ambientais e climatológicas para tentar manter a qualidade de comunicação dentro dos limites propostos, mesmo que estas condições se alterassem durante a aplicação.

Aplicações de rastreabilidade, como as do item 3,2, também poderiam se beneficiar do sistema proposto por este trabalho. Também neste caso seria possível utilizar diversas tecnologias de comunicação que permitiriam ampliar a área de cobertura de sensores associados a sistemas de gerenciamento em tempo real. Assim, seria possível atuar para corrigir eventuais problemas, tão logo eles ocorram e não somente no final do processo.

8.3 QUANTO ÀS CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

- **O SATeC:** foi a contribuição principal do trabalho (Capítulo 4);
- **As técnicas de simulação:** este trabalho foi realizado com simulações desenvolvidas em ferramentas de uso genérico como planilhas no formato Excel, em especial para gerar os conjuntos de dados que representam os modelos propostos. Esta técnica de simulação pode ser usada em diversas aplicações de diversas áreas, sendo assim uma contribuição deste trabalho (Capítulo 5).
- **Embasamento para realização do projeto PIPE** número 2015/15980-6: este projeto, desenvolvido em conjunto com a empresa Pierossi Consultoria Ltda./AGROPERFORMA, tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica do desenvolvimento de uma solução que utilize tecnologias de comunicação e de informação customizadas a aplicações de CCT e plantio de cana-de-açúcar, permitindo coletar e transferir as informações da colheita e plantio em tempo reduzido e de forma automática, aumentando a confiabilidade dos dados recolhidos e reduzindo a necessidade de trabalho manual para sua consolidação. A solução a ser desenvolvida, fundamentada no conteúdo deste trabalho, deverá permitir sua utilização em conjunto com sistemas de gestão logística visando ao aumento de eficiência da cadeia produtiva da cana-de-açúcar.

- **Desenvolvimento de método de ensaio para avaliação de propagação de sinal de rádio em ambiente agrícola:** para o desenvolvimento deste trabalho, foi necessário realizar um estudo de campo quanto ao comportamento do sinal de rádio de uma RSSF em uma cultura de milho durante todo o ciclo da cultura. O protocolo de realização deste ensaio constitui uma contribuição importante deste trabalho. E, visando à sua divulgação ao meio técnico, foi enviado para publicação na IEEE Latin America.

8.4 QUANTO A POSSÍVEIS MELHORIAS NO SATeC

Para melhorar o desempenho do SATeC, alguns pontos podem ser estudados e avaliados, dentre os quais:

- Avaliação de outro algoritmo de geração de ADA, mais adequado para as aplicações objeto deste trabalho. O algoritmo J48 foi usado porque é o que oferece desempenho mais adequado em condições genéricas (GIASSON et al., 2013). Mas não haveria outro mais adequado para as aplicações propostas neste trabalho?
- A proposta deste trabalho é que o módulo gerenciador do SATeC gere uma ADA e a envie para ser executada por todos os nós, ou seja, todos os nós trabalham com a mesma ADA. Uma solução que gerasse uma ADA para cada nó poderia provocar melhoria em algumas aplicações?
- Alguns parâmetros definidos nos cenários forçam uma saída imediata na ADA, por exemplo, o “status da RSSF”, que pode estar como “inoperante” (NOK). Neste caso, a ADA não deveria gerar uma saída que envolvesse a tecnologia de RSSF, mas não existe garantia de que os algoritmos que geram a ADA irão bloquear esta possibilidade.
- As simulações foram realizadas por duas ferramentas desenvolvidas para uso genérico: planilhas em Excel, para gerar o conjunto-exemplo, e a *Weka*, para induzir as ADAs e simular os dados na árvore. O uso de duas ferramentas não integradas causou um desperdício de tempo que poderia ter sido mais bem aproveitado caso existisse uma ferramenta específica que pudesse gerar o conjunto aprendizagem, a ADAs realizar a simulação empregando a ADA gerada.

- Os limites de qualidade da comunicação (PERs) e de precisão da ADA (*Kappa*) obtidos, são os recomendados pela literatura acadêmica; porém, não existe garantia de que o SATeC irá conseguir trabalhar dentro de limites pré-estabelecidos, quando isto ocorre o SATeC opta pela ADA que ofereça o melhor resultado (PER e *Kappa*).
- Apesar da eficiência das ADAs em selecionar a tecnologia de comunicação mais adequada a cada situação, esta seleção só é eficiente se o meio disponibilizar informações de campo que permitam a montagem da ADA. Quanto mais informações, melhores ADAs podem ser geradas. Recomenda-se que sejam sempre fornecida a posição geográfica do nó ou uma posição relativa.

8.5 QUANTO A DIFICULDADES ENCONTRADAS

Visando contribuir com pesquisas futuras, são registradas as principais dificuldades encontradas durante o desenvolvimento deste trabalho, bem como as soluções adotadas para contorná-las:

- **Adequação do cronograma à sazonalidade agrícola:** o cronograma inicial previa ensaios de propagação do sinal de rádio em espaço aberto, em ambiente com obstáculos e em uma aplicação real. Para este último ensaio foi disponibilizado pela ESALQ, Campus de Piracicaba, SP - uma cultura de milho que seria derrubada logo após a colheita, o que forçou a realização deste ensaio antes dos demais. Como explicado nos itens 5.2.2 e 5.2.3, existia uma dependência entre os ensaios a qual teve de ser invertida, tornando as análises mais complexas.
- **Escolha do Simulador:** a proposta inicial deste trabalho era usar o *Network Simulator* (NS) (NETWORK SIMULATOR, 2006) para as simulações, pois é o mais empregado pelo meio acadêmico, por ter distribuição gratuita e código aberto. Trata-se de um simulador adequado a situações em que é necessário desenvolver novas funcionalidades, o que seria necessário para este trabalho. Por ter se estimado tempo insuficiente para esta atividade no cronograma de desenvolvimento do trabalho de tese, não foi possível criar as

funcionalidades necessárias para o NS, optando-se por realizar as simulações com a ferramenta *Weka*, a partir de conjuntos-exemplos gerados com o auxílio de planilhas em Excel.

- **Configuração da ferramenta *Weka*:** As primeiras ADAs induzidas com o auxílio da ferramenta *Weka* eram extremamente simples, porém não apresentavam a eficiência desejada pois foram realizadas com a configuração padrão do *Weka* que privilegia o tamanho da árvore. Após a revisão dos conjuntos de dados, chegou-se à conclusão de que o ideal seria desbloquear as limitações de tamanho da árvore da ferramenta. Este processo de análise consumiu tempo importante da pesquisa.

8.6 QUANTO A NOVOS QUESTIONAMENTOS

A proposição do SATeC suscitou reflexões e diversas novas questões que podem ser consideradas como indicações para futuros trabalhos:

- uma vez que o SATeC pode se adaptar aos mais diversos cenários, seria possível a sua utilização em outras áreas que não somente a agrícola? Quais seriam essas áreas?
- As tecnologias de comunicação estudadas neste trabalho - RSSF, Wi-Fi, RFID, GPRS, satelital - por terem sido desenvolvidas para aplicações muito distintas, são muito diferentes entre si. Não obstante, possuem diversas semelhanças. Seria possível propor uma nova tecnologia de comunicação que contemplasse as características de todas elas juntas, dispensando-se, então, um seletor de tecnologia?
- O SATeC está inserido no conceito da IoT; porém, novos conceitos aparecem todos os dias como, por exemplo, o recente *Internet de Tudo*, ou *Internet of Everything* (IoE) (BOJANOVA, HURLBURT e VOAS, 2014), que pretende conectar não só as coisas, mas as pessoas, os processos e os dados. Como o SATeC se poderá responder a esse novo conceito?
- Com o aumento da capacidade computacional dos equipamentos ao longo do tempo, sem significar aumento de custo, pode ser que em um breve futuro existam ferramentas melhores para implantar adaptabilidade no SATeC. Quais seriam elas?

- Sistemas críticos, que envolvam, por exemplo, risco à vida, podem necessitar de qualidade de comunicação com PER praticamente zero, o que não seria possível obter com ADAs. Qual seria a técnica de adaptabilidade mais adequada a estes casos?

8.7 QUANTO A TRABALHOS FUTUROS

Nos itens 8.7.1 a 8.7.5, a seguir, são expressos trabalhos que podem vir a ser desenvolvidos visando, principalmente, a continuidade desta área de pesquisa.

8.7.1 Possíveis Teses a serem defendidas

- **Necessidade de um SATeC específico para o Ambiente Industrial.** Aplicações de rastreabilidade agrícola foram um dos focos deste trabalho; porém a rastreabilidade na indústria também se faz necessária e alguns dos conceitos desenvolvidos por este trabalho podem ser aplicados ao ambiente industrial. Assim, um trabalho futuro poderia “avaliar o uso do SATeC em ambiente industrial” ou ainda “proposição de um SATeC genérico para os ambientes agrícola e industrial”.
- **Necessidade de um SATeC para Internet de Tudo (IoE).** Diversos trabalhos podem ser desenvolvidos com a possibilidade de um SATeC para a IoE. Os *middleware* estudados neste trabalho foram propostos para IoT; trabalhos futuros poderiam “avaliar o SATeC em *middleware* específicos para IoE”, com o objetivo de se propor uma nova versão do SATeC que atendesse as funções específicas da IoE.

8.7.2 Possíveis Dissertações de Mestrado

- **Proposição de um Algoritmo de Indução específico para Cenários de AP:** os cenários agrícolas que fazem uso da AP possuem características específicas, entre elas um gerenciamento de atividades que envolve sobretudo tomadas de decisão. As Árvores de Decisão - adaptativas ou não - são uma ferramenta importante. Por isto, propõe-se como trabalho futuro “o

estudo acerca de quais algoritmos de indução são mais recomendados para cenários de AP”.

- **Aplicações do SATeC em campo:** o SATeC foi testado por simulação. Um trabalho futuro importante será **“Avaliação de Aplicações do SATeC em situações reais”**. O trabalho envolveria a seleção de tecnologias ideais e ou mais adequadas para determinados elementos de campo, estudo da infraestrutura disponível, codificação completa do SATeC e ensaios de atividades agrícolas que envolvam comunicação digital. Ao final, seria possível realizar uma análise comparativa com os resultados de simulação obtidos com este trabalho.

