

# Tecnologias de Redes para Internet das Coisas - IoT

Gabriel Magalhães Garcia, Luiz Felipe Lopes Oliveira, Steliano Almeida Zarvos e Wallyson Henrique Pereira

**Resumo** - Este artigo tem como objetivo apresentar os resultados dos estudos feitos sobre tecnologias de redes privadas e públicas como soluções de IoT. Será feita uma breve explanação sobre as principais tecnologias existentes no mercado, pontuando características como infraestrutura, métodos de propagação e informações técnicas. Em seguida, será feita uma comparação entre as redes de âmbito privado e público, destacando os pontos positivos e pontos negativos e apontando qual é a tecnologia mais adequada para cada aplicação.

**Palavras chave** - 3GPP, BW, IoT, LPWAN, LTE, Redes Privadas, Redes Públicas, LoRa, SigFox, NB-IoT, LTE-M, EC-GSM, NB-LTE.

## I. INTRODUÇÃO

O conceito ou a ideia de Internet das Coisas ou IoT (*Internet of Things*) como é conhecido surgiu na década de 90, mas o termo foi usado pela primeira vez em 1999 por Kevin Ashton, em uma apresentação sobre RFID (*Radio Frequency Identification*) e a cadeia de suprimentos de uma grande companhia. A IoT nada mais é que o próximo passo na evolução da internet que conhecemos, fazendo com que simples objetos do cotidiano, sejam capazes de coletarem e transmitirem dados. Assim, quando conectamos esses aparelhos à internet as possibilidades são inúmeras, desde um sistema simples de alarme e monitoramento doméstico até o gerenciamento e controle de linhas de produção. Com o constante avanço da tecnologia, a demanda de aparelhos conectados só aumenta, o que traz inúmeras possibilidades de empreendimentos impulsionando e aquecendo o mercado, principalmente na área de segurança da informação, garantindo a privacidade e a veracidade dos dados [1].

O termo IoT tem sido constantemente discutido e novas definições vem surgindo com o avanço da Tecnologia. Segundo o *Cisco Internet Business Solution Group* (IBSG), a IoT surge quando o número de aparelhos conectados à internet é superior ao número de pessoas também conectadas. Em 2011

a IBSG realizou um estudo onde a população mundial foi comparada com a quantidade de aparelhos conectados. Foi visto que em 2003 a média de dispositivo por pessoa era de 0,08 e já em 2010 essa média era de 1,84. Esse estudo estima que a quantidade de aparelhos ultrapassou a quantidade de pessoas entre os anos de 2008 e 2009, devido a explosão do mercado de smartphones e tablets [2].

O *Cisco Annual Internet Report* (2018–2023), mostrou que em 2018, 3,9 bilhões de pessoas possuíam conectividade móvel e que em 2023 esse número aumentará para 5,3 bilhões, algo em torno de 66% da população mundial. Outra estimativa realizada nesse relatório, foi a de que em 2023, 14,7 bilhões de conexões serão M2M (*Machine-to-Machine*), o equivalente à metade de todas as conexões existentes no mundo. Através desses dados é possível vislumbrar o quão a Internet das Coisas estará presente em nosso dia-a-dia e o quanto seremos dependentes dela com o passar dos anos [3].

O artigo a seguir foi dividido em quatro tópicos, sendo o primeiro sobre as tecnologias de redes privadas, onde são abordadas as tecnologias LoRa, SigFox e NB-IoT as mais relevantes no mercado atual. Tecnologias de redes públicas onde também foram escolhidas as principais tecnologias utilizadas que são o LTE-M, EC-GSM e a NB-LTE. Um terceiro tópico que tem o objetivo de comparar as características dessas tecnologias, afim de apresentar as vantagens e desvantagens e qual tecnologia se sobressai em frente uma determinada aplicação. E por último uma conclusão, tento em vista possíveis melhorias e sugestões para implantação da IoT, tanto para o cenário público como o privado, através do conhecimento adquirido durante o desenvolvimento do artigo.

## II. TECNOLOGIAS DE REDES PRIVADAS

Com a necessidade de estar cada vez mais conectado, surge também a demanda da criação de novas soluções, que englobam sempre confiabilidade, alto desempenho e segurança, o que impulsiona o mercado de IoT. O setor privado tem investido pesado nesse segmento, com o objetivo de interconectar a maior quantidade de dispositivos possíveis, a fim de aumentar sua produtividade e eficiência, seja para uma simples coleta de dados ou até mesmo em busca de automatizar todo um processo [4].

Para suprir as necessidades do setor privado, as tecnologias que mais se destacam são as de redes LPWAN (*Low Power*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL) como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica/Engenharia de Telecomunicações. Aprovado em 27/11/2020 pela comissão julgadora: Rinaldo Duarte Teixeira de Carvalho/Instituto Nacional de Telecomunicações – Orientador e Presidente da Comissão Julgadora. – Prof. Bruno de Oliveira Monteiro/ Instituto Nacional de Telecomunicações. Espec. Flavia Generoso Mendes/ Instituto Nacional de Telecomunicações – Membros da Comissão Julgadora. Coordenador do Curso de Engenharia de Telecomunicações: Marcelo de Oliveira Marques.

*Wide Area Network*), que são redes que possuem um alcance de até 63 quilômetros e um baixo consumo de energia. As redes LPWAN são capazes de ultrapassar barreiras físicas com menor nível de atenuação e são projetadas especialmente para aplicações com um baixo tráfego de dados, variando de 0,1Kbps à 250Kbps o que torna as redes LPWAN extremamente viáveis para a implementação do IoT no ramo empresarial [5].

