UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO

GABRIEL DA CONCEIÇÃO GERHARDT

ESTUDO DA INTERNET DAS COISAS (IOT) NO 5G: APLICAÇÕES EM INDÚSTRIA 4.0, AGRICULTURA 4.0 E CIDADES INTELIGENTES

VITÓRIA
2021

GABRIEL DA CONCEIÇÃO GERHARDT

ESTUDO DA INTERNET DAS COISAS (IOT) NO 5G: APLICAÇÕES EM INDÚSTRIA 4.0, AGRICULTURA 4.0 E CIDADES INTELIGENTES

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Gabriel da Conceição Gerhardt**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Eduardo Vieira Segatto
Coorientador: Dr.-Ing. Jessé Gomes dos Santos

VITÓRIA
2021

GABRIEL DA CONCEIÇÃO GERHARDT

ESTUDO DA INTERNET DAS COISAS (IOT) NO 5G: APLICAÇÕES EM INDÚSTRIA 4.0, AGRICULTURA 4.0 E CIDADES INTELIGENTES

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Gabriel da Conceição Gerhardt**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 09 de julho de 2021.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo Eduardo Vieira Segatto
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Dr.-Ing. Jessé Gomes dos Santos
Universidade Federal do Espírito Santo
Coorientador

Prof. Dr. Carlos Alberto Dalarmelina
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

Eng. Ricardo Natale
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

RESUMO

A Internet das Coisas (IoT) são redes de objetos conectados à Internet, caracterizada por dispositivos espalhados por uma grande área, que nem sempre têm acesso à rede elétrica e consomem poucos dados. O *Narrow Band - Internet of Things (NB-IoT)* e o *Long Term Evolution for Machines (LTE-M)* são redes de quarta geração (4G), incorporadas as redes de quinta geração (5G), criadas para atender esses dispositivos, projetadas para melhorar o consumo de energia e atender a milhões de dispositivos conectados a elas. Tais mudanças permitem que esses dispositivos sejam simplificados e barateados, podendo ser oferecidos como uma alternativa que não precisa de investimentos em infraestrutura e possui dispositivos baratos para serem usados em aplicações na indústria, na agricultura e nas cidades inteligentes. A utilização dessas redes e dispositivos já acontecem ao redor do mundo e também no Brasil, principalmente pelo agronegócio. O objetivo deste trabalho é estudar a Internet das Coisas dentro do contexto das redes 5G, descrevendo as definições e requisitos para redes NB-IoT e LTE-M e discutindo aplicações na indústria, na agricultura e nas cidades inteligentes. Foi feita uma revisão bibliográfica utilizando os relatórios produzidos na padronização das redes NB-IoT e LTE-M pela *3rd Generation Partnership Project* (3GPP), um livro escrito por pesquisadores pertencentes à 3GPP e artigos complementares. Foram avaliados publicações e artigos sobre aplicações em locais pelo mundo e no Brasil, constatando os benefícios na utilização do NB-IoT e do LTE-M, e que são tecnologias promissoras.

Palavras-chave: 5G. IoT. Indústria 4.0. Agricultura 4.0. Cidades inteligentes.

ABSTRACT

The Internet of Things (IoT) are networks of objects connected to the Internet, characterized by devices spread over a large area, which do not always have access to the electrical grid and consume little data. Narrow Band - Internet of Things (NB-IoT) and Long Term Evolution for Machines (LTE-M) are fourth generation (4G) networks, incorporated into the fifth-generation (5G) networks, created to service these devices, designed to improve energy consumption and service millions of devices connected to them. Such changes allow these devices to be simplified and cheaper, and can be offered as an alternative that does not need infrastructure investments and has inexpensive devices to be used in applications in industry, agriculture and smart cities. The use of these networks already takes place around the world and in Brazil, mainly for agribusiness. The objective of this work is to study the Internet of Things within the context of 5G networks, describing the definitions and requirements for NB-IoT and LTE-M networks and discussing applications in industry, agriculture and smart cities. A bibliographic review was carried out using the reports obtained from the standardization of the NB-IoT and LTE-M networks by the Third Generation Partnership Project (3GPP), a book written by researchers belonging to 3GPP and complementary articles. Publications and articles were published on applications in locations around the world and in Brazil, noting the benefits of using NB-IoT and LTE-M, and that they are promising technologies.

Keywords: 5G. IoT. Industry 4.0. Agriculture 4.0. Smart cities.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cenários e aplicações 5G 20
Figura 2 – Implantação do NB-IoT modo em banda, em banda de guarda e autônomo 23
Figura 3 – Operação em PSM incluindo RAU periódicos 25
Figura 4 – Configuração de paginação DRX e eDRX no NB-IoT 26
Figura 5 – Estimativa de consumo de energia para um dispositivo GSM/EDGE configurado para usar PSM ou eDRX 27
Figura 6 – Diferentes relatórios transmitidos pela CIoT 29
Figura 7 – Representação de canais físicos NB-IoT UL e DL, assumindo subportadoras de 15 kHz em UL, preâmbulo Formato 0 e dois DCI em cada subquadro NPDCCH 33
Figura 8 – Arquitetura de rede LTE NB-IoT 34
Figura 9 – Pilha de protocolo 3GPP LTE NB-IoT para UE e eNodeB 35
Figura 10 – Estrutura do quadro para LTE e LTE-M 41
Figura 11 – Par de blocos de recursos físicos (PRB) em LTE e LTE-M 42
Figura 12 – Arquitetura 3GPP para comunicação de tipo de máquina 45
Figura 13 – Solução de rastreamento de ativos movida a energia solar 47
Figura 14 – Manutenção de ferramentas 48
Figura 15 – Sistema Andon 49
Figura 16 – Sensor TH NB-IoT 51
Figura 17 – Aplicações Furukawa LTE 250 MHz 53
Figura 18 – Cenário de Conectividade Rural Trópico e John Deere 55
Figura 19 – Arquitetura do sistema STC 58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variação mensal e anual dos acessos de Telefonia Móvel M2M por regiões 16
Tabela 2 – Definições de pacotes NB-IoT 29
Tabela 3 – Latência dos Relatórios Excepcionais NB-IoT usando o procedimento de retomada do RRC 30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Especificações NB-IoT 32
Quadro 2 – Comparação entre LTE-M e NB-IoT 36
Quadro 3 – Especificações Técnicas Solução Furukawa LTE 250 MHz 54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2G	Segunda Geração de Telefonia Móvel
3DBF	*3D beamforming technologies*
3G	Terceira Geração de Telefonia Móvel
3GPP	*3rd Generation Partnership Project*
4G	Quarta Geração de Telefonia Móvel
5G NR	*5G New Radio*
5G	Quinta Geração de Telefonia Móvel
AAS	*Active Antenna System*
ACK	*Acknowledgement*
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
API	Interface de Programação de Aplicações
ARP	Prioridade da atribuição e da retenção
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
AS	*Access Stratum*
BEST	*Battery Efficient Security for low Throughput*
BLE	*Bluetooth Low Energy*
CE	*Coverage Enhancement*
CPqD	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações
CQI	Informações de qualidade do canal
CRC	*Cyclic Redundancy Check*
CRS	*Cell-specific Reference Signal*
C-V2X	*Cellular vehicle-to-everything*
DCI	*Downlink Control Information*
DL	*Downlink*

EARFCN	*E-UTRA absolute radio frequency channel number*
EDGE	*Enhanced Data rates for GSM Evolution*
EDT	*Early data transmission*
EGPRS	*Enhanced General Packet Radio Service*
eMBB	*enhanced Mobile Broadband*
eMTC	*enhanced Machine-type Communication*
eNodeB	*Evolved Node B*
EPC	*Evolved Packet Core*
E-UTRA	*Evolved Universal Terrestrial Access Network*
eV2X	*Enhanced Vehicle to Everything*
FD	*Full Duplex*
FDD	*Frequency-division duplexing*
GPRS	*General Packet Radio Service*
GSM	*Global System for Mobile Communications*
GSMA	*Global System for Mobile Communications Association*
HARQ	*Hybrid automatic repeat request*
HD	*Half Duplex*
HLCom	Comunicações de Alta Latência
IDC	*International Data Corporation*
IEEE	*Institute of Electrical and Electronics Engineers*
IIoT	*Industrial Internet of Things*
IMSI	*International Mobile Subscriber Identity*
IoT	*Internet of Things*
ISD	*Inter-site distance*
LMA	*Local mobility anchor* - Âncora de mobilidade local
LoRa	*Long Range*

LoRaWAN	*Long Range Wide-Area Network*
LPWA	*Low Power Wide Area*
LPWAN	*Low Power Wide Area Network*
LTE	*Long Term Evolution*
LTE-M	*Long Term Evolution for Machines*
M2M	*Machine to Machine*
MAC	Controle de Acesso ao Meio
MCS	*Modulation and Coding Scheme*
MIB	Bloco de Informações Mestre
MIMO	*multiple input multiple output*
MME	*Mobility MAnagement Entity*
mMTC	*Massive Machine Type Communications* - Comunicações massivas de tipo de máquina
MT	*Mobile Terminated*
NAS	Estrato sem acesso
NB-IoT	*Narrow Band - Internet of Things*
NCCE	*Narrowband Control Channel Element*
NCellID	*Narrowband Cell ID*
NPBCH	*Narrowband Physical Broadcast Channel*
NPDCCH	*Narrowband Physical Downlink Control Channel*
NPDSCH	*Narrowband Physical Downlink Shared Channel*
NPRACH	*Narrowband Physical Random Access Channel*
NPSS	*Narrowband Primary Synchronization Signal*
NPUSCH	*Narrowband Physical Uplink Shared Channel*
NRS	*Narrowband Reference Signal*
NSSS	*Narrowband Secondary Synchronization Signal*

OFDM	*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*
OFDMA	*Orthogonal frequency-division multiple access*
OSI	*Open Systems Interconnection*
OTDOA	*Observed Time Difference Of Arrival*
PDCP	*Packet Data Convergence Protocol*
PDU	*Protocol Data Units* - Unidade de Dados de Protocolo
PLMN	*Public Land Mobile Network*
PRB	*Physical Resource Block*
PSM	*Power Saving Mode* - modo de economia de energia
PTW	Janela de Transmissão de Paginação
PUCCH	*Physical Uplink Control Channel*
QCI	Identificador de classe de QoS
QoS	Qualidade de Serviço
RAI	*Routing Area Identity*
RAT	*Radio Access Technology*
RAU	*Routing Area Update*
RE	*Resource Element*
RF	Radiofrequência
RLC	Controle de *Link* de Rádio
RRC	Controle de recursos de rádio
RSRP	*Reference Signal Received Power*
RSRQ	*Reference Signal Received Quality*
RSS	Sinal de Ressincronização
SC-FDMA	Acesso Múltiplo por divisão de frequência de portadora única
SI	Informações de Sistema
SLP	Serviço Limitado Privado

SMS	*Short Message Service*
SRS	*Sounding Reference Signal*
STC	Sistema de lixeira inteligente
TBCC	*Tail-Biting Convolutional Codes*
TBS	*Transport block size*
TCP/IP	*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*
TDD	*Time-division duplexing*
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TRxP	*Transmission Reception Points* - Pontos de recepção de transmissão
TXRU	*Transceiver Unit / Transmitter Receiver Unit*
UCI	*Uplink control information*
UE	*User Equipment*
UL	*Uplink*
URLLC	*Ultra Reliable Low Latency Communications* - Comunicações de baixa latência e ultraconfiáveis
UTDOA	*Uplink Time Difference of Arrival*
WCDMA	*Wide-Band Code-Division Multiple Access*
WPAN	*Wireless Personal Area Network*
WUS	*Wake-up signals*
ZB	Zettabytes

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO . . . 15
1.1 Motivação . . . 15
1.2 Contextualização . . . 15
1.3 Problema de Pesquisa . . . 16
1.4 Objetivos . . . 17
1.5 Metodologia . . . 17
1.6 Estrutura do Texto . . . 18

2 TECNOLOGIAS PARA IOT . . . 19
2.1 IoT . . . 19
2.1.1 IoT de 2G a 5G . . . 19
2.2 NB-IoT . . . 20
2.2.1 NB-IoT Modos de Operação . . . 23
2.2.2 Baixo Consumo de Energia . . . 24
2.2.2.1 Classes de potência . . . 24
2.2.2.2 PSM . . . 24
2.2.2.3 eDRX . . . 26
2.2.3 Baixa Latência e Relatórios de Dados . . . 28
2.2.4 Cobertura Estendida . . . 30
2.2.5 Multicast e Operação em Portadora sem Âncora . . . 30
2.2.6 NB-IoT *Uplink / Downlink* . . . 31
2.2.7 NB-IoT Arquitetura . . . 34
2.3 LTE-M . . . 35
2.3.1 Bandas de Implantação LTE-M . . . 39
2.3.2 Consumo de Energia . . . 39
2.3.3 Comunicações de Alta Latência . . . 40
2.3.4 Melhoria da Cobertura . . . 40
2.3.5 LTE-M *Uplink / Downlink* . . . 41
2.3.5.1 Estrutura dos quadros . . . 41
2.3.5.2 Modos de duplexação . . . 42
2.3.5.3 Operação em banda estreita . . . 43
2.3.6 LTE-M Arquitetura . . . 43

3 APLICAÇÕES . . . 46
3.1 Indústria 4.0 . . . 46
3.1.1 Telstra - Rastreamento de Ativos em Toda a Austrália . . . 46
3.1.2 Fábrica Inteligente da Ericsson . . . 48

3.2 Agricultura 4.0 . . . . . **50**
3.2.1 Chunghwa Telecom e NHR - Monitoramento de Clima Dentro de Estufas . 50
3.2.2 Conectar Agro, TIM, Claro e Vivo no Brasil 52
3.2.3 Furukawa - Sistemas LTE 250 MHz para Redes Privadas 53
3.2.4 Trópico - Sistemas LTE 250 MHz para Redes Privadas 54
3.3 Cidades Inteligentes **55**
3.3.1 China Mobile - Bicicletas Inteligentes 56
3.3.2 Sistema de Lixeira Inteligente Baseado em NB-IoT 57

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS **59**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **61**

1 INTRODUÇÃO

Essa seção introdutória é dividida em seis seções secundárias. A seção 1.1 apresenta as motivações desta pesquisa, a seção 1.2 a contextualização da Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*) na atualidade, tanto no Brasil, quanto no mundo. A seção 1.3 faz a pergunta do problema, a seção 1.4 discorre sobre os objetivos desta pesquisa, a seção 1.5 descreve a metodologia utilizada e os resultados esperados. Por último, a seção 1.6 apresenta a organização das seções seguintes, destacando cada tópico pesquisado nelas.

1.1 Motivação

IoT e redes 5G estão entre os assuntos mais atuais presentes nas telecomunicações. Há expansão do mercado de IoT em todo mundo e no Brasil. Dentre as opções de dispositivos IoT, é importante saber quais são adequados para cada aplicação e todas as vantagens por integrarem as redes 5G. Além disto, a possibilidade da coleta e análise de dados em máquinas e dispositivos demandam profissionais com entendimento em tecnologias voltadas à Internet das Coisas.

1.2 Contextualização

Em 2019, a *International Data Corporation (IDC)* estimava que o gasto total mundial em IoT chegará à marca de US $1 trilhão em 2022 e que haverá 41,6 bilhões de dispositivos IoT conectados, gerando 79,4 Zettabytes (ZB) de dados em 2025. Para o Brasil, a projeção é de 415,7 milhões de dispositivos IoT até 2023 e receita de 3,2 bilhões de dólares até 2021 (COLÓN; NAVAJAS; TERRY, 2019).

Os efeitos econômicos da pandemia COVID-19 em 2020 impactaram os gastos mundiais em IoT neste ano e uma atualização nas previsões de crescimento da IDC mostram que os gastos cresceram 8,2% para US $ 742 bilhões em 2020, abaixo dos 14,9% projetado nas previsões de 2019. No entanto, a IDC espera que o crescimento volte à casa dos dois dígitos em 2021 e atinja uma taxa composta de crescimento anual (CAGR) de 11,3% durante o período de previsão de 2020-2024. China, Estados Unidos e Europa Ocidental serão responsáveis por maior parte dos gasto com IoT, cerca de três quartos do total. China crescerá 13,4% CAGR, Estados Unidos 9,0% e Europa Ocidental 11,4%. As regiões com maior crescimento serão Oriente Médio e África (19,0% CAGR), Europa Central e Oriental (17,6% CAGR) e América Latina (15,8% CAGR) (SHIRER; TORCHIA, 2020).

Segundo os painéis de dados da Agência Nacional de Telecomunicações (2021), para o mês de maio de 2021, o Brasil terminou o mês com 29 milhões de terminais de dados *Machine to Machine* (M2M), dos quais 11,9 milhões conectados à rede 2G, 12,3 milhões à rede 3G e 4,8 milhões à rede 4G. Isso representa um aumento de 13,8% comparando com maio de 2020, como pode ser visto na Tabela 1. No Brasil o uso desses dispositivos ainda se concentra na região Sudeste, principalmente em São Paulo, que conta com 17,7 milhões de dispositivos, o que mostra que ainda há um grande potencial para crescer por todas as regiões.

As principais operadoras de telefonia que atuam no Brasil já estão fazendo investimentos para implantação de redes 5G orientadas para IoT, a TIM já possui redes NB-IoT com cobertura de 91% da população e a Claro possui redes LTE-M cobrindo 83,3% da população (TELECO, 2021).

Tabela 1 – Variação mensal e anual dos acessos de Telefonia Móvel M2M por regiões

Região	**Mai-2021**	**Abr-2021**	**Dif. Mensal**	**Mai-2020**	**Dif. Anual**
Brasil	29.018.753	28.621.753	1,4%	25.490.662	13,8%
Centro-oeste	1.273.193	1.249.875	1,9%	1.008.492	26,2%
Nordeste	2.290.270	2.220.668	3,1%	1.205.578	90,0%
Norte	751.665	711.305	5,7%	194.642	286,2%
Sul	3.537.201	3.433.115	3,0%	3.400.705	4,0%
Sudeste	21.166.424	21.006.790	0,8%	19.681.245	7,5%
Sudeste	**Mai-2021**	**Abr-2021**	**Dif. Mensal**	**Mai-2020**	**Dif. Anual**
ES	266.555	258.221	3,2%	135.008	97,4%
MG	1.636.351	1.526.910	7,2%	910.141	79,8%
RJ	1.524.977	1.482.161	2,9%	569.774	167,6%
SP	17.738.541	17.739.498	0,0%	18.066.322	-1,8%

Fonte: Agência Nacional de Telecomunicações (2021).

