

IVAN MORISUGI TAKEMOTO

Aplicação da tecnologia 5g em projetos de telefonia

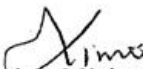
Ivan Morisugi Takemoto

Aplicação da tecnologia 5g em projetos de telefonia

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador (a): Profº Dr. José Feliciano Adami

T136a	Takemoto, Ivan Morisugi Aplicação da tecnologia 5G em projetos de telefonia / Ivan Morisugi Takemoto – Guaratinguetá, 2017. 94 f : il. Bibliografia: f. 89-94 Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017. Orientador: Prof. Dr. José Feliciano Adami 1. Comunicação móvel. 2. Telefonia celular. 3. Telecomunicações. I. Título CDU 621.395
-------	---


 Luciana Máximo
 Bibliotecária/CRB-8 3595

unesp **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

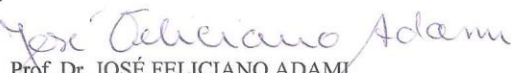
IVAN MORISUGI TAKEMOTO

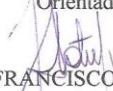
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. JOSÉ FELICIANO ADAMI
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. JOSÉ FELICIANO ADAMI
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO LOTUFO
UNESP-FEG


Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA
UNESP-FEG

Dezembro 2017

DADOS CURRICULARES

IVAN MORISUGI TAKEMOTO

NASCIMENTO	24.05.1989 – SÃO PAULO / SP
FILIAÇÃO:	Ademar Sadayoshi Takemoto Helena Mayumi Morisugi Takemoto
2004/2006	Ensino Médio Colégio Leonardo da Vinci – Osasco – SP
2009/2015	Curso de Graduação em Engenharia Elétrica na Universidade Estadual Paulista “Júlio de MesquitaFilho” – Campus de Guaratinguetá – SP.

De modo especial, aos meus pais Helena e Ademar, que sempre acreditaram em mim e sempre foram à base para que eu persistisse em continuar trilhando o caminho rumo ao meu sonho, e também à minha irmã Jéssica, que apesar da distância sempre esteve ao meu lado me incentivando a continuar.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Deus por me permitir chegar até aqui e sem sua bênção e proteção, eu jamais poderia ter concluído esta universidade. Agradeço também,

aos meus pais Helena e Ademar e minha irmã Jéssica por sempre terem me apoiado e sempre me dado forças para que eu pudesse alcançar esse objetivo.

A minha nova família que adquiri na cidade de Guaratinguetá, principalmente aos engenheiros Vinicius, Marcelo e Fernando que foram meus irmãos, ao meu veterano Gabriel que foi o grande motivo por eu ter conhecido essa nova família e de forma especial também aos meus veteranos Alessandro e Frederico e, aos meus “bixos” Fernando, Raphael e Bruno que foram as pessoas mais próximas a mim durante todo esse longo período. De forma extremamente especial aos não citados, agradeço a vocês todos moradores e ex-moradores da “Vamointão”, pois os senhores me ajudaram a me tornar a pessoa que eu sou hoje e terão sempre o meu eterno carinho e respeito,

aos meus melhores amigos de São Paulo, pois vocês também fizeram parte disso tudo, sabem de cada sofrimento e dificuldade que eu tive que superar para conseguir atingir esse objetivo,

ao professor doutor José Feliciano Adami por ter aceitado como seu orientando e por também por toda contribuição durante o período de graduação,

aos meus amigos de faculdade Giuliano, Pedro e Alexandre

aos meus ex-patrões Leandro, Pedro e Marcelo,

aos funcionários da FEG por toda a dedicação e contribuição para manter essa universidade funcionando,

e por fim, à todos os professores que me ensinaram e passaram da melhor forma possível os seus conhecimentos para que eu pudesse atingir o nível de Engenheiro Eletricista.

“O medo faz parte da vida da gente. Algumas pessoas não sabem como enfrentá-lo, outras - acho que estou entre elas - aprendem a conviver com ele e o encaram não como uma coisa negativa, mas como um sentimento de autopreservação”

Senna, Ayrton

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a tecnologia atual usada em telecomunicações *long term evolution* (LTE), baseado em pesquisas bibliográficas, a atual implementação das redes 3G e 4G no Brasil e, a expectativa da rede 5G tanto no Brasil quanto no mundo. A mudança de comportamento do usuário que antes usava o serviço de voz e passou a usar serviços de dados e da necessidade de maior velocidade e de um mesmo usuário possuir diversos dispositivos para se conectar, gerando uma necessidade de aumento de volume e velocidade da rede. A história do desenvolvimento das tecnologias no aparelho de celular, desde o 1G até o 4G e as possíveis necessidades de mudança para o 5G, apresenta o caminho até chegar ao ponto onde estamos hoje em nível de tecnologia. Por fim, apresenta o panorama atual das experiências que o usuário já pode desfrutar e, faz uma pequena projeção do que se pretende atender com a nova tecnologia e, quais melhorias haverá na experiência dos usuários com a implementação da nova tecnologia 5G.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de comunicação móvel. Telefonia celular. 4G no Brasil. LTE-Advanced. 5G.

ABSTRACT

This paper presents a study on the current technology used in *long term evolution* (LTE) telecommunications, based on bibliographic research, the current implementation of 3G and 4G networks in Brazil and the expectation of 5G network in Brazil and in the world. The user behavior has changed, back in past, they used the voice service and nowadays, started using data services and the necessity for greater speed and the same user have multiple devices to connect, creating a wish for increased volume and speed of the network. The history of the development of technologies in the mobile device, from 1G to 4G and the possible changing needs for 5G, displays the path to the point where we are today at the level of technology. Finally, it presents the current situation of the experiences that you can now enjoy and makes a small projection of what is to meet with the new technology and what will be improvements in the user experience with the implementation of the new 5G technology.

KEYWORDS: Mobile communication system. Cellular Telephony. 4G in Brazil. LTE-Advanced. 5G

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Rede Inicial ARPANET 1969	21
Figura 2- Rede Final ARPANET 1977.....	21
Figura 3 - Expansão da internet no Brasil de 1991 a 1995.....	23
Figura 4 - Diagrama de fase e quadratura 64QAM e 256QAM	33
Figura 5 - Diagrama modulação QPSK.....	33
Figura 6 - Configuração MIMO 4x4	34
Figura 7 - Codificação espaço-tempo	35
Figura 8 - Multiplexação espacial	35
Figura 9 - Sistema SU-MIMO e MU-MIMO	36
Figura 10 - Espectro de frequência FDM tradicional e OFDM.....	37
Figura 11 - Composição OFDM.....	38
Figura 12 - Comparação entre OFDMA e SC-FDMA	39
Figura 13 - Diagrama de blocos para geração de um sinal SC-FDMA.....	39
Figura 14 - Topologia Evolved Packet System (EPS).....	40
Figura 15 - Arquitetura de protocolos.	43
Quadro 1 - Estrutura de canais	47
Quadro 2 - Estrutura de canais (continuação)	48
Figura 16 - Estrutura de canais LTE.....	48
Figura 17 - Transmissão de dados em uma rede LTE.	50
Figura 18 - Rede mista simplificada LTE e 2G/3G.....	51
Figura 19 - Rede IMS para VoLTE	52
Figura 20 - Interfaces S-CSCF	54
Figura 21 - Transferência de voz SRVCC em LTE.....	56
Figura 22 - Locais de operação do CA	57
Figura 23 - Agregação de operador	58
Figura 24 - Velocidade Média das Redes LTE.....	60
Figura 25 - Redução da Latência.....	64
Figura 26 - Espectro para Acesso Wireless 5G	67
Figura 27 - Phantom Cell.....	67
Figura 28 - Massive MIMO.....	68
Figura 29 - Massive MIMO em conjunto com Phantom Cell	68

Figura 30 - Solução para o Espectro do 5G.....	69
Figura 31 - Evolução do RAT para o 5G.....	69
Figura 32 - Rede 5G e LTE	70
Figura 33 - Características da Multiplexação NOMA.....	71
Figura 34 - Benefícios do F-OFDM	72
Figura 35 - Diagrama de blocos GFDM.....	73
Figura 36 - Participação do tempo e frequência	73
Figura 37 - Arquitetura do UPMC.....	74
Figura 38 - Banco de filtros do FBMC.....	75
Figura 39 - Forma do quadro utilizado no BFDM	76
Figura 40 - Requisições do 5G	76
Figura 41 - Categorias do Caso de Uso	77
Figura 42 - Exemplos de casos de Uso para o 5G	78
Figura 43 - Modelos de Serviço 5G.....	79
Figura 44 - Capacidade de Criação de Valores do 5G	80
Figura 45 - MTC Massivo e MTC Crítico.....	81
Figura 46 - NFV e SDN trabalhando juntos	83
Figura 47 - Arquitetura 5G	84
Figura 48 - 5G slices.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1G	Primeira geração de celulares
2,5G	Geração intermediária entre a segunda e terceira geração de celulares
2G	Segunda geração de celulares
3,5G	Geração intermediária entre a terceira e quarta geração de celulares
3,75G	Geração intermediária próxima à quarta geração de celulares
3G	Terceira geração de celulares
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4,5G	Geração intermediária entre a quarta e quinta geração de celulares
4G	Quarta geração de celulares
5G	Quinta geração de celulares
ACK/NACK	Acknowledgement/Negative Acknowledgement
AM	Acknowledged Mode
AMPS	Advanced Mobile Phone System
API	application programme interface
ARFCN	Absolute Radio Frequency Channel Number
ARPA	Advanced Research Projects Agency
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Network
ARPU	Average Revenue Per User
ARQ	Automatic Repeat reQuest
AS	Application Server
ASK	Amplitude Shift Keying
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BFDM	Bi-Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
CA	Carrier Aggregation
CCCH	Common Control Channel
CDMA	Code Division Multiple Access
CDMA2000	Radio Tansmission Technology 1x

CERN	Conselho Europeu para a Pesquisa Nuclear em Genebra
CN	Cognitive Network
C-Plane	Plano de Controle
CR	CognitiveRadio
CS	Comutação por Circuitos
CSFB	Circuit Switch Fallback
D2D	Device To Device
DAMPS	DigitalAdvanced Mobile Phone System
DCCH	Dedicated Control Channel
DL-SCH	Downlink Shared Channel
DTCH	Dedicated Traffic Channel
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EMM	EPS Mobility Management
eNodeB	evolved NodeB
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
ESM	EPS Session Management
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
eUTRAN	Evolved Universal Terrestrial Access Network
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FBMC	Filter Bank Multicarrier
FDD	Frequency Division Duplex
FDM	Frequency Division Multiplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FERMILAB	Fermi National Accelerator Laboratory
FFT	Fast Fourier Transform
F-OFDM	Filtered Frequency Division Multiplexing
GAN	Generic Access Network
GFDM	Generalized Frequency Division Multiplexing
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Services
GSM	Global System for Mobile Communications
HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest

HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	Evolved HSPA
HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
HTC	human type communications
HTML	hyper text markup language
HTTP	hyper text transfer protocol
IaaS	infrastructure as a service
I-CSCF	Interrogating Call State Control Function
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IMS	IP Multimedia Subsystem
IoT	Internet das coisas
IP-CAN IP	Connectivity Access Network
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ITU	União Internacional de Telecomunicações
LNCC	Laboratório Nacional de Computação Científica
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	LTE Advanced
M2M	Comunicação entre maquinas
MAC	Medium Accesss Control
MCCH	Multicast Control Channel
MCH	Multicast channel
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
MMTel	Telefônico de multimídia
mmW	Ondas milimétricas
MSC	Mobile Switching Center
MSS	Mobile SofstSwitch
MTC	Machine Type Communications
MTCH	Multicast Traffic Channel
MU-MIMO	Multi-User MIMO

NAS	Non-Access-Stratum
NCP	Network Control Protocol
NFV	Network Functions Virtualization
NGMN	Next Generation Mobile Networks
NOMA	Non-Orthogonal Multiple Access
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSI	Open Systems Interconnection
PaaS	Platform as a Service
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
PBCH	Physical Broadcast Channel
PCC	Política e Controle de Carga
PCCH	Paging Control Channel
PCFICH	Physical Control Format Indicator Channel
PCH	Paging Channel
PCRF	Policy Control and Charging Rules Functions
PCS	Personal Communications System
P-CSCF	Proxy Call State Control Function
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
P-GW	Packet Data Network Gateway
PHICH	Physical Hybrid ARQ Indicator Channel
PHY	Camadas Físicas
PMCH	Physical Multicast Channel
PRACH	Physical Random Access Channel
PRACH	Physical Layer Random Access Channel
PS	Comutação Por Pacotes
PSK	Phase Shift Keying
P-SS	Primary Synchronization Signal
PUCCH	Physical Uplink Control Channel
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
PUSCH	Uplink Shared Channel

QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RF	Rádio Disponível
RLC	Radio Link Control
RNP	Rede Nacional de Pesquisa
RRC	Radio Resource Control
RS	Reference Signal
SAE	Service Architecture Evolution
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SCMA	Sparse Code Multiple Access
S-CSCF	Serving Call State Control Function
SDN	Software Defined Networking
SDU	Service Data Units
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving Gateway
SIM Card	Subscriber Identity Module
SIP	Session Initiation Protocol
SMS	Short Message Service
SRVCC	Single Radio Voice Call Continuity
S-SS	Secondary Synchronization Signal
SU-MIMO	SingleUser MIMO
TB	Transport Blocks
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TIA	Telecommunications Industry Association
TM	Transparent Mode
UE	User Equipament

UFMC	Universal Filtered Multi-Carrier
UL-SCH	Uplink Shared Channel
UM	Unacknowledged Mode
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Service
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UNICAMP	Universidade de Campinas
U-Plane	Plano dados do usuário
USP	Universidade de São Paulo
VANC	VOLGAAccess Network Controller
VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voice over IP
VoLGA	Voice Over LTE via Generic Access
VoLTE	Voice over LTE
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WWW	World Wide Web
XaaS	Everythingas a Service

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	HISTÓRIA DOS SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO	20
2.1	INÍCIO DA INTERNET	20
2.1.1	A história da internet no Brasil.....	22
2.2	HISTÓRIA DA COMUNICAÇÃO MÓVEL.....	23
2.2.1	A Primeira Geração (1G).....	24
2.2.2	A Segunda Geração (2G)	25
2.2.3	A geração 2,5G.....	27
2.2.4	A Geração 3G.....	28
2.2.5	A Geração 3,5G.....	29
2.2.6	A Geração 3,75G.....	30
3	A GERAÇÃO 4G.....	31
3.1	TECNOLOGIA ADOTADA.....	31
3.1.1	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)</i>	31
3.1.2	<i>Long Term Evolution (LTE)</i>	31
3.2	PRINCIPAIS CONCEITOS	32
3.2.1	Modulação Adaptativa.....	32
3.2.2	<i>Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)</i>	34
3.2.3	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)</i>	36
3.3	ARQUITETURA.....	40
3.3.1	<i>User Equipment (UE)</i>	40
3.3.2	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (eUTRAN)</i>	40
3.3.3	<i>Evolved Packet Core (EPC)</i>	41
3.4	ARQUITETURA DE PROTOCOLOS	42
3.4.1	<i>Packet Data Convergence Protocol (PDCP)</i>	43
3.4.2	<i>Radio Link Control (RLC)</i>	44
3.4.3	<i>Medium Access Control (MAC)</i>	44
3.4.4	A camada PHY	45
3.4.5	<i>Radio Resource Control (RRC)</i>	45
3.4.6	<i>Non-Access-Stratum (NAS)</i>	46

		20
3.5	ESTRUTURA DE CANAIS.....	46
3.6	TRANSMISSÃO.....	49
3.7	CHAMADAS DE VOZ E SMS NO LTE	50
3.7.1	VoLTE	52
3.8	4.5G LTE <i>ADVANCED</i>	56
3.8.1	<i>Carrier Aggregation</i>	56
3.8.2	<i>Multiple Input Multiple Output (MIMO)</i>	58
3.8.3	Nó de Retransmissão	59
3.9	DADOS DE TRANSMISSÃO 4G	59
4	A GERAÇÃO 5G.....	62
4.1	MOTIVOS DO DESENVOLVIMENTO DO 5G.....	63
4.2	PASSOS PARA ATINGIR O 5G	64
4.2.1	Espectro de rádio disponível	65
4.2.2	<i>Massive MIMO</i>	67
4.2.3	Novo modelo de RAT	68
4.2.4	NOMA	70
4.2.5	<i>Sparse Code Multiple Access (SCMA)</i>	71
4.2.6	<i>Filtered Frequency Division Multiplexing (F-OFDM)</i>	72
4.2.7	<i>Universal Filtered Multi-Carrier (UFMC)</i>	73
4.2.8	<i>Filter Bank Multicarrier (FBMC)</i>	74
4.2.9	<i>Bi-Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (BFDM)</i>	75
4.3	CASOS DE USO 5G	76
4.4	MODELOS DE SERVIÇO.....	78
4.5	INFRAESTRUTURA 5G.....	79
4.5.1	<i>Machine Type Communications (MTC)</i>	80
4.5.2	<i>Frequency Division Duplex Time Division Duplex</i>	81
4.6	NOVA ARQUITETURA 5G	82
4.6.1	5G slice.....	85
4.7	O BRASIL NO 5G.....	86
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
	REFERÊNCIAS	89
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	93

1 INTRODUÇÃO

O modo como o usuário final vem utilizando o serviço da tecnologia móvel tem sofrido mudanças significativas ao longo dos anos. Antes o celular era apenas um telefone móvel, agora é visto como um computador pessoal, muitas vezes com configurações e funções até superiores aos computadores que possuem em algumas residências. Por isso, há a necessidade de aumentar cada vez mais a velocidade e o volume da transmissão de dados, uma vez que isso impulsionou o desenvolvimento de novas tecnologias de comunicação móvel e tornou a procura por cada vez maiores de taxas de transmissão.

Esse trabalho apresenta as tecnologias relacionadas à geração futura de celulares (5G), que apesar de ainda estar em fase de estudos e testes, já foram definidos os padrões a serem implementados e é o próximo passo para a tecnologia nesta área, bem como as tecnologias anteriores que permitiram que se chegasse ao nível atual e apresentar o porquê da necessidade da implementação da tecnologia 5G.

O trabalho foi dividido em capítulos. O primeiro é a introdução sobre o tema e motivação do trabalho. Já o segundo capítulo, apresenta a história e a evolução dos aparelhos e sua tecnologia.

O terceiro capítulo, visa apresentar a tecnologia atual (4G). No quarto capítulo, apresento a tecnologia que está sendo desenvolvida (5G), os motivos de sua implementação, os desafios e o ponto em que o Brasil está em relação à tecnologia de transmissão de dados.

Por fim, no capítulo quinto, ficou as considerações finais e a expectativa sobre a implementação da internet 5G tanto no Brasil, quanto no mundo.

2 HISTÓRIA DOS SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

2.1 INÍCIO DA INTERNET

O início da internet se deu no auge da Guerra Fria, no final da década de 1960, graças ao Departamento de Defesa Norte-Americano, que queria desenvolver um sistema de comunicação descentralizado, que permitiria, em caso de um ataque, este pudesse resistir a uma destruição parcial do sistema e com esse objetivo, a *Advanced Research Projects Agency* (ARPA), desenvolveu a *Advanced Research Projects Agency Network* (ARPANET). Em 1969, ARPANET já estava operacional, permitindo a conexão entre as universidades de *Stanford*, *Los Angeles*, *Santa Barbara* e *Utah*. O protocolo usado naquela época era o *Network Control Protocol* (NCP) que era um protocolo hospedeiro, que permitia a comunicação entre os computadores e permitia que outros fossem inseridos na rede, além de controlar o fluxo e o caminho dos dados, atuava com um sistema de chaveamento de pacotes, onde as informações eram divididas em pequenos pacotes que continham trechos dos dados, que permitiam a remontagem da mensagem original.

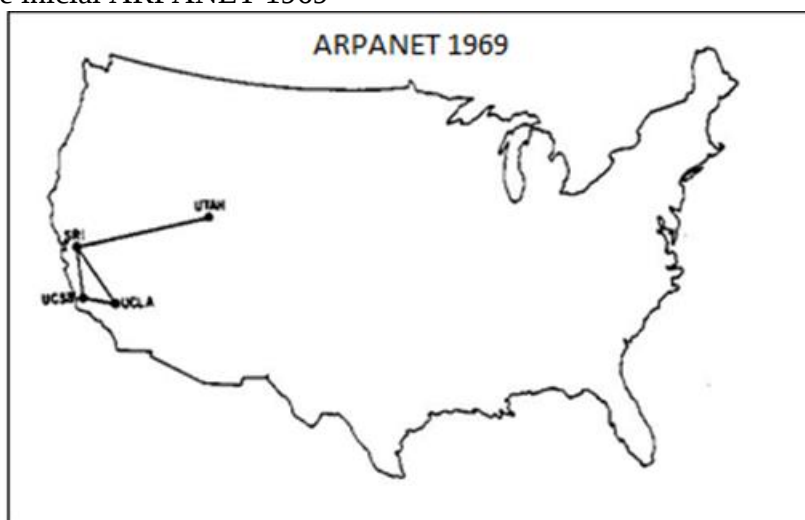
A partir dos anos 1970, houve um aumento nos usuários da ARPANET, o que causou em uma divisão. A ARPANET que era aberta aos usuários comuns para fins científicos e a *Military Network* (MILNET) que era para fins militares. Com isso, o NCP se tornou obsoleto, necessitando que um novo protocolo fosse implementado, o protocolo *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP) criado por *Robert Kahn* e *Vint Cerf*, em 1974, estabelecia uma linguagem comum a todas as redes já criadas, até então, nos Estados Unidos (EUA) e na Europa, porém apenas em 1976, o TCP/IP foi aderido a ARPANET, permitindo que a *web* atingisse seu primeiro milhão de usuários.

O TCP/IP é um conjunto de protocolos que juntos são responsáveis pelo recebimento da informação, depois empacotados para o formato da rede e por fim são endereçados e enviados, ele ainda foi o primeiro protocolo endereçado em domínio público, permitindo que qualquer pessoa tivesse acesso, possibilitando ainda, que pesquisadores pudessem modificá-lo e desenvolvê-lo.

Em paralelo, o americano *Ray Tomlinson* criou o SNDMSG (uma contração da expressão em inglês "*send message*", ou seja, "enviar mensagem") em 1971, que permitia a troca de mensagens dentro do mesmo PC. Para que as mensagens fossem enviadas para outros PCs através da ARPANET, ele utilizou um protocolo de transferência de arquivos, o CYPNET, e resolveu adotar o @ para identificar o remetente e destinatário das mensagens.

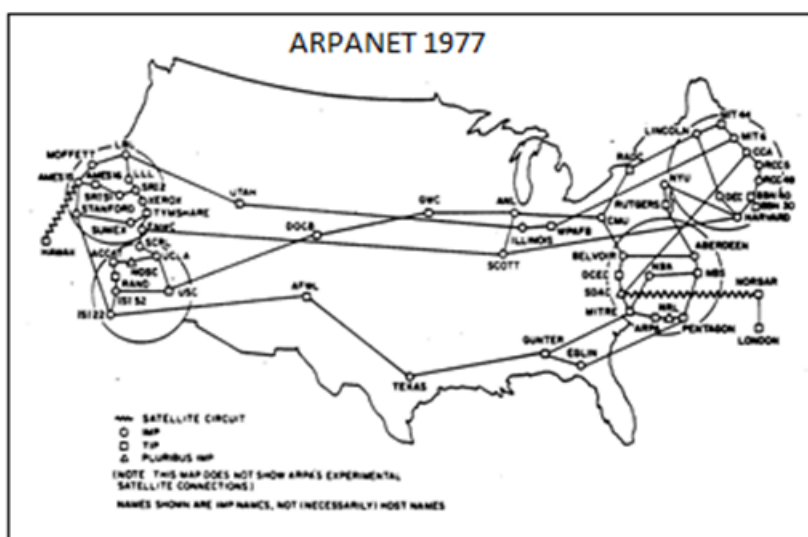
A partir da década de 1990, a internet passou a ser usada em larga escala, devido à criação de um protocolo pelo pesquisador *Tim Berners Lee*, do Conselho Europeu para a Pesquisa Nuclear em Genebra (CERN), o *hyper text transfer protocol*(HTTP) e da linguagem *hyper text markup language*(HTML), permitindo navegar de um site a outro, e ainda criação da *world wide web*(WWW), abrindo a internet para que houvesse a cooperação mútua entre cientistas do mundo todo(BARROS, 2013). A figura 1a ilustra a rede inicial ARPANET nos EUA de 1969 para a final da ARPANET de 1977 na figura 2.

