

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA**

**GRAZIELLE BONALDI TEIXEIRA
JOÃO VÍCTOR PERONI DE ALMEIDA**

**REDE LORA® E PROTOCOLO LORAWAN® APLICADOS NA
AGRICULTURA DE PRECISÃO NO BRASIL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2017

**GRAZIELLE BONALDI TEIXEIRA
JOÃO VÍCTOR PERONI DE ALMEIDA**

**REDE LORA® E PROTOCOLO LORAWAN® APLICADOS NA
AGRICULTURA DE PRECISÃO NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica, da Coordenação de Engenharia Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. MSc. Felipe Mezzadri

PONTA GROSSA

2017



FOLHA DE APROVAÇÃO

REDE LORA® E PROTOCOLO LORAWAN® APLICADOS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO NO BRASIL

Desenvolvido por:

GRAZIELLE BONALDI TEIXEIRA
JOÃO VICTOR PERONI DE ALMEIDA

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado em 08 de AGOSTO de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Engenharia Eletrônica. Os candidatos foram arguidos pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinado. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Felipe Mezzadri, MSc.
Prof. Orientador, Presidente e Secretário ad hoc

Prof. Frederic Conrad Janzen, Dr. – 1º Membro

Prof. Angelo Marcelo Tuset, Dr. – 2º Membro

- A Folha de Aprovação assinada encontra-se arquivada na Secretaria Acadêmica -

Este trabalho simboliza um caminho árduo e cheio de obstáculos, mas que me amadureceu e me preparou para a vida, não só profissional como pessoal. Dedico toda a preocupação que tive para escrevê-lo à minha família. Não parei de pensar em vocês nem por um segundo.

“Eu moro no mundo, e passo de vez em quando em casa”.

Grazielle Bonaldi Teixeira

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao nosso orientador Prof. MSc. Felipe Mezzadri, pelos conhecimentos adquiridos e apoio total durante a elaboração deste trabalho.

Agradecemos também a nossas famílias, pela presença nos momentos mais difíceis.

Por fim, a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

TEIXEIRA, Grazielle B.; ALMEIDA, João Vítor P. **Rede Lora® E Protocolo Lorawan® Aplicados Na Agricultura De Precisão No Brasil**. 2017. 77 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

Este trabalho apresenta a viabilidade da aplicação da rede LoRa® e o seu protocolo LoRaWAN® como veículos de comunicação entre sensores de campo aplicados na agricultura de precisão no Brasil. Sendo apresentada uma revisão bibliográfica genérica sobre a evolução da agricultura de precisão no Brasil, sobre o uso de dispositivos eletrônicos com o fim de otimizar produção em propriedades agrícolas, e específica sobre o surgimento da rede LoRa® e protocolo LoRaWAN® na Internet das Coisas e sua aplicação em redes de sensores sem fio utilizados para o monitoramento de variáveis que influenciam direta ou indiretamente na produção agrícola. Com base nos trabalhos publicados, é proposta a utilização da rede LoRa® como alternativa para evitar o presente alto consumo de energia e baixa eficiência dos dispositivos atualmente usados para este fim.

Palavras-chave: LoRa®, LoRaWAN®, Agricultura de Precisão. Rede de Sensores Sem-fio.

ABSTRACT

TEIXEIRA, Grazielle B.; ALMEIDA, João V. P. **LoRa® Network And LoRaWAN® Protocol Applied In Precision Agriculture In Brazil**. 2017. 77 pages. Course Conclusion Paper (Bachelor in Electronic Engineering) – Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2017.

This work analyses the viability of LoRa® network and its protocol LoRaWAN® as means of communication between field sensors applied in precision agriculture in Brazil. A generic bibliographic review is done about the evolution of precision agriculture in Brazil, the use of electronic devices for optimizing production in agricultural properties, and specific about the emergence of LoRa® network and its protocol LoRaWAN® for applications in Internet of Things and wireless sensor networks used for monitoring variables that have direct or indirect influence on agricultural production. LoRa® network and its protocol LoRaWAN® are proposed as an alternative to avoid the high-power consumption and low efficiency of the devices that are used for these means in the present moment.

Keywords: LoRa®. LoRaWAN®. Precision Agriculture. Wireless Sensor Networks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pulverizador VRT acoplado ao trator com antena de recepção GPS.	22
Figura 2 – Esquema de um sistema de Agricultura de Precisão	24
Figura 3 – Diagrama de blocos da Arquitetura de rede LPWAN	28
Figura 4 - Espectro de frequência e comprimento de onda de diferentes tipos de ondas de comunicação.....	30
Figura 5 - Divisão espectral do globo terrestre, onde o Brasil se encontra na região 2	31
Figura 6 - Processo de modulação do sinal, quando o sinal é enviado	34
Figura 7 - Processo de demodulação do sinal, quando o sinal é recebido.....	35
Figura 8 – <i>Chirp Spread Spectrum</i> , espalhamento do sinal em tempo e frequência.....	36
Figura 9 – Diagrama de blocos da arquitetura de rede LoRaWAN®.....	38
Figura 10 – Comparativo da escalabilidade da rede LoRaWAN® com fator de espalhamento, largura de banda, taxa de dados e bits, sensibilidade e consumo.....	39
Figura 11 – Gráfico de comparação das classes de dispositivos pelo consumo de bateria e latência de comunicação de <i>downlink</i> na rede	40
Figura 12 – Divisão do espectro de frequência das redes LoRaWAN® em canais de <i>uplink</i> e <i>downlink</i> da rede	43
Figura 13 – Sensor inteligente ED1608, compatível com redes LPWAN. Possui localizador de GPS, acelerômetro 3D, sensor de umidade, temperatura, pressão, efeito hall, campo magnético, comunicação Bluetooth, entre outras características.	49
Figura 14 - <i>Gateway</i> Multitech Conduit, possui tecnologia LoRa® munido de baixo consumo de energia e baixa transferência de dados	50
Figura 15 – Transceptor de radiofrequência UM801, embarcado com tecnologia LoRa®	51
Figura 16 - Modem de radiofrequência Multitech mDot.....	53

Figura 17 – Dispositivo microcontrolador LoPy, amplamente utilizado em sistemas IoT	54
Figura 18 – Dimensões da propriedade agrícola em Jeriquara, vista por satélite .	57
Figura 19 – Delimitações do terreno na propriedade de Jeriquara em setores, para facilitar a colheita do produtor. Vista por satélite.....	58
Figura 20 - Esquema de comunicação da rede LoRa® em ambientes agrícolas em geral	59
Figura 21 - Servidor de rede LORIoT em sua versão free, utilizado para administrar o gateway e dispositivos periféricos	61
Figura 22 – Kit de equipamentos necessários para aplicação de rede LoRa® na agricultura.....	62
Figura 23 – Esquema interno de hardware dos nós terminais LoRa®	62
Figura 24 – Sensor BME280 que seria utilizado na aplicação em propriedade agrícola com rede LoRa®	63
Figura 25 – Tela de acesso às configurações do gateway Multitech Conduit utilizado neste estudo.....	65
Figura 26 – Placa de desenvolvimento para redes LoRa presente no kit da figura 22. Seria utilizado para programação dos módulos de radiofrequência mDot	66
Figura 27 - Plataforma de programação mbed, utilizada para programar os módulos de radiofrequência mDot, entre outros dispositivos da Multitech	66
Figura 28 – Disposição dos nós sensores pela propriedade agrícola utilizando vista por satélite	67

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Lista de benefícios dos membros da LoRa Alliance conforme utilização	26
Tabela 1 – Tabela de características da rede LoRaWAN® diferenciadas por países que já possuem regulamentação	42
Tabela 2 – Tabela de resumo das características da rede LoRaWAN®	43
Tabela 3 – Tabela das características técnicas do sensor ED1608, presentes no datasheet do equipamento	50
Tabela 4 – Tabela das características técnicas do Gateway Multitech Conduit, presentes no datasheet do equipamento	51
Tabela 5 – Tabela de características técnicas do transceptor de radiofrequência UM801	52
Tabela 6 – Tabela das características técnicas do modem Multitech mDot, presentes no datasheet do equipamento	53
Tabela 7 – Tabela de características técnicas do microcontrolador LoPy	54

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABP	<i>Activation By Personalization</i>
AD HOC	Rede sem fio que dispensa ponto comum entre os dispositivos
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
AP	Agricultura de precisão
<i>AppEUI</i>	<i>Applicative Extended Unique Identifier</i>
<i>AppSKey</i>	<i>Applicative Server Key</i>
CBAP	Comissão brasileira de agricultura de precisão
CSS	<i>Chirp Spread Spectrum</i>
DBPSK	<i>Differential Binary Phase Shift Keying</i>
<i>DevAddr</i>	<i>Device Address</i>
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
ESALQ	Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP
EUI	<i>Extended Unique Identifier</i>
FCC	<i>Federal Communication Commission</i>
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
GPS	Global position system
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IoT	<i>Internet of things</i>
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ITU	<i>International Telecommunications Union</i>
LoRa®	<i>Long Range</i>
LORAWAN®	Long range Wide Area Network
LORIOT	<i>Limited Free Account</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
M2M	<i>Machine to Machine</i>

MAC	<i>Media Access Control</i>
NwkSKey	<i>Network Server Key</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnect</i>
OTAA	<i>Over The Air Activation</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PRODETAB	Programa de fundos competitivos para financiamento da pesquisa agrícola do banco mundial
QOS	<i>Quality of service</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RSSF	Rede de sensores sem fio
SF	<i>Spread Factor</i>
VRT	<i>Variable Rate Technology</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Networks</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 MOTIVAÇÃO	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo Geral	17
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO	18
2.1.1 Contexto Histórico Da Agricultura De Precisão.....	20
2.1.2 Características Gerais Da Agricultura De Precisão	21
2.2 REDE LORA®.....	25
2.2.1 Histórico Da Rede LoRa®.....	26
2.2.2 Aplicações De IoT E M2m	27
2.2.3 IoT Aplicada em Redes LPWAN	28
2.2.4 Características da rede LoRa®	29
2.2.5 Modulação LoRa® - Chirp Spread Spectrum.....	32
2.3 LORAWAN®	36
2.3.1 Classes de Dispositivos	39
3 COMPARATIVO COM OUTRAS TECNOLOGIAS	44
3.1 REDES PARA APLICAÇÕES EM IOT	44
3.2 REDES PARA APLICAÇÕES EM LPWAN	45
3.2.1 Sigfox	46
3.2.2 Weigthless	46
4 ESTUDO DE APLICAÇÃO DE LORAWAN® NO BRASIL.....	48
4.1 DISPOSITIVOS LORAWAN®	48
4.1.1 Equipamentos compatíveis com tecnologia LoRa® aplicáveis à Agricultura de Precisão	49
4.1.1.1 M2M - ED1608	49

4.1.1.2 MultiTech – Conduit	50
4.1.1.3 ManThink – UM801	51
4.1.1.4 MultiTech - MtDot.....	52
4.1.1.5 Pycom – LoPy	53
4.2 REGRAS NORMATIVAS PARA INSTALAÇÃO	54
5 ESTUDO DE APLICAÇÃO DA LORA® EM PROPRIEDADE AGRÍCOLA	57
5.1 A PROPRIEDADE AGRÍCOLA	57
5.2 FUNCIONAMENTO DA REDE	58
5.3 EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS A SEREM UTILIZADAS	60
5.4 O PROJETO	64
5.4.1 Configuração Dos Dispositivos	64
5.4.2 Instalação Dos Dispositivos Em Campo	67
5.4.3 Análise Orçamentária Prevista.....	68
6 CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

O setor primário da economia que tem como atividades a agricultura, mineração, pesca, pecuária, extrativismo vegetal e caça, é o que está em constante crescimento e que fornece a matéria prima para a indústria. Portanto, sempre necessitará da atenção da tecnologia. Em especial a agricultura, é uma das atividades onde a evolução é mais relevante, e a busca por bons resultados é sempre um desafio.

A agricultura de precisão (AP) é o novo estado da arte para a evolução da tecnologia aplicada ao agronegócio, onde envolve tanto o crescimento da agronomia como também da biotecnologia. No Brasil, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento instituiu a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP) em 2012 e definiu a Agricultura de Precisão como “um sistema de gerenciamento agrícola baseada na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente” [11].

Apesar do grande potencial da AP para outros ramos como ecossistemas aquáticos, pecuária, que estão interligados à agricultura, segundo (BERNARDI, 2017), toda a atenção tem sido voltada para a terra, como os cultivos de grãos, hortícolas, fruteiras e silvicultura. A otimização do uso do terreno e dos insumos necessários para se manter esses cultivos de forma eficiente, exige um estudo das características locais para que possam ser realizadas ações no meio com o intuito de alterá-las ou mantê-las da melhor forma. Muitas tecnologias biológicas têm sido implantadas para se obter o melhor resultado, mas, nos últimos anos, o que tem realmente contribuído para o aumento da produtividade é o uso da tecnologia eletrônica [3].

“Em 1999, foram elaborados na Embrapa dois projetos de pesquisa de porte expressivo em relação aos demais executados na época, uma em milho e a outra em soja, com recursos do PRODETAB (Programa de Fundos Competitivos para financiamento da pesquisa agrícola do Banco Mundial) coordenado pela Embrapa Milho e Sorgo e pela Embrapa Solos” (BERNARDI, 2014). Nesta época, o GPS (*Global Positioning System*) já estava sendo implantando, possibilitando aos agricultores mapeamento da área de plantio, de forma a conseguir tirar o máximo da capacidade do terreno, como também possibilitou a instalação de receptores de sinais via satélite nas máquinas agrícolas com o fim de colher informações relevantes da produção. Com isso, a imagem que se implantou foi a de que a AP seria uma tecnologia voltada apenas às máquinas de grande porte, e para aqueles produtores que poderiam investir, visto que

era viável apenas para os cultivos em grandes extensões. (COELHO; SILVA, 2009) relatam que dos 17 casos estudados na AP, 30% não eram lucrativos e 35% mostraram resultados não concludentes. Contudo, num trabalho mais recente, dos 108 casos estudados só 12% tiveram lucro líquido negativo e 29% apresentaram resultados não concludentes. Estes dados mostram que houve uma elevada taxa de sucesso entre os primeiros que adotaram a AP [13]. Em 2009, foi firmado o segundo projeto da Embrapa voltado às redes de comunicação com base em consultores ad hoc (rede sem fio que dispensa ponto comum entre os dispositivos), estabelecendo para a organização os conceitos reais da agricultura de precisão, e reforçando a visão da cadeia de conhecimentos onde máquinas, aplicativos e equipamentos são utensílios relevantes para se alcançar economia e sustentabilidade [8].

Inúmeros equipamentos e ferramentas têm sido desenvolvidos para se tirar o melhor proveito da lavoura, desde grandes máquinas agrícolas como colheitadeiras, plantadeiras, até pequenos sensores para aquisição de dados. O colhimento de informações no campo é de extrema importância e até 2009, segundo (ALBUQUERQUE, 2009), a análise das variáveis era feita esporadicamente e com intervalos longos, pois no campo a variação espacial e temporal é lenta e possui uma gama muito baixa de variáveis se comparada à indústria. Mas hoje em dia, a necessidade de coleta de dados se tornou onipresente às tomadas de decisão na AP. E no que se refere à otimização, é necessário um método de aquisição e leitura dos valores das variáveis estudadas no processo, como a temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, direção do vento, qualidade do solo, entre outros, em tempo real e remotamente, possibilitando ao produtor agrícola a tomada de decisão mais eficaz. Em algumas aplicações de rede, não é necessária a aquisição de dados instantânea, pois em alguns cenários, como os biológicos, o tempo necessário para variações perceptíveis é muito longo se comparado à eletrônica em si, mas poderia ser relevante em outros cenários como a irrigação [3].

A utilização de redes de sensores sem fio (RSSF) é uma alternativa que já vem sendo explorada para melhorar a comunicação entre os equipamentos e os profissionais, no campo. Essa disposição de rede permite aos nós terminais mobilidade e contato direto com a estação base central de comunicação. Tem por objetivo monitorar esses nós da rede e enviar informações que serão posteriormente armazenadas e analisadas, otimizando o processo em quantidade e qualidade de dados e auxiliando nas tomadas de decisões. RSSF é uma subclasse das redes ad

hoc, e se distingue das redes tradicionais pois possibilita uma maior gama de nós terminais devido ao menor consumo de energia e autoconfiguração [3]. Na agricultura esse sistema de comunicação fornece ao agricultor um maior controle do seu processo e de suas instalações, mas ainda é aplicada em sua maioria em processos fechados, nos quais são mais fáceis de se controlar como estufas e galpões. Já em cultivos abertos como campos e pomares são mais difíceis de se aplicar essa metodologia devido à baixa infraestrutura da tecnologia da informação e a limitação de energia. Mas alguns estudos foram realizados, como disse (D'AGOSTINI, 2005), que o gerenciamento da variabilidade pode ser alcançado por mapeamento da área e sensores a bordo de veículos agrícolas, e utilizou sinais de GPS para mapeamento do campo com o objetivo de medir a resistência do solo. E (ROCCIA, 2011), que utilizou de RSSF para medir as distâncias necessárias da instalação de sensores em cultivos abertos como milho, pinhão e eucalipto, e constatou que as distâncias são variáveis conforme a densidade da vegetação, que afeta significativamente a rede.

Porém, apesar da grande mobilidade dos nós na RSSF devido à ausência de cabos, há uma grande limitação de energia elétrica para alimentação dos elementos sensores em campo de grande extensão. Por este motivo, é necessário que se escolha de forma correta a rede de comunicação aplicada no campo, de maneira a suprir as necessidades do agricultor, e tirar o melhor proveito com economia e autonomia do cultivo. É importante que se leve em consideração também os protocolos de comunicação, nos quais têm um papel crucial, podendo auxiliar na escolha entre os que façam monitoramento e transferência contínua, os que realizam coleta de dados com intervalos determinados, ou ainda os que realizam a coleta somente quando requisitados pela estação base [3]. Ou seja, os protocolos possuem características distintas e adaptáveis à cada aplicação, e podem ser de grande importância quando aplicados de forma correta.

1.1 MOTIVAÇÃO

Muitos obstáculos são encontrados quando aplicada uma RSSF na agricultura. Existem aspectos que não são levados em consideração em aplicações industriais, mas que podem se tornar relevantes na agricultura, ou vice-versa. Uma das limitações deste tipo de rede quando aplicado na agricultura é a fonte de energia elétrica para os nós sensores, fazendo com que projetos de automação voltados à agricultura de precisão

sejam focados apenas em cultivos protegidos ou em pequena escala. Pensando nisso, este trabalho estuda a implantação da rede LoRaWAN[®] (*Long Range Wide Area Network*) no Brasil, que é uma nova tecnologia de rede de comunicação voltada à internet das coisas e aplicada para longos alcances, com o intuito de diminuir o consumo energético dos dispositivos periféricos, melhorar a qualidade dos dados, aumentar a escalabilidade, aumentar o controle de dados e garantir segurança na rede de comunicação aplicada aos cultivos abertos na agricultura de precisão no Brasil.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Detalhar as características da rede LoRaWAN[®] e como este se adaptaria numa rede de sensores sem fio aplicada em cultivo aberto na agricultura de precisão no Brasil.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Levantar dados da rede LoRa[®] e seu protocolo LoRaWAN[®], seu histórico e suas características técnicas;
- Relacionar e comparar os tipos de redes concorrentes com a rede LoRaWAN[®];
- Fazer o levantamento de equipamentos presentes no mercado;
- Citar as regras normativas que delimitam a utilização da rede LoRaWAN[®] no Brasil;
- Listar as vantagens de se utilizar essas tecnologias como um tipo de rede de sensores sem fio na agricultura de precisão no Brasil;
- Apresentar a viabilidade de aplicação da rede LoRa[®] em uma propriedade agrícola no Brasil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica de modo a identificar o Estado da Arte da agricultura de precisão no Brasil e das tecnologias que atualmente são utilizadas, como também do histórico e características gerais da rede LoRaWAN®.

