

Universidade Federal Fluminense
Escola de Engenharia
Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações

Isabelle Pardo Garcia Morelli

Lillian Carvalho De Jesus

Teoria e Estudo de Caso de Sistemas LTE-Advanced

Niterói – RJ

2017

ISABELLE PARDO GARCIA MORELLI

LILLIAN CARVALHO DE JESUS

TEORIA E ESTUDO DE CASO DE SISTEMAS LTE-ADVANCED

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Telecomunicações.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Tadeu Nagashima Ferreira

Niterói – RJ

2017

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e do Instituto de Computação da UFF

M842 Morelli, Isabelle Pardo Garcia
Teoria e estudo de caso de sistemas *LTE-Advanced* / Isabelle
Pardo Garcia Morelli, Lillian Carvalho de Jesus. – Niterói,. RJ :
[s.n.], 2017.
65 f.

Projeto Final (Bacharelado em Engenharia de
Telecomunicações) – Universidade Federal Fluminense, 2017.
Orientador: Tadeu Nagashima Ferreira.

1. Sistema de comunicação móvel. 2. Telefonia celular. 3.
Tecnologia 4,5G. I. Jesus, Lillian Carvalho de. II. Título.

CDD 621.38456

ISABELLE PARDO GARCIA MORELLI
LILLIAN CARVALHO DE JESUS

TEORIA E ESTUDO DE CASO DE SISTEMAS LTE-ADVANCED

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Telecomunicações.

Aprovada em 12 de Julho de 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. PEDRO V. GONZALEZ CASTELLANOS
UFF – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. RICARDO CAMPANHA CARRANO
UFF – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. TADEU NAGASHIMA FERREIRA (Orientador)
UFF – Universidade Federal Fluminense

Às nossas famílias e a todos aqueles que se tornaram especiais por fazerem parte desta longa jornada.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus por me dar forças para realizar esse trabalho.

Agradeço a minha mãe Marissol por me incentivar a nunca desistir dos meus sonhos e sempre persistir. Ao meu pai José Carlos por me inspirar desde pequena sobre as grandezas da engenharia. A minha irmã Camila que sempre me apoiou nos momentos difíceis e acreditou em mim. A minha avó Leda que sempre rezou por mim desde antes de entrar na faculdade. A todos familiares que estiveram comigo nessa jornada desafiadora.

Ao Bernardo que apesar das turbulências da vida esteve ao meu lado durante toda a faculdade.

Aos amigos incríveis e inesquecíveis que essa jornada me proporcionou e meu muito obrigada pela compreensão nos meus momentos de ausência.

À Lillian Carvalho pela grande amizade desde o primeiro dia de faculdade e todo o companheirismo e dedicação para tornar esse trabalho possível.

Aos professores por proporcionar minha formação profissional e pessoal. Em especial ao professor orientador, Tadeu Ferreira pela oportunidade e apoio na elaboração deste trabalho.

Isabelle Pardo Garcia Morelli

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus, pois graças à Ele tive forças para nunca desistir de ir atrás dos meus objetivos.

Agradeço aos meus pais, Jacqueline e Pedro Paulo, que tanto se dedicam para que eu conquiste os meus sonhos. À minha irmã, Patricia, que nunca deixou de me incentivar com sua forma única. À minha avó Marisa, minha “Voti”, que mesmo sem ter ideia do quanto está difícil diz que eu conseguirei. Aos demais familiares que sempre torcem por mim.

Ao Allan, meu namorado e melhor amigo, por sempre me apoiar e incentivar, com paciência e muito amor.

Aos amigos da UFF, que nestes anos de convívio diário se mostraram incríveis, principalmente nos momentos mais difíceis, onde ajudam a diminuir o peso da responsabilidade que nos colocamos. Em especial, agradeço à Fátima, Nathalia, Vitor, Amanda, Thaís e Milena.

À Isabelle Morelli, amiga desde os primeiros dias de UFF, pela grande parceria na realização deste trabalho e no decorrer de todo o curso.

À todos os professores que contribuíram na minha formação. Em especial, agradeço ao professor orientador deste trabalho, Tadeu Ferreira, por participar deste momento de grande crescimento profissional.

Lillian Carvalho de Jesus

Resumo

Nos dias atuais a demanda insaciável pelo aumento de banda para Internet móvel e a necessidade de velocidades para transmitir dados cada vez mais rápida e com melhor qualidade de serviço se tornou um grande desafio para os profissionais de Engenharia de Telecomunicações. O avanço de novas tecnologias visam aperfeiçoar as experiências dos usuários atuais e preparar o caminhos para futuras inovações. No momento, a mais próxima inovação é o 5G, porém esta ainda encontra-se em fase de testes. Portanto, a tecnologia que já está sendo utilizada em boa parte do mundo para suprir a alta demanda dos usuários é o *LTE-Advanced* (LTE-A), também conhecido como 4,5G. Este trabalho tem como base dois estudos de casos de locais onde já houve a implementação da tecnologia LTE-A. Será feito um estudo sobre as características de cada um desses casos abordados, e, com isso, será realizada uma análise comparativa, considerando tanto questões técnicas como as características de mercado de cada caso. Além disso, será considerado o caso do Brasil e seus avanços nessa nova tecnologia.

Palavras-chave: *LTE-Advanced*, 4,5G, Telefonia Móvel, Sistemas de Comunicações.

Abstract

Nowadays, the increasing desire for real time applications requires more bandwidth and speed which demands more quality for that services. That scenario is one of the biggest challenges for a telecommunication engineer. The progress of new technologies results in the need to enhance the user experience and to prepare the road for new innovations. At the moment, the next step is 5G but it is still in trial. For that reason, the technology used worldwide is LTE-Advanced (LTE-A) also known as 4.5G. This study is based on two cases of LTE-A networks that have been deployed. The main objectives are describe the features used in the technology and to compare technical and market characteristics between the two cases. Moreover, it will be considered the development of Brazil in this new technology.

Keywords: LTE-A, 4,5G, Mobile Telephony, Communication system

Lista de abreviaturas e siglas

3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i>
5G	Quinta Geração de internet móvel
Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
ATBC	<i>Aggregated Transmission Bandwidth Configuration</i>
AWS	<i>Advanced Wireless Services</i>
CA	<i>Carrier Aggregation</i>
CC	<i>Component Carrier</i>
CoMP	<i>Coordinated Multi- Point</i>
DFTS	<i>Defence Fixed Telecommunications Service</i>
DL	<i>Downlink</i>
EDGE	<i>Enhanced Data rates for Global Evolution</i>
ERB	Estação Rádio Base
E-UTRA	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GPS	Global Position System
GSA	<i>Global mobile Suppliers Association</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HSDPA	<i>High Speed downlink Packet Access</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
HSPA+	<i>Evolved High Speed Packet Access</i>
HSUPA	<i>High Speed uplink Packet Access</i>
IMT	<i>International Mobile Telecommunications</i>
IMT-A	<i>International Mobile Telecommunications-Advanced</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
LTE-A	<i>Long Term Evolution Advanced</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MBSFN	<i>Multicast-broadcast single-frequency network</i>

MIMO	<i>Multiple-Input Multiple-Output</i>
MSR	<i>Multi-standard Radio</i>
NAS	<i>Non Access Stratum</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
PCC	<i>Primary Component Carrier</i>
PCS	<i>Personal Communications Service</i>
PSC	<i>Primary Serving Cell</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
RN	<i>Relay Node</i>
RRC	<i>Radio Resource Control</i>
SAE	<i>System Architecture Evolution</i>
SCC	<i>Secondary component Carrier</i>
SON	<i>Self Organizing Networks</i>
SSC	<i>Secondary Serving Cell</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TD-SCDMA	<i>Time Division Synchronous Code Division Multiple Access</i>
UE	<i>User Equipment</i>
UL	<i>Uplink</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications Service</i>
VoLTE	<i>Voice over LTE</i>
W-CDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
W-CDMA FDD	<i>Wideband Code Division Multiple Access Frequency Division Duplex</i>
W-CDMA TDD	<i>Wideband Code Division Multiple Access Time Division Duplex</i>

Lista de ilustrações

Figura 2.1: Alternativa de agregação Intra e Inter bandas.....	22
Figura 2.2: Células de serviço primário e secundário.....	24
Figura 2.3: Sistema MIMO com $m \times n$	25
Figura 2.4: Recomendação de MIMO para relação sinal ruído alta e baixa	26
Figura 2.5: Uso de nós de retransmissão para aumentar a densidade da rede	28
Figura 3.1: Países com serviço de LTE-Advanced.....	29
Figura 3.2: Velocidades da rede LTE-Advanced.....	31
Figura 3.3: Porcentagem alcançada pelo número de portadoras agregadas	32
Figura 3.4: Total de banda agregada devido a Agregação de portadoras.....	33
Figura 3.5: Velocidade máxima de downlink em redes LTE-Advanced e LTE-A Pro	33
Figura 3.6: Redes comerciais do LTE-Advanced por região	34
Figura 4.1: Distribuição do espectro na faixa de 700 MHz dos EUA	38
Figura 4.2: Cobertura Nacional da Verizon	40
Figura 4.3: Cobertura nacional da AT & T	43
Figura 4.4: Evolução do LTE para o LTE-A no Brasil.....	45
Figura 5.1: Disponibilidade para rede 4G	50
Figura 5.2: Velocidade de download para rede 4G	51
Figura 5.3: Latência para rede 4G.....	52

Lista de tabelas

Tabela 2.1: Evolução da Tecnologias Digitais.....	17
Tabela 2.2: Evolução das redes móveis.....	18
Tabela 2.3: Características dos padrões IMT para o LTE, o LTE e o LTE-A.....	19
Tabela 2.4: Evolução do LTE	20
Tabela 2.5: Classificação de classes da Agregação de Portadoras.....	22
Tabela 2.6: Configuração de Agregação de Portadoras na versão 10 do LTE	23
Tabela 3.1: Características sobre as categorias dos dispositivos	30
Tabela 3.2: Status das operadoras brasileiras sobre LTE-A	35
Tabela 4.1: Resumo da posição das operadoras dos Estados Unidos	37
Tabela 5.1: Resultado Nacional Americano de testes realizados pela PCMag.....	49
Tabela 5.2: Comparativo nacional entre OpenSignal e PCMag	52
Tabela 5.3: Resultados Regionais do PCMag para os EUA.....	54
Tabela 5.4: Resultados dos testes da OpenSignal na rede LTE no Brasil	56
Tabela 5.5: Comparativo entre status para o LTE no Brasil e nos EUA.	57

Sumário

Resumo	vi
Abstract	vii
Lista de abreviaturas e siglas	viii
Lista de ilustrações	x
Lista de tabelas	xi
Introdução	14
1.1. Motivação e objetivos	14
1.2. Organização do trabalho	14
LTE – Advanced	16
2.1. Surgimento do LTE-A.....	16
2.2. Comparativo LTE e LTE-A.....	18
2.3. LTE-A.....	20
2.3.1. Agregação de Portadoras.....	21
2.3.2. MIMO	24
2.3.3. Multiponto Coordenado (CoMP).....	26
2.3.4. Nós de retransmissão	27
Implementações do LTE-A	29
3.1. Cenário mundial	29
3.2. Cenário brasileiro	34
Estudos de caso	36
4.1. Panorama norte-americano.....	36
4.2. Caso 1: Operadora Verizon	38
4.2.1. Sobre a Verizon	38
4.2.2. Tecnologia	39
4.2.2.1. Utilização do espectro.....	39
4.2.3. Cobertura Nacional nos EUA	40
4.3. Caso 2: Operadora AT & T	41
4.3.1. Sobre a AT & T	41
4.3.2. Tecnologia	42
4.3.2.1. Utilização do espectro.....	42
4.3.3. Cobertura Nacional nos EUA	42
4.4. Caso 3: LTE no Brasil	43
Resultados	47

5.1. Dados coletados	47
5.1.1. OpenSignal	47
5.1.2. PCMag	48
5.2. Resultados dos EUA	48
5.2.1. Visão Nacional	49
5.2.2. Visão Regional	53
5.3. Resultados do Brasil	55
Conclusão	58
Referências Bibliográficas	60
ANEXO A – Aparelhos que suportam LTE-Advanced	64

Introdução

Neste capítulo, será feito um breve resumo sobre quais são os objetivos do trabalho e como este encontra-se dividido.

1.1. Motivação e objetivos

Diante da crescente demanda por maiores taxas de dados há uma busca constante por novas tecnologias que acompanhem essas exigências. Dessa forma, é necessário realizar estudos que permitam encontrar novas maneiras de aumentar a eficiência de sua rede, contando que os recursos estão cada vez mais escassos devido à concorrência entre operadoras e funcionalidades.

Este trabalho tem como objetivo apresentar as novas características do LTE-A (*Long Term Evolution Advanced*), quando comparado a sua versão anterior, o LTE (*Long Term Evolution*). Por ser uma tecnologia que apresenta os melhores resultados e já vem sendo implementada para uso comercial, será feito um estudo de caso comparativo entre duas grandes empresas norte americanas, assim como uma visão do cenário brasileiro.

1.2. Organização do trabalho

Esse trabalho está dividido em seis capítulos. Neste primeiro capítulo é feita uma introdução ao tema abordado, como a motivação, o objetivo e uma breve descrição sobre os demais capítulos.

No segundo capítulo será abordada uma visão geral do LTE-A (*Long Term Evolution Advanced*) contendo a motivação para o surgimento da tecnologia, um comparativo com sua versão anterior e suas principais características.

No terceiro capítulo será abordada a implementação do LTE-A no cenário mundial, sendo fornecidos alguns dados de como essa tecnologia se espalhou pelo globo e um quantitativo dos países que já a utilizam. Nesse momento, também será destacado o cenário brasileiro para essa tecnologia.

No quarto capítulo serão apresentados estudos de casos de operadoras que possuem a tecnologia LTE-A implementada, tanto nos Estados Unidos quanto no

Brasil. O enfoque para ambos os casos será em características tanto técnicas, com a utilização de as novas tecnologias utilizadas no LTE-A, quanto de mercado de cada uma das implementações.

No quinto capítulo será feito uma análise comparativa entre as implementações dispostas no capítulo anterior. Nesse momento, serão apresentadas características de rede de forma quantitativa de cada estudo de caso do quarto capítulo. Com o intuito de comparar essas características foram utilizadas as informações disponibilizadas por dois testes distintos, o OpenSignal e o PCMag.

Por fim, no sexto capítulo, serão apresentadas as conclusões do trabalho.

LTE – Advanced

Neste capítulo, serão apresentadas informações sobre a evolução das redes móveis de telefonia até o surgimento do LTE-*Advanced* (LTE-A). Também será feita uma análise sobre o que diferencia as tecnologias LTE e LTE-A. E, por fim, detalham-se as especificações desta nova tecnologia.

2.1. Surgimento do LTE-A

A tecnologia móvel é uma das áreas em telecomunicações que necessita estar em constante evolução. Isso ocorre devido à crescente demanda do tráfego, onde os usuários estão sempre exigindo maior capacidade, velocidade e qualidade na comunicação. Um dos principais motivos do aumento do tráfego de dados são os vídeos em alta definição e o avanço da tecnologia *Internet of Things* (IoT). Este aumento ocorre de forma gradativa, conforme as tecnologias se ajustam para poder atender as novas demandas.