8.7.3 Trabalhos Acadêmicos de Desenvolvimento e Aplicação

- **Avaliação do SATeC em Culturas Rasteiras:** este trabalho foi focado nas aplicações do Capítulo 3, em especial na cultura da cana-de açúcar, cujo crescimento pode atingir mais de 2 metros, o que pode alterar sensivelmente o ambiente de propagação de ondas. Um trabalho futuro poderia **“avaliar o SATeC em culturas rasteiras”**, com o objetivo de identificar as potenciais diferenças de comportamento das respostas obtidas.

REFERÊNCIAS

- ABERER, K.; HAUSWIRTH, M.; SALEHI, A. A middleware for fast and flexible sensor network deployment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VERY LARGE DATA BASES, 32. **Proceedings...** Seoul: VLDB Endowment. 2006. p. 1199-1202.
- ALVES, F. Políticas públicas compensatórias para a mecanização do corte de cana crua: indo direto ao ponto. **RURIS-Revista do Centro de Estudos Rurais-UNICAMP**, v. 2, n. 1, p.153-178, mar. 2009.
- AMARAL, L. A. et al. Cooperative middleware platform as a service for internet of things applications. In: ANNUAL ACM SYMPOSIUM ON APPLIED COMPUTING, 30. **Proceedings...** Salamanca: ACM. 2015. p. 488-493.
- AMARAL, L. R. et al. Use of active crop canopy reflectance sensor for nitrogen sugarcane fertilization. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 11. **Proceedings...** Indianapolis: ICPA. 2012. p. 15-20.
- ANDRADE, G. C. M.; OETTERER, M.; TORNISIELO, V. L. O tomate como alimento - cadeia produtiva e resíduos agrotóxicos. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, Curitiba**, n. 20, p. 57-66, jan. 2010.
- ANTONIĆ, A. et al. A mobile crowd sensing ecosystem enabled by CUPUS: cloud-based publish/subscribe middleware for the internet of things. **Future Generation Computer Systems**, v. 56, p. 607-622, 2016.
- ASHTON, K. That 'internet of things' thing. **RFiD Journal**, v. 22, n. 7, p. 97-114, 2009.
- ATZBERGER, C. Advances in remote sensing of agriculture: context description, existing operational monitoring systems and major information needs. **Remote Sensing**, v. 5, n. 2, p. 949-981, fev. 2013.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: a survey. **Computer networks**, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.
- AUTO-ID CENTER. An open initiative supported by Sun Microsystems. disponível em <http://www.fda.gov/ohrms/dockets/dailys/03/Nov03/110503/03N-0361-emc-000025-02.pdf>. acessado em novembro de 2015.
- AWASTHI, A.; REDDY, S. R. N. Monitoring for precision agriculture using wireless sensor network-a review. **Global Journal of Computer Science and Technology Network, Web and Security**, v. 13, n. 7, p. 22-28, 2013.
- BANDYOPADHYAY, D.; SEM, J. Internet of things: applications and challenges **Wireless Personal Communications**, v.58, n. 1, p. 49-69, abr. 2011.
- BANDYOPADHYAY, S. et al. Role of middleware for internet of things: a study. **International Journal of Computer Science and Engineering Survey**, v. 2, n. 3, p. 94-105, set. 2011.

- BAPTISTA, R.; MARINS, C. N. M. Sistemas de comunicação via satélite operando em banda KA. **Revista Seleção Documental do GLPA: Artigos Técnicos e Científicos da Área de Inteligência Artificial e Novas Tecnologias**, v. 7, n. 28, p. 16-22, nov. 2012.
- BARROS, R. C. et al. A survey of evolutionary algorithms for decision-tree induction. systems, man, and cybernetics, part c: applications and reviews. **IEEE Transactions**, v. 42, n. 3, p. 291-312, 2012.
- BASGALUPP, M. P. et al. Lexicographic multi-objective evolutionary induction of decision trees. **International Journal of Bio-Inspired Computation**, v. 1, n. 1-2, p. 105-117, 2009.
- BAZZANI, M. et al. O tomate como alimento - cadeia produtiva e resíduos agrotóxicos. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRUST, SECURITY AND PRIVACY IN COMPUTING AND COMMUNICATIONS, 11. **Proceedings...** Liverpool: IEEE. 2012. p. 1954-1959.
- BENITO, R. J. C. et al. Advances in remote sensing of agriculture: context description, existing operational monitoring systems and major information needs. In: ICT-MOBILESUMMIT, 9. **Proceedings...** Santander: ICT-Mobile Summit. 2009. p. 1-8.
- BILLET, B.; ISSARNY, V. The internet of things: a survey. **The Internet of Things and The Web of Things**, n. 101, p. 23-24, nov. 2015.
- BIRANT, D. Comparison of decision tree algorithms for predicting potential air pollutant emissions with data mining models. **Journal of Environmental Informatics**, v. 17, n. 3, 2011.
- BOHN, H.; BOBEK, A.; GOLATOWSKI, F. SIRENA-Service Infrastructure for Real-time Embedded Networked Devices: A service oriented framework for different domains. In: NETWORKING, INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS AND INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE COMMUNICATIONS AND LEARNING TECHNOLOGIES. **Proceedings...** Mauritius: ICN/ICONS/MCL. 2006. p. 41-48.
- BOJANOVA, I.; HURLBURT, G.; VOAS, J. Imagineering an internet of anything. **Computer**, p. 72-77, 2014.
- BOSONA, T.; GEBRESENBET, G. Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain. **Food Control**, v. 33, n. 1, p. 32-48, 2013.
- CAMPANHOLA, C. Avanços na pesquisa agropecuária brasileira. **Revista USP**, n. 64, p. 68-75, fev. 2005.
- CAPORUSCIO, M.; RAVERDY, P.-G.; ISSARNY, V. A service oriented middleware for ubiquitous networking. **IEEE Transactions on Services Computing**, n. 1, p. 86-98, 2012.
- CARAMANTE, M. et al. Simple sequence repeats are able to trace tomato cultivars in tomato food chains. **Food Control**, n. 22, p. 549-554, 2011.

CARVALHO, G. H. S.; SANTOS, M. B. L.; COSTA, J. C. W. A. Análise de desempenho da rede GSM-GPRS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROONDAS E OPTOELETRONICA, 10. **Anais...** Recife: SBMO. 2002. p. 1-5.

CARVALHO, M. A.; SILVA, C. R. L. D. Mudanças na pauta das exportações agrícolas brasileiras. **Revista de Economia e Sociologia Rural, Brasília**, v. 46, n. 01, p. 53-73, jan. 2008.

CATARINUCCI, L. et al. RFID and WSNs for traceability of agricultural goods from farm to fork: electromagnetic and deployment aspects on wine test-cases. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON. IEEE SOFTWARE, TELECOMMUNICATIONS AND COMPUTER NETWORKS (SOFTCOM). 19. **Proceedings...** Adriatic Islands: IEEE. 2011. p. 1-4.

CELANDRONI, N. et al. A survey of architectures and scenarios in satellite-based wireless sensor networks: system design aspects. **International Journal Of Satellite Communications and Networking**, v. 31, n. 1, p. 1-38, 2013.

CHAUDHARI, K.; VALLABHBHAI, U. D. D. S.; JHA, R. Mobile governance based on WIMAX connectivity for rural development in India. **Computer Network and Information Security**, n. 4, p. 49-55, mai. 2012.

CHAUHAN, N. M. Expectations of the farmers from ICT in agriculture. **Indian Res. J. Ext. Edu.**, v. 10, n. 1, p. 42-45, jan. 2010.

CHEN, X.-Y.; JIN, Z.-G. Research on key technology and applications for internet of things. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MEDICAL PHYSICS AND BIOMEDICAL ENGINEERING, 33. **Proceedings...** Beijing: IUPESM. 2012. p. 561-566.

CIOU, K. J.; LIU, N. Study of continuous ID3 and radial basis function algorithms for the recognition of glass defects. In: NEURAL NETWORKS 1991. **Proceeding...** - Seattle: IJCNN-91 International Joint Conference on. IEEE. 1991. p. 49-54.

COELHO, A. M. **Definição e conceitos de Agricultura de Precisão**. In: _____ Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. Brasília: Embrapa, 2005. Cap. 1.

DE SOUZA, L. M. S. A. et al. SOCRATES: A web service based shop floor integration infrastructure. In: THE INTERNET OF THINGS. **Proceedings...** Zurich: Springer Berlin Heidelberg. 2008. p. 50-67.

DENGFENG, H. Z. J. Q. C. Research on the intelligent logistics and storage system in internet of things. **Process Automation Instrumentation**, n. 3, p. 6, mar. 2011.

DENISON, D.GT; MALLICK, B.K.; SMITH, A.FM. A bayesian CART algorithm. **Biometrika**, v. 85, n. 2, p. 363-377, 1998.

DOBKIN, D. M. **The RF**. In: _____ RFID. 2. ed. Oxford: Newnes, v. 1, 2012. p. 1-46

DUQUENNOY, S.; GRIMAUD, G. e VANDEWALLE, JJ. The Web of Things: interconnecting devices with high usability and performance. In: EMBEDDED

SOFTWARE and SYSTEMS, 06. **Proceedings...** Zhejiang, China: ICESS'09. International Conference on. IEEE, 2009. p. 323-330.

DUTRA, R. G. **Seleção adaptativa e interativa de serviços móveis em ambientes convergentes heterogêneos**. 2012. Tese (Doutorado) Escola Politécnica - USP. São Paulo. 2012.

EISENHAUER, M.; MARKUS, P. R.; ANTOLIN, P. Hydra: A development platform for integrating wireless devices and sensors into ambient intelligence systems. In: THE INTERNET OF THINGS. **Proceedings...** New York: Springer. 2010. p. 367-373.

EUROPEAN RESEARCH CLUSTER PROJECTS ON THE INTERNET OF THINGS (CERP). Internet of Things. Disponível em: http://www.internet-of-things-research.eu/about_iot.htm. Acessado em dezembro de 2015. (2014)

FORTINO, G. et al. **Middleware for Smart Objects and Smart Environments: Overview and Comparison**. In: FORTINO, G.; TRUNFIO, P. Internet of Things Based on Smart Objects. 2. ed. Cham: Springer International Publishing, v. 1, 2014. p. 1-27.