Figura 1 – Rede inicial ARPANET 1969



Fonte: Walker (1978)

Figura 2 – Rede final ARPANET 1977



Fonte: Walker (1978)

2.1.1 A história da internet no Brasil

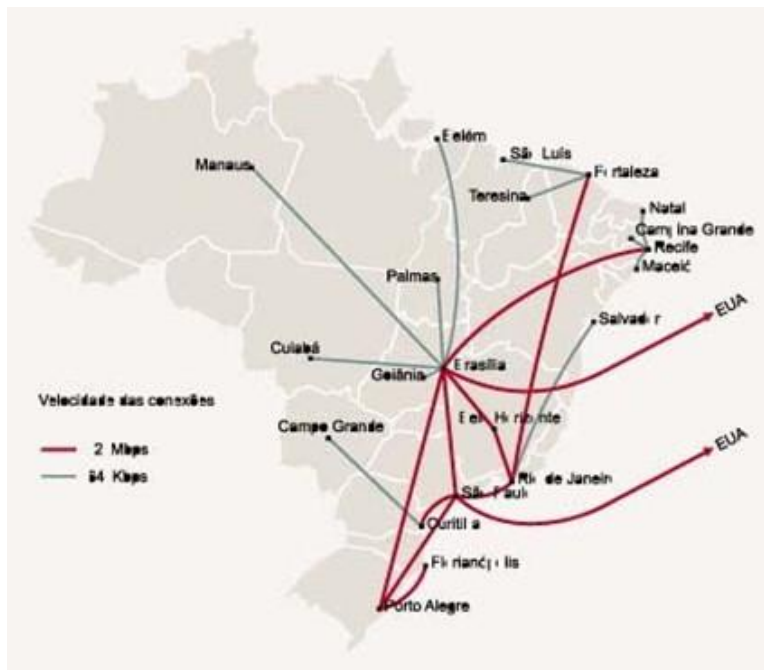
O início da história da internet no Brasil tem como marco, o mês de setembro de 1988, quando no Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), no Rio de Janeiro – RJ, conseguiu acesso à *Bitnet* estabelecida na Universidade de *Maryland* nos EUA. Meses depois foi a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) que também se ligou à *Bitnet* através da *Fermi National Accelerator Laboratory* (FERMILAB), em Chicago – EUA, era uma ligação ponto a ponto feita por linha telefônica.

A FAPESP foi a pioneira ao criar a primeira rede brasileira interligando a Universidade de São Paulo (USP), Universidade de Campinas (UNICAMP), Universidade Estadual Paulista (UNESP) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), onde mais tarde conectaram-se outras universidades importantes de todo o país.

Em 1989, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) criou a Rede Nacional de Pesquisa (RNP) com o intuito de construir uma rede de internet brasileira para pesquisas acadêmicas. Em 1992, alcançou 10 estados e o Distrito Federal e, além de implantar a primeira rede nacional, também se dedicou a divulgar os serviços de internet à população.

Contudo, a internet no Brasil só deixou de ter o caráter de pesquisa acadêmica em 1995, quando ela começou a ser comercializada pela Embratel e aberta ao público em geral, através de uma obra em conjunto com o Ministério de Telecomunicações e o Ministério da Ciência e Tecnologia (RNP, 2015). A figura 3 mostra a expansão da internet no Brasil.

Figura 3 - Expansão da internet no Brasil de 1991 a 1995



Fonte: RNP (2015)

2.2 HISTÓRIA DA COMUNICAÇÃO MÓVEL

Em 1947, um grupo de engenheiros tiveram a ideia de criar um sistema que permitisse tornar a comunicação mais eficiente e fácil através da comunicação de telefones sem fio. A

idéia era ótima, porém esbarrou na tecnologia da época. Então, de 1947 a 1973, muitas foram as tentativas, mas poucos foram os resultados positivos.

Somente em 1973, aconteceu a primeira chamada de um telefone móvel para um telefone fixo, sendo essa a data considerada como marco inicial da comunicação móvel. A partir de abril daquele ano, muitas teorias de 1947 começaram a ser comprovadas. O primeiro aparelho que era apenas um protótipo foi o *DynaTAC* da Motorola que passou a ser comercializado apenas em 1983 com o nome de *DynaTAC 8000x*.

Os primeiros celulares pesavam em torno de 1 kg e possuíam dimensões de aproximadamente 30cm, então não eram tão portáteis, pois a maioria era feita para ser instalados em automóveis. Com o passar do tempo seu peso e suas dimensões foram diminuindo, os preços se tornaram acessíveis ao público e novas funções foram sendo atribuídas e diferentes tecnologias de transmissão foram sendo implementadas (JORDÃO,2009).

2.2.1 A Primeira Geração (1G)

A primeira geração de celulares 1G teve como principal novidade o fato de ser sem fio. A característica marcante era seu sistema analógico, usando sistemas de modulação em frequência, onde a voz era transmitida em rádio frequência, além de possuir alto custo, baixa capacidade de tráfego e os sistemas eram centralizados.

O sistema mais utilizado dessa geração era o *Advanced Mobile Phone System* (AMPS), que usava a comutação por circuito para fazer a transmissão através da tecnologia *Frequency Division Multiple Access* (FDMA). Cada telefone possuía um par de frequências de rádio sendo uma para enviar e outra para receber informações.

2.2.1.1 O sistema *Advanced Mobile Phone System* (AMPS)

Em 1979, o laboratório americano *Bell Labs* desenvolveu o sistema *Advanced Mobile Phone System*(AMPS), considerado o principal sistema analógico de comunicações móveis, que só entrou em operação, em 1983, e, chegaria no Brasil apenas em 1991.

A frequência de 800 MHz foi padronizada para sistemas celulares no AMPS e era a mesma frequência para os EUA e Brasil. O sistema utilizava da tecnologia *Frequency Division Multiple Access*(FDMA), que permitia múltiplos acessos por divisão de frequências, a banda é dividida em canais, cada canal possuía um par de frequências, sendo um para

transmissão e, outro para recepção, com 30 kHz para cada banda. Ele era dividido em duas bandas: banda A e banda B, com 416 canais cada e ocupavam 12,5 MHz por banda, onde 21 canais são para controle, e os demais, para voz. Os canais são de modulação FM e, quando um canal era alocado, este permanecia alocado até o final da chamada. Havia um grave problema na segurança das chamadas, pois não possuíam criptografia então, podiam ser facilmente interceptados. As faixas de transmissão eram de 824 a 849 MHz, enquanto os de recepção eram de 869 a 894 MHz (FONTANA,2014).

2.2.2 A Segunda Geração (2G)

A segunda geração (2G) trouxe inovações e novas ferramentas aos usuários. A transmissão deixou de ser analógica e passou a ser digital, o que resultou numa melhoria considerável na qualidade das transmissões.

Seus aparelhos passaram a ser mais leves e *designs* mais modernos, visores com imagens coloridas, além da função de ligação foi inserido o *Short Message Service* (SMS) e as mensagens multimídia, que permitiam o envio de fotos e imagens.

No quesito segurança, a rede passou a ter criptografia digital e houve a criação de uma forma para identificação e autenticação do usuário através do *Subscriber Identity Module* (SIM Card).

No Brasil o 2G, iniciou-se com a implantação do *Time Division Multiple Access* (TDMA), que foi substituído pelo *Code Division Multiple Access* (CDMA), que deu lugar ao atual sistema *Global System for Mobile Communications* (GSM).

2.2.2.1 O sistema *Time Division Multiple Access* (TDMA)

O TDMA foi uma solução encontrada para aumentar a capacidade do sistema, mantendo a compatibilidade com o que já existia, por isso quando criado, foi chamado de *Digital AMPS* (DAMPS), o TDMA foi padronizado pela *Telecommunications Industry Association* (TIA) como IS-136 para a faixa de frequência de 800 e 1900 MHz.

Suas características se mantiveram similares aos do AMPS, sendo sua principal inovação, a possibilidade de realizar três chamadas simultâneas dentro de uma mesma faixa de frequência, cada usuário utilizaria um determinado período de transmissão (TUDE,2003).

2.2.2.2 O sistema *Code Division Multiple Access* (CDMA)

Em 1993, o método CDMA foi desenvolvido pela empresa americana *Qualcomm* e foi padronizado pela TIA como IS-95. O sistema manteve a compatibilidade com os anteriores e permitiu uma expansão na rede, a tecnologia nele usada foi a do espalhamento espectral (*spread spectrum*), permitindo que vários usuários compartilhassem uma mesma banda de frequência, o que habilitou uma melhor utilização do espectro, aumentando, com isso, a capacidade dos sistemas, além de oferecer a *roaming e handover* entre células.

O sistema permitia que os usuários transmitissem e recebessem informações pelo mesmo canal simultaneamente. Para cada usuário era fornecido um código específico e, para utilizar o sistema o usuário deveria conhecer seu próprio código, com isso permitiu que os telefones celulares recebessem vários sinais ao mesmo tempo, por meio de um sistema inteligente, dentro de uma faixa de frequência dos 800 aos 1900 MHz(TUDE,2003).

2.2.2.3 O sistema *Global System for Mobile Communications* (GSM)

O sistema GSM foi criado para unir os sistemas digitais europeus e buscar um padrão único para que todos os sistemas fossem compatíveis entre si. Criado com a nomenclatura de o *Groupe Spéciale Mobile* (GSM), o nome foi alterado, em 1989, para *Global System for Mobile Communications*, mantendo a sigla, pois sua abrangência era muito maior do que a esperada inicialmente.

A partir do GSM passou a se utilizar o *SIM card*, que armazena as informações mais importantes do usuário como número de identificação, redes e país do assinante e chaves privadas num dispositivo de memória.

No início foi projetado para operar em 900 MHz, após um pedido do Reino Unido, foi adaptado para 1800 MHz e posteriormente para 1900 MHz, com o intuito de atender ao *Personal Communications System* (PCS) norte-americano, ficando conhecido como PCS1900.

Atualmente, opera também em 850 MHz e combina técnicas do TDMA e FDMA, permitindo que até 8 usuários realizem chamadas simultaneamente. Um número é atribuído por *Absolute Radio Frequency Channel Number* (ARFCN – Número Absoluto de Canal de RF) para cada par de frequência portadora nos enlaces diretos e reversos.

O GSM foi adotado mundialmente e ainda é utilizado. O padrão é robusto, uma vez que cada vez que se realiza uma chamada, cada janela de tempo é criptografado e mudado, impedindo que os dados sejam interceptados, somente com a presença do algoritmo no

receptor, a mensagem poderia ser decifrada, garantindo uma alta segurança ao sistema. Devido à grande adesão de empresas, este permitiu o *roaming* internacional, facilitando a utilização dos serviços ao usuário em outros países(CLEMENTE,2010).

2.2.3 A geração 2,5G

A geração 2,5G é considerada uma geração de transição entre o 2G e o 3G. Nela houve uma considerável evolução na tecnologia, que deixou de ser na comutação por circuitos e passou a ser por pacotes, permitindo que os usuários ficassem conectados por tempo indeterminado. Nesta geração foram desenvolvidas técnicas importantes como o *General Packet Radio Services* (GPRS), *Enhanced Data Rates for GSM Evolution* (EDGE) e *1x Radio Transmission Technology* (CDMA2000 1X).

2.2.3.1 *General Packet Radio Services* (GPRS)

A tecnologia GPRS pode ser considerada um dos maiores desenvolvimentos para o padrão GSM para atender aos usuários com altas taxas de bits por transmissão de dados, permitindo que o pacote fosse enviado apenas quando requisitado, permitindo que o assinante pagasse pelo pacote requisitado e, não pelo tempo que permanecia conectado.

A arquitetura utilizada foi similar à já encontrada na GSM, incluindo algumas tecnologias, e interfaces à rede e atualizando softwares, otimizando os recursos, atingindo valores de 171,2 kbps, que antes era de 9,6 kbps no padrão GSM (PIMENTA,2006).

2.2.3.2 *Enhanced Data Rates for GSM Evolution* (EDGE)

O Sistema EDGE foi criado para ampliar a taxa de transmissão de dados pela interface aérea já existente e foi fundamental para que se desenvolvesse a telefonia móvel rural devido a sua qualidade de propagação. A GSM/GPRS se utilizava da modulação *Gaussian Minimum Shift Keying* (GMSK), enquanto o EDGE se utiliza da modulação 8PSK, que aumenta em três vezes a taxa de bits por símbolo, elevando a taxa de transmissão do canal.

A implantação do EDGE foi feita a partir de pequenas modificações na rede, sendo necessárias apenas algumas atualizações de softwares para que as duas modulações, GMSK e 8PSK funcionassem (SOARES,2003).

2.2.3.3 CDMA2000 1X

O CDMA 2000 1X tem como base o padrão de comunicação do CDMA e pode ser considerada uma evolução do CDMA da geração 2G. Esta tecnologia foi a porta de entrada para que a terceira geração se desenvolvesse, pois conseguiu atingir taxas de transmissão altíssimas, superiores a 144 kbps, com sistema compatível e velocidades maiores de transmissão de voz.

Este sistema é voltado para transmissão de dados na interface aérea porque tudo que trafega entre o terminal e a estação base é encaminhado para elementos de rede que darão o tratamento específico para cada chamada de dados.

2.2.4 A Geração 3G

A geração 3G trouxe inúmeras inovações e inseriu novas ferramentas e funções nos celulares, como a consolidação dos serviços de internet móvel e a utilização de *Smartphones* e *tablets*. Celulares passaram a fazer videoconferências, conexão de alta velocidade. Modems portáteis permitiram o bom desempenho da rede 3G sem a necessidade de um aparelho de celular.

No Brasil, a tecnologia 3G é amplamente usada e já bem difundida, atingindo 86,2% dos municípios e 96,9% da população, valores considerados altos, devido ao tamanho do país e dificuldade de acesso devido a municípios com dificuldade de acesso.

Para que essa tecnologia conseguisse ter este nível, foram necessários algumas melhorias nas redes existentes, que incluem a tecnologia o *Universal Mobile Telecommunications Service*(UMTS), *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA), CDMA 2000 1XEV-DV, CDMA 2000 1XEV-DO, *High Speed Packet Access* (HSPA) e *Evolved HSPA*(HSPA+).

2.2.4.1 *Universal Mobile Telecommunications Service* (UMTS)

O UMTS é o termo usado para designar o padrão da terceira geração estabelecido como evolução para operadoras de GSM. O UMTS utiliza como interface rádio o *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA) ou o *Enhanced Data Rates for GSM Evolution* (EDGE), este padrão foi controlado até 2000 pelo *European Telecommunications Standards Institute*

(ETSI), a partir desse ano passou a ser controlada por *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) (ALECRIM,2012).

2.2.4.2 Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)

O WCDMA é um padrão de interface entre o terminal rádio e a Estação Rádio Base, ele opera de dois modos: *Frequency Division Duplex* (FDD), que se utiliza de enlaces de subida e descida em canais de 5 MHz diferentes e separados por 190 MHz de frequência. O *Time Division Duplex* (TDD), no qual a mesma banda de 5 MHz é compartilhada pelo link de subida e descida (TUDE,2004).

2.2.4.3 CDMA 1xEV (Evolution)

O CDMA 1xEV foi a volta da tecnologia CDMA com algumas melhorias, as quais podem ser divididas em duas fases: 1xEV-DO (*Data Only*) e 1xEV-DV (*Data and Voice*).

A primeira opera com uma portadora de 1.25 MHz, que ocupa a quantidade de espectro que as CDMA anteriores e, um canal é alocado para transportar dados, o que permitiu uma taxa de transmissão de até 2,4 Mbps. A fase seguinte permite que voz e dados fossem transportados no mesmo canal (TUDE,2004).

2.2.5 A Geração 3,5G

O *High Speed Packet Access* (HSPA) pode ser considerado como o 3,5G, também foi implementado como melhoria na rede UMTS pode oferecer velocidades muito mais altas e suportam uma quantidade muito maior de usuários que o W-CDMA.

O HSPA tem como base dois protocolos: *High Speed Downlink Packet Access*(HSDPA) e o *High Speed Uplink Packet Access*(HSUPA), os dois protocolos operam com a frequência de 5 MHz na portadora, mas o HSDPA é para *downloads* e o HSUPA é para *uploads*.

Enquanto o HSDPA oferece até 14,4 Mb/s de taxas de transferência de dados, o HSUPA oferece até 5,76 Mb/s. Essa velocidade mais alta é devido à redução do tempo de intervalo de transmissão que passou de 10 ms para de 1 a 3 ms e ao aumento da taxa de dados com a modulação *Quadrature Amplitude Modulation* (16QAM)(TUDE,2004).

2.2.6 A Geração 3,75G

O HSPA+ (*Evolved HSPA*) pode ser considerado como o 3,75G, é impressionante sua capacidade de trabalhar com taxas bem mais altas de velocidades que seu modelo anterior, que passou de 14,4Mb/s para taxas de até 168Mb/s de *download* e, de 5,76Mb/s para 22Mb/s de *upload*, podendo posteriormente atingir até 672 Mb/s.

Essas velocidades foram atingidas devido o uso do *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), técnica que utiliza mais de uma antena para a transmissão de dados no mesmo canal, mantendo o uso de portadoras de mesma frequência e o uso da modulação *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) de 64-QAM para *download* e 16-QAM para *upload* que favorecem a transmissão de dados principalmente quando estão próximos à base.

Além das altas taxas de transferência de dados, a tecnologia oferece um menor tempo de estabelecimento de chamadas, maior capacidade para uso de voz, melhor suporte a aplicações com grandes quantidades de informações e aproveita a estrutura do antigo HSPA (TUDE, 2004).

3 A GERAÇÃO 4G

A Geração 4G trouxe como inovações a velocidade de transmissão mais altas, o que gerou a mudança no perfil do usuário, que diminuiu drasticamente o uso do serviço de voz e passou a usar o serviço de dados, o que tornou a velocidade na transmissão de dados prioritária em relação ao de voz.

A 3GPP desenvolveu o sistema baseando-se no protocolo IP como chave para o transporte dos serviços. A comutação por circuitos foi totalmente substituída por comutação por pacotes.

As empresas ainda não conseguem fornecer toda a velocidade que o 4G promete entregar e nem tem a abrangência necessária para que todos os usuários usufruam desta tecnologia, atualmente no Brasil apenas 32,5 milhões de usuários são atendidos pelo 4G, mas isso é devido tanto aos aparelhos que ainda não possuem tecnologia para receber o 4G e das fornecedoras que não conseguem fornecer a tecnologia para mais usuários. As tecnologias desenvolvidas são LTE e WiMAX.

3.1 TECNOLOGIA ADOPTADA

3.1.1 *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*

O WiMAX é uma tecnologia desenvolvida para oferecer acesso banda larga. Que vai de 6 a 9 km. A rede é formada por um conjunto de células e os terminais são portáteis e móveis como no celular e permite troca de célula durante a comunicação, o padrão é parecido com o wi-fi e permitem velocidades maiores que 1 Gbit/s No Brasil, em 2010, a expectativa era que as redes operassem em 3,5 GHz (Teleco,2008).

3.1.2 *Long Term Evolution (LTE)*

O LTE surgiu como uma evolução do HSPA e foi desenvolvido pelo 3GPP para ser uma tecnologia de comunicação móvel. Dentre outras vantagens manteve a compatibilidade com as redes implementadas anteriormente e isso permitiria às operadoras uma substituição gradual dos equipamentos.

O LTE utiliza o padrão *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) e o protocolo IP, divide a banda de transmissão em dois canais (*downlink* e *uplink*).

Segundo a União Internacional de Telecomunicações (ITU), o LTE foi definido como o padrão global do 4G. Globalmente, a velocidade do LTE varia sendo que, nos locais onde a população se concentra em centros urbanos, a velocidade tende a ser mais alta. Em maio deste ano, existiam 503 redes LTE (Teleco,2017).

3.2 PRINCIPAIS CONCEITOS

3.2.1 Modulação Adaptativa

O LTE-Advanced utiliza o *Quadrature Amplitude Modulation* (16 e 64QAM) no *downlink* e *uplink*. As modulações são utilizadas de forma adaptativa sendo as mais robustas para ambientes ruidosos, por exemplo, borda da célula e as de maior eficiência espectral para obter taxas de transmissão elevadas. Os itens seguintes mostram o funcionamento de cada uma delas.

3.2.1.1 *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM)

A modulação QAM é uma combinação entre as modulações *Phase Shift Keying* (PSK) e a *Amplitude Shift Keying* (ASK). Portanto, há variação de amplitude e fase na onda portadora de acordo com a informação digital a ser transmitida.

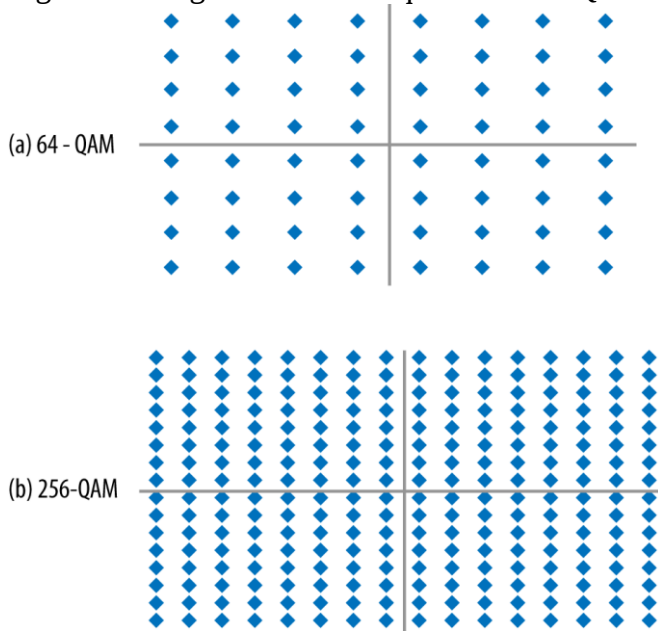
O sinal é formado usando uma portadora cujo nível de amplitude recebido Q é determinado pela informação que será transmitida, em seguida há uma defasagem em 90 graus e a recepção de outro nível de amplitude I , determinado pela informação. A equação $S(t) = Q \sin(\omega t) + I \cos(\omega t)$ representa a soma desses sinais que é chamado de sinal QAM

O resultado desse processo pode ser representado por uma constelação, pode-se através de um diagrama de fase e quadratura mapear os símbolos dessa constelação, a amplitude é representada pela distância específica da origem do diagrama que cada símbolo apresenta (CAMBOIM, 2011).

Diferentes tipos de modulação de amplitude em quadratura são utilizados visando aumentar a eficiência espectral do processo de modulação. Para 64QAM, a constelação apresenta 16 símbolos, sendo 16 em cada quadrante do diagrama, o que significa que cada símbolo representa 6 bits.

Já o modo 256QAM apresenta 256 símbolos em sua constelação, cada um deles representando 8 bits, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Diagrama de fase e quadratura 64QAM e 256QAM



Fonte: Signal Processing (2016)

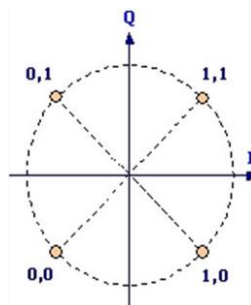
Analisando os diagramas de fase pode-se observar que no modo de transmissão de 256QAM transporta mais bits do que no modo de 16QAM, portanto alcança-se uma taxa de transmissão mais alta, porém devido a proximidade dos bits ser menor, há maior chance de erros durante a detecção de um símbolo de serviço.

3.2.1.2 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

A modulação QPSK é uma técnica de modulação derivada do PSK, consiste na variação da fase da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido, porém, os parâmetros de fase e quadratura da onda portadora modulam o sinal de informação.

Devido a utilização de dois parâmetros, existem mais tipos possíveis de símbolos nesta constelação, o que permite que sejam transmitidos mais bits por símbolo que na modulação PSK. A Figura 5 mostra os símbolos gerados nesta modulação (MALBURG, 2004).

Figura 5 - Diagrama modulação QPSK

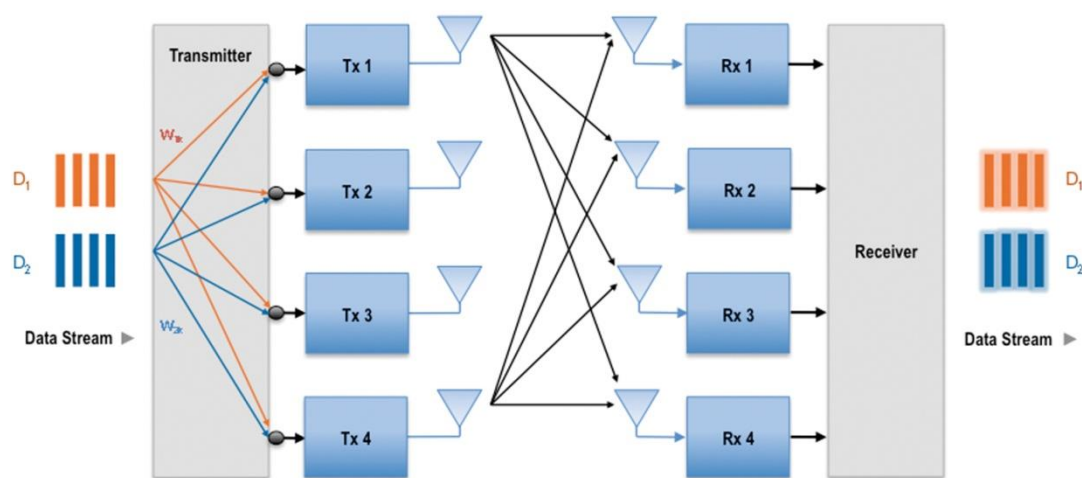


Fonte: Pereira (2011)

3.2.2 Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)

MIMO é a técnica utilizada para que haja múltiplas antenas na transmissão e recepção de sinais. Dessa forma, os dados podem ser enviados ao mesmo tempo por caminhos diferentes mesmo que ocupe a mesma banda de RF, o que resulta nas altas taxas de dados, sem a necessidade de se utilizar banda ou potência adicional para a transmissão dos sinais. A Figura 6 mostra um sistema MIMO utilizando a configuração 4x4.

