

Revisão sistemática da literatura sobre aplicações das tecnologias LoRa e LoRaWAN

Lucas R. de Oliveira, Arlindo F. da Conceição e Lauro P. S. Neto

Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT)

Universidade Federal de São Paulo

São José dos Campos, Brazil

{restivo.lucas, arlindo.conceicao, lauro.paulo}@unifesp.br

Resumo—Este trabalho apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre os casos de aplicação das tecnologias LoRa e LoRaWAN em soluções para Internet das Coisas. Foram selecionados 108 artigos e dentre estes foram analisados 48 casos de aplicação. A revisão apresenta as características básicas dos protocolos (alcance, taxa de transmissão, tamanho de pacotes, etc.) e temas abordados pelos artigos revisados, tais como: alcance real, cenários de aplicação no contexto de cidades inteligentes, utilização para localização de nós móveis e equipamentos utilizados na montagem dos projetos. Por fim, foi possível quantificar as aplicações reais de LoRa e de LoRaWAN e analisar as dificuldades e a viabilidade dos projetos.

Index Terms—LoRa, LoRaWAN, IoT, sensor

I. INTRODUÇÃO

O conceito de Internet das Coisas (IoT ou, *Internet of Things*) existe desde 1985 e pode ser definido como a integração de pessoas, processos e tecnologia com dispositivos e sensores conectados capazes de monitorar remotamente e manipular tais dispositivos [8]. No entanto, foi somente nos últimos anos que o *hardware* se tornou barato o suficiente para possibilitar a implementação prática de IoT, principalmente devido ao desenvolvimento de plataformas embarcadas como Arduino e Raspberry.

De acordo com os possíveis alcances de transmissão, os protocolos de comunicação sem fio podem ser classificados em duas categorias: curto alcance (Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, etc.) e longo alcance (LoRa, Sigfox, RPMA, Weightless, etc.) [50]. No caso de transmissões de curto alcance como o Wi-Fi, há transferência de dados de até 1.3 Gbps mas que só atinge 92 m de alcance [8]. BLE (*Bluetooth Low Energy*) tem boa performance de bateria, mas possui taxa de transmissão de apenas 2 Mbps. O Zigbee possui restrições em termos de mobilidade e sensibilidade a ruído. LoRa e as outras tecnologias de longo alcance atingem distâncias extensas e com baixo consumo de energia, mas com velocidade de transmissão reduzida, colocando-se como uma alternativa bastante apropriada para aplicações de IoT.

Esta revisão sistemática busca evidenciar o potencial de uso de LoRa e de LoRaWAN em cenários reais de aplicações para Internet das Coisas. Para isso, a Seção II apresenta as

características gerais da tecnologia. A Seção III apresenta a metodologia de revisão sistemática utilizada neste trabalho. Na Seção IV são sintetizados os artigos no tocante a respectiva aplicação. Por fim, a Seção V conclui o estudo e são propostos trabalhos futuros.

II. PROTOCOLOS LORA E LORAWAN

LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) é um tipo de comunicação sem fio de baixo consumo de energia, baixo custo, vasta área de cobertura e baixa taxa de transferência de dados que foi projetada para atender a crescente demanda de equipamentos IoT [46].

Um dos exemplos de tecnologias aderentes ao LPWAN é o LoRa (*Long Range*, ou longo alcance) [52], uma técnica de modulação em camada física baseada em *Chirp Spread Spectrum* e patenteada pela empresa francesa Semtech [14], [35]–[37], que pode ser utilizada no espectro de radiofrequência não-licenciado para a transmissão de dados, incluindo a banda ISM e a banda U-NII [54] [59]. A proposta do LoRa é possibilitar uma tecnologia de comunicação sem fio que atenda as premissas do LPWAN a um baixo custo de implementação e viabilizar por intermédio de um padrão de comunicação denominado LoRaWAN a interligação de diversos dispositivos separados por uma longa distância sem a necessidades de complexos sistemas transmissores e receptores.

O LoRaWAN é uma estruturação de dados convergente ao LPWAN que define os protocolos de rede e a arquitetura do sistema por especificações padronizadas pela LoRa Alliance [3], uma sociedade formada inicialmente por membros da indústria e que possui como objetivo aprimorar e definir as características do LoRaWAN.

A Figura 1 apresenta a organização em camadas de LoRaWAN. No nível superior estão as aplicações, que por meio de APIs específicas farão uso da comunicação LoRa. A arquitetura e a especificação de LoRa e de LoRaWAN podem ser encontradas em [14], [35]–[37]. É válido destacar também que cada região possui especificações próprias e que o Brasil tende a usar a americana ou australiana, apesar das diferenças de faixa.

No que diz respeito às configurações de transmissão do LoRa, o SF (*Spreading Factor*, ou fator de espalhamento espectral) é uma variável configurada em *firmware* entre valores inteiros de 7 a 12. O SF altera a modulação da informação a

Esta pesquisa foi realizada no contexto do INCT Internet do Futuro para Cidades Inteligentes (<http://interscity.org>), suportado pelo CNPq, proc. 465446/2014-0, CAPES proc. 88887.136422/2017-00 e FAPESP, proc. 2014/50937-1.

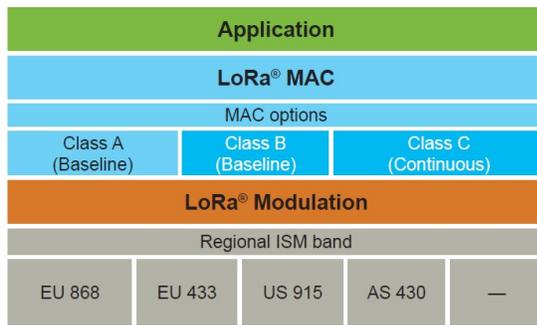


Figura 1. Camadas do protocolo LoRaWAN [38].

ser transmitida de acordo com as necessidades de cada projeto de aplicação.

Utilizar o mesmo SF para o mesmo canal, contudo, pode provocar colisões de pacotes, mas diferentes SF para o mesmo canal não apresentam problemas devido a imunidade a interferências característica da tecnologia. Assim, os ajustes de SF têm consequência diretas em dois quesitos: tempo no ar e alcance [4]. Além disso, a configuração de SF influencia também no *payload* máximo. Em LoRaWAN é possível transmitir até 242 B com SF7 (maior agregação de bits em cada pacote) e 51 B com SF12 (menor agregação de bits em cada pacote) [20], principalmente devido às restrições de *duty cycle* empregada.