Na Tabela 2.1, são apresentadas as principais características das evoluções das tecnologias móveis, do GSM até o 5G. Iniciando com o padrão 2G, onde só era possível o tráfego de voz, seguindo para o 3G onde é possível trafegar dados e voz e, finalmente, o 4G onde toda a rede é baseada em IP [1].

Tabela 2.1: Evolução da Tecnologias Digitais

Geração	2G			3G			4G			5G
Tecnologia	GSM	GPRS	EDGE	WCDMA (UMTS)	HSPA	HSPA+	LTE	LTE-Advanced	LTE-Advanced Pro	-
Downlink	14,4 Kbps	171,2 Kbps	473,6 Kbps	2,0 Mb/s	7,2 / 14,4 Mb/s	21 / 42 Mb/s	100 Mb/s	1,0 Gb/s	3,0 Gb/s	20 Gb/s
Uplink	-	-	473,6 Kbps	474 Kbps	5,76 Mb/s	7,2 / 11,5 Mb/s	50 Mb/s	0,5 Gb/s	1,5 Gb/s	10 Gb/s
Canalização (MHz)	0,2	0,2	0,2	5	5	5	20	100	640	até 1.000
Latência (ms)	500	500	300	250	~ 70	~ 30	~ 10	~10	<2	<1
Espec. Release	97	97	98	99 e 4	5 e 6	7	8 e 9	10,11, 12	13	14,15 ,16

Nota: Taxas de downlink e uplink máximo teórica

Fonte: Teleco, Abril 2017

O padrão LTE-A surgiu a partir da versão 8 do LTE, passando a ser conhecido como a versão 10 do LTE. Toda essa evolução é descrita na Tabela 2.2 abaixo.

Tabela 2.2: Evolução das redes móveis

Versão	Principais aspectos concluídos	Principais características da versão
Rel- 99	Em Março de 2000	UMTS 3,84 Mcps (W-CDMA FDD & TDD)
Rel-4	Em Março de 2001	1,28 Mcps TDD (TD-SCDMA)
Rel-5	Em Junho de 2002	HSDPA
Rel-6	Em Março de 2005	HSDPA (E-DCH)
Rel-7	Em dezembro de 2007	HSPA+ (64 QAM DL, MIMO, 16QAM UL). Estudo de viabilidade para LTE & SAE
Rel-8	Em dezembro de 2008	Item OFDMA do LTE Item de nova rede core IP do SAE UMTS femtocélulas, duas portadoras HSDPA
Rel-9	Em dezembro de 2009	MSR, duas portadoras HSUPA, duas bandas HSDPA, SON, LTE femtocélulas(HeNB), estudo de viabilidade LTE-A, MBSFN
Rel-10	Em Março de 2011	LTE-A, estudo CoMP quatro portadoras HSDPA
Rel-11	Em Setembro de 2012	CoMP, eDL, MIMO, Eca, MIMO OTA, HSUPA TxD & 64 QAM MIMO, HSDPA 8C & 4X4 MIMO, MB MSR
Rel-12	Em Março de 2013 - estágio 1	Novo tipo de portadora, LTE-Direct, Sistemas de antenas ativas

Fonte: Agilent Technologies, Novembro 2013

2.2. Comparativo LTE e LTE-A

Para enfatizar a importância da tecnologia LTE-A é essencial conhecer as principais diferenças para sua versão anterior. O LTE versão 10 suporta maiores taxas de pico e menor latência que a versão anterior, resultando em uma melhor experiência para o usuário.

Na Tabela 2.3 abaixo fica explícito as principais características do padrão IMT para o LTE e LTE-A.

Tabela 2.3: Características dos padrões IMT para o LTE, o LTE e o LTE-A

Item	Subcategoria	IMT-Adv	LTE v.8	LTE v.10
Eficiência espectral (b/s/Hz)	Downlink	15	16,3	30
	Uplink	6,75	4,32	15
Taxa de dados (Mb/s)	Downlink	1000	300	3000
	Uplink	100	75	1500


Fonte: Agilent Technologies, Novembro 2013

Ao comparar o padrão IMT com o LTE versão 8, a eficiência espectral no *downlink* cumpre as exigências, atingindo uma eficiência de 16,3 b/s/Hz, utilizando o 4x4 MIMO. Já no *uplink*, é possível notar que a eficiência espectral do LTE versão 8, 4,32 b/s/Hz, está abaixo do esperado, que seria 6,75 b/s/Hz. No quesito taxa de dados de *downlink* e *uplink* os valores também se encontram abaixo do esperado para o padrão IMT. No LTE versão 8 a taxa está em torno de 300 Mb/s no *downlink* e 75 Mb/s no *uplink*, enquanto no padrão IMT era esperado uma taxa de 1000 Mb/s no *downlink* e de 100 Mb/s no *uplink*.

Por conta do LTE versão 8 não atingir os valores do padrão IMT surgiu o LTE versão 10, o LTE-A, para suprir essas diferenças. Na versão 10, ocorreram melhorias em todos os aspectos comparados. No quesito eficiência espectral é esperado uma eficiência de 30 b/s/Hz para *downlink*, utilizando 8x8 MIMO, e no *uplink* uma eficiência de 15 b/s/Hz, utilizando 4x4 MIMO. Quanto às taxas de dados para *downlink* e *uplink* espera-se atingir, respectivamente, os valores de 3000 Mb/s e 1500 Mb/s [2].

A Tabela 2.4 resume os dados da evolução do LTE tanto no quesito taxa de transmissão quanto no número de camadas MIMO para cada categoria de usuário.

Tabela 2.4: Evolução do LTE



Categoria UE	Taxa de dados DL / UL (Mbps)	Downlink	Uplink	
		Número max de camadas	Número max de camadas	Suporte para 64QAM
1	10 / 5	1	1	Não
2	50 / 25	2	1	Não
3	100 / 50	2	1	Não
4	150 / 50	2	1	Não
5	300 / 75	4	1	Sim
6	300 / 50	2 ou 4	1 ou 2	Não
7	300 / 100	2 ou 4	1 ou 2	Não
8	3000 / 1500	8	4	Sim

Fonte: Agilent Technologies, Novembro 2013

2.3. LTE-A

A versão 10 do LTE ficou conhecida com *LTE-Advanced*. Essa versão é resultado de melhorias feitas nas versões anteriores, a versão 8 e 9. A versão 10 do LTE foi desenvolvida de forma a satisfazer as condições do *International Mobile Telecommunications-Advanced* (IMT-A), as quais não conseguiram ser supridas com a tecnologia utilizada pelas versões anteriores.

Para a utilização da tecnologia LTE-A é necessário cumprir alguns requisitos básicos, entre eles é preciso uma rede baseada totalmente em IP com largura de banda escalável entre 5 e 20 MHz, podendo suportar taxas de pico para aplicações e serviços de 1 Gb/s para baixa mobilidade.

Além disso, para melhorias na eficiência espectral é desejável a redução da latência. O objetivo é reduzir o tempo de transição do modo *idle* para conectado de 100 ms no LTE, para menos de 50 ms no LTE-A. De forma similar é esperado a redução do tempo da transição de *dormant* para ativo de 50 ms no LTE, para menos de 10 ms no LTE-A [3].

Vale ressaltar que o modo *idle* representa o status do móvel, que após conectado passa a ser reconhecido pela rede e ser capaz de interagir com a mesma. Já o modo *dormant*, representa um status onde a rede está inativa, porém está preparada para receber uma nova solicitação [4].

Cabe ainda ressaltar que no LTE-A a capacidade e a cobertura do sinal podem ser aperfeiçoadas utilizando uma rede heterogênea que é uma coleção de nós de baixa potência incluindo micro células, picocélulas, femtocélulas e relays.

Portanto, com o intuito de atingir as taxas descritas na Tabela 2.3, é preciso utilizar algumas técnicas específicas que aumentem a eficiência do sistema. Entre essas técnicas, as que mais caracterizam o LTE-A são conceitos de agregação de portadoras (*Carrier Aggregation - CA*), multiplexação espacial com uso de *Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)*, uso de multiponto coordenado (*Coordinated Multi-Point – CoMP*) e utilização de nós de retransmissão (*Relay Nodes – RN*) para tornar a rede heterogênea. Essas características serão descritas nos tópicos subsequentes [5].

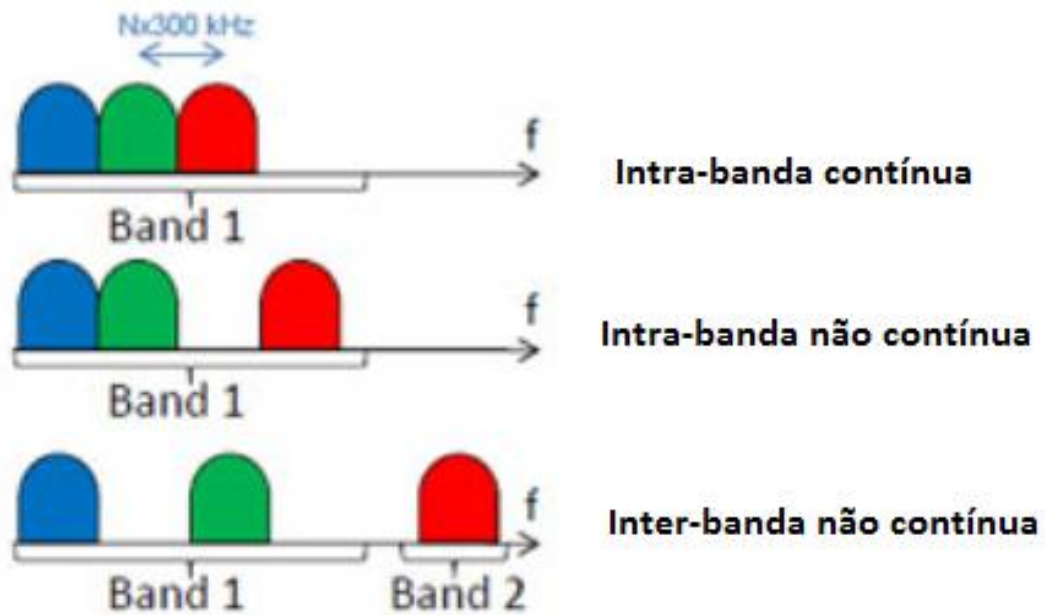
2.3.1. Agregação de Portadoras

A agregação de portadora (CA) é uma técnica utilizada para combinar múltiplas componentes de portadoras LTE dentro do espectro disponível sendo permitida a agregação de portadoras tanto em FDD quanto em TDD.

Cada componente agregada (*Component Carrier - CC*) tem uma banda de 1,4, 3, 5, 10, 15 ou 20 MHz sendo possível apenas a agregação de cinco portadoras já que o máximo de banda agregada é de 100 MHz.

A CA pode ser obtida a partir de três configurações de espectro. A primeira, mais fácil de ser implementada, é o uso contínuo das portadoras dentro de uma mesma frequência de operação chamada de intra-banda contínua. No entanto, essa configuração, na maioria dos casos, não é possível devido à falta de continuidade da faixa alocada para cada operadora. A segunda configuração seria uma alocação não contínua, mas dentro da mesma frequência de operação dado o nome de intra-banda não contínua. Já na terceira configuração tem-se a alocação não contínua e em frequência de operação distintas. A Figura 2.1 abaixo ilustra os três casos citados.

Figura 2.1: Alternativa de agregação Intra e Inter bandas



Fonte: 3GPP [6]

Para utilizar diferentes combinações de CA deve-se seguir especificações das classes de CA, que são divididas em três: A, B e C.

Estas classes são definidas pela configuração de transição de banda agregada (*Aggregated Transmission Bandwidth Configuration - ATBC*), que indica o número total de blocos fisicamente agregados, e o número de CCs, como ilustra a Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Classificação de classes da Agregação de Portadoras

Classe	ATBC	Número de CC
A	$ATBC \leq 100$	1
B	$ATBC \leq 100$	2
C	$100 < ATBC \leq 200$	2

Fonte: 3GPP [6]

Para exemplificar como é descrita tais combinações segue o exemplo. Dado CA_1C significa que está sendo utilizado intra-banda contínua com agregação de portadora em E-UTRA operando na banda 1 e de Classe C. Se fosse CA_1A_5B indica que a Inter-banda CA operando na banda 1 com classe A e na banda 5 com classe B.

Desse modo, segundo a 3GPP [6] são caracterizadas três configurações para a CA na versão 10, dispostas na Tabela 2.6.

Tabela 2.6: Configuração de Agregação de Portadoras na versão 10 do LTE

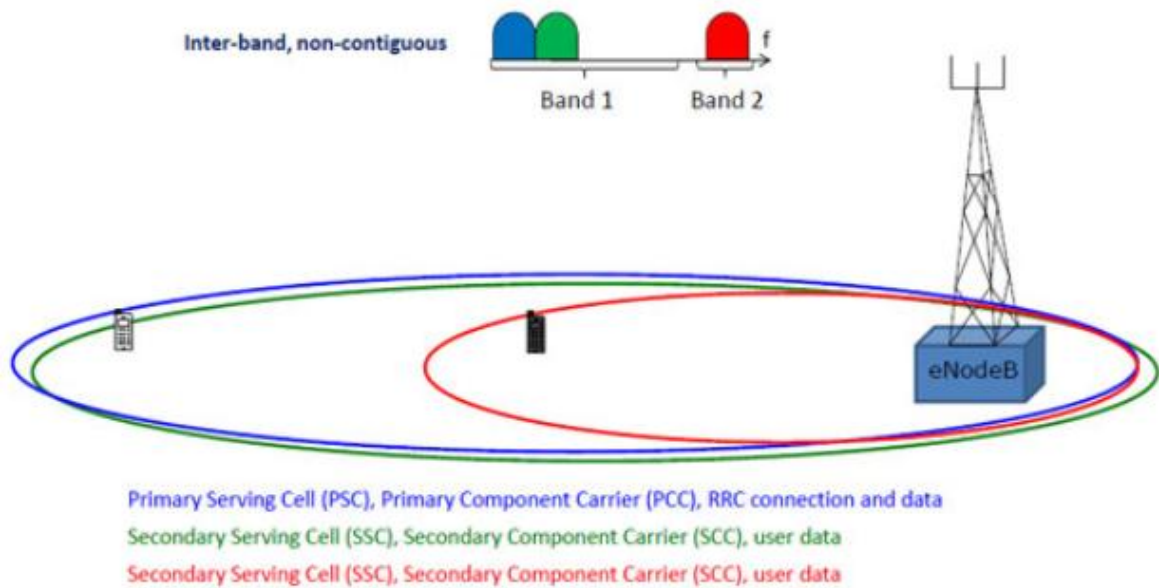
Tipo de CA	Configuração CA	Máximo de banda agregada	Máximo número de CC
Intra-banda contínua FDD	CA_1C	40	2
Intra-banda contínua TDD	CA_40C	40	2
Inter-banda FDD	CA_1A_5A	20	1+1

Fonte: 3GPP [6]

É possível notar na Figura 2.2 que cada componente corresponde a uma área de cobertura da célula. Essas diferentes portadoras podem ser utilizadas para prover áreas de coberturas diferentes devido a diferentes bandas de frequências, que provocam diferentes perdas.