2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

“A Agricultura é uma atividade básica, imprescindível para a satisfação de inúmeras necessidades humanas (alimentares, agasalho, energia, etc.), sendo, certamente, a mais antiga de todas as atividades econômicas” (COELHO; SILVA, 2009). A agricultura evoluiu e sofreu modificações desde a sua invenção, porém, nos últimos 120 houve um salto de desenvolvimento nesta atividade, com a invenção das máquinas, tornando assim possível mecanizá-la. Nos últimos 50 anos, com o conhecimento sobre óleo-dinâmica foi possível melhorar o processo por meio de mecanismos de assistência no comando e controle. Nos últimos 20 anos foram desenvolvidos sistemas, segundo (COELHO; SILVA, 2009), “suportados por sensores eletrônicos, que possibilitaram a criação de sistemas automatizados. Finalmente, ao longo da última década, é notável uma crescente integração com as Tecnologias da Informação.”.

É neste contexto que surge a Agricultura de Precisão, que uniu estas tecnologias novas à preocupação de se produzir de forma a minimizar desperdícios, realizando uma produção de forma “sustentável, em termos técnicos, econômicos e sociais.” [13].

No ano de 2006, (MANTOVANI; MAGDALENA, 2014) publicou o primeiro livro regional sobre Agricultura de Precisão, onde descreve os princípios da mesma no título: “Agricultura de Precisão: Integrando conhecimentos para uma agricultura moderna e sustentável.”.

“A Agricultura de Precisão envolve a aplicação diferenciada e à medida dos fatores de produção, tendo em conta a variação espacial e temporal do potencial produtivo do meio e das necessidades específicas das culturas, de forma a aumentar a sua eficiência de utilização e, assim, melhorar o rendimento econômico e reduzir o impacto ambiental da atividade agrícola.” (COELHO; SILVA, 2009)

A Agricultura de Precisão já está presente no mercado agrícola atual, e vem se difundindo progressivamente a ideia de que é necessário um estudo da variabilidade das áreas de produção, e ações para eliminar suas possíveis causas [9]. Recomenda-se o uso da Agricultura de Precisão somente no caso em que houver um potencial de retorno ambiental ou econômico, e para que estes existam, é necessário que haja variabilidades da área de produção.

Segundo (BERNARDI; NAIME; RESENDE, 2014), “No Brasil, talvez pelo sincronismo da chegada da “tecnologia de última geração” com a Agricultura de Precisão, criou-se uma forte imagem de que a AP é uma agricultura realizada com máquinas sofisticadas.”. Sabe-se, no entanto, que a Agricultura de Precisão é uma área multidisciplinar, uma união de diversos conhecimentos das áreas de geologia, eletrônica, informática, biologia, climatologia, cartografia, entre outras, com o determinado objetivo: Melhorar eficiência produtiva ou ambiental da produção agrícola [39].

“Na medida em que na agricultura ocorrem avanços tecnológicos, intensifica-se o uso de diferentes aparelhos eletroeletrônicos e de modelos de negócio, a fim de melhorar a qualidade dos produtos, aumentar a produção, reduzir custos e diminuir o impacto ao meio ambiente. ”
(TERUEL; ALVES, 2012)

Para otimização do processo de produção agrícola, é importante enfatizar as variabilidades nas características do solo a ser utilizado para o cultivo. O terreno pode apresentar áreas de diferentes concentrações de elementos químicos no solo, tornando assim necessária a utilização de diferentes concentrações ou tipos de insumos diferentes para determinada área. O uso inadequado de insumos no terreno também é uma preocupação na área de preservação do meio ambiente, pois podem estes prejudicar as reservas naturais (subterrâneas, ou de curso) de água, ou a qualidade do solo utilizado para o cultivo.

A otimização da produção também é importante para que seja possível a diminuição de custos provenientes do uso otimizado dos recursos disponíveis e alocação adequada da mão de obra nas áreas onde se torna necessária, aumentando a competitividade do produto final no mercado de alimentos, e conseqüentemente o lucro do produtor agrícola [6].

No presente momento, entretanto, a Agricultura de Precisão não é amplamente utilizada devido aos altos investimentos iniciais necessários para a implementação do sistema, como compra de equipamentos, treinamento de pessoal, manutenções requeridas, entre outros, e também a necessidade de uma variabilidade na área de produção que viabilize a instalação de um sistema de AP, o que limita o seu campo de atuação para grandes produções [9], ou para produtos que necessitam de características muito específicas e ambientes controlados, como em estufas.

“Especificamente no caso de casas de vegetação, o uso de RSSF é uma alternativa para obtenção de dados em tempo real, os quais são importantes para gerar informações que auxiliem no controle e no monitoramento do sistema garantindo um ambiente adequado para a cultura”
(TERUEL; ALVES, 2012)

Segundo (COELHO; SILVA, 2009), o futuro apresenta-se favorável, devido à crescente inserção de equipamentos de alta tecnologia de menor custo e ao aumento do nível educacional dos agricultores permitindo maiores estruturas de apoio técnico na agricultura.

2.1.1 Contexto Histórico Da Agricultura De Precisão

As técnicas utilizadas nos últimos anos na agricultura brasileira têm como prioridade a adição uniforme de insumos nos produtos, sem levar em consideração as particularidades físico-químicas de cada área utilizada para o cultivo. Este tipo de abordagem pode ser prejudicial para o agricultor, por oferecer riscos de utilização de quantidades excessivas de insumos agrícolas, podendo ocasionar na contaminação da água e do solo, e conseqüentemente havendo um uso desnecessário ou insuficiente ao se tratar a área de plantio como uniforme [6].

Segundo (COELHO; SILVA, 2009), a mecanização e a intensificação da produção agrícola, torna a gestão intra-parcelar diferenciada, até certo ponto, impossível, sobretudo nas pequenas parcelas de terreno. Segundo (COELHO; SILVA, 2009), a constatação de que nem todos os campos, nem mesmo porções de um mesmo campo, têm o mesmo tipo de resposta econômica à aplicação de um dado fator de produção (semente, fertilizante, água, etc.), e assim abrem-se as portas para uma nova forma de gestão a que chama de "agricultura de precisão".

“Na década de 80 era disseminado o uso de eletrônica embarcada em veículos influenciando no desenvolvimento das máquinas agrícolas” (BERNARDI; NAIME; RESENDE, 2014). O primeiro sistema via satélite utilizado para posicionamento global foi criado nos EUA em 1978 e denominado de GPS, e este auxiliou no armazenamento de condições locais nas áreas de produção, ligadas diretamente à sua posição, ao se acoplar os receptores em colhedoras. Em 1996 surge o primeiro sistema de mapeamento utilizando sensoriamento nas colhedoras [9]. No Brasil, houve uma certa dificuldade em se utilizar da Agricultura de Precisão e suas tecnologias, em meados da década de 80, talvez devido às dificuldades de importação. Em 1990, abriu-se o mercado e o país pode usufruir mais livremente das tecnologias de eletrônica e robótica. Em 1996, ocorreu o primeiro simpósio de Agricultura de Precisão na ESALQ (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP [9]).

2.1.2 Características Gerais Da Agricultura De Precisão

“A agricultura de precisão baseia-se no gerenciamento localizado de sistemas agrícolas, utilizando recursos como o mapeamento dos fatores de produção, ferramentas de apoio à decisão e aplicação localizada a insumos.” (ANTUNIASSI; BAILO; SHARP, 2006). A utilização de equipamentos que auxiliam a tomada de decisão do produtor agrícola possibilita a priorização de investimentos em áreas onde se tornam necessárias, resultando em um potencial retorno econômico proveniente da atividade. Adicionalmente, a agricultura de precisão se torna uma aliada em termos ambientais, onde a racionalização e otimização de recursos (químicos, solo e água) se tornam um diferencial para a preservação do meio ambiente, de modo a evitar desperdícios e conseqüentemente minimizar possíveis impactos ambientais ocasionados pelo mal-uso destes.

Com o surgimento de novas tecnologias, tornam-se disponíveis diversas técnicas e conceitos novos para auxiliar na tomada de decisão dos produtores agrícolas, como sistemas de mapeamento e monitoramento. Existem atualmente muitas técnicas em desenvolvimento nesta área, dentre elas está o estudo das características do solo, como exemplo avaliações de temperatura, condutividade elétrica, profundidade das camadas presentes no solo, compactações [6], que são ligadas diretamente à questões como a fertilidade efetiva do solo, e são medidas utilizando equipamentos como sensores de resistência, que podem trazer informações

on-line em tempo real das características do solo estudado, gerando também informações a respeito de quantidade de água, nutrientes e matéria orgânica presente no solo. Utilizando-se destas informações, pode-se fazer o uso de máquinas chamadas distribuidoras VRT (*“Variable Rate Technology”*) [6], máquinas estas que realizam a regulagem da dosagem correta de insumos automaticamente, por meio do cálculo de necessidade de determinada planta em determinada condição específica conforme o ambiente em que está inserida. A Figura 1 exemplifica uma tecnologia de pulverizador VRT presente na agricultura.

Figura 1 - Pulverizador VRT acoplado ao trator com antena de recepção GPS



Fonte: (ANTUNIASSI; BAIO; SHARP, 2006).

Existem também tecnologias que são focadas em localização geográfica via satélite e transmissão de imagens, utilizando a tecnologia GPS [27] e câmeras que transmitem imagens utilizando redes wireless. Aliados a estes, também sensores de condições ambientes, como temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa do ar que detectam o nível da temperatura ambiente do local e enviam estas informações por meio de redes wireless, em altas velocidades. Estas ferramentas em conjunto fornecem ao produtor poderosas informações na sua tomada de decisão, melhorando a eficiência, produtividade, e conseqüentemente o lucro final do produtor agrícola [6].

A redução de impactos ambientais também é outro enfoque da agricultura de precisão que deve ser evidenciado, pois utilizando de ferramentas para auxílio na tomada de decisão e otimização do uso de insumos, são reduzidos ao máximo os riscos de danos ao meio ambiente devido ao mal-uso dos mesmos. A agricultura de precisão deve ser evidenciada também por aumentar o valor agregado do produto final em

mercados em que possuir programa de qualidade ambiental têm maior significado no valor final do produto [6].

Em pequenas lavouras, o produtor tem um maior controle sobre as características ambientes de sua plantação, porém, com o crescimento da propriedade, surgem dificuldades na produção uniforme devido à extensão da terra plantada e a variação das características do mesmo. “A proposta da agricultura e precisão é permitir que se faça em áreas extensas o que os pequenos agricultores sempre fizeram.” (MOLIN, 2016). A utilização de equipamentos sensores no campo é uma forma de se minimizar custos e otimizar a forma como é feita a aquisição de informações pelo produtor de grandes propriedades. Existe, porém, a dificuldade de coletar dados em sensores e terminais instalados manualmente para aquisição de dados, e a utilização de fios no campo é um problema devido à degradação e atenuação de sinal, ao se tratar de grandes lavouras [27]. “Diversos processos agrícolas precisam de mobilidade das redes de sensores devido à existência de limitações para o uso de cabos e fios e a necessidade de monitorar regiões extensas e afastadas” (TERUEL; ALVES, 2012). Como alternativa para realizar a comunicação entre os equipamentos de campo de forma eficiente, existem as Redes de Sensores sem fio.

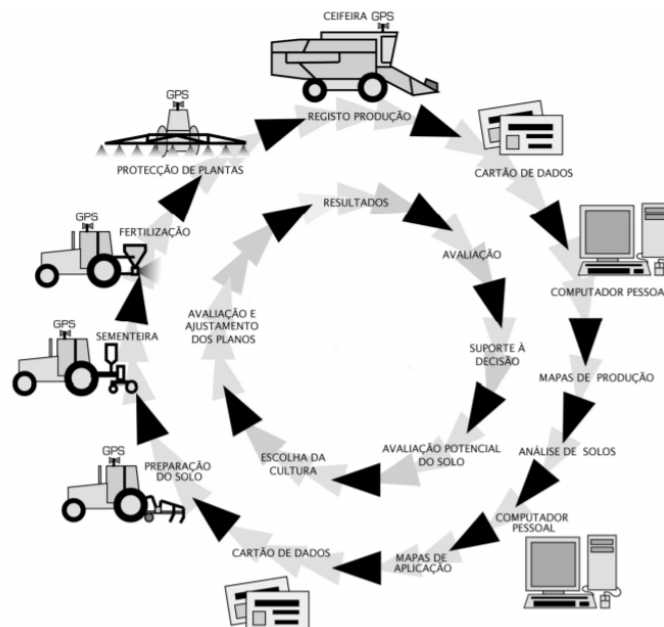
A utilização de RSSF viabiliza a instalação de sensores na lavoura, realizando a comunicação entre eles e a estação central de forma eficiente e com menor taxa de atenuação do sinal, necessitando de menos repetidores, que são equipamentos necessários em longas distâncias, além de tornar viável a utilização de um sistema servidor de ambiente monitorado em local aberto, possibilitando a aquisição integral das informações através da checagem de um único terminal, reduzindo ao máximo ou eliminando completamente o trabalho de locomoção do produtor até os terminais ou erros de leitura devido à degradação dos visores dos equipamentos presentes no campo aberto, conseqüentemente reduzindo custos devido à eficiência do processo e eliminação de erros grosseiros [27].

“A Agricultura de Precisão (...) É acima de tudo uma nova forma de gestão ou de gerenciamento da produção agrícola. É um elenco de tecnologias e procedimentos utilizados para que a lavoura e os sistemas de produção sejam otimizados, tendo como elemento chave o gerenciamento da variabilidade espacial e dos fatores nela envolvidos” (MOLIN, 2016).

Nos últimos anos, várias empresas nos EUA e na Europa focaram seus esforços na criação e comercialização de tecnologias computacionais destinadas à solução de problemas na agricultura [41]. Definitivamente, a melhor maneira de se verificar o resultado de uma lavoura é através da colheita.

“Na agricultura pela média, essa informação se resume a um número. Na Agricultura de Precisão, é o mapa de produtividade que mostra o total colhido para cada pequena porção da lavoura. É uma imagem que representa a variabilidade espacial da produção” (MOLIN, 2016).

Figura 2 – Esquema de um sistema de Agricultura de Precisão



Fonte: (ANTUNIASSI; BAILO; SHARP, 2006).

Uma área da Agricultura de Precisão a ser explorada é a aplicação de insumos de forma local, pois é importante realizar também o tratamento localizado na plantação. Já existem equipamentos capazes de variar a densidade da semeadura por área automaticamente, e também capazes de “controlar a dosagem de defensivos agrícolas com dosagens variadas, com circuito de injeção direta do princípio ativo no fluxo de água, ou no bico.” (MOLIN, 2016).

Existem muitos pontos positivos, como estudado até então, na aplicação da Agricultura de Precisão. É importante atentar à necessidade de um profissional com formação técnica que permita coletar dados que gerem informações úteis, permitindo ao usuário da tecnologia a tomada de decisão correta sobre os dados coletados [41].

Um fator que se deve atentar também é o custo inicial da instalação de sistemas de sensores na lavoura, pois a maior parte dos equipamentos é importado, e necessitam de investimentos também para instalação e manutenção do sistema. “Sabese que os preços praticados são decorrentes de falta de escala de produção e de nacionalização.” (MOLIN, 2016). Os preços tendem a diminuir na medida em que ocorrem os avanços tecnológicos, e no futuro esta será uma realidade bem mais próxima.

“Uma vez esclarecidos os principais conceitos e as possíveis aplicações da agricultura de precisão, vamos, nos pontos seguintes, primeiro, debruçar-nos sobre as tecnologias e os sistemas de suporte que permitem a sua efetivação para, depois, centrarmos a nossa atenção sobre uma série de casos de estudo.” (COELHO; SILVA, 2009, p.30).

É importante atentar para a importância de se realizar análises de possíveis formas de reduzir os custos de implementação e aumentar a eficiência da Agricultura de Precisão, aumentando assim o retorno econômico do investimento e o ganho do produtor com uso da tecnologia.

Uma possível solução para o problema da baixa eficiência de comunicação entre os sensores, é a aplicação de uma rede *Low Power Wide Area Networks*, ou LPWAN, que possui como característica principal o baixo consumo de energia com longo alcance. Neste contexto se introduz a rede LoRa®, a ser abordada com maior profundidade nos próximos capítulos.

2.2 REDE LORA®

LoRa® (do inglês - *Long Range*: Longo alcance), é uma nova tecnologia de rede de comunicação sem fio criada pela *Semtech Corporation* e promovida através da *LoRa® Alliance*. Uma associação aberta e sem fins lucrativos, onde fazem parte grandes companhias ao redor do mundo, nas quais possuem algum interesse no desenvolvimento e na aplicação da rede LoRa® na Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*).

2.2.1 Histórico Da Rede LoRa

A criação desta aliança foi iniciada pelos líderes industriais do mercado da tecnologia destacando as áreas da tecnologia da informação, automação industrial, telecomunicações, etc., que tem como missão padronizar as redes de comunicação de grandes áreas e baixa potência (LPWAN) para implantar as tecnologias IoT, M2M em cidades inteligentes e aplicações industriais em todos os países.

Quadro 1 - Lista de benefícios dos membros da LoRa Alliance conforme utilização

Direitos dos Membros	Patrocínio (\$50k)	Contribuinte (\$20k)	Filiados (\$3k)	Público (Grátis)
Direito de requisitar assento no Conselho de Direção	X			
Direito de submeter produtos da Aliança para aprovação final pelo Conselho de Direção	X			
Direito de acessar dados operacionais da Aliança	X			
Direito de iniciar, participar em, votar em Comitês	X			
Direito de iniciar, participar em, votar em Trabalhos de grupo	X	X		
Direito de contribuir para rascunhos de produtos e acessar entregáveis finais	X	X		
Direito de participar em artigos e entrevistas de imprensa	X	X		
Direito de possuir produtos compatíveis certificados	X	X	X	
Direito de utilizar da Aliança e/ou Logo em produtos certificados	X	X	X	
Direito de acessar website "restrito a membros"	X	X	X	
Direito de participar em reuniões gerais ou anuais	X	X	X	
Direito de receber comunicados da Aliança	X	X	X	
Acesso aos produtos finais	X	X	X	
Acesso aos produtos lançados	X	X	X	X

Fonte: LoRa® Alliance. Disponível em < <https://www.LoRa®-alliance.org/membership-benefits> >. Acesso em 19 de Julho de 2017.

A rede LoRa® é o tipo de modulação do sinal, sendo que podem ser utilizados vários protocolos. Porém, o que foi desenvolvido para aplicação exclusiva em redes LoRa® é o LoRaWAN®. O primeiro passo dado pela associação LoRa® Alliance foi definir a versão inicial do protocolo de comunicação LoRaWAN®. Este protocolo é um padrão aberto, e rege a rede LoRa® para conseguir atingir todas as características ótimas que são almejadas. Está disponível no site da LoRa® Alliance, para compartilhar conhecimento e experiência de modo que se tenha interoperabilidade entre os operadores desta rede. Desde 2015, esta aliança vem aumentando cada vez mais seu número de integrantes. O acesso pode ser liberado, como já mencionado, ou também

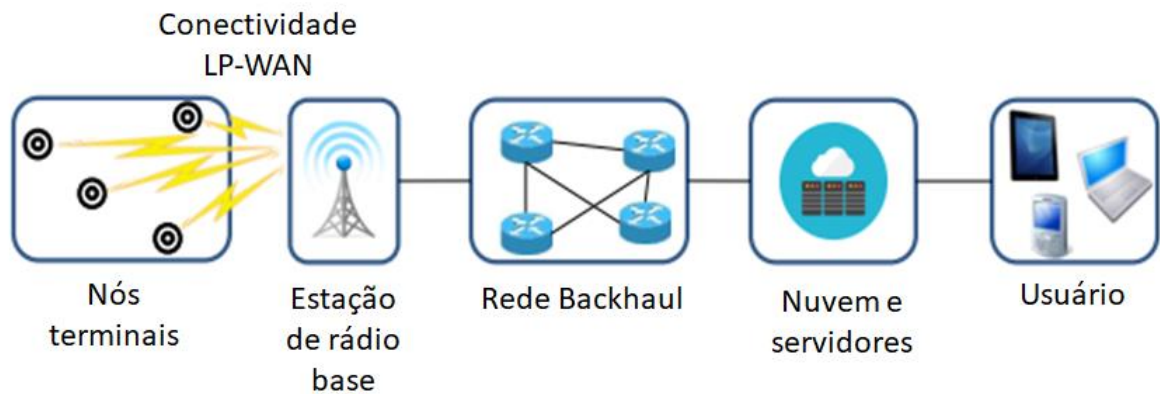
pago, dependendo do grau de complexidade que se deseja inserir nesta rede. Na Tabela 1, é possível analisar os vários tipos de membros da aliança, com seus respectivos preços para inserção. Qualquer empresa/pessoa que se junte pode começar a interagir com a aliança para expandir as perspectivas de negócios. Os membros também beneficiam com acesso aos outros membros, participam de eventos e garantem uma posição de longo prazo na IoT para a empresa.

