

Tecnologias Emergentes de Conectividade na IoT: Estudo de Redes LPWAN

Paulo Sérgio Rangel Garcia e João Henrique Kleinschmidt

Resumo — Uma importante questão na IoT envolvendo redes M2M é a conectividade dos sensores e atuadores. Em geral são utilizadas tecnologias de curto alcance em faixas de RF ISM, redes *mesh* e redes GSM, levando ao consumo de energia e eventualmente dispositivos complexos e caros. As redes LPWAN em faixas Sub GHz oferecem alternativas a estas tecnologias. Este artigo irá abordá-las, analisando e comparando as de maior interesse atualmente no Brasil: SigFox e LoRa. Serão apresentados os resultados de testes de cobertura com a rede SigFox. Estas análises e testes indicam que ambas podem ser alternativas, dependendo das características do projeto envolvido.

Palavras-Chave— IoT, LPWAN, LoRa, SigFox, M2M.

Abstract — An important issue in IoT involving M2M networks is the connectivity of sensors and actuators. In general short-range technologies have been used in ISM RF bands, mesh networks and GSM networks, leading to energy consumption and complex and expensive devices. The LPWAN networks in Sub GHz bands offer alternatives to these technologies. This article will approach them, analyzing and comparing the ones of greater interest in Brazil: SigFox and LoRa. We will present the results of coverage tests with the SigFox network. These analyzes and tests indicate that both can be alternatives, depending on the characteristics of the project involved.

Keywords— IoT, LPWAN, LoRa, SigFox, M2M.

I. INTRODUÇÃO

A conectividade de diversos dispositivos na IoT (Internet das Coisas, do Inglês *Internet of Things*) tem sido suprida por tecnologias de curto alcance e não raro utilizando redes *mesh* com algoritmos de roteamento com múltiplos saltos e por redes de longo alcance GSM (do Inglês *Global System for Mobile Communications*). Esta abordagem em geral impacta na eficiência do uso da energia aumentando o seu consumo e no encarecimento dos dispositivos para gerenciamento da rede e dos dados que são trafegados, aumentando o custo da solução[1] [2].

Com o aumento de aplicações na IoT, surgem uma série de projetos que precisam de tecnologias habilitadoras para redes de longo alcance, baixo consumo de energia e mais baratas. Assim as redes LPWAN (do inglês *Low-Power Wide-Area Network*), surgem como uma nova alternativa para a conectividade em redes M2M (do Inglês *Machine-to-Machine*) na IoT.

Isto permitirá um número crescente de dispositivos, chegando a casa de bilhões de unidades em poucos anos. Assim, as redes LPWAN devem atender a requisitos como: longo alcance, baixo consumo de energia, capacidade do sinal

RF em vencer barreiras físicas com o menor nível de atenuação, pervasividade e por fim, baixo custo.

Dentre as aplicações de IoT que podem ser favorecidas pelas redes LPWAN destacam-se as relacionadas a Indústria 4.0 [1] através do controle de medidores de equipamentos industriais, sensores de temperatura e umidade, localização de produtos, etc., as relacionadas as cidades inteligentes [2], como o controle de praças e jardins (irrigação, iluminação, etc.), semáforos, locais de estacionamento, etc., as relacionadas a saúde e bem estar das pessoas[5], como as idosas ou portadoras de necessidades especiais.

Apesar das diversas alternativas para LPWAN em desenvolvimento no mundo, no Brasil elas se encontram em diferentes estágios de disponibilidade para uso. As que se apresentam em estágios mais avançados, porém ainda não completamente disponíveis, sejam por questões de homologação na ANATEL (poucas opções homologadas) e/ou por pouca cobertura, são as redes LoRa e SigFox.

Entre estas duas redes nota-se de início uma importante diferença que reflete nos fatores de escolha em um projeto. Trata-se do modelo de negócios. A rede SigFox, operada no Brasil pela WND Brasil¹ se apresenta como uma operadora, em formato NaaS (do Inglês *Network as a Service*) semelhante as operadoras de telefonia móvel, modelo no qual a rede passa a ser transparente para os usuários sem que ele tenha ação direta em questões de cobertura, falhas ou qualquer tipo de gestão entre seus dispositivos e *gateways* (p.e.: *Adaptive Data Rate*).