Observa-se também que o usuário preto pode utilizar agregação de três portadoras enquanto que o branco apenas duas pois não se encontra na área de cobertura da portadora vermelha. [6]

Figura 2.2: Células de serviço primário e secundário



Fonte: 3GPP [6]

A conexão *Radio Resource Control* (RRC) só é feita em uma célula, chamada de *Primary Serving Cell* (PSC), servida pela primeira componente da portadora, a *Primary Component Carrier* (PCC), de *downlink* e *uplink*.

No *downlink* do PCC o UE recebe as informações do *Non Access Stratum* (NAS), assim como parâmetros de segurança. No modo *idle*, o UE escuta as informações no DL do PCC. No *uplink* do PCC é enviado o *Physical uplink Control Channel* (PUCCH).

Todas as outras componentes são referidas com *Secondary Component Carrier* (SCC), servindo a *Secondary Serving Cell* (SSC). As SCCs são adicionadas e removidas de acordo com a necessidade enquanto que o PCC somente muda se ocorrer *handover*. [7]

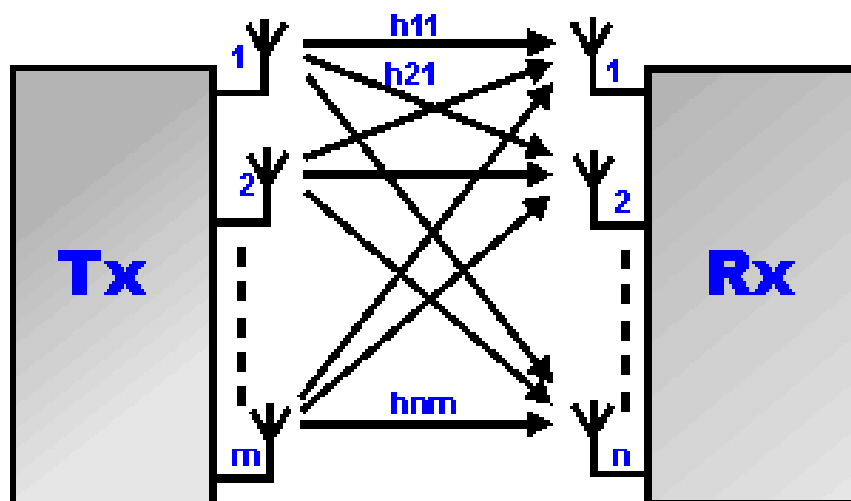
2.3.2. MIMO

Multiple Input Multiple Output (MIMO) é uma tecnologia de comunicação rádio que é utilizada em diversas tecnologias, como LTE, WiFi, LTE-A, etc. Essa tecnologia já estava presente na versão 8 do LTE e a maior diferença para a versão 10 é a introdução de MIMO 8x8 no DL e MIMO 4x4 no UL.

Inicialmente, os sistemas MIMO eram focados na diversidade espacial sendo utilizado para reduzir a degradação causada por múltiplos percursos. No entanto, com a evolução dessa tecnologia foi possível considerar os sinais resultantes do multipercurso como canais adicionais carregando informação, a multiplexação espacial, aumentando a capacidade de transferência de dados.

Resumidamente, MIMO é uma tecnologia de rádio que utiliza múltiplas antenas na transmissão e na recepção, possibilitando uma variedade de caminhos para transportar a informação e escolhendo caminhos separados para cada antena assim, possibilitando que os sinais de multipercurso sejam utilizados. A Figura 2.3 abaixo representa um sistema MIMO com M entradas e N saídas. [8]

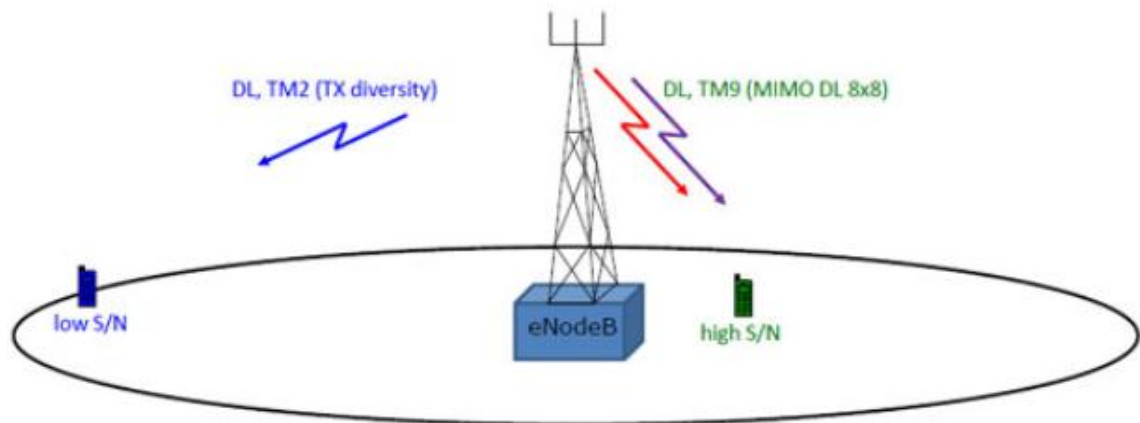
Figura 2.3: Sistema MIMO com $m \times n$



Fonte: Radio-Eletronics [8]

É recomendado pela 3GPP [5] que o MIMO seja utilizado quando a relação sinal ruído (SNR) é alta, ou seja, quando a qualidade do canal é alta. Para os casos em que a SNR é baixa recomenda-se o uso de outras técnicas de múltiplas antenas, como o uso da diversidade espacial. A Figura 2.4 ilustra a recomendação de MIMO para a variação da SNR.

Figura 2.4: Recomendação de MIMO para relação sinal ruído alta e baixa



Fonte:3GPP [5]

No intuito de ajustar os vários cenários possíveis de transmissão com múltiplas antenas foram definidas modos de transmissões (TM) distintos, diversidade e multiplexação. O usuário será informado a partir da sinalização RRC qual modo de transmissão será utilizado. No caso de *downlink*, existem nove tipos de TM, onde os TM de 1 a 7 foram definidos na versão 8, TM8 na versão 9 e TM9 na versão 10. Já no *uplink*, existem dois tipos, o TM1 e o TM2, definidos, respectivamente, na versão 8 e 10. Com a introdução do TM9 no *downlink* passou a ser suportado o MIMO 8x8 e no *uplink* com a introdução do TM2 passou a ser suportado o MIMO 4x4. Para suportar esses novos modos foi preciso criar mais três categorias de usuário, o CAT 6, 7 e 8 [5].

2.3.3. Multiponto Coordenado (CoMP)

O LTE multiponto coordenado é uma tecnologia que utiliza várias técnicas para prover uma coordenação dinâmica da transição e recepção do sinal entre rádio bases separadas geograficamente.

Essa técnica tem sido o foco de estudos de caso do 3GPP para a tecnologia LTE-A. No entanto, ainda não se chegou à conclusão para sua implementação no cenário atual. Dessa forma, o CoMP ainda não foi incluída na versão 10 do LTE mas com a evolução desses estudos é esperado que essa tecnologia seja encontrada nas próximas versões.

As principais funções do CoMP é aprimorar a performance do sistema, utilizar os recursos de forma mais eficiente e melhorar a qualidade do serviço do usuário final, reduzindo a interferência entre células.

Uma das promessas do LTE-A é fornecer altas taxas ao usuário quando o mesmo está perto da estação rádio base, sendo relativamente fácil manter essas taxas, mas na medida em que se afasta em direção a borda da célula torna-se mais difícil manter as mesmas. Com o CoMP ocorre uma coordenação dinâmica que provê o escalonamento e transmissão simultânea, assim como o processamento conjunto dos sinais recebidos. Dessa forma os usuários que estiverem perto da borda da célula poderão ser atendidos por mais de uma eNB e assim melhorar o sinal de recepção e transmissão, além de aumentar o *throughput* nessa condição extrema. [9]

2.3.4. Nós de retransmissão

Uma variedade de tecnologias são utilizadas no LTE para mitigar os problemas gerados na parte mais crítica da célula, a borda como, por exemplo, o MIMO e OFDM. Os nós de retransmissão é mais uma técnica para aumentar a performance na borda da célula melhorando a capacidade e a cobertura.

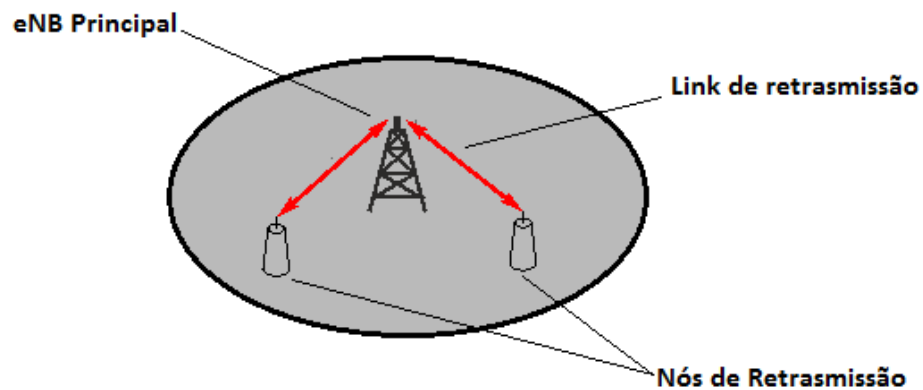
O nó de retransmissão recebe o sinal, demodula e decodifica a informação, aplica um código de correção de erro e somente depois retransmite o novo sinal. Dessa forma a qualidade do sinal é aprimorada se comparada com a utilização de um repetidor.

O usuário se comunica com o nó de retransmissão e esse se comunica com a eNB principal.

O uso dos nós de retransmissão é vantajoso em diversos cenários, podendo aumentar a densidade da rede, a cobertura e prover um rápido *rollout*. A seguir é discutido brevemente essas estruturas.

No intuito de aumentar a capacidade da rede para torná-la mais densa é instalado nós de retransmissão, com os quais será possível cobrir áreas mais afastadas da eNB, como a borda da célula, como ilustra a Figura 2.5. Além disso a instalação é simples, já que não é necessário um *backhaul* separado e devido ao seu pequeno tamanho, pode ser instalado em áreas de sua conveniência.

Figura 2.5: Uso de nós de retransmissão para aumentar a densidade da rede



Fonte: Radio-Eletronics [10]

Os nós de retransmissão também são utilizados para cobrir pequenos buracos na cobertura do sinal e podendo também ser utilizado para fornecer uma extensão na rede, ou seja, aumentar a cobertura fora da área principal.

Outra vantagem na utilização de nós de retransmissão é que provê um método fácil de aumentar a cobertura na fase inicial da rede e à medida que o volume de tráfego for aumentando pode ser substituída por uma eNB. [10]

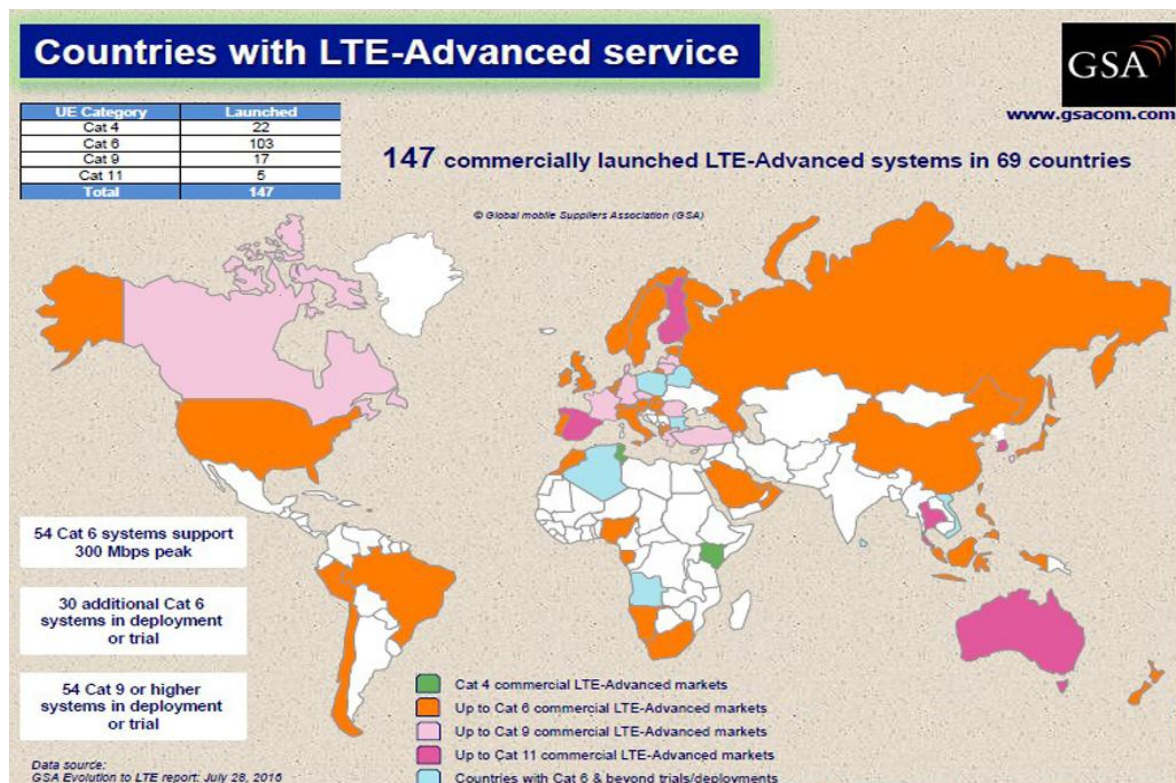
Implementações do LTE-A

Nesta seção, serão apresentadas visões sobre o avanço da tecnologia LTE-Advanced no cenário mundial e brasileiro.

3.1. Cenário mundial

O uso crescente da tecnologia LTE-A já se tornou um fato no cenário mundial. Baseado nas informações divulgadas pela GSA em Julho de 2016, a Figura 3.1 apresenta dados sobre a distribuição das categorias de equipamento do usuário utilizadas nos países que possuem o serviço de LTE-A em teste ou já implementado. A partir dela infere-se que o padrão LTE-A já havia sido lançado comercialmente em 69 países e totalizando 147 sistemas já implantados ao redor do mundo [11].

Figura 3.1: Países com serviço de LTE-Advanced



Fonte: GSA, Julho 2016

Os dispositivos da categoria 4, segundo o GSA, oferece uma melhor experiência ao usuário e uma taxa teórica de pico de *downlink* de até 150 Mb/s com

pico de *uplink* de até 50 Mb/s em redes compatíveis. Com a implantação do LTE-A a maior tendência é o lançamento ou implementação de redes que suportem essa categoria de dispositivos. Estima-se que 3.398 dispositivos comercializados, isto é, 52,2% já suporta velocidades até a categoria 4.

Já nas categorias 6 e 7, estima-se que respectivamente 441 e 22 dispositivos já suportam as referidas velocidades. Na Tabela 3.1 é possível verificar resumidamente essas informações, além de dados sobre a categoria 9 em diante.