2.2.2 Aplicações De IoT E M2m

IoT e M2M (*Machine to Machine*), são métodos de conexão de dispositivos à uma mesma rede ou entre si, permitindo o acesso de dados remotamente, ou seja, sem a necessidade de cabeamento. Esses dados podem ser acessados pelo usuário de qualquer lugar, basta apenas o acesso à rede. Essa técnica vem sendo utilizada a algum tempo, e tem chamado a atenção não só de pesquisadores, mas também da indústria que tem feito grandes investimentos para deixar seus sistemas mais robustos e baratos, visto que envolvem dispositivos sempre conectados fornecendo informações relevantes das instalações e produções, a fim de auxiliarem em importantes tomadas de decisão. Por exemplo, sensoriamento de linhas de produção em geral, para acusar falhas e notificar o operador em tempo para não gerar prejuízos, medição inteligente (água, gás, óleo, etc.), conexão de carros nas estradas, para evitar colisões, e até na agricultura.

Segundo (SANCHEZ-IBORRA, 2016), M2M pode ser considerada como uma evolução das redes de sensores sem fio, que são amplamente utilizadas e já foram bem exploradas como *Zigbee*, *Bluetooth* e *WiFi*, nas quais são soluções de curto alcance. O maior problema nestes métodos, é a existência de uma demanda excessiva de dispositivos na conexão à rede, o que acarreta na necessidade de aumento da cobertura de banda de frequência cada vez maior, levando a indústria a procurar novas soluções. As redes LPWAN, surgiram para suprir essa necessidade, tendo como características principais a implementação de sistemas altamente escaláveis, ou seja, que se expandam conforme necessidade, que possam ser controlados, e a utilização de dispositivos periféricos de baixo custo e com baixo consumo de energia [49]. A Figura 3 apresenta a arquitetura de rede LPWAN.

Figura 3 – Diagrama de blocos da Arquitetura de rede LPWAN



Fonte: (SANCHEZ-IBORRA, 2016).

Para implementação de sistemas IoT algumas características são altamente relevantes e devem ser levadas em consideração, como: custos de gerenciamento da rede; escalabilidade e organização da rede; dimensionamento e eficiência de energia, e cobertura. Esses parâmetros podem ser analisados em dois cenários diferentes. Para curto alcance, como por exemplo, rede doméstica, e podem ser analisados também no âmbito de rede LPWAN, como é o caso da agricultura e cidades inteligentes [49]. Este trabalho tem o intuito de abordar as aplicações de IoT na agricultura, ou seja, áreas abertas em grandes proporções, portanto as comunicações de curto alcance não serão explanadas.

2.2.3 IoT Aplicada em Redes LPWAN

De uma forma geral, LPWAN deve oferecer à IoT grandes coberturas de rádio por meio de estações de base (antenas), adaptação de taxas de transmissão, potência de transmissão, modulação, ciclos de serviço, de modo que os dispositivos finais sofram um consumo de energia muito baixo [7] e possam se comunicar com as estações sem perda de dados mesmo a longas distâncias. Por essas características as redes LPWAN são complementares às redes móveis de celular existentes e as tecnologias de curto alcance ao mesmo tempo, havendo assim uma ampla gama de tecnologias envolvidas. A diferença crucial entre elas é o espectro de rádio que as tecnologias utilizam, se é licenciado ou não, e as estratégias comerciais das empresas que as implementam. Claramente, o espaço para esta rede é uma prioridade para a indústria móvel, e as iniciativas estão em curso há vários anos na tentativa de fornecer

padrões que permitirão que as operadoras de telefonia móveis tenham otimização em suas aplicações neste cenário [33].

A arquitetura das redes LPWAN são do tipo ponto-a-multiponto, na qual permite o alcance à vários dispositivos simultâneos a partir de apenas um ponto posicionado estrategicamente, um coordenador ou *gateway* PAN (Personal Area Network) e os dispositivos periféricos (sensores, atuadores, etc.). Segundo (SANCHEZ-IBORRA, 2016), em alguns casos *gateways* podem ser utilizados para conectar uma rede de nós (*cluster*), à estação *base*, que geralmente é pública e opera um servidor Web. Desta forma, a rede libera o administrador de tarefas de manutenção e custos operacionais relacionados à esta parte do sistema. A comunicação entre o *gateway* e os sensores é assimétrica, ou seja, apenas o *gateway* recebe informações, fazendo com que a comunicação flua num só sentido, visando limitar o tempo de "audição" dos sensores alimentados por bateria, fazendo com que o consumo de energia seja reduzido drasticamente.

Visando então otimizar a aplicação de IoT em redes LPWAN, onde a região de conexão é extensa, os dispositivos periféricos são alimentados por baterias, não precisam transmitir mais de alguns bytes de cada vez ou onde o tráfego de dados pode ser iniciado por esses dispositivos, como é o caso de sensores, e quando por exemplo, uma entidade externa deseja acioná-los, foram analisadas as características técnicas da rede LoRa®.

2.2.4 Características da rede LoRa®

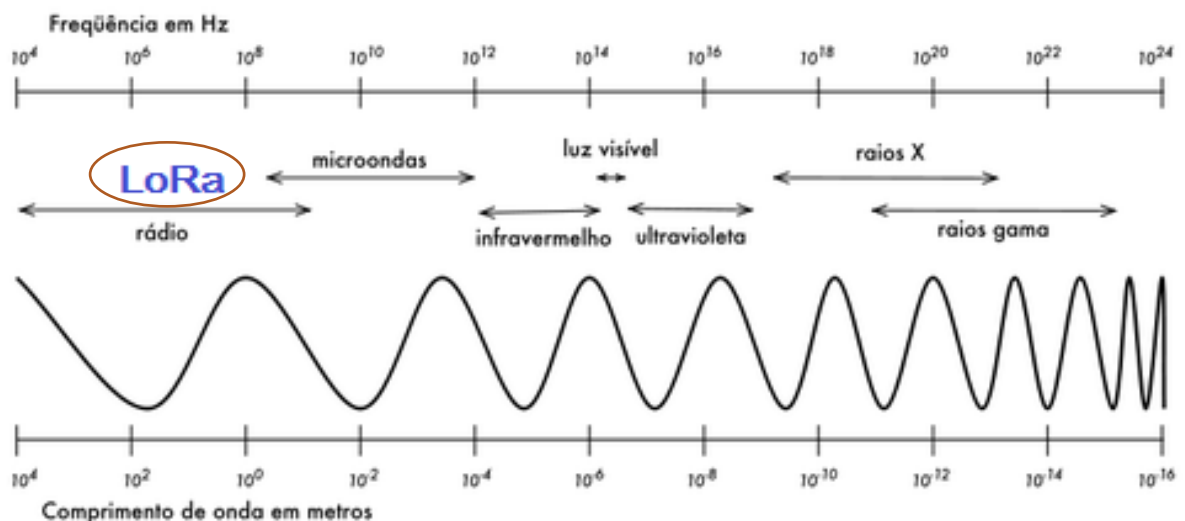
Para se entender o funcionamento das redes LoRa® alguns conceitos elementares são necessários. Segundo (DORNAN, 2001), a rede *wireless* é um dos componentes do complexo sistema que abrange a comunicação pública, e ela pode afetar três camadas do modelo OSI (*Open Systems Interconnect*) de comunicação, a física, meios de transmissão, de enlace, na qual as duas funções são detecção e correção de erros, e a camada de rede que roteia as informações de dois ou mais sistemas de comunicação, determina a qualidade de serviço (QoS) da rede e controla o fluxo de dados para evitar assim congestionamento da rede.

Rede LoRa® é o tipo de camada física, camada mais inferior na disposição de camadas do modelo OSI em telecomunicações. Segundo (FOROUZAN, 2008), esta é a camada responsável por fazer a interação entre os componentes da rede através do

meio de transmissão, assegurando sua conectividade e transferência dos dados de um nó para o próximo. Suas funções são conversão do sinal eletromagnético adquirido para número binário (0 e 1) e vice e versa, controle da taxa de transferência, sincronização no nível de bits, multiplexação (onde o responsável é o modem) e comutação. Quando os dados adquiridos forem tensão, corrente ou luz, estes serão transmitidos via cabo, podendo ser coaxial, fibra óptica, etc., porém, se os dados adquiridos forem ondas eletromagnéticas estas deverão ser transmitidas sem cabo, ou seja, pelo ar, como é o caso das ondas de rádio, infravermelho, micro-ondas e *Bluetooth*. O que difere as várias tecnologias de comunicação sem fio entre si, são as técnicas de modulação de pulso, velocidade na taxa de transmissão de dados, protocolo de comunicação, frequência, etc.

As redes de comunicação Wireless possuem o padrão IEEE 802.11 que abrange níveis físico e de enlace, porém, cada tecnologia de transmissão sem fio possui suas características bem definidas, e variam conforme sua aplicabilidade. A frequência de operação é uma dessas características, e dita a forma como os dispositivos se comunicam. Ela interfere na capacidade de transferência de dados transmitidos, e no ambiente em que é aplicada devido às legislações. Na Figura 4, estão presentes alguns dos tipos de comunicação sem fio em suas respectivas escalas no espectro de frequência, bem como onde a rede LoRa[®] se enquadra. Quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda para uma velocidade constante e mais dados essa onda é capaz de transportar.

Figura 4 - Espectro de frequência e comprimento de onda de diferentes tipos de ondas de comunicação

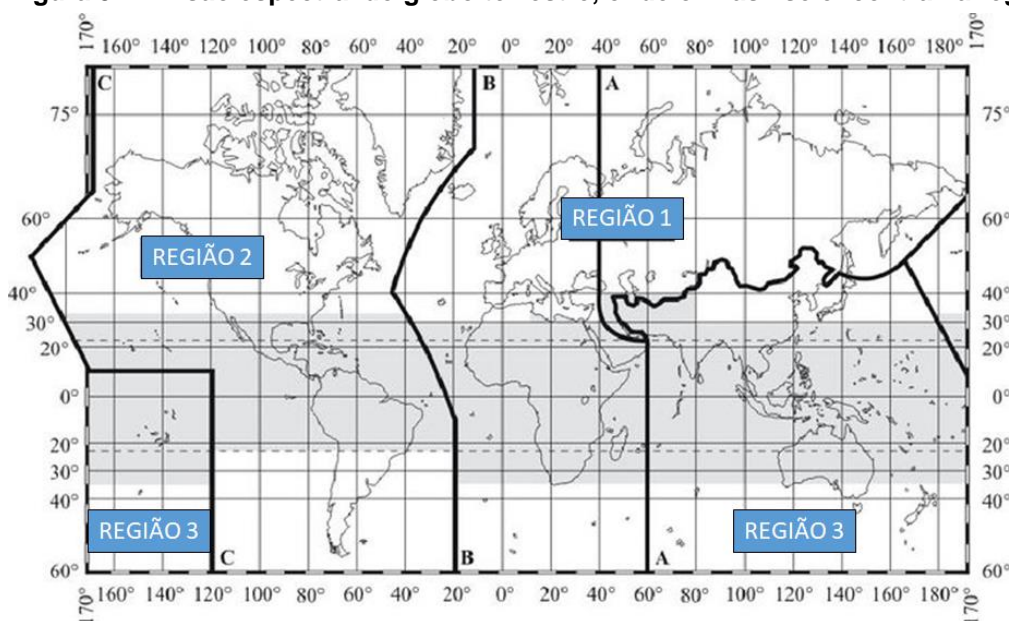


Fonte: Adaptado de (DORNAN, 2001)

As ondas de radiofrequência, onde se encontra a rede LoRa[®] especificamente, estão presentes nas faixas de 10^2 e 10^6 Hz, são mais comumente tratadas por ciclos por segundo. Segundo (DORNAN, 2001), rádio é o nome dado ao tipo de onda eletromagnética utilizada para comunicações e vem se expandindo cada vez mais por conta das novas tecnologias. Uma dessas expansões são as RSSF, que como já dito são redes de sensores sem fio, que permitem mobilidade aos sensores pois, cada dispositivo periférico roteia o sinal das estações base para outros dispositivos.

O globo terrestre é dividido em três regiões espectrais pela ITU (*International Telecommunications Union*), para poder administrar o espectro de radiofrequência ao redor do mundo, conforme Figura 5. O Brasil se encontra na região 2, e seu espectro é regulamentado e administrado pelo órgão responsável do governo a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), onde as frequências típicas para tecnologia de RSSF são de 915 MHz e 2,4 GHz. Porém, em relação à conectividade de dispositivos periféricos com a estação base, a maioria das plataformas propostas, utiliza de bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical), que são bandas ou faixas de frequências não licenciadas, reservadas internacionalmente para fins industriais, científicos e médicos. Algumas tecnologias RSSF utilizam essas bandas como *Bluetooth*, *WiFi* e *Zigbee*, além de outros aparelhos como telefones sem fio, mouses e teclados sem fio e fornos micro-ondas [26].

Figura 5 - Divisão espectral do globo terrestre, onde o Brasil se encontra na região 2



Fonte: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/7/74/ITU-regioes.jpg>, adaptado.

A tecnologia LoRa[®] também utiliza banda de frequência ISM, na qual no Brasil estão presentes em várias faixas de frequência como pode ser visto em (ANATEL, 2017), inclusive dentro da faixa UHF (*Ultra High Frequency*), de 300 MHz à 3GHz, nas quais se incluem as frequências de telefonia móvel e RSSF. As bandas ISM se adequam a cada região, pois dependendo de cada país o espectro de frequência pode mudar. Por exemplo, os EUA utilizam a banda 915MHz, a Austrália 430MHz e a Europa 868 e 433MHz [33]. Essas frequências são chamadas sub - GHz e comparando-se com a banda de 2,4 GHz, transmitindo um sinal em uma banda de baixa frequência, leva-se aos maiores alcances devido ao aumento do comprimento de onda e a uma penetração muito maior, visto que ondas eletromagnéticas de alta frequência não penetram facilmente em objetos e construções e possuem alta atenuação. Além disso, os circuitos eletrônicos são mais eficientes em frequências mais baixas.

Para que ocorra uma comunicação em radiofrequência tanto na banda ISM como em outras frequências os dados a serem transmitidos precisam ser modulados pelo transmissor e demodulados pelo receptor, criptografados e filtrados conforme cada canal de comunicação.

2.2.5 Modulação LoRa[®] - Chirp Spread Spectrum

LoRa[®] é um padrão global de rede de LPWAN que utiliza da camada física ou a modulação sem fio para criar o link de comunicação de longo alcance, utilizando frequências ISM. Muitas tecnologias de comunicação sem fio usam a modulação de chaveamento de frequência FSK (*Frequency Shift Keying*) como a camada física, pois é uma modulação muito eficiente para alcançar baixas potências. É aplicada em IoT, sensores remotos operados a bateria, para mensagens curtas e locais de difíceis acesso utilizando RSSF.

A técnica de modulação do sinal na rede LoRa[®] é de propriedade da Semtech, porém, algumas especificações são públicas, como o tipo de modulação que é derivado do CSS (*Chirp Spread Spectrum* - espalhamento espectral *chirp*). Essa modulação mantém as mesmas características de baixa potência da modulação FSK, mas aumenta significativamente a faixa de comunicação [7]. A modulação CSS foi usada nas comunicações militares e espaciais por dezenas de anos devido às longas distâncias de comunicação que podem ser alcançadas e a robustez à interferência [34]. As forças armadas utilizavam essa técnica para aproximar o sinal ao ruído radioelétrico

e impedir assim a monitoração das forças inimigas, mas LoRa® é a primeira aplicação do baixo custo para o uso comercial. Ela ainda permite taxas de dados variáveis por utilizar fator de espalhamento (SF – *Spread Factor*) ortogonal, possibilitando o operador do sistema alterar a taxa de dados por alcance ou potência, otimizando a rede dependendo da aplicação [51].

CSS é uma técnica de codificação para transmissão digital de sinais que usa uma tecnologia de espalhamento do sinal a ser transmitido no espectro de frequência gerando um sinal de portadora de *chirp*, onde a frequência varia linearmente com o tempo. “*Chirp*”, um sinal que aumenta (*up-chirp*) e diminui (*down-chirp*) com o tempo para codificar informações. Neste método a largura de banda do sinal a ser transmitido é a mesma do sinal *chirp* e o deslocamento de tempo e frequência do transmissor e receptor são equivalentes, diminuindo a complexidade do receptor [51].

Uma teoria muito importante quando se trata de espalhamento espectral é o de Shannon – Hartley, no qual indica a capacidade máxima de taxa de dados que pode ser transmitida em determinadas larguras de banda na presença de ruídos [51]. A capacidade do canal pode ser expressa através da equação (1),

$$C = B * \log_2(1 + S/N) \quad (1)$$

sendo: C a capacidade do canal (bits/s); B a largura de banda (Hz); S a potência média do sinal recebido (Watts); N a potência média de ruído ou interferência (Watts); S/N a taxa de sinal/ruído (SNR) expressada como uma taxa de potência média.

Manipulando a equação para log de base natural, tem-se:

$$C/B = 1,433 * (S/N) \quad (2)$$

Para aplicação de espalhamento espectral, sabe-se que a relação sinal/ ruído é consideravelmente baixa, uma vez que o sinal de potência está frequentemente abaixo do esperado. Assumindo então que S/N é muito menor que 1 (um), tem-se:

$$C/B \approx S/N \quad (3)$$

Ou,

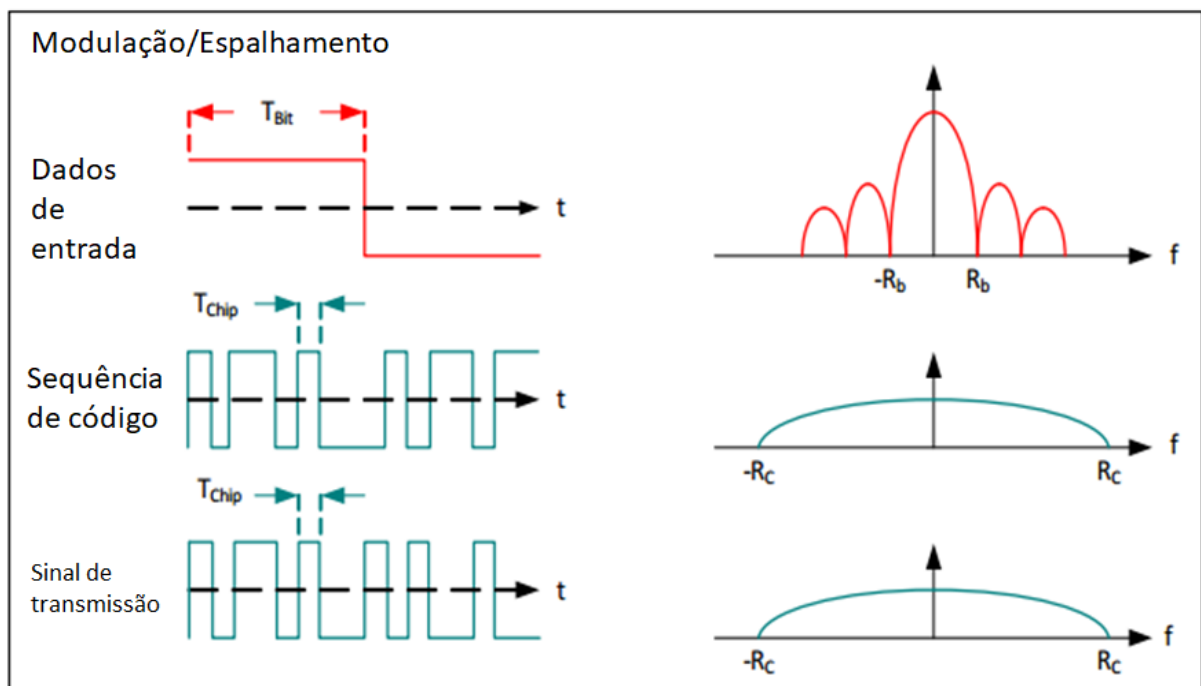
$$N/S \approx B/C \quad (4)$$

A partir da equação 4, é possível ver que num sinal onde a relação sinal/ruído é fixa, apenas a largura de banda precisa ser alterada [51].