1.3 Problema de Pesquisa

A pergunta de pesquisa do presente projeto de graduação foi: quais os benefícios da implantação de dispositivos IoT que utilizam as redes 5G nas indústrias, na agricultura e nas cidade inteligentes? A relação custo-benefício compensa?

1.4 Objetivos

O objetivo dessa pesquisa é identificar as principais tecnologias IoT desenvolvidas para quinta geração de telefonia móvel (5G) e os benefícios quando aplicadas na indústria, na agricultura e nas cidades inteligentes. Sendo então os objetivos específicos:

- Descrever os conceitos relacionados a IoT e 5G;
- Identificar as tecnologias IoT disponíveis em redes 5G;
- Exemplificar aplicações IoT utilizando as redes 5G, mostrando os benefícios na indústria, na agricultura e nas cidades inteligentes.

1.5 Metodologia

Foi realizada uma pesquisa de natureza básica e exploratória, quanto aos seus objetivos. Partindo de uma pesquisa bibliográfica, foram buscados artigos científicos, livros e relatórios técnicos disponíveis principalmente nos banco de dados da *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* que respondiam a buscas pelos termos "IoT", "5G", "NB-IoT", "LTE-M", "*industry 4.0*", "*agriculture 4.0*"e "*Smart Cities*", e no bancos de dados da *3rd Generation Partnership Project (3GPP)* nos diretórios dos *release* 13, 14 e 15 referentes à padronização do NB-IoT e do LTE-M. As principais referências utilizadas foram o livro escrito por Liberg e outros (2017), uma equipe da Ericsson profundamente relacionada com a padronização dessas tecnologias na 3GPP e os relatórios gerados das padronização da 3GPP, sendo complementados com artigos variados.

A pesquisa bibliográfica foi conduzida para expressar as características definidas para as tecnologias NB-IoT e LTE-M. Para o NB-IoT foram explicados os modos de operação, as técnicas para redução de consumo de energia, os tipos de relatórios de dados, características de cobertura, os aprimoramentos recebidos nas nos *release* 14 e 15, as características definidas de *uplink* e *downlink*, e por fim, a arquitetura da rede. Para o LTE-M, foram definidas as bandas de implantação, as técnicas de consumo de energia, o tipo de comunicação em alta latência, a cobertura, as características *uplink* e *downlink*, e a arquitetura.

Publicações da *Global System for Mobile Communications Association (GSMA)* com informações sobre estudos de casos sobre aplicações ao redor do mundo e do portal Tele.Síntese para informações do Brasil em relação ao uso dessas tecnologias nos períodos entre 2018 e 2020, foram utilizados para exemplificar casos de implantação e trazer testemunhos de empresários, produtores e pessoas relacionadas com esses casos.

O primeiro caso analisado foi da Telstra, companhia australiana na área de telecomunicações, que fornece a infraestrutura de redes LTE-M na Austrália desenvolveu rastreadores veiculares com LTE-M movida a energia solar. O segundo caso foi a fábrica inteligente da Ericsson na China, onde pequenas soluções baseadas em NB-IoT foram desenvolvidas para resolver vários problemas internos. Em seguida, o caso dos dispositivos NB-IoT para monitoramento de temperatura e umidade de estufas em Taiwan. No Brasil, as soluções e avanços em NB-IoT e LTE-M feitos pela TIM, Claro, Vivo e o serviços em 250 MHz da Furukawa e Trópico. E por fim, os casos de implantação de bicicletas e lixeiras inteligentes em NB-IoT na China.

Uma abordagem qualitativa foi utilizada nos textos sobre as aplicações no mundo e no Brasil para responder questões sobre benefícios, dificuldades, custos e para então fazer as devidas conclusões.

1.6 Estrutura do Texto

Após essa atual seção introdutória, será discutido na seção 2 sobre as diversas tecnologias existentes para o IoT, principalmente as presentes no 5G para IoT sendo elas o NB-IoT e LTE-M. Será discutido sobre características como cobertura, economia de energia, suas camadas físicas, pilha de protocolos e arquitetura. Em seguida, na seção 3 será apresentado aplicações em IoT na indústria, na agricultura e nas cidades Inteligentes. E, por fim, na seção 4 serão mostrados os resultados e feitas as conclusões, assim como propostas de pesquisas futuras.

2 TECNOLOGIAS PARA IOT

Essa seção primária é dividida em três seções secundárias. A seção 2.1 discute a IoT, sua presença na 5G e conceitua as duas tecnologias *Low Power Wide Area (LPWA)* padronizadas pela 3GPP nas duas seções seguintes. A seção 2.2 apresenta o NB-IoT, uma dessas LPWA, enquanto a seção 2.3 discorre sobre o LTE-M, outra LPWA padronizada também pela 3GPP.

2.1 IoT

A Internet das Coisas descreve a rede que conecta objetos físicos incorporados com processadores, sensores e *hardware* para conexão a Internet, permitindo coleta de dados do ambiente, comunicação com outros dispositivos e bancos de dados locais ou na nuvem. Os dispositivos podem atuar baseados com os dados recebidos de outros dispositivos agindo de forma autônoma ou através de comandos externos de forma remota. Tudo isso permite a automatização e o gerenciamento de ambientes industriais, da agricultura, e das cidades inteligentes (MINERVA; BIRU; ROTONDI, 2015, p. 74-75).

2.1.1 IoT de 2G a 5G

Muitos dispositivos IoT estão instalados e funcionando utilizando tecnologias ofertadas pelas redes *Global System for Mobile Communications (GSM)* e suas melhorias *General Packet Radio Service (GPRS) / Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE)*, e *Wide-Band Code-Division Multiple Access (WCDMA)* e suas versões posteriores para redes 3G e *Long Term Evolution (LTE)* e versões superiores para redes 4G (VEJLGAARD *et al.*, 2017). Estes dispositivos aproveitam a ampla cobertura fornecida pela infraestrutura existente para dados e voz dessas redes, mas são desfavorecidos pelo alto consumo de energia, pagamento de tarifas sobre o uso de espectro licenciado e lacunas na cobertura (CHERUVU *et al.*, 2020, p. 392).

Com a chegada das redes 5G, as operadoras devem progressivamente desativar as redes de gerações anteriores, e portanto será necessário que esses dispositivos sejam revistos e adequados ou simplesmente substituídos (VEJLGAARD *et al.*, 2017).

O padrão 5G foi definido pela 3GPP para atender as demandas e permitir novos serviços através de três principais cenários de uso: Banda larga móvel aprimorada (eMBB, do inglês *enhanced Mobile Broadband*), Comunicações de baixa latência e ultra-confiáveis (URLLC,

do inglês *Ultra Reliable Low Latency Communications*) e Comunicações massivas de tipo de máquina (mMTC, do inglês *Massive Machine Type Communications*). As soluções em IoT se enquadram nos cenários mMTC e URLLC, como pode ser visto na Figura 1. No cenário mMTC foi continuado os desenvolvimentos em comunicações de ampla área de baixa potência (LPWA, do inglês *Low Power Wide Area*) como NB-IoT e LTE-M, oferecendo suporte a um milhão de dispositivos por quilômetro quadrado, vida útil das baterias maior que 10 anos e cobertura de até 400 quilômetros. Novas soluções para aplicações em automação industrial, veículos não tripulados e saúde, estão sendo projetadas para operar na interface aérea da 5G visando oferecer recursos no cenário URLLC (VERDONE; MIGNARDI, 2018; MANTILLA, 2019; LU, 2019).

Figura 1 – Cenários e aplicações 5G

Fonte: SDX Central Studios (2017).

2.2 NB-IoT

Narrow Band-Internet of Things (NB-IoT) é uma tecnologia de banda estreita projetada para IoT que compartilha a banda do LTE, sendo uma das tecnologias padronizadas pela 3GPP em que os dispositivos devem se comunicar utilizando a infraestrutura celular. Sua especificação foi introduzida no *Release* 13 da 3GPP em 2015 e foi estendida no *Release* 14 e no *Release* 15 em 2018 (SHIN; JO, 2017; FATTAH, 2018). Essa tecnologia é caracterizada por: cobertura interna aprimorada, compatibilidade com um grande número de dispositivos de baixo desempenho, baixo consumo de energia, custo baixo do dispositivo, baixa sensibilidade a atrasos e uma arquitetura otimizada. NB-IoT pode ser implementado de 3 maneiras: dentro da banda LTE, dentro da banda de guarda LTE ou autônomo para implementações de espectro dedicado (MANTILLA, 2019).

Foi definido diferentes taxas de dados adequadas para NB-IoT que variam de dezenas de kbps em largura de banda de 180 kHz (LTE Cat-NB1) até algumas centenas de kbps (LTE Cat-NB2). O NB-IoT também deve apresentar recursos avançados para acesso massivo que incluem *Resource Spread Multiple Access (RSMA)* para casos que requerem acesso assíncrono e sem concessão, malha *multi-hop*, esquemas de modo de economia de energia (PSM), e *extended Discontinuou Reception (eDRX)* para maior vida útil da bateria (FATTAH, 2018).

Fattah (2018) também explica que os dispositivos NB-IoT devem ser projetados para atender os seguintes requisitos e objetivos:

- **Número Massivo de dispositivos de baixo rendimento**: No *Release* 13 a 3GPP definiu que a primeira versão do NB-IoT (LTE Cat-NB1) deve atender até 50.000 dispositivos por célula;
- **Baixo consumo de energia**: Os dispositivos IoT devem consumir baixa corrente (na faixa de nano amperes) para permitir uma única carga de bateria por até 10 anos;
- **Melhor cobertura interna e externa**: A meta é alcançar uma cobertura estendida de 20 dB em comparação com dispositivos GPRS (em termos *Maximum Coupling Loss (MCL)*). A taxa de dados de pelo menos 160 bps deve ser suportada para o *uplink* e o *downlink*;
- **Baixa Complexidade**: O objetivo é fornecer dispositivos de complexidade baixa visando suporte a aplicações IoT que resultem em custos menores;
- **Baixa latência**: Uma latência de 10 segundos ou menos para 99% dos dispositivos;
- **Baixo custo**: Meta de custo de US$ 5 por dispositivo.

Fattah (2018) ainda afirma que as redes celulares, com suporte para dispositivos NB-IoT, são concebidas com os seguintes requisitos e objetivos:

- Reutilizar os procedimentos de economia de energia existentes na rede central;
- Suportar o compartilhamento entre as várias operadoras na rede central;
- Controlar o acesso com restrições de classe de acesso por uma *Public Land Mobile Network (PLMN)*;
- permitir compressão de cabeçalho IP para serviços baseados em IP.

- Suporte a *Short Message Service (SMS)*;
- permitir procedimentos de seleção e re-seleção de células em ambos modos inativo e conectado;
- Suportar tráfego *multicast*.

Shin e Jo (2017) explicam que no *Release* 14 do 3GPP, o NB-IoT introduz as seguintes melhorias:

- Posicionamento baseado em *Observed Time Difference Of Arrival (OTDOA)* e *Uplink Time Difference of Arrival (UTDOA)*, melhorando a precisão do posicionamento geográfico do dispositivo NB-IoT;
- *Multcast* para comando de múltiplo dispositivos simultaneamente;
- Redução de consumo de energia e latência;
- Aprimoramento de *Physical Resource Block (PRB)* sem âncora com a operação de portadora sem âncora, liberando blocos de recursos físicos (PRB) extras permitindo a implantação de mais dispositivos em uma célula.

Já o *Release* 15 acrescentou:

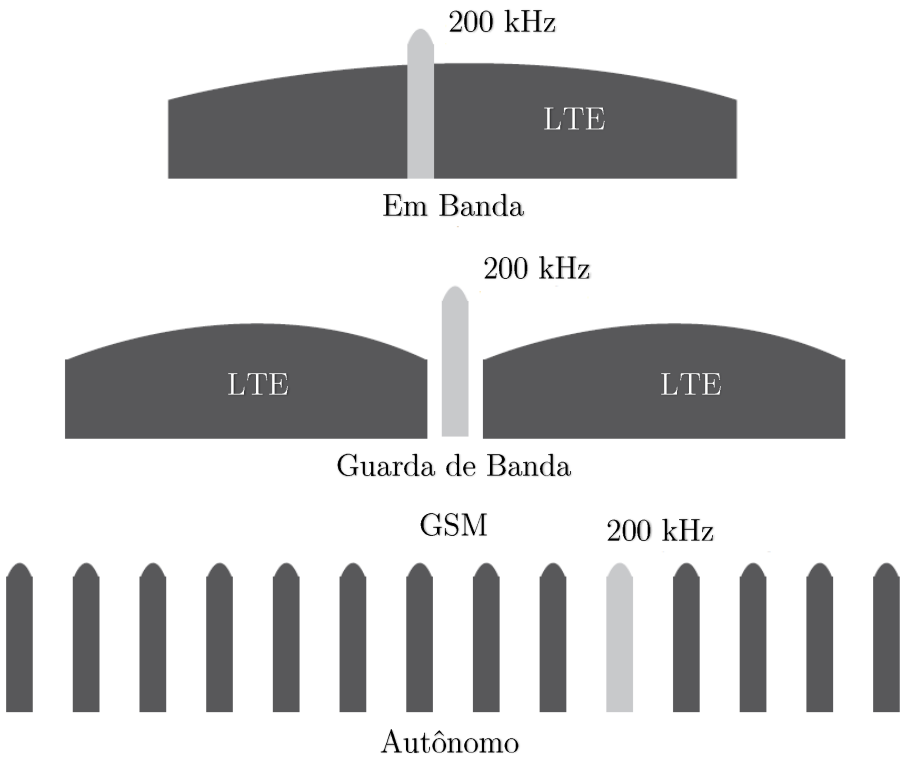
- Mais redução de consumo de energia e latência;
- Melhorias na precisão de medição da Banda Estreita;
- Aprimoramentos da taxa de alarme falso na camada *Narrowband Physical Random Access Channel (NPRACH)* e de alcance das células;
- Suporte a pequenas células NB-IoT (nanocélulas, picocélulas e femtocélulas);
- Redução do tempo de aquisição do sistema.

2.2.1 NB-IoT Modos de Operação

A interface NB-IoT pode suportar 3 modos de operação, ilustrados na Figura 2. Os modos são de acordo com Fattah (2018):

- **Em Banda**: Usa a banda de uma frequência LTE. Utilizando blocos de recursos dentro da largura de banda de uma portadora LTE, onde um bloco de recursos físicos (PRB) da LTE ocupa uma largura de banda de 180 kHz, podendo inclusive, quando não utilizado, ser escalado para outro tráfego LTE;
- **Banda de Guarda**: Utiliza a banda de uma frequência LTE. Usando os blocos de recursos não usados (guarda) dentro da banda de guarda de uma portadora LTE;
- **Autônomo**: Utiliza uma portadora dedicada diferente da LTE, por exemplo GSM que possui banda de 200 kHz.

Figura 2 – Implantação do NB-IoT modo em banda, em banda de guarda e autônomo



Fonte: Fattah (2018).

2.2.2 Baixo Consumo de Energia

Tradicionalmente os dispositivos NB-IoT sempre dependeram unicamente de baterias para sua alimentação. Além disso, sua autonomia varia conforme a taxa de dados, a utilização e a cobertura. Contudo, melhorias foram implementadas através da inclusão de duas tecnologias para redução do consumo de energia, a saber: o *Power Saving Mode (PSM)* e o *extended Discontinuou Reception (eDRX)* (FATTAH, 2018).

2.2.2.1 Classes de potência

O NB-IoT oferece suporte a três classes de potência. A classe de potência 3 (23 dBm) é a classe de potência de dispositivos LTE original. A classe de potência 5 (20 dBm) é outra classe de energia para dispositivos NB-IoT, que consome menos energia e foi criado no *Release* 13 da 3GPP (os dispositivos NB1 podem operar nessas duas classes) (FATTAH, 2018). O *Release* 14 da 3GPP introduz a nova terceira classe de potência 6 de 14 dBm para dispositivos NB-IoT permitindo bateria menores para dispositivos menores. A nova classe de potência reduz a perda máxima de acoplamento (MCL) para 155 dB, aproximadamente o mesmo do LTE-M (LTE Cat M1). A MCL padrão para o NB-IoT é de 164 dB para 23 dBm (HALTIAN, 2019).

