

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES

ADAILTON TURCZEN DE MELO
IVAN JACIUK

**ESTUDO DA TECNOLOGIA LONG TERM EVOLUTION (LTE) E LTE-
ADVANCED (4G)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2015

ADAILTON TURCZEN DE MELO
IVAN JACIUK

ESTUDO DA TECNOLOGIA LONG TERM EVOLUTION (LTE) E LTE- ADVANCED (4G)

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Ms. Christian Carlos S. Mendes

CURITIBA
2015

TERMO DE APROVAÇÃO

ADAILTON TURCZEN DE MELO
IVAN JACIUK

ESTUDO DA TECNOLOGIA LONG TERM EVOLUTION (LTE) E LTE-ADVANCED (4G)

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 31 de novembro de 2015, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

Prof. Esp. Sérgio Moribe
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edenilson José Da Silva
UTFPR

Prof. Ms. Lincoln Herbert Teixeira
UTFPR

Prof. Ms. Christian Carlos S. Mendes
Orientador - UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

RESUMO

DE MELO, Adailton Turczen; JACIUK, Ivan. **ESTUDO DA TECNOLOGIA LONG TERM EVOLUTION (LTE) E LTE-ADVANCED (4G)**. 2015. 89 f. Trabalho de Diplomação – Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

O trabalho tem por objetivo apresentar uma análise da tecnologia LTE, LTE-Advanced e verificar com testes de campo a eficiência da tecnologia em Curitiba. Esta dividida em 4 capítulos, tendo como principais pontos de estudo: A fundamentação teoria do 4G, sua arquitetura de rede, técnicas OFDM, OFDMA, SC-FDMA e MIMO. No capítulo 2.5 é apresentado o LTE-Advanced tecnologia que evoluiu a partir do LTE. No capítulo 3 são apresentados os resultados dos testes de campo. No último capítulo conclui-se o trabalho e apresentam-se sugestões para trabalhos futuros.

Palavras chave: LTE. LTE-Advanced. OFDM. MIMO. 5G.

ABSTRACT

DE MELO, Adailton Turczen; JACIUK, Ivan. **ESTUDO DA TECNOLOGIA LONG TERM EVOLUTION (LTE) E LTE-ADVANCED (4G)**. 2015. 89 f. Trabalho de Diplomação – Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

The objective this work is show an analysis of technology LTE, LTE-Advanced and check with field testing the efficiency of the technology in Curitiba. It is divided into 4 chapters, having as main points of the study: The basis theory of 4G, your network architecture, technical OFDM, OFDMA, SC-FDMA and MIMO. In chapter 2.5 shows the LTE-Advanced technology that evolved of the LTE. In Chapter 3 presents the results of field tests. In the last chapter concludes the work and are suggestions for future work.

Keywords: LTE. LTE-Advanced. OFDM. MIMO. 5G.

LISTA DE FIGURA

Figura 1: Linha do tempo das famílias do sistema de telecomunicações.....	16
Figura 2: Domínio de frequência vista no LTE na tecnologia de múltiplo acesso.....	21
Figura 3: Funcionalidades do E-UTRAN e do EPC.....	24
Figura 4: Arquitetura E-UTRAN.....	26
Figura 5: Arquitetura do sistema para uma rede LTE.....	27
Figura 6: Sinal OFDM representado no tempo e na frequência.....	32
Figura 7: Sequência de caracteres sendo transmitidos no OFDMA.....	35
Figura 8: Subportadoras OFDM e OFDMA.....	36
Figura 9. Transmissão e receptor de SC-FDMA com geração de um sinal no domínio da frequência.....	36
Figura 10: A evolução da tecnologia MIMO.....	39
Figura 11: Multiplexação espacial.....	40
Figura 12: Diversidade Espacial.....	41
Figura 13: Tipos de arranjos.....	42
Figura 14: Sistema MIMO 2x2.....	43
Figura 15: Sistema MU-MIMO.....	43
Figura 16. Exemplo do funcionamento do LTE-Advanced.....	45
Figura 17. Sistema MassiveMIMO desenvolvido pela NTT Docomo.....	46
Figura 18 : Evolução do LTE para o 5G.....	47
Figura 19. Cronograma para as especificações pelo grupo da 3GPP para 5G.....	48
Figura 20. Local do teste – Rua Ayrton Pizzatto Gusi - Xaxim - Curitiba. (5X10).....	56
Figura 21. Local do teste – Rua Engenheiro Ostoja Roguski - Jardim Botânico - Curitiba.....	57
Figura 22. Local do teste – Av. Mal. Floriano Peixoto – Boqueirão – Curitiba.....	58
Figura 23. Local do teste – Av. Victor Ferreira do Amaral –Capão Da Imbuia- Curitiba.....	59
Figura 24. Local do teste – Rua Mal. Hermes - Centro Cívico - Curitiba.....	60
Figura 25. Local do teste – Rua Canada - Boa Vista - Curitiba.....	61
Figura 26. Local do teste – Av. Manoel Ribas - São Francisco - Curitiba.....	62
Figura 27. Local do teste – Centro, Matriz Curitiba.....	63
Figura 28. Local do teste – Rua Antero de Quental – Vila Lindóia – Curitiba.....	64
Figura 29. Local do teste – Rua Engenheiros Rebouças – Água Verde – Curitiba. ...	65
Figura 30. Local do teste – Rua Saldanha Marinho – Bigorriho – Curitiba.....	66
Figura 31. Os 11 Locais Onde Foram Realizados Os Testes Em Curitiba.....	67
Figura 32. Contrato Pós-Pago Operadora Claro.....	73
Figura 33. Contrato Pós-Pago Operadora Vivo.....	75
Figura 34. Cobertura 4G Da Operadora Claro.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Padrão ITU para terceira geração.	12
Tabela 2: Tabela de padronização da qualidade (QCI) do LTE.....	29
Tabela 3. Locais onde foram executados os testes e seus respectivos resultados. .	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Relatório SMP da ANATEL.....	52
Gráfico 2. Capacidade de Downlink e Uplink No Bairro Xaxim	58
Gráfico 3. Capacidade de Downlink e Uplink No Parque Jardim Botânico.....	57
Gráfico 4. Capacidade de Downlink e Uplink No Parque Náutico De Curitiba.	58
Gráfico 5. Capacidade de Downlink e Uplink No Detran.	59
Gráfico 6. Capacidade de Downlink e Uplink No Museu Oscar Niemeyer.	60
Gráfico 7. Capacidade de Downlink e Uplink No Parque General Ibero De Mattos. .	61
Gráfico 8. Capacidade de Downlink e Uplink No Palácio de Telecomunicações.	62
Gráfico 9. Capacidade de Downlink e Uplink Na Praça Tiradentes.....	63
Gráfico 10. Capacidade de Downlink e Uplink No Bairro Vila Lindóia.....	64
Gráfico 11. Capacidade de Downlink e Uplink No Estádio Joaquim Américo Guimarães.....	65
Gráfico 12. Capacidade de Downlink e Uplink Na Praça Da Espanha.....	66
Gráfico 13. Valor Médio Para Operadora A e B.	67