Dentre várias técnicas para espalhamento espectral a utilizada nesta rede é a de sequência direta (*Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS*) [25]. Nesta técnica, a fase transportadora do transmissor muda de acordo com uma seqüência de código.

Este processo geralmente é realizado multiplicando o sinal de dados desejado por um código de espalhamento, também conhecido como uma seqüência de quebra. A seqüência de quebra ocorre em uma taxa muito mais rápida do que o sinal de dados e, portanto, espalha a largura de banda do sinal para além da largura de banda original ocupada apenas pelo sinal original. O termo quebra é usado para distinguir os bits codificados mais curtos dos bits não codificados mais longos do sinal de informação [51]. A Figura 6 demonstra o processo de modulação/espalhamento do sinal.

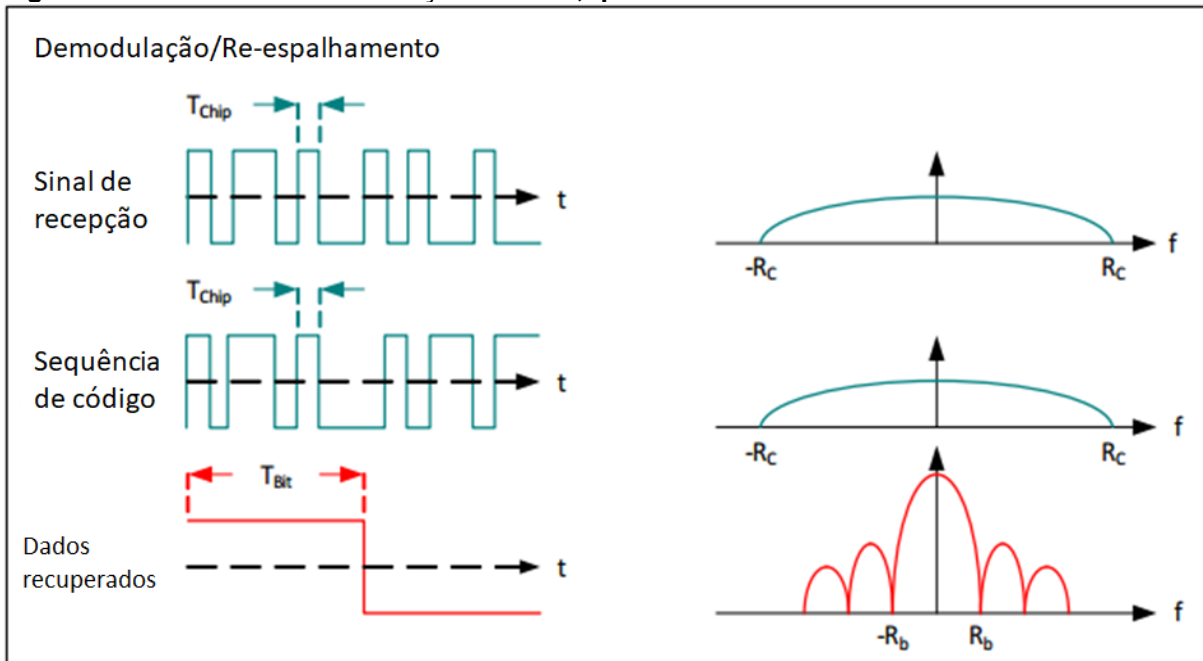
Figura 6 - Processo de modulação do sinal, quando o sinal é enviado



Fonte: Semtech Disponível em <<http://www.semtech.com/images/datasheet/an1200.22.pdf>> Acesso em 16 de Julho de 2017.

No receptor, o sinal transmitido é remultiplicado por uma seqüência de códigos, denominada seqüência de chips, igual ao na transmissão, levando este sinal novamente à largura de banda original. Na Figura 7, que mostra o processo de demodulação do sinal, pode-se perceber a similaridade do sinal recebido com o sinal transmitido da Figura 6.

Figura 7 - Processo de demodulação do sinal, quando o sinal é recebido



Fonte: Semtech Disponível em <<http://www.semtech.com/images/datasheet/an1200.22.pdf>> Acesso em 16 de Julho de 2017.

Na técnica *DSSS* a gama de espalhamento espectral depende da quebra por bit, na qual é a sequência de quebras para uma dada taxa de dados desejada, onde é chamado de ganho de processamento (G_p), e expresso em dB [51]. A equação (5) define o ganho de processamento.

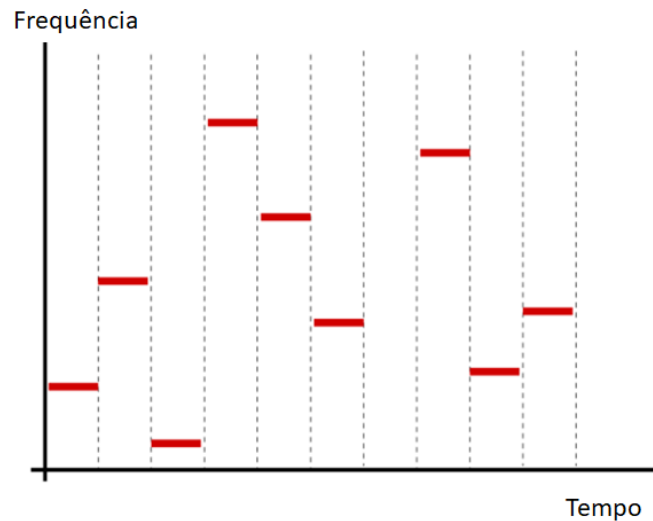
$$G_p = 10 * \log_{10}\left(\frac{R_c}{R_b}\right) \quad (5)$$

Sendo, R_c a taxa de chips (Chips/segundo) e R_b a taxa de transmissão de bits (bits/segundo)

Além do ganho de processamento inerente à transmissão desejada, os sinais de interferência também são reduzidos e espalhados com largura de banda maior que a do sinal a ser transmitido, com isso o receptor pode filtrar os sinais indesejados facilmente. Porém, conforme a exigência do sistema, o sinal a ser transmitido será tão grande quanto o código para sua modulação, demorando mais para o receptor demodulá-lo. Em dispositivos onde a fonte de energia é limitada, como é o caso de painéis solares que alimentam baterias, esse processamento deve ser o mais limitado possível. Por isso, vários parâmetros estão disponíveis para personalização da modulação LoRa[®]: largura de banda (BW), fator de espalhamento (SF) e taxa de código (CR). Além disso, a taxa do sinal e a taxa de bits em um determinado fator de espalhamento são proporcionais à largura de banda de frequência, de modo que uma

duplicação da largura de banda efetivamente duplicará a taxa de transmissão [7]. A Figura 8 demonstra o espalhamento do sinal em frequência na modulação LoRa®.

Figura 8 – Chirp Spread Spectrum, espalhamento do sinal em tempo e frequência



Fonte: Semtech Disponível em <<http://www.semtech.com/images/datasheet/an1200.22.pdf>> Acesso em 16 de Julho de 2017.

Este deslocamento do sinal na frequência entre o transmissor e o receptor pode atingir 20% da largura de banda sem afetar o desempenho de decodificação [52]. Segundo [7], isso faz com o preço dos transmissores LoRa® sejam reduzidos, pois os cristais incorporados nos transmissores não precisam ser fabricados com extrema precisão. A sensibilidade do decodificador está intimamente ligada ao SF e à largura de banda.

As vantagens de se aplicar modulação CSS são alta resolução, devido ao alargamento do espectro de frequência, sinais de baixa potência não interferindo em outros sistemas, melhora na rejeição à interferência pelo alargamento do espectro onde é mais difícil de afetar o sinal por completo, capacidade *anti-jamming* de fazer com que o sinal troque de faixa dependendo da técnica utilizada e do código pseudo - aleatório aplicados na transmissão e na recepção.

2.3 LORAWAN

Apesar de a modulação da rede LoRa® ter características ótimas para a aplicabilidade da internet das coisas como, baixo consumo de energia, confiabilidade do sinal, economia, entre outros, essas características ainda podem ser moldadas e

aprimoradas conforme a necessidade para encontrar o ponto ótimo e obter uma rede de qualidade. Para resolver os problemas de custos de gerenciamento da rede, escalabilidade e organização da rede, dimensionamento e eficiência de energia e cobertura, na internet das coisas, a rede LoRa[®] necessita de protocolos de comunicação, que ditam regras de como a rede irá de comportar com os dados, e para isso muitas plataformas têm acompanhado as redes LPWAN a fim de unir o longo alcance das redes de celulares e o baixo consumo de energia das redes RSSF. Cada plataforma tem suas características distintas, pois se adaptam a cada aplicação. Muitos trabalhos já foram e estão sendo desenvolvidos, a fim de buscar o melhor protocolo de comunicação para atingir o ponto ótimo das redes de comunicação de longo alcance e baixo consumo. Entre eles estão os padrões desenvolvidos pela IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) como P802.11ah e 802.15.4k, e outras tecnologias como Weightless e Sigfox, porém, um dos protocolos mais atuais e de maior impacto no mercado das telecomunicações é o LoRaWAN[®] [49].

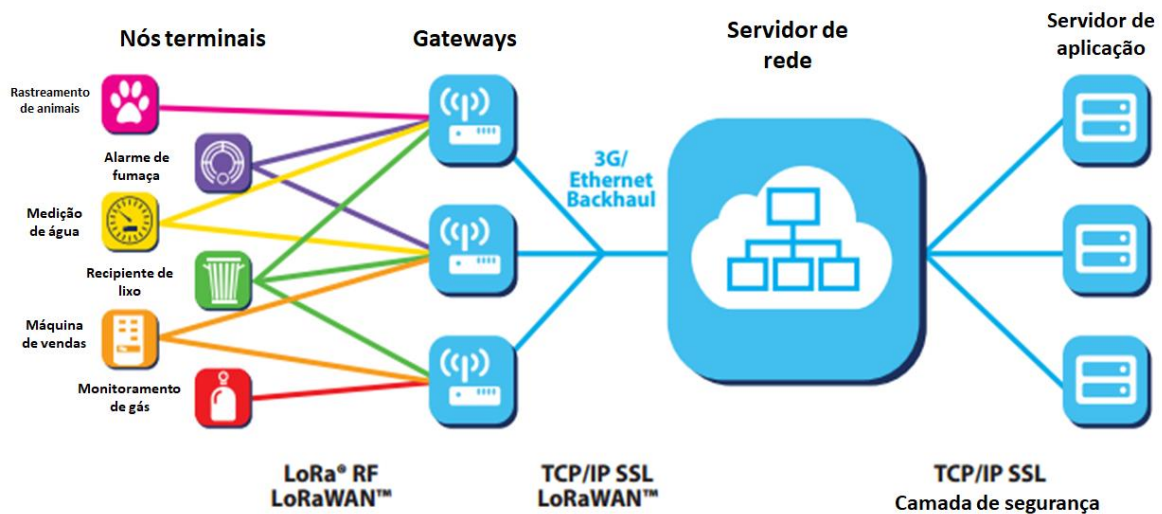
A técnica de modulação utilizada pela LoRa[®] é de propriedade do desenvolvedor, Semtech, porém o protocolo de comunicação utilizado, LoRaWAN[®] (desenvolvido pela Cycleo e de propriedade da Semtech) é aberto. Unindo a modulação LoRa[®] e as especificações técnicas do protocolo LoRaWAN[®]™ chega-se às características de rede de longo alcance (2 a 5 km em áreas urbanas e 15 km em áreas descampadas) e baixa potência (aproximadamente 10 anos de duração de bateria) [10], destinada a rede de sensores sem fio, e pode ser operada na gama regional, nacional ou global.

Este protocolo permite controle de acesso médio (MAC – Media Access Control) possibilitando que uma grande gama de dispositivos periféricos se comunique com um único gateway [7]. Entretanto, os nós não estão associados a um gateway específico. Os dados transmitidos poder ser recebidos por múltiplos gateways [10]. Isso aumenta a gama de comunicação entre dispositivos e gateways, fazendo com que os dados nunca sejam perdidos.

Segundo (ADELANTADO; VILAJOSANA; MARTINEZ, 2017), LoRaWAN[®] possui topologia de rede em estrela e introduz três entidades de rede: dispositivos periféricos, gateways e servidor central de rede. Os dispositivos periféricos são os sensores de baixo consumo de energia que se comunicam com gateways através da modulação de rede LoRa[®]. Gateways encaminham “frames” brutos LoRaWAN[®] de dispositivos para um servidor de rede através de uma interface backhaul (links de

comunicação entre a rede principal e a rede dos dispositivos periféricos com uma taxa de transferência maior), tipicamente Ethernet ou 3G. E servidores de rede são responsáveis pela unificação e decodificação dos pacotes enviados pelos dispositivos e geração dos pacotes que devem ser enviados novamente [7]. Conseqüentemente, os gateways são apenas retransmissores com comunicação bidirecional, ou então conversores de protocolo [7]. A Figura 9 exemplifica a arquitetura da rede LoRaWAN®.

Figura 9 – Diagrama de blocos da arquitetura de rede LoRaWAN®



Fonte: LoRa® Alliance. Disponível em <<https://www.LoRa®-alliance.org/What-Is-LoRa®/LoRaWAN®-White-Papers>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.

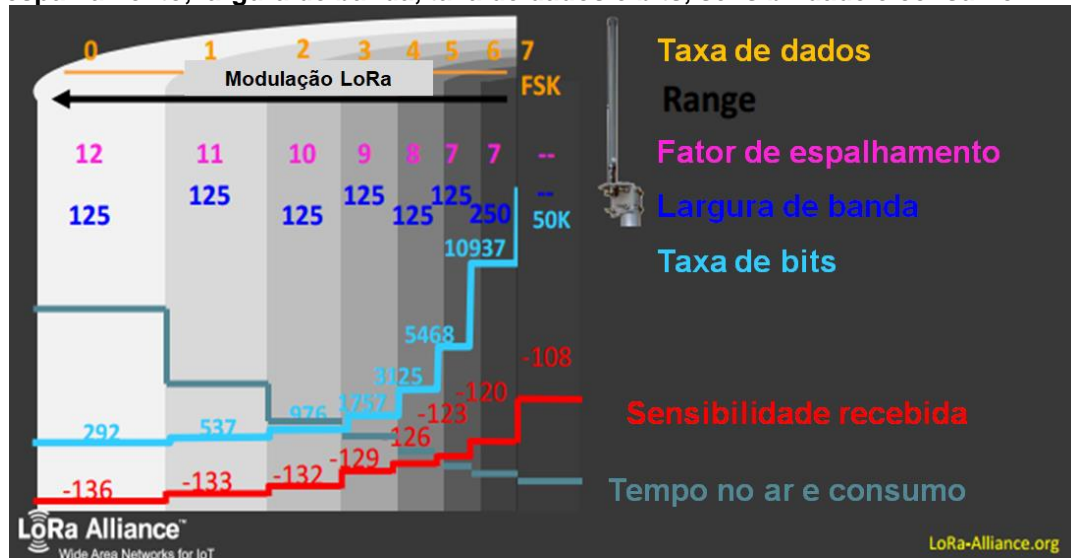
Os nós em uma rede LoRaWAN®™ são assíncronos e se comunicam quando eles estiverem prontos para enviar seus dados ou se forem programados, isso é chamado de método Aloha. Em uma rede síncrona, como celular, os nós freqüentemente têm que 'acordar' para sincronizar com a rede e verificar se há mensagens, com isso, esta sincronização consome grande quantidade de energia e é o principal motor de redução da vida útil da bateria [33].

As redes em estrela possuem um fator característico favorável. Elas diminuem o tráfego de rede quando se trata de roteamento de informações se comparada à outras topologias [33]. Porém, para tornar as redes em estrela de longo alcance viáveis, o gateway deve ter uma capacidade muito alta para receber uma grande quantidade de mensagens dos inúmeros nós. Esta capacidade é alcançada utilizando dados adaptativos que avalie e use um transceptor multi-canal multi-modem no gateway para que mensagens simultâneas em vários canais possam ser recebidas.

Fatores críticos como a capacidade produtiva e a quantidade de canais simultâneos, a taxa de dados (tempo no ar), o tamanho dos dados, e como os nós são

frequentemente transmitidos. Uma vez que o LoRa[®] é uma modulação espalhada, os sinais são praticamente ortogonais uns aos outros, quando diferentes fatores de espalhamento (SF) são utilizados. À medida que o SF muda, a taxa de dados efetiva também muda. Com isso, o gateway pode receber várias taxas de dados diferentes no mesmo canal ao mesmo tempo. Ao mudar a taxa de dados para a mais alta, o tempo no ar é reduzido abrindo mais espaço para outros nós transmitirem. Estes recursos permitem que uma rede LoRaWAN[®]™ tenha capacidade muito maior de tornar a rede escalável, como mostra a Figura 10 [33].

Figura 10 – Comparativo da escalabilidade da rede LoRaWAN[®] com fator de espalhamento, largura de banda, taxa de dados e bits, sensibilidade e consumo

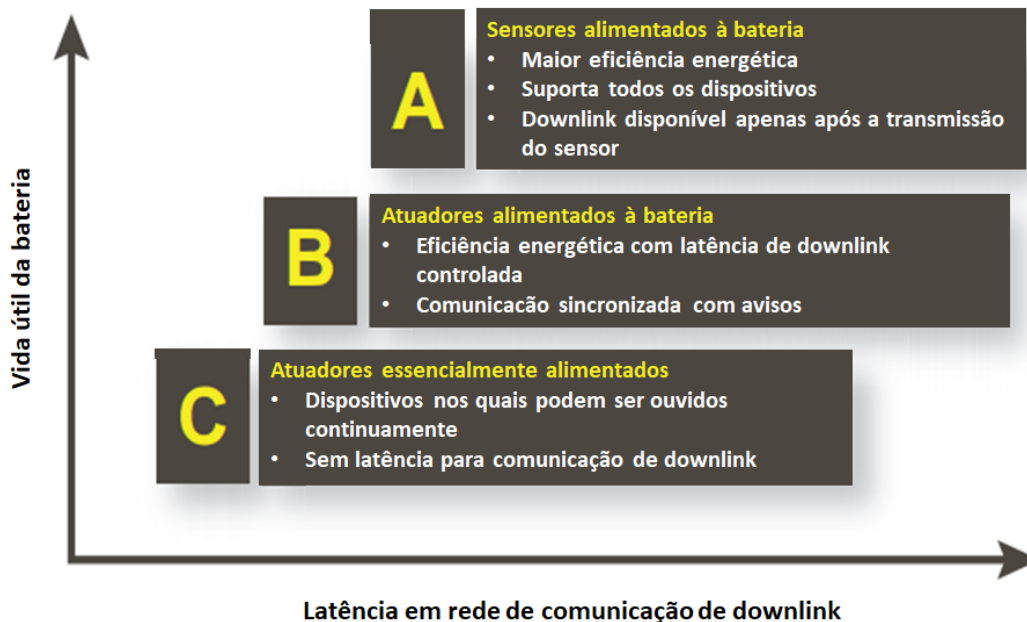


Fonte: LoRa[®] Alliance. Disponível em <<https://www.LoRa®-alliance.org/What-Is-LoRa®/LoRaWAN®-White-Papers>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.

2.3.1 Classes de Dispositivos

Um dispositivo periférico pode ser formado por um sensor ou placa de aquisição de dados e modem para comunicação via rádio. Existem inúmeros tipos de dispositivos periféricos no mercado, onde cada um possui características distintas conforme cada aplicação. Essas características variam principalmente em relação ao consumo de energia, taxa de dados, alcance e protocolo de comunicação. Para suportar a variedade de dispositivos de aquisição de dados, LoRaWAN[®] utiliza diferentes classes de nós [7]. Classificados principalmente em relação ao consumo de energia e *downlink* de rede (que é o envio de dados do servidor para os dispositivos periféricos) [33], conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Gráfico de comparação das classes de dispositivos pelo consumo de bateria e latência de comunicação de *downlink* na rede



Fonte: LoRa® Alliance. Disponível em <<https://www.LoRa®-alliance.org/What-Is-LoRa®/LoRaWAN®-White-Papers>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.