III. METODOLOGIA E PROCESSO DE PESQUISA

A metodologia adotada foi baseada na seleção de artigos que respondem às questões de pesquisas enumeradas abaixo e que permite avaliar qualitativamente os estudos de acordo com cada ramo de aplicação [31]. A Figura 2 mostra o fluxo do processo de pesquisa desta revisão sistemática. Inicialmente, na Fase 1 as bases de dados IEEE Xplore Digital Library [26], ACM Digital Library [1], Springer Link [53] e ScienceDirect [51] foram utilizadas com as palavras chaves *LoRaWAN*, *LoRa*, *LPWAN*, *IoT* e *sensor* sob método de busca de agregação de palavras chaves com o conector AND. Na Fase 2 foram contemplados os resultados que mostraram adequação ao tema pelo título ou *abstract*. Na Fase 3, a triagem primária foi realizada para estudo aprofundado dos artigos que na Fase 4 foram reclassificados por critérios de exclusão. Os trabalhos que atenderam todos os requisitos integram a Fase 5.

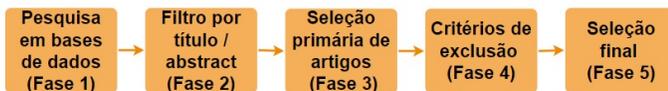


Figura 2. Fluxograma da metodologia de pesquisa

Referente aos critérios de exclusão de artigos da Fase 4, constata-se que devem ser avaliados artigos escritos em inglês; filtrados os trabalhos publicados após 2015 (ano em que foi lançada a versão 1.0 de LoRa); identificadas as abordagens que usufruem do LoRa de maneira aplicada, teórica ou experimental; e, por fim, selecionados os trabalhos que estão em redundância nas bases de dados de acordo com o renome

dos eventos ou das revistas e conferências da área de IoT, sensoriamento remoto e computação, nas quais o estudo foi divulgado.

Conforme a Tabela I, os artigos foram selecionados e separados em três grupos: Aplicação, Teórico e Experimental. Assim, o grupo dos artigos de Aplicação contemplaram todos os casos nos quais LoRa auxiliou na solução de alguma situação real. O grupo Teórico foi formado por aqueles que estudaram com mais profundidade temas inerentes ao LoRa, sem realizar atividades de implementação em campo. O grupo dos casos Experimentais foi composto por artigos que realizaram testes com LoRa, mas também não vislumbraram aplicação prática.

O presente trabalho focará nos artigos do primeiro grupo.

Tabela I
NÚMERO DE ARTIGOS POR BASE DE DADOS

Tipo de Trabalho	IEEE Xplore	ACM	Science Direct	Springer Link	Total
Aplicação	35	4	4	4	47
Teórico	51	4	9	7	71
Experimental	22	3	2	2	29
Total	108	11	15	13	147

A relação de quantidade de trabalhos publicados por país pode ser vista na Tabela II. Vale destacar que alguns trabalhos foram desenvolvidos em parcerias entre Universidades de diferentes países e por isso foram classificados como trabalhos em parceria.

Tabela II
PAÍS DE ORIGEM DE PUBLICAÇÕES E QUANTIDADE DE ARTIGOS

Local	Qtd.	Local	Qtd.
Alemanha/Tunísia [40]	1	França [41] [57] [39]	3
Argélia/Bélgica/Maroccos [40]	1	Grécia [62]	1
Argentina [24]	1	Holanda [6]	1
Austrália [47]	1	Índia [27] [49] [23]	3
Austrália/Rússia [18]	1	Inglaterra [8]	1
Bélgica [33]	1	Itália [20] [56] [10]	3
Brasil [7] [21] [12]	3	Itália/Suécia [48]	1
Bulgária [44]	1	Itália/Turquia [11]	1
Cazaquistão/Rússia [55]	1	Malásia [42] [5]	2
China/Inglaterra [61]	1	Marrocos [29]	1
Coreia do Sul [28] [43]	2	Romênia [4]	1
Dinamarca [19]	1	Sérvia/Eslovênia [32]	1
Escócia [60]	1	Taiilândia [58] [50]	2
EUA [15]	1	Taiwan [34] [13] [30]	3
EUA/Finlândia [25]	1	Turquia [22]	1
EUA/Portugal [17]	1	Uruguai [9]	1
Finlândia [46] [45]	2	Total	47

A. Questões de pesquisa

As questões de pesquisa foram selecionadas buscando a melhor compreensão da tecnologia visando os principais propósitos para os quais LoRa se destina e as respectivas situações que estimulam a pesquisa e o desenvolvimento nesta área. Foram formuladas três questões para atingir tais objetivos:

- 1) Quais as principais características da tecnologia LoRa?
- 2) Quais os maiores ramos de aplicação nos quais LoRa e LoRaWAN estão sendo utilizados?
- 3) Quais os principais desafios que o LoRa encontra hoje?

IV. ANÁLISE DE RESULTADOS

A. Quais as principais características da tecnologia LoRa?

Alguns trabalhos determinaram analogias entre LoRa e LoRaWAN com o modelo de rede de computador da camada OSI. O LoRa integra a camada física enquanto que o LoRaWAN a camada de rede, se vista pelo modelo OSI. Em Bucareste, Romênia [4], foram prototipados os próprios *hardwares* e assim pôde-se validar as distâncias máximas de transmissão alcançadas usando-se LoRa em diferentes pontos da cidade. Também foi conferido que utilizando uma placa de desenvolvimento STM32 (Cortex-M4 com um módulo SX1272) e uma *shield* de fabricação própria, SF7, CR (*Coding Rate*) 4/8, obteve-se um alcance de 4.3 km em área urbana e 9.7 km em zona rural com a antena do *Gateway* (GW) posicionada em locais altos. Além disso, foi informado que um Arduino não teria capacidade de operar como um GW real devido a só possuir 2 kB de SRAM.

Nos estudos feitos em Lisboa, Portugal e Pitsburgo, EUA [17] verificou-se também por um protótipo próprio (OpenChirp) tal analogia com a camada OSI. Segundo os autores, as camadas 1 e 2 (Física e Enlace) correspondem ao LoRa e as camadas 3 e 4, o LoRaWAN (Rede e Transporte). OpenChirp seria análogo às camadas 5, 6 e 7 da OSI (Sessão, Apresentação e Aplicação), isto é, constituído com o LoRa e LoRaWAN, Open Chirp tem autonomia para agregar a meta-informação e serviços como interface web e armazenamento aos pacotes de 8 B recebidos.