LISTA DE SIGLAS

1G	Primeira Geração
2G	Segunda Geração
3G	Terceira Geração
3GPP	3rd generation Partner Ship Project
4G	Quarta Geração
5G	Quinta Geração
AMPS	Advanced Mobile Phone System
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
APN	Access Point Name
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ATIS	Alliance for Telecommunications Industry Solutions
ATT	Telecommunications Technology Association
AUC	Authentication Centre
CCSA	China Communications Standards Association
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Núcleo de Rede
CS	Circuito Modelo
DNS	Domain Name System
EDGE	Enhanced Data Rates For GSM Evolution
EPC	Evolved Packet Core
EPS	System Packet Evolved
ERB	Estação Radio Base
E-SMLC	Evolved Serving Mobile Location Centre
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EVDO	Evolution Data Only/Evolution Data Optimized
FDD	Frequency Division Duplex
FM	Frequency Modulation
GMLC	Gateway Mobile Location Center
GPRS	Serviços Gerais de Pacote por Rádio
GSM	Global System for Mobile Communications
GW-P	Packet Data Network Gateway
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IMS	Protocolo de internet de subsistemas de Multimídia
IMT	Telecomunicações Móveis Internacionais
IP	Protocolo de Internet
ITU	International Telecommunication Union

ITU-R	International Telecommunication Union – Radiocommunication
LAN	Local Area Network
LTE	Long Term Evolution
LTE-Advanced	Long Term Evolution-Advanced
MAN	Metropolitan Area Network
MCM	Multi Carrier Modulation
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobile Management Entity
NAS	Non-Access Stratum
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
PCRF	Policy Control and Charging Rules Function
PDCP	Protocolo de Convergência de Pacotes de Dados
PDN	Packet Data Network
PDP	Protocolo de Pacote de Dados
PS	Comutação de Pacotes
QoS	Qualidade de Serviço
RAN	Rede de Acesso por Rádio
RF	Radio Frequency
RLC	Controle da Ligação de Rádio
RNC	Controle da Rede por Rádio
RRC	Controle de Recursos de Rádio
RRM	Gestão de Recursos de Rádio
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência - Única Portadora
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving Gateway
SIM	Subscriber Identity Module
SIP	Protocolo de Iniciação da Sessão
SISO	Single Input Single Output
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TTC	Telecommunication Technology Committee
UE	Equipamento do Usuário
UHF	Ultra High Frequency
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network
VoIP	Voice over Internet Protocol
WCDMA	Wide-Band Code-Division Multiple Access
WI-FI	Wireless Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA	13
1.2 JUSTIFICATIVA	13
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 Objetivo Geral	14
1.3.2 Objetivos Específicos	14
1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 PADRONIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS MÓVEIS	16
2.1.2 O 3GPP	18
2.1.3 Capacidade Da Voz.....	18
2.1.4 Mobilidade E Intervalos De Células	19
2.1.5 Espectro De Distribuição E Modos Duplex	19
2.1.6 Interoperabilidade Com Outras Tecnologias	20
2.1.7 Requisitos Da Arquitetura De Rede	20
2.1.8 Tecnologia De Múltiplas Portadoras (Multicarrier Technology)	21
2.2 ARQUITETURA DA REDE	22
2.2.1 Introdução	22
2.2.2 Núcleo Da Rede	22
2.2.3 A Rede De Acesso	25
2.2.4 Qualidade de Serviço (QoS)	28
2.3 ESTUDO DAS TÉCNICAS OFDM, OFDMA E SC-FDMA.....	30
2.3.1 História Do OFDM.....	30
2.3.2 Conceitos Básicos Do OFDM	30
2.3.3 OFDMA - Técnica Aplicado Para Downlink	34
2.3.4 SC-FDMA Técnica Aplicado Para Uplink	36
2.4 TECNOLOGIA MIMO	37
2.4.1 Técnicas De Múltiplas Antenas	39
2.4.2 Multiplexagem Espacial	40
2.4.3 Diversidade Espacial.....	40
2.4.4 Arranjo.....	41
2.4.5 Características Do MIMO	43
2.5 LTE ADVANCED E 5G	44
2.5.1 LTE-Advanced.....	44
2.5.2 O Desenvolvimento Do 5G.....	46
2.5.3 Requisitos 5G.....	47
3 TESTE DE CAMPO	50
3.1 OBJETIVO	50
3.2 INTRODUÇÃO	50
3.3 SOFTWARE UTILIZADO PARA O TESTE.....	51
3.4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	52
4 CONCLUSÃO	68
4.1 CONTRIBUIÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68
REFERÊNCIAS	69

ANEXO(S).....	73
ANEXO A – TERMO DE ADESÃO DE PESSOA FÍSICA PARA PLANOS DE SERVIÇOS PÓS PAGOS – SMP	73
ANEXO B – COBERTURA 4G EM CURITIBA DA OPERADORA CLARO.....	76
ANEXO C - RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DO SOFTWARE SPEED TEST..	77

1. INTRODUÇÃO

O tema proposto tem como objetivo demonstrar um estudo sobre a tecnologia LTE (Long Term Evolution) e LTE Advanced, padrão utilizado para as redes de celular da quarta geração. O assunto foi escolhido após ser executada uma breve pesquisa e identificar falta de material sobre a tecnologia.

O sistema celular está dividido até o ano de 2015 em quatro gerações as quais serão apresentadas em um resumo nos próximos parágrafos:

Primeira Geração celular (1G): Um sistema analógico, que utilizava um sistema de modulação em frequência (FM – Frequency Modulation), onde a voz era transmitida em rádio frequência (RF – Radio Frequency) na faixa de UHF (Ultra High Frequency). (Sverzut, 2005, p.44).

Em 1984 foi escolhido o padrão americano AMPS (Advanced Mobile Phone System) como modelo a ser utilizado no Brasil. Porém apenas em 1990 a cidade do Rio de Janeiro tornou-se a primeira a utilizar a telefonia móvel celular.

O grande salto da primeira geração no Brasil ocorreu em 1997 com a abertura de mercado da telefonia móvel e a criação da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), a qual dividiu o espectro de frequência em duas bandas A (825,03–834,99 MHz, abrangendo os canais de 1 a 333) e a banda B (835,02–844,98 MHz, abrangendo os canais de 334 a 666).

Segunda Geração (2G): Surgiu com o objetivo de aumentar de capacidade com relação primeira geração, nos Estados Unidos foi criado três padrões: IS-54 AMPS Digital, IS-136 TDMA Digital (Acesso múltiplo por divisão de tempo) e IS-95 CDMA Digital (Acesso múltiplo por divisão de código). Porém o que melhor se adaptou foi o padrão Europeu Sistema móvel global (GSM - Global System for Mobile Communications). O padrão GSM teve êxito devido ao seu uso em massa dentro da união europeia. Isso fez com que esta tecnologia fosse produzida em serie, tornando seu custo baixo e atraindo grandes fabricantes do mundo. (Sverzut, 2005, p.46).

A possibilidade de fazer três chamadas simultâneas usando a frequência de 850 e 1900 MHz, com cada usuário ocupando um espaço de tempo específico na transmissão este foi o diferencial da tecnologia TDMA. Na tecnologia CDMA todos

os usuários transmitem e recebem informações ao mesmo tempo usando o mesmo canal, utilizam a mesma frequência do IS-136. Já a tecnologia GSM opera na faixa de frequência de 900 e 1800MHz. Foi neste último padrão que surgiu o chip do celular (SIM – Modulo de Identidade do Assinante) o qual garantiu maior segurança, já que diferente das tecnologias de sua geração não era possível fazer o clone do telefone. (X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, 2006).