Figura 6 - Configuração MIMO 4x4



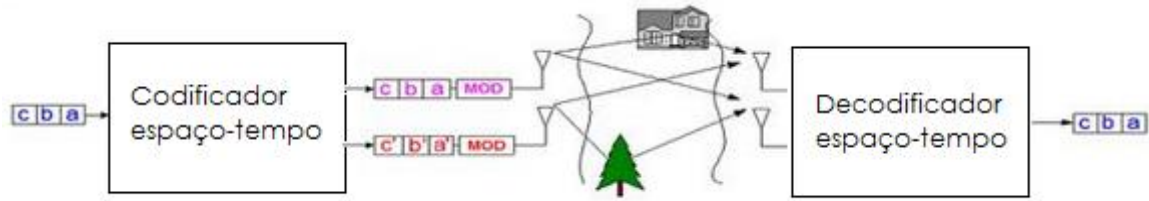
Fonte: Mooney (2012)

Além disso, essa técnica foi uma maneira eficiente de superar os limites impostos pela Lei de *Shannon*, a qual mostra que existe um limite de informação que podem ser transmitidos em um único canal devido à presença de ruído. Como o sistema MIMO cria vários canais de transmissão e recepção, o conjunto de canais excede o limite, porém cada canal individualmente fica limitado (GUEDES, 2009).

A técnica tornou-se fundamental para que as novas tecnologias alcançassem altas taxas de *downlink* e *uplink*, tanto que a 3GPP a vem padronizando. Para que o MIMO tenha a sua capacidade máxima atingida, o 3GPP prevê o uso da codificação espaço-tempo e da multiplexação espacial.

Na codificação espaço-tempo que visa aumentar a intensidade do sinal total com o objetivo de diminuir o desvanecimento causado pelo multipercurso, é feita uma cópia do sinal com codificação diferente do sinal original, os sinais são enviados ao mesmo tempo por antenas distintas, como apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Codificação espaço-tempo



Fonte: Almeida (2013)

Na multiplexação espacial, o ambiente é explorado até chegar ao seu destino final, cujos sinais são enviados em vários feixes, como mostra a Figura 8. Devido à presença de obstáculos no caminho, as mudanças de percurso podem gerar atrasos que são compensados através de algoritmos que se baseiam na reflexão sofrida pelo sinal ao longo do seu caminho. No receptor a recuperação do sinal original é possibilitada por esses feixes que são tratados com filtros (ALMEIDA, 2013).

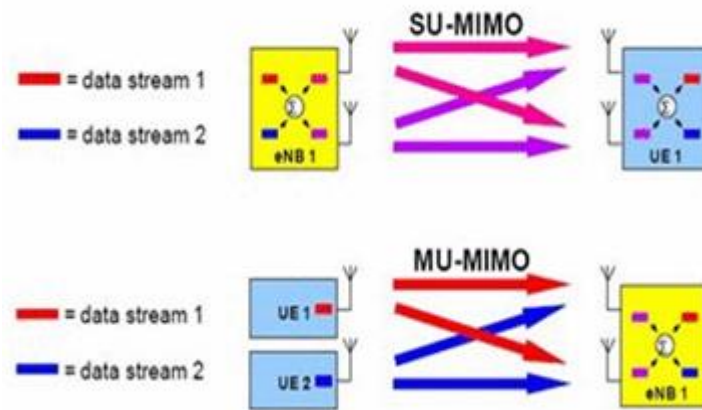
Figura 8 - Multiplexação espacial



Fonte: Almeida (2013)

O MIMO pode ser classificado como *Single User MIMO* (SU-MIMO) ou *Multi-User MIMO* (MU-MIMO). No SU-MIMO um único usuário transmite para o receptor e no MU-MIMO vários usuários transmitem ao mesmo tempo para o receptor. Ambos os recursos podem ser usados tanto no *downlink* quanto no *uplink*. No *uplink* dá-se preferência ao MU-MIMO visando reduzir os custos para o usuário e a complexidade do sistema, conforme Figura 9.

Figura 9 -Sistema SU-MIMO e MU-MIMO



Fonte: Hazra, (2012)

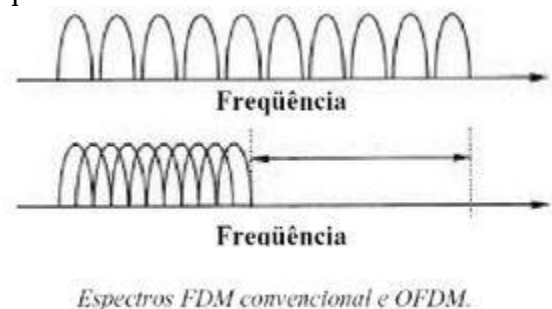
3.2.3 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

Para a quarta geração, o 3 GPP escolheu uma abordagem multiportadora para acesso múltiplo, dessa forma permitiria a programação eficiente no domínio da frequência e do tempo bem como uma alta eficiência espectral (NOHRBORG, 2015).

O OFDMA é uma evolução do *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM) e foi criado pela necessidade de compartilhamento de recursos entre os usuários. Esta foi criada a partir da evolução do *Frequency Division Multiplex* (FDM) que utiliza-se uma banda de guarda de separação de portadoras, enquanto que na OFDM utiliza-se a sobreposição de portadoras que são matematicamente ortogonais, o que ajuda na redução de interferências causadas por portadoras vizinhas reduzindo pela metade o uso de espectros de frequência em sistemas OFDM.

A técnica de transmissão de multiplexação por divisões de frequências ortogonais (OFDM) surgiu como uma evolução da *Frequency Division Multiplex* (FDM), porém a OFDM utiliza a sobreposição de portadoras, que são matematicamente ortogonais, enquanto que na FDM utiliza-se a banda de guarda para separá-las. Essa propriedade ajuda a reduzir interferências causadas por portadoras vizinhas e faz com que sistemas que utilizam o OFDM reduzam em 50% o uso do espectro de frequências, conforme a Figura 10.

Figura 10 -Espectro de frequência FDM tradicional e OFDM



Fonte: IFSC (2006)

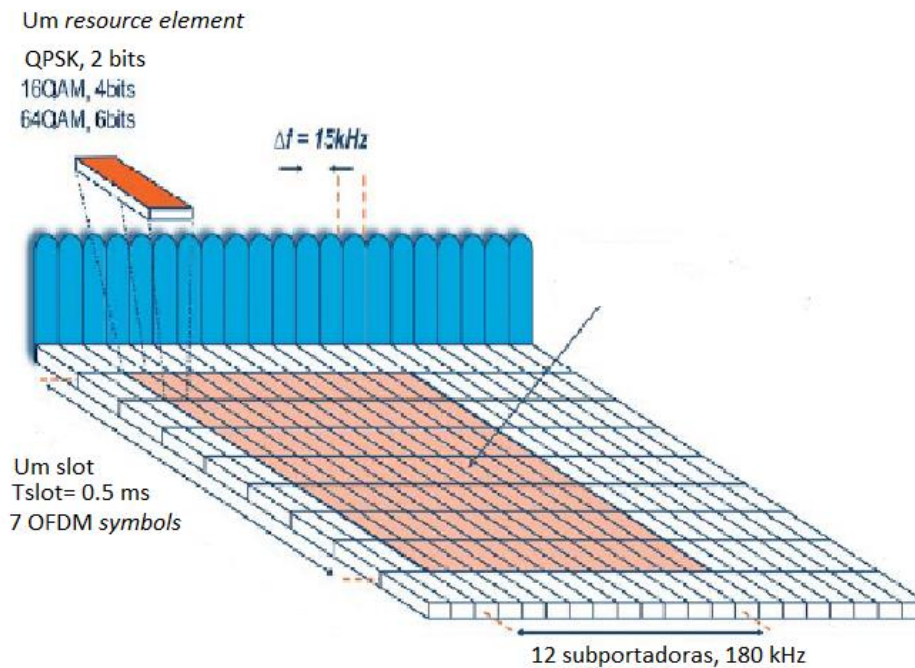
O OFDM aplica a transformada rápida inversa de *Fourier* (*Inverse Fast Fourier Transform* – IFFT) na modulação dos sinais e a transformada rápida de *Fourier* (*Fast Fourier Transform* - FFT) na demodulação onde cada canal pode ser modulado com QPSK 16 QAM, 64QAM ou 256 QAM, além de dividir a banda de frequência em sub-portadoras com espaçamento de 15kHz.

No OFDMA um *resource block* é formado a partir de sete símbolos de OFDM e cada grupo com doze subportadoras, as subportadoras são divididas em grupos com espaçamento regular de 15kHz cada (Δf), que vem da transmissão de dados que os transmitem utilizando múltiplas portadoras simultaneamente.

A duração de um símbolo OFDM pode ser calculado por $1/\Delta f + \text{prefixo cíclico}$. O prefixo cíclico padrão é de $4,7\mu s$ e, é sempre transmitido antes de cada símbolo OFDM mantendo a ortogonalidade entre as subportadoras e prevenindo o multi-percurso, mesmo para canais de radio dispersivos no tempo. No LTE Advanced existe a possibilidade de escalonamento de banda, que pode variar de 1,4 MHz até 640 MHz.

Um *resource block* é composto por 84 *resource elements*, cada *resource block* possui uma banda de 180 kHz e 0,5 ms de duração no domínio do tempo (1 slot). Os *resource elements* podem ser alocados para diversos fins tanto para transmissão, quanto para medidas de qualidade dos canais de *downlink* e *uplink* por exemplo (TELECO,2014). A figura 11 ilustra a composição da técnica OFDMA.

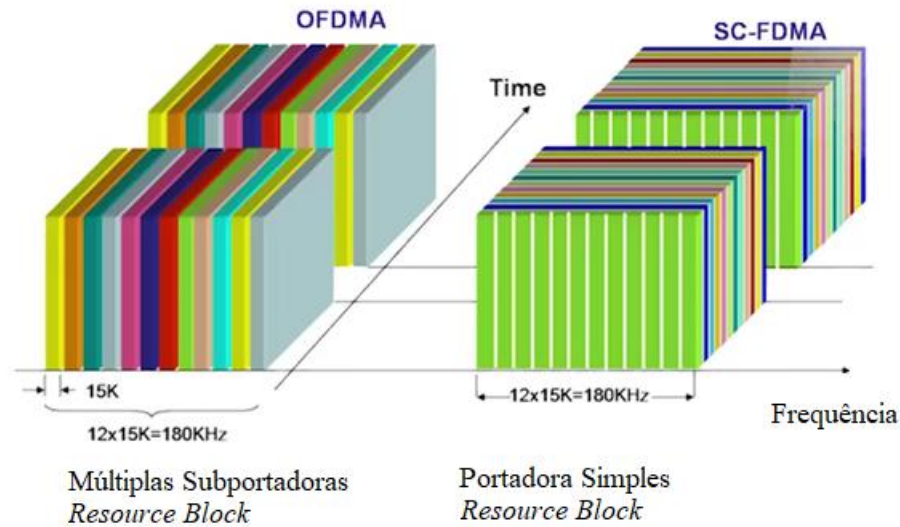
Figura 11 -Composição OFDM



Fonte: Habaebi (2013)

Os sinais OFDM têm uma *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR) relativamente alto. O PAPR é calculado por $Pot_{\text{pico}}/Pot_{\text{méd}}$ pode-se concluir que para uma dada potência média, seriam necessários amplificadores de potência caros, pois teriam que ser capazes de lidar com picos de potência significativamente altos. Portanto, um valor alto de PAPR significa a ineficiência no consumo de energia para os terminais móveis que desejam transmitir no *uplink*, atrapalhando a sua utilização. Por isso, desde o LTE utiliza-se o OFDMA apenas no *downlink* e a solução para o *uplink* foi adotar o *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) que possui um PAPR menor, como pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 -Comparação entre OFDMA e SC-FDMA



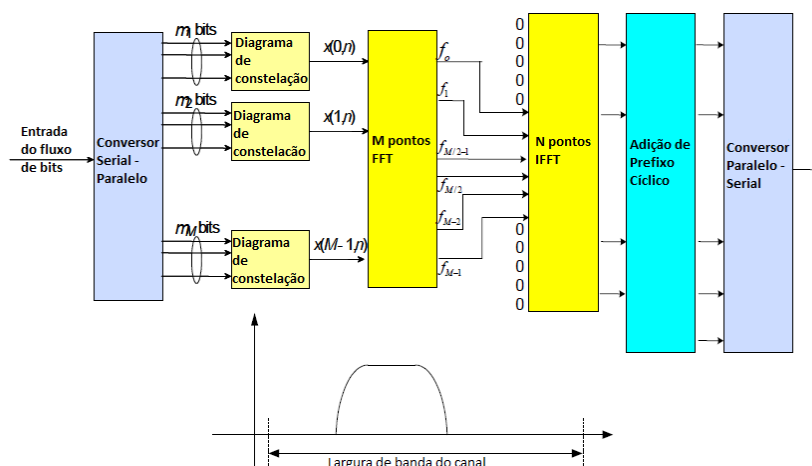
Fonte: Reis (2014)

O SC-FDMA assim como o OFDMA utiliza os prefixos cíclicos entre os blocos de símbolos a serem transmitidos como intervalo de guarda e para gerar o sinal SC-FDMA utiliza-se a transformada discreta de *Fourier*.

Primeiramente os dados são convertidos de serial para paralelo, cada bit é modulado e transformado do domínio do tempo para o domínio da frequência através da transformada rápida de *Fourier* sendo que o resultado obtido é mapeado nas subportadoras disponíveis.

Após o sinal ser submetido a Transformada Inversa de *Fourier* mesmo é adicionado ao prefixo cíclico, que é utilizado como um tempo de guarda entre os símbolos(TELECO,2014). Após todo o processo o sinal é convertido novamente de paralelo para serial, conforme Figura 13.

Figura 13 - Diagrama de blocos para geração de um sinal SC-FDMA

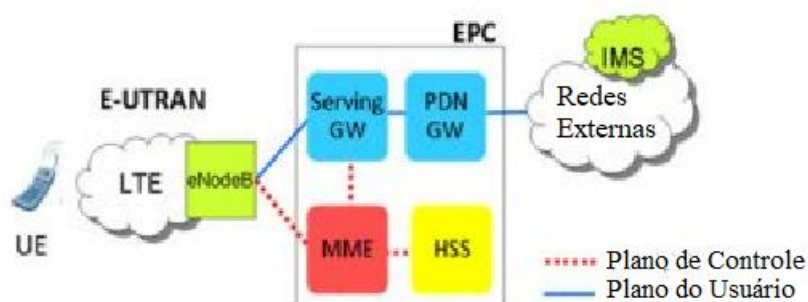


Fonte: Rohde & Schwarz (2009)

3.3 ARQUITETURA

O desenvolvimento da arquitetura de rede atual foi produzido através de duas frentes de trabalho. Sendo que uma delas é o LTE que tinha como meta a interface aérea e a nova arquitetura de rede de acesso, enquanto o *Service Architecture Evolution* (SAE) era o responsável pela evolução da rede anterior, que era a rede de pacotes. Conforme foram sendo desenvolvidos, surgiram o *Evolved Packet Core* (EPC) e o *Evolved Universal Terrestrial Access Network* (eUTRAN), da combinação dos dois surgiu o *Evolved Packet System* (EPS), que inclui o *User Equipament* (UE) e a integração da rede LTE com as outras redes anteriores, conforme Figura 14 (TELECO,2009).

Figura 14 - Topologia *Evolved Packet System*(EPS)



Fonte: Firmin, (2017)

3.3.1 *User Equipament* (UE)

O UE nada mais é que o dispositivo móvel do usuário que em suma é composto pelo equipamento e pelo *SIM Card*.

O UE no LTE possui apenas três estados possíveis, graças à simplicidade em relação às gerações anteriores que a arquitetura do LTE foi desenvolvida. Os estados são: *Connected* – estado no qual o móvel está em uma conexão ativa, o *Idle* – no qual o móvel está registrado na rede, porém não está enviando nem recebendo dados e o *Detached*, no qual o dispositivo não está registrado na rede (TELECO,2009).

3.3.2 *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* (eUTRAN)

O eUTRAN é composto por estações de radiobase chamadas de *evolved NodeB* (eNodeB) que são interligados através de uma interface chamada de X2 e, é baseado no SC-FDMA no *uplink* e OFDMA no *downlink*. Na mesma plataforma opera com o *Frequency Division Duplex*(FDD) e com o *Time Division Duplex* (TDD).

O TDD utiliza uma única faixa de frequência, enviando e transmitindo em tempos diferentes. O FDD faz uso de duas faixas de frequências diferentes, onde pode-se enviar dados por uma frequências e as receber pela outra. Isso permitiu que houvesse flexibilidade no uso de espectro de frequências e suportar o uso de antenas do tipo MIMO e suas diferentes configurações aumentando o espectro de frequências e a taxa de dados (TELECO,2009).

3.3.2.1 *Evolved NodeB* (eNodeB)

O eNodeB é o nome da estação radiobase presente na arquitetura EPS que é a responsável pela recepção e transmissão de dados recebidos do UE em uma ou mais células.

Nesta geração a torre de transmissão passou a ter mais funções como o controle de tráfego na interface da área garantindo a *Quality of Service* (QoS) para os serviços oferecidos, decisões de *handover* dos UEs através da comunicação entre os elementos, fazendo uso da interface X2.

A interconexão entre os eNodeBs é opcional, mas mesmo na ausência dela é possível que haja alguma perda de pacotes durante o handover do usuário, além disso o eNodeB se conecta com o EPB pela interface S1.

O eNodeB contém o protocolo de controle de pacotes de dados e as camadas físicas(PHY), *Radio Link Control*(RLC), *Medium Access Control* (MAC). Além disso possui a função de criptografia, controle de admissão,negociação de QoS no *uplink* e *broadcast* contendo informações da célula, compreensão de cabeçalho e gestão de recursos (TELECO,2009).

3.3.3 *Evolved Packet Core* (EPC)

O EPC foi desenvolvido para permitir a comunicação com diferentes redes através do protocolo IP utilizando a comutação por pacotes *packet switch* (PS) e também é onde estão os principais elementos da rede.

O EPC é formado pelo *Serving Gateway* (S-GW), *Home Subscriber Server* (HSS), *Mobility Management Entity* (MME), o *Packet Data Network Gateway* (P-GW) e o *Policy Control and Charging Rules Functions* (PCRF).

O MME é responsável pelas funções de segurança, autorização de serviços, gestão de mobilidade, gerenciamento ao perfil do usuário, autenticação e suporte ao *handover* entre diferentes eNodeBs e entre tecnologias diferentes como o UMTS e GSM. Além disso é responsável pelo UE em *idle mode* quando ainda não há o estabelecimento de conexões com nenhuma portadora, também é ele quem faz a seleção do P-GW quando o UE necessita de estabelecimento com endereços IP da rede.

O HSS é o responsável por armazenar os dados de assinatura dos usuários. Esses dados são obtidos pelo MME e o HSS os utiliza para realizar a autenticação do UE na rede.

O S-GW é responsável pelo plano de usuário, transportando dados de IP entre a internet e o UE. Além disso, durante o *handover* entre o eNodeBs o S-GW serve como ancora para a mobilidade, encaminhando pacotes de dados até que o processo de *handover* seja finalizado pelo MME.

O P-GW tem a responsabilidade de controlar a tarifação dos serviços e atribuir endereços de IP para os usuários, também é o ponto de interconexão entre as redes externas e o EPC. O P-GW e o S-GW são interligados e embora sejam especificados de forma diferente pelo 3GPP, eles podem ser combinados em um mesmo equipamento pelos fabricantes.

O PCRF é o elemento da rede responsável pelo *Policy and Charging Control* (Política e Controle de Carga – PCC), que tem a função de tomar decisões provendo QoS adequado para que os serviços solicitados utilizem os recursos apropriados (TELECO, 2009).

3.4 ARQUITETURA DE PROTOCOLOS

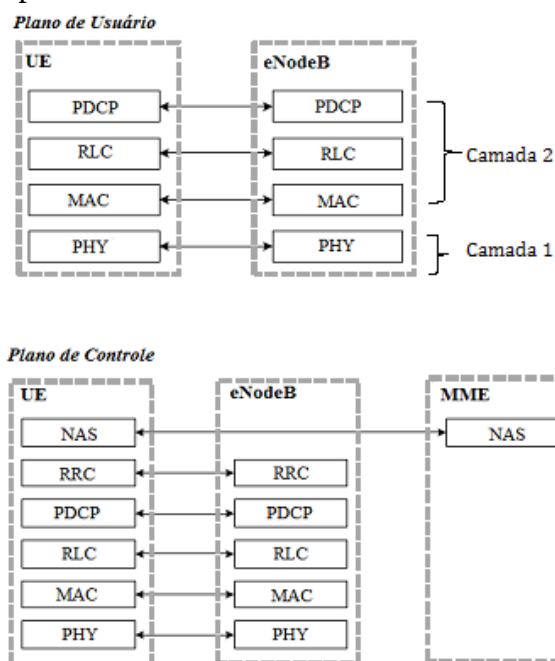
Os protocolos usados na tecnologia LTE foram desenvolvidos visando a simplificação da arquitetura de protocolos e por isso, baseia-se no compartilhamento de canais, não havendo canais dedicados apenas para o tráfego de dados para usuários específicos.

Isto proporcionou um aumento na eficiência da interface aérea, que independente dos requerimentos necessários permitiu que a rede fosse capaz de controlar a utilização dos recursos da interface aérea de acordo com a demanda de cada usuário em tempo real sem a necessidade de alocação de recursos fixos de cada usuário.

A arquitetura de protocolos corresponde à segunda camada do modelo *Open Systems Interconnection* (OSI) é basicamente formada por três subcamadas: a *Medium Access Control* (MAC), *Packet Data Convergence Protocol* (PDCP) e a *Radio Link Control* (RLC).

O usuário se comunica com o EPC e a E-UTRAN utilizando protocolos de rádio. Pelo lado do plano do usuário (*User Plane*), os protocolos utilizados para a comunicação são MAC, PHY, PDCP e RLC. No plano de controle (*Control Plane*) são utilizados o protocolo *Non-Access-Stratum* (NAS) para a comunicação com o MME e o protocolo *Radio Resource Control* (RRC) para comunicação com a eNodeB. A figura 15 apresenta a arquitetura de protocolos (PIRES,2012).

Figura 15 -Arquitetura de protocolos.



Fonte: Do autor (2017)

3.4.1 Packet Data Convergence Protocol (PDCP)

No PDCP ocorre a criptografia dos dados tanto do plano de controle quanto do plano do usuário, também é nesta subcamada que ocorre a compressão e descompressão de cabeçalhos dos pacotes IP que são enviados e recebidos pelos usuários, permitindo que a largura de banda seja aproveitada de forma mais eficiente.

O PDCP é responsável pela tomada de decisões bastante importantes para o funcionamento da rede. Nele ocorre a decisão sobre o descarte de pacotes, quando o congestionamento de tráfego se torna corriqueiro em toda a rede e previne atrasos excessivos

fazendo uso de um temporizador para tomar a decisão de retransmissão ou até mesmo de descarte de pacotes para atender os requisitos de QoS das aplicações.

3.4.2 *Radio Link Control (RLC)*

No RLC ocorre a remontagem, segmentação e a ordenação dos dados que serão enviados para as subcamadas MAC e PDCP. O RLC é usado para transportar e formatar os dados entre a UE e o eNodeB. Para essa tarefa ele dispõe de três formas diferentes de confiabilidade para o transporte: o *Transparent Mode (TM)*, *Acknowledged Mode (AM)* e o *Unacknowledged Mode (UM)*.

O modo UM é utilizado para o transporte de serviços em tempo real como o *Voice over IP (VoIP)* que é tolerante a perdas porém não para atrasos. O modo AM tem como principal função a retransmissão sendo mais adequado para serviços que não são transmitidos em tempo real, como arquivos para download.

Já o modo TM é utilizado para troca de mensagens de configuração, quando o tamanho dos quadros já são previamente conhecidos, como por exemplo a mensagem de *broadcast* contendo informações do sistema.

O RLC oferece a entrega sequencial das *Service Data Units (SDUs)* para as camadas superiores eliminando as informações duplicadas. De acordo com as condições do canal rádio, esta camada pode segmentar as SDUs (ALMEIDA, 2013).

3.4.3 *Medium Access Control (MAC)*

O MAC é o responsável pela comunicação com a camada PHY utilizando canais de transporte. Para a comunicação com a subcamada RLC utiliza-se os canais lógicos. O MAC também é responsável pelo agendamento da distribuição de pacotes, *Hybrid Automatic Repeat reQuest (HARQ)* e pelo *Automatic Repeat reQuest (ARQ)*.

Além disso, o MAC possui o controle de acesso randômico que é responsável pelo *Access Channel (RACH)*. Esse processo ocorre quando algum UE não está sincronizado com o eNodeB ou quando não está alocado para receber recursos, porém possui dados para serem enviados.

A função ARQ realiza correção de erros por retransmissões no modo AM. A função HARQ é responsável pela retransmissão de blocos de transportes (*Transport Blocks- TBs*),

quando o erro de transmissão é identificado através de mensagens de sinalização *Acknowledgement/Negative Acknowledgement* (ACK/NACK). Portanto, a função HARQ opera como *Stop-and-Wait*, ou seja, os dados são transmitidos e um *feedback* é aguardado para que, conforme a necessidade, esses dados possam ser reenviados.

A função HARQ opera de forma assíncrona no *downlink* e síncrona no *uplink*. Quando ocorre o HARQ assíncrono, oferece a possibilidade de programar a retransmissão dos dados baseado nas condições da interface aérea, então é necessário o envio de mensagens de sinalização para identificar o processo HARQ.

Quando há retransmissões síncronas, significa que os blocos HARQ ocorrem em um intervalo de tempo periódico pré-definido, desta forma, nenhuma sinalização é necessária para indicar ao receptor a retransmissão dos dados.