FRADKOV, A. L.; MIROSHNIK, I. V.; NIKIFOROV, V. O. **Output-feedback adaptive systems with implicit Reference Model**. In: _____ Nonlinear and adaptive control of complex systems. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2013. Cap. 6.

GE, Y.; THOMASSON, J. A.; SUI, R. Remote sensing of soil properties in precision agriculture: a review. **Frontiers of Earth Science**, v. 5, n. 3, p. 229-238, 2011.

GIASON, E. et al. Avaliação de cinco algoritmos de árvores de decisão e três tipos de modelos digitais de elevação para mapeamento digital de solos a nível semidetalhado na bacia do Lageado Grande, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v. 43, n. 11, p. 1967-1973, nov. 2013.

Gil, A. Como elaborar projetos de pesquisa. In: _____. 2007. ed. Atlas: São Paulo, 2007.

GONÇALVES, D. A. **Análise logística e ambiental no sistema de corte, carregamento e transporte da cana-de-açúcar**. 2012. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP. Ilha Solteira. 2012

HAHN, M. H. **SISTEC: Simulador de sistema de transporte da cana de açúcar**. 1994. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, UNICAMP. Campinas. 2012

RAPPAPORT, T. S. Wireless communications: principles and practice. In: _____. 1996. ed. New Jersey: Prentice Hall PTR, v. 2, 2001. Cap. 4.

HANZO, L. et al. Wireless myths, realities, and futures: from 3G/4G to optical and quantum wireles. **Proceedings of the IEEE**, n. 100, p. 1853-1888, maio 2012.

HERTOG, M. L. A. T. M. E. A. Smart Traceability System to Satisfy Consumer Expectations. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE ROLE OF POSTHARVEST TECHNOLOGY. **Proceedings...** [S.l.]: [s.n.]. 2006. p. 768.

HIGHSMITH, J. **The adaptive development model**. In: _____ Adaptive software development: a collaborative approach to managing complex systems. Melbourne: Addison-Wesley, 2013. Cap. 2.

HORI, M.; KAWASHIMA, E.; YAMAZAKI, T. Application of cloud computing to agriculture and prospects in other fields. **Fujitsu Sci. Tech.** v. 46, n. 4, p. 446-454, 2010.

HU, Wen et al. Secfleck: A public key technology platform for wireless sensor networks. In: _____ Wireless sensor networks. Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 296-311.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. D. C. **Agricultura de Precisão**. In: BERNARDI, A. C. D. C., et al. Agricultura de Precisão, Resultados de um Novo Olhar. Brasília: Embrapa, 2012. p. 21-33.

JHA, R. K.; DALAL, U. D. Electronic governance in rural areas: a performance case study with WiMAX technology. In: ADVANCED COMPUTING, NETWORKING AND SECURITY. **Proceedings...** Surathkal: Springer Berlin Heidelberg. 2012. p. 279-288.

KALESTAD, D. **System and method for regulating agriculture storage facilities in order to promote uniformity among separate storage facilities**. U.S. Patent n. 7,004,401, 28, fev. 2006.

KEFALAKIS, N. et al. Supply chain management and NFC picking demonstrations using the AspireRFID middleware platform. In: MIDDLEWARE'08 CONFERENCE COMPANION ACM/IFIP/USENIX. **Proceedings...** Leuven: ACM. 2008. p. 66-69.

KHALILI, R.; SALAMATIAN, K. E. Evaluation of packet error rate in wireless networks. In: MSWIM, 4. **Proceedings...** Venice: ACM. 2004. p. 1-10.

KHAN, S.; PATHAN, A. S. K.; ALRAJEH, N. A. **Wireless Sensor Network: storage issues and applications**. In: _____ Wireless sensor networks: Current status and future trends. Florida: CRC Press, 2012. Cap. 1.

KHAN, S.; QURESH, K.; RASHID, H. Performance comparison of ICE, HORB, CORBA and Dot NET remoting middleware technologies. **International Journal of Computer Applications**, v. 3, n. 11, p. 15-18, jul. 2010.

LARSON, J. A. et al. Cost evaluation of alternative switchgrass producing, harvesting, storing, and transporting systems and their logistics in the Southeastern USA. **Agricultural Finance Review**, n. 70, p. 184-200, 2010.

LEE, D. R. Agricultural sustainability and technology adoption: issues and policies for developing countries. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 87, n. 5, p. 1325-1334, 2005.

LE GAL, P. Y. et al. Coupled modelling of sugarcane supply planning and logistics as a management tool. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 68, n. 2, p. 168-177, 2009.

LEWIS, K. A.; BARDON, K. S. A computer-based informal environmental management system for agriculture. **Environmental Modelling and Software**, v. 13, n. 2, p. 123-137, 1998.

LI, F. et al. Rainwater harvesting agriculture: an integrated system for water management on rainfed land in China's semiarid areas. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 29, n. 8, p. 477-483, dez. 2000.

LI, T. et al. A storage solution for massive iot data based on nosql. In: GREEN COMPUTING AND COMMUNICATIONS (GREENCOM). **Proceedings...** Besancon: IEEE. 2012. p. 50-57.

LIMA, G. H. E. L.; SILVA, L. C. E.; NETO, P. F. R. WSN as a tool for supporting agriculture in the precision irrigation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NETWORKING AND SERVICES (ICNS). 6. **Proceedings...** Cancun: IEEE. 2010. p. 137-142.

LIN, Q. G.; HUANG, G. H. Interval-fuzzy stochastic optimization for regional energy systems planning and greenhouse-gas emission management under uncertainty - a case study for the Province of Ontario, Canada. **Climatic Change**, v. 104, n. 2, p. 353-378, 2011.

MACHADO, T. M. et al. Metodologia para avaliação do desempenho de receptor de GPS de uso agrícola em condição cinemática. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 121-129, fev. 2010.

MAFUTA, M. et al. Successful deployment of a wireless sensor network for precision agriculture in Malawi. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON, NETWORKED EMBEDDED SYSTEMS FOR EVERY APPLICATION (NESEA), 3. **Proceedings...** Liverpool: IEEE. 2012. p. 1-7.

MARAL, G.; BOUSQUET, M. **Influence of the atmosphere**. In: _____ Satellite communications systems: systems, techniques and technology. New York: John Wiley & Sons, 2011. Cap. 5.7.

MATTOS, L. M. et al. Produção segura e rastreabilidade de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 4, p. 408-413, dez. 2009.

MEERA, S. N.; JHAMTANI, A.; RAO, D. U. M. **A comparative analysis of three projects from India**. In: _____ Information and communication technology in agricultural development . n. 135, jan. 2004.

MEIRELES, E. J. L. et al. Zoneamento agroclimático: Um estudo de caso para o café. **Informe Agropecuário, Geotecnologia, Belo Horizonte**, v. 28, n. 241, p. 50-57, nov. 2007.

MEURER, A. P. S.; LOBO, D. D. S. Characterization of logistics system agroindustrial (SAG) of sugarcane in central west of Brazil. **EeG Economia e Gestão**, v. 15, n. 39, p. 45-65, 2015.

MILAN, E. L.; FERNANDEZ, S. M.; ARAGONES, L. M. P. Sugar cane transportation in Cuba, a case study. **European Journal of Operational Research**, v. 174, n. 1, p. 374-386, 2006.

MIORANDI, D. et al. Internet of things: vision, applications and research challenges. **Ad Hoc Networks**, v. 10, n. 7, p. 1497-1516, 2012.

MULLA, D. J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. **Biosystems Engineering**, v. 114, n. 4, p. 358-371, abr. 2013.

MUNDIM, J. U. C. **Uso de simulação de eventos discretos para o dimensionamento de frota para colheita e transporte de cana-de-açúcar**. 2009. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica – USP São Paulo, 2009.

MURILLO, A. F.; PENA, M.; MARTINEZ, D. Applications of WSN in health and agriculture. In: COMMUNICATIONS CONFERENCE (COLCOM). **Proceedings...** Cartagena: IEEE. 2012. p. 1-6.

NASSIF, L. N. Internet via Satélite: as expectativas da comunicação em banda larga e as implicações tecnológicas. **Revista IP**, v. 3, n. 2, p. 137-160, 2001.

NOGUEIRA, A. C. L. Mecanização na agricultura brasileira: uma visão prospectiva. **Caderno de Pesquisas em Administração**, v. 8, n. 4, p. 77-87, dez. 2001.

OFORI-DWUMFUO, G. O.; SALAKPI, S. V. WiFi and WiMAX deployment at the Ghana ministry of food and agriculture. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, v. 3, n. 12, p. 1374-1383, dez. 2011.

OPARA, L. U. Traceability in agriculture and food supply chain: A review of basic concepts, technological implications, and future prospects. **Journal of Food Agriculture and Environment**, n. 1, p. 101-106, 2003.

PAIVA, R. P. O.; MORABITO, R. An optimization model for the aggregate production planning of a Brazilian sugar and ethanol milling company. In: OPERATIONS RESEARCH CONFERENCE, 23. **Proceedings...** Bonn: Springer. 2009. p. 117-130.

PAPETTI, P. et al. A RFID web-based infotracing system for the artisanal Italian cheese quality traceability. **Food Control**, v. 27, n. 1, p. 234-241, 2012.

PEREIRA, B. F. et al. The ethanol and Its networks. **Cadernos de Campo**, n. 13, p. 155-176, 2010.

PETROVA, M. et al. Performance study of IEEE 802.15.4 using measurements and simulations. In: WIRELESS COMMUNICATIONS AND NETWORKING CONFERENCE, WCNC. **Proceedings...** Las Vegas: IEEE. 2006. p. 487-492.

PISTORI, H.; NETO, J. J. AdapTree-Proposta de um Algoritmo para Indução de Árvores de Decisão Baseado em Técnicas Adaptativas. In: CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA DE INFORMÁTICA. **Anais...** Montevideo: CLEI. 2002. p. 1-10.

PISTORI, H.; NETO, J. J. **Tecnologia adaptativa em engenharia de computação: estado da arte e aplicações**. 2003. Tese (Doutorado) Escola Politécnica – USP. São Paulo. 2003.