- Classe A: São dispositivos que permitem comunicações bidirecionais, de modo que a transmissão *uplink* de cada dispositivo final é seguida por duas janelas curtas de recepção de *downlink*. O slot de transmissão programado pelo dispositivo final é baseado em suas próprias necessidades de comunicação com uma pequena variação baseada em uma base de tempo aleatória (protocolo do tipo ALOHA). Esta operação de classe A é o sistema de comunicação de dispositivo final de potência mais baixa para aplicações que requerem apenas comunicação *downlink* a partir do servidor pouco depois de o dispositivo final ter enviado uma transmissão *uplink*. As comunicações de *downlink* do servidor em qualquer outro momento terão que esperar até o próximo *uplink* agendado.
- Classe B: São dispositivos finais bi-direcionais com slots de recebimento programados, ou seja, além das janelas de recebimento aleatório da classe A, os dispositivos classe B abrem janelas de recebimento extras em horários agendados. Para que o dispositivo periférico abra sua janela de recebimento na hora agendada, este recebe um sinalizador sincronizado de tempo a partir do *gateway*. Isso permite que o servidor saiba quando o dispositivo final está “ouvindo”.
- Classe C: São dispositivos finais bidirecionais com janelas de recepção abertas quase a todo tempo, e fechadas apenas durante uma transmissão [7].

Para participar da rede, cada dispositivo deve ser personalizado e ativado como será explicado nos capítulos seguintes. LoRaWAN[®] suporta dois métodos: Ativação pelo ar (*OTAA – Over The Air Activation*) e Ativação por personalização (*ABP – Activation By Personalization*). Segundo (AUGUSTIN, 2016), o processo de ativação deve fornecer aos nós terminais as seguintes características:

- Endereço do dispositivo final (*DevAddr*): um identificador de 32 bits do dispositivo final. Seis bits são usados como identificador de rede, e 25 bits são usados como o endereço de rede do dispositivo final.
- Identificador do aplicativo (*AppEUI*): um ID de aplicativo global no espaço de endereço IEEE EUI 64 (*Extended Unique Identifier*) que identifica de maneira exclusiva o proprietário do dispositivo final.
- Chave de sessão de rede (*NwkSKey*): uma chave usada pelo servidor de rede e o dispositivo final para calcular e verificar o código de integridade de todas as mensagens de dados.
- Chave de sessão do aplicativo (*AppSKey*): uma chave usada pelo servidor de rede e dispositivo final para criptografar e descriptografar as mensagens de dados.

Ao contrário das tecnologias de comunicação sem fio de curto alcance, como IEEE 802.15.4 ou IEEE 802.11, a LoRaWAN[®] requer gerenciamento de servidor de rede baseado na Internet. Portanto, em uma rede LoRaWAN[®], o *gateway* desempenha o papel do encaminhador de pacotes entre a rede LoRaWAN[®] e a rede IP. E o servidor de rede de gerenciar diretamente cada nó conectado aos *gateways*. Para então o usuário poder receber vários serviços do servidor de rede [7].

É de suma importância que qualquer rede LPWAN possua segurança dos dados a serem transmitidos devido às longas distâncias. LoRaWAN[®]™ utiliza duas camadas de segurança: uma para a rede e outra para a aplicação. A segurança da rede assegura a autenticidade do nó na rede enquanto a camada de segurança da aplicação garante que o operador de rede não tenha acesso aos dados do aplicativo do usuário final [10]. A criptografia utilizada para assegurar a integridade dos dados é AES (Advanced Encryption Standard) de 128 bits. Esta é usada durante ativação OTAA dos dispositivos periféricos utilizando um identificador IEEE EUI64 [33].

As especificações de frequência LoRaWAN[®] variam ligeiramente de região para região com base nas diferentes alocações de espectro regional e os requisitos

regulamentares. Para a Europa, América do Norte, Austrália e alguns outros países estão definidas, mas outras regiões, ainda estão pelo comitê técnico [33].

Nos EUA, a comissão federal de comunicações (FCC – Federal Communication Commission), é o órgão que regulamenta as configurações de rede, como o limite do potencial de interferência de transmissores de baixa potência das redes não licenciadas nas licenciadas. A Tabela 2, mostra especificações não só dos EUA como também de outras regiões onde já se aplica esse tipo de rede.

Tabela 1 – Tabela de características da rede LoRaWAN® diferenciadas por países que já possuem regulamentação

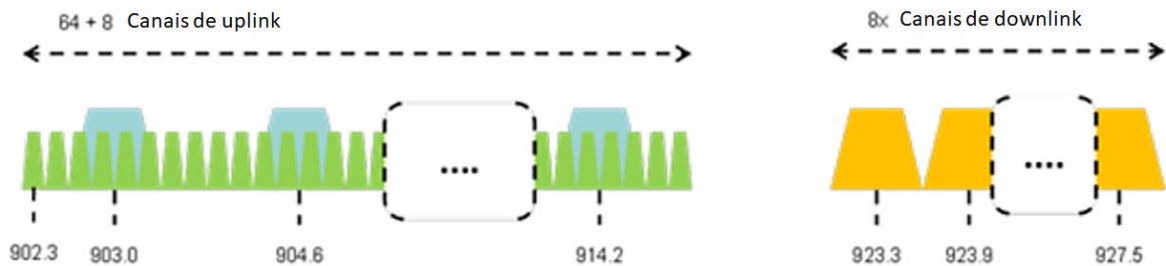
	Europa	América do Norte	China	Coréia	Japão	Índia
Banda de frequência	867-869 MHz	20dBm(Permitido até 30dBm)+D3:D11	470-510 MHz	920-925 MHz	920-925 MHz	865-867 MHz
Canais	10	64 + 8 + 8	Em definição pelo comitê técnico	Em definição pelo comitê técnico	Em definição pelo comitê técnico	Em definição pelo comitê técnico
Canais de uplink	125/250 kHz	125/500 kHz				
Canais de downlink	125kHz	125kHz				
Energia de transmissão em uplink	14dBm	20dBm(Permitido até 30dBm)				
Energia de transmissão em downlink	14dBm	27dBm				
Fator de espalhamento em uplink	7 à 12	7 à 10				
Taxa de dados	250bps-50kbps	980-21,9kbps				
Limite de link de dados em uplink	155dB	154dB				
Limite de link de dados em downlink	155dB	157dB				

Fonte: adaptado de https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_acef1a0dbad649bc894a372cf8ff6beb.pdf

Assim como a América do Norte, a banda de frequência ISM no Brasil também é 915 MHz, com algumas ressalvas que serão abordadas no item 4.2. Por isso, este trabalho se baseará nas especificações dos EUA, nas quais já são definidas. A banda ISM para a América do Norte é de 902-928MHz. Para esse *range* de frequência de 26MHz, LoRaWAN®™ define 64 canais uplink de 902.3 a 914.9MHz em incrementos de 200kHz. Oito canais de uplink de 500kHz em incrementos de 1.6MHz de 903MHz a 914.9MHz. E oito canais de downlink são de 500kHz de largura, desde 923.3MHz até 927.5MHz. A potência de saída máxima na América do Norte para a banda de 902-928MHz é de 30dBm, o equivalente à 1 W, segundo (FRANÇA, 2017). Mas para a

maioria dos dispositivos 20dBm é o suficiente. Para a FCC, não há restrições de ciclo de serviço, mas há um tempo de permanência máximo de 400 milissegundos por canal [33]. LoRaWAN[®]™ é definido com mais de 50 (64 + 8 + 8) canais para aproveitar o espectro disponível e permitir a potência máxima de saída, como pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 – Divisão do espectro de frequência das redes LoRaWAN[®] em canais de *uplink* e *downlink* da rede



Fonte: https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_acef1a0dbad649bc894a372cf8ff6beb.pdf, adaptado.

A comunicação entre dispositivos periféricos e *gateways* é distribuída em diferentes canais de frequência e taxas de dados. A seleção da taxa de dados varia entre 0,3 e 50 kbps, e é uma compensação entre a faixa de comunicação e a duração da mensagem. Devido à tecnologia de CSS, as comunicações com taxas de dados diferentes não interferem entre si e criam um conjunto de canais "virtuais" aumentando a capacidade do *gateway*, como visto anteriormente. Um resumo das características da rede LoRaWAN[®] pode ser visto na Tabela 3 abaixo.

Tabela 2 – Tabela de resumo das características da rede LoRaWAN[®]

Características	LoRaWAN
Modulação	SS chirp
Largura de banda de recepção	500 - 125kHz
Taxa de dados	290bps - 50kbps
Máx. Mensagens/dia	Ilimitado
Máx. Potência de saída	20 dBm
Limite de link de comunicação	154 dBm
Vida útil da bateria - 2000 mA.h	105 meses
Eficiência energética	Muito alta
Imunidade à interferência	Muito alta
Coexistência	Sim
Segurança	Sim
Mobilidade/Localização	Sim

Fonte: https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_acef1a0dbad649bc894a372cf8ff6beb.pdf, adaptado.

3 COMPARATIVO COM OUTRAS TECNOLOGIAS

Existem, além da rede LoRa[®], outras tecnologias que desempenham semelhantes funções no mercado atualmente. Foi realizada um breve levantamento dos pontos positivos e negativos da utilização destas tecnologias para aplicações em RSSF, em comparação com a tecnologia LoRa[®] abordada neste estudo.

3.1 REDES PARA APLICAÇÕES EM IOT

O número de tecnologias voltadas à comunicação hoje é extenso, e permite ao consumidor escolher a que melhor se adapta para sua aplicação. A melhor rede para comunicar os melhores sensores. A internet das coisas engloba inúmeros cenários, tais como redes de sensores, ambientes de nuvem, etc. podendo envolver também diferentes tecnologias numa mesma rede, adaptando o sistema conforme a necessidade. O problema dessa adaptabilidade, é que não há padronização na comunicação e muitas vezes essas tecnologias não acompanham os hardwares disponíveis no mercado. Segundo (ANATEL, 2017), outro ponto importante são as tecnologias novas serem desenvolvidas para suportarem grandes larguras de banda, sem levar em consideração o número de dispositivos e antenas, fazendo com que as redes se concentrem e se sobreponham ocasionando sobrecarga no meio de propagação e perda de dados.

Como uma primeira abordagem, foram analisadas algumas tecnologias no mercado de comunicação de dados que tem estrutura para serem aplicadas à internet das coisas. Estas são apresentadas e comparadas por [40] como *WiFi*, *WiMAX*, *LR-WPAN* que possui o *Zigbee*, *Bluetooth*, *Ethernet*, Comunicação Móvel (3G, 4G), Sigfox e LoRa[®]. São analisados parâmetros relevantes para a comparação dessas redes. Estes parâmetros são tais como:

- Frequência;
- Velocidade de transmissão;
- Alcance;
- Topologia;
- Segurança;
- Consumo de energia;
- Custo.

Levando em consideração que este trabalho é focado na aplicação na agricultura e como dito anteriormente, a agricultura de precisão possui algumas características únicas nas quais são relevantes na escolha da melhor rede de comunicação para integralizar o sistema, como:

- Mobilidade dos elementos sensores devido às irregularidades do terreno;
- Escalabilidade, de maneira que o sistema possa ser reconfigurado a cada aplicação;
- Longo alcance, de forma a atingir toda a área de cultivo;
- Baixo consumo de energia dos nós sensores por conta da falta de estrutura para alimentação;
- Baixa atenuação por conta da vegetação e humidade;

É relevante ressaltar que para as configurações necessárias para este trabalho, algumas dessas tecnologias são descartadas como o *WiFi*, *LR-WPAN* e *Bluetooth*, por possuírem curto alcance, o *WiMAX* por possuir topologia *Mesh* na qual acarreta no gasto desnecessário de energia e o *Ethernet* por ser uma rede cabeada.

3.2 REDES PARA APLICAÇÕES EM LPWAN

Analisando agora do ponto de vista das redes voltadas à LPWAN, estudos apontam outras tecnologias como *DASH7*, *Weightless* como também *Sigfox* e *LoRa*[®]. LPWAN, como já dito anteriormente, são redes de longo alcance com baixo consumo de energia nas quais são amplamente aplicadas à agricultura devido às suas características extremamente viáveis. No estudo realizado por (AUGUSTIN, 2016), mostra que *DASH7* possui algumas características similares às das *LoRa*[®], como banda de frequência utilizada, controle de acesso médio (MAC), e outras e seria uma forte concorrente para aplicações na agricultura, porém, está presente na gama de alcance médio, de até 3 km, o que a torna inferior se comparada à *LoRa*[®], *Sigfox* e *Weightless*. Estas três últimas são comparadas no estudo de (SANCHEZ-IBORRA, 2016) como as principais tecnologias aplicadas à IoT voltadas ao baixo consumo de energia e de longo alcance.

3.2.1 Sigfox

Desenvolvida por uma empresa francesa, e de informações reservadas, esta tecnologia opera na faixa de frequência não licenciada, tendo o *gateway* capaz de lidar com até um milhão de dispositivos finais, pois, opera em um sistema de comunicações de dispositivos IoT como redes de comunicação móvel (celulares) de banda Ultranarrow (ultra estreita) projetado para suportar implantações IoT [49], com uma área de cobertura de 30-50 km em áreas rurais e 3-10 km em áreas urbanas. Porém, a banda Ultranarrow é conseguida usando largura de banda do canal inferior a 1 kHz que transporta dados de apenas 12 bytes de uplink, comparados à 256 bytes da LoRa[®], e 8 bytes de dowlink, e baixa taxa de dados, de até 100 bps, muito menor que LoRa[®] [49].

3.2.2 Weighthless

Weighthless é uma aliança dotada de três padrões abertos, nas quais funcionam em bandas não licenciadas ISM. Segundo (SANCHEZ-IBORRA, 2016) o padrão Weighthless-W original fornece uma ampla gama de tipos de modulação, fatores de espalhamento e tamanhos de pacotes e pode ainda obter taxas de dados bi-direcionais de 1 kbps a 10 Mbps. Devido aos inúmeros recursos fornecidos por essa tecnologia, a duração da bateria do nó terminal é limitada a três anos e seu custo é maior do que de seus concorrentes. A comunicação entre os nós terminais e a estação base pode ser estabelecida ao longo de 5 km, dependendo das condições ambientais. Por sua vez, o padrão N usa uma classe de tecnologia de baixo custo, muito semelhante à empregada pelo Sigfox. Por isso, a modulação DBPSK (*Differential Binary Phase Shift Keying*) é adotada para fornecer apenas uma conectividade unidirecional de até 100 bps, explorando bandas ISM. Por conta dessa solução, *Weighthless-N* permite uma duração da bateria de até 10 anos e uma longa faixa de conexão semelhante à alcançada por *Weighthless-W*. Finalmente, o padrão aberto *Weighthless-P* é derivado do *Platanus da M2Communication Protocol* e esta focado especificamente no setor industrial, que não é o escopo deste trabalho.

Esta rede se torna inferior à citada anteriormente na aplicação em estudo, pois, seu padrão W possui alto consumo de energia, se comparada à LoRa[®], devido aos inúmeros recursos disponibilizados. O padrão N, possui mesma taxa de dados. E o

padrão P é em sua maioria voltado ao setor industrial, porém, sua característica principal é o baixo alcance de até 2 km [49].

Desta forma, fica claro que a utilização de rede LoRa® na agricultura de precisão no Brasil é viável não só por suas características próprias, mas também por se tratar da melhor tecnologia no mercado atual de telecomunicações. Portanto, pode-se dar início aos estudos de projeto de aplicação desta rede no território nacional.

4 ESTUDO DE APLICAÇÃO DE LORAWAN® NO BRASIL

Quando se cria uma rede de comunicação nova, é necessário levar em consideração que levará certo tempo até que empresas desenvolvam também hardwares para essa tecnologia. Já há inúmeros hardwares com tecnologia LoRa® embarcada disponíveis no mercado, incluem-se dispositivos como modems de radiofrequência, *gateways*, sensores, estações meteorológicas, placas de aquisição de dados, roteadores, etc. Para instalação de sensores sem fio são necessários alguns requisitos de hardware como tecnologia de rádio robusta, processador de baixo consumo e energia eficiente, entradas e saídas flexíveis para vários sensores, fonte de energia de longa duração e flexível, plataforma de desenvolvimento de código aberto. Inúmeras unidades de rádio-processamento integradas foram desenvolvidas para satisfazer esses requisitos, e portanto, os requisitos de software para sensores sem fio são design compacto para pequenos processadores, uso eficiente de energia, capacidade de concorrência, alta modularidade e rede em malha *ad hoc*, que requer baixa potência. O sistema operacional "*TinyOS*" em desenvolvimento serve como um bom exemplo para tal software [15].

Para a aplicação da rede LoRaWAN® no Brasil, foi realizada uma revisão dos dispositivos presentes no mercado e suas especificações, da legislação vigente no país que deve ser seguida, e um estudo de viabilidade de aplicação em situações práticas.

4.1 DISPOSITIVOS LORAWAN®

LoRaWAN® é uma rede voltada à IoT, aplicada também à LPWAN, dotada de modulação própria de sinal e protocolo aberto, portanto, necessita de dispositivos eletrônicos próprios, para não haver interferência entre os sinais e perda dos dados durante o tráfego. A LoRa® Alliance é a união de empresas com um mesmo propósito, empresas essas que desenvolvem dispositivos que utilizem uma mesma rede de comunicação entre eles, neste caso que utilizem rede LoRaWAN®. A lista completa das empresas integrantes da LoRa® Alliance está disponível em [32], e os dispositivos certificados em [31].

4.1.1 Equipamentos Compatíveis Com Tecnologia Lora® Aplicáveis À Agricultura De Precisão

Existem diversos equipamentos no mercado disponíveis para uso compatíveis com as tecnologias da rede LoRa® e LPWAN. Foram listados equipamentos que podem ter uso na Agricultura de Precisão, e por consequência otimizar processos agrícolas e gerar maiores lucros aos produtores rurais. Foi realizada uma breve descrição dos produtos, como encontrado nos sites dos fabricantes, tal como tabelas com as principais características técnicas de cada um.

4.1.1.1 Sensor 1M2M - ED1608

O ED1608, do fabricante 1M2M, é um equipamento sensor inteligente e localizador GPS de pronto uso compatível com redes LPWAN. O equipamento possui um acelerômetro 3D, GPS, sensor de umidade / temperatura, sensor de pressão atmosférica, sensor de efeito Hall, sensor de campo magnético, conexão *Bluetooth*, duas entradas analógicas, duas saídas digitais, interface de conexão serial, Interface I2C e interface 1wire. Possui um *firmware* versátil que pode ser configurado via mensagens de *downlink*. O equipamento também pode detectar vibrações e pode enviar mensagens de alarme e *updates*.

Figura 13 – Sensor inteligente ED1608, compatível com redes LPWAN. Possui localizador de GPS, acelerômetro 3D, sensor de umidade, temperatura, pressão, efeito hall, campo magnético, comunicação Bluetooth, entre outras características.



Fonte: LoRa® Alliance. Disponível em <<https://www.LoRa®-alliance.org/Products/Certified-Products>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.

Atualmente existem três versões deste equipamento disponíveis no mercado. A versão completa, equipada com todos os sensores listados, a versão básica que possui apenas o acelerômetro e localizador GPS, e a versão via rádio, que não possui sensores, porém é equipada com todas as interfaces externas. Todos possuem

encapsulamento IP67, e baterias primárias de alta durabilidade de 8.800 ou 2.200 mAh [37]. O equipamento possui vida útil de 5 a 10 anos, pesa aproximadamente 250g e trabalha em faixas de temperatura de -40°C a 85°C. [14]

Tabela 3 – Tabela das características técnicas do sensor ED1608, presentes no datasheet do equipamento

Fabricante	1M2M
Frequência de operação	868/915 MHz
Tecnologias disponíveis	Acelerômetro 3D, GPS, umidade/temperatura, pressão atmosférica, efeito hall, magnetômetro 3D, duas entradas analógicas (4-20 mA), duas saídas digitais (1-10V), conexão Bluetooth, Interfaces serial, I2c e 1wire.
Consumo de Bateria	8800 ou 2200 mA.h (Duração até 10 anos)
Proteção (encapsulamento)	IP67
Preço	US\$150,00 (versão completa)

Fonte: LoRa® Alliance. Disponível em <<https://www.LoRa®-alliance.org/Products/Certified-Products>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.