As principais tecnologias existentes no mercado para redes privadas são LPWAN, sendo divididas entre as que utilizam frequências fora do espectro licenciado (LoRa, SigFox, Ingenu) e redes que utilizam frequências dentro do espectro licenciado (NB-IoT, LTE-M, EC-GSM). Nesse tópico serão apresentadas características como custo, aplicações, vantagens e desvantagens das 3 tecnologias que se destacam dentre as citadas acima sendo elas a LoRa, SigFox, NB-IoT[6].

### A. LoRa

LoRa (*Long Range*) é uma tecnologia de comunicação sem fio, criada pela Semtech e desenvolvida pela LoRa Alliance, grupo composto por diversas empresas no intuito de promoverem o avanço dessa tecnologia no mercado de IoT. Dentre as empresas que compõe esta aliança se destacam Actility, Cisco, Eolane, IBM, Kerlink, IMST, MultiTech, Sagemcom, Semtech, tendo também no grupo algumas operadoras de telecomunicações como Telecom, KPN, SingTel entre outras.

A LoRa opera na banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*) Sub GHz, ou seja, separado em três faixas de operação no globo, sendo 915MHz em países da América do norte e Brasil, 868MHz na Europa e 433MHz na Ásia, divisão regulamentada pela ITU (*International Telecommunication Union*). Sua topologia (Fig. 1), é dividida em três camadas sendo a primeira, denominada camada física ou interface de rádio (*end-devices*), sendo responsável por coletar informações solicitadas pela aplicação. A segunda camada, que concentra as antenas de recepção e transmissão onde acontece o tratamento das informações para suas respectivas aplicações, é a camada *Gateway*. E por fim temos a camada *Application Server*, onde os usuários finais terão acessos aos dados coletados, podendo tomar decisões e interagir com os *end-devices* quando necessário [7]

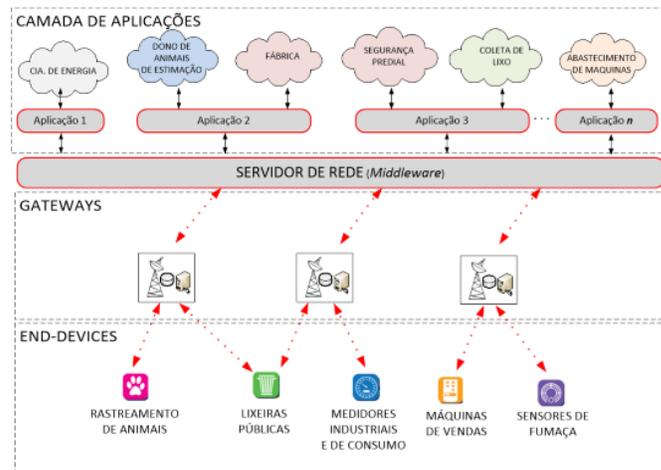


Fig. 1. Representação da Topologia de rede LPWAN LoRa e SigFox [7].

Devido ao seu baixo consumo de energia, seu alcance é de até 5 km em ambientes urbanos e 15km em ambientes rurais, a tecnologia LoRa se mostra ideal para aplicações que necessitem de um grande alcance e que usem uma pequena taxa de dados. O LoRa usa um método de espalhamento espectral proprietário através da modulação CSS (*Chirp Spread Spectrum*), que espalha um sinal de banda estreita por uma largura de banda de canal mais ampla obtendo um sinal resultante com menor ruído. Essa modulação pode ser alterada em 3 parâmetros, sendo o primeiro a largura de banda (*BW - bandwidth*), trabalhando em 125kHz, 250kHz e 500kHz levando em consideração que quanto maior a BW menor a sensibilidade na recepção. Outro parâmetro é o fator de espalhamento (*SF - Spreading Factor*), indo de 7 a 12, que de acordo com o aumento desse fator, seu alcance é melhorado, porém a taxa de dados diminui de forma proporcional. O último parâmetro que pode ser alterado é o parâmetro CR (*Code Rate*), que determina a taxa do código corretor de erros, influenciando no tamanho das mensagens, consumo de energia e seu alcance. [7] [8] [9].

A taxa de transmissão de uma rede LoRa varia de 300bps a 50kbps de acordo com a alteração dos parâmetros de modulação, essas combinações conseguem suprir inúmeras aplicações de acordo com a necessidade do cliente. A LoRa disponibiliza três classes para pacotes de serviço, divididas em A, B e C, sendo a classe A mais simples e barata, a classe B como um pacote com valor intermediário e, um pacote mais refinado de valor mais alto, a classe C. Na Tabela 1 suas principais características estão destacadas [7].

TABELA 1  
TIPOS DE CLASSES DE DISPOSITIVOS FINAS LORA

	Classe A	Classe B	Classe C
<b>Tipo</b>	Alimentado por bateria	Baixa Latência	Sem Latência Alimentação externa
<b>Comunicação</b>	Bidirecional	Bidirecional	Bidirecional
<b>Mensagem</b>	Unicast	Unicast e Multicast	Unicast e Multicast
<b>Latência mensagens</b>	Longos intervalos	Longos intervalos	Mensagens podem ocorrer a qualquer momento
<b>Quem e quando inicia a comunicação?</b>	<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

Por oferecer ao usuário várias opções de uso de sua tecnologia, a LoRa se mostra capaz de se adaptar as especificações de qualquer cliente de acordo com sua necessidade e seu orçamento. Essa flexibilidade é muito atrativa quando se pensa na implementação de uma rede IoT. Sua modulação CSS à torna mais resistente a interferências e com menor probabilidade de ser interceptado por fontes indesejadas, tornando a rede muito segura. Porém, uma rede LoRa só permite a intercomunicação com outros dispositivos LoRa, o que impossibilita aproveitarmos uma estrutura já existente para integrarmos essa tecnologia, devido a utilização de um protocolo próprio.