Terceira Geração celular (3G): Com a popularização da internet o perfil do assinante começou a mudar, não se limitando apenas a chamada de voz, mais a utilização de E-mails, navegar na internet, aplicativos que utilizam dados, entre outros serviços. (Sverzut, 2005, p.65).

Para garantir taxas mais rápidas foi criado o padrão UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), o qual utiliza as tecnologias WCDMA (Wide-Band Code-Division Multiple Access), HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access), HSPA (High Speed Packet Access) e HSPA+.

A ITU (International Telecommunication Union) definiu como padrão para a terceira geração taxas de DownLink e UpLink as quais podem ser vistas na tabela abaixo:

Taxas dadas máximas	Tecnologias			
	WCDMA	HSDPA	HSPA	HSPA +
Downlink	384 (Kbps)	1,8-3,6-7,2 (Mbps)	14,4 (Mbps)	42,0 (Mbps)
Uplink	384 (Kbps)	384 (Kbps)	5,8 (Mbps)	11,5(Mbps)

Tabela 1: Padrão ITU para terceira geração.

Fonte: (HOLMA; TOSKALA, 2006).

Quarta Geração LTE e LTE-ADVANCED (4G) é a mais recente tecnologia da telefonia móvel no mundo, ela surgiu pelo mesmo motivo das gerações anteriores, melhorar a capacidade de transmissão. A tecnologia foi padronizada pelo 3GPP (3rd Generation Partner Ship Project) que é um conjunto das associações de telecomunicações dos Estados Unidos da América, Europa, Japão, Coréia do Sul e China. (TELECO, 2014).

Em dezembro de 2005, as opções de interface de rádio foram reduzidas para o uso do OFDM no downlink (transmissão de sinal no sentido da ERB (Estação

Rádio Base) para o sistema móvel) e Single Carrier – Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA – Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência – com uma única portadora) no uplink (transmissão de sinal no sentido do sistema móvel para a ERB). (FERREIRA, 2010, p. 26).

O LTE suporta taxas de dados muito elevadas, superiores a 300Mbit/s no Downlink e 80 Mbit/s no uplink. A tecnologia vai suportar operações tanto em FDD (Espectro pareado) como TDD (Espectro não pareado).(TELECO, 2014).

1.1 PROBLEMA

Em um mundo globalizado e com a evolução tecnológica das redes sem fio e sua capacidade de transmissão de dados cada vez maior, optou-se por fazer um estudo sobre a rede de dados móvel LONG TERM EVOLUTION (LTE) bastante difundida, pelo mundo, com a utilização em massa dos *smartphones* e *tablets*.

A rede móvel LTE tem que fornecer capacidade de transmissão de acordo com a evolução das redes de dados, proporcionando qualidade nas aplicações oferecidas pelas empresas de telecomunicações.

A demanda por capacidade de transmissão de dados, da rede móvel, ofertadas tende a aumentar muito, a sua qualidade é cada vez mais exigida. Já que os aparelhos ofertados no mercado, estão em constante evolução, incluindo mais funções e capacidade de processamento, exigindo assim o máximo da rede.

A rede LTE deverá superar o desempenho oferecido pela rede 3G, que atualmente tem o maior número de assinantes, porém deve-se precaver para que com a migração desses assinantes para o LTE não venha causar congestionamento na rede e diminua significativamente seu desempenho para o utilizador. A falta de espaço no espectro comercial, o uso de altas frequências para obter ganho no sinal gera prejuízo à eficiência em relação à potência necessária para uma transmissão de qualidade.

1.2 JUSTIFICATIVA

A evolução tecnológica é um tema que desperta interesse, dentro deste assunto temos a rede de dados sem fio e a LTE, que em pouco tempo evoluiu

significativa. Seu volume de transmissão de dados cada vez mais alto e sua crescente expansão, levou ao interesse de entender como é possível uma rede sem fio através de uma ERB (Estação Rádio Base), poderia ter uma transmissão semelhante a uma rede fixa.

A crescente demanda por uma maior capacidade de dados nos meios de comunicações, também foi um fator significativo para a escolha dessa tecnologia como alvo do estudo, tendo em vista que ela poderá suprir grande parte das transmissões de dados das operadoras de telecomunicações no Brasil e no mundo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma pesquisa que demonstre o funcionamento da tecnologia 4G e comprovar através de testes o funcionamento da mesma.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Análise do estado da arte;
- Estudar o funcionamento das tecnologias que envolvem o 4G;
- Estudar suas características;
- Identificar qual a real capacidade dessas tecnologias;
- Pesquisar sobre sua eficiência;
- Realizar uma pesquisa de campo com duas operadoras.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente, realizado um levantamento bibliográfico sobre as tecnologias LTE e LTE-ADVANCED (4G). Concluído esse levantamento, através de pesquisas na internet, livros, revistas de tecnologias, dissertações, teses e em artigos relacionados a essas tecnologias. Com o material pesquisado elaborou-se o trabalho, para demonstrar o funcionamento da tecnologia foram realizados testes de campo, com a intenção de medir a capacidade de Downlink e Uplink.

Foram escolhidas duas operadoras e contratado dois planos pós-pagos, desta forma realizou-se testes com o aplicativo SpeedTest em 11 pontos da cidade de Curitiba e identificando a real capacidade de downlink e uplink do LTE.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PADRONIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS MÓVEIS

Ao comparar as tecnologias de transmissão, como as que utilizam linhas de cobre e cabos de fibras óticas, as tecnologias de comunicação sem fio podem sofrer desvantagens, já que, o espectro de rádio é um meio compartilhado, entre diferentes tecnologias, as quais podem gerar interferência. Para minimizar ou até mesmo anular as desvantagens, existem os órgãos reguladores, como ITU (União Internacional de Telecomunicações) e o regulador nacional a ANATEL, estes têm papéis fundamentais na evolução das tecnologias móvel, uma vez que regulamentam quais partes do espectro e quanta largura de banda pode ser usado para determinado tipo de serviço e tecnologia.

O ITU definiu famílias de tecnologia e limites para cada família como podem ser vistos na figura 1.