A robustez, baixo consumo de energia, alta durabilidade, configuração remota e possibilidade de monitoramento de diferentes variáveis que podem influenciar na produtividade agrícola, como temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica tornam viável o uso deste equipamento na Agricultura de Precisão em geral.

4.1.1.2 MultiTech – Conduit

O dispositivo Conduit, da Multitech, é um *gateway* configurável, que utiliza tecnologia de modulação LORA®, o que o possibilita alto alcance de comunicação, baixo consumo de energia em uma baixa taxa de transferência de dados.

Figura 14 - Gateway Multitech Conduit, possui tecnologia LoRa® munido de baixo consumo de energia e baixa transferência de dados



Fonte: Disponível em <<http://www.multitech.net/developer/products/multiconnect-conduit-platform/accessory-cards/>> Acesso em 19 de Julho de 2017.

O equipamento possui alcance de até 13km, podendo suportar milhares de equipamentos conectados à sua rede, aplicado principalmente para usos industriais e

na internet das coisas, podendo também ter sua aplicação voltada à agricultura devido a seu encapsulamento IP67, que fornece boa proteção para uso em campo.

Tabela 4 – Tabela das características técnicas do Gateway Multitech Conduit, presentes no datasheet do equipamento

Fabricante	Multitech
Frequência de operação (Rádio)	868/915 MHz
Tecnologia disponível	Gateway programável de radiofrequência com modulação CSS e frequência variável. MicroSD.
Temperatura de trabalho	-30°C a 70°C
Umidade de trabalho	20% a 90%
Distância do sinal	13000m
Preço	US\$ 170,00

Fonte: Disponível em < <http://www.multitech.net/developer/products/multiconnect-conduit-platform/accessory-cards/>> Acesso em 19 de Julho de 2017.

4.1.1.3 ManThink – UM801

O dispositivo UM801, do fabricante ManThink, é um *transceiver* com comunicação *half-duplex* de radiofrequência (RF) que possui baixo consumo, alta velocidade de transmissão e um chip de alta performance RF com modem LORA® que é capaz de atingir distâncias muito maiores do que *transceivers* de RF existentes baseados em modulação FSK e OOK.

Figura 15 – Transceptor de radiofrequência UM801, embarcado com tecnologia LoRa®



Fonte: Manthink: Disponível em < www.manthink.cn/uploads/2016/05/261547538670.pdf >. Acesso em 19 de Julho de 2017.

O módulo UM801 proporciona diversas opções de canal, onde o usuário pode modificar a taxa de porta serial, potência da transmissão, frequência de rádio e outros parâmetros *online* [38].

O modem LoRa® nesta tecnologia melhora a sensibilidade para até -137dBm, aumentando significativamente a distância de operação sem a necessidade de uso de repetidores, simplificando o *design* do sistema e reduzindo os custos de produção.

O módulo UM801 fornece tensões de 2,6-3,6V e consumindo apenas 13mA de corrente em modo de receptor. Em modo de baixo consumo de bateria, o módulo consome 1,3uA de corrente, permitindo um uso de bateria de diversos anos. Possui faixa de temperatura de operação de -45°C até +85°C e faixa de umidade relativa do ar de operação de 10% até 90% [38].

Tabela 5 – Tabela de características técnicas do transceptor de radiofrequência UM801

Fabricante	ManThink
Frequência de operação (Rádio)	862 a 1020 MHz
Tecnologia disponível	Transceiver de radiofrequência com modulação CSS e frequência variável
Potência de transmissão	5 a 20 dBm
Degrau de Frequência	1 kHz
Taxa de Transferência aérea	300 bps a 31,2 kbps
Sensibilidade do receptor	-137 dBm@300bps, -121 dBm@12,5 kbps
Corrente de transmissão	102mA@100mW
Corrente do receptor	13mA
Corrente em <i>Sleep mode</i>	1,3uA
Temperatura de trabalho	-45°C a 85°C
Umidade de trabalho	10% a 90%
Distância do sinal	> 5000m

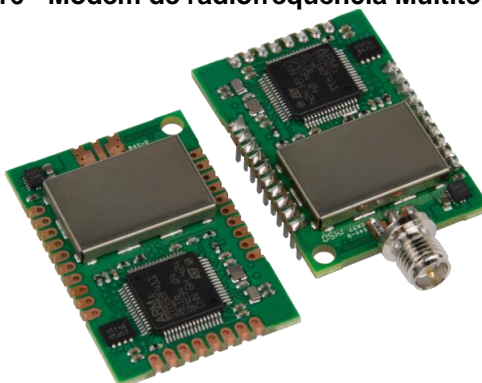
Fonte: Manthink: Disponível em < www.manthink.cn/uploads/2016/05/261547538670.pdf >. Acesso em 19 de Julho de 2017.

O dispositivo ManThink-UM801 pode ser aplicado em medições wireless de temperatura/gás/água, em medições e instrumentações inteligentes, coleta de dados automáticas, controle e sensores remotos, controle inteligente de luminosidade, controle de robôs, monitoramento de potência de sistemas, manejo wireless de logística e estoques, e RSSF [38], tendo seu uso diversificado para monitoramento de variáveis úteis para auxiliar produtores rurais e automatizar processos de semeadura, colheita, adição de insumos, e confecção de mapas de produtividade na Agricultura de Precisão.

4.1.1.4 MultiTech - mDot

O mDot é um modem da marca Multitech de radiofrequência de baixo consumo, programável de baixo custo que permite a comunicação em baixas taxas de dados, em longas distâncias, utilizando a tecnologia de modulação LORA®.

Figura 16 - Modem de radiofrequência Multitech mDot



Fonte: Lorient Disponível em <<https://www.lorIoT.io/modems.html>>.

Acesso em 19 de Julho de 2017.

O dispositivo fornece comunicação de dados em uma distância de até 16km em campo aberto e 3km dentro de construções, utilizando as faixas de frequência ISM. O mDot é ideal para aplicações na agricultura, como em uso de sensoriamento de variáveis e de colheita, comunicação M2M e em redes de malha (cada nó é conectado com todos os outros nós na rede) [36].

Tabela 6 – Tabela das características técnicas do modem Multitech mDot, presentes no datasheet do equipamento

Fabricante	MultiTech
Frequência de operação (Rádio)	860 a 1020 MHz
Tecnologia disponível	21 saídas/entradas digitais, 11 entradas analógicas, I2C, UART.
Potência de transmissão	14 dBm
Sensibilidade do receptor	-137 dBm@300bps
Corrente de transmissão	32mA
Corrente do receptor	26mA
Corrente em <i>Sleep mode</i>	40 uA
Temperatura de trabalho	-40°C a 85°C
Preço	US\$ 30,00

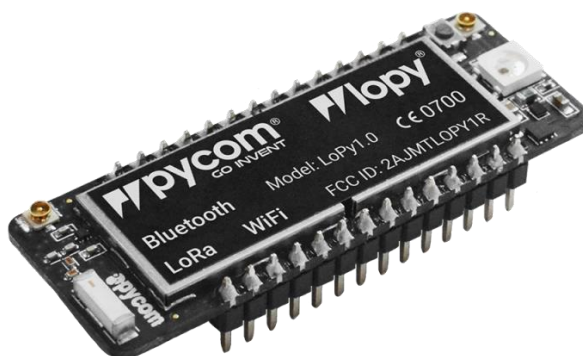
Fonte: Lorient: Disponível em <<https://www.lorIoT.io/modems.html>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.

4.1.1.5 Pycom – LoPy

O dispositivo LoPy, da fabricante Pycom, é um dispositivo de três usos diferentes. Pode ser utilizado como microcontrolador utilizando tecnologia LORA®, *Wifi* e *Bluetooth*, amplamente utilizado na conectividade de dispositivos na IoT, e combina flexibilidade e baixo consumo de energia [47].

O dispositivo LoPy é um equipamento versátil que possui múltiplos usos na Agricultura de Precisão, visto suas características adaptativas em diferentes tipos de conectividade sem fio e baixo consumo de energia.

Figura 17 – Dispositivo microcontrolador LoPy, amplamente utilizado em sistemas IoT



Fonte: Pycom: Disponível em <<https://pycom.io/product/lopy/>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.

Tabela 7 – Tabela de características técnicas do microcontrolador LoPy

Fabricante	Pycom
Frequência de operação (Rádio)	863 MHz / 915 MHz
Tecnologia disponível	Transceiver com conectividade em rede LORA®, <i>wifi</i> , <i>bluetooth</i> , pacote <i>IPV6</i> , UART, I2C e espaço para micro SD. Canais analógicos com conversores 8x12bits.
Temperatura de trabalho	-20°C a 85°C
Distância do sinal	40000m
Consumo nominal	15mA
Consumo em <i>sleep mode</i>	25uA
Preço	€29,95

Fonte: Pycom: Disponível em <<https://pycom.io/product/lopy/>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.

4.2 REGRAS NORMATIVAS PARA INSTALAÇÃO

O órgão federal que regulamenta as redes de telecomunicações no Brasil é a Anatel, e segundo a (ABINC, 2017), ela vem sendo moldada para incluir a tecnologia LoRa® no país. No que diz respeito à regulamentação atual, as condições para utilização de radiofrequência por equipamentos de radiação restrita estão presentes na forma do anexo a resolução nº 506, de 1º de julho de 2008 presente em (ANATEL, 2017). Como já dito anteriormente, LoRa® utiliza a frequência não licenciada ISM, como também pode utilizar outras frequências que exijam licença. Mas para se utilizar o

protocolo aberto LoRaWAN[®], é necessário utilizar a menor banda ISM, que no Brasil está entre 902 e 928 MHz. Porém, a portaria nº 50637, de 18 de dezembro de 2015, por meio de resolução nº 454/2006, transfere a utilização das faixas de 907,5 a 915MHz, à serviços móveis pessoais e serviços multimídia [10]. Dessa forma, LoRaWAN[®] é permitida no Brasil nas frequências entre 902 e 907,5 MHz e entre 915 a 928 MHz. Portanto, equipamentos que estão sendo utilizados nos EUA, por terem a mesma faixa de frequência ISM, não poderão ser utilizados no Brasil a menos que sejam parametrizados a fim de não infringir a lei brasileira.

No que diz respeito à regulamentação de equipamentos de radiação restrita, nada é citado sobre os equipamentos que utilizem frequência ISM voltados à internet das coisas, bem como os que são utilizados em redes LPWAN [19]. Isso faz com que os dispositivos, mesmo que compatíveis com a banda de frequência permitida, não utilizem de seu ponto ótimo e sejam menos eficazes que os utilizados nos EUA, comparativamente. Além de impedir que as tecnologias de IoT que utilizem LPWAN sejam compatíveis com as já existentes e regulamentadas. Como visto no item 4.1, existem equipamentos disponíveis no mercado com essa habilitação, de serem configurados, tornando possível sua utilização no Brasil. Algumas alternativas podem ser utilizadas para resolver esse problema enquanto a LoRa[®] Alliance não divulga uma nova versão do protocolo LoRaWAN[®] voltado à realidade brasileira. Segundo a (ABINC, 2017) são:

- I. Utilizar as faixas de frequências dos EUA, desde que exclua os canais que estejam sobre a faixa restrita de 907,5 a 915 MHz. Isso fará com que a capacidade total seja menor que a original dos EUA, porém, permitirá a certificação de produtos com o plano estadunidense, desde que sejam usados somente os 3 primeiros grupos de 8 canais de *uplink*.
- II. Utilizar as faixas de frequências da Austrália, no qual é de 915MHz à 928MHz. Isto permite a instalação na rede e que dispositivos sejam utilizados dentro das limitações do Brasil. Mas os canais de *uplink* e *downlink* se sobrepõem, causando queda de desempenho comparando-se ao padrão original americano.
- III. Utilizar as faixas de frequência dos EUA, porém invertendo-se a posição dos grupos de *downlink* e *uplink*, considerando-se as suas frequências iniciais. Esta faixa se assemelha muito à australiana no que diz respeito ao *uplink*, mas teria os canais de *downlink* separados e, portanto, operariam com a mesma capacidade final de comunicação do padrão Americano. A principal desvantagem é que será necessário fazer uma nova tabela de frequências.
- IV. A utilização do espectro americano, porém, sem utilizar as frequências entre 902 e 915, apenas acima desta faixa. A vantagem é que permite a utilização do uso de frequências como as usadas nos EUA nos 3 primeiros grupos, havendo diferença somente a partir do 4º. Isso acarretará em capacidade igual à dos EUA.

Mas com a desvantagem de um salto no meio dos grupos, o que pode significar firmwares mais complexos.

Dentre as especificações de projeto livres de licença que constam na resolução 506 da Anatel, as mais relevantes se referem às topologias de rede, nas quais permitem a utilização destas faixas de frequências com topologia ponto a ponto e ponto à multiponto. Ao limite estipulado para intensidade de campo média, medida a uma distância de 3 metros, de um equipamento de radiação restrita operando nas faixas 902-907,5 MHz, 915-928 MHz, e outras, nas quais não devem exceder 50mV/metro. A permanência de dados em cada canal que é de 400 milissegundos. Ao limite de potência de pico de saída máximo de 1 Watt, para antenas com ganho de 6 dB. Onde a largura de faixa para este ganho deve ser de 500kHz.

Modificações ainda não necessárias na regulamentação brasileira para incluir interinamente novas tecnologias de comunicação como LoRaWAN®, e tornar o país competitivo no mercado da internet das coisas. Recentemente a Anatel aprovou, em Reunião do Conselho Diretor, uma importante modificação na medição de densidade espectral de potência. Segundo (ABINC, 2017), o espalhamento da potência nas demais tecnologias é realizado com geração de harmônicos, diferentemente da modulação LoRa® que realiza esse espalhamento através da varredura de frequência em cada um dos canais, e quando utilizada com as atuais frequências gera um valor artificialmente alto para canais modulados. Desta forma, com a atual modificação, torna a aplicação da rede LoRa® possível no Brasil e com perfeitas condições de atingir pontos tão ótimos tanto nos EUA quanto em outros países que já é aplicada.

5 ESTUDO DE APLICAÇÃO DA LORA[®] EM PROPRIEDADE AGRÍCOLA

De acordo com o capítulo anterior, as leis de regulamentação da aplicação da tecnologia LoRa[®] no Brasil vem sendo adaptadas para colocar o país num patamar competitivo no mercado das telecomunicações, e trazer ao agricultor opções de projeto de automação e aquisição de dados no campo. Portanto, no atual cenário em que se encontra a legislação, é perfeitamente aplicável esse tipo de rede no território nacional, desde que configurados os parâmetros necessários tanto nos dispositivos quando na própria rede. Desta forma, foi realizado um estudo de projeto de aquisição de dados, tanto do ambiente como da vegetação, aplicando rede LoRa[®] e o protocolo de comunicação LoRaWAN[®] em uma propriedade agrícola localizada no interior do estado de São Paulo, no município de Jeriquara, microrregião de Ribeirão Preto.

5.1 A PROPRIEDADE AGRÍCOLA

A propriedade possui 285 hectares de extensão, conforme o mapa da Figura 18, e tem como principal cultivo o café, cujo plantio exige grande área ativa, e colheita realizada uma vez ao ano. Está localizada na região de Jeriquara, estado de São Paulo, que segundo (CLIMATE, 2017), possui clima quente e temperado com temperatura média anual de 20,7 °C, classificação climática de Köppen-Geiger Cwa. Possui menos pluviosidade no inverno que no verão, tendo sua média anual de 1539 mm.

Figura 18 – Dimensões da propriedade agrícola em Jeriquara - SP, vista por satélite

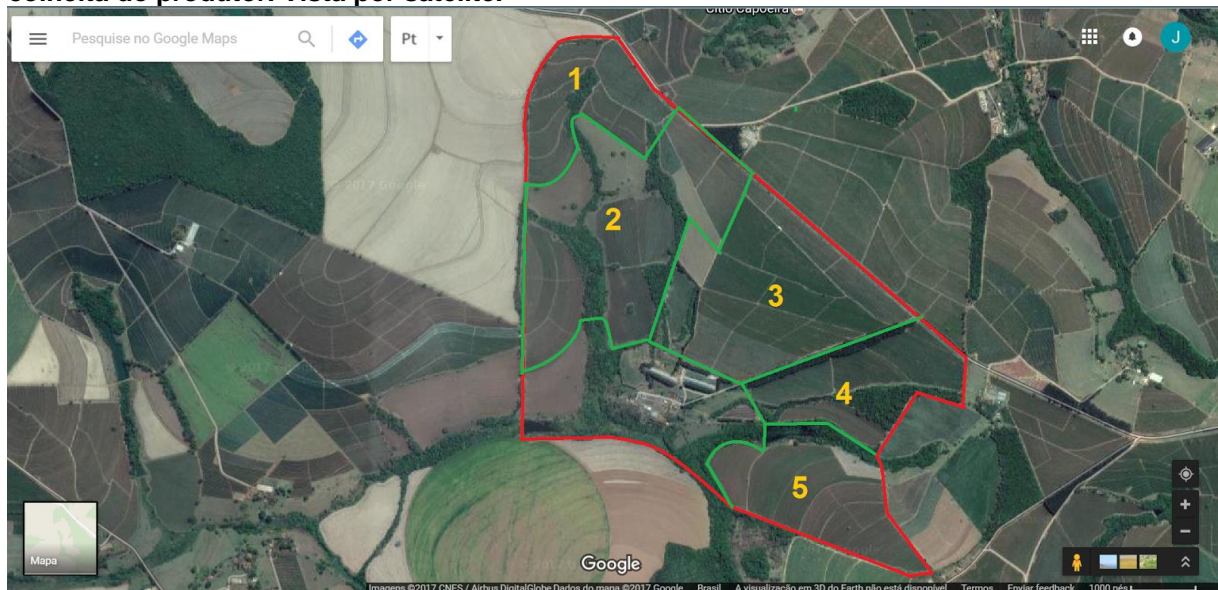


Fonte: Adaptado de GoogleMaps.

Em média, a propriedade gera R\$675.000,00 em lucro bruto, por colheita. Em 2015, devido aos baixos índices pluviométricos e de umidade do ar repentinos, houve um prejuízo estimado de R\$350.000,00, o que representa mais da metade da média de lucro da empresa. Foi constatado conjuntamente com o produtor agrícola que aplicando a tecnologia LoRa® numa RSSF e implementando-a nesta área, possibilitaria uma previsão dos índices relevantes e de maior impacto na colheita, e consequentemente ações poderiam ser tomadas com antecedência, como o maior controle do sistema de irrigação, minimizando assim os prejuízos decorrentes das intempéries.

A extensão do campo de cultivo é o equivalente à 2,85 Km², e apresenta um relevo muito irregular. A terra é dividida em cinco zonas, de maneira a facilitar o trabalho e controle de plantio e colheita, conforme indicado na Figura 19.

Figura 19 – Delimitações do terreno na propriedade de Jeriquara em setores, para facilitar a colheita do produtor. Vista por satélite.



Fonte: Adaptado de GoogleMaps.

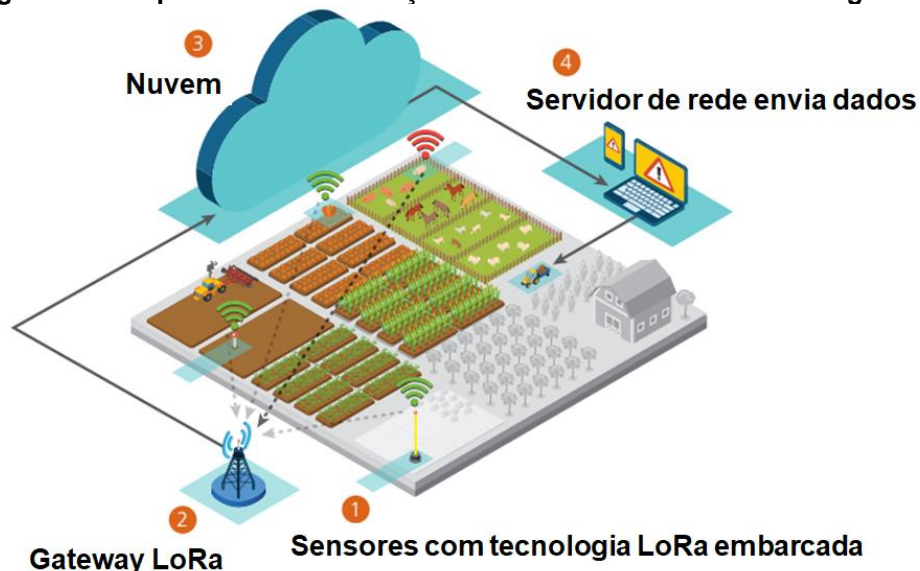
De maneira a se obter melhor controle, os setores da lavoura serão controlados por sensores de igual tarefa. Como as regiões possuem tamanhos distintos, determinadas regiões terão mais sensores do que outras. No setor sem número, se encontrará a sala de controle, para que o agricultor possa administrar sua rede.