### B. SigFox

Criada pela empresa francesa SigFox, fundada em 2009 com o propósito de prover conectividade mundial IoT, a tecnologia SigFox foi arquitetada para lidar com pequenas taxas de transferência de dados, trabalhando como uma operadora IoT capaz de suportar diversos dispositivos simultaneamente. Suas principais vantagens estão na grande área de cobertura e possuir um baixo consumo de energia, o que torna a vida útil da bateria bem mais longa. Isso decorre da utilização de dispositivos com largura de faixa estreita, baixa taxa de dados e baixa periodicidade de transmissão, diminuindo a complexidade do mesmo. Dispondo de uma topologia semelhante à da LoRa, com distinção na maneira como o cliente recebe a informação. A (Fig. 2), apresenta a configuração da rede SigFox. [8] [9].



Fig. 2. Representação da Topologia de rede SigFox [8].

A rede SigFox apresenta uma arquitetura de baixa complexidade, onde o dispositivo é responsável pela captação da informação seguido das estações rádio base para recepção e transmissão desta informação, finalizando na nuvem do SigFox onde há um controle da informação. Posteriormente sendo oferecida aos clientes da operadora de três formas: através de interface web, de APIs ou de aplicações do tipo *callback* do protocolo HTTP [8].

Opera em uma faixa de frequência não licenciada, 915MHz no Brasil, com um raio de cobertura de até 10 Km em ambientes urbanos e 50km em ambientes rurais. Emprega uma modulação própria UNB (*Ultra NarrowBand*) de banda ultra estreita de 100Hz, usando a largura de banda de frequência de maneira eficiente o que lhe proporciona pequenos níveis de ruído. Alta sensibilidade do receptor, uma antena com *design* de baixo custo e um consumo de energia extremamente baixo também são características positivas desta rede, em compensação possui uma taxa de transferência de 100bps [7] [8] [9].

Em relação a comunicação, no *uplink* tem-se uma largura de faixa já citada de 100Hz e uma taxa de dados de 100bps, o tamanho das mensagens variam de 0 a 12Bytes (ainda que pareça pouco, é o suficiente para maioria das aplicações de IoT atuais), com um total de 140 mensagens por dia. Para uma maior probabilidade de recepção da mensagem, a transmissão é feita simultaneamente em três canais diferentes escolhidos de forma aleatória dentre os 2000 presentes na banda de 200KHz, podendo escolher o melhor sinal entre eles. Já no *downlink* são 600Hz de largura de faixa e 600bps de taxa de dados e o tamanho máximo de cada mensagem é de até 8bytes. A comunicação *downlink* só ocorre depois de uma mensagem do dispositivo ser recebida, logo a radiobase retém essa informação até receber a mensagem do aparelho, caso a mensagem seja recebida em mais de uma estação a própria rede escolherá a melhor dentre essas para transmitir a informação de volta [8] [9].

A responsável por disponibilizar essa tecnologia no Brasil e América do Sul é a WND, operadora de rede SigFox, para melhor atender as possíveis necessidades de diferentes aplicações IoT, a empresa fornece diferentes pacotes de mensagens variando o preço dependendo do serviço escolhido e da quantidade de dispositivos exigidos pelo cliente. Os planos disponíveis: (i) *Platinum*, (ii) *Gold*, (iii) *Silver* e (iv) *One*, fornecem diferentes quantidades de mensagens diárias para *uplink* e *downlink*, onde no melhor pacote ofertado pela empresa, *Platinum*, são oferecidas 140 mensagens diárias para *uplink* e 4 para *downlink*, e o mais inferior, denominado *One*, é concedido apenas 2 mensagens diárias para *uplink* e nenhuma para *downlink*.

A tecnologia SigFox, já consolidada no mercado, apresenta um baixo custo em relação as outras tecnologias abordadas, tendo como tarifa do dispositivo final em torno de até 2 euros. Se mostrando uma excelente opção para diversas aplicações IoT, como na agricultura inteligente, usando

sensores de temperatura e umidade por exemplo, onde uma grande vida útil da bateria é essencial e não é necessário uma atualização dos dados a todo momento, sendo o suficiente apenas algumas correções por hora, a SigFox se mostra ideal, servindo principalmente um público com a necessidade de dispositivos com elevada área de cobertura, um baixo custo, uma taxa de comunicação pouco frequente mas em compensação uma longa vida útil da bateria.

### C. NB-IoT

Solução padronizada pelo 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), release 13, NB-IoT é a sigla para *Narrow Band - Internet of Things* (Banda Estreita - Internet das Coisas) assim como a LoRa e SigFox, trata-se de uma LPWAN (*Low Power Wide Area Network*), foi criada com o objetivo de atender requisitos como baixo consumo de energia, área de cobertura estendida e maior capacidade de conectividade ofertando um dispositivo de baixo custo. Utiliza espectro de frequência licenciada, com capacidade de transmitir dados a uma taxa de até 20Kbps, a NB-IoT opera com subportadoras de banda de 200KHz, podendo ser implementado nos canais GSM (*Global System for Mobile Communications*), dentro de uma rede LTE (*Long Term Evolution*) ou em uma banda de guarda LTE ou WCDMA (*Widedband Code Division Multiple Access*) [9] [10].

O protocolo de comunicação NB-IoT se baseia e explora o padrão de comunicação LTE, reduzindo suas funcionalidades e aprimorando o necessário para atender aos requisitos de IoT, usufruindo de toda a infraestrutura e aceitação global do LTE já existente. Reutiliza as camadas superiores e a base da camada física para *uplink* e *downlink*, sendo específico do NB-IoT os procedimentos de acesso e canais de controle. No *uplink* é usado múltiplo acesso por divisão de frequência FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), método baseado na divisão da banda de frequência disponível em faixas de frequência mais estreitas com uma taxa de dados limitada em 20kbps. Já no *downlink* é usado múltiplo acesso ortogonal por divisão de frequência OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), empregando a modulação de chaveamento de quadratura de fase QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) e taxa de dados é de até 200kbps [9] [10].