2.2.2.2 PSM

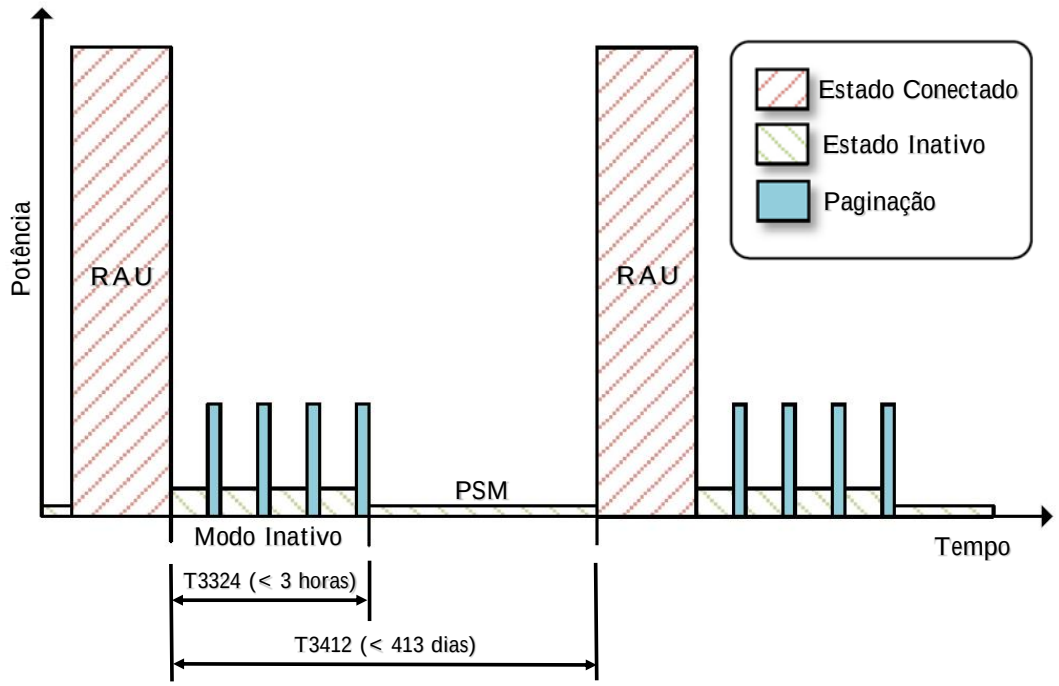
O PSM é um estado de economia de energia onde o dispositivo reduz sua potência e deixa de monitorar a paginação, tornando-se inacessível nesse período (LIBERG *et al.*, 2017). Uma paginação é enviada da estação rádio base LTE (eNodeB) para notificar todos os dispositivos quando alguma mensagem de informação do sistema é alterada ou quando o *Mobility Management Entity (MME)* inicia esse procedimento. Os dispositivos devem monitorar a paginação para receberem essas notificações mesmo no estado inativo (NUNES, 2016). O dispositivo deixa o estado PSM quando as camadas superiores do dispositivo acionam um acesso M0, por exemplo, para uma transferência de dados no *uplink (UL)* ou para uma atualização periódica da área de rastreamento / atualização da área de roteamento (TAU / RAU). Após esse acesso e a conclusão da transferência dos dados correspondentes, o dispositivo inicia um Temporizador Ativo (*Active Timer*) permanecendo acessível para tráfego e monitoramento do canal de paginação até que este expire, entrando novamente no PSM (LIBERG *et al.*, 2017).

Dois temporizadores são definidos para as fases inativa e PSM: T3324 com duração da fase inativa até 3 horas e T3412 que representa a periodicidade do TAU e, portanto, determina a duração do ciclo PSM de até 413 dias (FELTRIN *et al.*, 2019).

Para atender os requisitos de acessibilidade de *Mobile Terminated (MT)* de um serviço, o dispositivo pode realizar uma *Routing Area Update (RAU)* periódica para redes móveis GSM/EDGE com período que varia de um segundo a até um ano. Para dispositivos LTE isso pode ser feito configurando uma *Tracking Area Update* (TAU) periódica. No PSM o dispositivo também fica cadastrado na rede e mantém suas configurações de conexão. Dessa forma, ao sair do estado de economia de energia, o dispositivo não precisa se reconectar à rede e reconfigurar a conexão, como ocorre ao ligar, depois de executar anteriormente um desligamento completo. Isso reduz a sobrecarga de sinalização e otimiza o consumo de energia (LIBERG *et al.*, 2017).

A Figura 3 descreve a operação de um dispositivo configurado para PSM ao realizar RAU periódicas e leitura de mensagens de paginação de acordo com o ciclo DRX do modo inativo (detalhado na seção 2.2.2.3) aplicado durante a execução do Contador ativo. O procedimento RAU é significativamente mais custoso do que a leitura de uma mensagens de paginação, como visto na Figura 3. Durante o contador ativo, o dispositivo está no modo inativo e opera de acordo com tal status. Após expirar, entra novamente no PSM (LIBERG *et al.*, 2017).

Figura 3 – Operação em PSM incluindo RAU periódicos



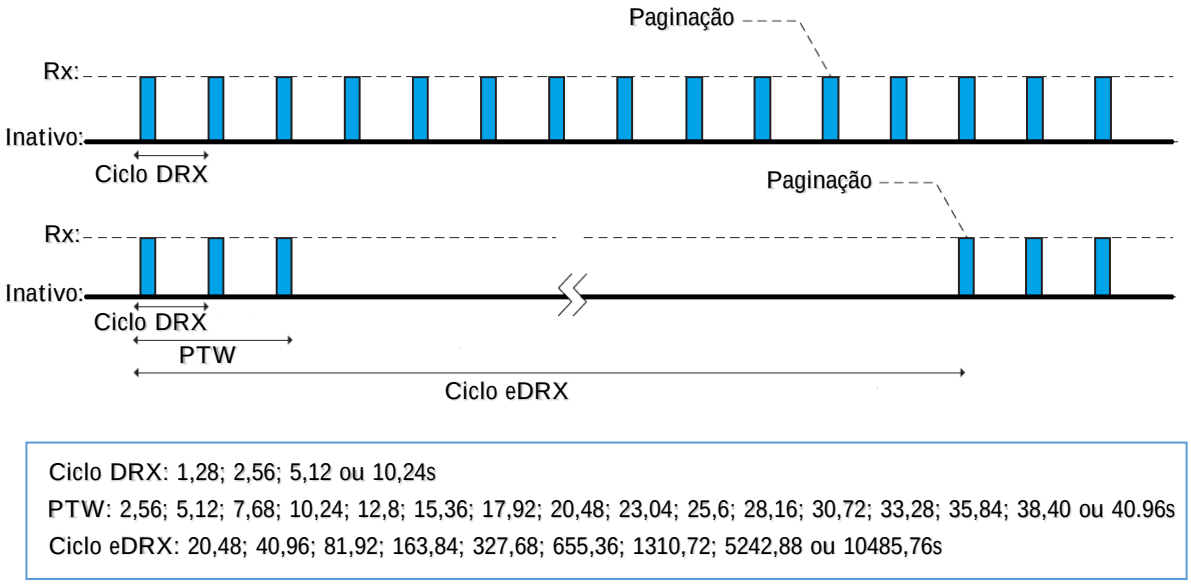
Fonte: Liberg e outros (2017).

2.2.2.3 eDRX

O monitoramento de paginação durante o modo inativo tem implicações na vida útil da bateria do dispositivo e na latência da entrega de dados *downlink* ao dispositivo. O LTE usa espaços de busca para definir oportunidades de transmissão de paginação. Um dispositivo monitora mensagem de paginação endereçada a ele em intervalos determinada com base no ciclo DRX configurado, sendo 1,28s ou 2,56s até o *Release* 13 (LIBERG *et al.*, 2017).

No *Release* 13, o eDRX foi especificado para GSM e LTE (incluindo LTE-M e NB-IoT). estendendo os ciclos DRX para 5.12s e 10.24s para NB-IoT e LTE-M, criando ciclos de eDRX de até aproximadamente 44min para LTE-M e de até aproximadamente 3 horas para NB-IoT, permitindo que um dispositivo permaneça mais tempo no estado de economia de energia minimizando o consumo de bateria (FLORE, 2016). A vantagem sobre o PSM é que o dispositivo fica disponível para serviços periodicamente sem a necessidade de uma RAU ou uma TAU para acionar um período de acessibilidade (LIBERG *et al.*, 2017). E pode ser usado sem ou em conjunto com PSM para obter economia de energia adicional. Cada ciclo de eDRX pode ser configurado com uma janela de transmissão de paginação (PTW) contendo várias oportunidades de paginação, para melhorar a confiabilidade a acessibilidade (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019d). A Figura 4 mostra uma configuração de paginação DRX e eDRX com todos os intervalos disponíveis para NB-IoT.

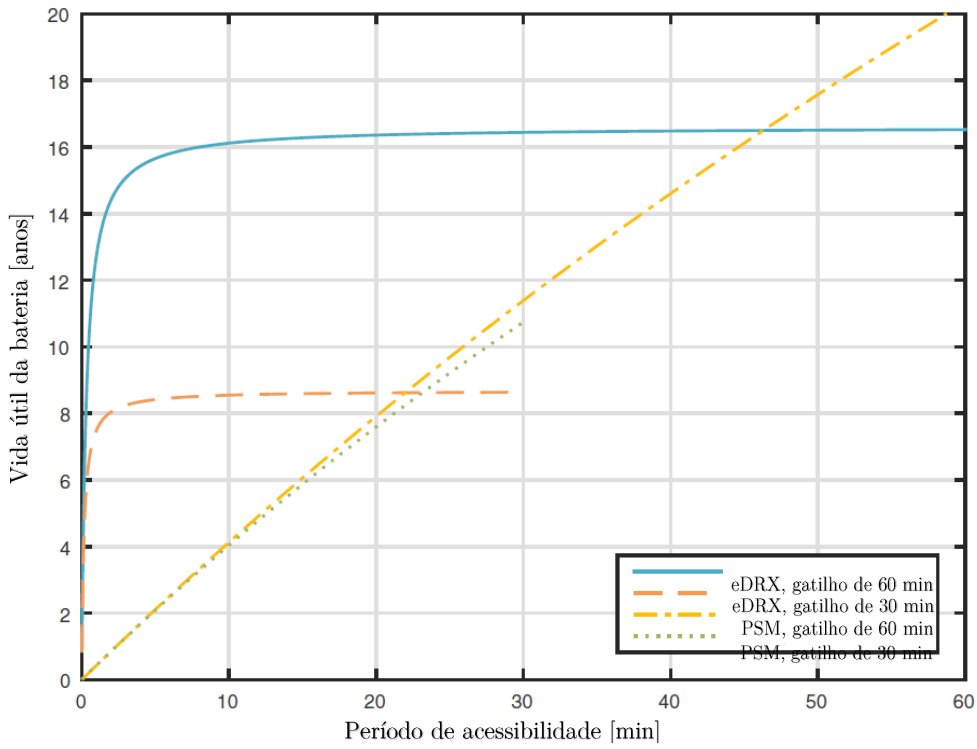
Figura 4 – Configuração de paginação DRX e eDRX no NB-IoT



Fonte: Liberg e outros (2017).

O estudo sobre economia de energia para dispositivos de comunicação do tipo de máquina (MTC) (THIRD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT, 2015b) considerou o consumo de energia de dispositivos que utilizam eDRX e PSM. Avaliou a vida útil da bateria utilizando cada um, variando os intervalos de disparo e período acessível. O resultado pode ser visto na Figura 5, a qual apresenta a vida útil estimada da bateria do dispositivo GSM / EDGE ao usar PSM e eDRX. Pode ser visto a dependência da vida útil tanto ao período de acessibilidade quanto ao tempo de disparo. Para eDRX, é observada uma dependência muito forte do intervalo de disparo. A razão por trás disso é que o custo de envio do relatório está ofuscando o custo de paginação. Para PSM, o custo de realizar uma RAU é de magnitude semelhante ao envio do relatório, de modo que o período de acessibilidade se torna um fator dominante. Para o mesmo intervalo de disparo, o eDRX supera o PSM quando uma acessibilidade é mais curta, o PSM se destaca quando o requisito de acessibilidade está na mesma faixa do intervalo de disparo (LIBERG *et al.*, 2017).

Figura 5 – Estimativa de consumo de energia para um dispositivo GSM/EDGE configurado para usar PSM ou eDRX



Fonte: Liberg e outros (2017).

Como resultado, para redes GSM/EDGE os ciclos eDRX foram especificados variando de 8 até 13.312 grupos de 51-multiquadros por ciclo, representando aproximadamente 52 minutos. O motivo para não estender ainda mais o ciclo é que os dispositivos com acessibilidade maior que 1 hora podem usar PSM e alcançar uma vida útil maior. Para LTE, o *Release* 13 especifica que os ciclos de eDRX do modo inativo (I-eDRX) podem

variar entre 1 a 256 hiperquadros. Como um hiperquadro corresponde a 1.024 quadros de rádio, ou 10,24 segundos. Assim, os 256 hiperquadros correspondem a aproximadamente 43,5 minutos. Além do modo inativo, o LTE oferece suporte ao DRX do modo conectado (C-eDRX) para relaxar o requisito de leitura do canal de controle físico de *downlink* (PDCCH) para atribuições *downlink (DL)* e concessões *uplink (UL)*. O ciclo DRX do modo conectado LTE foi estendido de 2,56 para 10,24 segundos no *Release* 13 (LIBERG *et al.*, 2017).

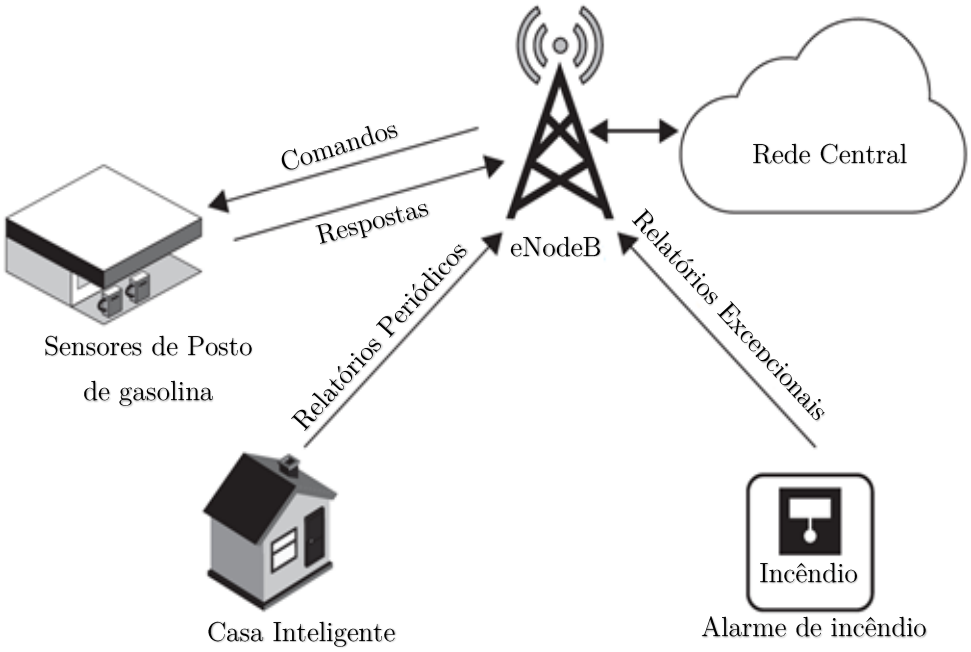
O eDRX quase sempre consumirá menos energia do que usando PSM para uma mesma acessibilidade. Isso se deve à energia economizada quando o dispositivo precisa apenas ouvir a paginação em vez de transmitir uma mensagem *keep-alive* ou transmitir uma TAU / RAU periodicamente, logo o eDRX economiza energia ao fazer um monitoramento de paginação ao invés de uma transmissão completa (THIRD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT, 2015b). Em geral, espera-se que a vantagem de eDRX sobre PSM para períodos de acessibilidade mais frequentes seja reduzida para LTE em comparação com GSM / EDGE. O motivo é que um dispositivo GSM / EDGE típico usa potência de saída de 33 dBm, enquanto os dispositivos LTE usam 23 dBm, isso implica que o custo de transmissão e de um RAU / TAU em relação ao recebimento de uma paginação é muito maior para GSM / EDGE do que para LTE (LIBERG *et al.*, 2017).

2.2.3 Baixa Latência e Relatórios de Dados

A maioria dos dispositivos NB-IoT toleram atrasos, mas alguns aplicações, como alarmes, funcionam com dados quase em tempo real e devem manter a meta de latência de até 10 segundos. Os dados enviados ou recebidos devem assumir os formatos de relatórios desencadeadas (*triggered reports*), relatórios de exceção (*exception reports*) ou relatórios periódicos (*periodic reports*) como mostrado na Figura 6. Os tipos de relatórios são baseados no modelo de tráfego para MTC desenvolvido na (THIRD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT, 2013) que estipula o volume de dados e a latência para cada tipo de relatório (FATTAH, 2018).

Nos relatórios desencadeados, também conhecido como troca de tráfego de resposta e comando, a estação rádio base LTE (eNodeB) envia um comando para o dispositivo NB-IoT, onde uma resposta é opcional. Os relatórios excepcionais são dados extras transmitidos por dispositivos NB-IoT, normalmente usados como sensores. Os dispositivos NB-IoT estarão monitorando uma condição física, e quando tal condição é atendida, eles disparam a transmissão de um relatório excepcional. Os relatórios periódicos são transmitidos por dispositivos NB-IoT (FATTAH, 2018).

Figura 6 – Diferentes relatórios transmitidos pela CIoT



Fonte: Fattah (2018).

Uma análise da performance foi feita em (ERICSSON, 2017) para avaliar a latência dos relatórios excepcionais, com as definições do tamanho de pacote assumidos para as avaliações de latência NB-IoT sendo apresentadas no Tabela 2.

Tabela 2 – Definições de pacotes NB-IoT

Tipo	**Tamanho dos relatórios excepcionais UL [bytes]**
Dados da aplicação	20
CoAP	4
DTLS	13
UDP	8
IP	40
Total	85

Fonte: Ericsson (2017).

A Tabela 3 mostra os resultados para os modos de operação autônomo, banda de guarda e dentro da banda, relatados em perdas de acoplamento de 144, 154 e 164 dB. Para todos os casos é possível constatar que a latência permanece menor que os 10 segundos almejados (LIBERG *et al.*, 2017).

Tabela 3 – Latência dos Relatórios Excepcionais NB-IoT usando o procedimento de retomada do RRC

Perda de Acoplamento [dB]	**Autônomo** [s]	**Banda de Guarda** [s]	**Em Banda** [s]
144	0,3	0,3	0,3
154	0,7	0,9	1,1
164	5,1	8,0	8,3

Fonte: Ericsson (2017).

2.2.4 Cobertura Estendida

O NB-IoT visa melhorá a cobertura em 20 dB quando comparado ao sistema M2M usando nas redes GSM/GPRS. Essa melhoria ocorre através do uso de sinais banda estreita e da diversidade de tempo (*Time diversity*). Um sinal banda estreita permite que o receptor filtre mais ruído, melhorando o *Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR)* (FELTRIN *et al.*, 2019).

Para maior robustez, o espaçamento padrão de subportadora pode ser reduzido de 15 kHz para 3,75 kHz. Para a diversidade de tempo, é permitido até 2048 repetições em *downlink* e até 128 em *uplink*, aumentando a probabilidade de sucesso da recepção. O NB-IoT permite que as células sejam configuradas em três classes de cobertura: Normal, Robusta e Extrema. A classe é limitada conforme a intensidade do sinal, que estenderão a potência de cobertura em 0 dB, 10 dB e 20 dB, em relação ao sistema GSM/GPRS, para os casos Normal, Robusto e Extremo, respectivamente. A definição da classe depende da implantação da célula, do ambiente de propagação e da distribuição espacial dos dispositivos (FELTRIN *et al.*, 2019).