PODEROSO, F. et al. Rede ZigBee Aplicada à Medição em Agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METROLOGIA – SEMETRO 8. **Anais...** João Pessoa: [s.n.]. 2009. p. 1-5.

PRASAD, S.; PEDDOJU, S. K.; GHOSH, D. AgroMobile: A cloud-based framework for agriculturists on mobile platform, **International Journal of Advanced Science and Technology**, n. 59, p. 41-52, 2013.

PULIAFITO, A. et al. Making the internet of things a reality: the whereX solution. In: THE INTERNET OF THINGS. **Proceedings...** Tokyo: Springer. 2010. p. 99-108.

RABER, A. et al. Aplicações de RSSF na Agricultura. In: ENCONTRO ANUAL DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO EATI. **Anais...** Frederico Westphalen: [s.n.]. 2013. p. 261-265.

RAMOS, R. P. **Modelo matemático para custo e energia na produção de açúcar e álcool**. 2010. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP Botucatu. 2010.

RANGEL, J. J. D. et al. Modelo de Simulação para Análise do Lead time da Cana de Açúcar Transportada para uma Usina. In: PESQUISA OPERACIONAL NA GESTAO DO CONHECIMENTO, 12. **Anais...** Porto Seguro: SBPO. 2009. p. 1214-1225.

RAPPAPORT, T. S. **Mobile Radio Propagation: Large-Scale Path Loss**. In: _____ Wireless communications: principles and practice. New Jersey: Prentice Hall PTR, v. 2, 2001. Cap. 4.

REGATTIERI, A.; GAMBERI, M.; MANZINI, R. Traceability of food products: General framework and experimental evidence. **Journal of Food Engineering**, v. 81, n. 2, p. 347-356, 2007.

REHMAN, A. U. et al. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. **Computer Standards e Interfaces**, v. 36, n. 2, p. 263-270, 2014.

RODRIGUES, E. B.; SAAB, O. J. G. A. Technical and economical evaluation of hand and mechanized harvest of sugar cane (Saccharum SPP). **Bandeirantes**, v. 28, n. 4, p. 581-588, dez. 2007.

RODRIGUES, J. H. L.; CUGNASCA, C. E. Modelo para a Rastreabilidade do Açúcar Utilizando Identificação por Radiofrequência, Rede de sensores sem fio e Internet das Coisas. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 28. **Anais...** Curitiba: ANPET. 2012. p. 1-12.

RUIZ-GARCIA, L.; LUNADEI, L. The role of RFID in agriculture: Applications, limitations and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75, n. 1, 2011. 42-50. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 75, n. 1, p. 42-50, 2011.

RUIZ-GARCIA, L.; STEINBERGER, G.; ROTHMUND, M. A model and prototype implementation for tracking and tracing agricultural batch products along the food chain. **Food Control**, v. 21, n. 2, p. 112-121, 2010.

SAKAI, R. M. R.; MILHOR, C. E. Análise de compatibilidade em aplicação a taxa variável baseada no padrão ISO 11783. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - CONBAP, 6. **Anais...** São Pedro: SBEA. 2014. p. 1-10.

SANTOS, I. M.; DOTA, M. A.; CUGNASCA, C. E. Visão geral da aplicabilidade de redes de sensores sem fio no monitoramento agrícola no estado de Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - CONBAP, 5. **Anais...** Ribeirão Preto: SBEA. 2010. p. 1-8.

SARRAF, C. et al. Mapping of QoS between UMTS and WiMAX in tight coupling heterogeneous wireless network. **International Journal of Soft Computing And Software Engineering**, v. 2, n. 3, p. 1-14, 2012.

SATHYADEVAN, S.; ACHUTHAN, K.; POROOR, J. Architectural recommendations in building a network based secure, scalable and interoperable internet of things middleware. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FRONTIERS OF INTELLIGENT COMPUTING: THEORY AND APPLICATIONS (FICTA), 3. **Proceedings...** Bhubaneswar: Springer International Publishing. 2015. p. 429-439.

SATO, L. Y. et al. Análise comparativa de algoritmos de árvore de decisão do sistema WEKA para classificação do uso e cobertura da terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBSR. 2013. p. 2353-2360.

SCHEIDL, H. S. A.; SIMON, A. T. Avaliação do processo de terceirização do corte mecanizado, carregamento e transporte de cana-de-açúcar. **Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 33, p. 103-118, 2012.

SCHNEPF, R. D.; DOHLMAN, N.; BOLLING, H. C. **Outlook and Issues Confronting Future Development**. In: _____ Agriculture in Brazil and Argentina: Developments and prospects for major field crops. Washington DC: US Department of Agriculture, 2001. Cap. 6.

SCUTURICI, V. M. et al. UbiWare: web-based dynamic data e service management platform for AML. In: INTERNATIONAL MIDDLEWARE CONFERENCE, 13. **Proceedings...** Montreal: ACM. 2012. p. 11.

SHIN, S.Y., CHOI, S., PARK, H.S. E KWON, W.H. Lecture notes in computer science: packet error rate analysis of IEEE 802.15. 4 under IEEE 802.11 b interference. In: International Conference on Wired/Wireless Internet Communications. **Proceedings...** Berlin: Springer Heidelberg, 2005. p. 279-28

SILVA, L. M. D. **Algoritmo genético na otimização do custo de colheita e transporte da cana-de-açúcar**. 2011. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP Botucatu. 2011.

SILVA, S. F. D. et al. Utilização do sensoriamento remoto na agricultura de precisão: Uma análise bibliométrica. **Nucleus**, v. 11, n. 2, p. 459-470, out. 2014.

SØRENSEN, C. G.; BOCHTIS, D. D. Conceptual model of fleet management in agriculture. **Biosystems Engineering**, v. 105, n. 1, p. 41-50, 2010.

SOUSA, R. V. D. et al. **Estudo dos elementos mínimos para projeto de sistemas embarcados compatíveis para máquinas e implementos agrícolas**. In:

EMBRAPA. Agricultura de Precisão: Um novo olhar. Brasília: Embrapa, 2014. Cap. 13, p. 126-131.

STABILE, M. C. C.; BALASTREIRE, L. A. Comparação de três receptores GPS para uso em Agricultura de Precisão. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 215-223, jan. 2006.

TALEB, T.; HADJADJ-AOUL, Y.; AHMED, T. Challenges, opportunities, and solutions for converged satellite and terrestrial networks. **IEEE Wireless Communications**, v. 18, n. 1, p. 46-52, fev. 2011.

TAN, L.; WANG, N. Future internet: The internet of things. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED COMPUTER THEORY AND ENGINEERING (ICACTE), 3. **Proceedings...** Chengdu: IEEE. 2010. p. 376-380.

TAN, P.; STEINBACH, M.; KUMAR, V. **Classification: Basic Concepts, Decision Trees, and Model Evaluation**. In: _____ Introduction to Data Mining. Boston: AddisonWesley, 2005. Cap. 4.

TAYLOR, K.; LEIDINGER, L. Ontology-driven complex event processing in heterogeneous sensor networks. In: THE SEMANTIC WEB: RESEARCH AND APPLICATIONS. **Proceedings...** Berlim: Springer. 2011. p. 285-299.

TEIXEIRA, F. C. **Grid anywhere: Um middleware extensível para grades computacionais desktop**. 2012. Tese (Doutorado) Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – USP. São Carlos. 2012.

TERZIYAN, V.; KAYKOVA, O.; ZHOVTOBRYUKH, D. UbiRoad: Semantic Middleware for Context-Aware Smart Road Environments. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON, INTERNET AND WEB APPLICATIONS AND SERVICES (ICIW), 5. **Proceedings...** Barcelona: IEEE. 2010. p. 295-302.

TOGNOLI, A. et al. Analyzing the process of production in logistics sugarcane mill: a case study. **Independent Journal of Management and Production (IJMeP)**, v. 2, n. 1, p. 15-24, jan. 2011.

TOOR, R. K.; SAVAGE, G. P. Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage. **Food Chemistry**, v. 99, n. 4, p. 724-727, 2006.

TSENG, C.-L. et al. Feasibility study on application of GSM-SMS technology to field data acquisition. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 53, n. 1, p. 45-59, 2006.

VERGARA, A. et al. An RFID reader with onboard sensing capability. **Sensors and Actuators B: Chemical**, n. 27, p. 143-149, 2007.

VERMA, S.; PILLAI, P.; HU, Y. F. Performance analysis of data aggregation and security in WSN-satellite integrated networks. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON, WSN-SATELLITE INTEGRATED NETWORKS, PERSONAL INDOOR AND MOBILE RADIO COMMUNICATIONS (PIMRC), 24. **Proceedings...** London: IEEE. 2013. p. 3297-3301.

VIEIRA, L. S.; ELIAS, C. E. S.; RIBEIRO, R. S. Viabilidade da transmissão de dados via satélite. **Revista TechnoEng**, v. 1, n. 4, p. 98-102, 2015.

VORAKULPIPAT, C. et al. WiMAX deployment: A report for a rural region of Thailand. **Manejo Int. J. Sci. Technol.**, v. 9, n. 2, p. 147-155, 2015.

VOULODIMOS, A. S. et al. A complete farm management system based on animal identification using RFID technology. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 0, n. 3, p. 380-388, 2010.

WANG, X.-Z.; DONG, L.-C.; YAN, J.-H. Maximum ambiguity based sample selection in fuzzy decision tree induction. Knowledge and Data Engineering. **IEEE Transactions**, v. 24, n. 8, p. 1491-1505, 2012.

WESTERMAN, P. W.; BICUDO, J. R. Management considerations for organic waste use in agriculture. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 2, p. 215-221, 2005.

WU, R. H. et al. Study of characteristics of RSSI signal. In: INDUSTRIAL TECHNOLOGY INTERNATIONAL CONFERENCE ON ICIT IEEE. **Proceedings...** Chengdu: IEEE. 2008. p. 1-3.

YU, G.; JING, T. The IOT research in supply chain management of fresh agricultural products. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON. ARTIFICIAL INTELLIGENCE, MANAGEMENT SCIENCE AND ELECTRONIC COMMERCE (AIMSEC), 2. **Proceedings...** Shenzhen: IEEE. 2011. p. 7382-7385.