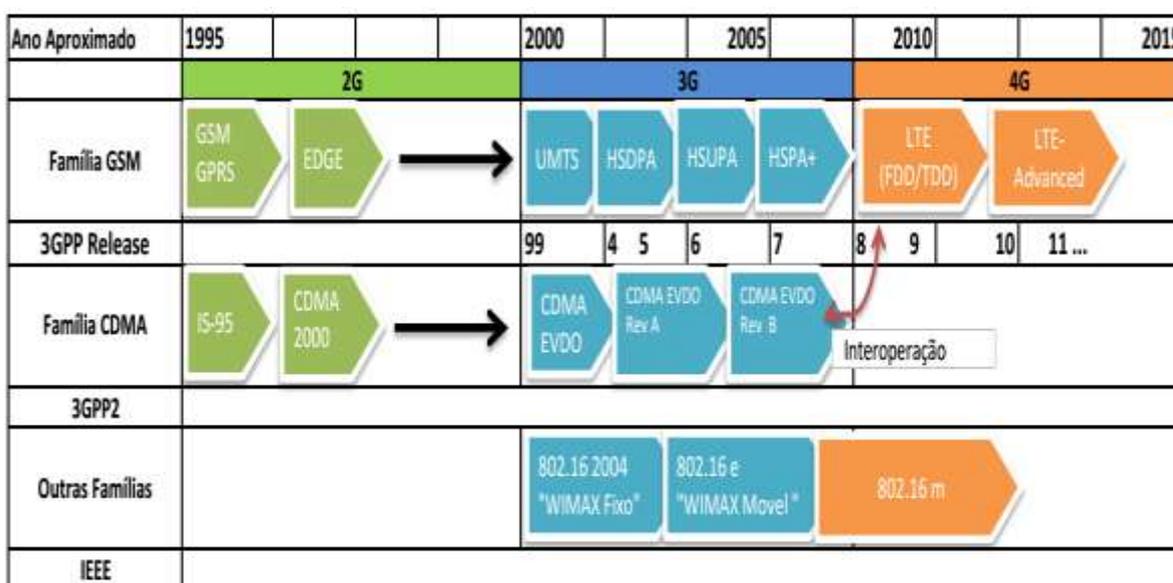


Figura 1: Linha do tempo das famílias do sistema de telecomunicações.
Fonte: Autoria própria.

Nas especificações da ITU o LTE não entra na quarta geração porém para a ANATEL a tecnologia LTE é aceita como 4G, por isto na figura 1 o LTE está especificado nesta geração. Para a ITU a quarta geração das telecomunicações é

apresentada na tecnologia LTE-Advanced, pois esta consegue atingir as características mínimas e estas características são apresentadas no capítulo 2.5.

Na figura 1 é possível observar a evolução das tecnologias a partir da segunda geração como as famílias GSM/GPRS/EDGE e a família CDMA com o IS-95 e CDMA 2000 esta segunda família destaca-se os aparelhos celulares, os quais, não possuem SIM, mais conhecido como chip. Na terceira geração a evolução nos aparelhos com chip inicia-se a partir do ano 2000 com as tecnologias (UMTS/HSDPA/HSUPA/HSPA+).

Na família CDMA a evolução parte para CDMA EVDO/CDMA EVDO Rev A/CDMA EVDO Rev B, esta família parou sua evolução na segunda geração, pois mundialmente o padrão GSM se tornou mais viável e também entra a família desenvolvida pelo IEEE com o padrão 802.16 2004(WiFi) WIMAX Fixo/802.16 e WIMAX Movei. Na quarta geração tem início o padrão LTE e LTE Advanced, já na família da IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) destaca-se o padrão 802.16 m. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 3)

No Release 99 foi especificado o padrão UMTS, o qual recebeu metas para downlink e uplink, ao superar estas taxas de transmissão à tecnologia passou para um novo padrão o HSDPA e HSUPA especificados nos Releases 2, 3, 5, 6 conhecidos coletivamente como HSPA. Esta última foi revisada na versão Releases 7 se tornando HSDPA+. As versões 8,9,10 introduz uma portadora de 5MHz e transporte múltiplo que funciona conjuntamente em downlink e uplink. A cada evolução não era necessário substituir todos os equipamentos, pois as tecnologias são compatíveis.

A primeira versão do LTE foi disponibilizada no Release 8 da série de especificações 3GPP, onde a tecnologia compreendia as antecessoras HSPA e HSPA+, ainda se beneficiava da otimização da pilha de protocolos. A segunda versão do LTE foi desenvolvida no Release 9 e 10 com início da nova geração LTE Advanced.

O Terceiro caminho da evolução surgiu a partir da IEEE 802 LAN/MAN5 comitê de padrões, que criou o "802.16", família com um padrão de acesso sem fio de banda larga. Este é muitas vezes referido como WiMax, com base em um assim chamado "sistema de perfil" montado a partir do padrão 802.16 e promovido pelo Fórum WiMAX Forum. Enquanto a primeira versão conhecida como 802.16-2004, ficou restrita ao acesso fixo, a segunda versão, conhecida como 802.16e inclui

suporte básico de mobilidade e, portanto, muitas vezes referida como “WiMax móvel”. No entanto, pode-se notar que, em geral, a família WiMax não foi criada com a mesma ênfase na mobilidade e compatibilidade com redes centrais das operadoras. Já o padrão 802.16m tem metas semelhantes ao LTE-Advanced por isto foi colocado na figura 1 na mesma linha da quarta geração. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 4).

2.1.2 O 3GPP

O 3GPP é um modelo de padronização e colaboração que produziu com sucesso o sistema GSM o qual se tornou base para desenvolvimento do UMTS até então padronizado pelo órgão regulamentador europeu ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Por uma questão de produção das normas verdadeiramente globais o ETSI se expandiu se unindo às organizações de vários outros países como ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) e TTC (Telecommunication Technology Committee) (Japão), TTA (Telecommunications Technology Association) (Coréia do Sul), ATIS (Alliance for Telecommunications Industry Solutions) (Estado Unidos) e CCSA (China Communications Standards Association) (China). Assim, o 3GPP nasceu e até o ano de 2011 ostentava 380 empresas-membro individuais.

2.1.3 Capacidade Da Voz

Ao contrário de tráfego, como downlink de arquivos, que normalmente o atraso é tolerável e não requer uma taxa de bits garantida, o tráfego em tempo real, como voz sobre IP (VoIP) tem restrições de atraso apertados. Este é um desafio particular em um sistema totalmente baseado em pacotes, como LTE, que depende de escalonamento adaptativo. A exigência da capacidade do sistema é definido como o número de usuários de VoIP satisfeitos. Um usuário de VoIP é considerado em falha, ou seja, não satisfeito, se mais de 2% dos pacotes VoIP não chegarem com sucesso para o receptor de rádio dentro de 50ms e, por conseguinte, são descartados. Isso pressupõe um atraso global *end-to-end* (a partir do terminal móvel para o terminal móvel) abaixo de 200ms. A capacidade do sistema para VoIP pode

então ser definida como o número de utilizadores por célula presentes quando mais de 95% dos utilizadores são satisfeitos. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 10)

2.1.4 Mobilidade E Intervalos De Células

Na tecnologia LTE para suportar a comunicação com terminais em movimento existe um limite de velocidade de até 350 Km/h, ou mesmo até 500 Km/h, dependendo da faixa de frequência. O cenário principal para a operação em velocidades altas é, utilização em trens de alta velocidade. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 11).

O grau de mobilidade é, basicamente, ligado ao tamanho das células em um sistema celular, assim como a capacidade do sistema. Em geral, o tamanho das células em um sistema celular tem que ser maior para um maior grau de mobilidade, a fim de limitar a carga de entrega na rede. (FERREIRA, 2010, p. 19).

O sistema LTE deve alcançar estes objetivos e manter a qualidade mesmo em altas velocidades, para isto utiliza células típicas de raio de até 5Km, enquanto que a operação deve continuar a ser possível para os intervalos de células de 100Km e mais, para permitir a implementação em áreas amplas. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 11).

2.1.5 Espectro De Distribuição E Modos Duplex

Com a demanda cada vez maior, por espectro radioelétrico devido o aumento das comunicações móveis, o LTE se faz necessário, para utilizar uma ampla gama de bandas e tamanhos de atribuição do espectro, tanto em uplink e downlink de frequência. O LTE pode usar alocação de espectro variando de 1,4 a 20MHz com uma única portadora e endereços de todas as faixas de frequência atualmente identificadas para o sistema IMT(Telecomunicações Móveis Internacionais) pela ITU-R, inclusive aquelas abaixo de 1GHz. Isto incluirá a implementação do LTE nos espectro atualmente ocupado pelo acesso de tecnologias de rádio mais antigo, esta prática é conhecida como reorganização de espectro.