A perda máxima de acoplamento (MCL) é usada como uma medida do desempenho da cobertura. O desempenho da extensão de cobertura é avaliado comparando MCL da solução proposta com uma suposição de MCL comum para GPRS de 144,0 dB (THIRD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT, 2015a). A melhora da cobertura em 20 dB em relação ao GSM/GPRS é vista com um aumento de 20 dB na perda máxima de acomplamento, logo os requisitos para cobertura do NB-IoT no *Release* 13 da 3GPP é de MCL igual a 164 dB (FLORE, 2016).

2.2.5 Multicast e Operação em Portadora sem Âncora

O *Release* 14 da 3GPP adiciona o modo de comunicação *Multicast* e operação em portadora sem âncora. O modo de comunicação *Multicast* torna o NB-IoT mais eficiente para soluções massivas de IoT de grandes quantidades de dispositivos simples como lâmpadas

inteligentes, medidores inteligentes, sensores, atuadores, interruptores. O *Multicast* permite a distribuição de *firmware*, *software* e atualizações de tarefas ou comandos de forma mais eficiente e de uma só vez para um grande grupo de dispositivos simplificando o gerenciamento e economizando recursos além de permiti mais dispositivos conectados a rede (HALTIAN, 2019).

A operação em portadora sem âncora ocorre em modo multiportadora, situação que uma portadora âncora é usada para configuração da conexão inicial e da transferência de dados, enquanto que as portadoras adicionais fornecem recursos físicos à rede, permitindo uma densidade maior de dispositivos (HALTIAN, 2019).

O NB-IoT suporta um modo multiportadora de até 15 portadoras não âncora, além das portadoras âncora para procedimentos de Canal de Acesso Aleatório Físico (PRACH). Com as portadoras adicionais fornecendo PRB extras na mesma configuração de rede, essa configuração pode permitir alcançar a meta estabelecida pela 5G de até 1.000.000 de dispositivos IoT conectados por quilômetro quadrado (HALTIAN, 2019).

2.2.6 NB-IoT *Uplink / Downlink*

A numerologia NB-IoT é herdada da LTE para que haja coexistência, logo tanto em *downlink (DL)* quanto em *uplink (UL)*, o canal é dividido em 12 subportadoras de 15 kHz cada (FELTRIN *et al.*, 2019).

O NB-IoT usa para UL o Múltiplo Acesso por Divisão de Frequência de Portadora Única (do inglês *Single-carrier Frequency Division Multiplexing Access SC-FDMA*), contendo uma portadora com doze subportadoras de 15 kHz totalizando 180 kHz. A transmissão pode ser feita por dois tipos, tons múltiplos ou tom único. A transmissão de tons múltiplos é baseada em SC-FDMA com os mesmos espaçamentos de subportadora de 15 kHz com espaçamentos de tempo igual a 0,5 ms e sub quadros de 1 ms como na LTE (MROUE *et al.*, 2018).

Cada intervalo de tempo de 0,5 ms, consiste em 7 símbolos OFDM / SC-FDMA. O *Resource Element (RE)*, menor recurso de tempo-frequência, é composto por subportadora e símbolo. Dois intervalos de tempo formam um sub quadro de 1 ms, e 10 deles formam um quadro (10 ms). Os quadros são identificados por um número de quadro do sistema, redefinido a cada 1024. Então 1.024 deles formam um hiperquadro, e um ciclo de hiperquadros é formado por 1024 destes totalizando uma duração de 10.485,76s ou 2 horas, 54 minutos e 46 segundos (FELTRIN *et al.*, 2019).

A transmissão de tom único pode usar espaçamentos de subportadora de 15 kHz e 3,75 kHz (48 subportadoras). As subportadoras com intervalo de frequência igual a 15 kHz adotam procedimento similar ao *enhanced Mobile Broad Band - eMBB* da LTE. Já para 3,75 kHz são usados intervalos de tempo de 2ms e um quadro composto por 5 intervalos de tempo, que são usados para a transmissão do preâmbulo do procedimento de acesso aleatório (RA, do inglês *Random Access*) no *uplink*. O Quadro 1 ilustra os diferentes tipos de NB-IoT (MROUE *et al.*, 2018; FELTRIN *et al.*, 2019).

Quadro 1 – Especificações NB-IoT

Espaçamento de Subportadora	**N° de Tons**	**N° de símbolos SC-FDMA**	**Tempo de transmissão**
15 kHz	12	14	1 ms
15 kHz	6	28	2 ms
15 kHz	3	56	4 ms
15 kHz	1	112	8 ms
3.75 kHz	1	112	32 ms

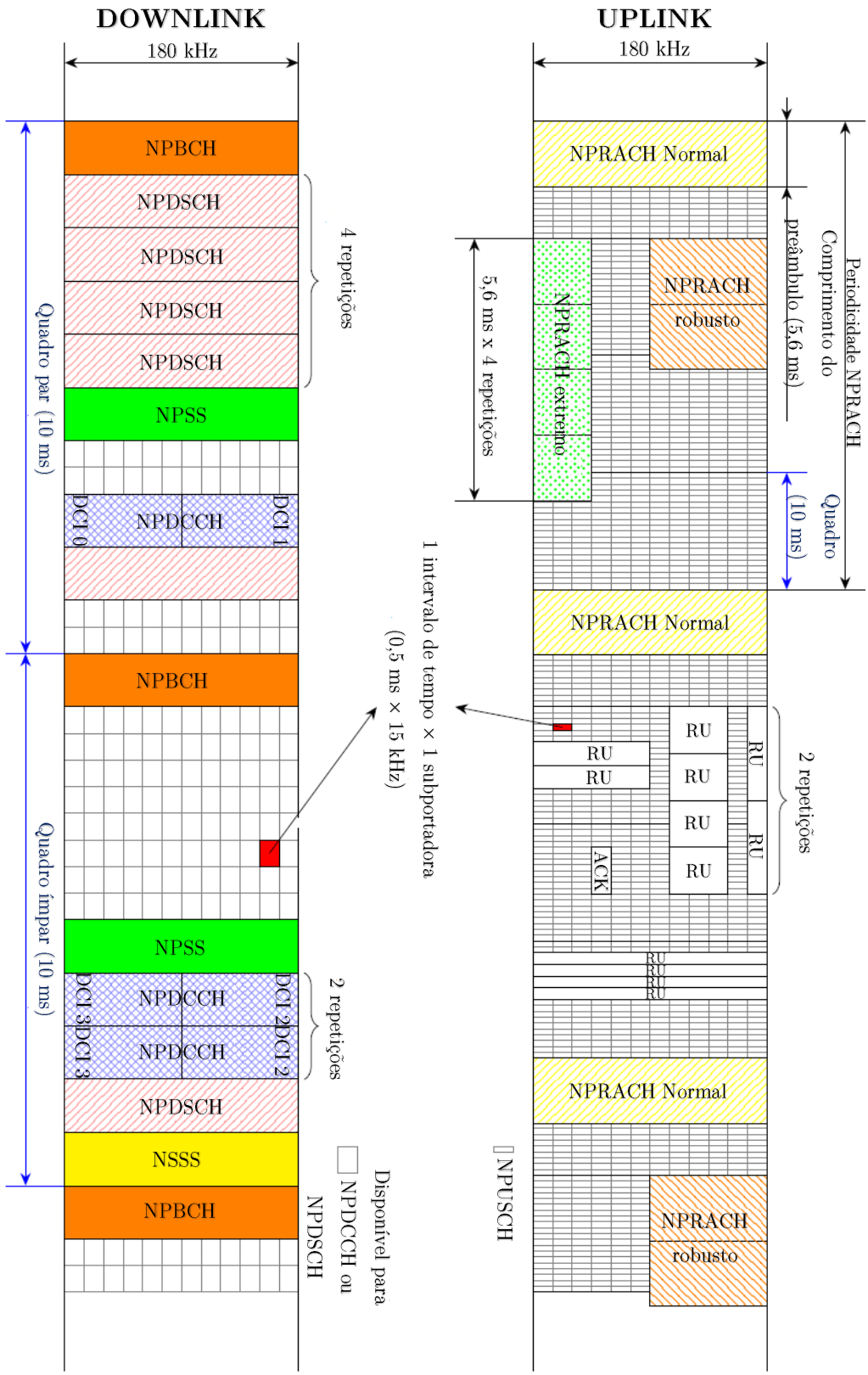
Fonte: Mroue e outros (2018).

O NB-IoT usa para *downlink* o Múltiplo Acesso por Divisão de Frequência Ortogonal (do ingles *Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access - OFDMA*) sem suporte para código Turbo (FLORE, 2016) e apenas com espaçamentos de subportadora igual a 15 kHz usando modulação *Quadrature Phase-Shift Keying - QPSK* em todos os canais (FELTRIN *et al.*, 2019).

Feltrin e outros (2019) dizem que o NB-IoT define os seguintes canais físicos, representados na Figura 7.

- Sinal de sincronização primário de banda estreita (NPSS): usado para a sincronização inicial de tempo-frequência do dispositivo no DL e para obter informações parciais sobre a identidade da célula;
- Sinal de sincronização secundário de banda estreita (NSSS): usado para completar a sincronização DL, obtendo o ID de célula de banda estreita física (NCellID);
- Canal físico de transmissão de banda estreita (NPBCH): usado para transmitir informações sobre a configuração da rede e da célula;
- Canal físico de controle de *downlink* de banda estreita (NPDCCH): transfere todos os sinais de controle do eNodeB para o UE;

Figura 7 – Representação de canais físicos NB-IoT UL e DL, assumindo subportadoras de 15 kHz em UL, preâmbulo Formato 0 e dois DCI em cada subquadro NPDCCH



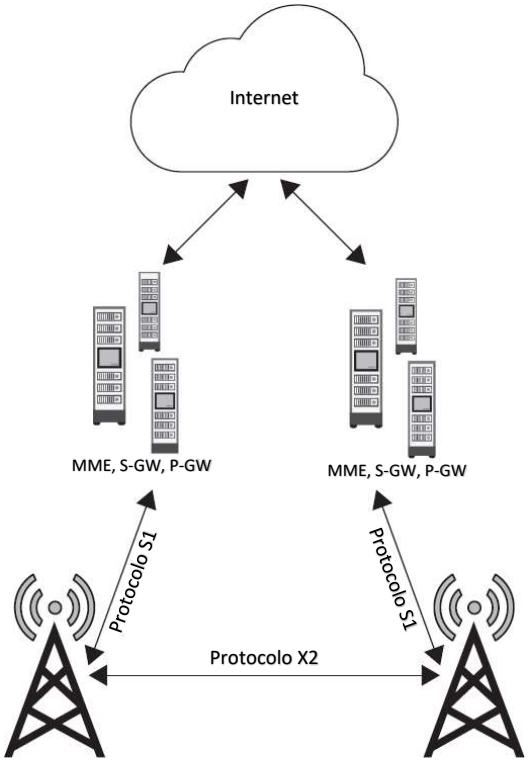
Fonte: Feltrin e outros (2019).

- Canal físico compartilhado de *downlink* de banda estreita (NPDSCH): usado para transmissão de dados do eNodeB para o UE;
- Canal físico de acesso aleatório de banda estreita (NPRACH), utilizado para iniciar o procedimento de acesso aleatório (AR);
- Canal físico compartilhado de *uplink* de banda estreita (NPUSCH): usado para transmissão de dados do UE para o eNodeB.

2.2.7 NB-IoT Arquitetura

A rede LTE NB-IoT é formada por diferentes eNodeB conectados entre si e à rede central através de protocolos S1 e X2 como ilustrado na Figura 8. Cada eNodeB é responsável por fornecer cobertura de rádio para uma área nos quais todos os dispositivos NB-IoT nesta área podem ser conectadas a este eNodeB. O protocolo e interface X2 conecta os eNodeB entre eles e a conexão com o *Evolved Packet Core (EPC)*, a rede de núcleo, é feita através da interface S1. Mais especificamente, o eNodeB se conecta ao *Mobility Management Entity* (MME) através da interface S1-MME e ao *Serving Gateway* (S-GW) através da interface S1-U. A interface S1-MME carrega as mensagens do plano de controle e sinalização, enquanto S1-U transporta as mensagens do plano de dados (FATTAH, 2018).

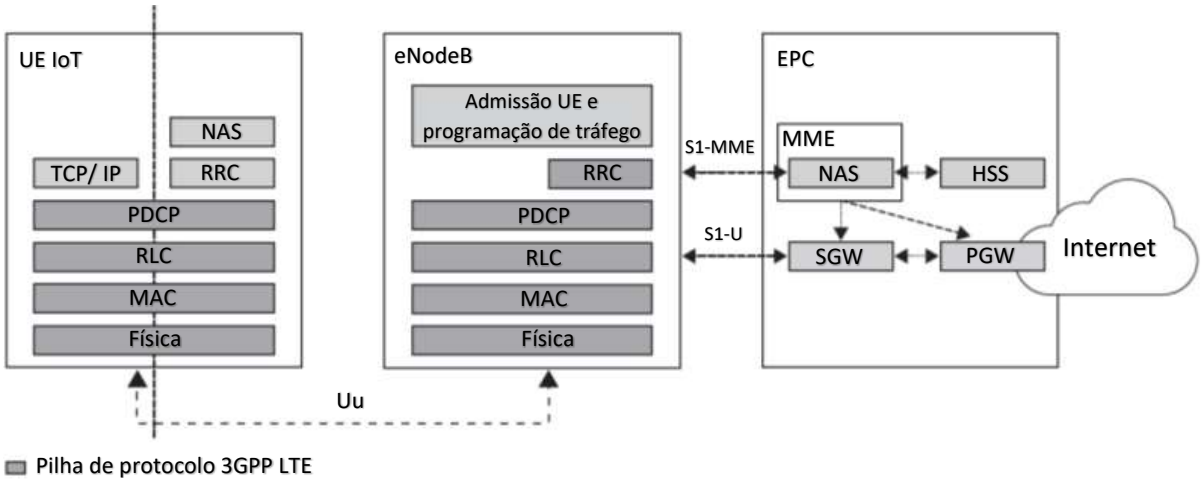
Figura 8 – Arquitetura de rede LTE NB-IoT



Fonte: Fattah (2018).

A Figura 9 ilustra a Pilha de protocolos 3GPP no equipamento do usuário (do inglês *User Equipment - UE*) NB-IoT, no eNodeB e na rede de núcleo (EPC). O trafego do plano de controle flui do UE para o eNodeB, através da interface S1-MME, para o MME. Já as mensagens de dados de cada usuário fluem do UE para o eNodeB, através da interface S1-U, para o S-GW. Em seguida, tais mensagens são enviadas do S-Gw para o *Packet Gateway* (P-GW), e finalmente para as redes de núcleo da internet. (FATTAH, 2018).

Figura 9 – Pilha de protocolo 3GPP LTE NB-IoT para UE e eNodeB



Fonte: Fattah (2018).

O MME contém o protocolo *Non-Access Stratum* (NAS) , que é o ponto de ancoragem para a troca de mensagens de sinalização com o UE. O MME também se comunica com o S-GW e P-GW. O S-GW é o primeiro componente no EPC que recebe os pacotes do plano de dados dos UE através da interface S1-U, isso ocorre se não tiverem sido adicionados às mensagens de sinalização NAS. O P-GW, que é um *gateway* para a rede de pacote de dados (PDN), é o segundo *gateway* no EPC. Ele funciona como um ponto de acesso para fornecer conectividade ao UE à internet, aplicações e serviços. *Home Subscriber Server (HSS)* é um outro componente da EPC usado para armazenar e atualizar informações de assinatura do UE (FATTAH, 2018).

2.3 LTE-M

LTE-M, Cat-M ou LTE Cat-M1 são termos do padrão de tecnologia *Low-Power Wide-Area (LPWA)* para comunicações entre máquinas introduzidas pela 3GPP no *Release* 13 da LTE. Cat-M1 é a segunda geração de chips LTE para aplicações IoT, uma vez que existia anteriormente a Categoria 0 (MANTILLA, 2019).

O Cat-0 foi uma primeira tentativa de adaptar o LTE padrão para IoT, simplificando o *hardware* para produzir dispositivos mais baratos, reduzindo o número de antenas para um e permitindo comunicação *half-duplex*, mas por ainda fazer uso de toda banda LTE (20 MHz) para receber as informações de controle de LTE, não atendia ainda a proposta mMTC (NOKIA, 2016; ROHDE & SCHWARRZ, 2021).

Similarmente ao NB-IoT, LTE-M aproveita as vantagens de ser uma tecnologia LPWA com uma base LTE. O LTE-M oferece um alcance de cobertura menor em relação ao NB-IoT. Contudo, compensa alcançando quatro vezes mais as taxas de pico que para o NB-IoT (250 kbps) Quadro 2. Em relação ao LTE padrão, o LTE-M foi desenvolvido para consumir menos energia, possuir *hardware* menos complexo, mais barato e melhorar a cobertura (VERDONE; MIGNARDI, 2018). A cobertura do LTE-M melhora o MCL em 20 dB em relação do MCL da cobertura do LTE padrão, resultando em um MCL de 155,7 dB (LIBERG *et al.*, 2017, p. 6).

Quadro 2 – Comparação entre LTE-M e NB-IoT

Tecnologia	**LTE-M**	**NB-IoT**
Implantação	Dentro banda LTE	Dentro da banda e Guarda LTE, autônomo
Largura de Banda	1,08 MHz	180 kHz
Acesso UL	SC-FDMA, espaçamento de subportadora de 15 kHz, código Turbo	SC-FDMA, espaçamento de subportadora de 3,75 ou 15 kHz, código Turbo
Acesso DL	OFDMA, espaçamento de subportadora de 15 kHz, código Turbo	OFDMA, espaçamento de subportadora de 15 kHz, TBCC
Modo Duplex	*Full* ou *Half Duplex*	*Half Duplex*
Cobertura	155,7 dB	164 dB para autônomo
Taxa de Pico	1 Mbps em UL e DL	250 kbps em UL para multi-tom e 250 kbps em DL
Classe de Potência	14 (*Release* 15), 20 ou 23 dBm	14 (NB2), 20 ou 23 dBm

Fonte: Verdone e Mignardi (2018).