Por outro lado, a rede LoRa se coloca no Brasil através de comunidades de usuários e evangelizadores, como um modelo aberto em que questões da rede como cobertura, configuração, etc., passam a ser aspectos importantes dentro do projeto.

Neste artigo serão comparadas estas duas tecnologias, destacando os pontos que podem influenciar na decisão de escolha de cada uma delas em projetos M2M. Também são apresentados os resultados de uma avaliação da frequência das mensagens, qualidade do posicionamento e da cobertura da rede SigFox em regiões da Grande São Paulo. O artigo está estruturado da seguinte forma: na seção II são apresentadas as principais tecnologias LPWAN e similares; as tecnologias LoRa e SigFox são apresentadas com mais detalhes na seção III. A seção IV faz uma comparação de SigFox e Lora e a seção V mostra os testes de cobertura realizados com a rede SigFox. Por fim, a seção VI faz as considerações finais.

¹ <http://wnd-brasil.com.br/>

II. TECNOLOGIAS SEM FIO LPWAN E CORRELATAS

As tecnologias emergentes para conectividade na IoT através de redes LPWAN, adotam em geral, faixas de RF ISM (do Inglês *Industrial, Scientific and Medical*) não licenciadas em especial na faixa Sub GHz que oferecem vantagens em relação a outras faixas ISM de RF como 2.4GHz e 5GHz.

Em uma comparação entre estas faixas de RF, a faixa de 2.4GHz é usada globalmente por tecnologias que vão desde aparelhos de micro-ondas, Bluetooth, 802.11(b-g-n), 802.15.4 (ZigBee, Z-Wave, Thread, etc.), o mesmo ocorrendo, porém em escala menor, na faixa de 5MHz (802.11 ac). A faixa Sub GHz ainda permanece com baixa ocupação de tecnologias. Em relação a energia, as faixas de 2.4GHz e 5GHz tendem a consumir significativamente mais que na faixa Sub GHz. Sobre a capacidade de vencer barreiras físicas e propagação de sinal com alcance maior, a faixa Sub GHz é substancialmente superior as faixas de 2.4GHz e 5GHz. Estas características credenciam a faixa Sub GHz a serem utilizadas para as redes LPWAN.

O uso das faixas ISM Sub GHz está regulamentado pela ITU (*International Telecommunication Union*), que dividiu o planeta em 3 regiões e por regulações em cada país, podendo citar como exemplo, o Brasil e EUA no grupo 2 do ITU operando na faixa de 915MHz, a Europa no grupo 1 operando em 433 MHz e 868 MHz e a Ásia no grupo 3 em 915MHz.

As principais tecnologias de comunicação LPWAN, habilitadoras da IoT M2M, oferecem várias alternativas para conectar dispositivos. As principais delas são LoRa, SigFox, NB-IoT e eMTC, sendo que as duas últimas estão em fase preliminar sem implementação comercial.

LoRa, utiliza a faixa Sub GHz, no Brasil 915MHz, o que permite alcançar a distâncias de 5km em áreas urbanas e até 15km [2][3] em áreas rurais com baixo consumo de energia. Oferece segurança com criptografia baseada no algoritmo AES-128b. Apresenta como fatores de atração o seu custo aceitável e pela adesão de diversos fabricantes de hardware que a estão adotando em seus produtos.

SigFox, adota no Brasil a faixa de 915GHz. O seu alcance em perímetro urbano é de até 10km, e em áreas rurais até 50km [2][3], com consumo mínimo de energia. Permite criptografia baseada em AES-128². A SigFox apresenta-se como uma operadora de rede LPWAN, oferecendo como atrativo a abstração dos investimentos, custos e problemas de infraestrutura de rede, permitindo a implantação de sistemas IoT de maneira mais rápida e fácil.

NB-IoT (Rel.13) (do Inglês *Narrowband-IoT*), utilizará faixa licenciada para GSM (do Inglês *Global System for Mobile Communications*) e LTE (do Inglês *Long Term Evolution*) [3], com longo alcance e baixo consumo de energia. Ela terá taxa de dados de 170 kbps (*downlink*) e 250 kbps (*uplink*). Como no caso da SigFox e dos serviços 2G, 3G e 4G, serão serviços provido por operadoras, e terão como atrativos a abstração dos custos e problemas de infraestrutura de rede, permitindo a implantação rápida de sistemas IoT.

eMTC (do Inglês *enhanced Machine Type Communication*) ou **LTE-M** (Rel. 13) adotará faixa do espectro licenciado para GSM e LTE [1][3], com longo alcance e baixo consumo de energia. Ela terá taxa de dados de 1 Mbps para *downlink* e *uplink*. Os seus serviços serão providos por operadoras, e terão

como atrativo a abstração dos custos e problemas de infraestrutura de rede, permitindo a implantação de sistemas IoT de forma mais rápida.