3.4.4 A camada PHY

A camada física é a responsável pela transmissão de dados para as camadas superiores, o acesso é feito através da utilização de canais de transporte através da camada MAC.

Ela é responsável pela indicação e detecção de erros no canal de transporte para camadas superiores, sincronização de frequência e tempo, modulação e demodulação dos canais físicos, informações da faixa de frequência, tipo de multiplexação (TDD ou FDD) e tipo de modulação (OFDMA ou SC-FDMA) utilizada, processamento de RF e é nessa camada que acontece o processamento MIMO.

3.4.5 Radio Resource Control (RRC)

A camada RRC na eNodeB é a responsável pela tomada de decisões de *handover* com base nas medições do nível de sinal das células vizinhas que são enviadas pelo UE.

O RRC também é o responsável por fornecer a configuração principal e parâmetros para os protocolos de camada inferior e, transporta a sinalização NAS entre o MME e o UE, também é o responsável pelo envio de mensagens de *broadcast*, contendo informações de sistema e controla as medições de parâmetros do UE,

3.4.6 *Non-Access-Stratum (NAS)*

O protocolo NAS é o responsável pelo controle e funciona entre a UE e o MME, este controla conexão de rede, gestão de mobilidade e autenticação. As mensagens são cifradas e a integridade é garantida pelo MME e UE. “Os procedimentos podem ser agrupados em duas categorias diferentes: *EPS Session Management (ESM)* e o *EPS Mobility Management (EMM)*” (FIRMIN, 2015).

O protocolo ESM oferece suporte para manipulação e criação de dados do usuário no NAS. O protocolo EMM se refere aos procedimentos relacionados com a mobilidade durante um acesso, autenticação e segurança na E-UTRAN.

As mensagens geradas pelo NAS são transportadas pela camada RRC e existem duas formas para realizar a transmissão. A primeira consiste em concatenar as mensagens do NAS com outras mensagens da camada RRC; e a segunda possibilidade é pela inclusão dessas mensagens em mensagens RRC dedicadas sem o uso da concatenação.

3.5 ESTRUTURA DE CANAIS

A camada física é a responsável por fornecer os canais de transporte para a segunda camada. Existem diferenças nestes canais de transporte em relação às características que os dados são transmitidos e mapeados para os canais lógicos fornecidos pela MAC.

Os canais lógicos descrevem que tipo de dados são transmitidos e, podem ser divididos em canais de tráfego ou canais de controle. Os canais de tráfego são utilizados para a transferência de informações no plano de usuário, enquanto os canais de controle são para a transferência de informações no plano de controle.

Os canais de rádio do LTE podem ser divididos em dois tipos, os canais físicos e os sinais físicos. Os sinais físicos são utilizados somente pela camada física PHY, para dar suporte às suas funcionalidades, e não carregam nenhum tipo de informação das camadas mais altas, enquanto que os canais físicos correspondem a um conjunto de recursos físicos utilizados para informações de controle da camada MAC e a transmissão de dados.

Existem dois sinais físicos utilizados no *downlink*: os sinais de sincronização *Secondary Synchronization Signal (S-SS)* e *Primary Synchronization Signal (P-SS)* e o *Reference Signal (RS)*. Os canais de sincronização P-SS e S-SS são utilizados pelo UE para requisitar

informações como frequência e identificação da célula e para sincronizar os frames o RS é utilizado pelo UE para estimar o canal de *downlink*.

A quantidade de canais de transporte foi projetada para ser diminuída de modo a simplificar a arquitetura de protocolos do LTE. A camada MAC é responsável por selecionar o formato de transporte mais adequado e mapear os canais de transporte nos canais lógicos (ALMEIDA, 2013). O Quadro 2 apresenta os diversos canais e suas respectivas funções.

Quadro 1 - Estrutura de canais

Canal	Função
Canais de Controle	
<i>Paging Control Channel</i> (PCCH)	Canal de <i>downlink</i> responsável pela transferência das informações de <i>paging</i> . É utilizado pelo sistema para a localização da célula da rede a qual se encontra o UE.
<i>Broadcast Control Channel</i> (BCCH)	Canal utilizado no <i>downlink</i> responsável por fornecer informações sistêmicas para todos os terminais conectados à eNodeB.
<i>Multicast Control Channel</i> (MCCH)	Canal de <i>downlink</i> ponto-a-ponto utilizado para transmitir informações de controle MBMS da rede para o UE. Este canal é utilizado somente por dispositivos que suportam o MBMS.
<i>Common Control Channel</i> (CCCH)	Utilizado para informações de acesso aleatório.
<i>Dedicated Control Channel</i> (DCCH)	Canal bidirecional ponto-a-ponto que carrega informações específicas de controle para cada usuário (controle de potência, <i>handover</i> , etc.). Utilizado para conexão RRC.
Canais de Tráfego	
<i>Multicast Traffic Channel</i> (MTCH)	É um canal de <i>downlink</i> ponto-a-ponto responsável por transmitir o tráfego de dados da rede para o UE. Este canal é utilizado somente por dispositivos que suportam o MBMS.
<i>Dedicated Traffic Channel</i> (DTCH)	É um canal ponto-a-ponto dedicado para um UE. É utilizado para transferência de informações do usuário tanto no <i>downlink</i> quanto no <i>uplink</i> .
Canais de Transporte <i>downlink</i>	
<i>Multicast channel</i> (MCH)	Utilizado para enviar informações <i>multicast</i> para os UEs. Estas mensagens podem ser enviadas simultaneamente para vários dispositivos.
<i>Downlink Shared Channel</i> (DL-SCH)	Principal canal para transferência de dados no <i>downlink</i> , é responsável pela alocação dinâmica dos recursos, através de verificações da potência de transmissão, modulação e codificação.
<i>Paging Channel</i> (PCH)	Realiza o suporte para a recepção descontínua, permitindo uma economia no consumo de energia da bateria do UE. Pode ser utilizado tanto para controle quanto como um canal de tráfego.
<i>Broadcast Channel</i> (BCH)	É caracterizado pelo formato pré-definido de transporte. Este canal envia as informações de <i>broadcast</i> em uma área definida pela cobertura de uma célula.
Canais de Transporte <i>uplink</i>	
<i>Uplink Shared channel</i> (UL-SCH)	Provê suporte para o link adaptativo dinâmico e para o

Random Access Channel (RACH)

HARQ, este parâmetro possibilita a variação da potência transmitida, da modulação e da codificação. Canal utilizado para efetuar o acesso ao sistema. Apenas permite o envio da razão do acesso.

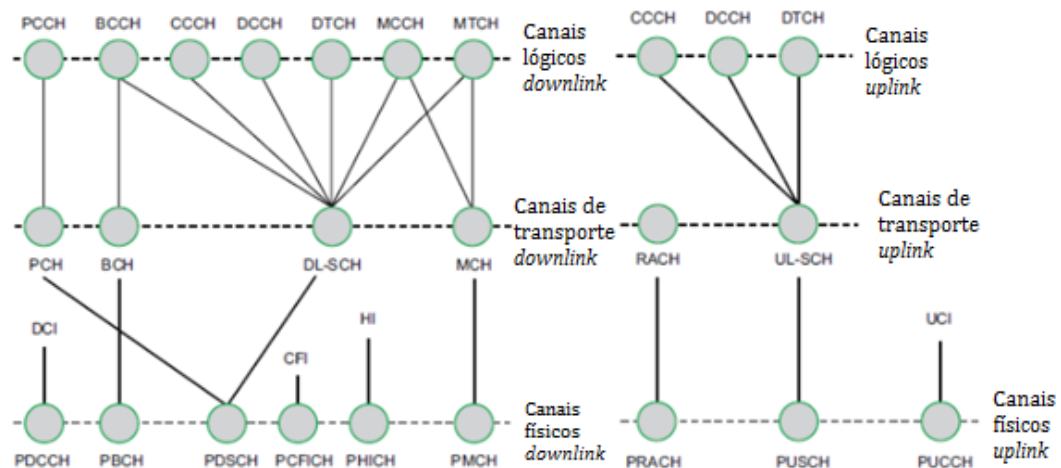
Quadro 2- Estrutura de canais (continuação)

Canal	Função
Canais Físicos	
Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)	Carrega informações contendo os dados dos usuários do DL-SCH.
Physical Uplink Shared Channel (PUSCH)	Carrega as informações contendo os dados dos usuários do UL-SCH.
Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH)	Informa ao UE o número de símbolos OFDM utilizados para transmitir o canal de controle PDCCH. Este canal é transmitido em todos os frames e utiliza modulação QPSK.
Physical Downlink Control Channel (PDCCH)	Carrega as principais informações de alocação de recursos.
Physical Uplink Control Channel (PUCCH)	Transporta informações de controle como respostas de ACK/NAK das transmissões de <i>downlink</i> e agendamentos de pedidos de <i>uplink</i> .
Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH)	Carrega as informações de ACK/NAK em respostas às transmissões de <i>uplink</i> .
Physical Broadcast Channel (PBCH)	Carrega informações de acessados usuários que solicitam acesso a rede, enviando, a cada 40 ms, informações sobre o sistema para que o UE possa se conectar à rede.
Physical Multicast Channel (PMCH)	Carrega informações de <i>multicast</i> que são enviadas a múltiplos UEs simultaneamente. O canal possui várias opções de modulação incluindo QPSK, 16QAM ou 64QAM.
Physical Random Access Channel (PRACH)	Canal de <i>uplink</i> utilizado para funções de acesso randômico.

Fonte: Teleco (2015)

A Figura 16 apresenta a estrutura dos canais descritos anteriormente.

Figura 16 - Estrutura de canais LTE



Fonte: Santos, (2010)

3.6 TRANSMISSÃO

A transmissão utilizada no 4G foi escolhida para que o usuário pudesse aproveitar todo o aumento de velocidade prometido pela nova tecnologia. Para concretizar, a comunicação entre a torre de transmissão, eNodeB, e a central de distribuição é realizada através de cabos de fibra óptica, o que ilustra a principal diferença entre essa tecnologia e as anteriores.

Os grandes *backbones* enviam o sinal para as operadoras através dos cabos de fibra óptica. As operadoras enviam também por cabos para as centrais de distribuição, para que o sinal chegue às antenas, passando por *switches* e roteadores de alto desempenho, para que finalmente seja direcionado até as antenas utilizando fibra óptica, é nesta última etapa que a transmissão 4G é diferente em relação aos padrões anteriores (HAMANN, 2013).

No 4G, as antenas são distribuidoras, diferentemente dos padrões anteriores que as antenas atuavam como redistribuidoras, recendo sinais de uma antena principal e compartilhando com os usuários. Com essa mudança, os sinais chegam por cabos de fibra óptica e então são transmitidos aos usuários, permitindo uma redução nas perdas e o elevar as taxas de transmissão.

A rede LTE utiliza métodos de compressão de dados e distribuição de dados inteligente, onde as redes conseguem identificar momentos de tráfego intenso de dados e, a partir desse ponto se reorganizar para que não exista sobrecarga no sistema que poderia até levar a uma queda do sistema, dessa forma faz com que o sinal seja enviado mais facilmente e rapidamente, além de uma absorção maior de quantidade de informações (HAMANN, 2013).

A Figura 17 apresenta as etapas da transmissão dos dados em uma rede LTE.

Figura 17 - Transmissão de dados em uma rede LTE.



Fonte: Hamann (2013)

3.7 CHAMADAS DE VOZ E SMS NO LTE

O serviço de chamadas de voz é feito pela voz sobre IP (VoIP), já que o LTE foi desenvolvido para ser uma rede IP completo. Uma vez que o assinante já estava acostumado com a qualidade de serviço prestado, coube às operadoras a responsabilidade por continuar a fornecer a mesma qualidade ou superior, a principal dificuldade na implantação foi devido as redes baseadas em comutação por circuitos (CS).

Existem três formas para se usar o serviço de voz em uma rede 4G: a *Voice Over LTE via Generic Access* (VoLGA), a *Circuit Switch Fallback* (CSFB) e a *Voice over LTE* (VoLTE) (MENDES SANTOS, 2014).

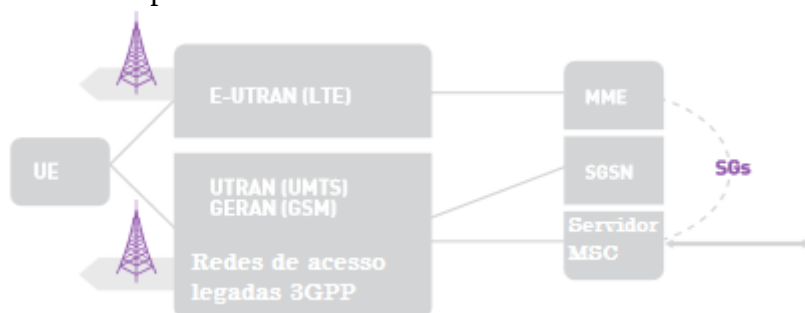
O VoLGA permite aos operadores implementarem estes serviços com base em um padrão desenvolvido pelo 3GPP conhecido como *Generic Access Network* (GAN). O VoLGA exige que um elemento conhecido como *VoLGA Access Network Controller* (VANC) seja adicionado ao núcleo das redes GSM / UMTS existentes. Para o funcionamento é necessário que o UE tenha além dos rádios convencionais para GSM e UMTS, um específico para Wi-Fi, que é utilizada como uma tecnologia de acesso.

O CSFB é baseado na capacidade que as redes anteriores têm de operar tanto no de comutação por pacotes (PS), para tráfego de dados, quanto no domínio de comutação por circuito (CS), para tráfego de voz. O CSFB faz uso da infraestrutura oferecida pelo domínio CS das redes das gerações anteriores, para fornecer interoperabilidade de voz e SMS em aparelhos LTE.

A Figura 18, apresenta uma visão simplificada de uma rede mista de LTE e das gerações anteriores usada para a solução CSFB. Nas redes 2G/3G o usuário utiliza o *Serving GPRS Support Node* (SGSN) para o tráfego de dados e o *Mobile Switching Center* (MSC) para o tráfego de voz.

Já o LTE utiliza o *Mobility Management Entity* (MME) para o serviço de dados. Sendo assim, é necessário que o MME e o MSC estejam interligados para a realização da chamada de voz e SMS com CSFB.

Figura 18 -Rede mista simplificada LTE e 2G/3G



Fonte: Ericsson (2012)

A interface SGs, que conecta MME e MSC, é um ponto de referência entre essas duas entidades, utilizada no gerenciamento de mobilidade e procedimento de *paging*.

Antes de ocorrer o CSFB, há um mapeamento das redes 2G/3G para que a MME seja atualizada. Quando o usuário, com conexão 4G ativa, realiza uma chamada, uma requisição para MME é enviada pelo UE que então recebe um comunicado para alterar o seu *Radio Access Technology* (RAT) para as outras tecnologias disponíveis.

Terminado o processo de configuração, é solicitado o pedido de serviço de voz para a MSC e um registro na *Visitor Location Register* (VLR) e finalmente a chamada estabelecida passa a ser controlada pela nova rede.

No caso do usuário receber uma chamada, ela será encaminhada para a MSC da rede 2G/3G e então uma mensagem de *paging* é enviada para o MME que irá identificar o UE

registrado. Esta mensagem, informando da chamada, é enviada para o UE que se prepara para recebê-la na tecnologia definida e informa à MME.

Por fim, o processo de configuração da chamada recebida segue normalmente, sendo ela 2G ou 3G. O serviço de SMS é tratado da mesma forma, sempre utilizando a MME e MSC como tratamento e conexão das tecnologias.

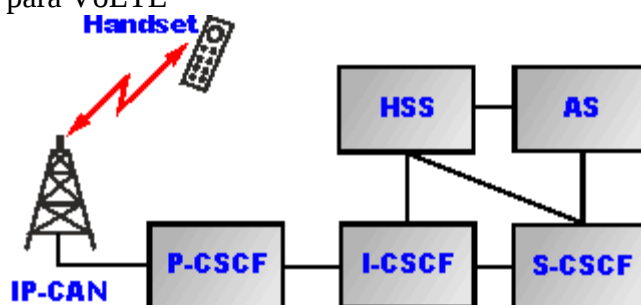
Ao finalizar a chamada o dispositivo retorna para o LTE no modo *Idle* ou no modo *Connected*.

3.7.1 VoLTE

O VoLTE é baseado no serviço telefônico de multimídia (MMTel), que é o serviço VoIP baseado em *IP Multimedia Subsystem* (IMS). O IMS, atua como uma arquitetura de acesso independente de controle de serviço e conectividade, baseada no padrão IP, que habilita vários tipos de serviço multimídia para os usuários finais, como por exemplo, vídeos compartilhados, *Voice over IP*, vídeo em *streaming*, jogos interativos, através da utilização de protocolos baseados na rede Internet *all-IP*.

O VoLTE é tido como o futuro da chamada de voz, sendo comercializado no Brasil como voz HD, pois sua qualidade é superior ao das tecnologias anteriores. Na Figura 19 mostra a estrutura IMS para o VoLTE.

Figura 19 - Rede IMS para VoLTE



Fonte: Poole (2017)

Além disso, é necessário um sistema conhecido como SRVCC (*single radio voice call continuity*) para que haja uma forma de entregar de volta às redes legadas comutadas de circuito de forma perfeita, enquanto possui apenas um radio transmissor no aparelho para preservar a bateria (POOLE, 2017).

3.7.1.1 *Connectivity Access Network*

O *Connectivity Access Network* (IP-CAN IP) é o conjunto de elementos de rede e interfaces que provê a conexão de transporte de IP entre o UE e as entidades IMS, de forma resumida pode ser considerada a EUTRAN e o MME (POOLE,2017).

3.7.1.2 *Home Subscriber Server*

O *Home Subscriber Server* (HSS) contém todos os dados relacionados ao usuário necessário para assegurar as sessões multimídia como informações de posição, segurança, perfil do usuário e o S-CSCF alocado ao usuário. Uma rede pode conter mais de um HSS dependendo da quantidade de usuário, mesmo assim todos os dados de um único usuário estará contido em apenas um HSS (POOLE,2017).

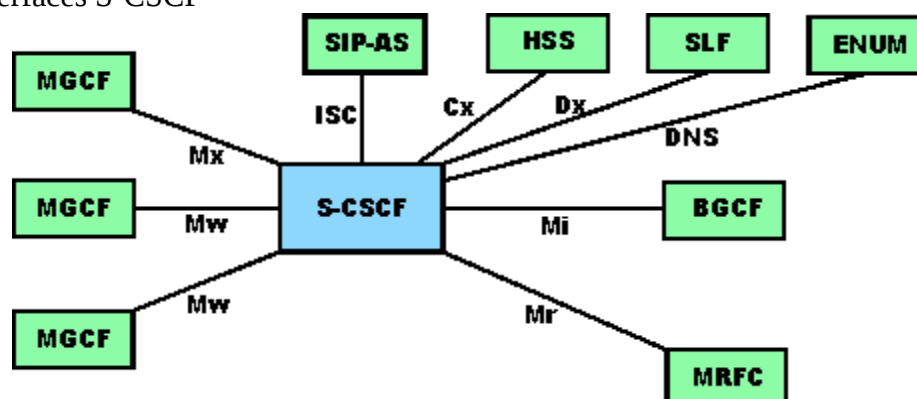
3.7.1.3 *Proxy Call State Control Function*

O *Proxy Call State Control Function* (P-CSCF) é o usuário na visão do *proxy* de rede. O P-CSCF é o responsável por toda a sinalização SIP enviada e recebida pelo usuário tanto na rede domestica quanto na rede visitada (POOLE,2017).

3.7.1.4 *Serving Call State Control Function*

O *Serving Call State Control Function* (S-CSCF) é o principal nó de controle de sessão SIP na rede global IMS. O S-CSCF é visto como o registrador da rede apesar do HSS conter os dados onde o S-CSCF verifica a autenticidade do assinante, solicitando a entrada na rede. O S-CSCF possui varias interfaces para permitir a comunicação com outras entidades dentro do sistema. A Figura 20 mostra a interface S-CSCF (POOLE,2017).

Figura 20 -Interfaces S-CSCF



Fonte: Poole,2017

3.7.1.5 Interrogating Call State Control Function

O *Interrogating Call State Control Function* (I-CSCF) é um elemento fundamental na metodologia de *roaming* IMS. Ele possibilita que os pedidos sejam encaminhados para a função de controle de estado na chamada de serviço correta.

Dentro de uma rede pode haver vários S-CSCF, ou então pode haver um usuário em *roaming* solicitando acesso, cabe ao I-CSCF interrogar ao HSS para obter o endereço de S-CSCF através de três etapas: registro, estabelecimento de sessão *session initiation protocol* (SIP) e transação SIP autônoma.

No registro, o P-CSCF envia o pedido de registro para I-CSCF, então o I-CSCF pergunta a HSS qual S-CSCF deve receber a mensagem SIP e manipular os dados. Na etapa de estabelecimento de sessão SIP e de transição de SIP autônoma, o pedido é enviado para I-CSCF e, então o I-CSCF contata a HSS para verificar qual S-CSCF deve receber a mensagem SIP.

3.7.1.6 Application Server

O *Application Server* (AS) é o servidor de aplicativos que é responsável por administrar a voz como uma ação.

3.7.1.7 Single Voice Call Continuity

O *Single Voice Call Continuity* (SRVCC) permite fazer transferências enquanto mantém o QOS e, também garante os requisitos críticos para as chamadas de emergência. O SRVCC requer apenas um único rádio ativo no aparelho e algumas atualizações para a infraestrutura de rede de suporte.

As atualizações necessárias são tanto na rede LTE quanto nas redes herdadas. Ele requer que as atualizações de software sejam necessárias para o subsistema MSS (*Mobile SoftSwitch*) no MSC (*Mobile Switching Center*), o subsistema IMS e LTE/EPC. Para o sistema de acesso de rádio herdado, não são necessárias atualizações na rede de acesso, diminuindo as atualizações nelas.

No MSC normalmente as atualizações são fáceis de gerenciar devido a sua localização central na rede, caso o MSC não seja acessível, um novo MSC pode ser dedicado apenas ao SRVCC.

O funcionamento do SRVCC funciona nas duas direções tanto do LTE para a rede herdada, quanto da rede herdada para o LTE.

Do LTE para a rede herdada, é necessária quando o usuário sai da área de cobertura do LTE, então a transferência é feita através de dois passos: transferência de tecnologia de acesso de rádio e transferência de sessão.

A transferência de tecnologia de acesso de rádio é um protocolo antigo, o mesmo usado anteriormente do 3G para o 2G. A transferência de sessão é necessária mover o controle de acesso e a ancoragem de mídia de voz do EPC da rede LTE para a rede de comutação de circuitos herdadas, sendo o processo todo controlado pelo CSCF dentro da IMS.

O processo de transferência SRVCC é iniciado por um pedido de transferência de sessão do IMS CSCF, após isso o IMS CSCF responde simultaneamente com um comando para a rede LTE e outro para a rede herdada.

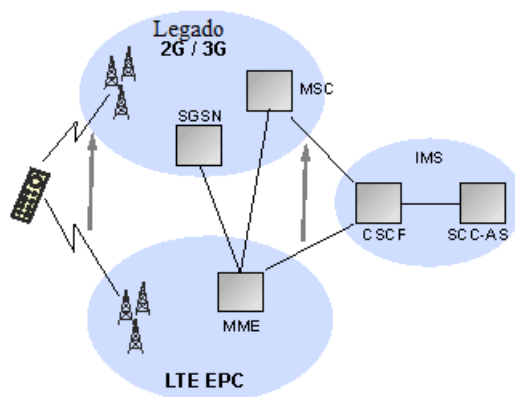
Então, a rede LTE recebe um comando de execução de transferência de rede de acesso através do MME e LTE RAN (*Radio Access Network*), o que instrui o dispositivo do usuário a se preparar para trocar para uma rede de circuito comutada para a chamada de voz, então a rede de comutação de circuitos legados de destino recebe uma resposta de transferência de sessão, se preparando para aceitar a chamada da rede LTE, apenas após todos os comandos serem executados e reconhecidos, a chamada é trocada para a rede herdada com o IMS CSCF ainda no controle da chamada.

Da rede herdada para o LTE, existem duas opções que o RAN legado pode implementar: permitir que as informações LTE sejam transmitidas no RAN legado para que o

dispositivo LTE seja capaz de realizar a pesquisa de células mais facilmente, ou então, simultaneamente soltar a conexão com o dispositivo do usuário e a rediregir para o RAN LTE.

A redução do tempo de interrupção é algo muito importante durante a transferência de sessão e, verificou-se que o redirecionamento é o mais rápido, portanto é necessário que a metodologia global de transferência permita o fato de haver diferença entre os RAN LTE e RAN legado (POOLE, 2017). A Figura 21 ilustra a transferência de voz SRVCC em LTE.

Figura 21 -Transferência de voz SRVCC em LTE



Fonte: Poole (2017)

3.8 4.5G LTE *ADVANCED*

O *LTE Advanced* (LTE-A) traz como novas funcionalidades. O *Carrier Aggregation* (CA), o uso aprimorado de técnicas de antenas múltiplas e suporte para nos de retransmissão. Essas técnicas foram aprimoradas visando aumentar a estabilidade, largura e velocidade das redes e conexões do LTE para que atingisse os requisitos exigidos pelo ITU como padrão 4G. Sendo assim, pode-se considerar o LTE-A o padrão 4G.