LTE-M também deve permitir conexão massiva de dispositivos de baixa complexidade, com baixo consumo de energia e baixa latência. Fornece cobertura estendida ao reutilizar a banda LTE existente. A largura de banda do LTE-M foi limitada a 1,4 MHz, em relação os 20 MHz do LTE padrão, para poder atender a conexão massiva de dispositivos (MANTILLA, 2019).

O Guia de implantação da GSMA para os países associados (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019b) traz diretrizes destinadas a ajudar a implantar redes e dispositivos LTE-M globalmente para garantir a interoperabilidade e o *roaming* suave, que são:

- Mínimo de onze bandas: 1, 2, 3, 4, 5, 12, 13, 20, 25, 26 e 28 são necessárias para a cobertura;
- A implantação dos seguintes recursos: PSM; e eDRX;
- Comunicação de alta latência;
- Suporte para cobertura estendida;
- LTE-M Modo *Half Duplex / Full Duplex*;
- Suporte de dispositivo de categoria M1;
- Suporte *Voice over LTE* (VoLTE);
- SMS;
- Mobilidade de modo conectado.

Já no *Release* 14 do 3GPP é disponibilizado os seguintes recursos para LTE-M (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019b):

- **Posicionamento baseado em *Observed Time Difference Of Arrival (OTDOA)* e *enhanced cell identity (E-CID)*:** São recursos de posicionamento que garante melhoria da precisão do posicionamento geográfico;
- **Suporte para maior taxa de dados:** Com a nova categoria cat-M2, com mais largura de banda no modo *Coverage Enhancement (CE)*), e maior taxa de pico UL para Cat-M1, 10 processos DL *Hybrid automatic repeat request (HARQ)* em FDD, Pacote *Hybrid automatic repeat request - Acknowledgementment (HARQ-ACK)* em HD-FDD e reajuste de frequência mais rápido;
- **Melhorias do VoLTE e outros serviços em tempo real:** Novos fatores de repetição PUSCH, restrição do esquema de modulação e atrasos HARQ-ACK dinâmicos;
- **Aprimoramento de mobilidade no modo conectado:** O *Release* 14 apresenta suporte total de mobilidade no modo inativo e conectado, incluindo medições *Reference Signal Received Power (RSRP) / Reference Signal Received Quality (RSRQ)* intra e interfrequência.;
- **Transmissão *multicast*:** Permite transmissão para comando de múltiplo dispositivos simultaneamente;

- **Monitoramento relaxado para nova seleção de células:** Esse recurso permite o UE pode reduzir as medições de suas células vizinhas a cada 24 horas quando habilitado e cumprindo todos os requisitos;

- **Indicação de Assistência de Liberação:** Usando um *Access Stratum Routing Area Identity (AS RAI)* o UE indica ao eNodeB que nenhum dado adicional é esperado em UL ou DL em um futuro próximo e a conexão pode ser liberada;

- **Melhorias de cobertura:** Com novos fatores de repetição *Physical Uplink Control Channel (PUCCH)*, seleção de antena de transmissão de UE, aprimoramento de cobertura do *sounding reference signal (SRS)*;

- **Relatório de qualidade de canal do *downlink*:** Este recurso permite que o UE para medir a qualidade de *downlink* da portadora âncora e relatá-lo na *Message 3* (msg3) durante o procedimento de acesso aleatório. O relatório pode ser usado pelo eNodeB para otimizar os parâmetros de transmissão.

Já o *Release* 15 do 3GPP considera os seguintes recursos para LTE-M (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019b):

- **Identificador de tráfego LTE-M (*Radio Access Technology type (RAT type)*):** LTE-M é um identificador de 3GPP RAT type usado apenas na Rede Principal (*Evolved Universal Terrestrial Access Network (E-UTRA)*) para identificar um UE com capacidade de rádio LTE-M;

- **Segurança com eficiência de bateria para baixa taxa de transferência (BEST):** É uma solução de segurança de ponta a ponta baseada em rede para criptografia de carga útil com sobrecarga muito baixa;

- **Classe de potência 6 (14 dBm):** Nova classe de potência para dispositivos LTE-M;

- **Sinais de despertar (WUS):** Este recurso permite que o eNodeB envie ao UE um "sinal de despertar"(WUS) para instruir o UE para monitorar a paginação, Isso permite que o UE mantenha potencialmente partes de seu *hardware* desligadas por mais tempo;

- **Transmissão antecipada de dados (EDT):** Permite um UE em modo inativo transmitir pequenos pacotes de dados durante o procedimento de acesso aleatório (RA) sem faz a transição para o modo conectado;

- **Tempo de aquisição do sistema reduzido:** Pré-provisionamento *E-UTRA absolute radio frequency channel number (EARFCN)*, Sinal de Ressincronização (RSS), Melhor desempenho de demodulação do Bloco de Informações Mestre (MIB), Melhor desempenho de demodulação SIB, Sinalização de inalteração das Informações do Sistema (SI);

- **Melhorias de eficiência espectral:** inicialização flexível de *Physical Resource Block (PRB)*, suporte *Downlink* em 64 QAM, tabela de informações de qualidade do canal (CQI) com grande alcance, alocação de sub-PRB de *uplink*, Silenciamento do sinal de referência específico da célula (CRS) no domínio da frequência;

- ***Feedback* para rescisão antecipada:** Isso permite que o eNodeB indique a um UE que os dados UL foram recebidos com sucesso e pode permitir o encerramento antecipado do monitoramento de *downlink* e / ou o encerramento antecipado do *uplink* transmissão, para melhorar o consumo de energia da UE;

- **Controle de acesso aprimorado:** É um novo mecanismo de restrição de acesso com base no nível de aprimoramento de cobertura (CE), que permite ao eNodeB bloquear o acesso por nível CE.

2.3.1 Bandas de Implantação LTE-M

De acordo com *Release* 13 da 3GPP, o LTE-M pode ser usado nas bandas: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 18, 19, 20, 26, 27, 28, 31, 39, 41 e o *Release* 14 adicionaram as bandas: 25 e 40. Para obter suporte de *roaming* global, as seguintes bandas precisarão ser cobertas para produzir módulos globais que cubram a América do Norte, América Latina, Europa e partes da Ásia: Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 12, 13, 20, 25, 26, 28 (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019b).

2.3.2 Consumo de Energia

Assim como o NB-IoT (seção 2.2.2.1), o LTE-M dispõe de três classe de potência, para dispositivos do *Release* 13, a tradicional de 23dBm (classe de potência 3) e de 20dBm (classe de potência 5), e para dispositivos do *Release* 15, a de 14 dBm (classe de potência 6), além de fazer uso das tecnologias de PSM e eDRX (já detalhado na seção 2.2.2.2 e na seção 2.2.2.3, respectivamente) (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019b).

2.3.3 Comunicações de Alta Latência

As Comunicações de Alta Latência (HLCom) podem ser usadas para lidar com comunicação quando o UE está inacessível durante o uso de PSM ou eDRX. Descrito em (THIRD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT, 2020) e pode ser feito de duas maneiras (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019b):

- Um *buffer* estendido para armazenar os dados de downlink;
- Notificação explícita para o *Service Capability Server / Access Stratum* (SCS/AS) indicando a hora em que um dispositivo se tornou acessível novamente.

O *buffer* estendido é feito no S-GW e é controlado pelo MME/*Serving GPRS Support Node* (SGSN), que informa o S-GW para fazer *buffer* dos pacotes de *downlink* até que ele seja reconectado. Ou seja, o eNoodeB vai armazenar os pacotes de *downlink* até o dispositivo se tornar disponível novamente. Já usando as notificações explícitas, o S-GW descarta os pacotes de *downlink* enquanto o dispositivo não está acessível e o MME/SGSN emite uma notificação para o SCS/AS assim que o dispositivo se torna disponível, para reenviarem os pacotes de *downlink* descartados (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019b).

2.3.4 Melhoria da Cobertura

O 3GPP estudou técnicas de melhoria de cobertura em (THIRD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT, 2013), com o objetivo de alcançar a melhoria de 20 db em relação as redes LTE existentes. Foi identificado que devido ao fato de aplicações MTC terem requisitos muito flexíveis em taxas de dados e latência podem ser explorados para melhorar a cobertura por meio de técnicas de repetição ou retransmissão. Concluindo que é possível alcançar a melhoria de 20 db, mas considerando outros aspectos, como eficiência espectral e esforço de padronização necessário, o 3GPP passou a perseguir 15 dB como alvo. O *Release* 13 padronizou dois modos melhoria de cobertura (*Coverage Enhancement* - CE): modo CE A, suportando até 32 repetições de subquadros de canal de dados, e modo CE B suportando até 2.048 repetições (LIBERG *et al.*, 2017). O Modo CE A é o modo de operação padrão para dispositivos LTE-M, proporcionando operação eficiente em cenários de cobertura onde é necessário um aumento moderado de cobertura. Ele foi projetado para manter as vantagens do LTE-M contendo taxas de dados mais altas, possibilidade de chamadas de voz e mobilidade no modo conectado. O Modo CE B é uma extensão opcional que fornece ainda mais aprimoramento de cobertura às custas das taxas e latência (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019b).

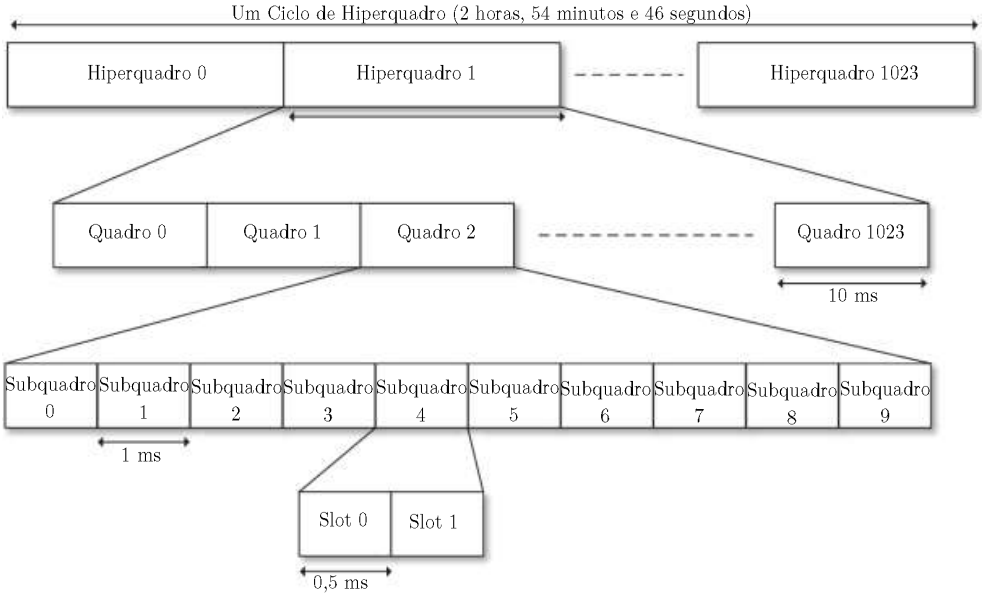
2.3.5 LTE-M *Uplink / Downlink*

Os esquemas de transmissão DL e UL do fundamentais do LTE-M são os mesmos do LTE, sendo então Multiplexação por Divisão Ortogonal de Frequência (OFDM) em DL e Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência de Portadora Única (SC-FDMA) em UL, com espaçamento de subportadora de 15 kHz, com as mesmas numerologias. As mudanças visam atender os requisitos de baixo custo do dispositivo, reduzindo a largura de banda de transmissão e recepção e outras simplificações, a cobertura estendida utilizando principalmente técnicas de repetição e aumentar a vida útil da bateria inserindo longos ciclos de hibernação e mantendo a sinalização menor quanto possível (LIBERG *et al.*, 2017). O LTE-M está reutilizando o Sinal de Sincronização Primário (PSS), Sinal de Sincronização Secundário (SSS) e a parte central do Canal de Transmissão Física (PBCH) transportando o Bloco de Informações Mestre (MIB) (LIBERG *et al.*, 2017).

2.3.5.1 Estrutura dos quadros

A estrutura de tempo no estrato de acesso para LTE e LTE-M é como na Figura 10, no nível mais alto, um ciclo de hiperquadros tem 1.024 hiperquadros, cada um consistindo de 1.024 quadros. Um quadro consiste em 10 subquadros, cada um divisível em dois *slots* de 0,5 ms. Cada *slot* é dividido em 7 símbolos OFDM no caso de comprimento normal de Prefixo Cíclico (CP) e 6 símbolos OFDM no caso de comprimento de CP estendido. Sinais e canais físicos específicos de LTE-M são transmitidos dentro das chamadas bandas estreitas, cada um mapeado em seis blocos de recursos físicos (PRB). (LIBERG *et al.*, 2017).

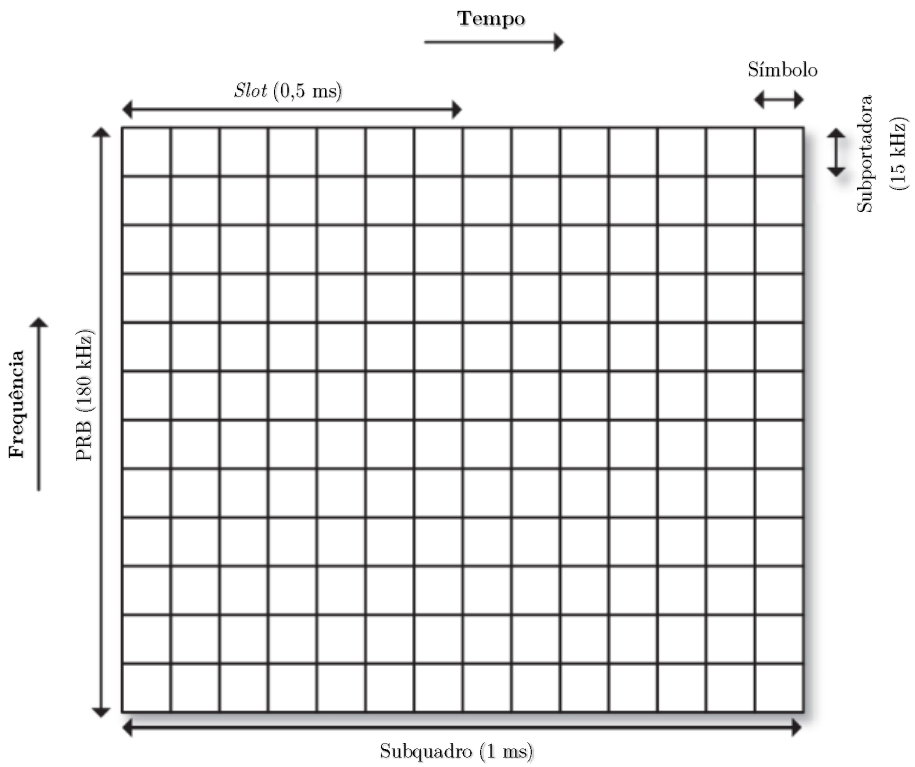
Figura 10 – Estrutura do quadro para LTE e LTE-M



Fonte: Liberg e outros (2017).

Um PRB abrange 12 subportadoras, que com o espaçamento da subportadora de 15 kHz correspondem a 180 kHz. A menor unidade de recursos disponível para um dispositivo é um par de PRB mapeado em dois *slots*, que para CP normal (7 símbolos por *slot*) configurando 12 subportadoras com 14 símbolos OFDM, conforme a Figura 11. Uma unidade de recurso ainda menor é usada nas especificações da camada física, que se refere a uma subportadora com um símbolo OFDM, chamada de *Resource Element* (RE) (LIBERG *et al.*, 2017).

Figura 11 – Par de blocos de recursos físicos (PRB) em LTE e LTE-M



Fonte: Liberg e outros (2017).

2.3.5.2 Modos de duplexação

LTE-M suporta operação em duplexação por divisão de frequência (FDD) e em duplexação por divisão de tempo (TDD). Na operação FDD, DL e UL usam frequências diferentes e se o dispositivo suportar podem operar em *full-duplex* (FD-FDD), realizando a recepção e a transmissão ao mesmo tempo, ou operar em *half-duplex* (HD-FDD), alternando entre recepção e transmissão. A operação HD-FDD pode ser tipo A, quando a alternância entre recepção e transmissão é rápida, dependendo da existência de dois osciladores locais separados para geração de frequência de portadora DL e UL, ou tipo B, que possui um custo de implementação mais baixo tendo apenas um oscilador e é posto um subquadro de guarda entre DL e UL para dar ao dispositivo tempo para reajustar sua frequência de portadora (LIBERG *et al.*, 2017).

Na operação TDD, a mesma frequência de portadora é usada para transmissão DL e UL, os subquadros são divididos entre DL e UL de acordo com a configuração especifica da célula, mantendo sempre um subquadro de guarda na transição de DL para UL. Os dispositivos LTE-M podem ser implementados com suporte para FD-FDD, HD-FDD tipo B, TDD ou qualquer combinação desses modos *duplex*, permitindo a implementação ser balanceada entre a complexidade e o desempenho do dispositivo (LIBERG *et al.*, 2017).

2.3.5.3 Operação em banda estreita

As larguras de banda do sistema LTE suportadas são 1,4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz incluindo bandas de guarda. Descontando as bandas de guarda, a largura de banda máxima que pode ser programada na maior largura de banda do sistema é de 100 PRB ou 18 MHz. Geralmente os dispositivos LTE oferecem suporte abrangendo toda a largura de banda do sistemas, mas os LTE-M apresenta dispositivos de baixo custo que são necessários apenas para suportar uma largura de banda reduzida para transmissão e recepção. O dispositivo LTE-M mais simples suporta uma largura de banda de canal máxima de 6 PRB. A alocação de recursos para dispositivos LTE-M é baseada em faixas estreitas não sobrepostas de PRB de tamanho 6, para o caso de largura de banda do sistema de 15 MHz. Para garantir uma boa diversidade de frequência, mesmo para dispositivos com largura de banda reduzida, o salto de frequência é suportado para muitos dos sinais físicos e canais (LIBERG *et al.*, 2017).