Com uma banda de frequência de 200KHz, que condiz a um grupo de recursos na transmissão LTE e GSM, para uma melhor eficiência espectral existem 3 modos de operações possíveis: (i) Operação autônoma, (ii) Operação de banda de guarda, (iii) Operação em banda, na operação autônoma substitui-se uma portadora GSM por uma portadora NB-IoT onde portadoras GSM podem ser usadas para conduzir o tráfego IoT, acelerando o tempo de chegada ao destino. Em operações de banda de guarda, leva em consideração as camadas físicas do NB-IoT terem sido criadas para coexistir com o LTE, sendo possível alocá-la dentro da banda de guarda do LTE sem causar interferência. Por último a operação em

banda, onde ocorre o tráfego NB-IoT e LTE na mesma banda, sendo considerada a melhor opção e a mais econômica pela capacidade de implementação de diversos dispositivos na mesma célula, chegando a 200 mil dispositivos em casos de uso comum e podendo ainda aumentar essa capacidade [9] [10]. Em termos de alcance de cobertura da rede, a NB-IoT é a pior entre as tecnologias citadas nesse tópico.

Saindo das especificações técnicas, a NB-IoT foi projetada para viabilizar a popularização da Internet das Coisas. Quando falamos em redes de grande área de cobertura temos como primeiro exemplo as redes celulares. Porém, o custo para manter um dispositivo conectado à rede, ou até mesmo a dificuldade de acesso em locais remotos a torna inviável para o uso em algumas aplicações de IoT como por exemplo, em um cenário rural, um produtor que utiliza vários sensores para medir a umidade do solo e enviar os dados coletados para uma central, ou em um cenário urbano onde um estacionamento de shopping tem sensores instalados para informar quais vagas estão disponíveis. É também uma ótima opção para pontos de venda e varejo, onde necessitam de uma comunicação confiável e de baixa latência, já que alta latência poderá limitar o número de transações feitas pela loja. Em todos os casos os sensores não necessitam de um alto volume de transmissão de dados, mas dependem de uma rede com grande área de cobertura. Uma rede banda estreita para Internet das Coisas é ideal para este tipo de cenário, uma vez que ela apresenta um menor custo de conexão, menor consumo de bateria e segurança, podendo ser uma solução para desafios de conectividade encontrados pelas empresas na hora de desenvolver seus projetos.

Como NB-IoT é uma tecnologia LPWAN, que conecta com tudo de baixa complexidade, ela geralmente é utilizada em ambientes remotos, onde a conexão às redes celulares ou wi-fi não funcionam de forma ideal. Porém, sua compatibilidade com o espectro licenciado, ou seja, capacidade de transmitir dados utilizando a infraestrutura das redes celulares, é mais um aspecto positivo dessa tecnologia. Se nos exemplos anteriores ela se destacava por estabelecer a conexão de dispositivos de baixo valor agregado em áreas de conectividade restrita, em outros cenários ela pode se destacar por conectar dispositivos usufruindo de uma infraestrutura já existente, descartando assim a necessidade de novos investimentos. Podemos adotar como exemplo uma cidade onde os semáforos contêm sensores responsáveis por medir o fluxo de veículos e estimar os períodos de maior movimento, sabendo assim quando deve permanecer aberto ou fechado ou para aplicações como automação industrial, onde as máquinas são monitoradas em tempo real e qualquer queda no sistema afetaria a eficiência da indústria.

## III. TECNOLOGIAS DE REDES PÚBLICAS

Em um mundo cada vez mais conectado, a IoT acaba sendo uma ferramenta muito atrativa também para o setor público, sempre com soluções que visam modernizar um processo, afim

de otimizá-lo, trazendo benefícios para a população em diversas áreas. Segundo uma pesquisa realizada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social (BNDES), até o ano de 2025 a IoT voltada para setor público irá movimentar aproximadamente 1,6 trilhões de dólares em todo mundo, sendo que 27 bilhões serão aqui no Brasil [11].

Assim como no setor privado, o setor público exige que o sistema tenha como maior prioridade a segurança, uma vez que agora esses serviços irão impactar um número grande de pessoas. Esses usuários irão compartilhar dados pessoais com essa rede, então é de extrema importância, que todo o sistema seja seguro e à prova de vazamentos. “O IoT se bem aplicada no setor público, pode melhorar trânsito, serviços médicos, transporte público e diversas outras aplicações que ajudarão as pessoas. Certamente haverá uma redução nos desperdícios de recursos”, foi o que o presidente do Fórum Brasileiro de Internet das Coisas, Gabriel Marão conclui sobre o assunto [12].

Neste tópico serão apresentadas características como custos, possíveis aplicações, vantagens e desvantagens das 3 principais tecnologias usadas no setor público, sendo elas a NB-LTE (*Narrow Band – Long Term Evolution*), LTE-M (*Long Term Evolution for Machines*) e a EC-GSM (*Extended Coverage GSM Internet of Things*).

#### A. LTE-M (Long Term Evolution for Machines)

Introduzido no *release* 12 do 3GPP, o LTE-M, assim como o NB-IoT, é outra tecnologia baseada no 4G para apresentar soluções de conectividade IoT. Ambas as tecnologias são bem parecidas, porém, o LTE-M se destaca por sua capacidade em transmitir dados com taxas mais altas, menor latência e maior mobilidade. Tudo isso acarreta em uma maior complexidade e, conseqüentemente, um aumento no custo dos dispositivos finais. No próximo tópico serão feitas as devidas comparações.