No Brasil será reutilizada a frequência de 700MHz para a internet móvel da quarta geração (4G) esta frequência atualmente é utilizada pela televisão analógica, a qual será descontinuada no ano de 2018. (G1 TECNOLOGIA)

2.1.6 Interoperabilidade Com Outras Tecnologias

A interoperação flexível com outras tecnologias de acesso via rádio é essencial para a continuidade dos serviços, especialmente durante a fase de migração e implementação inicial do LTE.

O LTE conta com uma rede de núcleo de pacotes evoluídos que permite a interoperabilidade com várias tecnologias de acesso, em especial as tecnologias anteriores 3GPP (GSM/EDGE e UTRAN 9), bem como tecnologias não pertencentes as definidas pelo 3GPP (WiFi, WiMAX e CDMA2000).

2.1.7 Requisitos Da Arquitetura De Rede

Para permitir a implementação do LTE é necessário uma melhor concepção da arquitetura de rádio e rede de acesso, incluindo:

- Arquitetura plana constituída por apenas um tipo de nó, a estação de base, conhecida no LTE como NodeB;
- Protocolos eficazes para o apoio dos serviços de comutação de pacotes;
- As interfaces abertas e suporte de equipamentos de vários fornecedores tendo interoperabilidade;
- Mecanismos eficientes de operação e manutenção, incluindo a auto-otimização.
- Suporte de fácil implementação e configuração.
- Downlink com taxa de dados de pico de 100 Mb/s a 20MHz atribuição do espectro de downlink (5 Bps/Hz)
- Uplink com taxa instantânea de dados de pico de 50Mb/s (2,5 bps/Hz) dentro de uma alocação de banda de 20MHz.
- A taxa de transferência média equivalente a 3 a 4 vezes superior a 3G apresentada no Release 6.
- Uplink com taxa de transferência média de 2 a 3 vezes maior que a apresentada na tecnologia 3G Release 6.
- A eficiência da utilização do espectro também deve estar mais eficaz em torno de 3 a 4 vezes no downlink e 2 a 3 vezes no uplink.

Estas especificações foram retiradas e traduzidas do Release 8 V0.3.3, no item 5.1.1, do 3GPP.

2.1.8 Tecnologia De Múltiplas Portadoras (Multicarrier Technology)

Utilizando uma abordagem de multiportadoras para acesso múltiplo, essa foi a primeira grande escolha de design para o LTE. Esta escolha foi feita em dezembro de 2005, como o OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) sendo selecionado para o downlink e SC-FDMA para uplink.

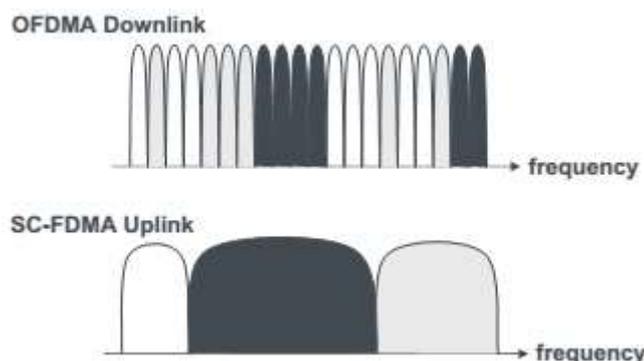


Figura 2: Domínio de frequência vista no LTE na tecnologia de múltiplo acesso.
 Fonte: BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 14.

O OFDMA estende a tecnologia multiportadoras do OFDM para fornecer um esquema de acesso múltiplo muito flexível. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 14).

O OFDM é uma forma especial de modulação por multiportadoras (MCM – Multi Carrier Modulation), onde um único fluxo de dados é transmitido através de um número de subportadoras, a uma taxa mais baixa. OFDM pode ser visto tanto como uma técnica de modulação ou uma técnica de multiplexação.

O FDMA é uma forma de modulação do sinal por diferentes subportadoras e OFDMA é uma forma de agrupar sinais de diferentes fontes, utilizando a tecnologia OFDM. (Ferreira, 2010, p. 35)

Esta flexibilidade resultante pode ser utilizada de várias maneiras:

- Larguras de banda de espectros diferentes podem ser utilizadas, sem alterar os parâmetros do sistema fundamental ou design de equipamento;
- Recurso de transmissão de largura de banda variável pode ser atribuído a diferentes usuários e programado livremente no domínio da frequência;
- Frequências fracionárias, reutilização e coordenação interferência entre células são facilitadas.

2.2 ARQUITETURA DA REDE

2.2.1 Introdução

O LTE foi concebido para suportar apenas serviços de comutação de pacotes (PS), em contraste com o modelo de sistemas celulares anteriores Circuito Modelo (CS). Seu objetivo é fornecer Protocolo de Internet (IP) conectando perfeitamente entre Equipamentos do Usuário (UE) Celulares, tablets ou qualquer dispositivo que utilize a tecnologia para se conectar a internet – Através do UE o usuário solicita e recebe serviços da rede de dados PDN (Packet Data Network), sem qualquer interrupção para aplicações dos usuários finais durante a mobilidade.

Embora o termo LTE abranja a evolução do acesso via rádio através do UTRAN Evolved 1 (E-UTRAN), ele é acompanhado por uma evolução dos aspectos não-rádio sob o termo “System Architecture Evolution” (SAE), que inclui a rede Evolved Packet Core (EPC). Juntos LTE e SAE compreendem o Sistema Packet Evolved (EPS). (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 25).

2.2.2 Núcleo Da Rede

O CN (Chamado EPC em SAE) é responsável pelo controle global da UE e o estabelecimento dos portadores. Os principais nos lógicos do EPC são:

- **PacketData Network Gateway (GW-P)**; Serve como ponto de entrada e de saída do tráfego de dados do UE e de interface entre as redes LTE e as redes de pacotes de dados tais como a Internet ou redes fixas e móveis baseadas em protocolo de iniciação da sessão (SIP) ou protocolo de internet de subsistemas de multimídia (IMS). Realiza a execução de políticas através da aplicação das regras definidas pelo operador para a atribuição e utilização de recursos. Também faz a gestão da atribuição de endereços IP e suporta a filtragem de pacotes para cada utilizador.
- **Servir Gateway (S-GW)**; Atua como o ponto de terminação entre a rede de acesso rádio (EUTRAN) e a rede Core. Encaminha os pacotes de dados para o eNodeB e o P-GW, realiza a contabilização e o controle dos dados do utilizador. Também serve de âncora de mobilidade local para os handovers

entre eNodeBs ou para a passagem entre redes 3GPP e informa o tráfego do utilizador no caso de intercepção legal. (GONÇALVES, 2011, p. 14).

- **Mobility Management Entity (MME)**; É o nó de controle que processa a sinalização entre o UE e EPC. Os protocolos que funcionam entre a UE e a EPC são conhecidos como os protocolos Non-Access Stratum (NAS). As principais funções suportadas pelo MME são classificadas como:

Funções relacionadas à gestão das portadoras: Isso inclui o estabelecimento, manutenção, liberação das portadoras e é tratada pela camada de gerenciamento de sessão no protocolo NAS.