III. TECNOLOGIAS SIGFOX E LORA

As duas redes apresentam topologias análogas (Fig. 1), com uma camada de coleta de informações onde estão os dispositivos (*end-devices*), a camada das antenas receptoras (*gateways*), a camada do *Network Server* (*Middleware*) em que os dados recebidos são tratados e persistidos para uso pelas aplicações que os necessitem. Por fim a camada de aplicações (*Application Server*) onde os usuários finais terão acessos aos dados coletados, tomarão decisões e interagirão com os *end-devices*, através de aplicações customizadas. Vale notar que os *end-devices* podem interagir nestas redes, porém não falam diretamente entre si, precisando necessariamente do envolvimento do *Network Server* para isso.

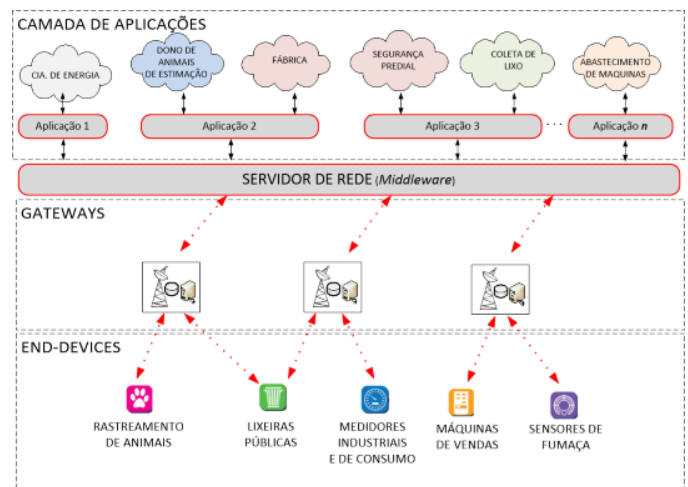


Fig. 1. Representação da Topologia de rede LPWAN LoRa e SigFox

A. Rede SigFox

A WND, operadora da rede SigFox no Brasil pretende cobrir com sua rede na América do Sul, além do nosso país, também Argentina, Colômbia e México o que levará um tempo ainda não anunciado para ser realizado. A empresa em seu modelo de negócio oferece planos de mensagens conforme Tabela I abaixo:

TABELA I. PLANOS DE SERVIÇOS SIGFOX

Plano	Mensagens por dia	
	UpLink (*)	Downlink (**)
Platinum	140	4
Gold	100	2
Silver	50	1
One	2	0

(*) Tamanho da mensagem: 12 bytes

(**) Tamanho da mensagem: 8 bytes

Os valores de tarifa variam conforme o plano escolhido e o número de dispositivos contratados. Em seu site a WND informa um valor de US\$ 1 por ano para cada dispositivo contratado em sua rede sem especificar qual plano ou quantidade de dispositivos contratados refere-se este faixa de tarifa. A limitação a 140 de mensagens por dia (uma cada 10

² <http://www.st.com/en/secure-mcus/stsafe-a1sx.html>

minutos aproximadamente) e o tamanho das mensagens (12 bytes) são fatores relevantes a serem considerados no momento da escolha da tecnologia de rede para um projeto IoT M2M.

Um aspecto relevante em muitos projetos é a geolocalização, o que recentemente passou a ser tratado na Rede SigFox. Trata-se de um serviço chamado *Spot It*. Ele está baseado nos dados da infraestrutura da rede (*gateways* ou estações de base), que recebem a mesma mensagem em diferentes *gateways*, e a partir da intensidade do sinal (*RSSI* – *Received Signal Strength Indicator*) recebido em cada *gateway* é aplicado modelo probabilístico que determina a localização provável do *end-device*. A operadora afirma que até o final de 2017 a precisão aumentará com o uso de tecnologias de aprendizado de máquina. Um aspecto positivo desse novo serviço é que dispensa qualquer incremento de *hardware* ou *software* nos *end-devices*, uma vez que será a infraestrutura da SigFox quem fará esse papel. Alternativamente os integradores podem implementar em seus dispositivos recursos para obtê-la, p.e., através de GPS o que tem impacto no custo final do dispositivo e no consumo de energia. Outra forma é através de redes wi-fi, na essência necessita-se de um receptor wi-fi no dispositivo, implicando no seu custo, e no desenvolvimento no *Network Server* ou *Middleware* de algoritmo WBLs (do inglês *Wireless Based Location System*) [6].