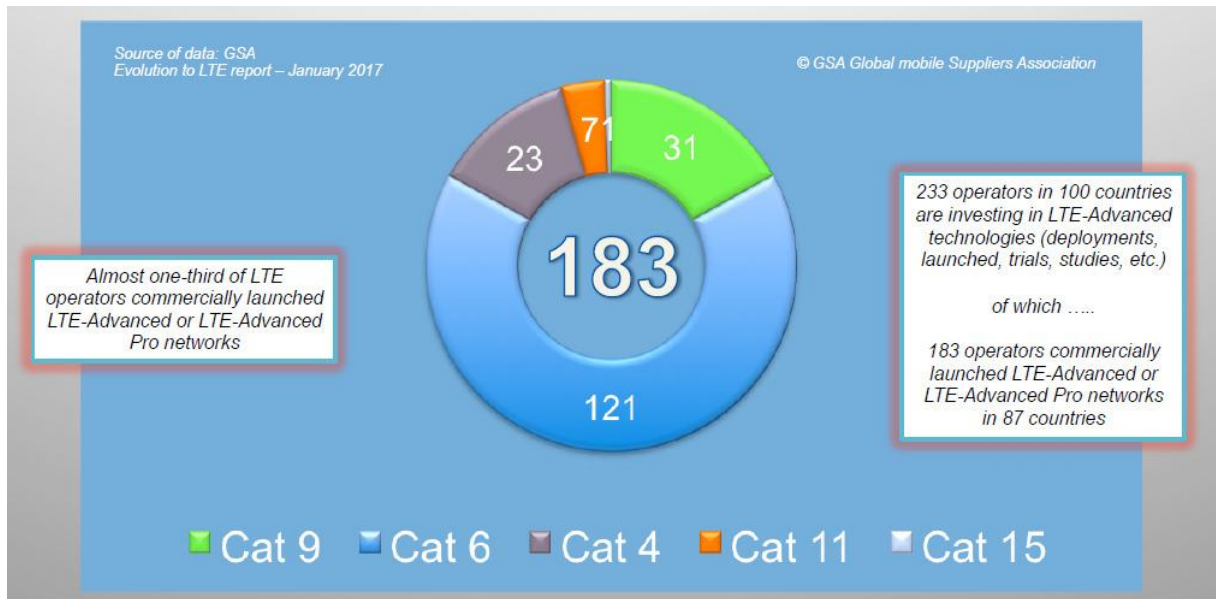
Tabela 3.1: Características sobre as categorias dos dispositivos

Categoria	Velocidade de pico máxima <i>downlink</i>	Velocidade de pico máxima <i>uplink</i>	Número de dispositivos
CAT 4	100 - 150 Mb/s	50 Mb/s	3.398
CAT 6	151 - 300 Mb/s	50 Mb/s	419
CAT 7	151 - 300 Mb/s	100 Mb/s	22
CAT 9	301 - 450 Mb/s	50 Mb/s	61
CAT 10	301 - 450 Mb/s	100 Mb/s	1
CAT 11	451 -600 Mb/s	50 Mb/s	1
CAT 12	451 -600 Mb/s	100 Mb/s	9
CAT 13	390 Mb/s	150 Mb/s	24

Fonte: GSA, Janeiro 2017

A partir de informações de Janeiro de 2017, 233 operadoras já estão investindo na tecnologia em outros 100 países. No gráfico da Figura 3.2, é possível realizar uma análise da distribuição das velocidades utilizadas na rede LTE-A.

Figura 3.2: Velocidades da rede LTE-Advanced



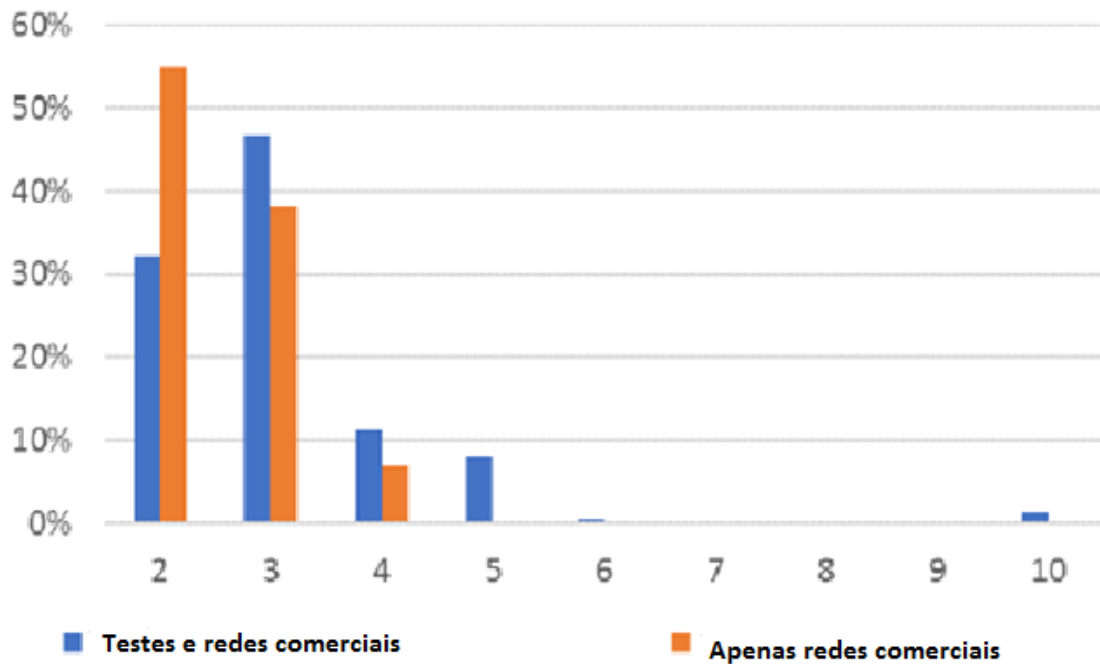
Fonte: GSA, Janeiro 2017

Além disso, também é possível verificar na Figura 3.2 que a categoria mais utilizada é a Cat 6, capaz de alcançar taxas de 300 Mb/s para *downlink* e 50 Mb/s para *uplink*.

Quanto ao uso do espectro, pode-se notar a crescente demanda por espectro e as operadoras tentam desenvolver técnicas para o uso mais eficiente do espectro disponível. O LTE pode ser implantado nas redes 2G e 3G já existentes e, também, em novas faixas, como 2,6 GHz ou o espectro de 700 a 800 MHz, para uma maior cobertura e melhorar a performance dentro de prédios. Segundo a GSA, existe um enorme interesse em fazer o *reframe* do espectro 2G para o LTE, ressaltando que a faixa de 1800 MHz (banda 3) é uma das principais escolhas para o LTE na maioria das regiões [12].

Outro ponto de extrema importância é a utilização da agregação de portadoras (CA). Na Figura 3.3, a pesquisa realizada pela GSA, em 26 de abril de 2017, consta a porcentagem de testes, demonstrações e implantações do LTE-A usando um número específico de portadoras, eixo horizontal. Nota-se que o maior número de portadoras agregadas em redes comerciais, na figura representada pela cor laranja, foram duas portadoras. Já para os testes, representado pela cor azul, observa-se que o número máximo foi para a agregação de três portadoras.

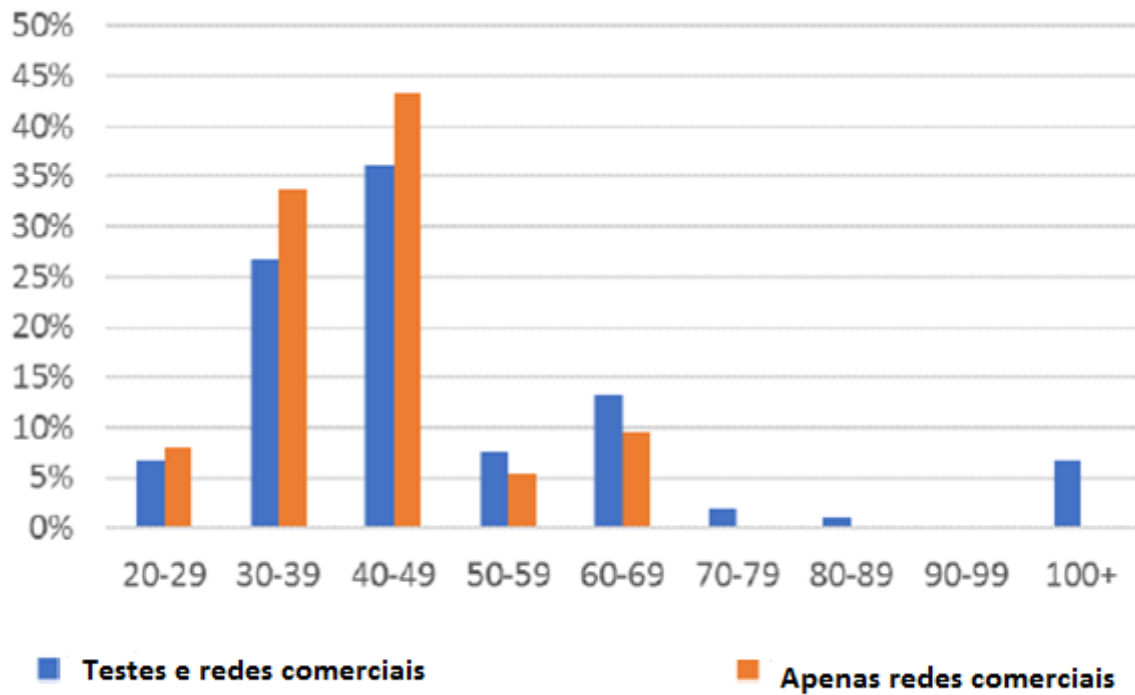
Figura 3.3: Porcentagem alcançada pelo número de portadoras agregadas



Fonte: GSA, Abril 2017

Na Figura 3.4, a pesquisa realizada pela GSA, em 26 de abril de 2017, consta o total de banda, em MHz, agregada utilizando testes, demonstrações e implementações com agregação de portadoras no LTE-A. Nota-se que a maior porcentagem de banda agregada está na faixa de 40-49 MHz, tanto para as redes comerciais quanto para os testes.

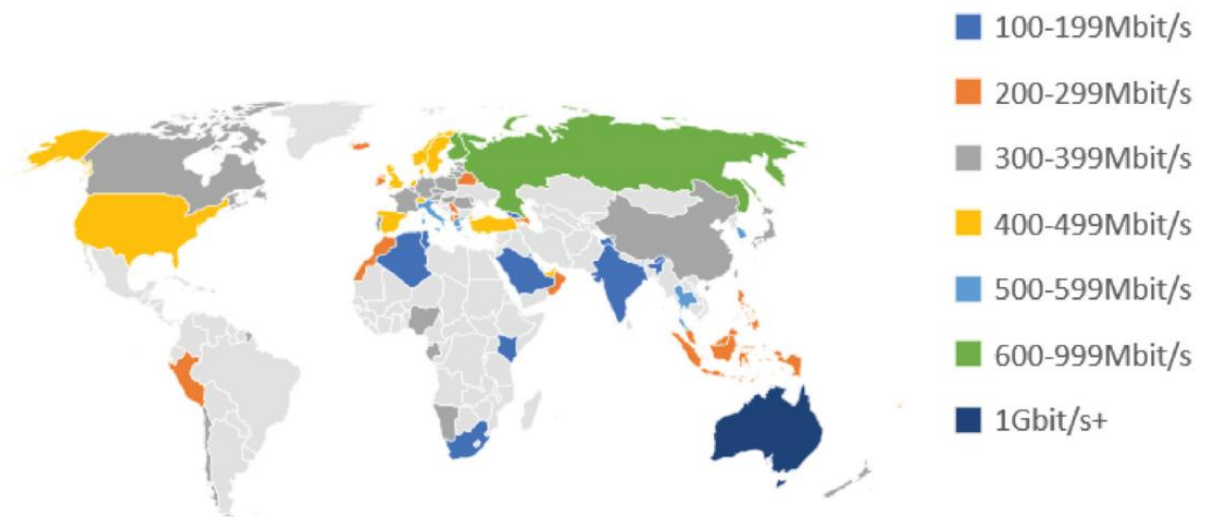
Figura 3.4: Total de banda agregada devido a Agregação de portadoras



Fonte: GSA, Abril 2017

A Figura 3.5 traz um panorama global das velocidades de *downlink* atingidas pelas redes LTE-A e LTE-A Pro, nas redes mais rápidas em cada país.

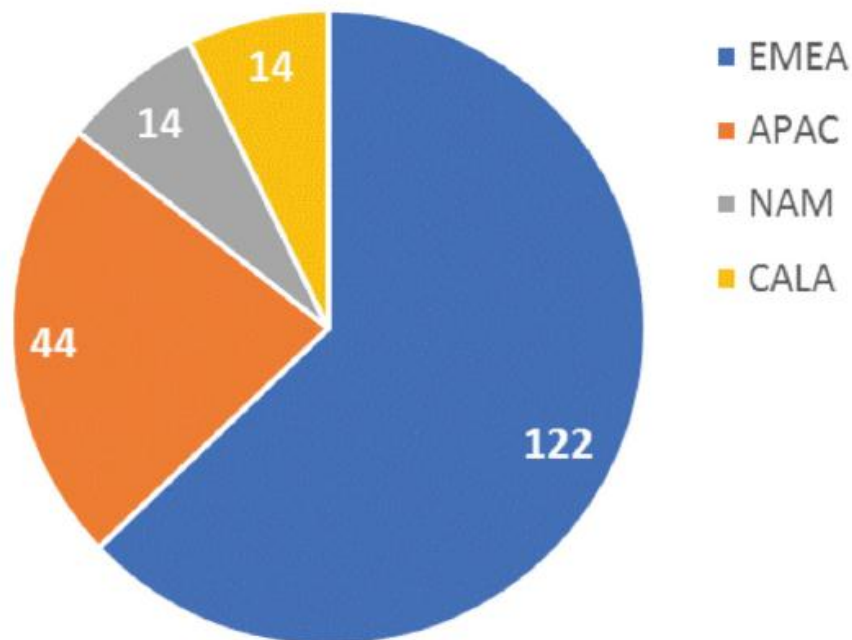
Figura 3.5: Velocidade máxima de *downlink* em redes LTE-Advanced e LTE-A Pro



Fonte: GSA, Abril 2017

No gráfico da Figura 3.6, é possível notar que são 194 redes comerciais de LTE-A espalhadas pelo mundo. Observa-se que o maior número de redes LTE-A encontra-se na EMEA (Europa, Oriente Médio e África), seguido pela APAC (Ásia Pacífico) e, por último, as regiões NAM (América do Norte) e CALA (Caribe e América Latina) [13].

Figura 3.6: Redes comerciais do LTE-Advanced por região



Fonte: GSA, Abril 2017

3.2. Cenário brasileiro

No Brasil, o serviço LTE é prestado na frequência de 2,5 GHz, a partir de um leilão realizado pela Anatel no ano de 2012. Já no ano de 2014 ocorreu o leilão para a frequência de 700 MHz, seguindo o padrão APT700 e sendo conhecida como banda 28. Com mais essa faixa a disposição das operadoras tornou-se possível lançar o LTE-A, também conhecido como 4,5G no Brasil.