Além destas analogias, em Bangkok, Tailândia [58] foi esclarecido as Classes nas quais os equipamentos com LoRa se enquadram, isto é, o rotulamento de equipamentos LoRa de acordo com as necessidades de aplicação:

- **Classe A:** Destinada para sensores, são os dispositivos finais bidirecionais com *downlink* seguido por *uplink* e melhor aproveitamento da bateria, sofrendo com mais latência.
- **Classe B:** Destinada para sensores com atuadores, são os dispositivos de extremidade bidirecionais com *slots* de transmissão programados para *downlink*.
- **Classe C:** Destinada para dispositivos alimentados que precisam de baixa latência mas com eficiência de bateria reduzida, são bidirecionais e sempre ativos.

O desempenho que o LoRaWAN consegue obter está entre 0.3 kbps e 50 kbps de taxa máxima para transferência de dados, considerando as diferentes configurações de fator de espalhamento para 915 MHz e o número de 64 canais para *uplink* e *downlink*, que podem ser desativados se não estiverem em uso.

O tempo de duração da bateria para um sistema autônomo pode permanecer ativo por 10 anos, com sensibilidade entre o nó sensor e nó receptor de até -136 dBm, utilizando larguras

de banda de 125, 250 e 500 kHz, sem limitação de transferência de pacotes e integrado a servidores em nuvem para quantificação dos dados enviados [34]. O alcance esperado é de 5 km para as áreas urbanas, 14 km para rurais ou sem obstáculos significativos [2], e 30 km na superfície da água [45].

B. Quais os maiores ramos de aplicação em que LoRa e LoRaWAN estão sendo utilizados?

Conforme detalhado a seguir, há diversas aplicações para a tecnologia LoRa que atualmente são empregadas.

1) Aplicações em Smart Cities:

O GPS é a tecnologia mais utilizada para rastreamento de veículos. Hoje em dia, há ônibus com GPS para rastreamento e coleta de dados de trânsito e outras variáveis. Redes de celular são utilizadas também, mas a tecnologia GPS não é a mais apropriada para este tipo de atividade, uma vez que se utiliza em média 70 mA para rastreamento enquanto que o LoRa pode ser otimizado para consumir bem menos que isso.

Na Índia [27], alguns ônibus são equipados com um Tx e os pontos de ônibus com Rx (transdutores nRF24L01 integrados a PIC18F e ESP8266). Logo, quando o ônibus chega no ponto, é feita a transmissão Tx-Rx e um módulo LoRa localizado no ponto de ônibus pode transmitir para um GW a 4 km as informações de localização. Neste tipo de controle, é possível visualizar a última parada de cada ônibus e seu respectivo tempo de parada, entre outras informações.

Na Argentina [24], Córdoba e Buenos Aires são cidades que já tem redes LoRa implementadas com nós feitos de BeagleBone Black, GPS e módulo LoRa. Já o GW, um Multitech MultiConnect Conduit interconectado com o servidor de rede The Things Network. O bom alcance obtido de 5 km em áreas urbanas em ambas as cidades permite concluir que a Beaglebone Black pode ser usada como dispositivo de IoT, porém com consumo relativamente alto (500 mA durante os testes).

Na Coreia do Sul, uma rede que atinge 99% da população está sendo desenvolvida utilizando LoRaWAN, enquanto que Amsterdam, Holanda, foi completamente coberta com 10 GWs [8] [6]. Londres e redondezas, Inglaterra, já são inteiramente cobertas pela rede [61]. Neste estudo é comprovada a eficiência do protocolo para auxiliar no monitoramento da qualidade do ar e congestionamento urbano. Além disso, constatou-se que a autonomia da bateria diminui com o aumento do pacote. O sistema LoRa é confiável pois obteve-se *throughput* médio de 405.5 bps para a área central e 269.2 bps para a área mais afastada. O custo total do projeto de 11681 nós e 47 GWs superou um milhão de libras para um retorno financeiro em até 7 anos. Este valor foi justificado principalmente pelos custos de instalação, manutenção e aluguel de infraestrutura local, que correspondem a 90% do investimento.

Em São Petersburgo, Rússia, foram desenvolvidas aplicações para gerenciamento de lixo por meio do LoRaWAN. Neste caso, constatou-se, utilizando Arduino e Raspberry Pi, que 1 kbps é o suficiente para conectar sensores de volume

em lixeiras públicas a caminhões de lixo e aterros ou fábricas de reciclagem, possibilitando a visualização dos dados em servidores via Node-Red e NodeJS para aplicações [18].

Ainda no segmento *Smart City*, utilizou-se em Selangor, Malásia, um sensor magnético GY-271, Seeeduno LoRaWAN com GPS para o nó e um Dragino Lora-GPSHAT com Raspberry Pi 3 para GW com o objetivo de aperfeiçoar o monitoramento de tráfego em áreas urbanas mais densas da Malásia, em que há fluxos de veículos intensos e, assim, possibilita o gerenciamento de passagem de veículos nos locais propostos. O servidor em nuvem utilizado foi o Digital Ocean e Grafana para visualização de dados [42].

Com um *hardware* similar, exceto pelo sensor magnético HMC5883L, se buscou implementar também em Selangor um sistema de controle de vagas em estacionamentos com o auxílio do LoRaWAN, em que as vagas livres são detectadas pelo sensor e informadas a um banco de dados central. Tais projetos são consideravelmente baratos tendo em vista os componentes que os integram [5] [28].

Há trabalhos também relacionados a implementações urbanas do LoRa que foram desenvolvidos focados em atividades empresariais, isto é, uso de IoT em prédios e ambientes de escritório.

Em Estrasburgo, França, foi detalhado o funcionamento de uma transmissão LoRa no ambiente urbano e mostra que o consumo não chega a 40 mA utilizando um Raspberry Pi 2 com IMST IC880A no GW e com RN2483 nos nós. Nestes testes foi definido o envio de um pacote de 17 B, sendo 4 B de informação útil e 13 B de outros dados (cabeçalho e MIC), além de estabelecida potência de 14 dBm para suprir a necessidade de transmissão dos dados [41].

Em Melbourne, Austrália [47], em um Centro Empresarial, obteve-se eficiência de 200 m em alcance para transmissões sem perdas de pacote e mostrou-se que em 600 m já não se recebia nenhum pacote. Aqui foi utilizada uma antena omnidirecional BY-915-06-03 localizada 40 m acima do solo para GW (MultiConnect Conduit - Multitech), 11 B de pacote e transmissão de 1 pacote a cada 30 s.