2.3.6 LTE-M Arquitetura

Assim como o NB-IoT, o LTE-M também faz uso da mesma estrutura do sistema LTE. Consistindo de UE, eNodeB, EPC e várias interfaces que incluem: Uu entre UE e eNodeB; X2 entre dois eNodeB; S1 entre EPC e eNodeB (já detalhada na seção 2.2.7).

Existem duas opções principais de conexão de rede para oferecer suporte à conectividade (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019b):

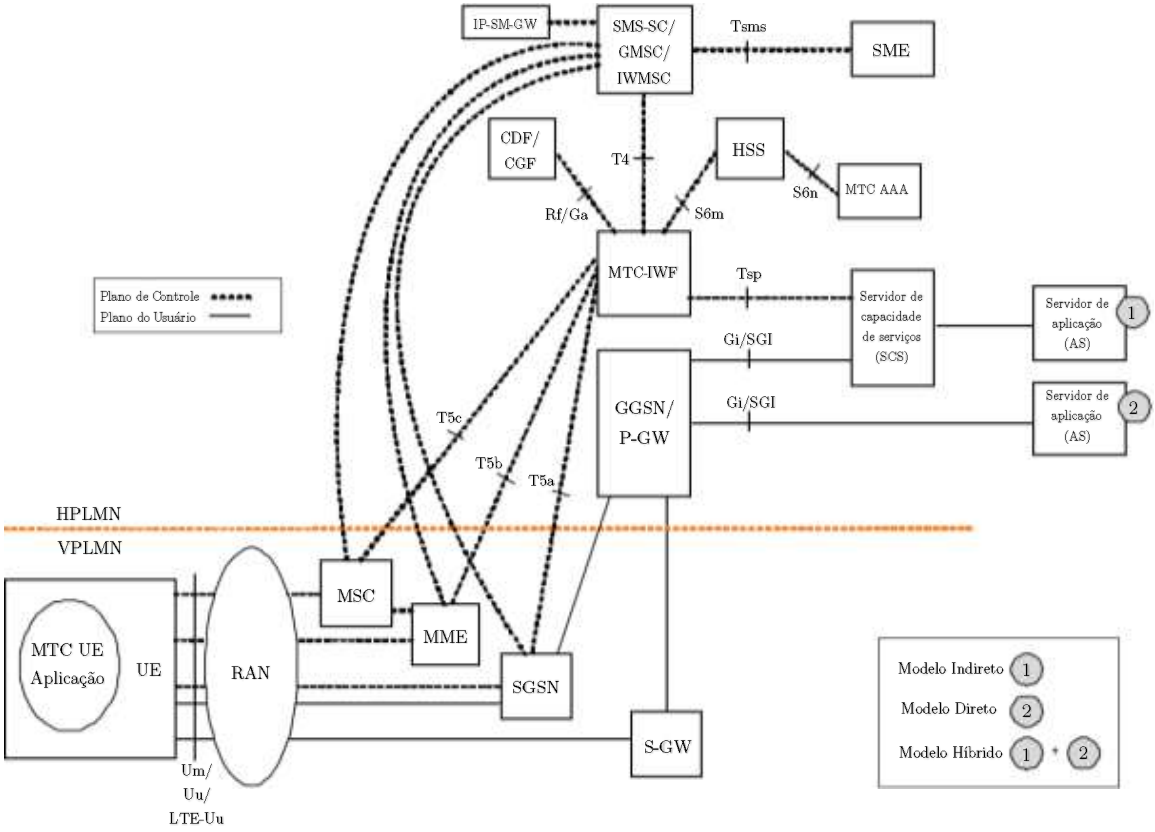
- Conectar com conexão *Packet Data Network* (PDN): o UE é necessário para estabelecer a conexão PDN como parte do procedimento de conexão;
- Conectar sem conexão PDN: Permite que os UE ofereçam otimizações da *Cellular Internet of Things* (CIoT) para permanecerem conectados sem conexão PDN, muito útil quando há muito dispositivos mantendo longos períodos de conexão inativa.

As opções de conectividade de dados para conexões PDN disponíveis para dispositivos IoT usando o EPS são (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019b):

- IP sobre Plano de Controle (*User Datagram Protocol* (UDP) e *Transmission Control Protocol* (TCP)): Usando a otimização do Plano de Controle da CloT EPS com tipos IP PDN;
- IP sobre Plano de Usuário (UDP e TCP): incluindo otimização de plano de usuário e plano de usuário original com tipos IP PDN.
- Não IP sobre Plano de Controle: Usando a otimização do plano de controle CIoT EPS com tipo não-IP PDN;
- Não IP sobre Plano de Usuário (incluindo otimização de plano de usuário e plano de usuário original): Usando a otimização do Plano de Usuário da CloT EPS com tipo Não-IP PDN.

Tradicionalmente o transporte de informações sobre LTE é por meio de IP sobre Plano de Usuário e/ou SMS. A Otimização do Plano de Controle da CIoT EPS transporta dados do usuário ou mensagens SMS via MME encapsulando-os em *Non Access Stratum* (NAS) e reduz o número total de mensagens do plano de controle ao lidar com uma transação de dados curta. Os serviços que precisam enviar mais informações podem se beneficiar da conexão do plano de usuário, que pode ser usada para enviar vários pacotes. No caso de comunicação não IP sobre o Plano de Controle, o MNO tem duas opções, seja através do PGW ou utilizando SCEF. Para este último caso, a rede visitada irá direcionar a mensagem para o *InterWorking Function*-SCEF (IWF-SCEF) que se conectará ao SCEF da rede doméstica (através da nova interface T7 visível na Figura 12 que mostra a arquitetura LTE-M em cenário de *roaming*) (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019b).

Figura 12 – Arquitetura 3GPP para comunicação de tipo de máquina



Fonte: Third Generation Partnership Project (2020).

3 APLICAÇÕES

Essa seção é dividida em três seções secundárias. A seção 3.1 discute as aplicações em IoT para a Indústria. A seção 3.2 apresenta aplicações para a agricultura. Por fim, a seção 3.3 mostra exemplos de tecnologias usadas em cidades inteligentes.

3.1 Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é o termo criado para representar a 4ª revolução industrial, inclui muitos domínios de aplicação diferentes, mas na maioria das vezes, é usado para indicar abordagens de manufatura inteligente nas quais as tecnologias de comunicação sem fio são aplicadas à automação de fábricas (VERDONE; MIGNARDI, 2018). Para entender essa abordagem são apresentados casos de uso a seguir.

3.1.1 Telstra - Rastreamento de Ativos em Toda a Austrália

Usando a banda do espectro de 700 MHz, a Telstra, uma das maiores companhias de telecomunicações da Austrália, implantou o LTE-M em locais selecionados na Austrália, fornecendo cobertura de cerca de três milhões de quilômetros quadrados. Essa empresa lançou um dispositivo baseado em LTE-M, equipado com painéis solares e um chip GPS, Figura 13, que pode ser usado por empresas para rastrear a localização de ativos não energizados de alto valor, como contêineres, semirreboques, vagões ferroviários de carga e maquinários de grande porte. A solução pode dar às empresas uma maior compreensão de suas cadeias de suprimentos com base em dados quase em tempo real, o que lhes permite reduzir custos, aumentar a eficiência e a experiência do cliente (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019a).

O rastreador é projetado para informar sua localização uma vez por minuto em movimento e uma vez a cada quatro horas quando parado. Cada mensagem de localização usa aproximadamente 1 KB de dados. Em condições normais, a bateria pode durar até quatro meses e ser carregada de 4-8 dias dependendo da condição do sol. Além de fornecer o *hardware* e a conectividade, a Telstra fornece ao cliente acesso aos dados de localização por meio de Interface de Programação de Aplicações (API) ou um portal da web (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019a).

A Telstra estima que a tecnologia implantada evite que os fabricantes percam aproximadamente 10% de sua frota de ativos a cada ano fiscal, e também que os negócios sejam afetados por ineficiências operacionais, incluindo rastreamento manual e processos de estoque. Tendo lançado a solução em outubro de 2018, a Telstra agora está implementando-a com clientes em várias indústrias verticais, incluindo empresas de logística de carga, manufatura, construção e varejo (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019a).

Figura 13 – Solução de rastreamento de ativos movida a energia solar

Fonte: Global System for Mobile Communications Association (2019a).

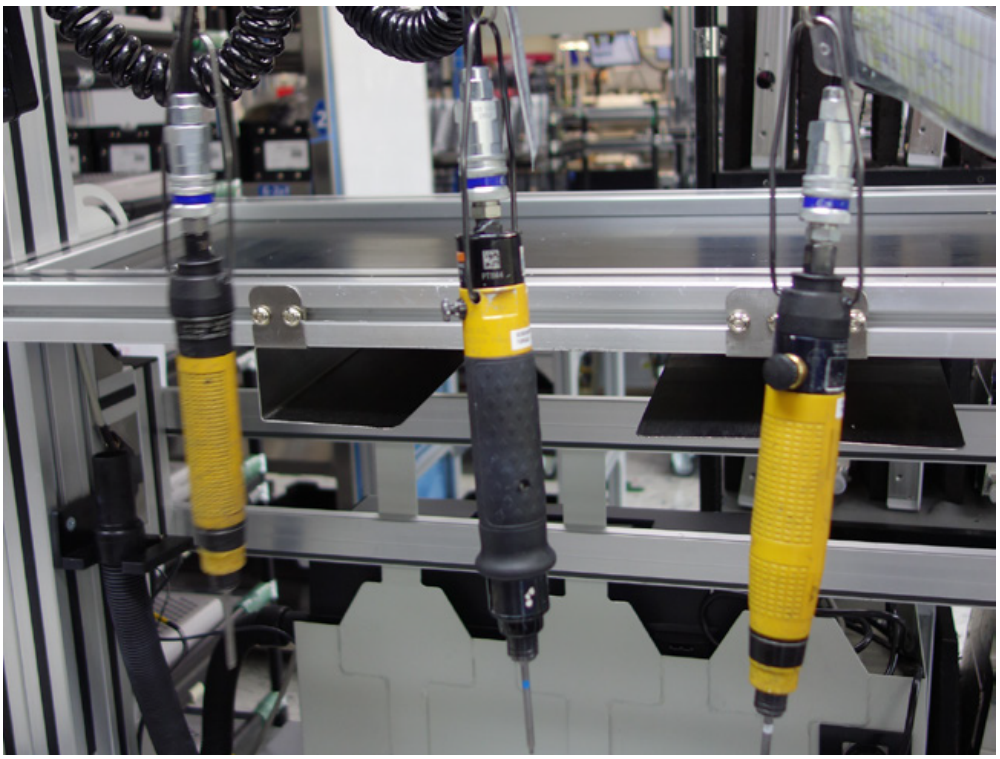
O *hardware* contém rádios NB-IoT e LTE-M, ao mesmo tempo que oferece suporte a 13 bandas de espectro diferentes. O dispositivo também possui um rádio *Bluetooth*. Sua funcionalidade também pode ser estendida para oferecer suporte a outros casos de uso, por conter conector para adicionar sensores ou para conectar a uma fonte de alimentação externa. Chegando a acordos de *roaming* internacional adequados com suas operadoras parceiras, a Telstra vê um futuro em que uma empresa pode usar a solução para rastrear a movimentação de seus ativos em todo o mundo (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019a).

3.1.2 Fábrica Inteligente da Ericsson

A fábrica da Ericsson Panda em Nanquim usa NB-IoT para conectar 1.000 dispositivos dentro da fábrica. Combinando IoT celular e Indústria 4.0, aplicando as mais recentes tecnologias, melhorando a eficiência e permitindo a automação da fábrica (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2018b).

Antes de implementar o NB-IoT, a manutenção das mais de 1.000 chaves de fenda de alta precisão da fábrica (Figura 14) dependia de registros escritos à mão. As chaves de fenda (que custam US$ 1.500 cada) requerem calibração e lubrificação de rotina com base nos tempos de utilização, para garantir a qualidade e o desempenho dos produtos de rádio. Uma vez que as chaves de fenda não têm contadores, não há como saber o número de operações que uma chave de fenda individual fez. Assim, a manutenção e a calibração, tinha que se basear em intervalos de tempo fixos e presumidos de documentação em papel (ERICSSON, 2018).

Figura 14 – Manutenção de ferramentas



Fonte: Ericsson (2018).

Agora, mais de 50% das chaves de fenda de alta precisão foram equipadas com sensores de movimento em tempo real acoplados aos módulos NB-IoT. A cada oito horas, o módulo transmite cerca de 100 bytes de dados indicando o tempo de utilização. Os dados são então capturados no sistema de nuvem privada da fábrica, fazendo cálculos automáticos e análises sobre a utilização das ferramentas e o status da condição (ERICSSON, 2018).

A solução foi desenvolvida utilizando um sensor de movimento integrado da *Analog Devices Inc (ADI)*, com um módulo NB-IoT da *SIMCom Wireless Solutions Co.*. Como o custo é de apenas US$ 20 por dispositivo, o plano é eliminar o rastreamento manual completamente. A fábrica prevê que a detecção aprimorada de erros humanos reduzirá as despesas com material de manutenção em US$ 1.000 a cada ano, enquanto o trabalho de manutenção manual será cortado pela metade economizando US$ 10.000 anualmente (ERICSSON, 2018).

Outros ativos como mangueiras e extintores de incêndio, também foram monitorados usando módulos NB-IoT e equipados com sensores de liberação, que alerta para quando os mesmo são removidos sem autorização, podendo ser por acidente, relocações não autorizadas ou até mesmo roubo destes equipamentos. Como resultado, os principais ativos agora podem ser localizados imediatamente, reduzindo o risco de perda de equipamentos essenciais (ERICSSON, 2018).

A fábrica instalou um sistema Andon, Figura 15, sem fio com 50 dispositivos IoT celulares em suas linhas de produção. Esse sistema é geralmente usado para suporte na fabricação, para notificar a gerência, manutenção e outros trabalhadores sobre um problema de qualidade ou processo (ERICSSON, 2018).

Figura 15 – Sistema Andon

Fonte: Ericsson (2018).

A nova solução IoT LTE-M celular usa VoLTE para fazer uma chamada diretamente para o engenheiro certo da linha de fábrica, reduzindo o tempo de espera para a resolução de problemas. Com a solução sem fio, a fábrica pode permitir linhas de produção flexíveis, configuradas sob demanda e com fácil coleta, análise e otimização de dados (ERICSSON, 2018).

3.2 Agricultura 4.0

Agricultura 4.0 é um termo que se deriva da Indústria 4.0, é a aplicação dos conceitos de IoT na agricultura. A implantação de redes de sensores sem fio com foco em monitoramento ambiental, agricultura de precisão, automação e rastreabilidade de controle de máquina e processos prometem oferecer: alta eficiência operacional, um alto rendimento dos plantios e menos impactos ambientais (ELIJAH *et al.*, 2018). A maioria das aplicações nessa categoria não apresenta requisitos rigorosos de latência. A densidade de tráfego é muito baixa, apesar dos grandes números de dispositivos, podendo chegar até 160 bps. A eficiência energética do *Radio Access Technology* (RAT) usado deve ser extremamente alta, para garantir uma vida útil longa para a bateria de dispositivos embutidos em terreno ou em árvores, de pelo menos 10 anos (VERDONE; MIGNARDI, 2018). Casos de implantação na agricultura será discutido nos próximos tópicos.

3.2.1 Chunghwa Telecom e NHR - Monitoramento de Clima Dentro de Estufas

A Chunghwa Telecom de Taiwan e a Nietzsche Enterprise (NHR) desenvolveram uma solução de agricultura inteligente de ponta a ponta, chamada *Sentrol Cloud*. A solução engloba um conjunto de sensores de temperatura e umidade conectados ao NB-IoT (Figura 16) que podem monitorar com precisão o clima dentro de uma estufa e ser visualizado por meio de uma interface web ou aplicativo móvel. É possível ainda ser usada para monitorar os níveis de acidez da água e de luz, além do consumo da energia entre outros parâmetros. (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2018a).

Projetado para ajudar o produtor a garantir condições consistentes e aumentar a produtividade, o sistema fornece alertas quando certos parâmetros são violados, enquanto também gera dados de tendência para análise. A empresa de horticultura *Tomato Ark* implantou o sistema para monitorar as condições em suas estufas em Taiwan. O 12 sensores instalados em cada hectare pode eliminar problemas na colheita apresentando as condições em um mapa de calor e fazendo ajustes em tempo real (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2018a).

A solução emprega sensores originalmente desenvolvidos para cultivo em campo aberto e adaptados para uso em uma estufa em cooperação com empresas de horticultura com sede na Holanda, Alemanha e Taiwan. As tampas do filtro protegem os sensores da umidade, bem como de substâncias nocivas e oxidantes, enquanto o *software* de comunicação foi otimizado para proporcionar confiabilidade e minimizar o consumo de energia (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2018a).

Após uma avaliação cuidadosa das opções de conectividade disponíveis, a NHR optou por usar o NB-IoT para dar suporte ao sistema *Sentrol Cloud*. Os baixos requisitos de energia do NB-IoT significam que o sistema pode empregar sensores compactos e econômicos. Além de fornecer conectividade econômica e eficiente em uma ampla área, o NB-IoT possui vários outros atributos importantes que atraem agricultores e produtores. De acordo com o NHR, o NB-IoT emprega estações base de celular existentes o que significa que o produtor não precisa de nenhuma habilidade de tecnologia da informação para instalar a solução (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2018a).

Figura 16 – Sensor TH NB-IoT

Fonte: Global System for Mobile Communications Association (2018a).

NHR acredita que um dos atributos mais importantes do *Sentrol Cloud* é a facilidade de instalação, que se deve em parte ao uso de NB-IoT, que pode se conectar diretamente a uma estação base de celular sem a necessidade de um *gateway* ou cabos. A solução também atende às necessidades dos produtores por um rápido retorno sobre o investimento, uma vez que o produtor pode visualizar os problemas por meio do mapa de calor. Essa facilidade permite tomar ações corretivas imediatamente e constatar os resultados da acão tomada em poucas horas. Por exemplo, a umidade pode ser controlada pela aplicação de ar aquecido na cultura. Em combinação com os mapas de calor, isso pode economizar até 20% dos custos (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2018a).