Algoritmos WBLs trabalham com as informações capturadas das redes wi-fi (SSID – *Service Set Identifier*, BSSID - *Basic Service Set Identifier* e RSSI) – e um banco de dados com a geolocalização dos AP's (do inglês *access point*) das redes wi-fi (p.e. o *Google Location Server*), para determinar a posição aproximada do *end-device*. Nesta solução a precisão está ligada a densidade de AP's na região e que estes AP's estejam referenciados no banco de dados de geolocalização das redes wi-fi, logo, tende a apresentar melhores resultados em regiões urbanas do que em áreas rurais.

Para a camada do *Network Server* é possível desenvolver uma solução própria, adotar uma solução *open source*, (p.e.: Knot³ do C.E.S.A.R.), ou soluções em nuvem fornecidas pelo integrador do dispositivo, p.e.: LOKA SYSTEM⁴.

B. Rede LoRa

Hoje não existem empresas que disponibilizem rede LoRa pública de maneira semelhante a rede SigFox, assim a opção de usá-la em um projeto implicará na gestão da infraestrutura de rede e a garantia de disponibilidade e cobertura necessárias ao projeto, entretanto dará controles e instrumentos mais apurados de gerenciamento dos *end-devices* [2] [7].

A modulação LoRa é específica e utiliza o conceito de *spread spectrum* (espalhamento espectral) tendo três parâmetros de configuração [4]:

- *Spreading Factor* (SF): Pode ser 7, 8, 9 ou 10, assim quanto maior o SF mais informações são transmitidas por bit, gerando um ganho de processamento.
- *Bandwidth* (BW): Podem ser 125 KHz, 250KHz ou 500KHz, para um dado SF, um BW mais estreito aumenta sensibilidade de recepção e incrementa o *air time*.
- *Forward Error Correction* (FEC / *Code Rate* (CR)). Regula a detecção e correção de erros.

³ <http://knot.cesar.org.br/#main>

⁴ <http://www.loka-systems.com/>

Esta configuração determinará o *Bit Rate*, o máximo *Payload Size* e o *Time on Air* (tempo de transmissão / duração do pacote no ar), influenciando o tamanho das mensagens, o seu alcance e consumo de energia [4].

Esta parametrização permite que exista a possibilidade do conceito de *Adaptive Data Rate* (ADR) em que o LoRa pode gerenciar a taxa de dados e a potência de saída do RF em cada *end-device*, buscando otimizar taxas de transmissão, minimizar o consumo de energia e maximizar a capacidade da rede.

Considerando a modulação LoRa para 915 MHz a Tabela II apresenta as configurações para o maior alcance (*Time on Air* = 371ms) e para o maior tamanho de mensagem (*Bit Rate* = 12.500 bps).

TABELA II. CONFIGURAÇÕES LORA

Taxa de Dados (DR)	Spreading Factor (SF)	Bandwidth (BW) (kHz)	Coding Rate (CR)	Bitrate (BR) (bps)	Máximo Payload Size	Time on Air (ms)
0	SF10	125	4 / 5	976	11 bytes	371
4	SF8	500	4/5	12.500	242bytes	175

Os *end-devices*, em razão de sua aplicação no projeto podem ser separados por classes (A, B e C). Dos mais simples e baratos (Classe A) aos mais sofisticados e caros (Classe C). Na Tabela III são detalhadas suas principais características:

TABELA III. CLASSES DE END-DEVICES LORA

	Classe A	Classe B	Classe C
Tipo	Alimentado por Bateria	Baixa Latência	Sem Latência Alimentação externa
Comunicação	Bidirecional	Bidirecional	Bidirecional
Mensagem	Unicast	Unicast e Multicast	Unicast e Multicast
Latência mensagens	Longos intervalos	Longos intervalos	Mensagens podem ocorrer a qualquer momento
Quem e qdo. Inicia comunicação?	<i>End-device</i> quando algo acontece.	<i>Network server</i> pode iniciar em intervalos fixos e regulares	<i>End-devices</i> e <i>Network server</i> a qualquer momento

Quanto aos *Gateways*, existem modelos que podem atender a necessidades específicas. Desde modelos mais simples e baratos para ambientes fechados (p.e.: garagens em subsolo de prédios), os industriais e os mais caros para topos de edifícios expostos ao clima.