Em Glasgow, Escócia, um estudo genérico foi feito utilizando Kerlink como GW e como nó um Raspberry Pi com um Multitech mDot, alimentado por um FTDI USB 5V, com o objetivo de testar o uso do LoRa em um cenário urbano para enviar dados via um nó móvel para um GW localizado em posições favoráveis a transmissões. Os resultados foram de 1.9 km de alcance, com taxas de 42% de aproveitamento, e com dois GWs, a taxa subiu para 70%. Algumas falhas de recebimento foram associadas à transmissão GW-server e não pelo LoRAWAN. A topografia do local do teste também atrapalhou nos resultados [60].

Em Tainan, Taiwan, mostrou-se a usabilidade do LoRa para criar um sistema de monitoramento de condições veiculares implementando sensores em locais específicos de veículos para se obter dados e transmitir a um GW próximo. Um Arduino foi conectado a OBD-II via UART para obter os dados de algum componente do veículo, como motor ou freios. Um módulo LoRa Gemtek envia os dados ao receptor GW (nó

e GW Gemtek) e então os pacotes são transmitidos para a plataforma de nuvem por MQTT, que usam TCP/IP para conexão com internet. Apesar de não poder transmitir grandes quantidades de informações, foi comprovado que um sistema de monitoramento de condições veiculares pode ser feito com o LoRa [13].

Este trabalho pode ser integrado ao desenvolvido em Marraquexe, Marrocos [29], em que é apresentado um sistema capaz de implementar uma câmera na aba corta-vento dos veículos, detectando, assim, se um motorista dormiu ao dirigir, caso em que será alertado, entre outras funções de controle para o veículo e de percepções. A comunicação com um banco de dados é feito pelo LoRa e o protótipo foi desenvolvido com um Raspberry Pi e uma câmera RPi.

Sobre o controle de poluentes urbanos, em Nova York, EUA [15] empregou-se LoRa para criar um dispositivo que monitore o ar em diferentes bairros, espalhando a rede de sensores por tais locais e criando a comunicação com o servidor de dados. Este trabalho mostrou que a poluição do ar pode causar problemas cardíacos, respiratórios, de fertilidade, nos rins e identificar riscos ambientais em regiões específicas. Foi utilizado um processador Cortex ARM-M0 e bateria de 1000 mAh e o servidor de dados foi implementado no Amazon Web Services. Com base neste experimento, os autores puderam constatar que existem diversos tipos de poluição no ar em diferentes bairros.

2) Aplicações em Smart Grids:

Para soluções LoRa com *Smart Grid*, em Santa Maria, Brasil buscou-se uma implementação teórica, em área rural, de 130 nós utilizando LoRaWAN ajustando o ganho de antenas para cobrir todo o cenário de nós e o tempo de recebimento de pacotes, com o objetivo de mostrar a boa eficiência do protocolo com aplicabilidade em *Smart Grid* para estes locais. Um medidor *smart* de energia é constituído da não necessidade de interferência humana para validação de consumo, transmitindo dados a cada tempo pré-determinado para uma central de controle. Atualmente existem opções para monitoramento de *smart grids* com redes RF mesh sub-G com taxa de dados máxima de 10-100 kbps, o que é muito eficaz em termos de extensão e alcance, mas comprometido em latência. Neste caso os autores frisaram nos preceitos de modulação por Chirps. Sobre isso, um dos itens relevantes abordados foi o fato de que se houver transmissão na mesma frequência e no mesmo SF, pode haver decodificação se a diferença entre os dois sinais for de no mínimo 6 dB. Também foi especificado que a regulamentação pertinente ao local dos testes para EIRP, isto é, o produto da potência do transmissor e o ganho da antena, é de 36 dBm com a observação de que um transdutor comercial LoRa SX1276 utiliza de até +20 dBm e possui uma sensibilidade de -137 dBm para 125 kHz e SF12 [7].

Os estudos desenvolvidos em Campinas, Brasil, também foram dedicados às aplicações de *Smart Grid*, em que os autores avaliaram se o LoRaWAN está apto a suprir as necessidades de sensoriamento remoto neste campo comparando duas tecnologias, Mesh RF e LoRaWAN. Foi mostrado que

um sistema com LoRaWAN custa 5 vezes menos que um sistema RF mesh, além do LoRa conseguir agregar até 150000 dispositivos em um GW. Como resultado, afirma-se que apesar de as duas tecnologias serem relativamente recentes (Mesh RF 2012 e LoRa 2015), é indicado para novos investimentos o uso de LoRa em vez de Mesh RF [21].

Em Gante, Bélgica [33], o controle de temperatura em componentes relacionados a linhas de transmissão de energia pôde ser feito com o LoRa utilizando um SX1276, componente do módulo comercial RFM95. Um termostato conectado ao circuito de análise do *Smart Grid* sofre alternâncias de valores ao longo do dia e dependendo da temperatura auferida, a corrente no termostato é alterada. Logo, é possível identificar se este valor de corrente está dentro dos limites estabelecidos ou não e, por fim, acionar elementos de controle. Este serviço pode agregar utilidade para cidades inteligentes [22].

Em Meylan, França, mostrou-se o uso do LoRaWAN com medidores de energia elétrica implementando nós e GWs em Paris e analisando os alcances máximos. Ao todo 19 GWs separados por 1 km uns dos outros foram posicionados e, neste cenário, 17 km^2 foram cobertas utilizando pacotes de 11 B. Os autores frisaram, contudo, que como LoRa pode ser adaptada para usos em ambientes urbanos, a questão do *duty cycle* é puramente legal e não uma impossibilidade em transmissão, por isso ela pode ou não ser respeitada. Também foi informada que a sensibilidade da antena varia conforme o SF, sendo o mínimo SF7 em -124 dBm e o máximo, SF12, -137 dBm, além de que se dois pacotes são recebidos simultaneamente por um GW, vindos cada um de um nó com o mesmo SF e mesma frequência, o pacote com maior potência será decodificado se ele possuir 6 dB maior que o outro pacote [57].

3) Aplicações em Smart Farms:

As aplicações LoRa para *Smart Farm* também são comuns. Em Campinas, Brasil, se estudou informações precisas de cobertura de área rural sob diferentes alturas de posicionamento do GW. Utilizou-se um sistema de comunicação nó-GW-servidor com LoRaWAN (nó-GW) e LTE, *Long Term Evolution* (GW-servidor), para validar a melhor forma de comunicação em certas distâncias em dois casos específicos: GW posicionado fixamente e GW aéreo (drones) em movimento. Os resultados mostraram que para um raio igual a 45 km e uma altura do GW aéreo igual a 50 m, o ganho de usar esses GWs é igual a 2 vezes a cobertura do que usando uma solução terrestre [12].