ZENOBIO, D. D. et al. An integrated access network infrastructure combining femtocells to existing cabled networks. In: WIRELESS TELECOMMUNICATIONS SYMPOSIUM (WTS). **Proceedings...** Phoenix: IEEE. 2013. p. 1-5.

ZHAO, J. C. et al. The study and application of the IOT technology. In: INTERNATIONAL CONFERENCE COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY, 3. **Proceedings...** Chengdu: IEEE. 2010. p. 462-465.

ZHAO, L. et al. Design of wireless sensor network middleware for agricultural applications. In: COMPUTER AND COMPUTING TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE, 6. **Proceedings...** Zhangjiajie: Springer Berlin. 2012. p. 270-279.

ZIGBEE. ZigBee Alliance, 2015. disponível em <http://www.zigbee.org/> acessado em: 20 ago. 2015.

APÊNDICE A – Conjunto-exemplo do Cenário 1

dado	Variáveis do cenário 1						
	temperatura	chuva	umidade do ar	tensão bat.	status RSSF	status WIFI	status GPRS
1	21,7	0	51,5	3,32	OK	OK	OK
2	21,6	0	51,5	3,45	OK	OK	OK
3	21,5	0	52,5	2,98	OK	OK	OK
4	21,5	0	53,2	3,3	OK	OK	OK
5	21,6	0	51,6	2,66	OK	OK	OK
6	21,4	0	54,2	3,09	OK	OK	OK
7	21,1	0	51,6	3,47	OK	OK	OK
8	21,1	0	54,5	2,81	OK	OK	OK
9	17,3	0	55,7	3,3	OK	OK	OK
10	17,3	0	55,7	3,46	OK	OK	OK
11	17,1	0	56	2,98	NOK	OK	OK
12	17,2	0	56	3,3	OK	OK	OK
13	17,2	0	57,5	2,67	OK	OK	OK
14	17,3	0	56	3,06	OK	OK	OK
15	17,2	0	55,8	3,46	OK	OK	OK
16	16,9	0	61,4	2,79	OK	OK	OK
17	24,2	0	59,7	3,28	OK	OK	OK
18	24,2	0	59,7	3,43	OK	OK	OK
19	24	0	61,1	2,97	OK	OK	OK
20	23,9	0	60,4	3,29	OK	OK	OK
21	23,9	0	61,6	3,02	OK	OK	OK
22	24	0	60,3	3,06	OK	OK	NOK
23	24	0	62,2	3,46	NOK	OK	OK
24	24,1	0	61,6	2,75	OK	OK	OK
25	29,3	0	38,2	3,29	OK	OK	OK
26	29,2	0	38,2	3,41	OK	OK	OK
27	29,2	0	39,4	2,93	OK	OK	OK
28	28,7	0	39,1	3,25	OK	OK	OK
29	28,5	0	39,1	3,02	OK	OK	OK
30	28,4	0	39,2	3,05	OK	OK	OK
31	29,3	0	39,7	3,47	OK	OK	OK
32	28,2	0	43,6	2,77	OK	OK	OK
33	24	0	30,7	3,25	OK	OK	OK
34	23,7	0	30,7	3,41	OK	OK	OK
35	23,7	0	32,4	2,94	OK	OK	OK
36	23,7	0	32,1	3,22	OK	OK	OK
37	23,6	0	30,8	3,02	OK	OK	OK
38	23,9	0	31	3,05	OK	OK	OK
39	22,7	0	33,2	3,48	OK	OK	OK

dado	Variáveis do cenário 1						
	temperatura	chuva	umidade do ar	tensão bat.	status RSSF	status WIFI	status GPRS
40	22,7	0	33,1	2,73	OK	OK	OK
41	24	0	34,4	3,24	OK	OK	OK
42	23,9	0	34,4	3,4	OK	OK	OK
43	23,4	0	34,9	2,92	OK	OK	OK
44	23,9	0	34,9	3,21	OK	OK	OK
45	23,5	0	35,1	2,68	OK	OK	OK
46	23,4	0	37,4	3,03	OK	OK	OK
47	23,4	0	36,9	3,48	OK	OK	OK
48	23,4	0	35,4	2,78	OK	OK	OK
49	21	0	49,4	3,27	OK	OK	OK
50	20,9	0	49,4	3,38	OK	OK	OK
51	20,8	0	50	2,91	OK	OK	OK
52	20,8	0	51,3	3,21	OK	OK	OK
53	20,9	0	50,8	2,68	OK	OK	OK
54	20,7	0	50,4	3,03	OK	OK	OK
55	20,4	0	52,9	3,47	OK	OK	OK
56	20,4	0	53,5	2,77	OK	OK	OK
57	16,9	0	56,4	3,27	OK	OK	OK
58	16,9	0	56,4	3,4	OK	OK	OK
59	16,7	0	58,3	2,91	OK	OK	OK
60	16,8	0	57,7	3,19	OK	OK	OK
61	16,8	0	57,6	2,66	OK	OK	OK
62	16,9	0	57,2	3	OK	OK	OK
63	16,8	0	57,9	3,47	OK	OK	OK
64	16,5	0	57,7	2,77	OK	OK	OK
65	23,3	0	58,6	3,28	OK	OK	OK
66	23,3	0	58,6	3,39	OK	OK	OK
67	23,1	0	60,2	2,91	OK	OK	OK
68	23	0	58,9	3,21	OK	OK	OK
69	23	0	60,6	3,01	OK	OK	OK
70	23,1	0	59,3	3,02	OK	OK	OK
71	23,1	0	61,2	3,46	OK	OK	OK
72	23,2	0	61,9	2,74	OK	OK	OK
73	28,6	0	37,9	3,24	OK	OK	OK
74	28,5	0	37,9	3,38	OK	NOK	OK
75	28,5	0	39,7	2,87	NOK	OK	OK
76	28	0	39,7	3,21	OK	OK	OK
77	27,8	0	39,1	3,01	OK	OK	OK
78	27,7	0	40,6	3	OK	OK	OK

dado	Variáveis do cenário 1						
	temperatura	chuva	umidade do ar	tensão bat.	status RSSF	status WIFI	status GPRS
79	28,6	0	40,8	3,46	OK	OK	OK
80	27,5	0	41,1	2,74	OK	OK	OK
81	23,9	8,6	38,3	3,25	OK	OK	OK
82	23,6	9	38,3	3,37	OK	OK	OK
83	23,6	9,3	39,5	2,89	OK	OK	OK
84	23,6	9,2	38,3	3,21	OK	OK	OK
85	23,5	9	39,9	3,01	OK	OK	OK
86	23,8	9,3	40,7	2,96	OK	OK	OK
87	22,6	9,2	41,2	3,45	OK	OK	OK
88	22,6	8,9	40,4	2,71	OK	OK	OK
89	23,3	11,5	38,5	3,18	OK	OK	OK
90	23,2	11,5	38,5	3,29	OK	OK	NOK
91	22,7	11,6	40,4	2,86	OK	OK	OK
92	23,2	11,8	40,2	3,18	OK	OK	OK
93	22,8	11,6	39,6	2,66	OK	OK	OK
94	22,7	11,7	39,4	2,97	OK	OK	OK
95	22,7	11,6	41,3	3,46	OK	OK	OK
96	22,7	11,7	44,4	2,7	OK	OK	OK
97	16,4	0	50,2	3,2	OK	OK	OK
98	16,4	0	50,2	3,33	OK	OK	OK
99	16,2	0	50,4	2,86	NOK	OK	OK
100	16	0	51,9	3,18	OK	OK	OK
101	16,2	0	50,5	2,66	OK	OK	OK
102	16,4	0	52,3	2,97	OK	OK	OK
103	16,3	0	54,1	3,47	OK	OK	OK
104	16,3	0	56,2	2,69	OK	OK	OK
105	17,2	0	59,3	3,18	OK	OK	OK
106	17,1	0	59,3	3,34	OK	NOK	OK
107	17,2	0	60	2,86	OK	OK	OK
108	17,1	0	59,6	3,18	OK	OK	OK
109	17,1	0	60,5	2,67	OK	OK	OK
110	17,1	0	60,9	2,94	OK	OK	OK
111	16,9	0	62,6	3,46	OK	OK	OK
112	16,8	0	64,8	2,67	OK	OK	OK
113	21,8	0	60,8	3,16	OK	OK	OK
114	21,7	0	60,8	3,31	OK	OK	OK
115	21,4	0	62,6	2,85	OK	OK	OK
116	21,3	0	61,6	3,17	OK	OK	OK
117	21,5	0	61,7	3,01	OK	OK	OK
118	21,2	0	62,9	2,95	OK	OK	OK

dado	Variáveis do cenário 1						
	temperatura	chuva	umidade do ar	tensão bat.	status RSSF	status WIFI	status GPRS
119	21,7	0	64,7	3,46	OK	OK	OK
120	21,2	0	64,6	2,68	OK	OK	OK
121	28,9	0	41,4	3,17	OK	OK	OK
122	28,9	0	41,4	3,29	OK	OK	OK
123	28,8	0	42	2,81	OK	OK	OK
124	28,3	0	43	3,13	OK	OK	OK
125	28,7	0	43,2	3,01	OK	OK	OK
126	28,6	0	44	2,93	OK	OK	OK
127	28,1	0	41,7	3,47	OK	OK	OK
128	28,5	0	42,5	2,65	OK	OK	OK
129	27,4	22,1	40	3,13	OK	OK	OK
130	27	22,3	40	3,29	OK	OK	OK
131	26,7	22,8	40,9	2,82	OK	OK	OK
132	27,4	22,4	41,3	3,1	OK	OK	OK
133	26,6	22,5	40,2	3,01	OK	OK	OK
134	27	22,5	42,5	2,93	OK	OK	OK
135	26,9	22,1	44,1	3,47	OK	OK	OK
136	27	22,5	45,8	2,66	OK	OK	OK
137	19,5	28,8	44,5	3,12	NOK	OK	OK
138	19,4	29	44,5	3,28	OK	OK	OK
139	19,4	29,1	46,3	2,8	OK	OK	OK
140	19,3	29,1	46	3,09	OK	OK	OK
141	19,4	28,9	44,9	3,01	OK	OK	OK
142	19	29	46,4	2,91	OK	OK	OK
143	19,4	28,9	48,2	3,47	OK	OK	OK
144	18,5	28,8	50,9	2,66	OK	OK	OK