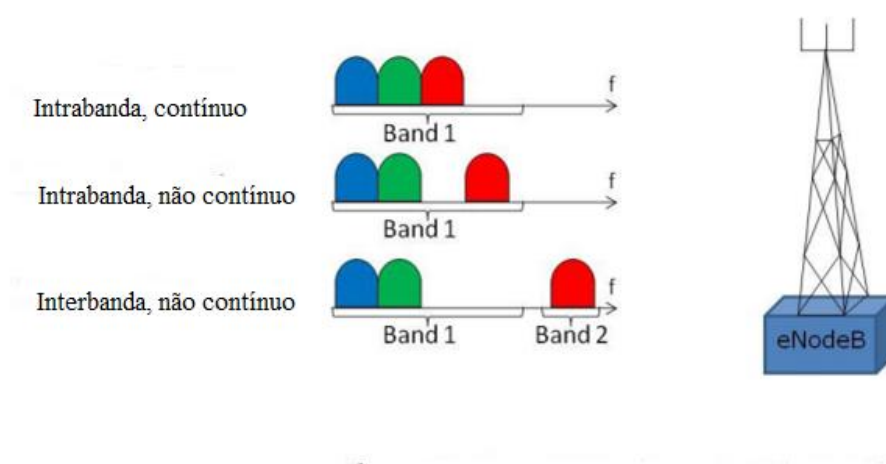
3.8.1 *Carrier Aggregation*

O *Carrier Aggregation* (CA) é a agregação de operadoras e, provavelmente é a principal tecnologia do LTE-A. O CA é responsável pela multiplicação da largura de banda da conexão do LTE, permite que se baixe dados de muitas bandas de rede simultaneamente.

As bandas são divididas em partes que transportam dados com larguras de banda de 1,4; 3; 5; 10; 15; 20 MHz. A agregação pode ser feita por até cinco operadoras de componentes em conjunto.

A agregação de portadora é a combinação de sinais de diferentes operadoras que permite que a largura de banda aumente podendo atingir 100Mhz para uma única conexão. A agregação pode ser feita tanto na rede FDD quanto na TDD, bem como nas conexões de *downlink* e de *uplink*. O CA pode trabalhar tanto com componentes contínuos que estão localizados dentro da mesma faixa de operação quanto com transportadores não-contínuos que estão em diferentes bandas e faixas de operação(WANNSTROM,2013). A Figura 22 mostra a localidade de operação.

Figura 22 - Locais de operação do CA

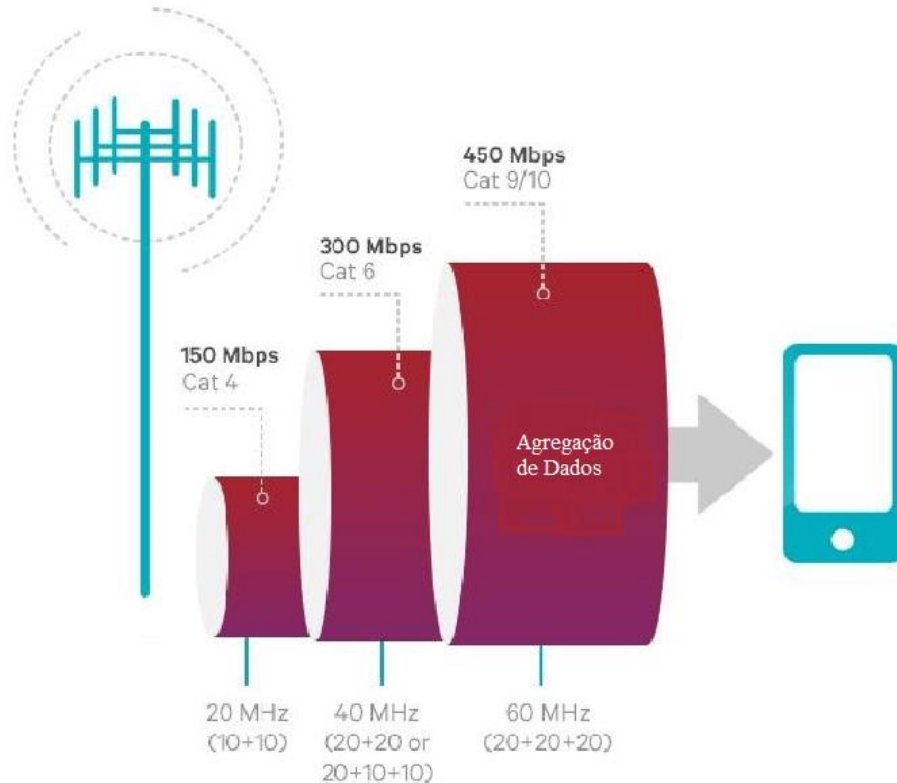


Fonte: 3GPP (2017)

O CA pode fornecer taxas de pico de velocidade muito altas, na teoria de até 1 Gbps, quando utilizado na largura de banda máxima disponível de cinco operadoras. Porém nas soluções comerciais encontradas até então foi obtido um máximo de três operadoras com taxas de dados máximas de até 600 Mbps.

Na prática, as operadoras, hardware e cobertura de rede ficarão abaixo desse valor máximo teórico, atingindo velocidades de 150 Mbps com duas operadoras de 20 MHz. A Figura 23 mostra a agregação do operador.

Figura 23 - Agregação de operador



Fonte: Triggs (2017)

O CA também permite a compatibilidade total e reversa entre as redes LTE já existentes e os dispositivos compatíveis com o LTE-A. As conexões mais avançadas de LTE-A serão fornecidas através de bandas LTE existentes, fazendo com que os usuários LTE padrão continuem a usar LTE normal, enquanto as conexões de LTE-A farão uso de várias operadoras LTE (WANNSTROM, 2013).

3.8.2 Multiple Input Multiple Output (MIMO)

O MIMO que já era implementado no LTE, passou a ser exigido no LTE-A, para que os chips aumentem o número de entradas e saídas simultaneamente. O LTE-A suportará MIMO 8x8 no *downlink* e 4x4 no *uplink*. O aumento de arranjo MIMO também aumentará a velocidade e a qualidade da conexão das tecnologias anteriores.

3.8.3 Nó de Retransmissão

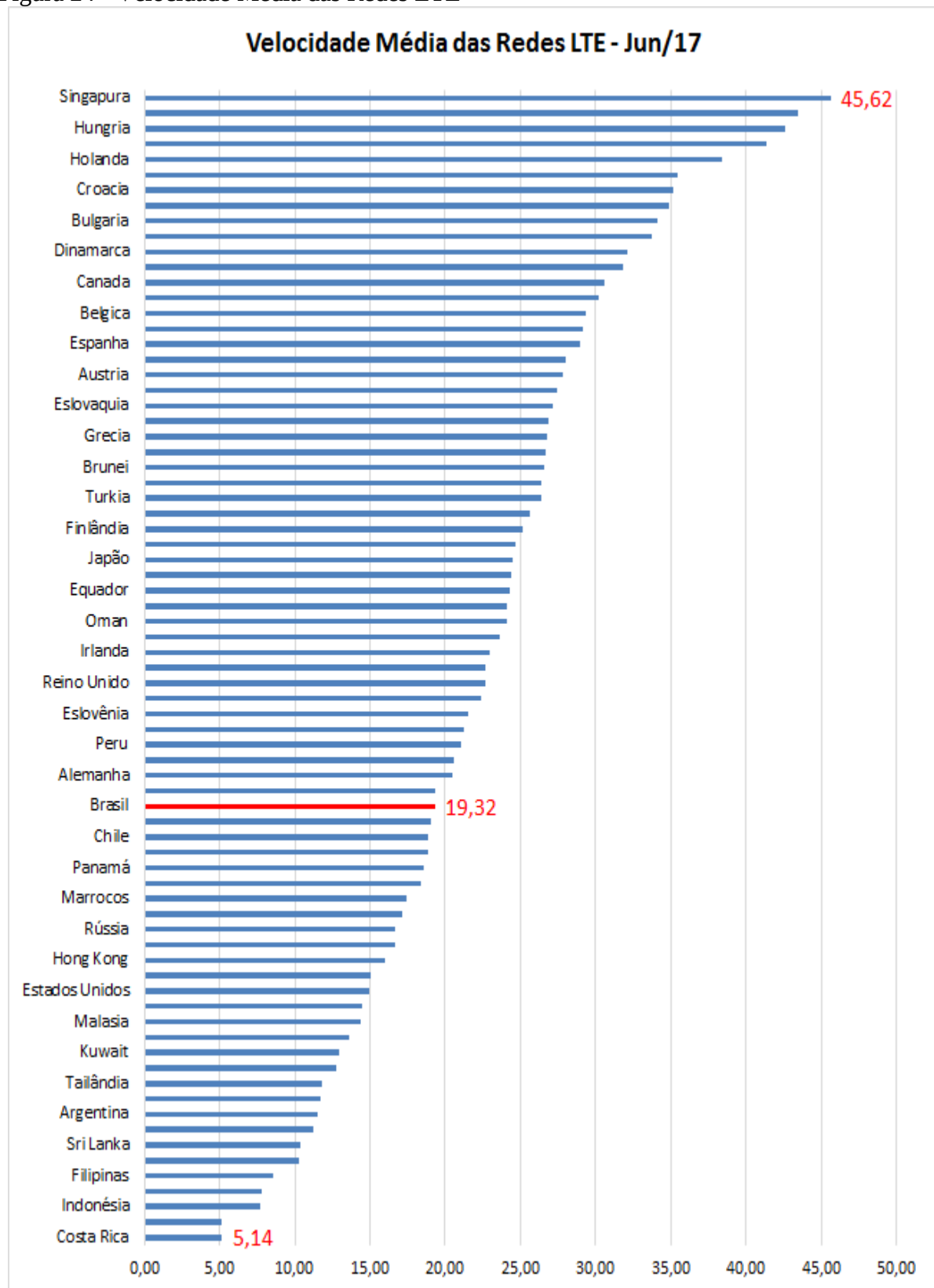
Os nós de retransmissão ou nós de relés são peças de hardware que apesar de não representar uma melhoria na velocidade de dados, eles serão responsáveis pela disponibilidade de conexões LTE e oferecerão mais conexões para escolher quando os dados de recebimento forem enviados.

Eles funcionarão como uma estação base de baixa potência usada para aumentar a cobertura da rede nas extremidades e além do raio de conexão da estação principal, esses nós de relés se conectam sem fio à estação principal e ajudam a aumentar o sinal quando se está próximo às bordas da rede LTE, o acesso a uma conectividade melhorada dependerá das operadoras investirem na construção desses nós.

3.9 DADOS DE TRANSMISSÃO 4G

A velocidade do LTE não são uniformes no mundo todo, ela varia conforme o país e a operadora. O fator geográfico influencia na velocidade, nos países onde a maior parte da população se encontra em pequenos centros urbanos tende a obter os maiores valores de velocidade registradas, enquanto que em países onde a população é espalhada por grandes áreas, apresentam valores menores de velocidade, devido a necessidade de maior área de cobertura. A Figura 24 mostra a velocidade média das redes LTE em 2017.

Figura 24 - Velocidade Média das Redes LTE



Fonte: Opensignal (2017)

No Brasil, a ANATEL realizou em 2012, uma licitação para a frequência de 2500MHz para o início da implantação do 4G no Brasil. As empresas que adquiriram foram: Vivo, Tim, Claro, Oi, Sky e Sunrise.

Esta frequência é a mais utilizada atualmente pelas operadoras para oferecer o 4G móvel e fixo. Em setembro de 2014, foi feita outra licitação da faixa de frequência de 700MHz para implantação de 4G mediante a transição da TV aberta brasileira da analógica para a digital. As empresas que adquiriram foram: Vivo, Tim, Claro e Algar.

Em setembro de 2017 se registrou 91,452 milhões de acesso de 4G no Brasil. Sendo que a divisão ficou: Vivo=33,82% , TIM= 27,12%, Claro =22,16%, Oi=15,73% e Nextel= 1,17%.

Com relação à quantidade de municípios em outubro de 2017, a cobertura 4G atingiu 89,3% dos municípios do Brasil, o que equivale a 3259 municípios com a cobertura 4G) (Teleco,2017).

4 A GERAÇÃO 5G

O 5G é o próximo passo da internet. O 5G é apenas uma evolução natural das redes 4G existentes, porém essa nova tecnologia deve ser um ponto impactante no futuro das comunicações e das experiências vividas pela sociedade. Ainda em fase de estudos, o 5G é visto como uma revolução, porém será uma evolução na oferta de conexão de internet, integrando as redes 5G com o já existente 4G e tecnologias de rede alternativa como a banda larga fixa para que dessa forma, possa fornecer altas taxas de trocas de dados para os usuários.

O 5G surge como uma oportunidade de criar uma rede de transmissão de dados mais ágil e adaptada a diferentes necessidades tanto das pessoas no cotidiano quanto da economia, devido a grande demanda por conectividade e maior troca de informações.

A expectativa é que nos próximos 10 anos, as redes *wi-fi* deverão ter 10 mil vezes mais troca de dados do que em 2010. Alguns dados mostram a necessidade por essa nova tecnologia e quão rápida ela deve ser inserida no mercado: em um relatório da Sony Ericsson, mostrou que a expectativa é que em 2022 cerca de 15% da população será coberta pelo 5G.

Na América do Norte, poderia chegar a 25% e na Ásia-Pacífico 10%. Nas redes inglesas já foram introduzidas reformas para que as redes 4G se adaptassem visando a implementação das futuras redes 5G.

Na Suécia, já existe uma rede 5G dedicada aos testes de piloto de ônibus controlado remotamente em um centro de operação de veículos. No Japão, já foram realizados testes em maio deste ano de redes 5G em áreas rurais. No Brasil as redes 4G ainda estão em expansão e em fase de disseminação no país (GODOY,2017).

A ITU chegou em um consenso sobre quais serão as especificações técnicas do 5G, que terá um grande aumento na velocidade, no numero de conexões por km², diminuição na latência entre outros. Em 2019, a ITU definirá quais as frequências que serão utilizadas para o 5G, provavelmente as frequências adicionadas serão: 3,5GHz, 28GHz, 37GHz, 39GHz, 64-71GHz e 70/80GHz.

O objetivo do 5G é principalmente viabilizar o IoT massivo. A Tabela 1 apresenta o comparativo entre o 4G e o 5G (Teleco 2017).

Tabela 1 - Comparação rede 4G e 5G

Geração	4G	5G
Tecnologia	LTE-Advanced	
<i>Downlink(Gbps)</i>	1	20
<i>Uplink(Gbps)</i>	0,5	10
Taxa do Usuário (Gbps)	10	100
Canalização(MHz)	100	1000
Latência(ms)	10	<1
Conexões (conexões/km ²)	10000	1000000

Fonte:Teleco (2017)

4.1 MOTIVOS DO DESENVOLVIMENTO DO 5G

O interesse em torno do 5G pelas empresas de tecnologia é principalmente na capacidade dessa nova rede de atender aos dispositivos que permanecerão constantemente conectados à rede, como por exemplo drones, carros autônomos, lâmpadas entre outras coisas.

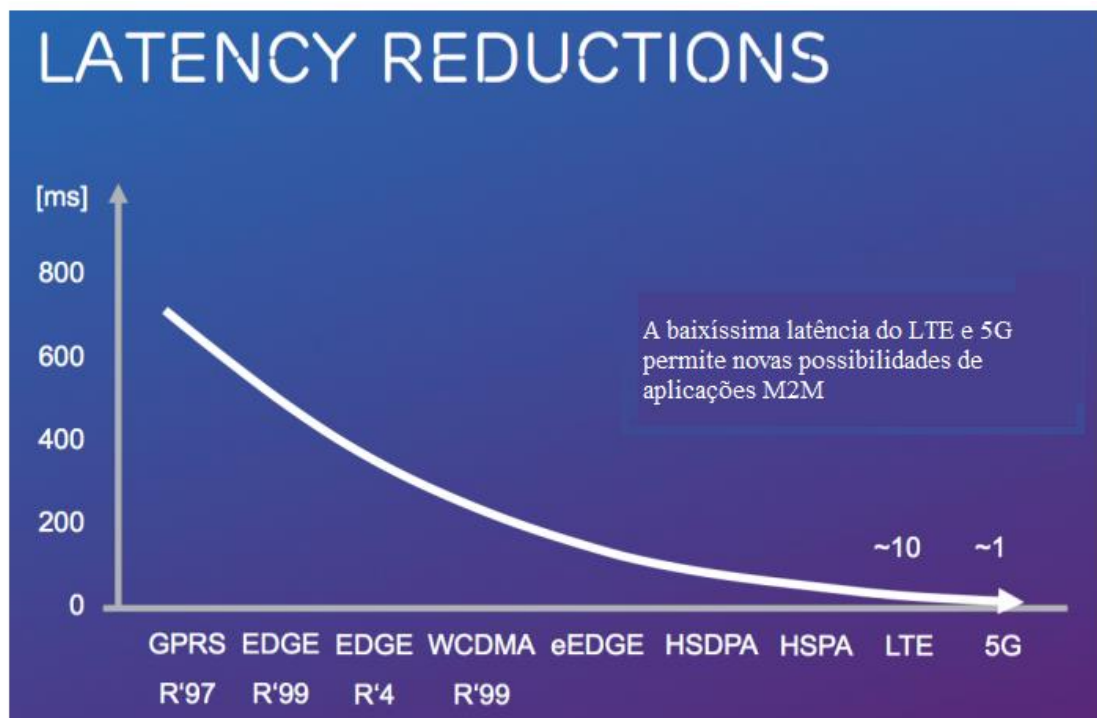
Com o aumento da tecnologia e o conceito de casas inteligentes, diversos sensores inteligentes que poderiam detectar automaticamente desde erros de construção, acúmulo de mofo, vazamentos, problemas elétricos, até eletrodomésticos como uma geladeira que saberia informar exatamente os alimentos guardados dentro ou carros inteligentes que teriam a capacidade de se mover sozinhos, tudo isso se comunicariam provavelmente através do uso de redes 5G.

As indústrias que poderão ter máquinas se comunicando diretamente umas com as outras sem a necessidade de um operador humano, com o monitoramento 24 horas por dia de segurança, rastreamento de bens e a própria automação industrial. Para que tudo isso possa acontecer, o 5G necessariamente deverá ser mais eficiente para lidar com a quantidade de dados trocados e de dispositivos conectados.

O conceito do 5G é tornar a internet das coisas(IoT) mais eficiente e eficaz. Cada aparelho e rede criados com base na internet das coisas utilizará apenas o necessário sem a

necessidade de consumir tudo que estiver disponível. A Figura 25 mostra a redução de latência com relação às gerações anteriores e a 5G.

Figura 25 - Redução da Latência



Fonte:Ericsson (2015)

O 5G além de atender a expectativa da demanda de quantidade de conexões simultâneas também deve ser a primeira rede projetada para que seja escalável, versátil e eficiente em termos de consumo energético (HIGA,2016).

4.2 PASSOS PARA ATINGIR O 5G

O 5G é tido como a evolução das redes atuais 3G e 4G e poderá se tornar uma transformação de alto nível em termos de espectro e topologia de rede. A forma de sincronismo e ortogonalidade usada pelo LTE e LTE-A para transformar o sinal de informação apresentaram deficiências devido a tendências como o MTC, que apresentam procedimentos complexos para garantir um sincronismo rigoroso, além disso, as redes estão se tornando cada vez mais heterogêneas, de forma que seria necessário um sistema para coletar os ganhos de sinais e fazer o gerenciamento de cada um.

O espectro de rádio para o 5G estão acima de 6 GHz, isso significa que pretendem utilizar altas bandas de frequência que causariam uma diminuição no alcance das ondas e

dessa forma reduzindo o tamanho das células, para alcançar uma cobertura mais ampla seria necessária uma mudança na topologia das redes atuais. A forma de onda *beamforming* que foca na interface de rádio dentro da propagação usada sobre grandes distâncias, tem uma função importante em definições de interface de radio que utilizarão frequências acima de 6 GHz, essa forma de onda deverá seguir o dispositivo que estiver sendo conectado e, cada célula deverá suportar diversas ondas individuais.

O uso do *beamforming* com múltiplas antenas tornara possível criar tecnologias *wireless* que mesmo sendo sensíveis a outras transmissões possam trabalhar em ambientes com ruído, que só será possível graças a evolução de rádio e antena de alta sensibilidade.

O MIMO em ampla escala ou *Massive MIMO* também é uma das soluções em bandas de alta frequência, devido ao aumento da frequência, os elementos que formam a antena podem ser minituarizados e, dessa forma aumenta a quantidade de antenas para propagações estreitas.

Os fatores determinantes para a evolução do 5G são: espectro de rádio disponível, tipo de tecnologia da antena, arquitetura da rede, RAT e o hardware de rádio. A continuidade do desenvolvimento do LTE somado as novas tecnologias de acesso de rádio desenvolvidas resultarão nas altas taxas de dado, baixa latência, alta confiabilidade e grande massas volumar de dados entre dispositivos (ERICSSON,2015).

4.2.1 Espectro de rádio disponível

O espectro de rádio disponível (RF) é uma propriedade exclusiva do estado em muitos países. A interferência entre ondas de radio prejudicam a forma de onda original, dificultando a leitura na recepção, por isso, o espectro de rádio possui regulamentação onde as faixas de frequência são separadas para uso de determinados equipamentos, como pode ser reutilizada, o gerenciamento visa resolver problemas de interferência e projetar alocações de frequência e, avançar tecnologicamente com a introdução de novas tecnologias.

Um dos primeiros problemas encontrados no lançamento dos sensores de IoT e comunicação entre máquinas (M2M) foi a atenuação do espectro devido ao fato de que quanto mais distante o aparelho móvel se encontra da rede wireless mais *base station* são exigidas. A escassez de espectros disponíveis limita o avanço dos serviços com alta mobilidade e velocidade de transmissão.

Os espectros que serão utilizados no 5G serão de frequências acima de 10GHz e, estes espectros ainda não são licenciados, estes terão como foco a transmissão em banda larga, o ambiente deverá ser denso com condições de tráfego variadas e, ainda terão que ser divididos entre os usuários acarretando numa diminuição da capacidade de transmissão.

Por esses motivos, o caminho dinâmico para espectros não licenciados poderia aumentar a eficiência na utilização desses espectros. Uma questão importante é como os espectros não licenciados serão inseridos na plataforma 5G, aumentando a importância do gerenciamento do serviço, cobertura da célula e na sustentação de tráfego quando estiver acessando espectros compartilhados, seu desenvolvimento assim como a coexistência entre diversos tipos de RATs resultariam na flexibilidade dos ganhos de eficiência espectral (HATTACHI,2015).

As ondas milimétricas (mmW) não deverão ser compatíveis com o LTE, porém devem ser usadas em *backhaul* para comunicação entre as estações base, mantendo as ligações para melhorar a cobertura dentro das células.

Estas devem trabalhar em bandas licenciadas ou não e, terão que competir com tecnologias como o ADSL, VDSL e a fibra óptica nas comunicações em *backhaul*, sua vantagem é a facilidade para ser desenvolvida, porém o preço será um desafio a ser superado que dependerá da quantidade de dados distribuídos por localidade.

O padrão para o mmW é aplicado para ambientes fechados e, bandas de frequência entre 57GHz e 66 GHz, sendo desenvolvidas para a transmissão em alta definição, em espaços abertos, o risco é devido a atenuação do sinal em espaço livre que diminui o alcance de transmissão de altas frequências.

O *cognitive radio* (CR) é um rádio inteligente que pode ser programado dinamicamente. Os transmissores são projetados para utilizar o melhor canal wireless da vizinhança, podendo utilizar temporariamente uma parte do espectro que esta sendo utilizado sem interferir na transmissão de outros usuários.

As principais funções são: mudar a forma de onda, agilizar a mudança de banda de operação do espectro e níveis de potencia, sensibilidade para observar o estado do sistema tendo uma rede com alta capacidade de comunicação com múltiplos nós.

O CR foi desenvolvido como um rádio que pode utilizar canais da melhor forma possível, porém existe uma rede *cognitive network*(CN)que aprende com as consequências de suas decisões e, a partir desse aprendizado toma as decisões futuras, o CN é uma rede que pode organizar os CRs. A Figura 26 apresenta o espectro para acesso *wireless* do 5G.

Figura 26 -Espectro para Acesso Wireless 5G



Fonte:Ericsson (2015)

As frequências acima de 10 GHz servirão de complemento ao sistema para a extrema taxa de dados em ambientes densos, porém as frequências baixas continuarão a existir nas redes para comunicação móvel durante o 5G, fornecendo conectividade entre as áreas de alta e baixa frequência (ERICSSON,2015).

O conceito de *Phantom Cell* é uma opção de arquitetura para o 5G. O *Phantom Cell* pode dividir o controle (*C-Plane*) e dos dados do usuário (*U-Plane*) entre *Macro Cell* e *Small Cells*, com diferentes bandas de frequência onde a *Macro Cell* mantém a sinalização de controle e a *Small Cell* suporta o tráfego com alta taxa de transmissão de dados. A Figura 27 mostra a arquitetura *Phantom Cell* com divisão de C/U Plane.