Funções relacionadas com a gestão de conexão: Isso inclui o estabelecimento da conexão e de segurança entre a rede e a UE, e é tratada pela conexão ou camada de gerenciamento de mobilidade na camada de protocolo NAS.

- **Evolved Serving Mobile Location Centre (E-SMLC)**; O E-SMLC gera a coordenação geral e programação de recursos necessários para encontrar a localização de uma UE (Celular ou dispositivo móvel) que está ligado a E-UTRAN. Ele também calcula a localização final com base nas estimativas que recebe, e estima a velocidade UE e da precisão alcançada. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 28;29).

Além desses nós, o EPC também inclui outros nós lógicos e funções, tais como o Gateway Mobile Location Centre (GMLC), o Home Subscriber Server (HSS) e o Policy Control and Charging Rules Function (PCRF). Uma vez que o EPS apenas fornece um caminho de portador de uma determinada qualidade de serviço (QoS), o controle de aplicações multimídia, tais como VoIP é fornecido pelo IMS que é considerada fora da própria EPS. Quando um usuário está em roaming fora da sua rede de país de origem, P-GW, GMLC e IMS domínio do usuário pode ser localizado em qualquer rede doméstica ou da rede visitada.

- **Gateway Mobile Location Centre (GMLC)**; O GMLC contém funcionalidades necessárias para suportar os serviços de localização. Depois de realizar a autorização, ele envia pedidos de posicionamento ao MME e recebe as estimativas da localização final.
- **Home Subscriber Server (HSS)**; O HSS contém SAE dados de inscrição dos usuários como o perfil de QoS EPS-subscritas e quaisquer restrições de acesso para roaming. Ele também contém informações sobre os PDNs ao

qual o usuário pode se conectar. Isto pode ser na forma de um Access Point Name (APN) (que é um rótulo de acordo com o DNS (Domain Name System), duas convenções de nomenclatura que descrevem o ponto de acesso para o PDN), ou um endereço PDN (que indica o endereço de IP subscrito). Além disso, o HSS mantém a informação dinâmica, tais como a identidade do MME para o qual o utilizador está atualmente ligado ou registrado. O HSS também pode integrar o centro de autenticação, que gera os vetores para autenticação e segurança chaves. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 28).

- **Policy Control and Charging Rules Function (PCRF)**; Dá permissão ou rejeita pedidos de multimídia. Cria e faz a atualização do contexto do protocolo de pacotes de dados (PDP) e controla a atribuição de recursos. Também fornece as regras de tarifação com base no fluxo de serviços de dados para o P-GW. (GONÇALVES, 2011, p. 15).

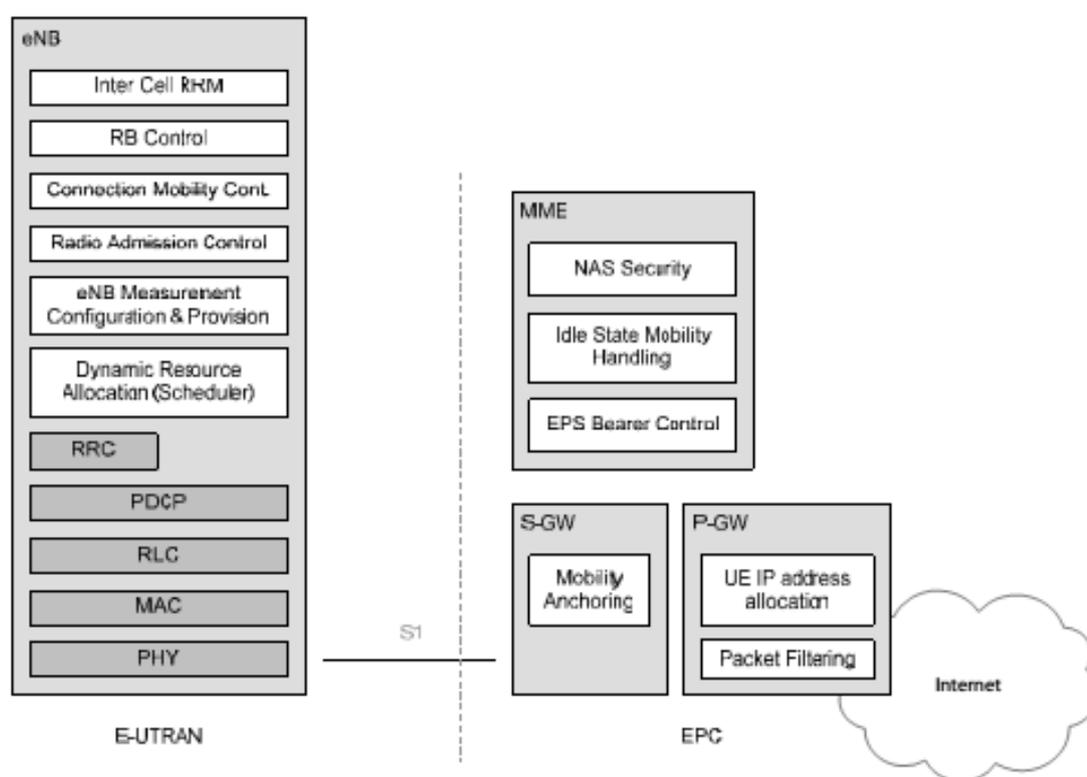


Figura 3: Funcionalidades do E-UTRAN e do EPC.
 Fonte: 3GPP Release 8 V0.3.3(2014-09).

2.2.3 A Rede De Acesso

A rede de acesso LTE, E-UTRAN, consiste simplesmente em uma rede de eNodeBs, como ilustrado na Figura 4. Para o tráfego de utilizador normal (em oposição a transmitir), não há nenhum comando centralizado em E-UTRAN; daí a arquitetura E-UTRAN é plana. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 30).

Uma das características mais importantes que foi a “inteligência” que passou a ser dada à EBS, tendo agora a denominação de evolved Node B (eNodeB). Todas as tarefas e funcionalidades de rádio são agora feitas no eNodeB, tais como: Gestão de Recursos de Rádio (RRM), Controle da Ligação de Rádio (RLC), Controle de Recursos de Rádio (RRC) e Protocolo de Convergência de Pacotes de Dados (PDCP). O controle de portadora de rádio, o controle de admissão de rádio, o controle de mobilidade da ligação, a atribuição dinâmica de recursos e as configurações de medição e relatórios também são realizados ao nível do eNodeB.

Os eNodeBs são interligados entre si através da interface X2, Figura 4. Assume-se que existe sempre uma interface X2 entre os eNodeBs de forma a estes poderem comunicar entre si (para fins de rádio ou handover), eliminando desta forma uma grande quantidade de fluxo de dados nos RNC's (Controle da rede por rádio). Interligado aos eNodeBs, através de uma interface S1 ou de uma Rede de Acesso Rádio (RAN - Radio Access Network), está o Evolved Packet Core (EPC).

O EPC é responsável pelos serviços que a rede presta ao usuário, dentre outros podemos citar a conectividade IP à rede desejada, gerenciamento de mobilidade, autenticação e segurança para entrada na rede. Por sua vez, o E-UTRAN é responsável pela conectividade na interface aérea do sistema, tais como gerenciamento de recursos de rádio, mobilidade da conexão, controle de admissão de rádio e alocação de recursos dinâmicos. (SOUZA; GUARDEIRO, 2012, p1).