dado	cenário 1							Saídas	
	dia	hora	sensor	latitude	longitude	altitude	declividade	tecnologia	RSSI
1	1	0	1	-22,7122	-47,6288	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
2	1	0	2	-22,7135	-47,6272	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
3	1	0	3	-22,7137	-47,6268	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
4	1	0	4	-22,7131	-47,6268	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
5	1	0	5	-22,7125	-47,6267	-23,1000	0,8	GPRS	Falhando
6	1	0	6	-22,7119	-47,6267	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
7	1	0	7	-22,7112	-47,6266	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
8	1	0	8	-22,7111	-47,6267	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
9	1	4	1	-22,7116	-47,6269	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
10	1	4	2	-22,7122	-47,6288	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
11	1	4	3	-22,7135	-47,6272	-23,5000	1,2	GPRS	Sucesso
12	1	4	4	-22,7137	-47,6268	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
13	1	4	5	-22,7131	-47,6268	-23,1000	0,8	GPRS	Falhando
14	1	4	6	-22,7125	-47,6267	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
15	1	4	7	-22,7119	-47,6267	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
16	1	4	8	-22,7112	-47,6266	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
17	1	8	1	-22,7111	-47,6267	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
18	1	8	2	-22,7116	-47,6269	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
19	1	8	3	-22,7122	-47,6288	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
20	1	8	4	-22,7135	-47,6272	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
21	1	8	5	-22,7137	-47,6268	-23,1000	0,8	WiFi	Falhando
22	1	8	6	-22,7131	-47,6268	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
23	1	8	7	-22,7125	-47,6267	-23,7000	0,7	WiFi	Falhando
24	1	8	8	-22,7119	-47,6267	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
25	1	12	1	-22,7112	-47,6266	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
26	1	12	2	-22,7111	-47,6267	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
27	1	12	3	-22,7116	-47,6269	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
28	1	12	4	-22,7122	-47,6288	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
29	1	12	5	-22,7135	-47,6272	-23,1000	0,8	WiFi	Falhando
30	1	12	6	-22,7137	-47,6268	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
31	1	12	7	-22,7131	-47,6268	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
32	1	12	8	-22,7125	-47,6267	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
33	1	16	1	-22,7119	-47,6267	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
34	1	16	2	-22,7112	-47,6266	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
35	1	16	3	-22,7111	-47,6267	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
36	1	16	4	-22,7116	-47,6269	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
37	1	16	5	-22,7122	-47,6288	-23,1000	0,8	WiFi	Falhando
38	1	16	6	-22,7135	-47,6272	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
39	1	16	7	-22,7137	-47,6268	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
40	1	16	7	-22,7137	-47,6268	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
41	1	20	1	-22,7125	-47,6267	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
42	1	20	2	-22,7119	-47,6267	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso

dado	cenário 1							Saídas	
	dia	hora	sensor	latitude	longitude	altitude	declividade	tecnologia	RSSI
43	1	20	3	-22,7112	-47,6266	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
44	1	20	4	-22,7111	-47,6267	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
45	1	20	5	-22,7116	-47,6269	-23,1000	0,8	GPRS	Falhando
46	1	20	6	-22,7122	-47,6288	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
47	1	20	7	-22,7135	-47,6272	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
48	1	20	8	-22,7137	-47,6268	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
49	2	0	1	-22,7131	-47,6268	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
50	2	0	2	-22,7125	-47,6267	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
51	2	0	3	-22,7119	-47,6267	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
52	2	0	4	-22,7112	-47,6266	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
53	2	0	5	-22,7111	-47,6267	-23,1000	0,8	GPRS	Falhando
54	2	0	6	-22,7116	-47,6269	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
55	2	0	7	-22,7122	-47,6288	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
56	2	0	8	-22,7135	-47,6272	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
57	2	4	1	-22,7137	-47,6268	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
58	2	4	2	-22,7131	-47,6268	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
59	2	4	3	-22,7125	-47,6267	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
60	2	4	4	-22,7119	-47,6267	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
61	2	4	5	-22,7112	-47,6266	-23,1000	0,8	GPRS	Falhando
62	2	4	6	-22,7111	-47,6267	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
63	2	4	7	-22,7116	-47,6269	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
64	2	4	8	-22,7122	-47,6288	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
65	2	8	1	-22,7135	-47,6272	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
66	2	8	2	-22,7137	-47,6268	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
67	2	8	3	-22,7131	-47,6268	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
68	2	8	4	-22,7125	-47,6267	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
69	2	8	5	-22,7119	-47,6267	-23,1000	0,8	WiFi	Falhando
70	2	8	6	-22,7112	-47,6266	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
71	2	8	7	-22,7111	-47,6267	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
72	2	8	8	-22,7116	-47,6269	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
73	2	12	1	-22,7122	-47,6288	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
74	2	12	2	-22,7135	-47,6272	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
75	2	12	3	-22,7137	-47,6268	-23,5000	1,2	GPRS	Sucesso
76	2	12	4	-22,7131	-47,6268	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
77	2	12	5	-22,7125	-47,6267	-23,1000	0,8	WiFi	Falhando
78	2	12	6	-22,7119	-47,6267	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
79	2	12	7	-22,7112	-47,6266	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
80	2	12	8	-22,7111	-47,6267	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
81	2	16	1	-22,7116	-47,6269	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso

dado	cenário 1							Saídas	
	dia	hora	sensor	latitude	longitude	altitude	declividade	tecnologia	RSSI
1	1	0	1	-22,7122	-47,6288	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
2	1	0	2	-22,7135	-47,6272	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
3	1	0	3	-22,7137	-47,6268	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
4	1	0	4	-22,7131	-47,6268	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
5	1	0	5	-22,7125	-47,6267	-23,1000	0,8	GPRS	Falhando
6	1	0	6	-22,7119	-47,6267	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
7	1	0	7	-22,7112	-47,6266	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
8	1	0	8	-22,7111	-47,6267	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
9	1	4	1	-22,7116	-47,6269	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
10	1	4	2	-22,7122	-47,6288	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
11	1	4	3	-22,7135	-47,6272	-23,5000	1,2	GPRS	Sucesso
12	1	4	4	-22,7137	-47,6268	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
13	1	4	5	-22,7131	-47,6268	-23,1000	0,8	GPRS	Falhando
14	1	4	6	-22,7125	-47,6267	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
15	1	4	7	-22,7119	-47,6267	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
16	1	4	8	-22,7112	-47,6266	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
17	1	8	1	-22,7111	-47,6267	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
18	1	8	2	-22,7116	-47,6269	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
19	1	8	3	-22,7122	-47,6288	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
20	1	8	4	-22,7135	-47,6272	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
21	1	8	5	-22,7137	-47,6268	-23,1000	0,8	WiFi	Falhando
22	1	8	6	-22,7131	-47,6268	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
23	1	8	7	-22,7125	-47,6267	-23,7000	0,7	WiFi	Falhando
24	1	8	8	-22,7119	-47,6267	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
25	1	12	1	-22,7112	-47,6266	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
26	1	12	2	-22,7111	-47,6267	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
27	1	12	3	-22,7116	-47,6269	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
28	1	12	4	-22,7122	-47,6288	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
29	1	12	5	-22,7135	-47,6272	-23,1000	0,8	WiFi	Falhando
30	1	12	6	-22,7137	-47,6268	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
31	1	12	7	-22,7131	-47,6268	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
32	1	12	8	-22,7125	-47,6267	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
33	1	16	1	-22,7119	-47,6267	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
34	1	16	2	-22,7112	-47,6266	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
35	1	16	3	-22,7111	-47,6267	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
36	1	16	4	-22,7116	-47,6269	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
37	1	16	5	-22,7122	-47,6288	-23,1000	0,8	WiFi	Falhando
38	1	16	6	-22,7135	-47,6272	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
39	1	16	7	-22,7137	-47,6268	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
40	1	16	8	-22,7131	-47,6268	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso

dado	cenário 1							Saídas	
	dia	hora	sensor	latitude	longitude	altitude	declividade	tecnologia	RSSI
41	1	20	1	-22,7125	-47,6267	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
42	1	20	2	-22,7119	-47,6267	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
43	1	20	3	-22,7112	-47,6266	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
44	1	20	4	-22,7111	-47,6267	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
45	1	20	5	-22,7116	-47,6269	-23,1000	0,8	GPRS	Falhando
46	1	20	6	-22,7122	-47,6288	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
47	1	20	7	-22,7135	-47,6272	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
48	1	20	8	-22,7137	-47,6268	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
49	2	0	1	-22,7131	-47,6268	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
50	2	0	2	-22,7125	-47,6267	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
51	2	0	3	-22,7119	-47,6267	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
52	2	0	4	-22,7112	-47,6266	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
53	2	0	5	-22,7111	-47,6267	-23,1000	0,8	GPRS	Falhando
54	2	0	6	-22,7116	-47,6269	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
55	2	0	7	-22,7122	-47,6288	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
56	2	0	8	-22,7135	-47,6272	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
57	2	4	1	-22,7137	-47,6268	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
58	2	4	2	-22,7131	-47,6268	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
59	2	4	3	-22,7125	-47,6267	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
60	2	4	4	-22,7119	-47,6267	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
61	2	4	5	-22,7112	-47,6266	-23,1000	0,8	GPRS	Falhando
62	2	4	6	-22,7111	-47,6267	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
63	2	4	7	-22,7116	-47,6269	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
64	2	4	8	-22,7122	-47,6288	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
65	2	8	1	-22,7135	-47,6272	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
66	2	8	2	-22,7137	-47,6268	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
67	2	8	3	-22,7131	-47,6268	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
68	2	8	4	-22,7125	-47,6267	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
69	2	8	5	-22,7119	-47,6267	-23,1000	0,8	WiFi	Falhando
70	2	8	6	-22,7112	-47,6266	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
71	2	8	7	-22,7111	-47,6267	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
72	2	8	8	-22,7116	-47,6269	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
73	2	12	1	-22,7122	-47,6288	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
74	2	12	2	-22,7135	-47,6272	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
75	2	12	3	-22,7137	-47,6268	-23,5000	1,2	GPRS	Sucesso
76	2	12	4	-22,7131	-47,6268	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
77	2	12	5	-22,7125	-47,6267	-23,1000	0,8	WiFi	Falhando
78	2	12	6	-22,7119	-47,6267	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
79	2	12	7	-22,7112	-47,6266	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
80	2	12	8	-22,7111	-47,6267	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
81	2	16	1	-22,7116	-47,6269	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso

dado	cenário 1							Saídas	
	dia	hora	sensor	latitude	longitude	altitude	declividade	tecnologia	RSSI
82	2	16	2	-22,7122	-47,6288	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
83	2	16	3	-22,7135	-47,6272	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
84	2	16	4	-22,7137	-47,6268	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
85	2	16	5	-22,7131	-47,6268	-23,1000	0,8	WiFi	Falhando
86	2	16	6	-22,7125	-47,6267	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
87	2	16	7	-22,7119	-47,6267	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
88	2	16	8	-22,7112	-47,6266	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
89	2	20	1	-22,7111	-47,6267	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
90	2	20	2	-22,7116	-47,6269	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
91	2	20	3	-22,7122	-47,6288	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
92	2	20	4	-22,7135	-47,6272	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
93	2	20	5	-22,7137	-47,6268	-23,1000	0,8		Inoperante
94	2	20	6	-22,7131	-47,6268	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
95	2	20	7	-22,7125	-47,6267	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
96	2	20	8	-22,7119	-47,6267	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
97	3	0	1	-22,7112	-47,6266	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
98	3	0	2	-22,7111	-47,6267	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
99	3	0	3	-22,7116	-47,6269	-23,5000	1,2	GPRS	Sucesso
100	3	0	4	-22,7122	-47,6288	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
101	3	0	5	-22,7135	-47,6272	-23,1000	0,8	GPRS	Falhando
102	3	0	6	-22,7137	-47,6268	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
103	3	0	7	-22,7131	-47,6268	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
104	3	0	8	-22,7125	-47,6267	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
105	3	4	1	-22,7119	-47,6267	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
106	3	4	2	-22,7112	-47,6266	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
107	3	4	3	-22,7111	-47,6267	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
108	3	4	4	-22,7116	-47,6269	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
109	3	4	5	-22,7122	-47,6288	-23,1000	0,8	GPRS	Falhando
110	3	4	6	-22,7135	-47,6272	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
111	3	4	7	-22,7137	-47,6268	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
112	3	4	8	-22,7131	-47,6268	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
113	3	8	1	-22,7125	-47,6267	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
114	3	8	2	-22,7119	-47,6267	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
115	3	8	3	-22,7112	-47,6266	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
116	3	8	4	-22,7111	-47,6267	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
117	3	8	5	-22,7116	-47,6269	-23,1000	0,8	WiFi	Falhando
118	3	8	6	-22,7122	-47,6288	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
119	3	8	7	-22,7135	-47,6272	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
120	3	8	8	-22,7137	-47,6268	-23,9000	1,1	RSSF	Sucesso
121	3	12	1	-22,7131	-47,6268	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
122	3	12	2	-22,7125	-47,6267	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso

dado	cenário 1							Saídas	
	dia	hora	sensor	latitude	longitude	altitude	declividade	tecnologia	RSSI
123	3	12	3	-22,7119	-47,6267	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
124	3	12	4	-22,7112	-47,6266	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
125	3	12	5	-22,7111	-47,6267	-23,1000	0,8	WiFi	Falhando
126	3	12	6	-22,7116	-47,6269	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
127	3	12	7	-22,7122	-47,6288	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
128	3	12	8	-22,7135	-47,6272	-23,9000	1,1	RSSF	Falhando
129	3	16	1	-22,7137	-47,6268	-23,9000	2,9	RSSF	Sucesso
130	3	16	2	-22,7131	-47,6268	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
131	3	16	3	-22,7125	-47,6267	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
132	3	16	4	-22,7119	-47,6267	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
133	3	16	5	-22,7112	-47,6266	-23,1000	0,8	WiFi	Falhando
134	3	16	6	-22,7111	-47,6267	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
135	3	16	7	-22,7116	-47,6269	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
136	3	16	8	-22,7122	-47,6288	-23,9000	1,1	RSSF	Falhando
137	3	20	1	-22,7135	-47,6272	-23,9000	2,9	GPRS	Sucesso
138	3	20	2	-22,7137	-47,6268	-25,5000	5,2	RSSF	Sucesso
139	3	20	3	-22,7131	-47,6268	-23,5000	1,2	RSSF	Sucesso
140	3	20	4	-22,7125	-47,6267	-25,2000	5,1	RSSF	Sucesso
141	3	20	5	-22,7119	-47,6267	-23,1000	0,8	WiFi	Falhando
142	3	20	6	-22,7112	-47,6266	-23,7000	1,9	RSSF	Sucesso
143	3	20	7	-22,7111	-47,6267	-23,7000	0,7	RSSF	Sucesso
144	3	20	8	-22,7116	-47,6269	-23,9000	1,1	RSSF	Falhando

APÊNDICE B – Conjunto-exemplo do Cenário 2

dado	Variáveis cenário 2				status RSSF	status WIFI	status GPRS
	temperatura	chuva	umidade do ar	tensão bat.			
1	21,5	0	51,5	3,6	OK	OK	OK
2	21,4	0	51,5	3,5	OK	OK	OK
3	21,3	0	52,5	3,4	OK	OK	OK
4	21,3	0	53,2	3,4	OK	OK	OK
6	21,2	0	54,2	3,5	OK	OK	OK
7	20,9	0	51,6	3,6	OK	OK	OK
9	21,1	0	52,9	3,8	OK	OK	OK
41	17,6	0	51,5	3,6	OK	OK	OK
42	17,6	0	51,5	3,5	OK	OK	OK
43	17,4	0	52,5	3,4	OK	OK	OK
44	17,5	0	53,2	3,3	OK	OK	OK
46	17,5	0	54,2	3,4	OK	OK	OK
47	17,6	0	51,6	3,5	OK	OK	OK
49	17,5	0	52,9	3,7	OK	OK	OK
81	24,7	0	51,5	3,5	OK	OK	OK
82	24,7	0	51,5	3,4	OK	OK	OK
83	24,5	0	52,5	3,3	OK	OK	OK
84	24,4	0	53,2	3,3	OK	OK	OK
86	24,4	0	54,2	3,4	OK	OK	OK
87	24,5	0	51,6	3,5	OK	OK	OK
89	24,5	0	52,9	3,7	OK	OK	OK
121	30	0	51,5	3,5	OK	OK	OK
122	29,9	0	51,5	3,4	OK	OK	OK
123	29,9	0	52,5	3,3	OK	OK	OK
124	29,4	0	53,2	3,2	OK	OK	OK
126	29,2	0	54,2	3,3	OK	OK	OK
127	29,2	0	51,6	3,4	OK	OK	OK
129	30,1	0	52,9	3,6	OK	OK	OK
161	24,9	24,1	51,5	3,5	OK	OK	OK
162	24,6	24,4	51,5	3,3	OK	OK	OK
163	24,6	24,9	52,5	3,2	OK	OK	OK
164	24,7	24,5	53,2	3,2	OK	OK	OK
166	24,6	24,7	54,2	3,3	OK	OK	OK
167	24,9	24,7	51,6	3,4	OK	OK	OK
169	23,7	24,3	52,9	3,6	OK	OK	OK
201	25,1	0	51,5	3,4	OK	OK	OK
202	25,1	0	51,5	3,3	OK	OK	OK
203	24,6	0	52,5	3,2	OK	OK	OK

dado	Variáveis				cenário 2		
	temperatura	chuva	umidade do ar	tensão bat.	status RSSF	status WIFI	status GPRS
204	25,1	0	53,2	3,1	OK	OK	OK
206	24,7	0	54,2	3,2	OK	OK	OK
207	24,6	0	51,6	3,4	OK	OK	OK
209	24,6	0	52,9	3,5	OK	OK	OK
251	22,4	0	51,5	3,4	OK	OK	NOK
252	22,3	0	51,5	3,3	OK	OK	OK
253	22,2	0	52,5	3,1	OK	OK	OK
254	22,2	0	53,2	3,1	OK	NOK	OK
256	22,3	0	54,2	3,2	NOK	OK	OK
257	22,1	0	51,6	3,3	OK	OK	OK
259	21,8	0	52,9	3,5	OK	OK	OK
291	18,5	0	51,5	3,3	OK	OK	OK
292	18,5	0	51,5	3,2	OK	OK	OK
293	18,3	0	52,5	3,1	OK	OK	OK
294	18,4	0	53,2	3	OK	OK	NOK
296	18,4	0	54,2	3,2	OK	OK	NOK
297	18,6	0	51,6	3,3	OK	OK	OK
299	18,5	0	52,9	3,4	OK	OK	OK
331	25,1	0	51,5	3,3	OK	OK	OK
332	25,1	0	51,5	3,2	OK	OK	NOK
333	24,9	0	52,5	3,1	OK	OK	OK
334	24,9	0	53,2	3	OK	OK	OK
336	24,9	0	54,2	3,1	NOK	OK	OK
337	25	0	51,6	3,2	OK	OK	OK
339	25	0	52,9	3,4	OK	NOK	OK
371	30,6	0	51,5	3,2	OK	OK	OK
372	30,6	0	51,5	3,1	OK	OK	OK
373	30,6	0	52,5	3	OK	OK	OK
374	30,1	0	53,2	2,9	OK	OK	OK
376	29,9	0	54,2	3,1	OK	NOK	OK
377	29,8	0	51,6	3,2	OK	OK	OK
379	30,7	0	52,9	3,3	OK	OK	OK
411	26,2	27,1	51,5	3,2	OK	OK	OK
412	25,9	27,4	51,5	3,1	OK	OK	OK
413	25,9	28	52,5	3	OK	OK	OK
414	25,9	27,5	53,2	2,9	OK	OK	OK
416	25,8	27,7	54,2	3	OK	OK	OK
417	26,1	27,7	51,6	3,1	OK	OK	OK
419	24,9	27,2	52,9	3,3	OK	OK	OK
451	25,8	0	51,5	3,1	OK	NOK	OK
452	25,7	0	51,5	3	OK	NOK	OK