Também com o propósito de estabelecer a conexão entre dispositivos IoT utilizando as redes celulares já existentes, os grandes desafios encontrados são novamente o custo e o alto consumo energético. Pensando nisso, várias propostas de otimização do LTE foram apresentadas no *release* 13 para diminuir o consumo de potência, aumentando assim a vida útil da bateria. Diminuir o tamanho das mensagens de controle, reduzir o tempo ativo de transmissão e recepção, o tempo de medidas de sinais de *feedback* e até mesmo reduzir a potência de transmissão são algumas das medidas propostas para diminuir o consumo da bateria de um dispositivo.

Outra maneira encontrada para contribuir com a redução no consumo da bateria é o procedimento DRX (*Discontinuous Reception*). Um dispositivo LTE comum dispara um sinal denominado *paging* que serve para verificar se existe alguma mensagem dedicada a ele proveniente de alguma estação radiobase, caso contrário, o móvel retorna para o estado de *IDLE*. O DRX, em um dispositivo LTE-M, permite que o dispositivo desligue alguns de seus circuitos que se apresentam ociosos por um intervalo de tempo, evitando assim o consumo desnecessário de energia. Finalizado o tempo de dormência, os circuitos são religados e o móvel estabelece conexão com a

rede para realizar a troca de mensagens.

Pensando em valores, a simplificação por parte de RF (*Radio Frequency*) é feita adotando um sistema *half-duplex*. Como os dispositivos não estarão enviando informações simultaneamente, não se faz necessária a implementação de um sistema *full-duplex*, podendo assim adotar apenas uma chave de comutação resultando em uma redução de custos, porém, com o viés de reduzir a taxa máxima de transmissão e recepção. Além de não impactar na área de cobertura, outra vantagem deste sistema é a diminuição no consumo de potência já que os circuitos de transmissão e recepção não estarão ligados simultaneamente, mais uma vez ajudando na economia de bateria.

Por se tratar de uma evolução do LTE otimizada para o IoT, o LTE-M usufrui da mesma infraestrutura que o LTE, necessitando apenas de uma atualização de *software*. Com isso, ambos compartilham da mesma arquitetura de rede que está ilustrada na (Fig. 3), [13].

Falando um pouco mais de suas especificações técnicas, o LTE-M apresenta uma ótima área de cobertura com um raio de até 11km. Como um dispositivo IoT não demanda altas taxas de transmissão, este parâmetro teve seu valor reduzido nessa tecnologia, podendo atingir no máximo 1Mbps. Outra redução ocorreu na potência de transmissão do UE (*User Equipment*), esse valor que antes era de 23dBm foi diminuído pela metade, ou seja, 20dBm, ajudando a melhorar o consumo energético.

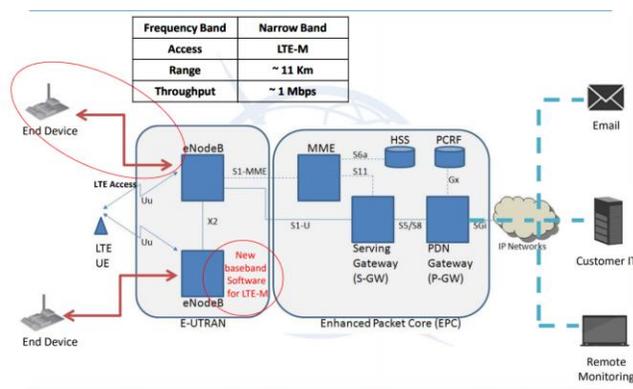


Fig. 3. Representação da Arquitetura do LTE-M [13].

#### B. EC-GSM

O EC-GSM-IoT criada no *release* 13, é uma extensão do EC-GSM, sendo tecnologia baseada no GSM, com algumas alterações para atender as especificações de aplicações IoT, oferecendo um produto de baixa complexidade, baixo consumo de energia, baixo custo final, um longo alcance e possibilidade da rede se conectar com uma grande quantidade de dispositivos. Foi desenvolvida para ser constituída em redes GSM já presentes, com pequenas atualizações de software o que facilita sua implementação, permitindo assim a coexistência das redes móveis 2G, 3G e 4G com redes EC-

GSM tendo ainda o privilégio de utilizar recursos das redes móveis como segurança e privacidade, suporte para confidencialidade de identidade de usuário, autenticação de entidade, confidencialidade, integridade de dados e identificação de equipamento móvel [14][15].

No intuito de aumentar o raio de cobertura o EC-GSM reutiliza canais físicos do GSM, canais de controle e canais de dados onde há uma diminuição na taxa de codificação e nos critérios de modulação, essa cobertura é estabelecida dentre uma classe de coberturas oferecidas, sendo configurada à partir da classe escolhida, as classes são caracterizadas em número de repetições para os canais físicos PDTCH (*Configuring the Packet Data Traffic Channel*) e PACCH (*Packet Associated Control Channel*) e em esquema de modulação e codificação no PDTCH, onde nesse esquema de modulação cada classe de cobertura possui um valor diferente de MCS (*Modulation and Coding Scheme*), esquema de modulação empregada, ela define quantos bits úteis poderão ser transmitidos. O MCS irá depender da qualidade do *link* de rádio, quanto pior a qualidade menor será o MCS e menos serão transmitidos e vice-versa, como mostra na Tabela 2, [14].