Figura 27 - *Phanton Cell*

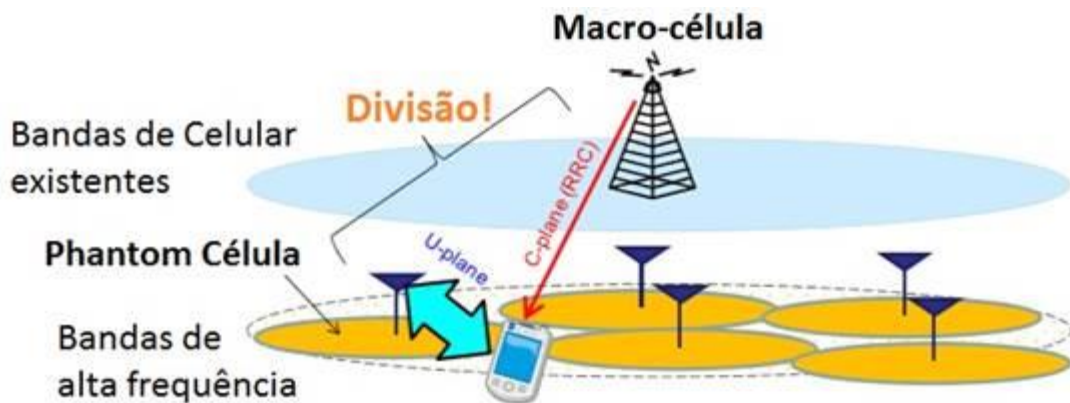


Figura 8: Arquitetura Phantom Cell com divisão de C/U Plane

Fonte: Teleco (2017)

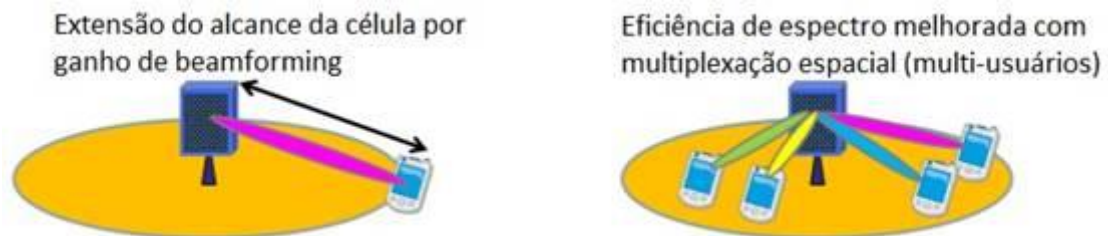
4.2.2 Massive MIMO

O *Massive MIMO* é a técnica de reduzir elementos da antena em alta frequência, colocando-as mais próximas formando uma matriz de antenas (*beamforming*) onde os feixes se tornam mais estreitos e poderá ser a solução para que as *Small Cells* consigam cobrir toda a célula e possam fornecer altas velocidades de transmissão em cenários com alta densidade de tráfego.

Alguns problemas de se utilizar *Massive MIMO* em *Small Cells* são os prejuízos causados a rádio frequência, como alcançar o *beamforming* correto e fornecer a sinalização de controle para a mobilidade e conectividade devido ao ganho do *beamforming* pelo *Massive MIMO*.

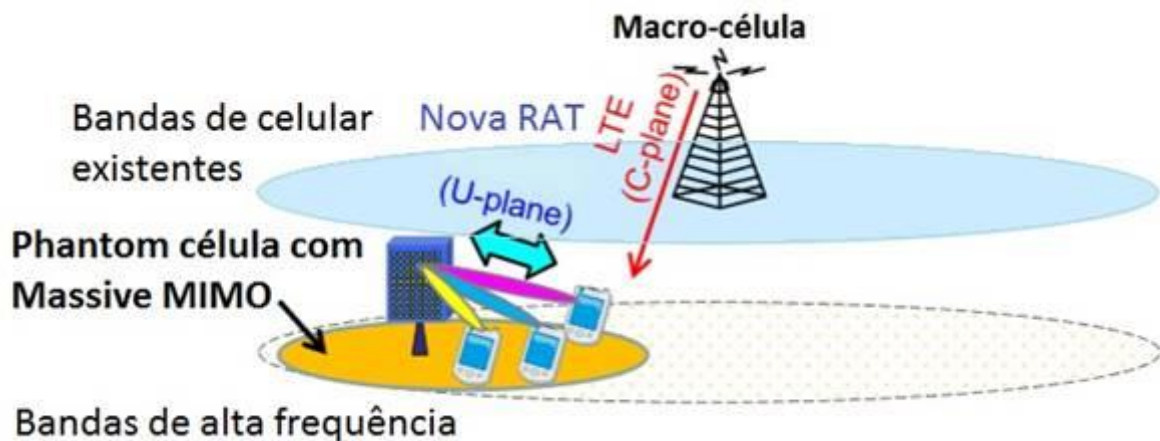
O uso de *beamforming* com a *Phantom Cell* seria uma solução onde a *Macro Cell* se torna responsável pelo envio de sinas de controle em baixas frequências, enquanto a *SmallCell* fica responsável por operar em altas frequências fornecendo os planos do usuário. A Figura 28 apresenta o *Massive MIMO*, e a Figura 29 apresenta o *Massive MIMO* em conjunto com uma *Phantom Cell*.

Figura 28 - *Massive MIMO*



Fonte: Teleco (2017)

Figura 29 - *Massive MIMO* em conjunto com *PhantomCell*



Fonte: Teleco (2017)

4.2.3 Novo modelo de RAT

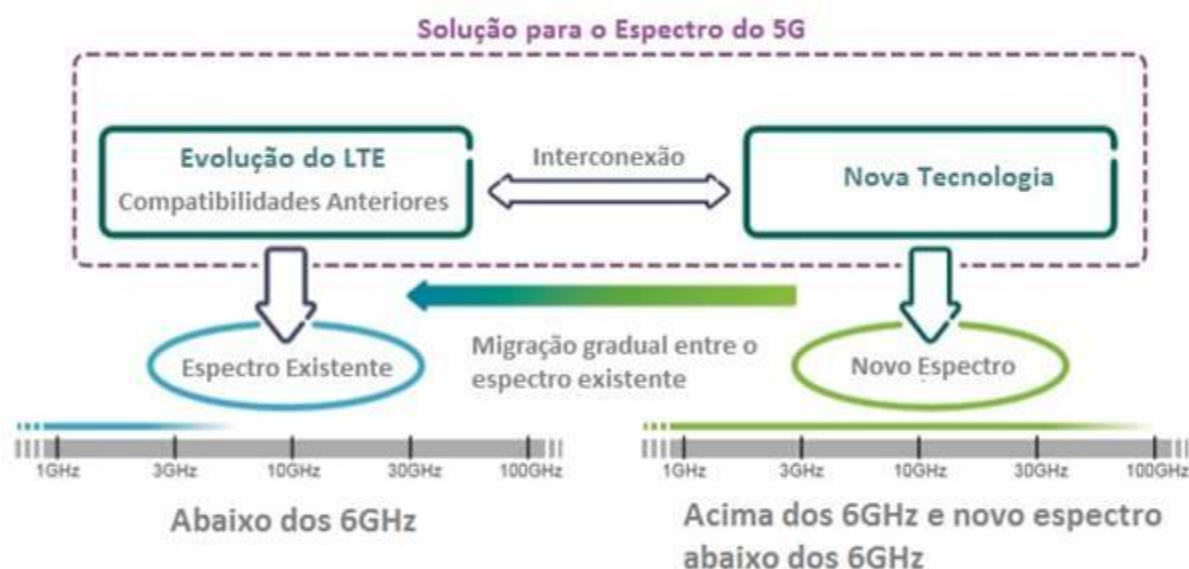
O 5G deverá vir com um novo modelo de *radio access technologies* (RAT) que deverá coexistir com o LTE e com as tecnologias anteriores ainda em funcionamento, pois ambos continuarão em desenvolvimento, tanto o novo modelo, quanto o LTE e, desta forma

formarão uma ligação entre as bandas de frequência já utilizadas e as novas bandas adotadas (ERICSSON,2015).

Um RAT simples e unificado pode ser a solução para otimizar as frequências e os casos de uso, a implementação dos dispositivos poderia ser simples e os operadores poderão evitar o gerenciamento de múltiplas redes.

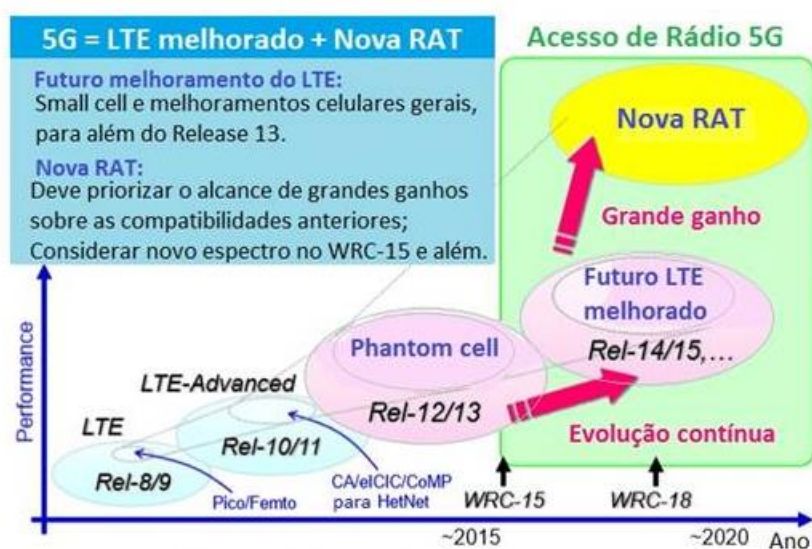
O desafio será manter o desempenho e eficiência da cobertura de uma área ampla com o desenvolvimento de uma nova interface, necessitando de reformas nos espectros que já estão em uso (HATTACHI, 2015). A Figura 30 mostra a solução para espectro do 5G, já Figura 31 apresenta a evolução do RAT para o 5G.

Figura 30 - Solução para o Espectro do 5G



Fonte: Ericsson (2015)

Figura 31 - Evolução do RAT para o 5G

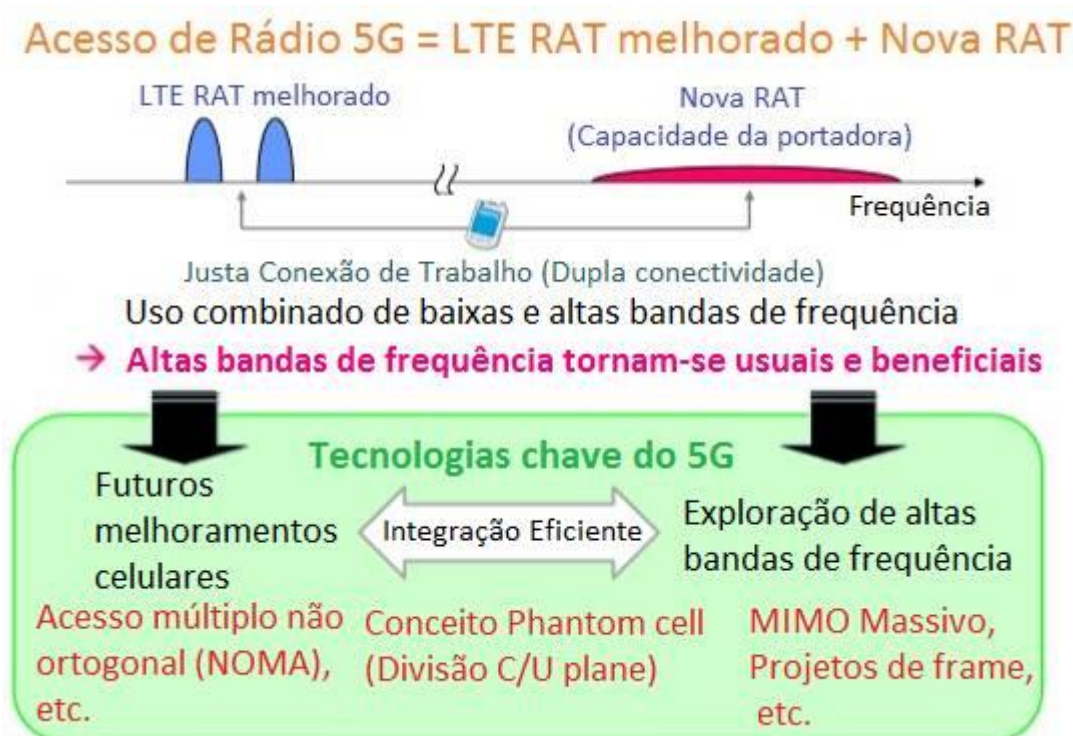


Fonte: Teleco (2017)

As redes existentes não favorecem o desenvolvimento de bandas de alta frequência, por isso a nova rede 5G deve ter uma estrutura com duas camadas que são as camadas de cobertura e capacidade.

Enquanto utiliza-se as bandas de baixa frequência com um LTE RAT melhorado para o fornecimento de cobertura básica e mobilidade, a camada de capacidade se utilizaria para as bandas de alta de frequência e a nova RAT para o fornecimento de altas taxas de dados. A Figura 32 ilustra a rede 5G e LTE.

Figura 32 - Rede 5G e LTE



Fonte: Teleco (2017)

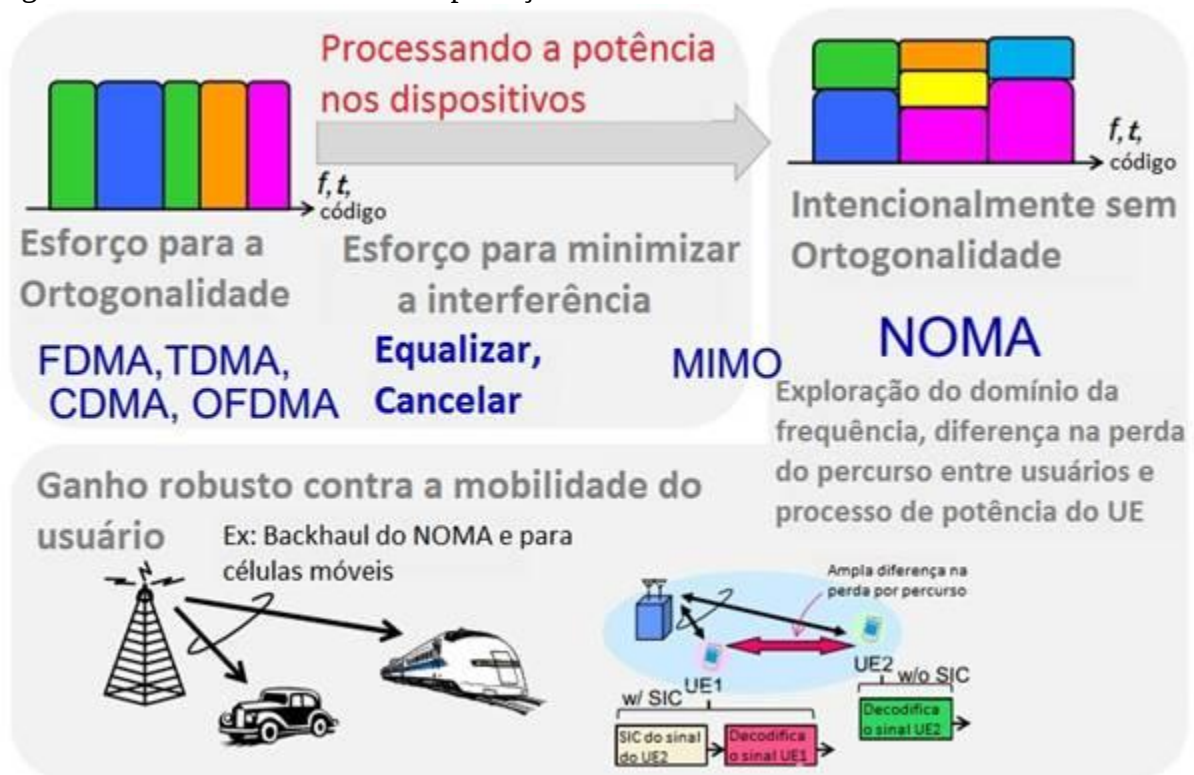
4.2.4 NOMA

O *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA) é um esquema de multiplexação para multiusuários entre células que se utilize um novo domínio referente a potência, senão a não ortogonalidade introduzida intencionalmente no *downlink* através do domínio de potência na multiplexação para o tempo, frequência ou código. A demultiplexação pelo lado da transmissão é obtida através da diferença de potência entre usuários pareados, enquanto o lado do usuário utiliza o SIC.

A superposição dos sinais transmitidos de diversos usuários, permite compartilhar a potencia reduzindo a potência alocada a cada usuário, de forma que usuários com baixo e alto ganho de canal podem ser conectados mais frequentemente com o uso de mais banda-larga.

O NOMA melhora a multiplexação da rede tornando o desempenho mais robusto em cenários de alta mobilidade e no uso de *backhauling* para redes móveis, podendo suportar mais conexões ao mesmo tempo, o que o torna adequado para os desafios relacionados a conectividade massiva. A Figura 33 mostra as características da NOMA.

Figura 33 - Características da Multiplexação NOMA



Fonte: Teleco (2014)

4.2.5 Sparse Code Multiple Access (SCMA)

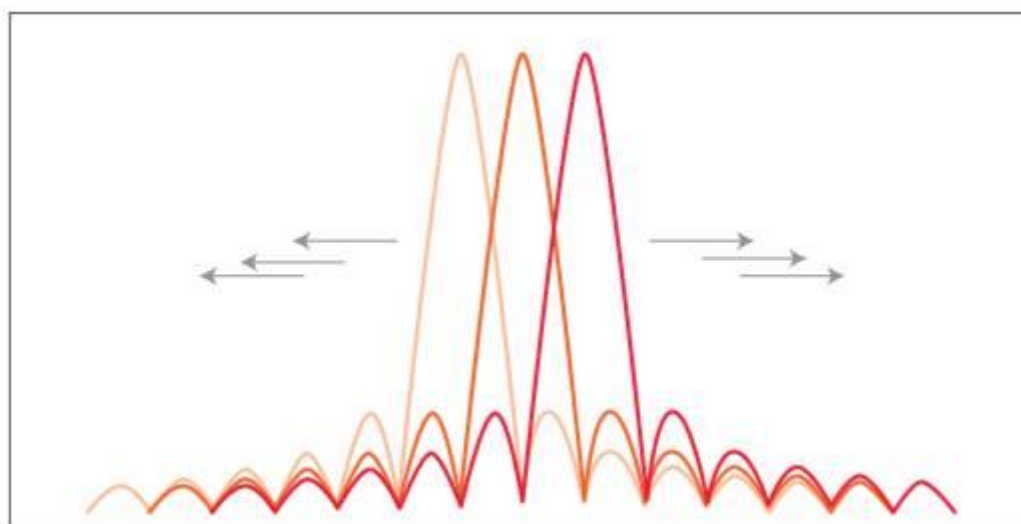
O *Sparse Code Multiple Access* (SCMA) é uma biblioteca de códigos não ortogonal de acesso múltiplo que permite uma ótima eficiência de espectro. Através da multiplexação pode fazer alocação de camadas de domínio de código para diferentes usuários, como as camadas não são separadas no sistema de acesso múltiplo não ortogonal, um receptor não linear é necessário para detectar a camada pretendida por cada usuário.

A complexidade na detecção é devido a não ortogonalidade e especialmente quando o sistema possui diversas camadas multiplexadas. O SCMA apresenta um *codeword* escasso, pois os bits de entrada são diretamente direcionados a ele, no SCMA o mapa QAM e o

propagador CDMA são fundidos juntos para mapearem um conjunto de bits no complexo vetor escasso. A modulação QAM é substituída por *codebooks* que beneficiam na formação de códigos ou ganhos de códigos de constelações multidimensionais.

O *Filtered Frequency Division Multiplexing* (F-OFDM) está sendo considerado devido a sua diversificação em suportar diferentes formas de onda, múltiplos esquemas de acesso e estruturas de quadros baseados nas aplicações simultâneas dos cenários e requisições de serviços. O F-OFDM oferece boa eficiência de espectro e resistência causada pelos diversos caminhos. A figura 34 mostra o F-OFDM.

Figura 34 - Benefícios do F-OFDM



Fonte: Jue (2015)

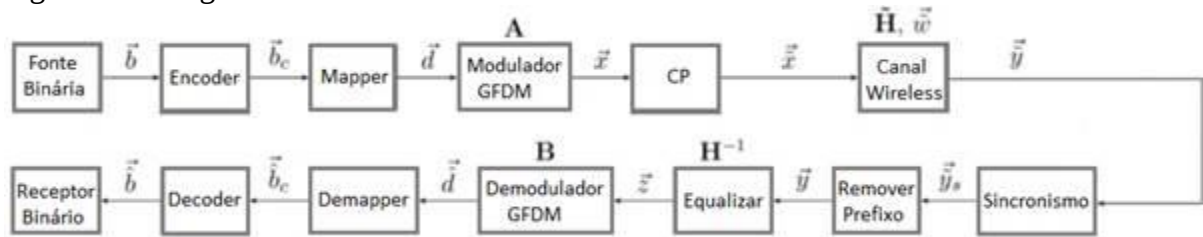
4.2.6 *Filtered Frequency Division Multiplexing* (F-OFDM)

O F-OFDM pode não suprir toda a necessidade que o 5G demanda então, por isso outras tecnologias estão sendo simuladas e discutidas como: o *Generalized Frequency Division Multiplexing* (GFDM), *Universal Filtered Multi-Carrier* (UFMC), *Filter Bank Multicarrier* (FBMC) e *Bi-Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (BFDM).

O GFDM está na categoria de sistemas de multiportadoras pelo fato de oferecer mais graus de liberdade do que o OFDM. Uma propriedade importante é a divisão do tempo e frequência em diversas subportadoras e diversos símbolos. O GFDM é um bloco baseado na aproximação mesmo com adição de filtros, que facilita o endereçamento de usuários que estão em cenários de múltiplos acessos requisitando uma baixa latência de transmissão

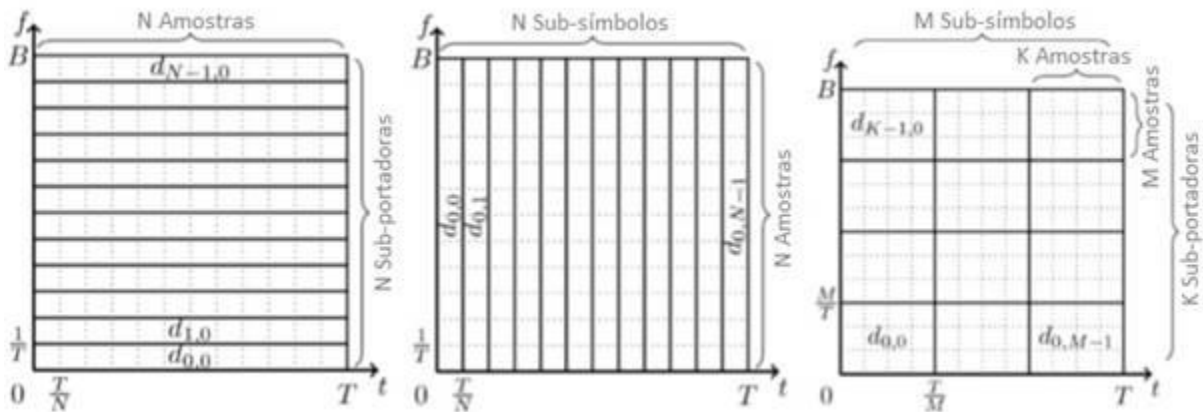
(KASPARICK, 2015). A Figura 35 mostra o diagrama de 6 blocos GFDM e a figura 36 mostra a participação do tempo e frequência.

Figura 35 - Diagrama de blocos GFDM



Fonte: Kasparick (2015)

Figura 36 - Participação do tempo e frequência



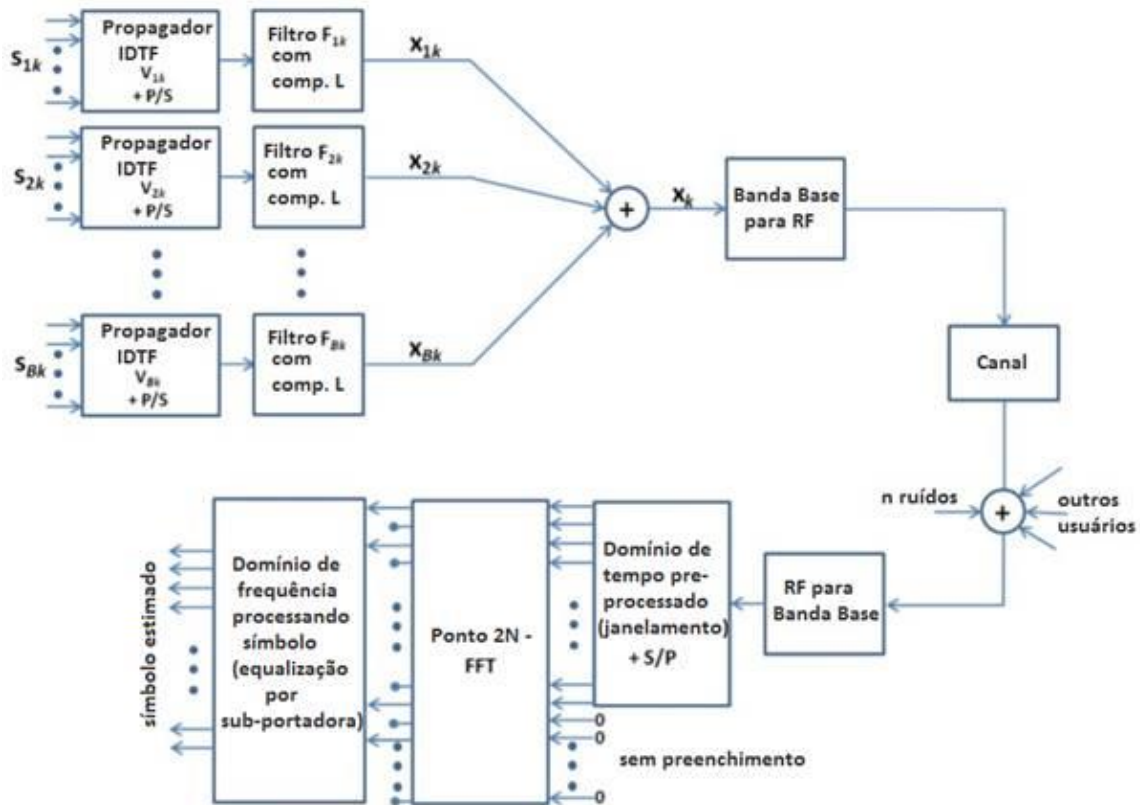
Fonte: Kasparick (2015)

4.2.7 Universal Filtered Multi-Carrier (UFMC)

O UFMC é um sinal de multiportadora formado por multiportadoras ortogonais, que combinam muito bem com a perda de ortogonalidade no receptor. A adição de sub-bandas gera uma robustez contra as fontes de interferência entre portadoras e oferece melhor adequação para a comunicação em ambientes com pequena explosão de informações que deixam a rede mais densa.