A liberação do espectro de 700 MHz, anteriormente ocupado pelo sinal analógico de televisão, já está ocorrendo em várias cidades do país. A Anatel divulgou recentemente a lista das cidades brasileiras que já podem fazer testes nessas frequências.

A primeira operadora a lançar o LTE-A foi a Claro, em Brasília. Anteriormente a mesma realizou testes em Anápolis-GO, e, posteriormente, em Rio Verde. Sua rede irá operar por meio de uma licença provisória concedida pela Anatel em um período denominado “mitigação preventiva de interferências”, que dura em média 30 dias [14]. A TIM também já lançou sua rede LTE-A e, segundo o CEO Leonardo Capdeville, com essa nova infraestrutura, a TIM já pode oferecer o serviço de voz sobre LTE (VoLTE), que passará por um período de teste e será lançado comercialmente em Julho 2017 [15].

A Tabela 3.2 resume as bandas utilizadas e os status da tecnologia LTE-A das operadoras no Brasil [12].

Tabela 3.2: Status das operadoras brasileiras sobre LTE-A

País	Operadora	Status LTE-Advanced	Em serviço
Brasil	Claro	Comercial 3 portadoras usando CA	B3+B7+B28
Brasil	TIM	Comercial 3 portadoras usando CA Estudando tecnologia LTE-Advanced Pro NB-IoT	B3+B7+B28
Brasil	Vivo	3 portadoras com CA LTE-A Pro teste alcançou 530 Mb/s usando 35 MHz através do espectro B3+B7+B28, 256 QAM e 4x4 MIMO	

Fonte: GSA, Janeiro 2017

Estudos de caso

Nesta seção serão apresentadas uma breve visão do cenário das operadoras norte-americanas e posteriormente será realizado um estudo mais detalhado sobre a tecnologia utilizada, cobertura e as características alcançadas com a implantação do LTE-Advanced de duas empresas norte-americanas de grande reconhecimento no mercado e, por último, um posicionamento sobre o avanço de empresas brasileiras na implantação do LTE-A.

4.1. Panorama norte-americano

Este item apresenta um panorama sobre os investimentos das operadoras na tecnologia de LTE-Advanced, indicando quais já estão comercializando e os que ainda estão em processo de implantação.

A partir da Tabela 4.1, é possível obter uma visão geral das operadoras norte-americanas e o andamento na tecnologia LTE-A. Além disso, tem-se as bandas que estão em serviço de cada operadora [12].

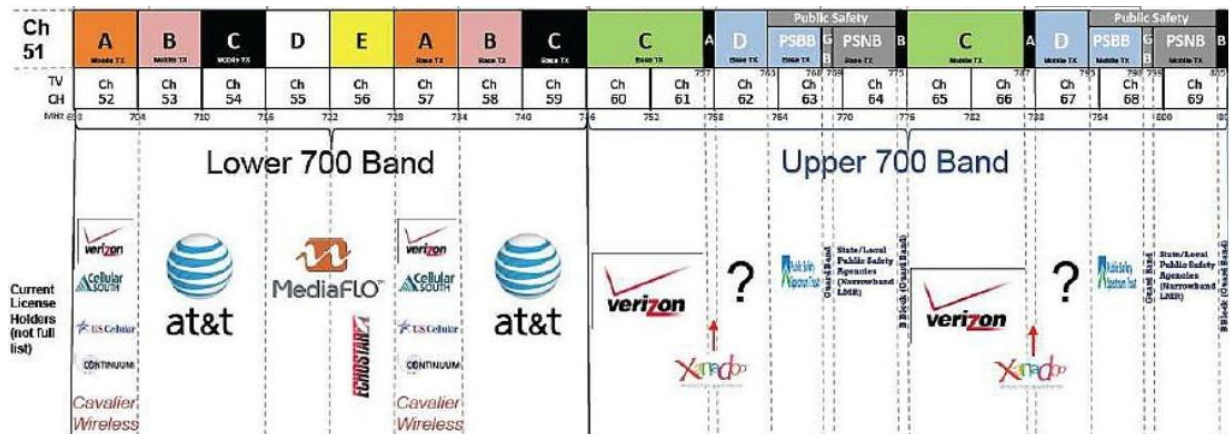
Tabela 4.1: Resumo da posição das operadoras dos Estados Unidos

País	Operadora	Status LTE-Advanced	Em serviço
EUA	AT & T	Comercial CA 110 Mb/s Implantando com 3 portadoras usando CA, planejando implantar 1 Gb/s em 2017 usando LTE-A Pro incluindo 4C CA e LAA Cat-M1 ativado em São Francisco para testes	2x15 MHz de B4+B17
EUA	Bluegrass Cellular	Comercial 2C CA 225 Mb/s	B4+B13
EUA	DISH	Planejado	
EUA	Redzone Wireless	Comercial CA 100 Mb/s	B41
EUA	T Mobile	Comercial CA 400 Mb/s Utilizando 3 portadoras usando CA com MIMO, 256 QAM DL e 64 QAM UL LTE-Advanced Pro 979 Mb/s demonstrado em testes de laboratório usando 3C CA com LTE-A Pro 4x4 MIMO e 256 QAM	B2 + B4 + B12
EUA	Sprint	Comercial 3 portadoras usando CA e CA 300 Mb/s Comercial LTE-A 164 Mb/s Testando CA usando B25 Teste 2,6 Gb/s em um único setor agregando 120 MHz do espectro TDD	20 +20+20 MHz B41 20 + 20 MHz B41
EUA	Verizon	Lançamento comercial de 225 Mb/s com 2 portadoras usando CA e 300 Mb/s com 3 portadoras usando CA. Lançamento comercial cat-M1	20 MHz B13 + 20 MHz B2 + 20 MHz B4

Fonte: GSA, Janeiro 2017

Na Figura 4.1 nota-se a distribuição do espectro entre as empresas norte americanas. A partir desta figura é perceptível que a AT & T e a Verizon possuem uma maior quantidade de espectro disponível [16].

Figura 4.1: Distribuição do espectro na faixa de 700 MHz dos EUA



Fonte: ROHDE & SCHWARZ, Maio 2014

Desse modo, a partir da Tabela 4.1 e da Figura 4.1 foi definido o estudo de caso das operadoras AT & T e Verizon.

4.2. Caso 1: Operadora Verizon

4.2.1. Sobre a Verizon

A Verizon Communications Inc., com sede em Nova Iorque, foi formada em 30 de junho de 2000 com a fusão da Bell Atlantic Corp e GTE Corp. Ambas as partes já atuavam no mercado de telecomunicações desde os primórdios do telefone, no século XIX. Antes da fusão a GTE era uma das maiores empresas de telecomunicações do mundo, com rendimentos de 25 bilhões de dólares em 1999. Já a Bell Atlantic era ainda maior que GTE, com receitas de mais de 33 bilhões de dólares também em 1999. Com esta fusão, a nova marca, Verizon, se tornou a maior companhia wireless da nação.

No ano de 2008, Verizon expandiu seu mercado para a área rural. Já em 2009, completou a compra da Alltel, expandindo a cobertura de sua rede para aproximadamente toda a população norte americana. Em 2010, Verizon lançou o LTE, a mais avançada rede 4G dos estados unidos.

Durante os anos de 2013, 2014 e 2015 a empresa investiu, respectivamente, \$9,9 bilhões, \$0,4 bilhões e \$0,6 bilhões na aquisição de licença de espectro. Todo esse investimento possibilitou a expansão de sua rede e, mais recentemente, a implantação da tecnologia LTE- Advanced, em 2016. [17]

4.2.2. Tecnologia

No cenário do LTE-Advanced é possível alcançar maiores taxas de *uplink* e *downlink* garantindo melhorias na satisfação do cliente. Para atingir tais objetivos foi preciso fazer algumas alterações na tecnologia anterior, o LTE. A seguir será abordado de que forma é feita a utilização do espectro no LTE-A pela Verizon.

4.2.2.1. Utilização do espectro

Segundo a Verizon, sua rede de LTE-A provê taxas de transmissão sem fio 50% mais rápidas para 288 milhões de pessoas em 461 cidades nos Estados Unidos. Para prover tal taxa, a estratégia da Verizon, segundo a Allnet, é a agregação de portadora (CA), que pode combinar frequências entre as faixas de 700 MHz (banda 13), PCS - Personal Communications Service (banda 2) e AWS - *Advanced Wireless Services* (banda 4). A Verizon anunciou recentemente que já utiliza CA de dois canais e passará a utilizar 3 canais para CA.

No quesito taxa de transmissão, Mike Haberman, VP da Verizon, afirma que a velocidade vai depender do tamanho da portadora e o que está sendo agregado. Em muitos casos temos um bloco de espectro em MHz de 10x10 na faixa de 700 MHz e um bloco em MHz de 20x20 na faixa de AWS para LTE e assim pode-se obter velocidades maiores que 200 Mb/s. Já com a agregação de três portadoras as velocidades podem chegar a 300 Mb/s dependendo da quantidade de espectro disponível. No entanto, a velocidade média prometida para os usuários continua a ser entre 5 Mb/s a 12 Mb/s. Essa faixa não sofreu muitas alterações desde a rede

LTE quando a rede usava 10x10 MHz blocos do espectro de 700 MHz que a Verizon adquiriu durante a FCC de 2008 [18].

Em testes feitos no laboratório, utilizando agregação de três portadoras, é possível alcançar a velocidade de pico de 300 Mb/s. Na prática, a velocidade de pico fica em torno de 100 Mb/s pois irá depender de onde o usuário se encontra, na sua distância da célula e o número de usuários utilizando os recursos. Cabe ressaltar que o garantido pela operadora é a velocidade média entre 5 Mb/s a 12 Mb/s [19].

4.2.3. Cobertura Nacional nos EUA

A Verizon, devido ao seu histórico, possui uma rede de alta capilaridade como é visto na Figura 4.2. Desse modo, provê uma cobertura do sinal 4G em abrangência nacional e atende a diversos usuários em lugares remotos.

Figura 4.2: Cobertura Nacional da Verizon



Fonte: Verizon, 2016

O sistema LTE - Advanced da Verizon possui uma cobertura de mais de 450 cidades [20].

4.3. Caso 2: Operadora AT & T

4.3.1. Sobre a AT & T

A AT & T, foi criada a partir de fusão de diversas empresas, se tornando líder em comunicações globais.

Em 1984, a antiga AT & T deixou de investir em operações de telefonia local, mantendo apenas serviços de longa distância. Com isso surgiu a SBC Communications Inc. (conhecido como Southwestern Bell Corp.). Em 1996, as Leis das Telecomunicações, impuseram grandes mudanças pela necessidade de se tornar competitivo e assim expandir mercado por todo território nacional. A partir desta necessidade a SBC passou por uma série de aquisições, como Pacific Telesis Group, em 1997, e Ameritech Corp, em 1999. Em 2006, a SBC adquiriu a AT & T Corp., chegando então a nova AT & T.

Em 2006, com a aquisição da BellSouth, a AT & T consolidou a posse da Cingular Wireless, liderando uma de suas transformações mais significativas, o surgimento da Internet móvel.

No ano de 2013, para garantir um melhor serviço de internet móvel para os mercado pré-pago foi feita a compra do Cricket. E em 2015 completou a compra de duas empresas sem fio mexicanas, Iusacell e Nextel México, tornando-se um líder de provedor sem fio no México. Neste mesmo ano de 2015, tornou-se o maior provedor de TV paga após a aquisição da DIRECTV.

Durante os anos de 2012 a 2016, foi investido nos Estados Unidos mais de US \$ 140 bilhões em redes sem fio e fixa. Possuindo 1.088.638 milhas de rotas de fibra globalmente. [21]

Hoje o foco da empresa está em mobilizar o vídeo, garantindo comunicações empresarias para a nuvem, investindo no conceito de *Smart Cities*. Para isso, busca investir em tecnologias que permitam melhorar cada vez mais a capacidade da rede. Sendo o LTE-Advanced a tecnologia mais atual implementada pela AT & T [22].

4.3.2. Tecnologia

Com o aumento significativo do tráfego de dados, principalmente os provenientes de streaming de vídeo, tornou-se necessário atualizar a rede ao fluxo de dados para manter a capacidade e qualidade.

Segundo a AT & T declarou, as atualizações da rede para a implementações do LTE-Advanced devem suportar velocidades que atingirão um gigabit por segundo em alguns sites móveis, ainda neste ano de 2017.

Para alcançar essas melhorias na rede, a AT & T passa a utilizar a tecnologia de agregação de portadora, além de densificar sua rede com pequenas células. Atualmente, a operadora utiliza a agregação de três faixas do espectro, planejando expandir para o uso de 4 portadoras.

4.3.2.1. Utilização do espectro

Como já apresentado na Figura 4.1, a AT & T não possui a quantidade de espectro contíguo como a Verizon, a T-Mobile e a Sprint possuem, por esta razão é essencial que a AT & T utilize agregação de portadora.

Para implementar o padrão LTE-Advanced, a AT & T precisou unir pedaços separados do espectro, se tornando a primeira operadora móvel dos EUA a usar a agregação de operadoras. O uso de agregação de portadoras não adiciona capacidade à rede da operadora, mas torna-a mais eficiente.

Inicialmente, para oferecer o serviço de LTE-A em Chicago, a AT & T utilizou da agregação de portadora nos espectros de 700 MHz e 2100 MHz (AWS), com um *downlink* de 15 MHz, a velocidade de *download* teórica alcançou a marca de 110 Mb/s [23].

Em setembro de 2016, a AT & T, confirmou ao *FierceWireless*, que está implantando agregação de portadora de três canais em sua rede LTE [24] .