5.2 FUNCIONAMENTO DA REDE

Como visto anteriormente uma rede de sensores sem fio, é a comunicação de uma malha de sensores dispostos em determinado espaço, que enviam e recebem

seus dados a partir de comunicação sem fio. Para se aplicar LoRa[®] numa RSSF, os dispositivos necessários são basicamente nós terminais com a tecnologia LoRa[®] embarcada, nos quais podem ser sensores, atuadores ou até mesmo estações meteorológicas. Gateways específicos para este tipo de rede, que fazem a leitura dos sinais adquiridos pelos nós terminais. E o servidor de rede, que irá interpretar os dados enviados através do *gateway* e torná-los disponíveis na camada de aplicação do agricultor (*software*). Para aplicações na agricultura alguns detalhes devem ser levados em consideração para que não haja perda de sinal, e possa se controlar a lavoura da melhor forma possível. A vegetação densa e muita umidade atenuam o sinal de forma significativa como visto em trabalhos anteriores, além da irregularidade do terreno. As zonas 1 e 2 da divisão da lavoura são terrenos mais altos que as outras. Por isso, apesar da área de cultivo não ser demasiadamente extensa, será necessário que o *gateway* seja instalado em uma região alta para garantir que os sinais não sejam perdidos. Além do que, o terreno é intensamente irregular o que poderia gerar problemas maiores. Na Figura 20, pode ser visto um esquema genérico de comunicação de uma rede LoRa[®], aplicada à agricultura de precisão.

Figura 20 - Esquema de comunicação da rede LoRa[®] em ambientes agrícolas em geral



Fonte: Semtech. Disponível em <http://www.semtech.com/wireless-rf/internet-of-things/downloads/Semtech_Agr_PrecisionFarming_AppBrief-FINAL.pdf>. Acesso em 19 de Julho de 2017.

Para esta aplicação, por se tratar de um primeiro contato do agricultor com RSSF em seu plantio, e ser uma área de cultivo pequena, seria instalada uma rede LoRa[®] privada, mas que pode ser estendida futuramente. O objetivo inicial deste

trabalho é adquirir dados ambientais e da vegetação, onde as variáveis mais relevantes para a agricultura são:

- I. Temperatura e umidade ambiente
- II. Pressão
- III. Radiação solar

A partir destas variáveis é possível se ter ideia dos possíveis equipamentos que seriam instalados para mensurar os dados.

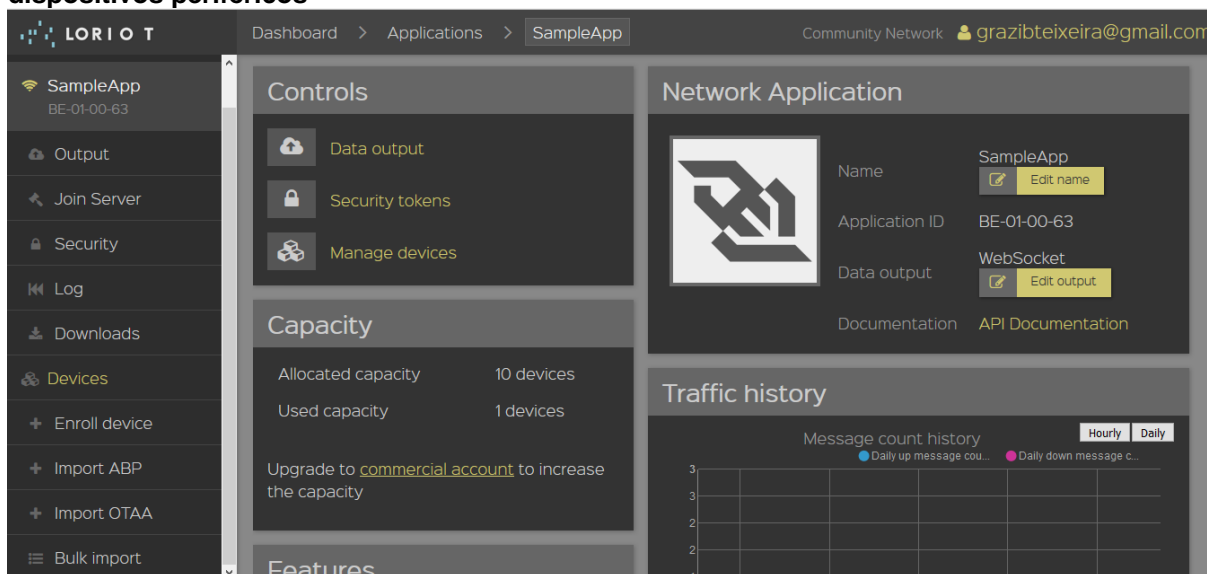
5.3 EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS A SEREM UTILIZADAS

Os equipamentos de hardware e software que poderiam ser utilizados nesta aplicação são estipulados com base nas seguintes informações: uma rede privada, em região agrícola descampada não muito extensa e com poucas variáveis a serem mensuradas. Desta forma, tem-se que o servidor de rede que pode ser utilizado é o LORIIOT (*Limited Free Account*).

Este servidor é um sistema aberto, de protocolo LoRaWAN® [22] e permite administrar um *gateway* apenas, com o máximo de 10 dispositivos terminais na versão livre, ver Figura 21. É possível ter acesso à uma versão mais robusta com mais funcionalidades, porém, são versões pagas e voltadas às pessoas jurídicas. Ele permite que os dados enviados pelos sensores para o *gateway* sejam enviados diretamente à nuvem do seu próprio sistema, para serem solicitados pelo usuário ou diretamente para o *software* de aplicação, sem armazená-los.

Apesar da promessa da LoRa® Alliance de que todo e qualquer equipamento com tecnologia LoRa® embarcada sejam compatíveis, para esta aplicação optou-se por utilizar dispositivos da mesma marca, para não haver dificuldades com configuração de software e hardware.

Figura 21 - Servidor de rede LORIoT em sua versão free, utilizado para administrar o gateway e dispositivos periféricos



Fonte: Disponível em <<https://www.lorIoT.io/>> Acesso em 19 de Julho de 2017.

Para a escolha do *gateway* que poderia ser utilizado neste projeto, foi levado em consideração a frequência de utilização do equipamento além da compatibilidade com LORIoT, onde a lista completa está disponível em [22]. Desta lista de 12 *gateways*, sete operam nos EUA, que é a frequência de referência para utilização no Brasil, visto que as bandas de frequência são similares. Por isso, o mais adequado para este projeto é o Multitech Conduit, na versão MTCDDT-H5-247A-US-EU-GB, que permite altas velocidades de comunicação móvel, Wifi, Bluetooth e ainda sistema global de navegação por satélite. Além das especificações já abordadas no capítulo, este *gateway* permite alterar os cartões chamados de mCards conforme sua comunicação auxiliar como USB, Serial, LoRa® e *Ethernet* [22], suporte às linguagens de programação C, C++, Python, Javascript, node.js, bash e possui alimentação à pilha de 9 à 32 V. Um kit seria também adquirido, o MTKIT-LORA®-915, onde inclui dois módulos de radiofrequência mDot, um mCard para comunicação LoRa®, uma placa de desenvolvimento LoRa® e duas antenas compatíveis com a legislação brasileira. Para este *gateway* ser utilizado neste projeto, é necessário encapsulamento IP67, caixa de plástico reforçado na qual protege o equipamento das condições adversas ambientais. Todos esses equipamentos podem ser visualizados na Figura 22.

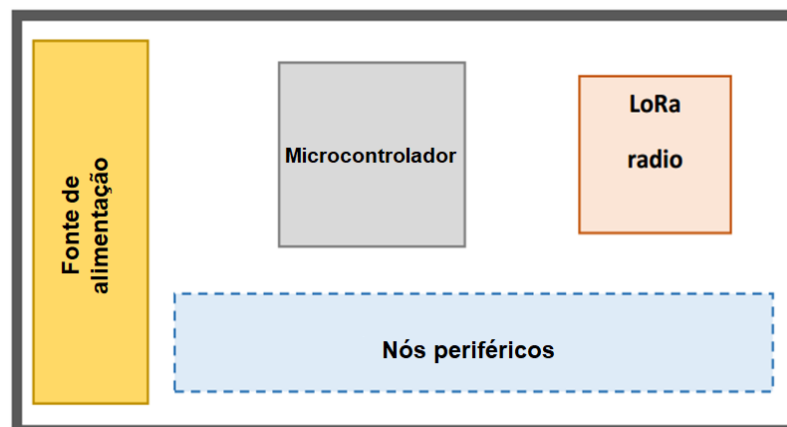
Figura 22 – Kit de equipamentos necessários para aplicação de rede LoRa® na agricultura



Fonte: <https://www.multitech.com/>

Os nós terminais a que se refere este trabalho, são o conjunto de sensor, unidade micro controlada (MCU), módulo de comunicação de radiofrequência associado para comunicação LoRa® e fonte de alimentação, Figura 23. Porém, estes já estão encapsulados nos módulos RF LoRa® mDot do kit anterior, facilitando o trabalho de instalação e programação.

Figura 23 – Esquema interno de hardware dos nós terminais LoRa®



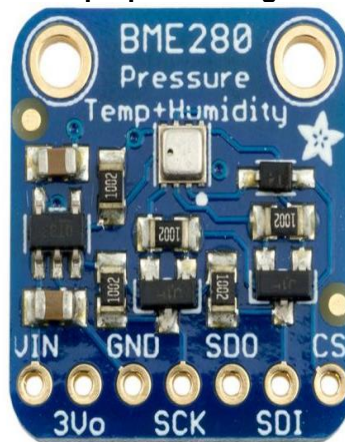
Fonte: Orange: Disponível em < <https://partner.orange.com/wp-content/uploads/2016/04/LoRa-Device-Developer-Guide-Orange.pdf> >. Acesso em 19 de Julho de 2017.

Os módulos para comunicação LoRa[®] utilizados seriam os mDots, como já citados, mas na versão MTDOT-915-X1P-SMA, Figura 16, por ser programável e aplicável na frequência de utilização da América Do Norte, compatível em partes com a do Brasil, sendo que seriam necessárias 5 unidades para medir as variáveis desta aplicação, portanto, três a mais do que as presentes no kit da Figura 22.

Um dos sensores compatíveis com os modems LoRa[®] mDots abrange todas as variáveis que serão medidas nesta aplicação (Temperatura, Umidade e Pressão). Portanto, apenas o BME280 será utilizado como sensor, ver Figura 24, por ser compacto e fácil de se utilizar. É possível aumentar a escala de sensoriamento se necessário, pois cada *gateway* tem a capacidade de administrar até 3500 mDots, mas a plataforma on-line deverá ser alterada se o número de dispositivos superar os dez como já mencionado.

Desta forma, com todos os equipamentos estipulados para se projetar um sistema de aquisição de dados, faz-se necessária sua implementação.

Figura 24 – Sensor BME280 que seria utilizado na aplicação em propriedade agrícola com rede LoRa[®]



Fonte: https://www.modmypi.com/image/cache/data/rpi-products/breakout-boards/adafruit/2652/DSC_0644-800x609.jpg. Acesso em 19 de Julho de 2017.

Como o circuito nó terminal seria composto por mDot, sensor, antena, pilha e cabos, este teria de ser colocado em caixas de plástico à prova d'água pois ficaria instalado ao relento, sujeito às constantes variações do ambiente.

Desta forma, com todos os equipamentos estipulados para se projetar um sistema de aquisição de dados, faz-se necessária sua implementação.

5.4 O PROJETO

Antes da instalação dos equipamentos, são necessárias algumas configurações.

5.4.1 Configuração Dos Dispositivos

Primeiramente o *gateway* deve ser configurado, portanto todos os acessórios devem ser anexados a ele. O mCard de comunicação LoRa[®] do kit, assim como as duas antenas. A configuração pode ser feita via comunicação *Ethernet* ou USB. É necessário configurar o IP de maneira a habilitar a comunicação remota, por isso, podem ser utilizados os programas *GNU Screen* ou *Putty* para habilitar o DHCP, e estipular um IP para o ponto de acesso de forma a realizar a comunicação com a rede. Após estipular o IP, é possível fazer upgrade do firmware, no qual está disponível no website da Multitech, desenvolvedora dos equipamentos utilizados neste trabalho. É necessário fazer *login* no website que se abre após colocar o IP do *gateway* no browser, e carregar o arquivo no qual foi feito o download, ver Figura 25.

Outras configurações básicas como máscara, DNS, hora e data, PPP do celular e etc, são necessárias para permitir que o *gateway* realize a comunicação com a rede e permita a comunicação LoRa[®]. Elas estão disponíveis em [46]. As configurações específicas do mCard para comunicação LoRa[®] no *gateway* também são realizadas fazendo *login* no browser com o IP estipulado. Após *login*, no campo LoRa[®] Network Server é possível configurar a frequência de utilização, o tamanho dos pacotes de dados, frequência de sub banda, o nome da rede, entre outras configurações mais avançadas. Como realizar essas configurações também estão disponíveis no site da Multitech.

Figura 25 – Tela de acesso às configurações do gateway Multitech Conduit utilizado neste estudo

The screenshot displays the Multitech Conduit configuration web interface. The page title is "MultiConnect® Conduit - Application Execution Platform" and the device model is "MTCDDT-H5-210A Firmware 1.0.25-Beta". The user is logged in as "admin".

The interface features a navigation menu on the left with the following options: Home, Save and Restart, Setup, Cellular, Firewall, Administration, Status & Logs, Commands, Apps, and Help.

The main content area is titled "Device Information" and contains the following data:

Gateway		Ethernet (eth0)	
Model Number	MTCDDT-H5-210A	Type	LAN
Serial Number	18062251	Mode	Static
IMEI	351579053396170	MAC Address	00:08:00:4A:01:26
Firmware	1.0.25-Beta	IP Address	192.168.2.1
Current Time	06/10/2015 23:44:10	Mask	255.255.255.0
Up Time	0:37:43	Gateway	
WAN Transport	None	DNS	Not Acquired
		DHCP State	Enabled
		Lease Range	192.168.2.100 - 192.168.2.254

Cellular (ppp0)		Accessory Card 1 (AP1)	
Mode	PPP	Model Number	MTAC-MFSER-DCE
State	Disabled	Serial Number	123451006
Signal		Hardware	MTAC-MFSER-0.0

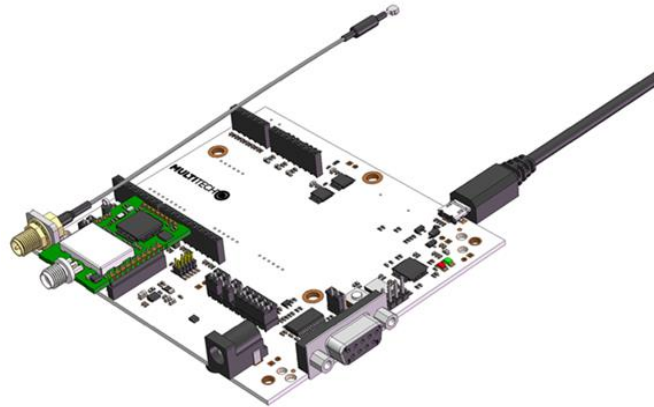
Accessory Card 2 (AP2)	
Model Number	MTAC-LORA-915
Serial Number	18122971
Hardware	MTAC-LORA-1.0

Copyright © 1995-2015 Multi-Tech Systems, Inc. All rights reserved.

Fonte: <http://www.multitech.net>

Para configuração dos nós terminais mDots e sensores, é necessário que estes sejam conectados à placa de desenvolvimento (UDK) contida no kit citado anteriormente. Este kit, permite programação dos dispositivos de RF da Figura 16, que seriam utilizados neste projeto. Portanto, após conexão dos mDots com a placa UDK via micro USB com o PC, ver Figura 26, o PC irá reconhecer automaticamente a placa. Deve ser feito o download do firmware para mDots, disponível no site da Multitech, e arrastado para dentro da pasta do mDots no PC. Para então configurá-lo na rede, pode ser usado o programa *TeraTerm*, e utilizar os comandos necessários (disponíveis em <http://www.multitech.net/developer/software/mdot-software/mdot-connecting-to-a-network/>.)

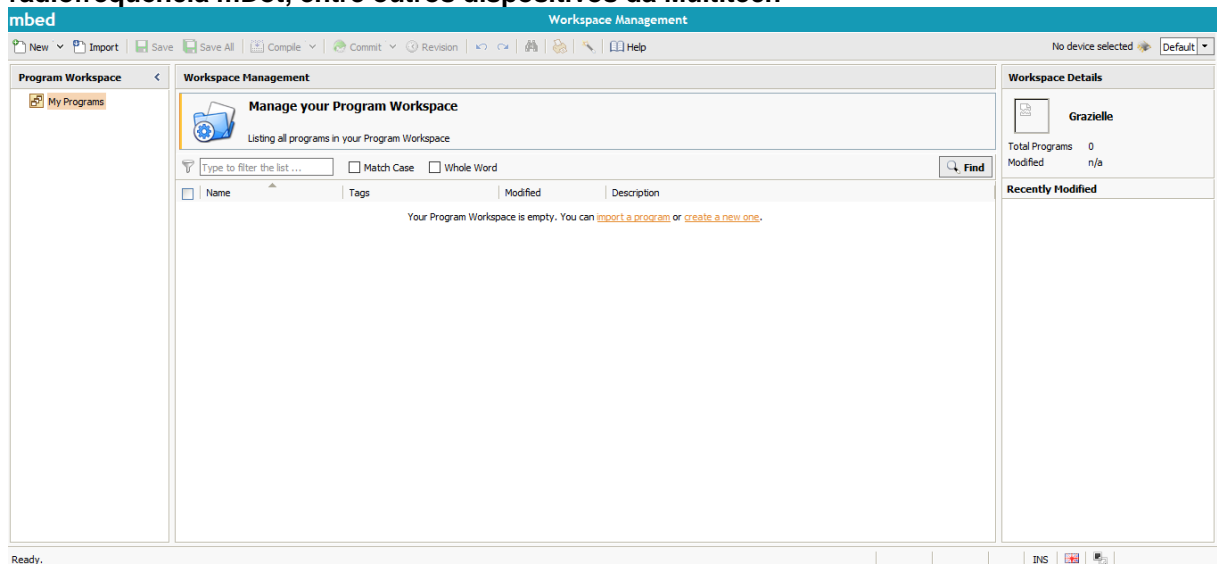
Figura 26 – Placa de desenvolvimento para redes LoRa presente no kit da figura 22. Seria utilizado para programação dos módulos de radiofrequência mDot



Fonte: Multitech: Disponível em < http://www.multitech.net/developer/wp-content/uploads/2015/06/UDK_2_USB_mDot.png>. Acesso em 19 de Julho de 2017.

A linguagem utilizada para programar os modems LoRa[®] é C/C++, e o programa pode ser compilado na plataforma *mbed* (Disponível em: <https://www.mbed.com/en/>) gratuitamente, Figura 27. Basta se cadastrar, fazer login e importar a tecnologia que está sendo utilizada. Várias placas de aquisição de dados de diferentes marcas são compatíveis com esta plataforma, basta selecioná-la.