O EPC é composto pelo Mobility Management Entity (MME), o Serving Gateway (S-GW) e o Packet Data Network Gateway (P-GW), sendo que estes dois últimos compõem o System Architecture Evolution Gateway (SAE-GW). As funcionalidades atribuídas ao E-UTRAN e ao EPC estão resumidas na Figura 3. As funcionalidades do RNC na rede UMTS estão agora divididas entre o eNodeB e o S-GW, que também tem as funcionalidades do SGSN (Serving GPRS Support Node) da rede GSM. (GONÇALVES, 2011, p. 13).

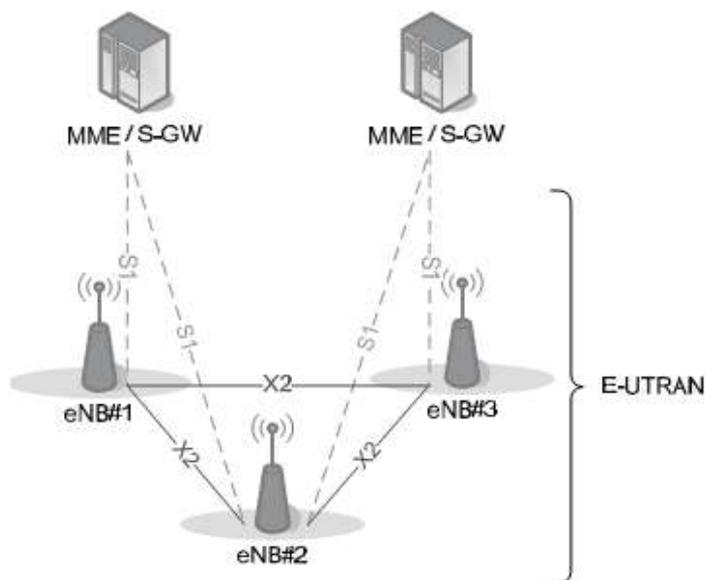


Figura 4: Arquitetura E-UTRAN.

Fonte: BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 30.

O E-UTRAN é responsável pelo gerenciamento dos recursos de rádio, compressão de cabeçalho IP, criptografia de fluxo de dados de usuário, suas principais funções estão resumidas abaixo:

- **Gestão dos recursos de Rádio (Radio Resource Management).** Abrange todas as funções relacionadas as portadoras de rádio, controle de admissão de rádio, controle de mobilidade, programação e alocação dinâmica de recursos para Ues, tanto em uplink e downlink.
- **Compressão de Cabeçalho (Header Compression).** Ajuda a garantir o uso eficiente da interface de rádio comprimindo os cabeçalhos dos pacotes IP que poderiam representar uma sobrecarga significativa, especialmente para pequenos pacotes, tais como VoIP.
- **Segurança (Security).** Todos os dados enviados através da interface de rádio são criptografados.
- **Posicionamento (Positioning).** O E-UTRAN fornece as medições necessárias e outros dados para o E-SMLC e auxilia o E-SMLC em encontrar a posição do UE.
- **A conectividade com o EPC (Connectivity to the EPC).** Esta consiste na sinalização para o MME e o caminho da portadora para a S-GW.

Todas as funções residem nas EnodeBs, cada um dos quais pode ser responsável pela gestão de várias células. Ao contrário de algumas das tecnologias de segunda e terceira gerações anteriores ao LTE integra a função de controlador

de rádio para o eNodeB. Isto permite uma interação estreita entre as diferentes camadas de protocolo de rede de acesso rádio, assim reduzindo a latência e melhorar a eficiência. Tal controle distribuído elimina a necessidade de uma alta disponibilidade, controlador de uso intensivo de processamento, que por sua vez tem o potencial para reduzir custos e evitar “ponto único de falha”. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 31).

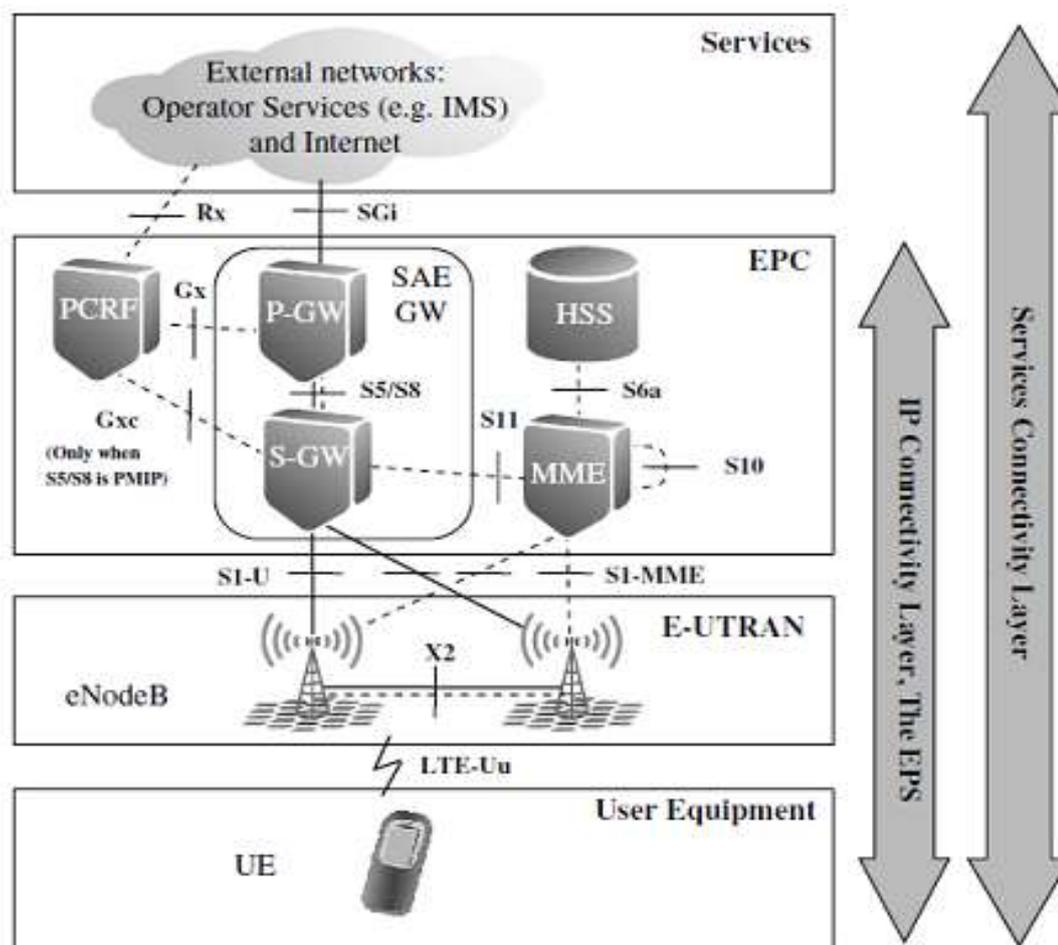


Figura 5: Arquitetura do sistema para uma rede LTE.
Fonte: GONÇALVES, 2011, p. 12.