Quanto as trocas de mensagens, são previstos dois tipos: mensagens sem confirmação (*Unconfirmed Data Message*) de forma assemelhada as mensagens UDP (do inglês *User Datagram Protocol*) e com confirmação (*Confirmed Data Message*) também assemelhado ao TCP (do inglês *Transmission Control Protocol*).

Em relação a ativação dos *end-devices* na rede (*joining*), a LoRa adota o algoritmo de criptografia AES-128, utilizando duas formas diferenciadas de ativação em razão do tipo de rede onde isso ocorrerá: Rede Pública ou Rede Privada.

Em Redes Públicas, utiliza-se o OTAA (do Inglês *Over The Air Activation*) que se baseia no envio de um identificador global único (DevEUI), análogo ao endereço MAC das redes IP, e do identificador (AppEUI) e chave da aplicação (AppKey) desejada. Estes dados serão utilizados na camada da aplicação para validar e ativar o *end-device* em determinada aplicação na rede. Ocorrendo a aceitação na rede, o *end-device* recebe uma mensagem de “*join accept*” que contém o endereço do dispositivo (DevAddr), a chave de sessão da rede (NwkSKey) e a chave de sessão da aplicação (AppSKey)

Em Redes Privadas não é necessária nenhuma comunicação *Over The Air* pois os dados necessários para ativação: endereço do dispositivo (DevAddr), chave de sessão da rede (NwkSKey) e chave de sessão da aplicação (AppSKey), são gravados no *end-device* no momento da sua fabricação. Assim ele está pronto para comunicação assim que conectado na rede.

Sobre a geolocalização, a SemTech (detentora da tecnologia de rádio do LoRa) implementou a partir da versão 2 de *gateways* uma solução em algoritmos baseados no tempo diferencial de chegada do sinal - DToA (do inglês *Differential Time Of Arrival*) o que pode proporcionar uma boa precisão na localização dos *end-devices*⁵ a partir da infra da rede LoRa.

Na camada do *Network Server* também é possível desenvolver uma solução própria, adotar uma solução *open source*, (p.e.: Knot do C.E.S.A.R), ou soluções em nuvem oferecidas como serviço, p.e.: Orbiwise⁶.

IV. LPWAN LORA X SIGFOX

As características de cada rede e em especial dos respectivos modelos de negócios aumentam as possibilidades para a implantação de projetos com requisitos diferentes. Abaixo são destacadas algumas características relevantes e a comparação na Tabela IV.

- Tempo de implantação – Tempo necessário para que o projeto esteja operacional.
- Investimento inicial - Recursos para criar a infraestrutura de rede;
- Áreas com baixa penetração de sinal RF – P.e. solos de prédios ou em prédios pelo efeito de Gaiola de Faraday que dificultem a entrada do sinal de RF. No caso da LoRa pode-se instalar rapidamente uma antena interna, enquanto que no caso da SigFox será necessária o envolvimento e anuência da operadora.
- Precisão do posicionamento – Qualidade entre as duas tecnologias avaliadas;
- Custo da Rede pós implantação – Em patamar significa um custo fixo de equipe e equipamentos para garantir a cobertura e disponibilidade da infraestrutura variando apenas a partir da quantidade de *end-devices*, e por volume, a partir de cada *end-device* acrescentado a rede.
- Cobertura no Brasil – Refere-se ao seu estado atual.
- *Adaptative Data Rate* (ADR) – Configurações ajustar o tamanho das mensagens, controlar o alcance dos dispositivos afetando o consumo de energia.