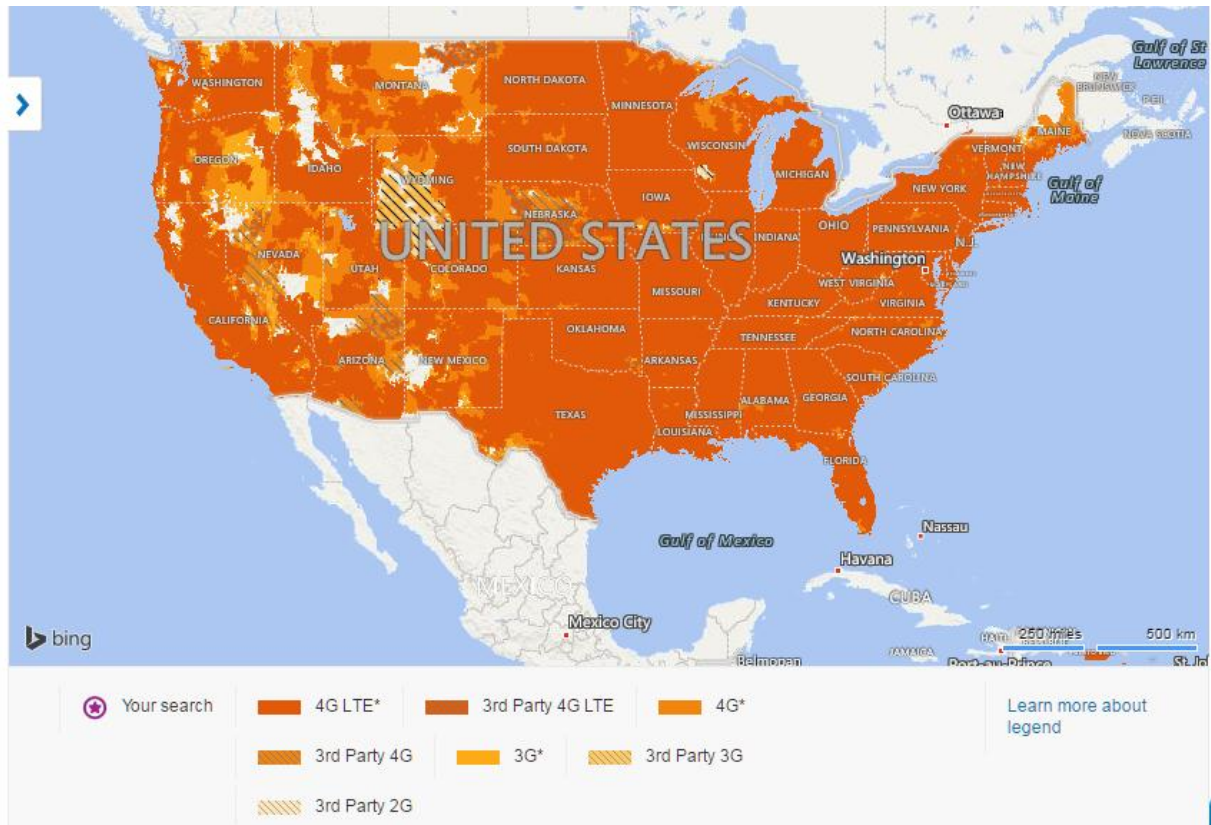
4.3.3. Cobertura Nacional nos EUA

A cobertura da AT & T para o sistema LTE-Advanced já alcança 565 cidades do território norte-americano [25].

Segundo Steven Schwadron, porta-voz da AT & T, a empresa começou a implantar o LTE-A no início de 2014, e, em setembro de 2016, já cobre a maioria dos

clientes da área de cobertura com a nova tecnologia. Schwadron acrescentou que o desempenho das velocidades de pico alcançadas dependerá de diversos fatores, incluindo a localização e o tráfego da rede [24].

Figura 4.3: Cobertura nacional da AT & T



Fonte: AT & T, 2017

A legenda do mapa da Figura 4.3 define que a cor laranja mais forte representa o LTE-A, a cor laranja representa o 4G e a tonalidade mais clara do laranja representa o 3G.

4.4. Caso 3: LTE no Brasil

O Brasil tem criado formas de expandir sua rede móvel e permitir testes e implementações da tecnologia LTE-A. Os leilões de frequências foram os primeiros passos para possibilitar essa evolução.

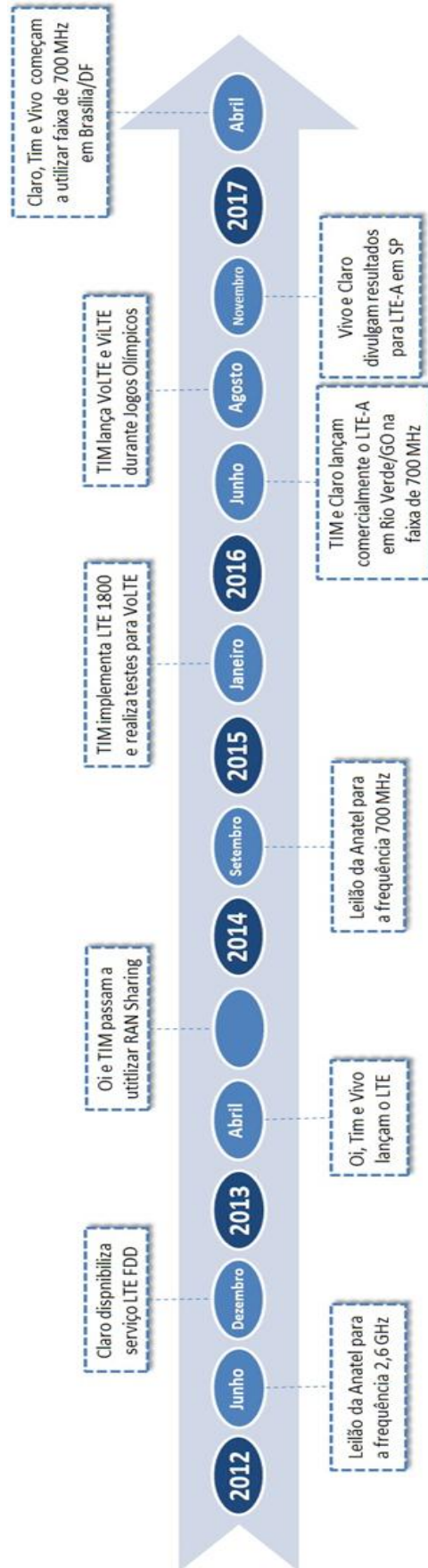
Em 12 de junho de 2012, ocorreu o leilão da frequência de 2.6 GHz para o espectro LTE que foi concluído pela Anatel com os ganhadores sendo a Vivo (2x20 MHz), Claro (2x20 MHz), TIM (2x10 MHz) e Oi (2x10 MHz).

Mais recentemente, o leilão da frequência de 700 MHz ocorreu em setembro de 2014. A licitação dessa faixa de 700 MHz foi feita a partir do remanejamento de geradoras e retransmissoras de televisão para permitir o uso destas frequências na expansão do 4G, o que também irá beneficiar as áreas rurais pois essa faixa de frequência possibilita a cobertura de grandes áreas com o uso de menos antenas, permitindo levar o serviço para áreas mais afastadas a um custo menor [26].

A Figura 4.4, a seguir, ilustra a o linha do tempo que se inicia em 2012 com o leilão de frequência que possibilitou a implantação do LTE e prossegue com os avanços tecnológicos das principais operadoras de telecomunicações do Brasil, culminando recentemente no lançamento do LTE-A.

No ambiente do LTE/LTE-A a alta demanda para alcançar um balanceamento tanto técnico quanto econômico faz com que o compartilhamento da rede seja relevante. A TIM e a Oi foram as primeiras operadoras a utilizar o RAN (*Radio Access Network*) *Sharing*, em 2013, com o objetivo de dividirem os equipamentos de 4G, onde uma única empresa é responsável pela instalação do equipamento. Recentemente, a VIVO entrou nessa parceria e agora, além de compartilharem os equipamentos, também compartilham as frequências utilizadas. Desse modo, é possível aumentar a capilaridade da rede a um custo mais baixo e assim conseguir atingir as metas propostas pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) [27].

Figura 4.4: Evolução do LTE para o LTE-A no Brasil



É importante ressaltar as mudanças mais recentes como o lançamento comercial da Claro e TIM do 700 MHz em 2016 na cidade de Rio Verde, Goiás com a agregação de três portadoras nas bandas 3, 7 e 28, que alcançou a velocidade de *download* de 300 Mb/s. Em parceria com a Ericsson e Qualcomm, a Claro iniciou um projeto piloto de LTE-A na cidade de Araras/SP, onde atingiu a velocidade de 682 Mb/s. Em Araras, utilizaram apenas agregação das frequências de 2,5 GHz e 1,8 GHz, por meio de *refarming*, diferentemente de Rio Claro, onde foi usada também a frequência liberada pela TV analógica. Segundo a operadora, as velocidades em Araras/SP atingiram o dobro de Rio Claro/GO devido a utilização de duas bandas da faixa de 2,5 GHz. E, ainda, utilizaram tecnologias MIMO 4x4 e modulação de espectro de 256 QAM, que permite que as taxas de transferências nos terminais móveis sejam multiplicadas em 1,33 vezes [28]. Já a VIVO anunciou, no mesmo ano, os resultados dos testes feitos com agregação de portadoras usando o LTE-A, em São Paulo, atingindo a velocidade de *downlink* de 530 Mb/s. Essa configuração utilizou 35 MHz de espectro nas bandas 3, 7 e 28, MIMO 4x4 e modulação 256 QAM no *downlink* [29].

Cabe ainda notar que no ano de 2017, após o desligamento do sinal analógico de TV e a limpeza do espectro, a Claro, TIM e VIVO começaram a utilizar a frequência de 700 MHz na cidade de Brasília que é a primeira grande capital a contar com essa frequência e com a tecnologia do LTE-A. Das operadoras, a primeira que já utiliza a nova tecnologia na cidade é a Claro, por meio de uma licença provisória concedida pela Anatel [30]. A TIM está operando na nova frequência porém ainda no LTE pois nem todos os seus equipamentos suportam o LTE-A. A VIVO anunciou que passará a utilizar o LTE-A em breve em Brasília [31].

Segundo o diretor de marketing da Claro, Márcio Carvalho, afirma que já é possível notar os benefícios do uso da tecnologia LTE-A com MIMO 4x4 e a agregação de frequências e, ressalta, que o principal desafio consiste na atualização do software dos terminais já compatíveis com LTE-A, para que possam trabalhar na modulação 256 QAM [32].

Resultados

Neste capítulo, serão apresentados resultados de características específicas obtidas por duas empresas, a OpenSignal e a PCMag, que tem formas distintas para coletar os dados da rede móvel comercializada, uma utilizando o *crowdsourcing* e outra utilizando teste de carro.

5.1. Dados coletados

Este tópico descreve como os dados que serão utilizados no trabalho são coletados pelas empresas OpenSignal e PCMag.

5.1.1. OpenSignal

A OpenSignal elabora seus relatórios a partir de dados coletados por um aplicativo da OpenSignal instalado em *smartphones* de usuários. O aplicativo já foi baixado mais de 20 milhões de vezes, o que proporciona uma vasta rede para a coleta de dados.

As medições são realizadas através de celulares em diversas localidades, seja dentro ou fora das grandes cidades, em ambientes abertos ou fechados. Essas medições coletadas permitem um monitoramento constante sobre a cobertura e o desempenho da conexão móvel.

Essa técnica se opõe aos testes feitos em carros que tentam simular o que o usuário pode vir a experimentar utilizando o mesmo dispositivo com o qual foram feitas as medidas [33].

O último relatório da OpenSignal dos Estados Unidos foi disponibilizado em Fevereiro de 2017, contendo os testes realizados entre 30 de Setembro e 30 Dezembro em 2016. O relatório foi baseado em 4.599.231.167 medições obtidas a partir de 169.683 dispositivos por todo o território. Para o Brasil, o relatório mais recente disponibilizado pela OpenSignal é de Junho de 2017, com o período de amostragem de 1º de Março a 31 de Maio de 2017. Neste relatório foram coletadas 939.450.901 medições obtidas a partir de 40.717 dispositivos de teste [34].

5.1.2. PCMag

A PCMag coleta seus dados utilizando um software desenvolvido pela Ookla. Esse software foi instalado em quatro celulares Samsung Galaxy S8, um dos dispositivos que tem acesso a tecnologia LTE-A. Esses dispositivos foram distribuídos em carros alugados que percorrem o país inteiro. Para consultar uma lista completa de dispositivos que suportam essa tecnologia vide anexo A.

O software realiza testes a cada 90 segundos, medindo *upload* e *download* com um servidor *non-carrier* e com o servidor mais próximo na rede da Ookla. Durante todo o percurso são testados 160 servidores diferentes e *pings* para outros 407 servidores. São feitas paradas entre 12 e 15 localidades, por pelo menos 15min, em 30 cidades. É calculada uma média das informações coletadas em cada localidade e depois é feita uma nova média de todas as localidades para obter um resultado geral da cidade. Dentre as 30 cidades é identificado as áreas suburbanas e rurais, sendo os resultados da regional a média de cinco cidades em cada região mais os resultados da área suburbana ou rural.

Foram coletados 124.000 amostras. E, em sua maioria, os testes ocorreram em horário comercial, do dia 1º de Maio a 22 de Maio de 2017.

O teste de velocidade é dividido em seis categorias com as quais é realizada uma média ponderada para o cálculo da velocidade final. Essas categorias são: a velocidade média de *downlink* (20%), *downloads* com limite acima de 5 Mb/s (20%), velocidade média de *upload* (10%), *upload* com limite acima de 2 Mb/s (10%), tempo de *ping* (20%) e confiabilidade (20%). Essas medidas de *download* e *upload* com os limites determinados é feita por ser a diferença perceptível ao usuário. [35]

5.2. Resultados dos EUA

Neste tópico será realizado um comparativo entre os testes realizados pela OpenSignal e pela PCMag a nível nacional e regional das operadoras AT & T e Verizon.

5.2.1. Visão Nacional

Os resultados dos testes realizados em nível nacional pela PCMag estão dispostos na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Resultado Nacional Americano de testes realizados pela PCMag

Características		PCMag	
		AT & T	Verizon
EUA	Máximo de velocidade de <i>download</i> (Mb/s)	202,0	215,7
	Média de velocidade de <i>download</i> (Mb/s)	32,6	31,1
	<i>download</i> acima de 5Mb/s (%)	87%	88%
	Máximo de velocidade de <i>upload</i> (Mb/s)	64,7	50,0
	Média de velocidade de <i>upload</i> (Mb/s)	12,4	15,8
	<i>Upload</i> acima de 2Mb/s (%)	90%	90%
	Média de <i>Ping</i> (ms)	45,42	41,21
	Confiabilidade (%)	97%	99%
	Pontuação de velocidade (até 100)	93	97

Fonte: PCMag, Junho 2017

No âmbito nacional, os testes obtiveram resultados competitivos para três de quatro operadoras testadas, porém neste trabalho o comparativo será feito apenas entre as operadoras AT & T e Verizon.

Segundo as informações disponibilizadas pela PCMag, a Verizon possui uma velocidade máxima de *download* de 215,7 Mb/s, já a AT & T atingiu 202,0 Mb/s. Quanto à velocidade média de *download* ambas ficaram próximas, sendo que a AT & T ficou ligeiramente a frente com 32,6 Mb/s comparado com os 31,1 Mb/s da Verizon. Quanto à velocidade máxima de *uplink* a AT & T liderou com 64,7 Mb/s mas ficou atrás na velocidade média de *uplink* com 12,4 Mb/s.

Tanto no quesito confiabilidade e média de *ping* ambas obtiveram resultados próximos, porém dando destaque para a Verizon que obteve uma média de *ping* de 41,21ms e a confiabilidade de 99%.