TABELA 2  
CLASSES DE COBERTURA

Classe de cobertura	Número de repetições para os canais físicos PDTCH e PACCH	Esquema de modulação e codificação no PDTCH
CC1	1	MCS-4
CC2	1	MCS-1
CC3	2	MCS-1
CC4	4	MCS-1
CC5	6	MCS-1
CC6	8	MCS-1

Ainda sobre a cobertura estendida, após testes, foi comprovado que em situações de maior cobertura é possível alcançar uma MCL (*Maximum Coupling Loss*) de 164dB, nesse caso usando uma potência de transmissão de 33dBm, em casos usando o segundo valor viável de potência de transmissão de 23dBm, o valor obtido de MCL será de 154dB, limitando a cobertura. Esses dois valores possíveis são decorrentes do tipo de montagem do equipamento, caso o amplificador de potência esteja integrado no mesmo circuito empregado no processamento a menor potência é atingida. Como a camada física do GSM é utilizada no *downlink* e no *uplink*, o esquema de multiplexação, estrutura do quadro, duração do *time slot*, codificações e modulações são reutilizadas do GSM. Possui uma largura de faixa do canal de 200KHz e a modulação usada é a GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*), ela transmite os dados na fase da portadora, obtendo um sinal constante, podendo assim usar amplificadores menos complexos [14].

Visando o consumo de energia é utilizado no EC-GSM dois métodos, a PSM (*Power Save Mode*) e o eDRX (*Extended Discontinuous Reception*), ambos estão relacionados a maneira de trocar informações entre o equipamento e a rede, a

técnica eDRX consiste em permitir que o dispositivo seja capaz de desligar alguns circuitos para minimizar o gasto de energia, religando apenas para verificar se há solicitação de informação da radiobase, conseqüentemente aumentando o tempo útil da bateria, já a PSM é quando o dispositivo manda informações para rede por conta própria, sem a necessidade de uma solicitação de informação da rede, geralmente o dispositivo permanece adormecido, apenas consumindo a energia realmente necessária para o funcionamento de seus circuitos básicos, mandando a informação quando é preciso. No geral o tempo útil da bateria é considerado bom, passando de 10 anos em praticamente todas as aplicações, tendo um tempo menor apenas para situações que necessitem de um valor de cobertura de mais de 20dB com pequenos intervalos de transmissão [13] [14].

Atualmente o EC-GSM é responsável por 15% das conexões, exceto IoT celular e o GPRS (*General Packet Radio Service*) é autor da maior parte das comunicações M2M (*Machine-to-Machine*). Essa tecnologia se mostrou uma boa opção para dispositivos IoT, principalmente quando há a intenção de aproveitar a infraestrutura 2G já existente provendo uma conectividade confiável e toda segurança de dados oferecida pela rede móvel, é possível utilizar dois valores de potência de transmissão e configurar diferentes intervalos de transmissão dependendo da aplicação desejada o que irá aumentar ou não a cobertura e o tempo de vida da bateria, tendo ainda a capacidade de conectar um grande número de dispositivos, chegando até 193 mil dispositivos, sendo mais usada em aplicações para sensores de monitoramento, controle e rastreamento [13] [14].

### C. NB-LTE

Mais uma derivação do LTE padrão, o NB-LTE é outra LPWAN promissora para aplicações de IoT. Como citado anteriormente neste artigo, o grande desafio encontrado no segmento é unir custos acessíveis para dispositivos com uma grande área de cobertura e pequeno consumo energético. Estreitamento da largura de faixa em relação ao LTE-M, sistemas de RF implementados em circuitos integrados e redução em tamanhos de códigos e memória de dados são alguns dos fatores que contribuem para a redução da complexidade nos dispositivos, conseqüentemente diminuindo os custos e aumentando a vida útil da bateria. Os testes de cobertura foram satisfatórios, superando os requisitos estabelecidos pelo 3GPP.

Como o NB-LTE é baseado no LTE, utiliza grande parte de seus recursos se diferenciando em alguns modos de operação para se adequar as necessidades IoT. No *downlink* é usado a técnica de modulação OFDMA possuindo os mesmos requisitos que no LTE como duração do símbolo, formato e duração do *slot* e mesmos valores de espaçamento entre as subportadoras, no *uplink* a técnica de modulação usada é o SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*), com valores de frequência e de temporizações diferentes se comparados com o LTE. A largura de faixa tanto

no *downlink* quanto no *uplink* do NB-LTE é de 180KHz, dispondo de uma banda de 200KHz, onde 20KHz é empregado como banda de guarda. Tais modificações tiveram que ser realizadas para ajustar os símbolos na largura de faixa reduzida.

Em relação a camada física do *downlink* e *uplink* houve algumas mudanças, no *downlink* os canais físicos foram reestruturados para caberem na largura de faixa do NB-LTE, com apenas uma alteração na nomenclatura de cada um, acrescentando um M no início para se diferenciar dos canais físicos do LTE, mais suas funções se mantiveram exatamente as mesmas, sendo chamados agora M-PBCH (*M-Physical Broadcast Channel*), M-PDSCH (*M-Physical Downlink Shared Channel*), M-PDCCH (*M-Physical Downlink Control Channel*), M-PSCH (*M-Physical Synchronization Channel*).

Já no *uplink* o espaçamento entre as subportadoras é reduzido para 2,5KHz, em razão da largura de faixa do sistema ser de 180KHz, somente três canais são utilizados, sendo eles M-PRACH (*M-Physical Random Access Channel*), M-PUCCH (*M-Physical Uplink Control Channel*) e a M-PUSCH (*M-Physical Uplink Shared Channel*), apresentando as mesmas funcionalidades do LTE com alterações apenas na duração dos canais e na largura de faixa das subportadoras.

Por ter uma largura de faixa sete vezes menor que o LTE-M os dispositivos NB-LTE exibem uma diminuição em relação ao custo final e sua complexidade, com um transmissor e receptor RF apresentando uma melhor eficiência energética e com vantagens quando instalados com circuitos integrados, oferecendo um tamanho reduzido no dispositivo final, de modo a apresentar uma redução no consumo de memória e no número de operações necessárias para a implementação, dispõe de um código 50% menor que o do GPRS, alcançando assim uma complexidade menor se comparado com equipamentos GSM/GPRS, o que resulta em um menor custo e consumo de energia. Expôs uma boa área de cobertura, atingindo valores superiores a 20dB, valor proposto pela 3GPP, com um alto número de dispositivos conectados, passando de 50 mil dispositivos em um teste realizado em Londres, mostrando que o NB-LTE é uma excelente opção para um massivo número de conexões.