Plantações podem ser monitoradas com LoRa, como foi verificado em Torino, Itália [56]. Na zona rural, tem sido implementadas redes BLE e ZigBee para monitoramento, mas essas soluções possuem pouco alcance. Já as redes celulares tem maior alcance, porém precisam de painéis solares para alimentar os módulos e dependem, ainda, da disponibilidade do sistema de celular. Utilizado um módulo Ra-02 (baseado em SX1278), que se comunica com um Atmega328P, foi prototipada uma PCB para o nó sensor e outra PCB para o nó GW com o intuito de transmitir pacotes de dados de 9 B para 1000 nós no monitoramento desses nós em relação ao

consumo de água de uma aplicação com irrigação para plantas por técnica de gotejamento. Além dos objetivos alcançados, a durabilidade da bateria estimada para este caso é de 2 anos.

Em Orissa, Índia [49], foi montado um circuito capaz de monitorar via LoRaWAN (utilizado RF-LoRa-868) a quantidade de energia consumida por um painel solar. Estes dados foram então processados por um Atmega328 e armazenados em um cartão SD utilizando os protocolos I2C e ICSP de modo que os dados entre o módulo LoRa e o circuito de monitoramento se comunicam por UART. Um servidor é conectado via TCP/IP do *gateway*.

Monitoramento de animais do campo é uma tarefa que até então necessitava de eletrônica cara e consumia muita bateria.

Os estudos em Montevidéu, Uruguai [9] comprovaram que esta tarefa pode ser feita com investimento reduzido e com eficiência. Aqui foi utilizado um acelerômetro (ADXL362) com um processador MSP430FR5969 e transdutor LoRa SX1276 para monitorar a temperatura em animais de fazendas. Cada animal possui um colar ou um *tag* na orelha com um acelerômetro integrado ao LoRa. O sistema de transmissão foi otimizado via FIFO para economizar bateria e, com isso foi conseguido 11.4 km de alcance. A melhor relação entre transmissão por uso de bateria foi de 1 transmissão por hora. Assim, é possível estimar que a bateria duraria em torno de 4.6 anos. O custo total foi de menos de 25 dólares para 100 unidades de nós. Os autores também informaram que quanto maior a largura de banda utilizada, maior tende a ser o tempo de vida útil da bateria.

Outro trabalho no mesmo segmento, em Ioannina, Greveia e Kavala, Grécia [62], criou-se uma rede de monitoramento de animais sob transmissão LoRa desenvolvendo os nós com Arduino SODAQ v2 e 2500 mAh de alimentação integrado a um painel solar de 1 W (criando uma autonomia de 35000 transmissões) e os 2 GWs com Raspberry Pi 3 e SX1273 IMST, que se comunicam com um banco de dados e um servidor de aplicação via MQTT *broker*. Também foi desenvolvido um aplicativo Android (CowTrack) para monitorar os animais em tempo real uma vez obtido os dados dos sensores. Os autores destacaram que o rastreamento de animais hoje em dia é realizado por redes LTE e GPS (com consumo de 140 mA para transmissão 2 ou 3G, que tem um alcance máximo de 80 a 100 km). Além da conclusão de que 1 GW poderia sustentar de 20 a 30 nós neste cenário.

4) Aplicações em Health Care:

Avaliar a performance do LoRa e LoRaWAN em casos de *Health Care* [25] também tem sido alvo de alguns autores em Istambul, Turquia e em Roma, Itália [11]. É possível monitorar qualidade de vida de pessoas, como frequência cardíaca, respiração, nível de fluídos no sangue, entre outros, utilizando transdutores LoRa HopeRF RFM95/96 integrados a Arduino nos nós e Raspberry Pi 3 com HopeRF RFM95 no GW, além da integração com servidores de rede.

Nos estudos em Sfax, Tunísia e Marburgo, Alemanha [40], foi utilizado LoRa para monitorar pacientes que estão em locais distantes de centros de saúde. Já há estudos de rote-

amento de dados remotos para monitoramento de condições relativas a saúde, mas todos eles utilizam redes de telefonia móvel para comunicação com servidores. Com Arduino nos nós integrados a um Libelium (Cooking Hacks Group) e Raspberry Pi no GW, antenas de 3 dBi de ganho e 2200 mAh de bateria (sob autonomia de 10 dias, enviando 1 pacote por min), cobriu-se uma área de 33 km². O LoRa é eficiente para monitoramento de dados que respeitam o *duty cycle*, ou seja, para sensoriamento de dados em tempo contínuo, como em eletrocardiogramas (ECG), esta tecnologia pode não ser a mais indicada, a menos que seja criada uma tecnologia híbrida com aquelas que suportam monitoramento em tempo real.

Condições físicas de atletas podem ser monitoradas via LoRa. Em Belgrado, Sérvia e Liubliana, Eslovênia [32], foi verificada a implementação de sensoriamento remoto para monitorar a saúde de esportistas por meio da inserção de diversos sensores no corpo dos atletas, que são enviados para um banco de dados, e então, analisados. A transmissão entre os sensores e os GWs pode ser feita por ajustes do LoRaWAN sob potência de transmissão de 1.5 a 100 mW. Segundo os autores, não é possível definir um melhor método de transmissão sem fio para este tipo de aplicação considerando as necessidades previstas, mas a tecnologia que mais se adequa é a IEEE 802.11ah que consegue 40 Mbit/s e 1 km de alcance.

5) Aplicações de localização:

Há aplicações LoRa que avaliam a substituição de rastreamento por GPS pelo LoRa, em certas atividades. Tal estudo se tornou pertinente uma vez que muitas aplicações utilizam o GPS como forma de rastreamento de pessoas, animais e objetos, mas consomem bastante energia (30-50 mA enquanto que o LoRa consome ligado 2.8 mA, 38.9 mA transmitindo e 14.2 mA recebendo para 868 MHz). Neste estudo, em Lyngby, Dinamarca [19], utilizou um Waspote (Atmel ATmega1281) e 4 GWs (Kerlink) sincronizados com o The Things Network. Cada nó estava separado por 5 km do GW mais próximo para uma potência de transmissão de 14 dBm. Foi possível criar um algoritmo via LoRa com eficiência de um GPS e precisão de 100 m para casos estáticos. Para casos em movimento, é possível informar apenas aproximações e o consumo de bateria constatado foi de 12.9 mA. Os autores também observaram que este resultado é bastante positivo perante o fato de que uma rede composta por GPS e GSM chega a consumir de 400 a 600 mA, dado este também comprovado no estudo em Mons e Gembloux, na Bélgica, Rabat, no Marrocos e Argel, na Argélia [16], em que o LoRa pôde auxiliar no monitoramento remoto de colmeias.