dado	Variáveis				cenário 2		
	temperatura	chuva	umidade do ar	tensão bat.	status RSSF	status WIFI	status GPRS
453	25,2	0	52,5	2,9	OK	OK	OK
454	25,7	0	53,2	2,9	OK	NOK	OK
456	25,3	0	54,2	3	OK	OK	OK
457	25,2	0	51,6	3,1	OK	OK	OK
459	25,2	0	52,9	3,3	OK	OK	OK
501	19,1	0	51,5	3,1	OK	OK	OK
502	19,1	0	51,5	3	OK	OK	OK
503	18,9	0	52,5	2,9	OK	OK	OK
504	18,8	0	53,2	2,8	OK	OK	OK
506	19	0	54,2	2,9	OK	OK	OK
507	19,2	0	51,6	3	OK	OK	NOK
509	19,1	0	52,9	3,2	OK	OK	OK
541	20,2	0	51,5	3	OK	OK	OK
542	20,3	0	51,5	2,9	OK	OK	OK
543	20,1	0	52,5	2,8	OK	OK	OK
544	20,2	0	53,2	2,8	OK	OK	OK
546	20,2	0	54,2	2,9	OK	OK	OK
547	20,3	0	51,6	3	OK	OK	OK
549	20,2	0	52,9	3,2	OK	OK	NOK
581	25	0	51,5	3	OK	OK	OK
582	24,9	0	51,5	2,9	NOK	OK	OK
583	24,6	0	52,5	2,8	NOK	OK	OK
584	24,5	0	53,2	2,7	OK	OK	OK
586	24,7	0	54,2	2,8	NOK	OK	NOK
587	24,4	0	51,6	3	OK	OK	OK
589	24,9	0	52,9	3,1	OK	OK	OK
621	32,3	0	51,5	3	OK	OK	OK
622	32,3	0	51,5	2,8	NOK	OK	OK
623	32,2	0	52,5	2,7	OK	OK	OK
624	31,7	0	53,2	2,7	OK	OK	OK
626	32,1	0	54,2	2,8	OK	OK	OK
627	32	0	51,6	2,9	OK	OK	OK
629	31,5	0	52,9	3,1	OK	OK	OK
661	31	30,1	51,5	2,9	OK	OK	OK
662	30,6	30,4	51,5	2,8	OK	OK	OK
663	30,3	31,1	52,5	2,7	OK	OK	OK
664	31	30,5	53,2	2,6	OK	NOK	OK
666	30,2	30,7	54,2	2,8	OK	OK	OK
667	30,7	30,7	51,6	2,9	OK	OK	OK
669	30,6	30,2	52,9	3	OK	OK	OK

dado	Variáveis			cenário 2			
	temperatura	chuva	umidade do ar	tensão bat.	status RSSF	status WIFI	status GPRS
701	23,3	0	51,5	2,9	OK	OK	NOK
702	23,2	0	51,5	2,8	OK	OK	OK
703	23,2	0	52,5	2,6	OK	OK	OK
704	23,2	0	53,2	2,6	OK	OK	OK
706	23,3	0	54,2	2,7	OK	OK	OK
707	22,9	0	51,6	2,8	OK	OK	NOK
709	23,3	0	52,9	3	OK	OK	OK

dado	cenário 2							tecnologia	qualidade
	dia	hora	sensor	latitude	longitude	altitude	declividade		
1	1	0	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
2	1	0	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	RSSF	Sucesso
3	1	0	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	RSSF	Sucesso
4	1	0	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1	RSSF	Falhando
6	1	0	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	WiFi	Falhando
7	1	0	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	WiFi	Falhando
9	1	0	9	-22,7114	-47,628	0,7	1,3	RSSF	Sucesso
41	1	4	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
42	1	4	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	RSSF	Sucesso
43	1	4	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	RSSF	Sucesso
44	1	4	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1	RSSF	Falhando
46	1	4	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	RSSF	Sucesso
47	1	4	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	WiFi	Falhando
49	1	4	9	-22,7114	-47,628	0,7	1,3	RSSF	Sucesso
81	1	8	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
82	1	8	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	RSSF	Sucesso
83	1	8	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	RSSF	Sucesso
84	1	8	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1	RSSF	Falhando
86	1	8	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	WiFi	Falhando
87	1	8	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	WiFi	Falhando
89	1	8	9	-22,7114	-47,628	0,7	1,3	RSSF	Sucesso
121	1	12	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
122	1	12	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	RSSF	Falhando
123	1	12	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	RSSF	Sucesso
124	1	12	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1	RSSF	Falhando
126	1	12	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	WiFi	Falhando
127	1	12	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	RSSF	Sucesso
129	1	12	9	-22,7118	-47,6279	1,5	3,5	RSSF	Sucesso
161	1	16	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
162	1	16	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	RSSF	Falhando
163	1	16	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	RSSF	Sucesso
164	1	16	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1	RSSF	Falhando
166	1	16	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	WiFi	Falhando
167	1	16	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	RSSF	Sucesso
169	1	16	9	-22,7121	-47,6278	1,4	3,2	RSSF	Sucesso
201	1	20	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
202	1	20	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	RSSF	Sucesso
203	1	20	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	RSSF	Sucesso
204	1	20	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1	RSSF	Falhando
206	1	20	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	WiFi	Falhando

dado	cenário 2							tecnologia	qualidade
	dia	hora	sensor	latitude	longitude	altitude	declividade		
207	1	20	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	WiFi	Falhando
209	1	20	9	-22,7121	-47,6278	1,4	3,2	RSSF	Sucesso
251	2	0	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
252	2	0	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	RSSF	Sucesso
253	2	0	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	RSSF	Sucesso
254	2	0	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1	RSSF	Falhando
256	2	0	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	WiFi	Falhando
257	2	0	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	WiFi	Falhando
259	2	0	9	-22,7121	-47,6278	1,4	3,2	RSSF	Sucesso
291	2	4	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
292	2	4	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	RSSF	Sucesso
293	2	4	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	RSSF	Sucesso
294	2	4	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1	RSSF	Falhando
296	2	4	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	WiFi	Falhando
297	2	4	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	WiFi	Falhando
299	2	4	9	-22,7121	-47,6278	1,4	3,2	RSSF	Sucesso
331	2	8	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
332	2	8	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	RSSF	Falhando
333	2	8	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	RSSF	Sucesso
334	2	8	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1	RSSF	Falhando
336	2	8	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	GPRS	Sucesso
337	2	8	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	RSSF	Sucesso
339	2	8	9	-22,7121	-47,6278	1,4	3,2	RSSF	Falhando
371	2	12	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
372	2	12	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	RSSF	Falhando
373	2	12	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	RSSF	Sucesso
374	2	12	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1	GPRS	Sucesso
376	2	12	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	RSSF	Sucesso
377	2	12	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	RSSF	Falhando
379	2	12	9	-22,7123	-47,6277	1,5	3,2	GPRS	Sucesso
411	2	16	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
412	2	16	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	RSSF	Falhando
413	2	16	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	RSSF	Falhando
414	2	16	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1	GPRS	Sucesso
416	2	16	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	RSSF	Falhando
417	2	16	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	RSSF	Falhando
419	2	16	9	-22,7123	-47,6276	1,7	4,1	GPRS	Sucesso
451	2	20	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
452	2	20	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	RSSF	Falhando
453	2	20	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	RSSF	Sucesso
454	2	20	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1	GPRS	Sucesso

dado	cenário 2								qualidade
	dia	hora	sensor	latitude	longitude	altitude	declividade	tecnologia	
456	2	20	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	RSSF	Sucesso
457	2	20	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	RSSF	Falhando
459	2	20	9	-22,7123	-47,6276	1,7	4,1	WiFi	Falhando
501	3	0	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
502	3	0	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	RSSF	Falhando
503	3	0	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	RSSF	Falhando
504	3	0	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1	GPRS	Sucesso
506	3	0	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	RSSF	Sucesso
507	3	0	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	RSSF	Falhando
509	3	0	9	-22,7123	-47,6276	1,7	4,1	WiFi	Sucesso
541	3	4	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
542	3	4	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	RSSF	Falhando
543	3	4	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	RSSF	Falhando
544	3	4	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1	GPRS	Falhando
546	3	4	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	RSSF	Falhando
547	3	4	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	RSSF	Falhando
549	3	4	9	-22,7123	-47,6276	1,7	4,1	WiFi	Falhando
581	3	8	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
582	3	8	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	GPRS	Sucesso
583	3	8	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	GPRS	Falhando
584	3	8	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1	GPRS	Falhando
586	3	8	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9		Inoperante
587	3	8	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	RSSF	Falhando
589	3	8	9	-22,7123	-47,6276	1,7	4,1	GPRS	Sucesso
621	3	12	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
622	3	12	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	GPRS	Sucesso
623	3	12	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2	GPRS	Falhando
624	3	12	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1		Inoperante
626	3	12	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	GPRS	Falhando
627	3	12	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	GPRS	Sucesso
629	3	12	9	-22,7127	-47,6275	1,7	4,1	GPRS	Sucesso
661	3	16	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Falhando
662	3	16	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	GPRS	Falhando
663	3	16	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2		Inoperante
664	3	16	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1		Inoperante
666	3	16	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	GPRS	Falhando
667	3	16	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7	GPRS	Falhando
669	3	16	9	-22,7127	-47,6275	1,7	4,1	GPRS	Sucesso
701	3	20	1	-22,7122	-47,6288	0,9	2,9	RSSF	Sucesso
702	3	20	2	-22,7135	-47,6272	2,5	5,2	GPRS	Falhando
703	3	20	3	-22,7137	-47,6268	0,5	1,2		Inoperante
704	3	20	4	-22,7131	-47,6268	2,2	5,1		Inoperante

dado	cenário 2							tecnologia	qualidade
	dia	hora	sensor	latitude	longitude	altitude	declividade		
706	3	20	6	-22,7119	-47,6267	0,7	1,9	GPRS	Falhando
707	3	20	7	-22,7112	-47,6266	0,7	0,7		Inoperante
709	3	20	9	-22,7127	-47,6275	1,7	4,1	GPRS	Sucesso