⁵ <http://www.semtech.com/Press-Releases/2016/Semtech%E2%80%99s-LoRa%C2%AE-Geolocation-Solution-for-Low-Power-Wide-Area-Networks-is-Now-Available.html>

⁶ <https://www.orbiwise.com/en/solutions/orbiq>

- Mensagens *uplink* – Enviadas do *end-device* pelo *gateway* para o Servidor da Rede (*middleware*).
- Mensagens *downlink* - Enviadas do servidor da rede (*Middleware*) para os *end-devices*.
- *Payload* máximo das mensagens – Tamanho máximo em bytes das mensagens de *uplink*.
- Alcance dos *gateways* em áreas urbanas e rurais. Depende de variáveis locais relacionadas ao grau de obstáculos que o sinal tenha que ultrapassar, porém acredita-se que as duas tecnologias tenham resultados semelhantes.

TABELA IV. COMPARAÇÃO LORA X SIGFOX

	LoRa	SigFox
Tempo de implantação	Maior	Menor
Investimento Inicial	Maior	Menor
Áreas com baixa penetração de sinal RF	Sim	Depende da Operadora
Precisão do Geoposicionamento	Boa	Boa
Custo da Rede pós implantação	Patamar	Volume
Cobertura no Brasil	Menor	Maior
<i>Adaptative Data Rate</i> (ADR)	Sim	Não
Mensagens <i>uplink</i>	Ilimitada	Até 140/dia
Mensagens <i>downlink</i>	Ilimitada	Até 4/dia
<i>Payload</i> máximo mensagens	242 bytes	12 bytes
Mensagens com confirmação	Sim	Não
Alcance dos gateways nas cidades	2 a 5 km	3 a 10 km
Alcance dos gateways nas áreas rurais	Até 45 km	Até 50km

V. AVALIAÇÃO DA COBERTURA ATUAL DA REDE SIGFOX

Para verificar a cobertura de redes LPWAN, foram feitos testes na rede SigFox. No caso da LoRa, por não existir uma rede pública com essa tecnologia o mesmo não pode ser feito.

Utilizou-se um *end-device* da Loka System (Fig. 2) e sua plataforma de *Network Server*. Este *end-device* além do componente de transmissão da rede SigFox, possui um módulo para redes Wi-Fi o que permite o posicionamento através de um algoritmo WBLs, complementar ao *Spot It*, serviço de posicionamento baseado na infraestrutura de rede da operadora e a intensidade do sinal recebido (RSSI).

O dispositivo foi configurado para enviar mensagens a cada 10 minutos e após 3 mensagens no mesmo local entra em modo repouso quando passa a enviar mensagens a cada 10 horas. A saída do modo repouso é caracterizada por sua movimentação registrada pelo acelerômetro integrado ao dispositivo.

Além do acelerômetro o dispositivo conta também com um sensor de temperatura e o medidor do estado da bateria. Assim as mensagens enviadas contem a posição geodésica aproximada, a temperatura ambiente e o percentual estimado de carga de bateria disponível.

Durante 31 dias o *end-device* permaneceu ligado e com ele foram percorridas diversas regiões da cidade de São Paulo – SP, resultando no posicionamento exposto na Fig. 3. Procurou-se com isso medir a frequência de envio de sinais e a qualidade do posicionamento.

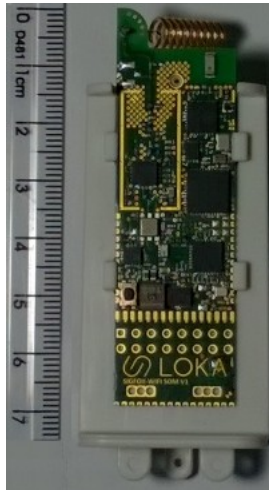


Fig. 2. *End-device* para rede SigFox da Loka Systems.

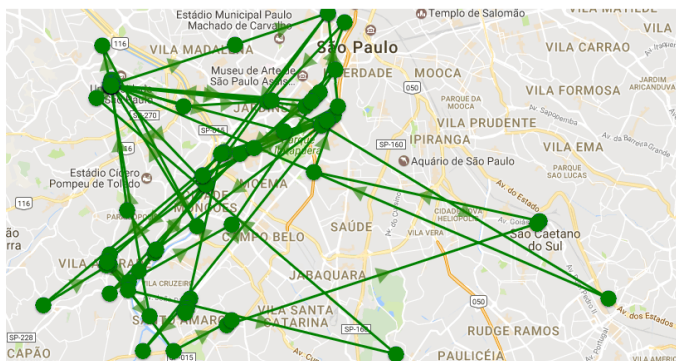


Fig. 3. Regiões percorridas e cobertas pela rede SigFox

Nota-se na Fig. 3 que a cobertura nas áreas percorridas se concentrou em algumas áreas da Grande São Paulo como no Campus da USP, Av. Paulista, Centro, Av. Eng. Luiz Carlos Berrini, Marginal do Rio Pinheiro, Campo Belo, Av. Giovanni Gronchi, Av. Brigadeiro Luiz Antonio e São Caetano do Sul, ficando as áreas de Santo André, Taboão da Serra, Santo Amaro, Interlagos e Parelheiros sem envio de mensagens, indicando falta de cobertura da rede.