6) Aplicação em universidades:

No Campus Científico da Universidade de Lille, França, [39] buscou transitar pelo *campus* com um veículo para qualificar o sinal durante as transmissões. Como nó, foi utilizado um Raspberry Pi e um Libelium LoRaWan e para GW, um módulo Kerlink Wirnet. A conexão entre GW e servidor foi feita via rede 4G e, desta forma, obteve-se 1.2 km de alcance,

mostrando um estudo de aplicação mais genérica porém de utilidade para áreas universitárias ou similares.

Em Chiayi, Taiwan [30], com ARM M0, Nano100LE3BN, SX1278, utilizando uma antena de 70 cm e 3 dBi para GW e nos nós uma antena de 2 cm e 0.7 dBi, foi desenvolvido uma rede LoRa com a topologia Mesh para aplicação em um campus universitário de Taiwan. As taxas de recebimento de pacotes utilizando redes Mesh mostraram ser bastante eficiente. Como exemplo, em um nó localizado a 800 m do GW, não houve recepção de dados entre nó-GW, já com saltos entre 3 nós até o GW, foi possível atingir 94.94% de recebimento.

7) Aplicação em indústrias:

No ramo da Indústria 4.0, também chamada de *Cyber-physical Systems (CPS)* e *Industrial IoT (IIoT)*, em Bréscia, Itália e Sundsvall, Suécia [48] buscou-se empregar o LoRa com um SX1272 e STM32 nos nós e um Multitech com SX1301 para GW. Foi implementado um sistema LoRa para 6000 nós em um modelo industrial avaliando como foco a viabilidade. Transmitiu-se 1000 pacotes com 50 B por pacote e concluiu-se que o LoRaWAN tem potencial para substituir os métodos tradicionais de transmissão em indústrias, especialmente para casos em que o tempo entre transmissão é na ordem de 1 minuto (foi testado para uma distância de 5 m entre nó e GW). Atualmente, as soluções aplicadas nas indústrias são limitadas ao uso de WirelessHART e ISA100.11a que são baseadas em IEEE802.15.4 e necessitam de GWs especializados para conexão com internet, o que leva a crer que o uso de redes 3/4/5G parecem ser mais atrativas, contudo, estas não foram criadas para casos determinísticos de sensoriamento em tempo real. No segmento industrial ou em qualquer outro, para a integração com um banco de dados e amostragem de dados em tempo real, um dos protocolos de comunicação mais utilizados é o *Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)* [10].

O trabalho desenvolvido em Plovdiv, Bulgária [44], validou por meio de comparação entre os protocolos de rede existentes de acordo com alcance e taxa de dados, a operação do LoRa com MQTT. O MQTT surgiu com o objetivo de criar um protocolo eficiente para transferência de dados de dispositivos com limitações de recursos em *hardware*. Com escalabilidade de 1000 nós por GW, integridade com The Things Network e seguindo limitações de potência (EIRP) e de *duty cycle* (ETSI), pela junção de LoRa e MQTT é possível obter manutenção fácil, baixo custo, baixo consumo de energia, confiabilidade e segurança, conexão fácil à Internet e ciclo de vida longo.

8) Aplicações militares e a interferência de sinal:

Do ponto de vista de interferências em outros sinais, contudo, em Moscou, Rússia e Almaty, Cazaquistão [55] foi estudado o impacto que uma transmissão LoRa causa em radares de aviação e outros dispositivos na banda de 800 MHz utilizada na Europa Oriental. Para isso, foi utilizado radares e analisadores de espectro conforme ITU-R M.1830: DRL-6(8) ou DRL-7(10). Concluiu-se que a utilização da banda

estudada é atrativa do ponto de vista do uso com o LoRa pois é gratuita e não traz barreiras regulamentadoras, mas traz algumas complicações pois esta banda já é ocupada por equipamentos radares em aeroportos, comprovando a interferência sem intenções.

Ainda no contexto militar, em Bangkok, Tailândia [50], se estudou um sistema de comunicação via LoRa para rastreamento de tropas desenvolvendo um *hardware* próprio tanto para nó quanto para GW (localizado a 500 m do chão e com antena de 4 dBi). No nó foi utilizado um Arduino integrado a um módulo LoRa e bateria Li-ion TP4056 com um módulo de 3.7V. No GW, um Raspberry Pi com uma fonte AC/DC de 12V e 2A junto a um regulador de tensão de 5V. A comunicação entre GW e internet é realizada via UTP enquanto que tanto nó quanto GW se comunicam com os respectivos módulos LoRa via SPI. Sob um estudo sobre distância em relação ao ruído e sensibilidade, obteve-se 0.5 km de alcance e um nó poderia ser conectado a até 10 tipos de sensores diferentes.

C. Quais os principais desafios que o LoRa encontra hoje?

Com base nas informações obtidas dos artigos, pode-se afirmar que para as aplicações com LoRa, a interferência que a transmissão via LoRaWAN pode causar em outros sinais é um ponto que merece atenção [55] [23]. Deve-se considerar, contudo, que esta constatação foi obtida em uma frequência específica do cenário Europeu e que não necessariamente representa interferências em todos os outros cenários. No Brasil, por exemplo, uma vez que LoRa opera em 915 MHz, os mesmos tipos de situações mostradas pelos autores não são pertinentes. De qualquer forma, a tolerância a interferência é um desafio não só de LoRa mas de qualquer tipo de transmissão sem fio. Também foi verificado [40] [32] que o sensoriamento de dados em tempo contínuo (como em ECG ou monitoramento de atletas), a tecnologia LoRa pode não ser a mais indicada. Os resultados dos autores, neste tipo de aplicação, mostraram que a taxa de dados para LoRa pode não ser suficiente. Percebe-se também, que ainda há poucos estudos realizados no Brasil ou por brasileiros, justificando que o desenvolvimento da tecnologia LoRa em território nacional carece de avanços na área e de implementações práticas em ambientes reais de monitoramento remoto, que pode ser conseguido após todas as regulamentações da Anatel acerca deste tipo de transmissão sem fio. Portanto, *duty cycle* e taxa de transmissões são os principais limitadores de performance ideal para aderir ao LoRa como a melhor tecnologia para sensoriamento remoto e IoT, de forma que a integração de alcance do LoRa com a taxa de dados de redes celulares seria um desafio cujos resultados trariam inúmeros benefícios [43].

V. CONCLUSÃO

Este trabalho buscou compreender as principais aplicações de LoRa. Observou-se que a tecnologia foi satisfatoriamente aplicada para a maioria dos projetos estudados. Deve-se destacar que os resultados de alcance — principal foco da maioria dos autores — são dependentes do ambiente experimental, sendo influenciados pela topologia, densidade urbana, o tipo de

hardware (circuito impresso dedicado ou prototipado), antena, modo de gerenciamento de pacotes, entre outros fatores, e tais dados nem sempre foram adequadamente informados nos artigos.