O NB-LTE expõe-se como uma tecnologia que aproxima as características dos dispositivos LPWA. Dessa forma, com as diminuições, o que se refere a cobertura colocada excede a cobertura de 20 dB proposto pelo 3GPP. No que diz respeito a quantidade de dispositivos conectados, as consequências dos estudos comprovam que a capacidade excede a quantidade de dispositivos na região da cidade Londres, que foi referência. No entanto, o NB-LTE exibe-se uma predileção propicia aplicada como rede IoT. Por fim, os testes devem ser realizados com dispositivos reais, tendo como base a finalidade de expressar em documentação da tecnologia 3GPP [14].

#### IV. COMPARAÇÃO

O mercado apresenta muitas opções para implantação de

redes IoT, tanto no âmbito privado quanto no público. Em sua maioria, a proposta das soluções tem o mesmo objetivo que é estabelecer a conexão de dispositivos de baixo valor agregado com um baixo custo e menor consumo energético. Portanto, existem algumas peculiaridades que diferenciam essas redes proporcionando ao consumidor final a oportunidade de escolher qual tecnologia é a mais adequada para sua aplicação.

A escolha da tecnologia mais adequada se faz de acordo com a aplicação e o cenário em que será implementada. Não é conveniente, por exemplo, para um fazendeiro manter contratos com operadoras de telecomunicações para cada um de seus sensores de monitoramento nas lavouras, maquinários e silos. Neste cenário, a opção mais viável é a instalação de uma rede privada, onde se pode ter uma solução mais personalizada.

Por outro lado, já não se torna viável para o dono de uma empresa que atua em todo o território nacional a implantação de uma rede privada. Neste caso a melhor opção é a aquisição de dispositivos compatíveis com a infraestrutura já existente das redes públicas.

No entanto, não tem como definir qual a melhor opção de rede para IoT, pois a melhor rede é a que melhor atende a necessidade do cliente, e essas necessidades em projetos são as mais variadas possíveis. Dessa forma, é importante ter esse leque de opções bem definido para aplicar a melhor solução disponível no mercado. Será apresentado um breve comparativo com suas principais características das redes de telecomunicações usadas atualmente e abordadas nesse estudo.

LoRa e SigFox trabalham em bandas não licenciadas, com diferentes faixas de frequências de operação, não necessitando de outorga para irradiar, já o restante das tecnologias NB-IoT, NB-LTE, EC-GSM e LTE-M, precisam ser outorgadas para transmitir dados. Em relação a modulação, a SigFox, utiliza duas modulações diferentes, uma para *uplink* e outra pra *downlink*, trabalha com uma banda não linear, transmitindo de um jeito e recebendo de outro. Ela até recebe informações, mas seu grande foco é ter um dispositivo simples que envia dados para um servidor onde todo o processamento e análise de dados é feito. A LoRa utiliza como modulação SSchirp, ou seja, ela faz espalhamento espectral de dados de forma bilateral, tanto *uplink* quanto *downlink*. Possui uma banda mais larga o que consequentemente acarreta em um consumo de energia maior. Tanto a LoRa como a SigFox trabalham na banda sub-giga e operam na casa de 900MHz. NB-IoT, NB-LTE, EC-GSM, LTE-M se baseiam em vários aspectos com as tecnologias de redes GSM/LTE já difundidas no mercado com a intenção de manter a compatibilidade com o espectro licenciado e usufruir de toda a infraestrutura já existente.

No que se refere a largura de banda do receptor, SigFox utiliza uma banda de 100Hz, a banda mais estreita entre as tecnologias. O ponto negativo é que só é possível transportar uma pequena quantidade de dados, 12Bytes. A LoRa trabalha com uma largura de banda de até 125KHz, consequentemente consumindo mais energia que a SigFox, mas também é possível trabalhar até 50Kbps de taxa de dados. Já a NB-IoT

tem uma largura de banda de 200KHz e uma taxa de até 20Kbps. As demais tecnologias se assemelham com a NB-IoT, com exceção do LTE-M que já entram na casa de MHz de largura de banda e Mbps de taxa de dados. Por isso, é interessante dependendo da necessidade, possível estar dentro da mesma rede com dispositivos diferentes. Por exemplo, o cliente quer unificar sua rede e trabalhar apenas na rede LTE-M, necessita de um dispositivo que transmita apenas a informação de temperatura, mais também precisa transportar em outro dispositivo uma foto, ou quem sabe um vídeo, se escolhe uma rede com uma taxa de dados maior, sendo assim possível executar a ação desejada, dando-lhe uma abertura ampla e satisfatória na aplicação desejada.

Outro ponto importante a se verificar é o número máximo de mensagens diárias que serão transmitidas. A SigFox oferece apenas 140 mensagens por dia, dependendo da aplicação se a necessidade for transportar, por exemplo, um dado de temperatura a cada uma hora, 140 mensagens será mais que o suficiente, mais se a intenção for carregar dados de rastreamento de um pacote a cada um minuto, 140 mensagens já não será o bastante. As demais tecnologias não possuem um limite máximo de mensagens por dia, desde que seja respeitado as especificações de cada uma e o plano contratado, no entanto essa quantidade de transmissão de informações influencia na duração da bateria. A SigFox oferece uma vida útil da bateria de até 20 anos o que obviamente será menor nas outras tecnologias, ainda assim sendo consideradas econômicas em relação ao consumo de energia. Contudo, todas as tecnologias alcançam uma boa área de cobertura, atingindo os parâmetros esperados [13].