3.2.2 Conectar Agro, TIM, Claro e Vivo no Brasil

Conectar Agro é uma iniciativa que reúne empresas de referência no agronegócio com o objetivo de incentivar um pesado invertimento em sistemas digitais para o campo. Conta com a participação das fabricantes de equipamentos agrícolas CNH Industrial, a AGCO (detentora das marcas Massey Ferguson e Valtra), e a Jacto, além da Bayer, via Climate, a Trimble, que tem serviços e soluções de agricultura de precisão, a Solifintec, a operadora TIM e a Nokia. O objetivo é o de incentivar a conectividade em todo o território nacional, garantindo mais eficiência ao agronegócio, a inclusão digital e a integração operacional logística e social (TELE.SÍNTESE, 2020). Cada uma das empresas que é procurada por um produtor interessado na conectividade, ela encaminha a solicitação para que TIM e Nokia possam fazer um projeto customizado e apresentar ao cliente. Como resultado desse esforço, a Conectar Agro chegou ao final de 2019 colaborando para a cobertura de 5,1 milhões de hectares, em 50 mil propriedades, a maioria de pequeno porte, e também cobrindo mais de 24 mil quilômetros em rodovias (TELE.SÍNTESE, 2020).

O Projeto 4G TIM no Campo foi criado para suprir a falta de conectividade móvel no campo e aumentar o alcance do 4G na frequência 700 MHz. Disponibiliza a cobertura em regiões rurais com a predominância de atividades econômicas do agronegócio. Ao fazer parte do Conectar Agro, seu projeto ganhou dimensão ao cobrir 5,1 milhões de hectares somente como resultado dessa iniciativa. A TIM diz que esta com mais de 3.300 cidades cobertas com 4G em 700 MHz que estão habilitadas para o NB-IoT (TELE.SÍNTESE, 2020).

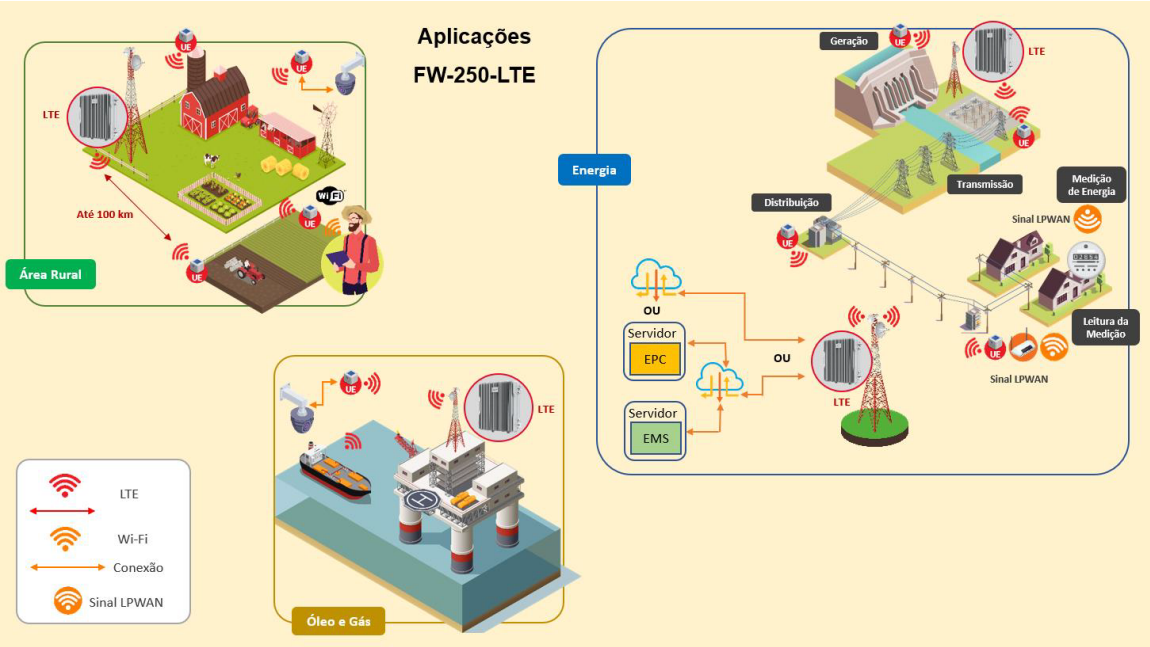
A Claro Brasil, via Embratel, apostou na estratégia de combinar soluções com conectividade. Como o consumo de dados na zona rural é menor e inviabiliza investimentos, soluções que agregam mais valor são necessárias como agricultura digital, telemetria, sistemas de gestão de frotas, entre outros. Para levar essas soluções, a Claro combina desenvolvimento próprio, principalmente em áreas onde é forte como segurança, nuvem e telemetria, e outras de empresas e *startups* especializadas no agronegócio (TELE.SÍNTESE, 2020).

A Vivo também investe em inovação no agro. Com sua parceria com a Raízen, empresa com presença nos mercados de produção de açúcar e etanol e a Ericsson, com apoio da EsalqTec, para o programa Agro IoT Lab, lançado no início de 2019. Inicialmente, a operadora escolheu a faixa de 450 MHz para atuar nessa área, mas deu início à expansão do seu portfólio de conectividade com redes LPWA – *Narrow Band IoT* (NB-IoT) com frequência em 700 MHz e *Long Term Evolution for Machines* (LTE-M), com frequência de 700 MHz e 1,8 MHz, ambas focadas em IoT, para cerca de 400 cidades em uma primeira etapa, com a perspectiva de chegar a todos os municípios que já possuem o 4G da operadora (TELE.SÍNTESE, 2020).

3.2.3 Furukawa - Sistemas LTE 250 MHz para Redes Privadas

A Furukawa viabiliza uma solução sem fio para implantação de redes privadas com foco em áreas rurais do Brasil, as especificações técnicas podem ser vistas no Quadro 3. Baseada em tecnologia LTE na frequência de 250 MHz, é apresentada como de fácil instalação e baixa manutenção. O uso da frequência de 250 MHz, destinada ao Serviço Limitado Privado (SLP), permitindo ao produtor rural ou empresa instalar e operar sua própria rede de comunicação, com um raio de cobertura de até 100 quilômetros por eNodeB. Os terminais de usuário da solução Furukawa possuem Wi-Fi e GPS integrados, duas portas seriais e porta Ethernet. Com a solução da Furukawa, o produtor rural pode acompanhar o que está acontecendo na lavoura em tempo real, com imagens de vídeo, comunicação por voz e informações atualizadas a todo momento (FURUKAWA ELECTRIC LATAM, 2020b). Exemplos de aplicações para essa solução pode ser vista na Figura 17 do catálogo do equipamento da solução (FURUKAWA ELECTRIC LATAM, 2020a). Além de aplicações para o campo, pode ser visto que sua solução pode ser usada em outro setores como energia, óleo e gás.

Figura 17 – Aplicações Furukawa LTE 250 MHz



Fonte: Furukawa Electric Latam (2020a).

A autorização do Serviço Limitado Privado (SLP) será expedida às empresas outorgadas dos Serviços de Interesse Restrito. O interessado deve preencher as condições previstas no Regulamento Geral de Outorgas, aprovado pela Resolução nº 720, de 10 de fevereiro de 2020. O SLP deve ser autorizado pela Anatel, apresentando o projeto, a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), e pagando uma taxa, que em geral é de 20 reais (ANATEL, 2020).

Quadro 3 – Especificações Técnicas Solução Furukawa LTE 250 MHz

	Especificação	**Observação**
Topologia de Rádio	Ponto Multiponto	
Frequência de operação *Uplink*	225,625-233,125 MHz; 234,375-241,875 MHz.	
Frequência de operação *Downlink*	248,125-255,625 MHz; 261,875-269,375 MHz.	
Padrão de Rede	4G LTE	3GPP Release 14
RAT	SISO: LTE CAT-4/ M1/ NB-IoT	Soluções banda larga (alta taxa) e banda estreita (longo alcance).
Largura de faixa do canal	1,25/ 2,5/ 3,75/ 5 MHz	
Duplexação	*Frequency Division Duplexing (FDD)*	
Latência	100 ms	250 kbps em UL para multi-tom e 250 kbps em DL
GPS	Integrado	
Modulação adaptativa	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM	*Uplink* limitado em 16QAM para LTE RAT.
Consumo (SISO)	eNodeB: 125 W / UE: 25 W	
Potência de RF (SISO)	eNodeB: 10 W / UE: 1 W	

Fonte: Furukawa Electric Latam (2020a).

3.2.4 Trópico - Sistemas LTE 250 MHz para Redes Privadas

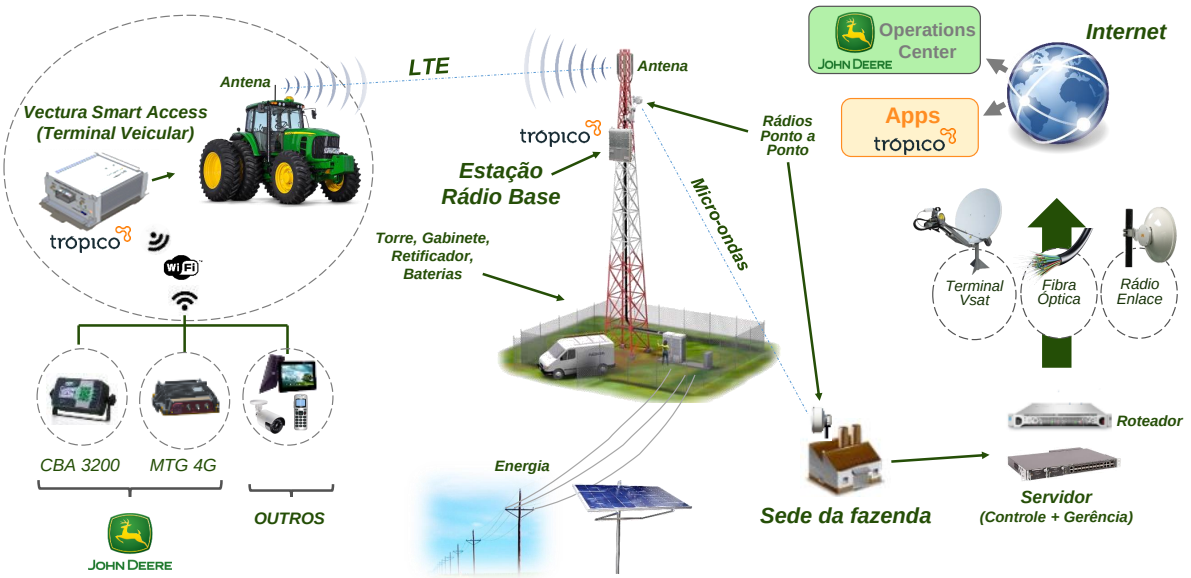
A Trópico junto do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD) desenvolveram opções de conectividade para o campo, usando a faixa de 250 MHz, frequência do serviço limitado privado, permitindo transmissões em tecnologia LTE para o campo com uma ampla cobertura (TELE.SÍNTESE, 2020).

Projeto já atende três fazendas do grupo São Martinho, um dos maiores grupos sucroenergéticos do Brasil, com essa plataforma e se prepara para conectar a quarta. O sistema proporciona um grande raio de cobertura e alta capacidade de dados, permitindo que grandes áreas se conectem com o menor número de torres(TELE.SÍNTESE, 2020).

A cobertura proporcionada por cada torre pode chegar a 30 quilômetros e os terminais conectam sensores e outros dispositivos inteligentes existentes na fazenda. Somente neste projeto a Trópico já conectou 2 mil máquinas, tratores e equipamentos agrícolas em 300 mil hectares, informa Armando Barbieri, gerente de Marketing de Produto da Trópico. Para o executivo, a solução da Trópico é bem mais competitiva do que a das operadoras, podendo chegar a um quinto do valor cobrado por elas (TELE.SÍNTESE, 2020).

A Trópico junto da empresa de tratores John Deere, oferece suas soluções rede de 280 lojas da fabricante de equipamentos e veículos agrícolas. O terminal da Trópico vai acoplado à máquina e a opção de ativá-lo ou não é do produtor (TELE.SÍNTESE, 2020). Um cenário da conectividade pode ser visto na Figura 18 de uma apresentação da trópico.

Figura 18 – Cenário de Conectividade Rural Trópico e John Deere



Fonte: Trópico (2019).

3.3 Cidades Inteligentes

Cidades Inteligentes são aquelas que usam serviços de tecnologia moderna integrada a infraestrutura de energia, transporte e Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) para responder às necessidades sociais e econômicas da sociedade (GARCÍA-GARCÍA *et al.*, 2018). Utilizam dispositivos IoT e outras tecnologias da informação para coleta de dados e gerenciamento de serviços. Os dados coletados podem ser usados para automatização de serviços, gestão e serem disponibilizados para as pessoas através de aplicativos e sites com informação sobre a gestão e serviços públicos eletrônicos existentes na cidade (DIN *et al.*, 2018).

Um dos objetivos de uma cidade inteligente é fornecer segurança e proteção a seus cidadãos. Para alcançar este objetivo, é necessário um sistema inteligente de emergência, detecção de crimes, administração de acidentes e calamidades naturais (DIN *et al.*, 2018). Nos próximos tópicos serão apresentados casos de implantação em cidades inteligentes.

3.3.1 China Mobile - Bicicletas Inteligentes

A China Mobile está ajudando a cidade Zhengzhou a administrar melhor mais de três milhões de bicicletas elétricas para uma população de cerca de 10 milhões de habitantes. Essa melhoria é feita implantando uma plataforma de gerenciamento abrangente, sustentada pelo avançado do Sistema de Posicionamento de Navegação Beidou e conectividade NB-IoT, permitindo que bicicletas elétricas sejam licenciadas e monitoradas. A plataforma é parte de um projeto para ajudar a manter a ordem do tráfego, prevenir incêndios, melhorar a segurança e reduzir roubos, supervisionado pelo Departamento de Segurança Pública de Zhengzhou (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019c).

A filial de Zhengzhou da *Henan Mobile Company* desenvolveu uma solução integrada baseada em NB-IoT, abrindo caminho para que todas as três milhões de bicicletas elétricas em Zhengzhou fossem equipadas com módulos de posicionamento habilitados para NB-IoT. Por meio da rede NB-IoT da China Mobile a plataforma pode coletar informações sobre a posição, velocidade, tempo, espaço e temperatura de uma bicicleta elétrica usando a tecnologia de ponto de satélite Beidou e vários sensores a bordo. Até o momento, mais de 923.000 bicicletas foram conectadas usando o NB-IoT (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019c).

A China Mobile afirma que a NB-IoT é adequada para o gerenciamento de bicicletas elétricas pois suporta um grande número de conexões, oferecer uma cobertura muito maior do que o GSM, ser estável, confiável, além da conectividade ser muito econômica e pela baixa largura de banda permitindo baixo consumo de energia, fazendo a bateria poder durar até dez anos. Suportando as exigências de aplicações IoT e soluções de cidades inteligentes. (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019c).

A China Mobile afirma que a solução oferece conveniência para os cidadãos, ao mesmo tempo que beneficia a polícia e diz que vai se tornar inevitavelmente uma referência pela aplicação inovadora no Ministério da Segurança Pública e liderar a inovação e o desenvolvimento da nova geração de polícias móveis em todo o país (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION, 2019c).

3.3.2 Sistema de Lixeira Inteligente Baseado em NB-IoT

O Sistema de lixeira inteligente (STC) pretende monitorar as lixeiras, conectadas a uma central de comando utilizando uma rede NB-IoT, 24 horas por dias com sensores para volume de lixo, alertas para latas de lixo cheias, derramamentos, falhas ou substâncias perigosas em massa. A plataforma foi implementada no distrito XiaSha de Hangzhou e os resultados experimentais demonstraram bom desempenho do sistema. O STC proposto aumenta a capacidade de carga das latas de lixo, requer menos recursos humanos e materiais e permite um gerenciamento inteligente (ZHU *et al.*, 2019).

O sistema STC consiste em três componentes: As lixeiras inteligentes, com vários tipos de sensores instalados nas latas de lixo. Os nós de extremidade, que executam parte das tarefas de computação. E o NB-IoT, usado para comunicação entre o servidor da plataforma e os STCs. Cada STC é único e é monitorado 24 horas por dia pelo sistema de controle. Os sensores coletam e enviam dados a cada 40 minutos. Os operadores da plataforma recebem os alarmes e despacham o pessoal de manutenção quando necessário (ZHU *et al.*, 2019). Uma visão da arquitetura do sistema STC pode ser vista na Figura 19.

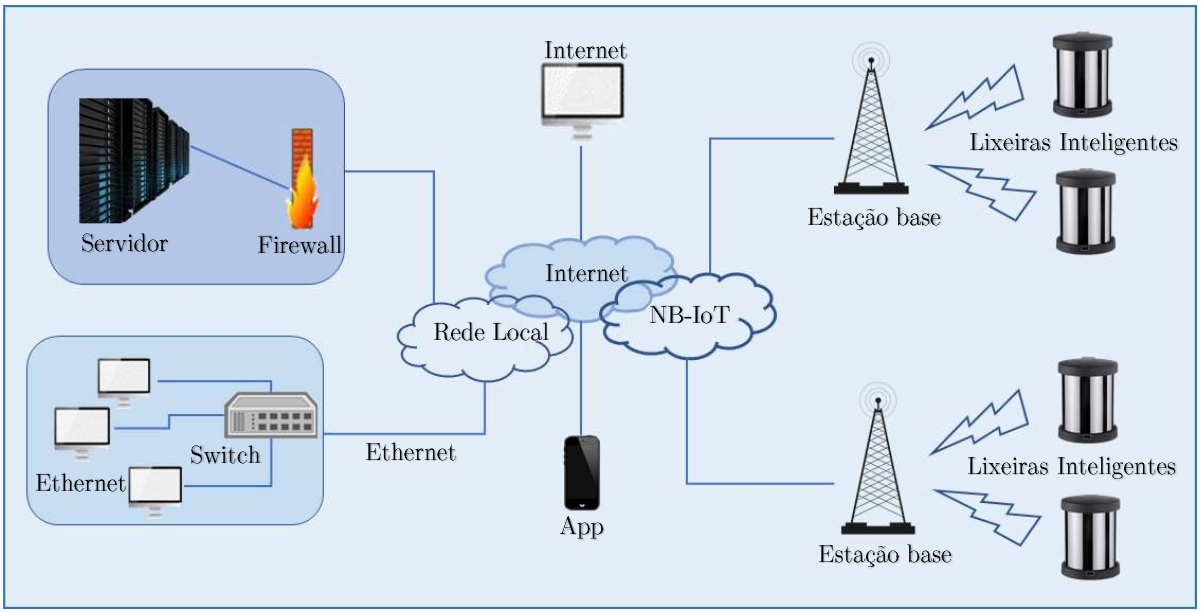
Quando a lata de lixo estiver 80% cheia, o sensor de compressão acionará a compactação do lixo usando uma operação de extrusão, fornecendo espaço adicional. Quando não for mais possível, os sensores indicarão que deve ser esvaziado. Os STCs também podem detectar materiais nocivos no lixo usando um sensor infravermelho (ZHU *et al.*, 2019).