O UFMC foi projetado para habilitar uma estrutura de quadro unificado, suportando diversos serviços de classes de dispositivos dentro de um único quadro de radio, ele também suporta um tráfego misturado de usuários síncronos e com determinados sincronismos (KASPARICK, 2015). A Figura 37 ilustra a arquitetura do UFMC.

Figura 37 - Arquitetura do UPMC



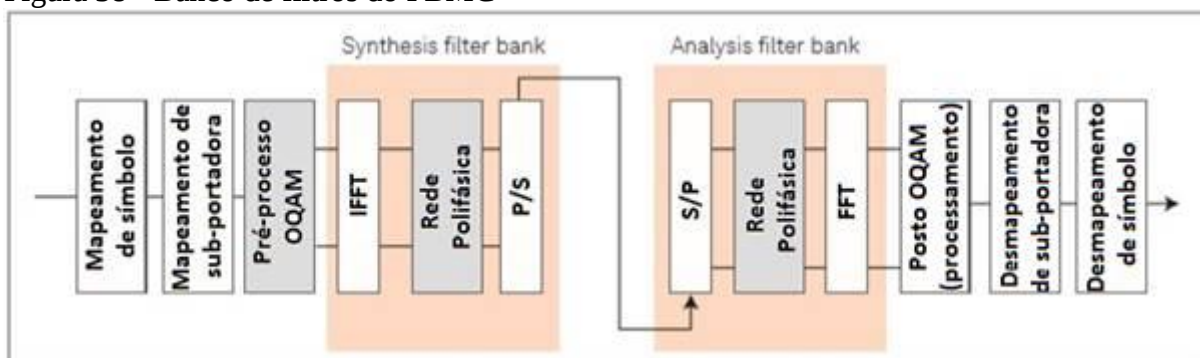
Fonte: Kasparick (2015)

4.2.8 Filter Bank Multicarrier (FBMC)

O FBMC tem a característica de fornecer uma melhora ao espectro fora da banda, aplicando filtros sobre as bases de subportadoras, usando uma rede polifásica (JUE2015).

O protótipo do filtro pode ser projetado para satisfazer as diferentes limitações como uma modulação complexa para um espectro eficiente, igualar banda larga disponíveis e divididos, ser ortogonal para desenvolver um único projeto de filtro onde os bancos de filtros que estão causando distorção, podem ser desprezados em relação aos filtros que estão no canal de transmissão (KASPARICK, 2015). A Figura 38 mostra o banco de filtros do FBMC.

Figura 38 - Banco de filtros do FBMC



Fonte: Kasparick (2015)

4.2.9 Bi-Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (BFDM)

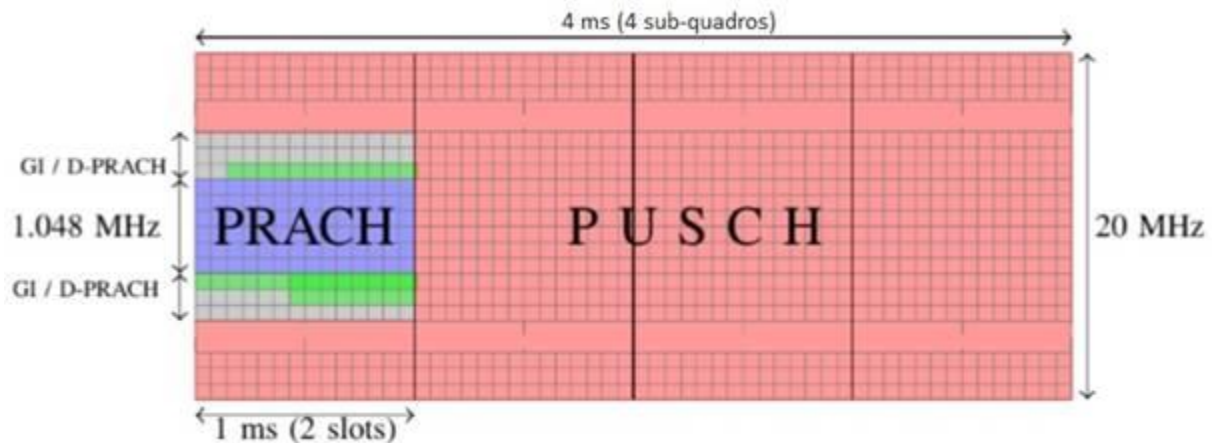
O BFDM tem pulsos de transmissor e receptor bi ortogonais, que representam uma forma mais fraca de ortogonalidade, sendo o tempo e frequência emparelhados ortogonalmente, permitindo uma maior flexibilidade no desenvolvimento do protótipo do transmissor que possui uma robustez maior para frequência de *offset*, responsável pela duração do símbolo no OFDM.

Para aliviar os problemas de controle do tempo, localização espectral e a distorção da carga carregada pela subportadora no PUSCH sobre o PRACH, seriam resolvidas através do controle iterativo de cancelamento de interferência. A vantagem do BFDM é fazer o controle de degradação de desempenho devido aos offsets de tempo e frequência.

O *Physical Layer Random Access Channel* (PRACH) é responsável pela ativação da aquisição do dispositivo e da carga de transmissão, sendo o objetivo principal transmitir pequenos pacotes de dados de usuário sem manter uma conexão contínua. Essa tecnologia não é possível nem no LTE que possui um tráfego mais esporádico, para o 5G que terá um tráfego mais intenso, foi necessário a introdução de uma seção de dados chamada D-PRACH, que suporta transmissões de dados assíncronos entre os dados síncronos do PUSCH e PRACH usando bandas de guarda.

O *Uplink Shared Channel* (PUSCH) possui rolamentos dos sinais de dados que são transmitidos por usuários sincronizados para a estação base usando o SC-FDMA (KASPARICK,2014). O BFDM não interfere nas operações do PUSCH, reduzindo levemente a sua interferência quando são usadas as bandas de guarda para a transmissão de dados independentemente do número de subportadoras (KASPARICK,2015). A figura 39 mostra a forma do quadro utilizado no BFDM.

Figura 39 - Forma do quadro utilizado no BFDM



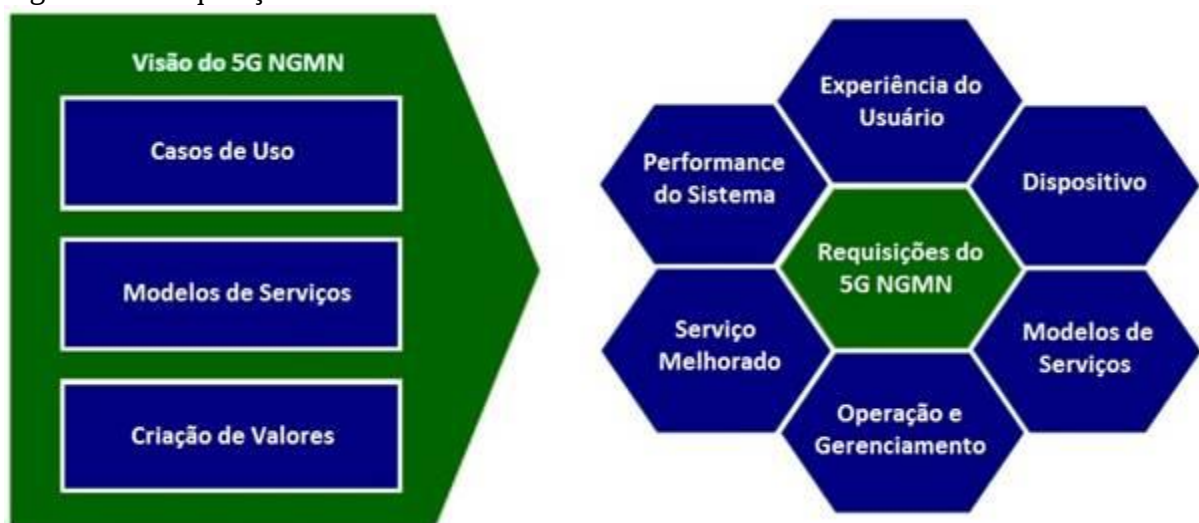
Fonte: Kasparick (2014)

4.3 CASOS DE USO 5G

As características da rede de telefonia celular 5G deve sofrer algumas mudanças com relação às tecnologias anteriores, diversos aplicativos deverão ser conectados por voz, entretenimento e outros tipos de serviços onde a rede é automaticamente configurada.

O conceito de rede inteligente que aprende conforme a experiência do tráfego devem ser adaptações feitas para suprir a quantidade de novos serviços e dispositivos disponíveis, que incluem requisições para mobilidade, latência, confiabilidade de rede e resiliência (4G Américas, 2014). A figura 40 ilustra como serão as requisições do 5G.

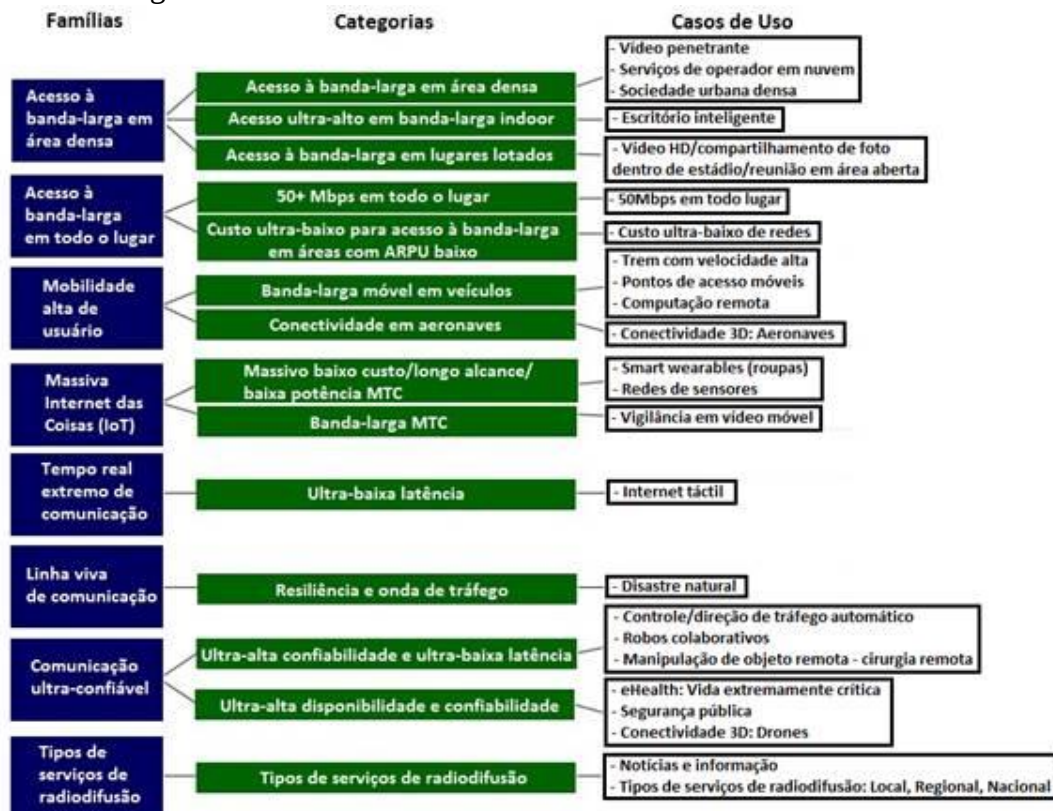
Figura 40 - Requisições do 5G



Fonte: Hattachi (2015)

A partir dos casos de uso e modelo de serviço do *Next Generation Mobile Networks* (NGMN), derivam requisições para o 5G, que acredita que as requisições possam ser satisfeitas através da criação de valores que serão atendidas de acordo com a categoria do caso de uso, os casos de uso também serviriam para construir os blocos de arquitetura do 5G (HATTACHI,2015). A figura 41 ilustra as categorias do caso de uso e na figura 42 pode-se ver exemplos de casos de uso para o 5G.

Figura 41 - Categorias do Caso de Uso



Fonte: Hattachi (2015)

Figura 42 - Exemplos de casos de Uso para o 5G



Fonte: Hattachi (2015)

4.4 MODELOS DE SERVIÇO

A interação entre vários usuários e serviços do tipo 3D como reuniões através de imagens holográficas, escritórios inteligentes onde todos os dispositivos estarão conectados virtualmente, tudo isso gera a necessidade de uma alta velocidade de execução de aplicativos em banda larga.

A nuvem de serviços do operador poderá fornecer aos usuários o *Smart Life* onde será necessário um ótimo *quality of experience* (QoE) com menos retrabalho através das nuvens, redes e dispositivos, aliado a tudo isso estará o compartilhamento de fotos e vídeos que requerera uma alta taxa de dados em baixa latência.

O acesso a banda larga deverá disponibilizar pelo menos 50Mbps em toda a área de cobertura, possivelmente podendo chegar a 100Mbps, dependendo da evolução da tecnologia que deverá ser economicamente sustentável com redes de custos baixos, permitindo acesso a internet em áreas com *Average Revenue Per User* (ARPU) relativamente baixo.

A mobilidade do usuário vai depender da velocidade e do tipo de veículo que se encontra o dispositivo de rede móvel, podendo estar dentro de um trem que atinja 500km/h, ou em aviões que voam a aproximadamente 12km de altitude ou até balonistas, planadores ou paraquedistas que se movem em três dimensões.

A visão do crescimento massivo do número de dispositivos e, as características e demanda após o ano de 2020 envolvera questões como o *machine typecommunications* (MTC) em banda larga e algumas questões do *human typecommunications* (HTC).

As *Smart Weareables* que são sensores a prova d'água que serão colocados nas roupas e medirão a temperatura, batimento cardíaco, umidade da pele ou, uma rede de sensores que poderá existir em *Smart Cities* para controle e medição de luminosidades, monitorar umidade, temperatura e poluição.

Os serviços de radiodifusão terão que fornecer informação (*downlink*) e dar um retorno do canal (*uplink*), sendo ambos possíveis em tempo real e não real para muitos usuários finais, alguns serviços como notícias e informações poderão ser recebidas de diversas formas em todo o lugar no momento do acontecimento.

Os serviços de radiodifusão local que envolverão distâncias de 1 km a 20 km como serviços de emergência local, até serviços regionais que envolverão até 100 km e por fim continentais que seriam o substituto ou complemento para os serviços de televisão e rádio (HATTACHI,2015). A Figura 43 mostra os modelos de serviço 5G.

Figura 43 - Modelos de Serviço 5G

Papel	Modelos de Serviços	
Ativo do fornecedor	XaaS: IaaS, NaaS, PaaS Abilidade de fornecer e operar para terceiros com diferentes capacidades de infraestrutura de rede (Infraestrutura, Plataforma, Rede) como um serviço.	Compartilhamento de Rede Abilidade de compartilhar a estrutura de rede entre dois ou mais operadores baseado em políticas estáticas ou dinâmicas.
	Conectividade Básica Melhor esforço na conectividade de IP do varejo (consumidor/negócios) e atacado/MVNO.	Conectividade Melhorada Conectividade IP com diferenciada característica de parametrização (QoS, latência, etc) e configuração melhorada de diferentes conectividades.
Parceria no fornecimento de serviços	Fornecido pelos Operadores Operadores tem as suas funções de serviços enriquecidas pelas capacidades dos parceiros (conteúdo, aplicação, etc).	Fornecido pelos Parceiros Os parceiros oferecem experiências de serviços enriquecidas pelas redes dos operadores e outras capacidades de criações de valores.

Fonte: Hattachi (2015)

4.5 INFRAESTRUTURA 5G

A infraestrutura é onde as operadoras oferecem os serviços para o cliente final. Ela é dividida em três partes *infrastructure as a service* (IaaS), *network as a service* (NaaS) e *platform as a service* (PaaS), sendo resumidas em *everything as a service* (XaaS).

As partes da infraestrutura também são chamadas de ativos, podendo ser usadas como uma terceira parte do fornecedor. A conectividade do fornecedor serão papéis futuros realizados pelos operadores, que são os modelos de serviços existentes projetados para ter uma conectividade de IP melhorada com *quality of service* (QoS).

O operador pode assumir a função de parceria no fornecimento de serviços que recebe o fornecimento de serviços integrados baseados nas capacidades do operador que são enriquecidas pelo conteúdo de terceiros, outra opção permite que os terceiros façam ofertas para os usuários finais através das redes enriquecidas e outras criações de valores (HATTACHI, 2015). A figura 44 mostra a capacidade de criação de valores do 5G.

Figura 44 - Capacidade de Criação de Valores do 5G



Fonte: Hattachi (2015)

4.5.1 *Machine Type Communications* (MTC)

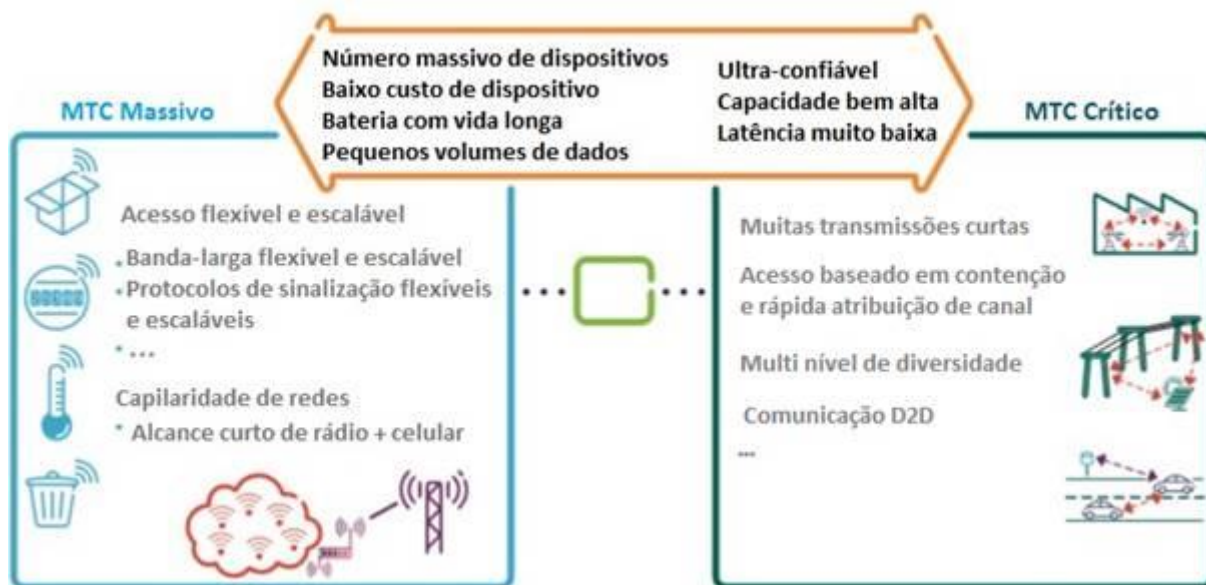
O 5G envolve comunicação *wireless* com aplicações para humanos como a tecnologia móvel, banda-larga móvel e entrega de mídia, porém a maior parte das inovações serão dedicadas para a comunicação entre dispositivos. Esta aplicação recebe o nome de *Machine Type Communications* (MTC), sendo dividido em duas categorias, MTC Massivo e MTC Crítico (Ericsson, 2015).

O MTC Massivo tem um baixo custo e baixo consumo de energia, o que torna a vida útil da bateria mais longa. Ele corresponde aos aplicativos que alcançam um grande número de dispositivos, tendo normalmente uma quantidade de dados gerada por dispositivo muito baixa, portanto a baixa latência não é uma requisição crítica. Estes aparelhos são conectados através de redes alternativas, fornecidas por alguns RATs como *Wi-fi* ou *Bluetooth*. A conectividade fora do alcance dessas redes é fornecida pela rede móvel via nó de *gateway*.

Já o MTC crítico requer aplicações de alta confiabilidade e capacidade de conectividade *wireless*, pois corresponde a aplicativos de controle e segurança de tráfego, controle de infraestrutura crítica e conectividade *wireless* para processos industriais. O MTC crítico não

se encontra problemas com as requisições de baixo custo de dispositivo e consumo de energia, possui diferentes tipos de aplicações que usam o mesmo tipo de tecnologia de acesso wireless dentro do mesmo espectro, o que faz evitar a fragmentação do espectro e permite aos operadores oferecerem novos serviços sem a separação da rede (ERICSSON, 2015). A figura 45 mostra o MTC.

Figura 45 - MTC Massivo e MTC Crítico



Fonte: Ericsson (2015)

4.5.2 *Frequency Division Duplex Time Division Duplex*

O *frequency division duplex* (FDD) será usado no esquema de duplexação para baixas frequências, enquanto o *time division duplex* (TDD) será usado em altas frequências, especialmente acima dos 10 GHz. O TDD é importante em ambientes com tráfego com variações dinâmicas dentro de um ambiente com desenvolvimento denso, pois devido aos recursos de tarefas atribuídas pelos *times slots*, permitem uma utilização mais eficiente do espectro disponível com uma duplexação flexível. O 5G deve permitir a tarefa de dinamismo e flexibilidade dos recursos de transmissão do TDD (ERICSSON, 2015).

A comunicação *device to device* (D2D) deve aumentar a capacidade e a eficiência da rede de acesso wireless, porque utilizam os dispositivos móveis como forma de ampliação da cobertura da rede. O D2D deve estar abaixo do controle de rede a fim de evitar interferências não controladas, sendo especialmente importante no caso de comunicação em espectro licenciado (ERICSSON, 2015).

4.6 NOVA ARQUITETURA 5G

O 5G representa o sistema de telecomunicações completo com o núcleo de rede, *backhaul*, gerenciamento, suporte para a convergência das redes wireless 4G e a eficiência de aplicações de entrega fim a fim. O seu objetivo é fornecer uma nova rede de acesso à rádio com alta capacidade, baixa latência e energia eficiente para o grande número de dispositivos e aplicações.

Com o aumento da densidade das redes de rádio, as redes macro terão que sustentar uma grande quantidade de dispositivos com velocidade alta, o que resultará na diminuição do tamanho das células, gerando o desenvolvimento de células menores com extensões de cobertura desiguais.

O gerenciamento dinâmico é uma solução para o problema de o núcleo da rede ter que suportar a capacidade dinâmica da célula e as mudanças de atividade frequentes, pois ele vai manter a configuração da célula trabalhando paralelamente ao plano de controle do usuário. O *backhaul* é responsável por manter o controle de conectividade do assinante minimizando a desconexão do serviço, neste tipo de serviço.

O 5G exigirá múltiplos pontos de presença para as plataformas de aplicação e internet, portanto, as integrações com redes de satélites devem ser consideradas pois elas conectam áreas remotas como embarcações e aviões, podendo ser usadas e compartilhadas para *backhaul* e extensões de rede wireless em ambientes densos (MAGEDANZ, 2014).

O custo deve ser menor para áreas afastadas onde não houve comunicação com a internet móvel por causa das restrições do local, para que isso ocorra, será necessário a diminuição do pico de taxa de dados alterando as características de modulação, para que no horário de pico, a comunicação da rede possa ser dividida entre os usuários. A conexão deve ser acessível em qualquer lugar, mas somente em áreas onde a densidade de pessoas é maior que se atingirá altíssimos níveis de velocidade (HATTACHI, 2015).

O *Next Generation Mobile Networks* (NGMN) estruturou a arquitetura para o 5G separando o software do hardware, onde esta seria responsável por gerenciar o sistema todo e, sua programação é do tipo SDN e NFV.