Deste modo, apesar de recente, a tecnologia LoRa possui aplicações demonstradas em diversas áreas de atuação e tem como principais pontos positivos o alcance e consumo de energia, tornando-a uma opção bastante viável para IoT, principalmente em projetos que não requeiram monitoração em tempo real ou volume alto de transmissão.

Como trabalhos futuros, pretendemos complementar a revisão bibliográfica examinando as categorias de artigos teóricos e experimentais. Além disso, deseja-se aprofundar as comparações sobre resultados de latência, consumo de energia e relacionar as várias faixas de operação em regiões distintas, etc. Ademais, atualmente trabalhamos em uma solução LoRa, de baixo custo, para monitoração de eventos climáticos.

REFERÊNCIAS

- [1] ACM Digital Library. <https://dl.acm.org/>. Acessado: 10/08/2017
- [2] Adelantado, F., Vilajosana, X., TusetPeiro, P., Martinez, B., Melià-Seguí, J., and Watteyne, T. (2017). Understanding the limits of lorawan. *IEEE Communications Magazine*, pages 34–40.
- [3] Alliance, L. LoRa Alliance technology. <https://www.lora-alliance.org/technology>. Acessado: 12/09/2017.
- [4] Andrei, M. L., Radoi, L. A., and Tudose, D. S. (2017). Measurement of node mobility for the lora protocol. 2017 16th RoEduNet Conference Networking in Education and Research (RoEduNet), Targu Mures, Romania.
- [5] Assri, S. A., Zaman, F. H. K., Mubdi, S. (2017). The efficient parking bay allocation and management system using LoRaWAN. *IEEE 8th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC 2017)*, pages 4-5, Shah Alam, Malaysia.
- [6] Ayele, E. D., Hakkenberg, C., Meijers, J. P. (2017) Performance analysis of LoRa radio for an indoor IoT applications. *International Conference on Internet of Things for the Global Community (IoTGC)*. Funchal, Portugal.
- [7] Barriquello, C. H., Bernardon, D. P., Canha, L. N., Silva, F. E. S., Porto, D. S., Ramos, M. J. S. (2017) Performance assessment of a low power wide area network in rural smart grids. *52nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, Heraklion, Greece.
- [8] Battle, S., Gaster, B. (2017) LoRaWAN Bristol. *Proceedings of the 21st International Database Engineering and Applications Symposium*, pages 287-290
- [9] Bellini, B., Amaud, A. (2017) A 5uA wireless platform for cattle heat detection. *8th Latin American Symposium on Circuits and Systems (LASCAS)*, Bariloche, Argentina.
- [10] Bonavolonta, F., Tedesco, A., Moriello, R. S. (2017) Enabling wireless technologies for Industry 4.0: State of the Art. *International Workshop on Measurement and Networking (MN)*. Naples, Italy.
- [11] Buyukkakslar, M. T., Erturk, M. A., Aydin, M. A., Vollero, L. (2017) LoRaWAN as an e-Health Communication Technology. *IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference*, Turin, Italy.
- [12] Carrillo, D., Seki, J. (2017) Rural area deployment of internet of things connectivity LTE and LoRaWAN case study. *IEEE XXIV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*, Cusco, Peru.
- [13] Chou, Y., Mo, Y., Su, J. (2017) i-Car system: A LoRa-based low power wide area networks vehicle diagnostic system for driving safety. *International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*, Sapporo, Japan.
- [14] Corporation, S. Semtech Company. <http://www.semtech.com/>. Acessado: 12/09/2017.
- [15] Danieleto, M., Li, L., Dudley, J. T. (2017) Application of I-COMO Device towards Geographic Disease Enrichment Pattern Revealed from Electronic Medical Record at A Large Urban Academic Medical Center. *Proceedings of the 11th EAI International Conference on Pervasive*