Neste período foram obtidas 141 mensagens enviadas pelo *end-device*, desse total, 80 tiveram a localização apontada e as outras 61 foram transmitidas sem os dados de posicionamento (Tabela V). Dois dos registros posicionados mostraram posição incorreta (diferença acima de 5 km).

TABELA V. RESUMO DE MENSAGENS OBTIDAS NA REDE SIGFOX

Mensagens Enviadas	Com posição	Sem Posição	Com erro Posição
161	94	67	2
	58,4%	41,6%	2,1%

Estes resultados indicam limitações na cobertura atual da rede bem como no posicionamento através do *Spot It* e das redes wi-fi, porem indicam evoluções pois locais não cobertos inicialmente passaram a ser durante o período de avaliação (p.e.: Estrada do Campo Limpo, 1001, Av. Guarapiranga – Socorro, Av. dos Estados - UFABC).

VI. CONCLUSÕES

As aplicações e serviços na IoT podem variar significativamente em face dos requisitos do serviço, tamanho e frequência das trocas de mensagens, latência e confiabilidade da conexão, etc., desta forma projetos com necessidades diferentes devem escolher soluções diferentes. Por exemplo, projetos com características que exijam posicionamento e de gestão da taxa de dados dos *end-devices* podem reforçar o uso das Redes LoRa em especial em áreas de baixa concentração de redes wi-fi ou que exijam ajustes para garantir mensagens maiores e estender o tempo de vida de suas baterias, bem como para o uso da IoT no formato de redes privadas.

Por outro lado, a necessidade da abstração das questões de conectividade dos *end-devices* a aplicação, em razão p.e.: das limitações de recursos para investimentos iniciais, o tempo para utilizar a infraestrutura, terceirização dos serviços de manutenção da rede em especial para projetos com características mais urbanas com concentração maior de redes wi-fi podem reforçar a adesão a rede SigFox.

É possível verificar que existem indicações que haverá demanda para projetos IoT em qualquer das tecnologias, porém o estudo das características do projeto e a sua comparação com as características dessas tecnologias devem ser muito bem realizados para que a escolha mais correta seja adotada.

REFERÊNCIAS

- [1] Sanchez-Iborra, Ramon, Cano, Maria-Dolores, “State of the art in LP-WAN Solutions for Industrial IoT Services”, *Sensors* 16, 708, 2016.
- [2] Centenaro, Marco, et al, “Long-Range Communications in Unlicensed Bands: The Rising Stars in The IoT and Smart City Scenarios”, *IEEE Wireless Communications* Volume: 23, Issue: 5, October 2016.
- [3] Raza, Usmann, et al., “Low Power Wide Area Networks: An Overview”, Cornell University Library, 2017. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1606.07360.pdf>. Acessado em 10/04/2017.
- [4] LoRa Alliance, Inc – *LoRa Specification, 2015* – Disponível em: <https://www.lora-alliance.org/portals/0/specs/LoRaWAN%20Specification%201R0.pdf> Acessado em 16/04/2017
- [5] Petäjärvi, Juhua, et al., “Evaluation of LoRa LPWAN Technology for Indoor Remote Health and Wellbeing Monitoring”, *International Journal of Wireless Information Networks* – February 2017.
- [6] Moura, Iasi André, “WBLS: Um sistema de localização de dispositivos móveis em redes wi-fi”, Universidade de São Paulo – Escola Politécnica, Dissertação, São Paulo, 2007 – Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3141/tde-07012008-171855/publico/dissertacao_andre_cf.pdf último acesso em 26/03/2017
- [7] Petric, Tara, et al. “Measurements, performance and analysis of Lora Fabian, a real-world implementation of LPWAN”. *IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC) - Workshop: From M2M Communications to Internet of Things*, Spain, September 2016.