## V. CONCLUSÕES

Como o IoT é um tema que está sendo amplamente difundido nos dias de hoje, este artigo tem o objetivo de mostrar e comparar as características das principais tecnologias IoT utilizadas em redes públicas e privadas, de uma maneira sucinta, afim de atingir leitores com diversos níveis de conhecimento. Apresentar em quais cenários cada tecnologia se destaca, uma vez que não existe uma tecnologia melhor ou pior. E sim, a que melhor se adapta à necessidade do usuário, tendo como principal limitador custo e benefícios.

O mercado está em constante evolução, buscando sempre maximizar seus lucros, através de um processo mais inteligente, que tenha um baixo custo de implementação ou pelo menos um retorno palpável em curto prazo. Porém com a adesão da IoT com suas diversas aplicações nos próximos anos é possível aparecer problemas que se não forem sanados, implicam em barreiras no desenvolvimento dessa tecnologia, como por exemplo a necessidade do protocolo IPv6 (*Internet Protocol Version 6*) alcançar sua totalidade de implantação. Com milhares de sensores comunicando entre si e ocupando vários endereços IPs (*Internet Protocol*), se torna praticamente impossível enxergarmos a ascensão da IoT sem o IPv6, uma vez que esse protocolo disponibiliza uma imensa quantidade

de novos endereços, além de ter sua segurança aprimorada [2].

Outro aspecto interessante a ser explorado é a padronização das arquiteturas das diferentes tecnologias, afim de que essas sejam compatíveis entre si, para que o usuário tenha opção de escolha para implementar a tecnologia que melhor se adequa ao seu propósito, sem a barreira imposta por tecnologias como LoRa, por exemplo, que só se comunica com outros dispositivos LoRa, devido suas arquiteturas e protocolos. Nesses casos a segurança precisaria de uma atenção especial, uma vez os dados iram transitar por várias tecnologias diferentes. Por último e não menos importante, sustentabilidade, especialmente nas baterias dos sensores utilizados no IoT. Se de alguma forma esses sensores fossem autossustentáveis, seja gerando energia por meio de vibrações no ambiente ou até mesmo gerando energia através da luz, ajudariam muito não só no meio ambiente, mas também reduziram bem os gastos com a manutenção desses dispositivos.

O setor privado naturalmente tem uma melhor adesão a IoT, pois possui uma visão mais voltada ao empreendedorismo, e aponta como essa tecnologia será indispensável no futuro totalmente conectado. Já no setor público algumas pessoas ainda têm dificuldade de enxergar a infinidade de benefícios que a IoT pode proporcionar, seja dentro da cidade, na área da saúde ou até no campo. É apenas uma questão de tempo para que a IoT se torne parte da vida das pessoas, até chegarmos em um ponto onde não lembraremos como era a vida antes da IoT.

## REFERÊNCIAS

- [1] G. P. Galeale, É. Siqueira, C. B. H. e Silva and C. A. de Souza, "Internet das coisas aplicadas a negócios – um estudo bibliométrico", *Universidade de São Paulo*, 2016.
- [2] D. Evans; "A Internet das Coisas: como a próxima evolução da Internet está mudando tudo. ", *Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG)*, 04-2011.
- [3] Cisco, "Relatório Anual da Cisco sobre Internet (2018-2023) White Paper", *Cisco Public*, 03-2020.
- [4] Ericsson, "Redes Privadas". Disponível: <https://www.ericsson.com/en/portfolio/iot-and-new-business/dedicated-networks/private-networks>. Acesso em: 26 de setembro de 2020
- [5] C. C. H. Cunha, P. R. de Araújo, A. Lima, C. A. Benevides, A. L. C. de Araújo, A. A. M. de Albuquerque, P. Facó, J. A. Oliveira, H. Ineco, G. Habib, A. Gaspar. S. Sales, A. Dantas and I. Frota, " Seleção de Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs) para o Estudo Comparativo das Tecnologias de Comunicação LPWAN (LoRa, SigFox and NB-IoT) a serem Aplicadas em uma Infraestrutura de Smart Metering", *Metrologia* 2019.
- [6] P. M., de Souza, "Análise sobre as tecnologias disponíveis em redes LPWAN", *Universidade Estadual de Londrina*, 2018.
- [7] P. S. R. Garcia, and J. H. Kleinschmidt, "Tecnologias Emergentes de Conectividade na IoT: Estudos de Redes LPWAN", *XXXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais*, 09-2017.
- [8] A. D. Soares, "Tecnologias de Rede Privadas para IoT", *Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR) Inatel*, 2016.
- [9] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel and F. Meyer, "A comparative study of LPWAN Technologies for large-scale IoT deployment", *ICT Express*, 2019.
- [10] S. Landstrom, J. Bergstrom, E. Westerberg and D. Hammarwall, "NB-IoT: uma tecnologia sustentável para conectar bilhões de dispositivos", Ericsson, 2016.

- [11] Exati, “Como o IoT pode ajudar na implantação das Cidades Inteligentes”, Disponível: <https://blog.exati.com.br/cidades-inteligentes-e-iot/>. Acesso em: 14 de outubro de 2020
- [12] Grupo Tellus, “A gestão pública e a Internet das Coisas (IoT)”, Disponível: <https://tellus.org.br/conteudos/artigos/gestao-publica-internet-das-coisas-iot/>. Acesso em: 14 de outubro de 2020
- [13] S. Tabbane, “IoT Standards, Part. II: 3GPP Standards”, *ITU and MCIT*, 2018.
- [14] A. D. Soares, “Tecnologias de rede celulares/públicas para IoT”, *Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR) Inatel*, 2016.
- [15] Everything RF, “EC-GSM IoT”. Disponível: <https://www.everythingrf.com/community/what-is-ec-gsm-iot>. Acesso em: 22 de outubro de 2020