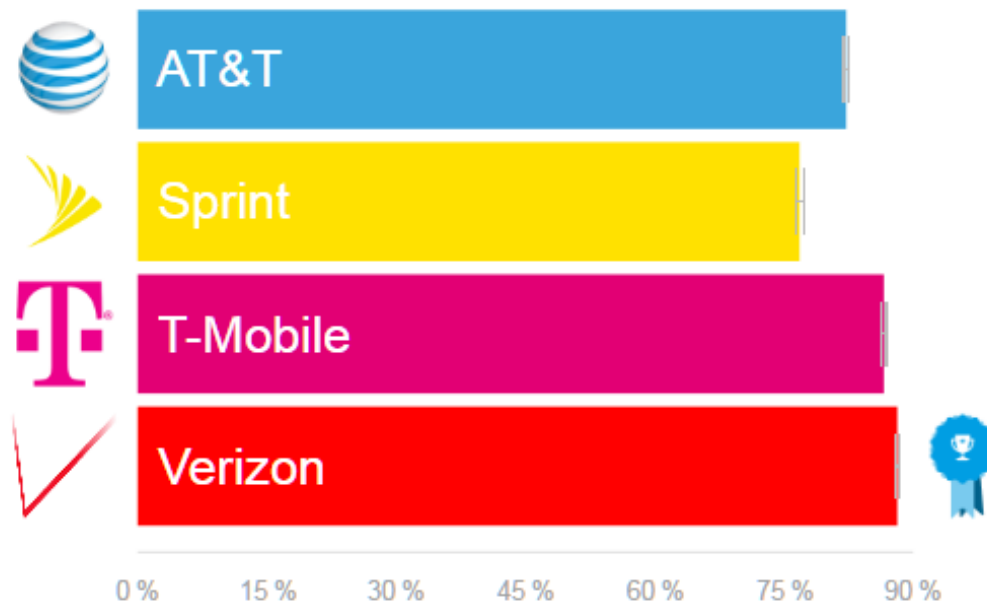
Portanto, é possível observar que a Verizon obteve uma pontuação geral melhor do que a AT & T. Isso se deve ao fato da Verizon investir em uma rede 4G mais confiável e não apenas em tecnologias mais rápidas para o LTE. Com a visão

regional será possível verificar que a AT & T avançou na região Sudeste e Centro-Oeste [35].

Os relatórios produzidos pela OpenSignal oferecem informações sobre a disponibilidade, a velocidade de *download* e a latência da rede 4G.

A Figura 5.1 indica a estatística obtida para a disponibilidade da rede, esses valores foram obtidos através de uma métrica onde é medida a proporção de tempo que os usuários do OpenSignal possuem uma conexão com LTE-A. A disponibilidade não se refere a cobertura geográfica da rede.

Figura 5.1: Disponibilidade para rede 4G

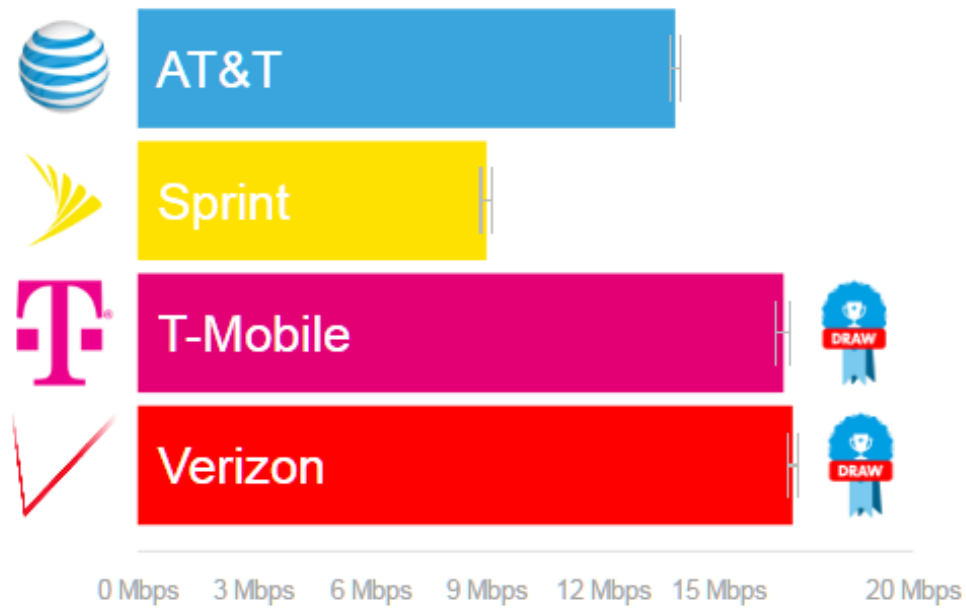


Fonte: OpenSignal, Fevereiro 2017

Com esta métrica a AT & T alcançou uma disponibilidade de 82,23% e a Verizon 88,17%, sendo a melhor da categoria.

A Figura 5.2 indica os resultados obtidos sobre a velocidade de download da rede 4G. Esses valores são calculados a partir de uma média das velocidades *download* atingidas quando os usuários do OpenSignal possuem uma conexão com LTE-A.

Figura 5.2: Velocidade de download para rede 4G

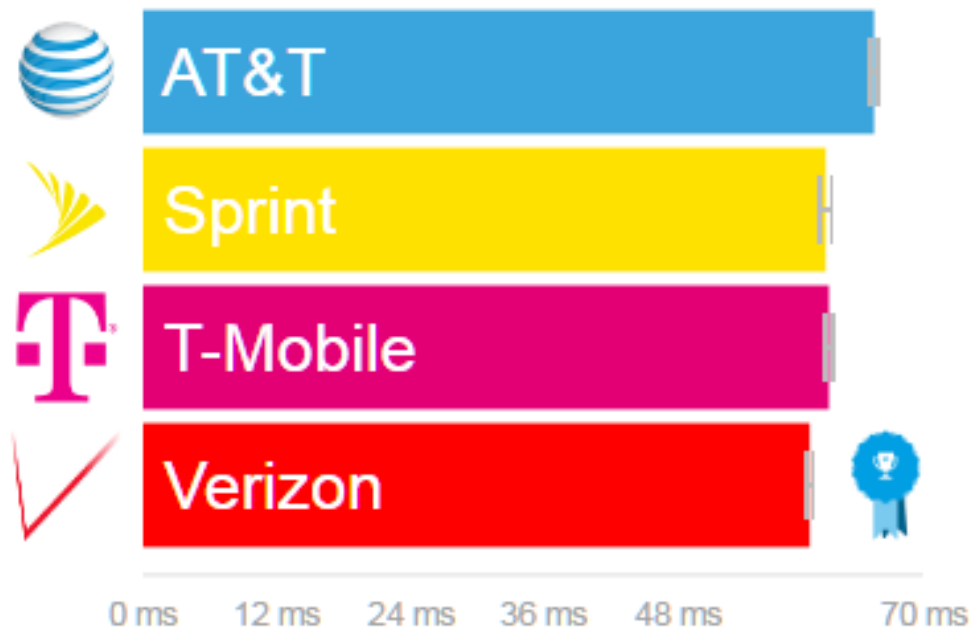


Fonte: OpenSignal, Fevereiro 2017

Para esta métrica a AT & T atingiu uma média de velocidade de *download* de 13,86 Mb/s e a Verizon atingiu 16,89 Mb/s, sendo novamente a melhor da categoria.

Por fim, a Figura 5.3 apresenta os valores de latência da rede 4G. Esses valores representam a média da latência, em milissegundos, que é o tempo de resposta da rede LTE-A. Neste caso o melhor cenário se atinge com a menor pontuação.

Figura 5.3: Latência para rede 4G



Fonte: OpenSignal, Fevereiro 2017

Nesta categoria a AT & T obteve uma latência de 65,62 ms e a Verizon obteve 59,84 ms.

Portanto, assim como nos testes realizados pela PCMag, a Verizon está em primeiro lugar no *ranking* das operadoras norte americanas [36].

Na Tabela 5.2 abaixo, é realizado um comparativo dos resultados obtidos pelas operadoras em cada empresa.

Tabela 5.2: Comparativo nacional entre OpenSignal e PCMag

Características		OpenSignal		PCMag	
		AT & T	Verizon	AT & T	Verizon
EUA	Média de velocidade de <i>download</i> (Mb/s)	13,86	16,89	32,6	31,1
	Média de <i>Ping</i> (ms)	65,62	59,84	45,42	41,21
	Confiabilidade (%)	82,23%	88,17%	97%	99%

Fonte: OpenSignal e PCMag, 2017

Cabe ressaltar que os valores distintos encontrados se devem ao fato de que a OpenSignal gera resultados com base na experiência do usuário, logo é a forma mais realista de quantizar as informações. Já no PCMag não ocorrem variações causadas pelos usuários como a posição do telefone e a localização outdoor/indoor, sendo esta dependente de técnicas baseadas em GPS, que nem sempre são precisas. Por exemplo, estudos mostram que ao mover o celular da mão para o bolso pode causar uma diferença de até 79% na medida de *throughput* [37].

Por essas razões, os valores encontrados pelo PCMag são melhores.

5.2.2. Visão Regional

Para a análise dos testes regionais serão considerados apenas os resultados divulgados pela PCMag pois as informações transmitidas pelo OpenSignal não possuem dados significativos por regional para realizar um comparativo.

Na Tabela 5.3, serão apresentadas informações dos resultados de cada regional.

Tabela 5.3: Resultados Regionais do PCMag para os EUA

Características	Sudeste		Nordeste		Central Norte		Central Sul		Noroeste		Sudoeste	
	AT & T	Verizon	AT & T	Verizon	AT & T	Verizon	AT & T	Verizon	AT & T	Verizon	AT & T	Verizon
Máximo de velocidade de <i>download</i> (Mb/s)	149,2	155,1	170,5	181,7	155,0	162,5	199,0	158,7	201,9	215,7	169,8	121,3
Média de velocidade de <i>download</i> (Mb/s)	28,7	32,6	35	38	37,5	32,1	32,9	26,3	30,2	28,6	31,4	29,3
<i>download</i> acima de 5Mb/s (%)	87%	93%	89%	88%	95%	92%	87%	88%	85%	82%	80%	82%
Máximo de velocidade de <i>upload</i> (Mb/s)	60,3	49,7	64,7	42,3	57,8	49,8	53,0	39,1	61,4	50,0	55,8	46,3
Média de velocidade de <i>upload</i> (Mb/s)	12,1	20,1	10,9	14,8	14,1	20,6	15,1	12,3	11,4	13,7	10,5	13,2
<i>Upload</i> acima de 2Mb/s (%)	92%	97%	92%	90%	93%	96%	95%	91%	87%	83%	84%	84%
Média de <i>Ping</i> (ms)	39,66	41,42	34,82	38,49	43,87	36,27	36,68	50,81	66,93	38,71	50,56	41,58
Confiabilidade (%)	99%	100%	98%	98%	98%	98%	99%	100%	95%	98%	93%	98%
Pontuação de velocidade (até 100)	87	95	91	93	93	97	98	87	84	93	91	96

Fonte: PCMag, Junho 2017

Na região Sudeste, apesar da AT & T ser a melhor nas Carolinas e a Verizon ser a melhor operadora apenas na Florida, as vantagens oferecidas pela Verizon fazem dela a melhor da região, empatada tecnicamente com outra operadora não abordada neste trabalho.

Na região Nordeste, a AT & T e Verizon ganharam algumas cidades, mas a Verizon mostrou incríveis velocidades de pico, portanto é a melhor operadora quando comparada com a AT & T.

Na região Central Norte, a AT & T e a Verizon dividem o topo do *ranking* em 4 localidades, a Verizon é declarada, novamente, a melhor da região devido a um balanço dos resultados de *upload*, *download* e da baixa latência.

Na região Central Sul, a AT & T foi a melhor graças a uma rede confiável e com baixa latência.

Na região Noroeste, a Verizon se saiu melhor nos quesitos avaliados, principalmente com a baixa latência.

Na região Sudoeste, a Verizon obteve uma melhor pontuação de confiabilidade, que somada a outras vantagens tornou-se a melhor da região. [38]

5.3. Resultados do Brasil

Neste tópico será realizado um comparativo entre os testes da OpenSignal realizados no Brasil com os resultados dos testes feitos recentemente do LTE-A, e, para finalizar, faremos um novo comparativo com o resultado dos estudos de caso dos EUA.

O teste realizado no Brasil pela OpenSignal contou com 40.717 dispositivos de teste totalizando 939.450.901 medições que foram realizadas no período contido entre 1º de Março de 2017 a 31 de Maio de 2017. Os resultados do teste estão dispostos na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Resultados dos testes da OpenSignal na rede LTE no Brasil

Características		Claro	Oi	TIM	Vivo
Brasil	Média de velocidade de <i>download</i> (Mb/s)	29,21	15,27	13,47	20,59
	Latência (ms)	56,97	64,16	58,95	67,13
	Disponibilidade (%)	49,44	48,61	65,10	62,28

Fonte: OpenSignal, 2017

Analisando os dados da Tabela 5.4, é notório que a velocidade média de *download* na rede 4G da Claro foi a vencedora, atingindo uma média de 29,21 Mb/s. Já a média alcançada pela Oi e TIM em suas redes LTE são inferiores a média global de 16,2 Mb/s.

Na disponibilidade da rede a TIM liderou o *ranking*, sendo esta a medida que indica o quanto um usuário da OpenSignal tem acesso a uma determinada rede. O melhor caso foi para os usuários da TIM, que conseguiram se conectar 65,1% do tempo.

No quesito latência, que mede o tempo de reação da rede, a TIM foi a vencedora com a menor latência, 58,95 ms [39].

Para efeito comparativo, o Brasil possui uma média geral de velocidade no 4G de 19,32 Mb/s que o coloca a frente na média global. No entanto, quando trata-se de disponibilidade o Brasil fica muito abaixo da média comparado com seus vizinhos da América do Sul [40].

Apesar dos dados desanimadores, nota-se que o país vem investimento consideravelmente em sua rede assim como em novas tecnologias, como o LTE-A. Testes realizados recentemente na primeira grande cidade, Brasília, a receber os benefícios do LTE-A indicam taxas alcançadas de 249 Mb/s sendo pelo menos dez vezes superior a velocidade média das conexões 4G [41].

A partir do relatório da OpenSignal do status mundial para o LTE, divulgado em Junho de 2017, foi possível realizar um comparativo do Brasil com os EUA. Os dados obtidos foram consolidados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Comparativo entre status para o LTE no Brasil e nos EUA.

Características	OpenSignal	
	EUA	Brasil
Média de velocidade de <i>download</i> (Mb/s)	14,99	19,32
Confiabilidade (%)	86,50	55,29

Fonte: OpenSignal, 2017

A partir da Tabela 5.5, é possível observar que a velocidade média de *download* no Brasil é maior que a média para os EUA. Apesar disso, a confiabilidade da rede LTE no Brasil é bem inferior a dos EUA. No Brasil, só é garantido a conexão com uma rede LTE 55,29% do tempo, diferente dos EUA que consegue se manter em uma conexão LTE 86,50% do tempo [39].

Conclusão

O mundo moderno demanda que todos estejam sempre conectados e a utilização de recursos em tempo real, como áudio e vídeo, tornaram-se cotidianas. Para atender a esse novo cenário é necessário a constante evolução das tecnologias de redes móveis, portanto, esse trabalho teve foco no LTE-*Advanced* e em sua implementação, por esta ser a tecnologia mais moderna possível de ser comercializada.