- Computing Technologies for Healthcare, pges 282-287, Barcelona, Spain.
- [16] Debauche, O., Moulat, M., Mahmoudi, S., Boukraa, S., Manneback, P., Lebeau, F. (2018) Web Monitoring of Bee Health for Researchers and Beekeepers Based on the Internet of Things. 9th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies.
- [17] Dongare, A., Hesling, C., Bhatia, K., Balanuta, A., Pereira, R. L., Iannucci, B., and Rowe, A. (2017). OpenChirp A Low-Power Wide-Area Networking architecture. 2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), Kona, USA.
- [18] Fedchenkov, P., Zaslavsky, A., Sosunova, I. (2017) Enabling smart waste management with sensorized garbage bins and low power data communications network. Proceedings of the Seventh International Conference on the Internet of Things, Article No. 28.
- [19] Fargas, B. C., Petersen, M. N. (2017) GPS-free geolocation using LoRa in low-power WANs. Global Internet of Things Summit (GloTS), Geneva, Switzerland.
- [20] Ferrari, P., Flammini, A., Rinaldi, S., Rizzi, M., and Sisinni, E. (2017). On the use of lpwan for vehicule to grid communication. AEIT International Annual Conference, pages 1–6, Cagliari, Italy.
- [21] Filho, H. G. S., Filho, J. P., Moreli, V. L. (2016) The adequacy of LoRaWAN on smart grids A comparison with RF mesh technology. IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), Trento, Italy.
- [22] F. Al-Turjman, Mobile Couriers Selection for the Smart-grid in Smart-cities Pervasive Sensing, Future Generation Computer Systems (2017)
- [23] Geetha, S., Gouthami, S. (2017). Internet of things enabled real time water quality monitoring system. Smart Water Journal, Volume 1-3.
- [24] Grión, F. J., Petracca, G. O., Lipuma, D. F., Amigó, E. R. (2017) LoRa network coverage evaluation in urban and densely urban enviroment simulation and validation tests in Autonomous City of Buenos Aires. XVII Workshop on Information Processing and Control (RPIC), Mar del Plata, Argentina.
- [25] Hämäläinen, M., Li, X. (2017) Recent Advances in Body Area Network Technology and Applications. International Journal of Wireless Information Networks. Volume 24, Issue 2, pp 63–64.
- [26] IEEE Xplore Digital Library. <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>. Acessado: 10/08/2017
- [27] James, J. G., Nair, S. (2017) Efficient, Real-time Tracking of Public Transport, Using LoRaWAN and RF Transceivers. TENCON 2017 IEEE Region 10 Conference, Penang, Malaysia.
- [28] Jeon, Y., Ju, H., Yoon, S. (2018) Design of an LPWAN Communication Module Based on Secure Element for Smart Parking Application. IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, EUA.
- [29] Karkoush, A., Mousannif, H., Moatassime, H. (2018) CADs: A Connected Assistant for Driving Safe. The First International Conference On Intelligent Computing in Data Sciences, pages 353-360.
- [30] Ke, K., Liang, Q., Zeng, G. (2017) Demo Abstract A LoRa Wireless Mesh Networking Module for Campus-Scale Monitoring. 16th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN), Pittsburgh, Pennsylvania, EUA.
- [31] Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. Keele, UK, Keele University, 33:1–26.
- [32] Kos, A., Milutinovic, V., Umek, A. (2017) Challenges in wireless communication for connected sensors and wearable devices used in sport biofeedback applications. Future Generation Computer Systems.
- [33] Laveyne, J. I., Zwaenepoel, B., Eetvelde, G. V. (2017) Potential of domestically provided ancillary services to the electrical grid. 52nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Heraklion, Greece.
- [34] Lee, H., Ke, K. Monitoring of Large-Area IoT Sensors Using a LoRa Wireless Mesh Network System: Design and Evaluation. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement (Volume: PP, Issue: 99).
- [35] LoRa Alliance, Inc. (2017a). LoRaWAN 1.1 Regional Parameters. Version 1.1, published in October 11, 2017.
- [36] LoRa Alliance, Inc. (2017b). LoRaWAN 1.1 Specification. Version 1.1, published in October 11, 2017.
- [37] LoRa Alliance, Inc. (2017c). LoRaWAN Backend Interfaces 1.0 Specification. Version 1.0, published in October 11, 2017.
- [38] LoRa Alliance (2015). A technical overview of LoRa and LoRaWAN. (November):1–20.
- [39] Lorient, M., Aljer, A., Shahrour, I. (2017) Analysis of the use of LoRaWAN technology in a large-scale smart city demonstrator. Sensors Networks Smart and Emerging Technologies (SENSET), Beirut, Lebanon.
- [40] Mdhaffar, A., Chaari, T., Larbi, K. (2017) IoT-based Health Monitoring via LoRaWAN. IEEE EUROCON 2017 -17th International Conference on Smart Technologies.
- [41] Neumann, P., Montavont, J., Noël, T. (2016) Indoor Deployment of Low-Power Wide Area Networks (LPWAN): a LoRaWAN case study. Networking and Communications (WiMob), IEEE 12th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Rome, Italy.
- [42] Nor, R. F. A. M., Mubdi, S. (2017). Smart Traffic Light for Congestion Monitoring using LoRaWAN. IEEE 8th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC 2017), pages 4-5.
- [43] Park, S., Hwang, K., Kim, H. (2017) Advanced Multimedia and Ubiquitous Engineering, Lecture Notes in Electrical Engineering 448. FutureTech pp 269-276.
- [44] Penkov, S., Taneva, A., Kalkov, V. (2017) Industrial network design using Low-Power Wide-Area. 4th International Conference on Systems and Informatics (ICSAD), Hangzhou, China.
- [45] Petäjärvi, J., Mikhaylov, K., Roivainen, A., Hänninen, T., and Pettisalo, M. (2015). On the coverage of LPWANS: Range evaluation and channel attenuation model for lora technology. ITS Telecommunications (ITST), pages 1–5, Copenhagen, Denmark.
- [46] Petäjärvi, J., Mikhaylov, K., Yasmin, R., Hämäläinen, M., and Iinatti, J. (2017). Evaluation of LoRa LPWAN Technology for Indoor Remote Health and Wellbeing Monitoring. International Journal of Wireless Information Networks, 24(2):153–165.
- [47] Radcliffe, P. J., Chavez, K. G., Beckett, P. (2017) Usability of LoRaWAN Technology in a Central Business District. IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Sydney, Australia.
- [48] Rizzi, M., Ferrari, P., Flammini, A. (2017) Using LoRa for industrial wireless networks. IEEE 13th International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS), Trondheim, Norway.
- [49] Sahoo, U. K., Patnaik, B. (2017) Design and implementation of remote monitoring system of solar lanterns- based on lorawan and cloud technology. International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), Erode, India.
- [50] San-Urn, W., Lekbunyasit, P., Kodyoo, M., Wongsuwan, W. (2017) A long-range low-power wireless sensor network based on U-LoRa technology for tactical troops tracking systems. Third Asian Conference on Defence Technology (3rd ACDT), Phuket, Thailand.
- [51] ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/>. Acessado: 10/08/2017
- [52] Semtech (2017). What is LoRa? <http://www.semtech.com/wireless-rf/internet-of-things/what-is-lora/>. Acessado: 18/09/2017
- [53] Springer Link. <https://link.springer.com/>. Acessado: 10/08/2017
- [54] Teleco (2017). Spread Spectrum: O que é. <http://www.teleco.com/tutoriais/tutorialss/pagina1.asp>. Acessado: 19/09/2017.
- [55] Tikhvinskij, V., Korchagin, P. Bochechka, G. (2017) Spectrum sharing in 800 MHz band Experimental- estimation of LoRa networks and air traffic control radars coexistence. International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE, Angers, France.
- [56] Usmonov, M., Gregoretti, F. (2017) Design and implementation of a LoRa based wireless control for drip irrigation systems. 2nd International Conference on Robotics and Automation Engineering (ICRAE).
- [57] Varsier, N., Schwoerer, J. (2017) Capacity limits of LoRaWAN technology for smart metering applications. IEEE International Conference on Communications (ICC), Paris, France.
- [58] Vatcharatiensakul, N., Tuwanut, P., and Pornavalai, C. (2017). Experimental performance evaluation of lorawan: A case study in Bangkok. 2017 14th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE), Nakhon Si Thammarat, Thailand.
- [59] Wireless Communications- Principles And Practice, PEARSON (Second edition). Theodore S. Rappaport, 1996.
- [60] Wixted, A. J., Kinnaird, P., Larjani, H. (2016) Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor networks. IEEE SENSORS, Orlando, EUA.
- [61] Yu, F., Zhu, Z., Fan, Z. (2017) Study on the feasibility of LoRaWAN for smart city applications. Tenth IEEE International Workshop on Selected Topics in Mobile and Wireless Computing, pages: 334-340.
- [62] Zinas, N., Kontogiannis, S., Kokkonis, G., Valsamidis, S., Kazanidis, I. (2017) Proposed open source architecture for Long Range monitoring. The case study of cattle tracking at Pogoniani. PCI 2017 Proceedings of the 21st Pan-Hellenic Conference on Informatics. Article No. 57.