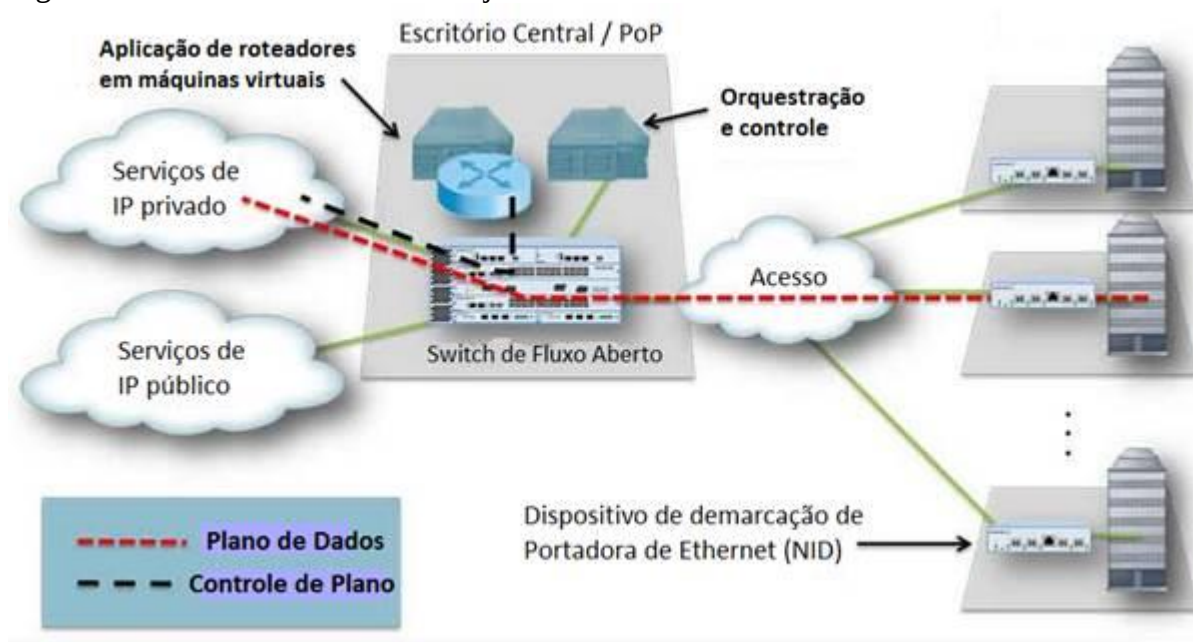
O *software defined networking* (SDN) foi criado através da experiência com novos protocolos e a cada procedimento novo, exigia-se que o *software* dos dispositivos fosse mudado, levando-se a ideia de criar uma rede de dispositivos programáveis através de uma central de dados que é composta por vários *vswitchs* com a razão de 50:1 em relação a cada

switch físico, onde na sobreposição da rede os dados são encapsulados em pacotes pelos múltiplos *vswitchs* e o controle de rede é o responsável pela comunicação com o protocolo *open network foundation* (ONF).

O *network functions virtualization* (NFV) foi criado com o intuito de aumentar a velocidade de desenvolvimento dos serviços de redes. O NFV pode ser usado sem o SDN, seu funcionamento nesse modo seria a partir das técnicas usadas pelos *data centers*, porém operando juntos, os servidores e switches melhoram a performance, operação, gerenciamento e simplifica a compatibilidade entre os desenvolvimentos existentes.

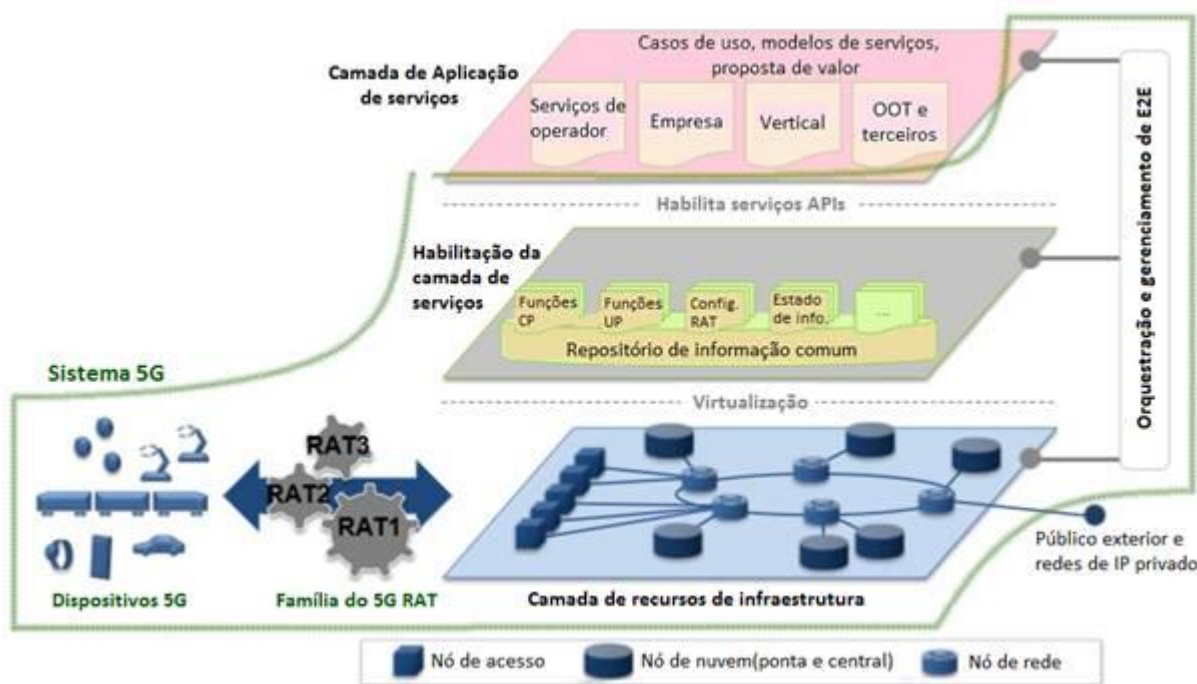
A operação dos dois ao mesmo tempo permite a utilização de hardware genérico com o uso de software avançado, onde o controle do plano de dados é movido para uma plataforma dedicada como o *data center* e, dessa forma, o plano de dados é simplificado, permitindo que os aplicativos de rede evoluam sem a necessidade de evolução dos dispositivos de rede (DIAS,2016). A Figura 46 mostra o NFV e SND trabalhando juntos e a Figura 47 mostra a arquitetura do 5G.

Figura 46 - NFV e SDN trabalhando juntos



Fonte: Dias (2016)

Figura 47 - Arquitetura 5G



Fonte: Hattachi (2015)

A camada da infraestrutura é basicamente composta pelos nós de rede e em nuvem, links associados e equipamentos do 5G como telefones e cabamentos, os dispositivos devem ter a capacidade de múltipla configuração fazendo a retransmissão dos sinais e podendo até armazenar recursos, por isso o dispositivo é considerado como parte da infraestrutura de recursos.

O *application programme interface* (API) é o responsável pelo monitoramento, configuração, garantia de performance e exibição de recursos para camadas mais altas e gerenciamento de E2E e sintonia.

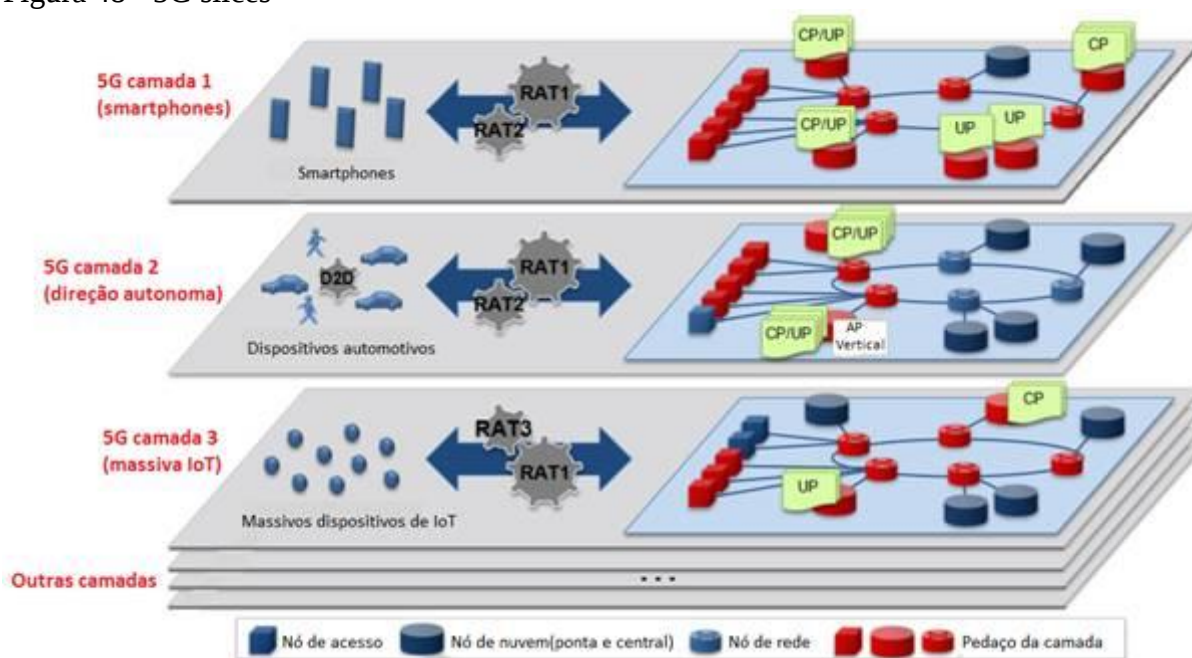
A camada de habilitação de recursos funciona na forma de blocos e apresenta diferentes níveis de desempenho. Ela pode ser considerada uma biblioteca de funções que permite que a rede seja diferenciada de acordo com a necessidade. Os APIs são os responsáveis pelas requisições exigidas pela entidade de sintonia para as funções e capacidades.

A camada da aplicação é a que contém serviços específicos e aplicações para o operador, possui a interface do gerenciamento de E2E e a entidade de sintonia, permitindo a construção de uma rede dedicada de repartições para uma aplicação ou para mapear a aplicação. O gerenciamento E2E e a entidade de sintonia são pontos de contato para distinção dos casos de uso e modelo de serviços dentro das funções da rede ou de suas repartições além de serem responsáveis pelo gerenciamento das funções e distribuições geográficas.

4.6.1 5G slice

O 5G *slice* é como é chamada a repartição da rede que é responsável por manter o serviço C/U-Plane com um tipo de conexão particular e caminho específico. Ele pode alcançar todos os domínios da rede, porém nem todas as repartições contem as mesmas funções e em alguns casos faltam algumas funções que são essenciais para a rede móvel nas repartições, será fornecido apenas os serviços exigidos por cada pedaço, evitando funções desnecessárias. Ele só será capaz de realizar isso devido a sua flexibilidade em expandir os serviços existentes e criar novos (HATTACHI, 2015). A figura 48 mostra o 5G *slices*.

Figura 48 - 5G slices



Fonte: Hattachi (2015)

Os múltiplos 5G operando na mesma infraestrutura exigirá um numero suficiente de interfaces bem definidas para o seu devido funcionamento. A maioria das redes atuais são proprietárias e precisam ser de livre acesso para facilitar o compartilhamento de recursos e funções entre as fatias de rede. Será necessário um balanceamento entre as diferentes funções e as implementações nas repartições de rede para que a granularidade na definição das funções conseguir fornecer flexibilidade (HATTACHI,2015).

4.7 O BRASIL NO 5G

As operadoras Vivo e Claro começaram a se preparar para trazer o 5G para o Brasil. Ambas estão trabalhando em parceria com a Ericsson nos primeiros testes com a tecnologia.

A primeira demonstração foi feita pela Claro durante a *Futurecom* 2016, em São Paulo. A Ericsson vem trabalhando com a *America Movil* e mantém parcerias com universidades brasileiros visando o desenvolvimento do 5G no país.

A Vivo utilizando a própria infraestrutura na região de São Paulo, afirma ter atingido a velocidade de mais de 530Mbps.

A Anatel, o Ministério da Ciência e Tecnologia, Inovação e Comunicações juntamente com representantes da indústria de telecomunicações lançaram o projeto 5G Brasil. O projeto visa a construção do ecossistema do 5G no Brasil visando seu desenvolvimento e integração do IoT. O projeto credenciado permite ao Brasil participar de discussões internacionais para a definição de critérios para implantação do 5G no mundo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para chegar ao estágio atual das redes foram necessárias varias etapas de desenvolvimento. Inicialmente, os aparelhos celulares e as experiências que os usuários tinham em nada lembram aos atuais *smartphones* e suas funcionalidades.

As duas primeiras gerações de aparelhos celulares se resumiam a serviços de voz e SMS e, era baseado na comutação por circuitos. A terceira geração introduziu os serviços de dados, o que permitiu uma grande mudança no perfil do usuário, que passou a se importar mais com o novo serviço do que com os anteriores, resultando na mudança para a comutação por pacotes para a transmissão de dados.

Já a quarta geração trouxe taxas de velocidades mais altas, introduziu a utilização da fibra óptica na rede de distribuição de sinais, propiciando aos usuários trocas de mensagens e utilização ativa de aplicativos de diversos tipos, diminuindo drasticamente a utilização dos serviços de voz e SMS das duas primeiras gerações.

Por sua vez, a quinta geração promete trazer taxas de velocidade mais altas ainda, permitindo ao usuário trocas de informações quase que instantâneas, acesso a informações a todo o momento com a interligação massiva de diversos aparelhos na rede, desenvolvimento do IoT, e comunicação massiva de E2E.

As redes de quinta geração trará experiências e benefícios muito grandes para os usuários, inclusive com o objetivo de baratear o custo para o assinante do serviço e melhoria na duração da bateria do aparelho, porém ainda é um caminho longo a ser percorrido. As redes atuais brasileiras estão se preparando para expandir o 4G e atingir o 4,5G liberando de vez a faixa de frequência de 700 MHz.

O padrão *LTE Advanced* é utilizado em 69 países e apresenta bons resultados relacionados a custos e taxas de dados.

O 5G já é uma realidade, e alguns países já iniciaram os testes, tendo seu padrão definido e diversas reuniões de debates para seu desenvolvimento, as perspectivas são que logo os primeiros países conseguirão ter a internet 5G funcionando, ampliando drasticamente as funcionalidades das redes atuais.

O futuro da rede 5G será guiado pelo aumento na qualidade de vídeos e streamings, alta densidade de dados sendo trocados, desenvolvimento do IoT, comunicação E2E, alta taxas de transferência de dados, cobertura maior e redução dos custos para o usuário final.

Esses objetivos só serão alcançados se houver uma maior eficiência nas técnicas multi-usuários, desenvolvimento da nova arquitetura, aprimoramento das técnicas de MIMO e MTC e evolução na multiplexação visando suprir a diminuição dos erros são de fundamental importância além do desenvolvimento e descobertas de novas técnicas.

REFERÊNCIAS

ALECRIM, Emerson. **Tecnologias 3G e 4G: CDMA-2000, UMTS, HSPA, HSPA+ E LTE**. Disponível em: <<http://www.infowester.com/3g4g.php>>. Acesso em: 5 out. 2016.

ALMEIDA, Marco. **Introdução ao LTE: long term evolution**, 2013. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/default.asp>>. Acesso em 20 abr. 2017.

AUTRAN, Felipe. **Vivo e Claro já trabalham para trazer o 5g para o Brasil**, 2016. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/5g/110690-vivo-claro-trabalham-trazer-5g-para-o-brasil.htm>>. Acesso em: 10 out. 2017.

BARROS, Thiago. **Internet completa 44 anos: relembre a história da web**, 2013. Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2013/04/internet-completa-44-anos-relembre-historia-da-web.html>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Nossa História**. Disponível em: <<https://www.rnp.br/institucional/nossa-historia>>. Acesso em: 05 jul. 2016.

CAMBOIM, Vinicius C. **TV Digital II: conceitos e sistemas**, 2011. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtvdconsis2/pagina_4.asp>. Acesso em: 5 abr. 2017.

CLEMENTE, Douglas. **Rede GSM I: caracterização de ambiente celular**, 2010. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialalambcel1/pagina_3.asp>. Acesso em: 10 set. 2016.

DIAS, Pedro. **5G I: a nova geração da rede celular**, 2016. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g/default.asp>>. Acesso em: 6 nov. 2017.

DIAS, Pedro. **5G II: a nova geração da rede celular**, 2016. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g/default.asp>>. Acesso em: 6 nov. 2017.

ERICSSON. **5G radio access**, 2015. Disponível em: <<http://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp-5g.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

FONTANA, Claudison. **Gerenciamento de projetos I: estudo de caso em projeto de swap em empresa de telecomunicações**, 2014. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgerswap1/pagina_4.asp>. Acesso em: 25 de jul. 2016.

GODOY, Gabriela. **O 5G está chegando: o que isso muda em nossas vidas?** 2017. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/telecom/o-5g-esta-chegando-o-que-isso-muda-em-nossas-vidas-103118/>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

GODOY, Gabriela. **O 5g está chegando: o que isso muda em nossas vidas?**, 2017. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/telecom/o-5g-esta-chegando-o-que-isso-muda-em-nossas-vidas-103118/>>. Acesso em 10 nov. 2017.

GUEDES, Luís C. S; VASCONCELOS, Renan R. **UMTS, HSPA e LTE**. 2009. Trabalho Final de Redes de Computadores I. UFRJ. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/09_1/versao-final/umts/lte.html>. Acesso em 7 abr. 2017.

HAMANN, Renan. **Como funcionam as redes 4G?** 2013. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/4g/40528-como-funcionam-as-redes-4g-ilustracao-.htm>>. acesso em 15 abr. 2017.

HATTACHI, R. E.; ERFANIAN, J. **NGMN 5G White Paper Next Generation Mobile Network**, 2015. Disponível em: <https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2017.

HIGA, Paulo. **Por que o 5G vai mudar sua vida(mesmo que você ainda não tenha nem 4G)**, 2016. Disponível em: < <https://tecnoblog.net/192393/5g-vai-mudar-sua-vida/>> . Acesso em 20 jun. 2017.

HUAWEI. **5G: A technology vision**, 2013. Disponível em: <<http://www.huawei.com/5gwhitepaper/>>. Acesso em 10 nov. 2017.

HUAWEI. **Huawei and Docomo: collaboration succeeds with world's first large-scale field trial of 5g new radio access technology**, 2015. Disponível em: <<http://www.huawei.com/en/news/2015/09/Huawei%20and%20DOCOMO%20Collaboration>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

HUAWEI. **5G New air interface and radio access virtualization**, 2015. Disponível em: <http://www.huawei.com/minisite/has2015/img/5g_radio_whitepaper.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2017.

JORDÃO, Fábio. **HISTÓRIA: A EVOLUÇÃO DO CELULAR**, 2009. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/celular/2140-historia-a-evolucao-do-celular.htm>>. Acesso em 10 jul 2016.

JUE, G.; SHIN, S. **Keysight technologies implementing a flexible testbed for 5G waveform generation and analysis**, 2015. Disponível em: <www.keysight.com/find/5G-Insight>. Acesso em: 10 nov. 2017.

KASPARICK, M. et al. **Bi-orthogonal waveforms for 5g: random access with short message support**, 2014. Disponível em: <http://www.5gnow.eu/wp-content/uploads/2015/04/paperew14_5GNOW.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2017.

KLEINA, Nilton. **O 5g vem aí: veja as mudanças, novas velocidades e tudo sobre a tecnologia**, 2016. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/5g/106782-5g-vem-ai-veja-mudancas-novas-velocidades-tudo-tecnologia.htm>>. Acesso em 10 out. 2017.

KLEINA, Nilton. **Teste do 5g no Japão alcança 3,6 gbps em condições reais**, 2015. Acesso em: <<https://www.tecmundo.com.br/5g/87862-teste-5g-japao-alcanca-3-6-gbps-condicoes-reais.htm>>. Acesso em 20 de julho de 2017.

MALBURG, Maria Moura. **Modulação**. 2004. Trabalho final de Redes I. UFRJ. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/04_2/Modulacao/index.html#Topic2>. Acesso em 7 abr. 2017.

MAGEDANZ, T. et al. **Towards the 5g environment making research steps with meaningful results**, 2014. Disponível em: <http://www.open5gcore.net/files/FOKUS_5G_Meaningful_Research_Whitepaper.pdf>. Acesso em 10 nov. 2017

MENDES SANTOS, Gustavo. **Soluções para voz em LTE**. 2014. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialltevoz2/pagina_1.asp> Acesso em 27 mar. 2017.

MULLER, Leonardo. **Internet 5g: novo padrão deve alcançar velocidade de até 20 gbps**, 2015. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/5g/81828-internet-5g-novo-padrao-deve-alcancar-velocidade-20-gbps.htm>>. Acesso em 20 jul. 2017

NOHRBORG, Magdalena. **LTE**. 2015. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>>. Acesso em 27 abr. 2017.

PAYAO, Felipe. **MCTI e ANATEL começam projeto para implementar 5g no Brasil**. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/5g/114556-mcti-anatel-comecam-projeto-implementar-5g-brasil.htm>>. Acesso em 13 out. 2017.

PIMENTA, Breno. **Simulação de alternativas de alocação de recursos rádio no sistema GSM/GSPR**, 2006. <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgprsaloc/pagina_3.asp>. Acesso em 15 set. 2016.

PIRES, Edson. **Redes LTE I: comparação entre os modelos de predição Okumura Hata e ITU-R**, 2012. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeslte/default.asp>> . Acesso em 20 maio 2017.

POOLE, Ivan. **Planejamento de cobertura e capacidade de redes de acesso em banda larga com tecnologia LTE**, 2017. Disponível em: <<http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/voice-over-lte-volte.php>>. Acesso em 15 maio 2017.

SANTOS, Diego dos . 2010. 91 f. Dissertação de mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp145349.pdf>>. Acesso em 15 maio 2016.

SANTOS, R. L. **Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS**, 2008. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/ricardo/4.html>. Acesso em: 10 nov. de 2017.

SOARES, Marilson. **Seção: telefonia celular**, 2003. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialedge/pagina_2.asp>. Acesso em 15 set. 2016.

TELECO. **4G:** tecnologias de celular, 2017. Disponível em:
<http://www.teleco.com.br/4g_tecnologia.asp>. Acesso em 10 jul. 2017.

TELECO. **5G:**tecnologias de celular, 2017. Disponível em:
<http://www.teleco.com.br/5g_tecnologia.asp>. Acesso em 15 out. 2017.

TELECO. **LTE:** A evolução das redes 3G, 2009. Disponível em:
<<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriallte/default.asp>>. Acesso em 15 abr. 2017.

TELECO. **Cobertura 3g**, 2016. Disponível em:
<http://www.teleco.com.br/3g_cobertura.asp>. Acesso em 10 out. 2016.

TELECO. **LTE:** solução OFDMA otimizada para espectro com maior largura de banda, 2014. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialofdma/default.asp>>. Acesso em 27 abr. 2017.

TELECO. **WiMAX tecnologia**, 2008. Disponível em:
<http://www.teleco.com.br/wimax_tecnologia.asp>. Acesso em 10 abr. 2017.

TUDE, Eduardo. **Seção:** tutoriais telefonia celular, 2003. Disponível em:
<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcdma/pagina_1.asp>. Acesso em 30 jul. 2016.

TUDE, Eduardo. **Seção:** tutoriais telefonia celular, 2004. Disponível em:
<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwcdma/pagina_3.asp>. Acesso em 5 out. 2016.

TUDE, Eduardo. **Tutorial:** TDMA, 2003. Disponível em:
<<http://www.teleco.com.br/pdfs/tutorialtdma.pdf>>. Acesso em 30 jul. 2016.

TRIGGS, Roger. **What is LTE advanced?**, 2017. Disponível em:
<<https://www.androidauthority.com/lte-advanced-176714/>>. Acesso em 10 jul. 2017.

WANNSTROM, Jeannette. **LTE-Advanced**, 2013. Disponível em:
<<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>> . Acesso em 10 jul. 2017.

WUNDER, G. et al. **5G now:** challenging the lte design paradigms of orthogonality and synchronicity, 2012. Disponível em: <<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1212/1212.4034.pdf>>. Acesso em 10 nov. 2017.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

FIRMIN, Frédéric. **The evolved packet core**, 2017. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/100-the-evolved-packet-core>>. Acesso em 10 nov. 2017.

HABAEBI, Mohamed. **Comparison between scheduling techniques in long term evolution**, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/281434959_Comparison_between_Scheduling_Techniques_in_Long_Term_Evolution>. Acesso em 10 set. 2016.

HAZRA, Rohit. **Dido i mu-mimo is it same?**, 2012. Disponível em: <http://technopits.blogspot.com.br/2012/05/dido-mu-mimo-is-it-same-or-is-it-not_03.html>. Acesso em 15 out. 2016.

HIGA, Paulo. **Porque o 5g vai mudar sua vida**, 2015. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/192393/5g-vai-mudar-sua-vida/>>. Acesso em 10 nov. 2017.

IFSC. **Rádio Digital DAB**, 2006. Disponível em: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/R%C3%A1dio_Digital_DAB>. Acesso em 15 set. 2016.

MOONEY, Janine. **Pushing 802.11n wi-fi technology so it can deliver simultaneous streams**, 2012. Disponível em: <<https://www.wirelessdesignmag.com/blog/2012/02/pushing-80211n-wi-fi-technology-so-it-can-deliver-multiple-simultaneous-streams>>. Acesso em 10 out. 2016.

PEREIRA, Alexandre Cesar et al. **Tecnologia PLC I: alternativa para o plano nacional de banda larga**. 2011. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialplcalt1/pagina_4.asp>. Acesso em 17 set. 2016.

REIS, Rafael. **4G-LTE/LTE-A: coursework for computer networks II**, 2014. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2014_2/rafaelreis/ofdma_scdma.html>. Acesso em 15 out. 2016.

RNP. **Histórico das redes de computadores**, 2015. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/335825/>>. Acesso em 05 jul. 2016.

ROHDE & SCHWARTZ. **UMTS long term evolution (LTE): technology introduction** Rohde & Schwarz, 2009. 55 p. Disponível em: <http://www2.rohde-schwarz.com/file/1MA111_2E.pdf>. Acesso em 15 abr. 2017.

WALKER, Stephen. **ARPA network development**. Washington: 1978. III-79 p. III-89 p.