Os nós de extremidade possuem poder de computação suficiente para realizar o pré-processamento dos dados de origem e, em seguida, transmitir os resultados ao centro de computação centralizado através do NB-IoT. O pré-processamento determina se as condições operacionais são normais ou está ocorrendo uma emergência (nesse caso, a transmissão é prioritária). A tecnologia NB-IoT foi escolhida por sua grande capacidade, uma vez que existem milhares de latas de lixo, sua ampla cobertura, e o baixo custo (com módulos não excedendo US$ 5) e o baixo consumo de energia (ZHU *et al.*, 2019).

A plataforma de gerenciamento é a parte da arquitetura do sistema STC que recebe os dados coletados pelos nós de borda, incluindo os dados de alarme de transmissão prioritária e as informações normais, realizando a análise geral dos dados. Esse dados podem ser utilizado para verificar a necessidade de novas lixeiras, se está havendo dano intencional ou excesso de substâncias tóxicos, tomando as medidas cabíveis (ZHU *et al.*, 2019).

Como resultado foi possível verificar a redução da necessidade de lixeiras, principalmente por causa da compactação, foi mapeado a incidência de substâncias nocivas e lixeiras danificadas (ZHU *et al.*, 2019).

Figura 19 – Arquitetura do sistema STC



Fonte: Zhu e outros (2019).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As redes NB-IoT e LTE-M surgiram como um adicional das redes 4G e integram uma das soluções em Internet das Coisas das redes 5G. Com o objetivo de ofertar conexão entre objetos usando a internet essa tecnologia cria soluções para indústria, agricultura, cidades e pessoas. O NB-IoT e o LTE-M foi desenvolvido priorizando economia de energia, ampla cobertura e capacidade para comportar de dezenas de milhares até milhões de dispositivos IoT conectados, além de custo baixo. Com essas redes é possível oferecer suporte para automação de ambientes industriais, sistema de produção agropecuária e serviços automatizados para cidades inteligentes.

O NB-IoT é ideal para aplicações em subsolo e possui maior cobertura em relação ao LTE-M. Já o LTE-M oferece uma maior taxa de dados mantendo o baixo consumo de energia e com uma cobertura ainda melhor do que a GSM.

O NB-IoT e o LTE-M já são tecnologias consolidadas e que já mostram resultados através de suas implantações. Mesmo entre outras soluções, elas são escolhidas para serem usadas justamente por atender os compromissos de sua especificação.

Os exemplos apresentados registram como a Telstra oferece servições de rastreamento juntando GSM, painéis solares com as redes NB-IoT e o LTE-M, fornecendo tanto a infraestrutura quando os dispositivos e API a um baixo custo e com grande facilidade aos clientes.

Além disso, A Ericsson reduziu seus custos com manutenção e perdas de ferramenta de alto valor na sua fabrica na China e ganhou agilidade no seu controle de qualidade. Em outra situação diversos produtores na China estão podendo melhorar sua produtividade monitorando suas estufas com facilidade e baixo custo como os equipamento da NHR.

O Brasil se beneficia de tal tecnologia através da expansão das redes 4G para as áreas rurais no Brasil que está sendo feita para oferecer soluções em IoT para os produtores rurais. Muito desses investimentos não seria feito se fosse para oferecer apenas Internet para a areá rural. Esse serviço não pagariam os investimentos na infraestrutura, passando a compensar com a adição de serviços IoT, mostrando que investimento em IoT também influem avanços na em outras área e na economia em geral, agora o campo também terá internet de qualidade.

Os casos de implantação na China mostram como elas ajudam na administração das cidade, o sistema de coleta de lixo se tornou mais eficientes e o gerenciando do trafego e segurança em relação as bicicletas elétricas como na China.

Baseado em tudo isso é possível dizer que tanto o NB-IoT quanto o LTE-M são tecnologias que valem o investimento, elas cumprem com o que prometem e que ainda possuem espaço para crescer no Brasil e no Mundo, o que acarreta a necessidade de profissionais capacitados em todos os níveis para venda, implantação e operação desses serviços baseados nelas.

Como novas sugestões de pesquisar podem ser citadas outras soluções IoT que também existem dentro da 5G, como *Cellular vehicle-to-everything* (C-V2X) para comunicação com veículos ou *Industrial internet of things* (IIoT) com aplicações críticas para a indústria. Também são validos projetos de implementação de soluções em NB-IoT e LTE-M com equipamentos disponíveis no mercado para indústrias, a agricultura, serviços para cidades ou casas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Serviço Limitado Privado**. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/outorga/servico-limitado-privado. Acesso em: 19 abr. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Painéis de dados**. 2021. Disponível em: https://www.anatel.gov.br/paineis/acessos/telefonia-movel. Acesso em: 30 jun. 2021.

CHERUVU, S.; KUMAR, A.; SMITH, N.; WHEELER, D. M. Connectivity Technologies for IoT. *In*: _____. **Demystifying Internet of Things Security: Successful IoT Device/Edge and Platform Security Deployment**. Berkeley, CA: Apress, 2020. p. 347–411. ISBN 978-1-4842-2896-8. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2896-8_5. Acesso em: 12 out. 2020.

COLÓN, R. P.; NAVAJAS, S.; TERRY, E. **IoT IN LAC 2019**: Taking the Pulse of the Internet of Things in Latin America and the Caribbean. Inter-American Development Bank, 2019. Disponível em: https://publications.iadb.org/publications/english/document/IoT_IN_LAC_2019_Taking_the_Pulse_of_the_Internet_of_Things_in_Latin_America_and_the_Caribbean_en.pdf. Acesso em: 1 out. 2020.

DIN, I. U.; GUIZANI, M.; HASSAN, S.; KIM, B.-S.; KHAN, M. K.; ATIQUZZAMAN, M.; AHMED, S. H. The internet of things: A review of enabled technologies and future challenges. **IEEE Access**, [*S. l.*], v. 7, p. 7606–7640, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2886601. Acesso em: 15 set. 2020.

ELIJAH, O.; RAHMAN, T. A.; ORIKUMHI, I.; LEOW, C. Y.; HINDIA, M. N. An overview of internet of things (iot) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges. **IEEE Internet of Things Journal**, [*S. l.*], v. 5, n. 5, p. 3758–3773, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2844296. Acesso em: 15 set. 2020.

ERICSSON. **Early Data Transmission for NB-IoT**. Spokane, US, 2017. R1-1705189 3GPP TSG RAN1 Meeting #88. Disponível em: https://www.3gpp.org/ftp/TSG_RAN/WG1_RL1/TSGR1_88b/Docs/R1-1705189.zip. Acesso em: 13 nov. 2020.

ERICSSON. **The world's first cellular IoT-based smart factory**. 2018. Disponível em: https://www.ericsson.com/4a3003/assets/local/cases/customer-cases/2018/connected-factory-case-study.pdf. Acesso em: 20 mar. 2021.

FATTAH, H. **5G LTE Narrowband Internet of Things (NB-IoT)**. 1st. ed. USA: CRC Press, Inc., 2018. ISBN 1138317608. Disponível em: https://doi.org/10.1201/9780429455056. Acesso em: 15 set. 2020.

FELTRIN, L.; TSOUKANERI, G.; CONDOLUCI, M.; BURATTI, C.; MAHMOODI, T.; DOHLER, M.; VERDONE, R. Narrowband iot: A survey on downlink and uplink perspectives. **IEEE Wireless Communications**, [*S. l.*], v. 26, n. 1, p. 78–86, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1109/MWC.2019.1800020. Acesso em: 13 nov. 2020.

FLORE, D. **3GPP Standards for the Internet-of-Things**. 2016. 11 slides. Disponível em: https://www.3gpp.org/images/presentations/3GPP_Standards_for_IoT.pdf. Acesso em: 13 nov. 2020.

FURUKAWA ELECTRIC LATAM. **Especificação técnica: Solução LTE 250 MHz da Furukawa - Radio System**. [*S. l.*], 2020.

FURUKAWA ELECTRIC LATAM. **Furukawa lança solução LTE para redes privadas de longo alcance**. 2020. Disponível em: https://www.furukawalatam.com/pt-br/conexao-furukawa-detalhes/furukawa-lanca-solucao-lte-para-redes-privadas-de-longo-alcance. Acesso em: 19 abr. 2021.

GARCÍA-GARCÍA, L.; JIMENEZ, J. M.; ABDULLAH, M. T. A.; LLORET, J. Wireless technologies for iot in smart cities. **Network Protocols and Algorithms**, [*S. l.*], v. 10, n. 1, p. 23–64, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.5296/npa.v10i1.12798. Acesso em: 15 set. 2020.

GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION. **The Future of Farming: How Mobile IoT technologies can help agriculture feed the world**. [*S. l.*]: GSMA, 2018a. Disponível em: https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2018/09/201809_GSMA_Mobile_IoT_Agriculture_Case_Study.pdf. Acesso em: 20 mar. 2021.

GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION. **Industrial Iot Case study: Ericsson smart Factory**. [*S. l.*]: GSMA, 2018b. Disponível em: https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2018/09/201809_Industrial_IoT_Case_Study_Ericsson_Smart_Factory.pdf. Acesso em: 20 mar. 2021.

GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION. **LTE-M Commercialisation Case Study**. [*S. l.*]: GSMA, 2019a. Disponível em: https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2019/11/201901_GSMA_LTE-M_Commercial_Case_Study-ATT_Telstra.pdf. Acesso em: 20 mar. 2021.

GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION. **LTE-M Deployment Guide to Basic Feature Set Requirements**. [*S. l.*]: GSMA, 2019b. Disponível em: https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2019/08/201906-GSMA-LTE-M-Deployment-Guide-v3.pdf. Acesso em: 20 dez. 2020.

GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION. **NB-IoT Commercialisation Case Study**. [*S. l.*]: GSMA, 2019c. Disponível em: https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2019/08/201902_GSMA_NB-IoT_Commercialisation_CaseStudy.pdf. Acesso em: 20 mar. 2021.

GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION. **NB-IoT Deployment Guide to Basic Feature Set Requirements**. [*S. l.*]: GSMA, 2019d. Disponível em: https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2019/07/201906-GSMA-NB-IoT-Deployment-Guide-v3.pdf. Acesso em: 20 dez. 2020.

HALTIAN. **NB-IoT 3GPP release 14. What are the new features?** 2019. Disponível em: https://haltian.com/resource/nb-iot-3gpp-release-14-what-are-the-new-features/. Acesso em: 13 nov. 2020.

LIBERG, O.; SUNDBERG, M.; WANG, Y.-P. E.; BERGMAN, J.; SACHS, J. **Cellular Internet of Things**: Technologies, standards and performance. 1st. ed. [*S. l.*]: Academic Press, 2017. ISBN 978-0-12-812458-1. Disponível em: https://doi.org/10.1016/C2016-0-01868-5. Acesso em: 15 set. 2020.

LU, S. **Getting ready for 5G**. 2019. U-blox. Disponível em: https://www.u-blox.com/en/blogs/insights/getting-ready-5g. Acesso em: 13 nov. 2020.

MANTILLA, S. P. **El sistema de comunicaciones móviles de próxima generación 5G y su caso de uso IoT**. 2019. Dissertação (Máster Universitario de Ingeniería de Telecomunicación) — Universitat Oberta de Catalunya (UOC), Barcelona, Espanha, 2019. Disponível em: http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/90205/6/supermantillaTFM0119memoria.pdf. Acesso em: 20 set. 2020.

MINERVA, R.; BIRU, A.; ROTONDI, D. Towards a definition of the internet of things (iot). **IEEE Internet Initiative**, Itália, v. 1, n. 1, p. 1–86, 2015. Disponível em: https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.pdf. Acesso em: 15 set. 2020.

MROUE, H.; NASSER, A.; HAMRIOUI, S.; PARREIN, B.; MOTTA-CRUZ, E.; ROUYER, G. Mac layer-based evaluation of iot technologies: Lora, sigfox and nb-iot. *In*: MIDDLE EAST AND NORTH AFRICA COMMUNICATIONS CONFERENCE (MENACOMM), 2018, Jounieh, Líbano. **Proceedings [...]**. Jounieh, Líbano: IEEE, 2018. p. 1–5. Disponível em: https://doi.org/10.1109/MENACOMM.2018.8371016. Acesso em: 10 out. 2020.

NOKIA. **LTE-M optimizing LTE for the Internet of Things**. 2016. Disponível em: https://onestore.nokia.com/asset/200178. Acesso em: 25 jan. 2021.

NUNES, C. **Redes LTE**: Elementos de identificação. 2016. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeslteident/pagina_8.asp. Acesso em: 12 abr. 2021.

ROHDE & SCHWARRZ. **LTE-M**: O novo GSM. 2021. Disponível em: https://www.rohde-schwarz.com/br/solucoes/test-and-measurement/wireless-communication/iot-m2m/lte-m/tema-lte-m_234034.html. Acesso em: 12 abr. 2021.

SDXCENTRAL STUDIOS. **5G Standards**: What you need to know. 2017. SDX Central. Disponível em: https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/5g-standards/. Acesso em: 13 nov. 2020.

SHIN, E.; JO, G. Structure of nb-iot nodeb system. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY CONVERGENCE (ICTC), 2017, Jeju, Coreia do Sul. **Proceedings [...]**. Daejeon, Coreia do Sul: IEEE, 2017. p. 1269–1271. Disponível em: https://doi.org/10.1109/ICTC.2017.8190918. Acesso em: 15 out. 2020.

SHIRER, M.; TORCHIA, M. **Worldwide Spending on the Internet of Things Will Slow in 2020 Then Return to Double-Digit Growth, According to a New IDC Spending Guide**. Framingham, Massachusetts: [*s. n.*], 2020. IDC. Disponível em: https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS46609320. Acesso em: 8 dez. 2020.

TELECO. **LPWA**: Cobertura no brasil. 2021. Disponível em: https://www.teleco.com.br/lpwa_cobertura.asp. Acesso em: 30 jun. 2021.

TELE.SÍNTESE. **Relatório Exclusivo Tele.Síntese Campo Digital**. São Paulo, SP: Momento Editorial, 2020. Disponível em: https://www.eventos.momentoeditorial.com.br/wp-content/uploads/2020/09/CampoDigital_completo.pdf. Acesso em: 22 mar. 2021.

THIRD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT. **Study on provision of low-cost Machine-Type Communications (MTC) User Equipments (UEs) based on LTE**. [*S. l.*], 2013. 3GPP Technical Report 36.888 v12.0.0. Disponível em: https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.888/36888-c00.zip. Acesso em: 13 nov. 2020.

THIRD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT. **Cellular system support for ultra-low complexity and low throughput Internet of Things (CIoT)**. [*S. l.*], 2015a. 3GPP Technical Report 45.820 v13.1.0. Disponível em: https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/45_series/45.820/45820-d10.zip. Acesso em: 13 nov. 2020.

THIRD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT. **GERAN Study on Power Saving for MTC**. [*S. l.*], 2015b. 3GPP Technical Report 43.869 v13.0.0. Disponível em:

https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/43_series/43.869/43869-d00.zip. Acesso em: 13 nov. 2020.

THIRD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT. **Architecture enhancements to facilitate communications with packet data networks and applications**. [*S. l.*], 2020. 3GPP Technical Report 23.682 v16.8.0. Disponível em: https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=862. Acesso em: 21 jan. 2020.

TRÓPICO. **Redes LTE Privadas de Grande Cobertura e Alta Capacidade**. 2019. 12 slides. Disponível em: https://slideplayer.com.br/slide/16147996/. Acesso em: 27 abr. 2021.

VEJLGAARD, B.; LAURIDSEN, M.; NGUYEN, H.; KOVÁCS, I. Z.; MOGENSEN, P.; SORENSEN, M. Coverage and capacity analysis of sigfox, lora, gprs, and nb-iot. *In*: VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE (VTC SPRING), 85., 2017, Sydney, NSW, Australia. **Proceedings** [...]. Sydney, NSW, Australia: IEEE, 2017. p. 1–5. Disponível em: https://doi.org/10.1109/VTCSpring.2017.8108666. Acesso em: 15 set. 2020.

VERDONE, R.; MIGNARDI, S. Iot support. *In*: 5G ITALY-THE GLOBAL MEETING IN ROME, 2018, Rome, Italy. **Proceedings** [...]. Rome, Italy, 2018. p. 189–197. Disponível em: https://www.5gitaly.eu/2018/wp-content/uploads/2019/01/5G-Italy-White-eBook-IoT-Support.pdf. Acesso em: 15 set. 2020.

ZHU, Y.; JIA, G.; HAN, G.; ZHOU, Z.; GUIZANI, M. An nb-iot-based smart trash can system for improved health in smart cities. *In*: INTERNATIONAL WIRELESS COMMUNICATIONS & MOBILE COMPUTING CONFERENCE (IWCMC), 15., 2019, Tânger, Mgsm2018agriarrocos. **Proceedings** [...]. Tânger, Marrocos: IEEE, 2019. p. 763–768. Disponível em: https://doi.org/10.1109/IWCMC.2019.8766748. Acesso em: 15 set. 2020.