Este trabalho discutiu sobre a evolução das redes móveis, passando pela tecnologia 2G, 3G, 4G e culminando no LTE-A, conhecido comercialmente no Brasil como o 4,5G. Destacou-se as principais motivações para o uso do LTE-A, como a necessidade de atingir maiores taxas, comparando com seu antecessor, o LTE. Ainda foram apresentadas adaptações necessárias para se atingir a alta performance prometida para esse padrão, entre essas a mais citada por todas as operadoras é a modernização da rede para utilizar agregação de portadora.

Em seguida, foi apresentado a implementação do sistema sucessor ao LTE pelo mundo e a posição que o Brasil se encontra nesse panorama. Com isso, foi possível concluir que 233 operadoras, em 100 países, já estão investindo na rede LTE-A porém apenas 183 operadoras, em 87 países, estão comercializando.

Após essa breve discussão sobre o status do LTE-A, foi dado destaque para a implementação dessa tecnologia em dois estudos de casos de operadoras norte-americanas, a Verizon e a AT & T, onde ressaltou-se características históricas e técnicas de cada uma no mercado norte-americano. Foi, também, apresentado um histórico do quanto as operadoras brasileiras estão crescendo no setor de telefonia móvel, para permitir que os usuários alcancem maiores velocidades através do LTE-A. No Brasil, esse progresso vem se tornando possível graças a liberação do espectro de 700 MHz, que é utilizado pela TV analógica e, de forma gradativa, está sendo liberado.

Para poder fazer uma análise qualitativa das operadoras foram usados resultados de testes disponibilizados pela OpenSignal e PCMag. Com estes testes foi possível concluir que a Verizon, na maioria dos casos, possui uma rede mais confiável, com menor latência e altas velocidades. Isso reflete os interesses da

operadora no país, onde não está apenas interessada em atingir os melhores picos de velocidades como também está investindo em tecnologias que permitam que a rede da Verizon não sofra com constantes quedas na conexão com a rede LTE-A.

Posteriormente, foi analisado como o Brasil vem modificando sua rede atual para poder seguir as tendências mundiais da implementação do LTE-A. Essa mudança tem ocorrido de maneira bem lenta no Brasil pois para que o sistema LTE-A seja implementado é fundamental que o espectro da TV analógica seja liberado, e isto vem ocorrendo pontualmente de cidade em cidade. Com uma análise comparativa das velocidades médias de *download* entre o Brasil e os EUA, foi destacada a maior média de velocidade para o Brasil, que obteve aproximadamente 4 Mb/s a mais que os EUA. Porém, a disponibilidade de conexão com a rede foi 31% menor que a apresentada pelos EUA, o que leva à conclusão que a velocidade alta precisa estar alinhada com a confiabilidade da rede.

No futuro próximo, haverá a necessidade de mais uma modernização da rede móvel, já denominada por 5G. Esta mudança ainda está em fase de padronização mas já vem sendo testada por alguns países, nos EUA tanto a Verizon quanto a AT & T já estão se preparando para essa nova inovação.

Referências Bibliográficas

- [1] TELECO. Tecnologias de Celular. Abril. 2017. Disponível em: <www.teleco.com.br/tecnocel.asp>. Acesso em: Abril de 2017.
- [2] GÓMEZ, Juan A. *LTE-Advanced Conformance & Standards*. Novembro. 2013. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/cpqd/lte-advanced-conformance-standards>>. Acesso em: Abril de 2017.
- [3] GHOSH, AMITAVA, et al. LTE-Advanced: Next-generation wireless broadband technology. *IEEE Wireless Communications*, v. 17, n. 3, 2010. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5490974/>>. Acesso em: Novembro de 2016.
- [4] TELECOMHALL. O que são Modos, Estados e Transições em GSM, UMTS e LTE. Abril. 2016. Disponível em: <<http://www.telecomhall.com.br/o-que-sao-modos-estados-e-transicoes-em-gsm-umts-e-lte.aspx>>. Acesso em: Junho de 2017.
- [5] 3GPP. *LTE-Advanced*. Junho. 2013. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>>. Acesso em: Março de 2017.
- [6] WANNSTROM, Jeanette. *Carrier Aggregation explained*. Junho. 2013. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/101-carrier-aggregation-explained>>. Acesso em: Maio de 2017
- [7] POOLE, Ian. *LTE CA: Carrier Aggregation Tutorial*. Disponível em: <<http://www.radio-electronics.com/info/cellularcomms/lte-long-term-evolution/4g-lte-advanced-carrier-channel-aggregation.php>>. Acesso em: Maio de 2017.
- [8] POOLE, Ian. *What is MIMO? Multiple Input Multiple Output Tutorial*. Disponível em: <<http://www.radio-electronics.com/info/antennas/mimo/multiple-input-multiple-output-technology-tutorial.php>>. Acesso em: Maio de 2017.
- [9] POOLE, Ian. *4G LTE CoMP, Coordinated Multipoint Tutorial*. Disponível em: <<http://www.radio-electronics.com/info/cellularcomms/lte-long-term-evolution/4g-lte-advanced-comp-coordinated-multipoint.php>> Acesso em: Maio de 2017.
- [10] POOLE, Ian. *4G LTE Advanced Relay*. Disponível em: <<http://www.radio-electronics.com/info/cellularcomms/lte-long-term-evolution/4g-lte-advanced-relaying.php>>. Acesso em: Maio de 2017.
- [11] Global mobile Suppliers Association (GSA). *Evolution to LTE report*. Julho. 2016. Disponível em: <<https://gsacom.com>> Acesso em: Agosto de 2016.
- [12] Global mobile Suppliers Association (GSA). *Evolution to LTE report*. Janeiro. 2017 Disponível em: <<http://gsacom.com/paper/gsa-evolution-lte-report-january-2017/>>. Acesso em: Janeiro de 2017.

[13] Global mobile Suppliers Association (GSA). *Evolution from LTE to 5G*. Abril. 2017 Disponível em: <<https://gsacom.com>> Acesso em: Maio de 2017.

[14] TELE.SÍNTESE. Liberado o uso de faixas de 700 MHz em sete capitais. Maio. 2017. Disponível em: < <http://www.telesintese.com.br/liberado-o-uso-de-faixas-de-700-mhz-em-sete-capitais/> >. Acesso em: Maio de 2017.

[15] TELE.SÍNTESE. Tim sai na frente na 700 MHz e Claro lança 4,5G na próxima semana. Abril. 2017. Disponível em: <<http://www.telesintese.com.br/claro-lanca-45g-em-brasilia-na-proxima-semana/>>. Acesso em: Abril de 2017.

[16] ROHDE & SCHWARZ. *LTE- Fit for critical communication?.Virgina Tech Wireless Symposium*. Maio. 2014. Disponível em: <https://wireless.vt.edu/symposiumarchives/symposium/2014/tutorials/slides/LTE_for_critical_communications_VT_Wireless_Symposium_05292014.pdf>. Acesso em: Março de 2017

[17] VERIZON. *The history of Verizon Communicatinos*. Setembro. 2016. Disponível em: <https://www.verizon.com/about/sites/default/files/Verizon_History_0916.pdf>. Acesso em: Julho de 2016

[18] DANO, MIKE. *In 2016, how much LTE spectrum do Verizon, AT &T, T-Mobile and Sprint have-- and where?* Outubro. 2016. Disponível em: <<http://www.fiercewireless.com/wireless/2016-how-much-lte-spectrum-do-verizon-at-t-mobile-and-sprint-have-and-where>>. Acesso em: Fevereiro de 2017.

[19] DANO, MIKE. *Verizon`s Haberman explains 2, 3 channel aggregation: 300 Mb/s speeds depend on carrier size, spectrum*. Agosto. 2016. Disponível em: <<http://www.fiercewireless.com/wireless/verizon-s-haberman-explains-2-3-channel-aggregation-300-mbps-speeds-depend-carrier-size>>. Acesso em: Fevereiro de 2017

[20] VERIZON. *About 4G LTE Advanced | Verizon Wireless*. Disponível em: <<https://www.verizonwireless.com/featured/lte-advanced>>. Acesso em: Dezembro de 2016.

[21] AT & T. 1Q 2017 AT&T. Disponível em: <https://www.att.com/Common/about_us/pdf/att_btn.pdf>. Acesso em: Junho de 2017.

[22] AT & T. *Company Profile*. Disponível em: <http://about.att.com/sites/company_profile>. Acesso em: Fevereiro de 2017.

[23] PHONE ARENA. *AT&T uses carrier aggregation to quietly bring LTE-Advanced to the Windy City*. Março. 2014. Disponível em: <http://www.phonearena.com/news/AT-T-uses-carrier-aggregation-to-quietly-bring-LTE-Advanced-to-the-Windy-City_id53600>. Acesso em: Fevereiro de 2017.

[24] DANO, Mike. *AT&T: We are deploying 3-channel carrier aggregation on LTE network*. Setembro. 2016. Disponível em: <<http://www.fiercewireless.com/wireless/at>>

t-we-are-deploying-3-channel-carrier-aggregation-lte-network>. Acesso em: Fevereiro de 2017.

[25] AT&T. AT&T *Maps*. Disponível em: <<https://www.att.com/>>. Acesso em: Março de 2017.

[26] PORTAL BRASIL. “Leilão de 700 MHz é estratégico”, diz secretário do MiniCom. Setembro. 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2014/09/leilao-de-700-mhz-e-estrategico-diz-secretario-do-minicom>>. Acesso em: Fevereiro de 2017.

[27] TELE.SÍNTESE. Adoção do RAN *Sharing* não afetou qualidade. Dezembro. 2016. Disponível em: <<http://www.telesintese.com.br/adocao-do-ran-sharing-nao-afetou-qualidade-adotado-em-2013-pela-tim-e-oi-o-modelo-de-compartilhamento-depois-estendido-outras-operadoras-permitiu-manter-os-parametros-de-qualidade-de-rede-o-co/>>. Acesso em: Abril de 2017.

[28] MOBILE TIME. Claro alcança 682 Mbps em teste de LTE-*Advanced* no interior paulista. Novembro. 2016. Disponível em: <<http://www.mobiletime.com.br/01/11/2016/claro-alcanca-682-mbps-em-teste-de-lte-advanced-no-interior-paulista/459022/news.aspx>>. Acesso em: Junho de 2017.

[29] TELETIME. Vivo começa *refarming* de 1,8 GHz e testa LTE-*Advanced* com três portadoras. Outubro. 2016. Disponível em: <<http://convergecom.com.br/teletime/18/10/2016/vivo-comeca-refarming-de-18-ghz-e-testa-lte-advanced-com-tres-portadoras/>>. Acesso em: Maio de 2017

[30] TELETIME. Claro, TIM e Vivo começam a utilizar faixa de 700 MHz em Brasília. Abril. 2017. Disponível em: <<http://convergecom.com.br/teletime/20/04/2017/claro-e-tim-comecam-utilizar-faixa-de-700-mhz-em-brasilia/>>. Acesso em: Abril de 2017.

[31] AMARAL, Bruno do. LTE-*Advanced* da TIM será lançado ainda no primeiro semestre. Abril. 2017. Disponível em: <<http://www.telesintese.com.br/claro-lanca-45g-em-brasilia-na-proxima-semana/>>. Acesso em: Abril de 2017.

[32] TECMUNDO. Claro lança 4,5 em Brasília; nova conexão pode ter picos de 400 Mbps. Abril. 2017. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/claro/116107-claro-lanca-rede-4-5g-brasilia-nova-conexao-ter-picos-400-mbps.htm>>. Acesso em: Abril de 2017.

[33] OPENSIGNAL. *Methodology*. Disponível em: <<https://opensignal.com/methodology>>. Acesso em: Junho de 2017.

[34] OPENSIGNAL. OpenSignal *Reports*. Disponível em: <<https://opensignal.com/reports>>. Acesso em: Junho de 2017.

[35] SEGAN, SASCHA. *Fastest Mobile Networks 2017*. Junho. 2017. Disponível em: <<https://www.pcmag.com/article/354110/fastest-mobile-networks-2017/4>>. Acesso em: Junho de 2017.

- [36] OPENSIGNAL. *State of Mobile Networks: USA* (February 2017). Disponível em: <<https://opensignal.com/reports/2017/02/usa/state-of-the-mobile-network>>. Acesso em: Maio de 2017.
- [37] A. Gember, A. Akella, J. Pang, A. Varshavsky, and R. Caceres. *Obtaining In-Context Measurements of Cellular Network Performance*. In *Proc. ACM Internet Measurement Conference (IMC)*, 2012
- [38] SEGAN, SASCHA. *Fastest Mobile Networks 2017 Regional and National Winners*. Junho. 2017. Disponível em: <<https://www.pcmag.com/article/354110/fastest-mobile-networks-2017/2>>. Acesso em: Junho de 2017.
- [39] OPENSIGNAL. *Mobile Networks Update Brazil* (June 2017). Disponível em: <<https://opensignal.com/reports/2017/06/brazil/mobile-networks-update>>. Acesso em: Junho de 2017.
- [40] OPENSIGNAL. *The state of LTE* (June 2017). Disponível em: <<https://opensignal.com/reports/2017/06/state-of-lte>>. Acesso em: Junho de 2017.
- [41] BRAGA, FERNANDO. Claro lança internet móvel com velocidade 10 vezes superior ao 4G. Metrópolis. Distrito Federal, 25 de Abril de 2017. Disponível em: <<http://www.metropoles.com/distrito-federal/ciencia-e-tecnologia-df/claro-lanca-internet-movel-com-velocidade-10-vezes-superior-ao-4g>>. Acesso em: Junho de 2017.

ANEXO A – Aparelhos que suportam LTE-

Advanced

- ASUS ZenPad™ Z8
- Apple® iPad® 2
- Apple iPad® mini 4
- Apple iPad® Pro
- Apple® iPad Pro™ (9.7-inch)
- Apple® iPhone® 6
- Apple® iPhone® 6 Plus
- Apple® iPhone® 6s
- Apple® iPhone® 6s Plus
- Apple® iPhone® 7
- Apple® iPhone® 7 Plus
- Apple® iPhone® SE
- PRIV™ by BlackBerry®
- HTC 10™
- HTC Desire® 626
- HC One M9
- LG G4™
- LG G5
- LG G6
- LG K10
- LG V10™
- LG V20
- LG X Venture
- Microsoft Surface 3
- Droid Turbo by Motorola
- Droid Turbo 2 by Motorola
- Moto Z Droid Edition
- Moto Z Force Droid Edition
- Moto X™ (2nd Generation)
- Motorola Nexus 6
- Samsung Galaxy J3 (2017)
- Samsung Galaxy J7 (2017)
- Samsung Galaxy Note5
- Samsung Galaxy Tab E (8.0)
- Samsung Galaxy Tab S2
- Samsung Galaxy S® 6
- Samsung Galaxy S® 6 edge
- Samsung Galaxy S6 edge +
- Samsung Galaxy S7
- Samsung Galaxy S7 edge
- Samsung Galaxy S7 active
- Samsung Galaxy S8
- Samsung Galaxy S8 +
- Samsung Galaxy View
- Sony Xperia® Z2 Tablet
- Sony Xperia® Z3v
- Verizon Jetpack® MiFi® 6620L
- Verizon MiFi® 4G LTE Global USB Modem U620L
- Verizon Jetpack® 4G LTE Mobile Hotspot AC791L