Figura 27 - Plataforma de programação mbed, utilizada para programar os módulos de radiofrequência mDot, entre outros dispositivos da Multitech



Fonte: www.mbed.com

Após os hardwares estarem configurados, e se conectando à rede, o *software* LORIoT precisa ser instalado para onde os pacotes LoRa[®] possam ser enviados. O cadastro e *login* pode ser realizado gratuitamente, pois é uma plataforma livre como já dito anteriormente. Acessando o sistema, é necessário registrar o *gateway* utilizado, e

seguir os passos. A partir do status de “conectado”, é possível acessar o *gateway* pelo IP novamente, e verificar as mensagens que o *gateway* está lendo, para garantir que ao ligar, o *gateway* e o software estão se comunicando. Os modems também devem ser registrados à plataforma, de forma que os dados enviados pelos sensores sejam criptografados. A comunicação LoRa[®] possui um par de criptografias, que deve ser programado no firmware dos dispositivos. Para gerar esse par de criptografias, é necessário utilizar o LORIoT. Após esse passo, programar o software, importando o código já realizado na plataforma mbed.

A partir de todos os hardwares e softwares estarem em perfeita sintonia, faz-se necessária a instalação destes dispositivos em campo.

5.4.2 Instalação Dos Dispositivos Em Campo

A área de cultivo em Jeriquara é demasiadamente irregular como já dito, por isso é necessário que a estação base da rede que irá se implantar seja instalada na parte mais alta do campo. Neste caso, optou-se entre as regiões 2 e 3, colocar um mastro de aproximadamente 10 m de altura, e instalar a estação base MultiConnect Conduit IP67, os passos para instalação estão disponíveis em [45]. Os nós terminais, seriam instalados um em cada região da divisão da lavoura, a fim de se adquirirem dados de toda a área. Como seriam cinco nós terminais, estes ficariam dispostos no campo, conforme Figura 28. O computador central para aquisição dos dados ficaria localizado na região não numerada do mapa.

Figura 28 – Disposição dos nós sensores pela propriedade agrícola utilizando vista por satélite



Fonte: Adaptado do GoogleMaps

Levando em consideração que este estudo de projeto de sensoriamento agrícola não foi implementado, não foram gerados resultados. Por isso, foi realizado um estudo orçamentário baseado em projetos realizados com redes de sensores sem fio e outras tecnologias de comunicação sem fio aplicadas à agricultura.

5.4.3 Análise Orçamentária Prevista

Segundo (IEASSA, 2017), uma aplicação de sensoriamento remoto utilizando coleta de dados de GPS e condições geográficas locais, como temperatura e umidade relativa do ar, garantiram uma maior produção e redução de custos devido à eficiência na colheita e no uso de insumos (água e agrotóxicos). O estudo afirma que para cada hectare da propriedade na qual foram utilizados os sensores, houve um acréscimo no lucro da produção devido ao uso inteligente dos insumos, reduzindo o custo da produção em um valor que varia entre 3 a 5 US\$ por hectare. Além da redução de custos, o mapeamento da propriedade utilizando os sensores de GPS e construção de mapas de produção tornaram o processo agrícola mais eficiente, gerando um lucro de até 13US\$/hectare. Levando em consideração que a pesquisa realizada neste trabalho tem como foco apenas o sensoriamento das condições climáticas para tornar a produção mais eficiente por meio do uso inteligente de insumos, podemos extrapolar estes resultados para a propriedade aqui estudada, por se tratar também de uma monocultura em um clima que possui períodos longos de baixos índices pluviométricos, os quais exigem um uso inteligente dos insumos para eficiente produção, principalmente da água.

Utilizando-se destes dados, foi realizada uma estimativa de lucros para o projeto proposto neste trabalho. Para tal, foi considerado o valor cotado do dólar americano para conversão dos valores tal qual consultado na data 24/07/2017, o qual possui o valor de R\$ 3,1468. Considerando que o projeto tem como foco apenas o uso inteligente dos insumos, foi utilizada uma previsão de lucros ao utilizar-se da tecnologia de sensoriamento de aproximados de 4US\$/hectare por colheita. Realizando a conversão para Reais, temos que o lucro previsto é de R\$12,5872/hectare. A propriedade estudada possui 285 hectares de área ativa de plantio, totalizando um valor estimado de lucro de R\$ 3.587,35 por colheita.

Para uma previsão de custos de instalação da RSSF LoRaWAN® foi verificada a necessidade de instalação de uma estação de rádio base Multitech Conduit IP67, no

qual apenas o valor do *gateway* foi encontrado de R\$1480. Um kit MTKIT-LORA[®]-915, no valor de R\$1092. Mais três modems de rádio frequência LoRa[®] no valor de R\$95 cada, logo, R\$285. Cinco sensores BME280 no valor de R\$22, totalizando em R\$110. Cinco antenas para comunicação LoRa[®] no valor de R\$41 cada, num total de R\$205. E Cinco caixas para instalação dos sensores e modems R\$13 cada, num total de R\$65. Dessa forma, totalizando um custo em equipamentos de R\$3237. Teriam de ser levadas em consideração também a mão de obra e custos adicionais. Os valores dos custos inerentes à instalação do projeto e da previsão de lucratividade para 10 anos podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9 - Custos x Retorno previsto do investimento para 10 anos

Anos	Custo	Retorno Previsto	Lucro Previsto
1	R\$ 3.237,00	R\$3.587,35	R\$350,35
2	R\$ -	R\$3.587,35	R\$3.937,70
3	R\$ -	R\$3.587,35	R\$7.525,05
4	R\$ -	R\$3.587,35	R\$11.112,40
5	R\$ -	R\$3.587,35	R\$14.699,75
6	R\$ -	R\$3.587,35	R\$18.287,10
7	R\$ -	R\$3.587,35	R\$21.874,45
8	R\$ -	R\$3.587,35	R\$25.461,80
9	R\$ -	R\$3.587,35	R\$29.049,15
10	R\$ -	R\$3.587,35	R\$32.636,50
		Lucro total =	R\$164.934,25
		Lucratividade =	4% / colheita

Fonte: Autoria Própria

Essa tecnologia ainda dispõe de economia em se tratando de cabeamento. Estima-se que o custo médio de instalações na indústria nos EUA, por exemplo, é de R\$425 à R\$2128 por metro, onde a adoção da tecnologia RSSF teria uma economia de 20 à 80% neste custo. Porém, ainda podem ser obtidas economias no processo de controle de variáveis ambientais, trazendo ao operador conhecimento de sua própria instalação podendo tomar decisões relevantes ao processo e economizando em outros aspectos. As RSSF ainda são de fácil instalação e implantação de inúmeros sensores, pois, em sua maioria fornecem recursos de auto-organização, autoconfiguração, autodiagnóstico e autocorreção para os nós sensores [27]. Outra vantagem ainda para se utilizar RSSF é que a maioria dos sensores sem fio possui unidades de condicionamento e processamento de sinal instaladas na localização dos sensores e transmitem sinais na forma digital. Como resultado, o ruído torna-se um problema

menos significativo. Além disso, uma vez que os fios são excluídos da transmissão, a confiabilidade da transmissão do sinal é aprimorada [27].

O valor estimado para instalação desse projeto representa 0,48% do lucro médio em cada colheita da propriedade, logo vê-se um valor significativamente viável de ser investido para que gere mais lucros futuros. Mesmo que essa estimativa dobre, devido à cotação atrasada, ou investimentos não previstos, ainda assim representará uma porcentagem não muito significativa perto do lucro que poderá acarretar. Portanto, para estudos futuros, vê-se uma oportunidade de se implementar este projeto.

6 CONCLUSÃO

É notável a crescente afinidade entre as áreas do conhecimento voltadas à engenharia e biologia, a qual torna-se evidente nas aplicações técnicas envolvendo a agricultura. A Agricultura De Precisão é um exemplo desta afinidade, onde envolve conceitos e implementações tanto da eletrônica quanto da agronomia voltados ao crescimento tecnológico, econômico e sustentável da agropecuária.

No ramo das telecomunicações também há evolução, mas se comparada à indústria a diversidade de redes de comunicação na agricultura é muito mais restrita, convergindo para protocolos já aplicados ao redor do mundo. Uma opção que surge então, é de trazer para o campo tecnologias de redes que podem ser utilizadas tanto na cidade como na indústria e agricultura, e fazem parte do conceito de cidades e fazendas inteligentes, ou seja, englobando a Internet Das Coisas (IoT).

Em 2015 surgiu então a LoRa Alliance, uma aliança realizada entre empresas do mundo todo com o intuito de padronizar as redes de comunicação utilizadas na internet das coisas aplicada às redes de longo alcance, mas com baixo consumo de energia, que são as chamadas LPWAN. Desta forma, hoje existem várias empresas fabricando dispositivos para comunicação de radiofrequência com tecnologia LoRa® embarcada, e todas são compatíveis, permitindo que numa única rede se tenham vários dispositivos diferentes utilizando a mesma linguagem de comunicação.

LoRa® é a camada física utilizada pelo protocolo de comunicação LoRaWAN. Sua modulação utiliza a técnica *Chirp Spread Spectrum* que emite um sinal modulante *chirp*, que é variável em frequência e tempo, e o multiplica ao sinal de dados fazendo com que os dados sejam espalhados também em frequência e tempo. Isso faz com que a rede LoRa® alcance distâncias de 3 a 5 km nas cidades e até 15 km em regiões abertas como na agricultura além de aumentar a taxa de dados na transmissão do sinal. Um código ainda é adicionado ao sinal modulante para proteger o sinal de dados de interferências e decodificação indesejada. Por se aplicar em redes LPWAN, nas quais os dispositivos periféricos apenas enviam dados se forem solicitados ou pré configurados, o consumo de energia é mínimo, fazendo com que as baterias durem aproximadamente 10 anos. O protocolo LoRaWAN dá à rede LoRa configurações adicionais que a tornam uma rede robusta e confiável.

No mercado atual, apenas Sigfox e Weighthless estariam à altura de LoRaWAN por comparação, por terem alcance, velocidade de dados, aplicabilidade, consumo de energia, banda de frequência, topologia, segurança e custos similares. No Brasil atual, todavia, foi constatado que apenas Sigfox possui aplicações. Portanto, este é um indicativo de que as regulamentações brasileiras estão abrindo portas para entrada de novas tecnologias voltadas à IoT. A Anatel permite a utilização da banda de frequência ISM, exceto o range entre 907,5 e 915 MHz por ser reservado às aplicações multimídia. É vetado também a potência maior de 1 W para antenas com ganho até 6 dB, restringindo o tempo de permanência nos canais de até 400 milissegundos. A regulamentação brasileira ainda está sofrendo mudança para adequação na rede LoRa, porém, viu-se viável o estudo de projeto de RSSF no território nacional.

Foi realizado um estudo de aplicação da rede LoRa® em uma propriedade agrícola localizada no município de Jariquera, SP, na qual possui 285 hectares de extensão e tem como principal produto o café. Em 2015, devido aos baixos índices pluviométricos e de umidade do ar, houve um prejuízo estimado de R\$350.000,00. E conjuntamente com o produtor agrícola foi indicada a instalação de uma RSSF. As variáveis mais relevantes que seriam medidas são temperatura e umidade do ar e pressão atmosférica. Os dispositivos utilizados seriam todos da marca Multitech, a fim de evitar incompatibilidades e facilitar as configurações. Seriam utilizadas estações de rádio base, modems LoRa mDot, sensores BME280, além de antenas anexas, pilhas e caixas de plástico para inserção do circuito e instalação em meio a vegetação. O valor estimado para os equipamentos seria de R\$3237, mas não foram estimados valores para mão de obra e custos adicionais. Este valor representa apenas 0,48% do lucro da propriedade em cada colheita, portanto seria viável sua aplicabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABINC: Disponível em <<http://abinc.org.br/www/2017/06/26/anatel-muda-lei-para-aprovacao-de-redes-LoRaWAN/>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [2] ADELANTADO, F.; VILAJOSANA, X.; MARTINEZ, B. UNDERSTANDING THE LIMITS OF LORAWAN®: Disponível em <<https://arxiv.org/abs/1607.08011>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [3] ALBUQUERQUE, M. M. Rede de sensores para aplicação em agricultura : um estudo de caso. Porto Alegre, RS. 2009.
- [4] ANATEL: Disponível em <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2008/104-resolucao-506#art39>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [5] ANATEL: Disponível em <<http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalPaginaEspecial.do?acao=&codItemCanal=589&nomeVisao=Informa%E7%F5es%20T%E9cnicas&nomeCanal=Radiofrequ%EAncia&nomeItemCanal=Atribui%E7%E3o,%20Destina%E7%E3o%20e%20Distribui%E7%E3o%20de%20Faixas>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [6] ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, F. H. R., SHARP, T. C. Agricultura de Precisão. Botucatu, SP. 2006.
- [7] AUGUSTIN, Aloÿs et al. A Study of LoRa®: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things. Sensors, [s.l.], v. 16, n. 12, p.1466-1484, 9 set. 2016. MDPI AG.
- [8] BERNARDI, A. C. C. et al. Potencial de uso das tecnologias de agricultura e pecuária de precisão e automação. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2017.
- [9] BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V. et al. AGRICULTURA DE PRECISÃO: Resultados de um Novo Olhar. Embrapa, Brasília, DF. 2014.
- [10] BRASILARTIGOS: Disponível em <<https://brasil.rfidjournal.com/artigos/vision?10509/2>>. Acesso em 19 de Julho de 2017
- [11] CAPTA. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/cartas-de-servico/desenvolvimento-agropecuario-cooperativismo-e-associativismo-rural/agricultura-de-precisao>>. Acesso em 27 de Julho de 2017.
- [12] CLIMATE: Disponível em <<https://pt.climate-data.org/location/286913/>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [13] COELHO, J. P. C; SILVA, J. R. M. Inovação e Tecnologia na formação agrícola. Associação dos Jovens Agricultores de Portugal. Lisboa. 2009.

- [14] Connecting: Disponível em <http://connecting.io/product_info.php/geo-location-tracker-ed1608-p-54?osCsid=0ef38624bd8881d3fd722f770fcf207d>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [15] Crossbow Technology Inc.: Disponível em <<http://www.businesswire.com/news/home/20040518005605/en/Crossbow-Technology-leader-Smart-Dust-Smallest-Mote>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [16] D'AGOSTINI, R. R. Sistema de aquisição de dados geoposicionados apicado à medição da resistência ao corte do solo. Porto Alegre. 2005.
- [17] Disponível em <<http://www.multitech.net/developer/products/multiconnect-conduit-platform/accessory-cards/>> Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [18] Disponível em <<http://abinc.org.br/www/2017/06/26/anatel-muda-lei-para-aprovacao-de-redes-LoRaWAN/>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [19] Disponível em <<http://internetdascoisasbrasil.net/www/wp-content/uploads/2016/12/Relat%C3%B3rio-GT-Redes-LPWANs-vers%C3%A3o-1.0.pdf>>. Acesso em 22 de Julho de 2017.
- [20] Disponível em <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2008/104-resolucao-506#art39>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [21] Disponível em <<https://pt.climate-data.org/location/286913/>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [22] Disponível em <<https://www.lorloT.io/>> Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [23] DORNAN, A. Wireless Communication: o guia essencial de comunicação sem fio. Editora Campus, Rio de Janeiro. 2001.
- [24] FOROUZAN, B. A. Comunicação de dados e redes de computadores. 4. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2007. 1134p.
- [25] FRANÇA, Guilherme Augusto Toledo. Estudo e especificação de um sistema de telemetria usando a tecnologia Spread spectrum. 1997. 82f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, SP. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000133246>>. Acesso em: 21 mar. 2017.
- [26] GOMES, R. D.; SPOHN, M. A. Estudo Experimental da Utilização Espectral na Banda ISM de 2.4 GHz. 9º Simpósio de Tecnologias de Informação e Telecomunicação (UNIRIO), Rio de Janeiro. p. 1 a 8, Universidade Federal de Campina Grande (Brasil), 2010.
- [27] HWANG, J.; SHIN, C.; YOE, H. Study on an Agricultural Environment Monitoring Server System using Wireless Sensor Networks. Sensors, [s.l.], v. 10, n. 12, p.11189-11211, 8 dez. 2010. MDPI AG.

- [28] Internetdascoisas: Disponível em <<http://internetdascoisasbrasil.net/www/wp-content/uploads/2016/12/Relat%C3%B3rio-GT-Redes-LPWANs-vers%C3%A3o-1.0.pdf>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [29] LoRa® Alliance. Disponível em <<https://www.LoRa®-alliance.org/membership-benefits>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [30] LoRa® Alliance. Disponível em <http://portal.LoRa®-alliance.org/DesktopModules/Inventures_Document/FileDownload.aspx?ContentID=1643>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [31] LoRa® Alliance. Disponível em <<https://www.LoRa®-alliance.org/Products/Certified-Products>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [32] LoRa® Alliance. Disponível em <<https://www.LoRa®-alliance.org/The-Alliance/About-the-Alliance>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [33] LoRa® Alliance. Disponível em <<https://www.LoRa®-alliance.org/What-Is-LoRa®/LoRaWAN®-White-Papers>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [34] LoRa® Alliance. Disponível em <<https://www.LoRa®-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/LoRa®-Alliance-Whitepaper-LPWA-Technologies.pdf>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [35] Lorient. Disponível em <<https://www.lorient.io/>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [36] Lorient: Disponível em <<https://www.lorIoT.io/modems.html>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [37] LPWANMARKET: Disponível em <<https://www.LoRa®-alliance.org/Products/Certified-Products>> Acesso em 16 de Julho de 2017.
- [38] Manthink: Disponível em <www.manthink.cn/uploads/2016/05/261547538670.pdf>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [39] MANTOVANI, E. C.; MAGDALENA, C. Manual de Agricultura de precisión. Procisur. 2014.
- [40] Modm: Disponível em <https://www.modmypi.com/image/cache/data/rpi-products/breakout-boards/adafruit/2652/DSC_0644-800x609.jpg>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [41] MOLIN, J. P. Agricultura de precisión: Situação atual e perspectivas. ESALQ/USP. Piracicaba, SP. 2016.)
- [42] Multitech: Disponível em <http://www.multitech.net/developer/wp-content/uploads/2015/06/UDK_2_USB_mDot.png>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [43] Multitech: Disponível em <https://www.multitech.com/documents/media/images/products/multiconnect/conduit/mdot/mt_md_dot_family_642px.png>. Acesso em 19 de Julho de 2017.

- [44] Multitech: Disponível em <<https://www.multitech.com/documents/publications/data-sheets/86002170.pdf>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [45] Multitech: Disponível em <http://www.multitech.net/developer/wp-content/uploads/2016/05/IP67_BaseStation_Accessory_Kit_Installation_Guide2.pdf>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [46] Orange: Disponível em <<https://partner.orange.com/wp-content/uploads/2016/04/LoRa-Device-Developer-Guide-Orange.pdf>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [47] Pycom: Disponível em <<https://pycom.io/product/lopy/>>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [48] ROCCIA, C. J. Avaliação de Redes de Sensores sem Fio Aplicadas a Cultivos de Milho, Eucalipto e Pinhão. Dissertação (Mestrado em Mestrado em Tecnologia) - Universidade Estadual de Campinas, . 2011.
- [49] SANCHEZ-IBORRA, Ramon; CANO, Maria-dolores. State of the Art in LP-WAN Solutions for Industrial IoT Services. *Sensors*, [s.l.], v. 16, n. 5, p.708-722, 17 maio 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s16050708>.
- [50] Semtech. Disponível em <http://www.semtech.com/wireless-rf/internet-of-things/downloads/Semtech_Agr_PrecisionFarming_AppBrief-FINAL.pdf>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [51] Semtech: Disponível em <<http://www.semtech.com/images/datasheet/an1200.22.pdf>> Acesso em 16 de Julho de 2017.
- [52] Semtech: Disponível em <http://www.semtech.com/images/datasheet/sx1276_77_78_79.pdf> Acesso em 8 de Setembro de 2006.
- [53] Semtech: Disponível em <https://www.semtech.com/images/promo/FCC_Part15_regulations_Semtech.pdf>. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- [54] SILVA, M. A. Rede de sensores para aplicação em agricultura : um estudo de caso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. 2009
- [55] TERUEL, B.; ALVES, E. C. S. et al. Desempenho de rede de sensores sem fio em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.16, n.12, p.1374–1380. Campina Grande, PB. 2012.
- [56] Vegetation control: Disponível em <<http://ieassa.org/en/vegetation-control-profitable-investment/>> Acesso em 27/07/2017.