Uma característica importante da interface S1 - visto na figura 4 - que liga a rede de acesso para a CN é conhecido como S1-flex. Este é um conceito segundo o qual vários nós NC (MME / S-GW) pode servir uma área geográfica comum, sendo conectados por uma rede de malha para o conjunto de eNodeBs nessa área. Um eNodeB pode, assim, ser servido por múltiplos MME / S-GW.

O conjunto de nós MME / S-GW servindo uma área comum é chamado de calledan MME/S-GW. Este conceito permite UEs nas células controlados

por um eNodeB para ser compartilhado entre vários nós NC, proporcionando assim a possibilidade de compartilhamento de carga e também eliminar pontos únicos de falha para os nós NC. O contexto do UE normalmente permanece com a mesma MME enquanto o UE está localizado dentro da zona da called. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 31).

2.2.4 Qualidade de Serviço (QoS)

Várias aplicações podem estar em execução em um celular(UE), ao mesmo tempo, cada um tendo diferentes requisitos de QoS. Por exemplo, um usuário ao utilizar seu smartphone pode fazer uma chamada VoIP ao mesmo tempo que navega na internet e também abaixar um arquivo FTP. Porém o VoIP tem requisitos mais rigorosos para QoS em termo de atraso, pois vai impactar na qualidade da comunicação, já a navegação na internet e o FTP toleram um atraso no recebimento dos dados os mesmos podem ser reenviados sem a perda do entendimento do conteúdo. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 34).

Para entender como a QoS funciona em uma rede LTE é necessário conhecer o EPS o qual consiste em fluxos de pacotes unicamente identificados que recebem um tratamento comum de QoS entre o UE e o PDN-GW. Um fluxo de pacotes é definido por filtros de pacotes que se encontram no UE para o uplink e no PDN-GW para o downlink. Estes filtros são responsáveis por associar os fluxos a um EPS bearer e classificar os pacotes baseados nos seguintes parâmetros:

- IP de origem;
- IP de destino;
- Porta de origem;
- Porta de destino;
- Tipo do Protocolo (campo no cabeçalho IP).

Existem dois tipos de EPS bearers, as que possuem garantia de largura de banda (Guaranteed Bit Rate, GBR) e as que não possuem a garantia de largura de banda (NonGuaranteed Bit Rate, non-GBR).(SOUZA;GUARDEIRO, 2012, p3).

- **Minimum Guaranteed Bit Rate (GBR)** – Mínimo Taxa de Bit Garantida – Portadoras que podem ser usados para aplicações como VoIP. Estes têm um valor associado GBR para que os recursos de transmissão dedicados sejam permanentemente alocados em portador de criação / modificação. Taxas de bits mais elevadas do que a GBR podem ser permitidos para um portador GBR se os recursos estão disponíveis. Em tais casos, um parâmetro de taxa de bits máxima (MBR), que também pode ser associado com um portador GBR, estabelece um limite superior da taxa de bits, que pode ser esperado a partir de um portador GBR.
- **Non-GBR**–Portadores não-GBR– neste caso não garantem qualquer taxa de bits particular. Estes podem ser usados para aplicações como navegação na web ou transferência FTP. Para essas portadoras, não há recursos de banda, são alocadas de forma permanente para o portador. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 34).

O 3GPP padronizou alguns QCIs (QoS Class Identifier), com o objetivo de que redes com elementos de vários fabricantes ofereçam o mesmo nível de QoS às aplicações e serviços mapeadas com um determinado QCI. Assim, cada QCI padronizado representa uma série de características que foram padronizadas e referidas a ele. (SOUZA;GUARDEIRO, 2012, p.3). Na tabela 2 é vista a padronização de algumas QCIs.

QCI	Resource Type	Priority	Packet delay budget (ms)	Packet error loss rate	Example services
1	GBR	2	100	10^{-2}	Conversational voice
2	GBR	4	150	10^{-3}	Conversational video (live streaming)
3	GBR	5	300	10^{-6}	Non-conversational video (buffered streaming)
4	GBR	3	50	10^{-3}	Real time gaming
5	Non-GBR	1	100	10^{-6}	IMS signalling
6	Non-GBR	7	100	10^{-3}	Voice, video (live streaming), interactive gaming
7	Non-GBR	6	300	10^{-6}	Video (buffered streaming)
8	Non-GBR	8	300	10^{-6}	TCP-based (e.g. WWW, e-mail) chat, FTP, p2p file sharing, progressive video, etc.
9	Non-GBR	9	300	10^{-6}	

Tabela 2: Tabela de padronização da qualidade (QCIs) do LTE.

Fonte: (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 35).

Na tabela 2 é observados parâmetros da qualidade de serviço, podemos ver relações de perda de pacotes toleráveis na tecnologia LTE.

2.3 ESTUDO DAS TÉCNICAS OFDM, OFDMA E SC-FDMA

2.3.1 História Do OFDM

A tecnologia de multiplexação por divisão de frequências ortogonais (OFDM) foi apresentada pela primeira vez na década de 1960 com a primeira patente sendo arquivada nos laboratórios da Bell Labs, em 1966. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 124).

Os autores tratam da transmissão de informação utilizando vários canais de banda limitada com o intuito de evitar a interferência entre portadoras e entre símbolos.(FARIAS, 2013, p. 7).

Em 1971, Weinstein e Ebert propuseram em seu trabalho a introdução da transformada discreta de Fourier (Discrete Fourier Transform - DFT) na técnica OFDM, melhorando o desempenho nos processos de modulação e demodulação dos sinais, tornando a implementação digital dos transceptores bastante simples. (FARIAS, 2013, p. 7).

Outra redução da complexidade foi realizado em 1980 pela aplicação da Winograd Fourier Transform (WFT) ou transformada rápida de Fourier (Fast Fourier Transform – FFT). (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 124).

OFDM tornou-se uma técnica de transmissão de dados muito utilizada em sistemas de comunicação sem fio como ADSL (Assymmetric Digital Subscriber Line), IEEE 802.11a, IEEE 802.15.3a, IEEE 802.16, DVB-T (Digital Video Broadcasting - Television), DAB-T (Digital Audio Broadcasting - Television) e principalmente no padrão do 4G da telefonia celular onde o OFDMA esta vinculado ao downlink de dados e o uplink esta baseado na técnica SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access).

2.3.2 Conceitos Básicos Do OFDM

Nas gerações anteriores ao 4G, era utilizado um sistema de transmissão de dados de portadora única, os símbolos são enviados em sequência desta maneira era utilizada toda a banda disponível. O OFDM utiliza transmissão paralela o qual substitui a transmissão serial, nesta “os dados são transmitidas de forma simultâneas, isto é, todos os componentes de uma sequência são enviados em um

mesmo instante. Uma das principais vantagens desse tipo de transmissão é o fato de cada símbolo ocupar apenas uma pequena parte do espectro de transmissão permitindo assim a divisão da portadora de transmissão em multiportadoras”. (FARIAS, 2013, p. 8).

O princípio básico do OFDM é dividir uma alta taxa de fluxo de dados em uma série de fluxos de baixa velocidade, que são transmitidos, simultaneamente, sobre um número de subportadoras. (FERREIRA, 2010, p.62).

Técnica OFDM é particularmente adequado para o canal de frequência seletiva e alta taxa de dados. Ele transforma um canal seletivo frequência de banda larga em um conjunto de canais de desvanecimento de banda estreita, planas paralelas, graças a Prefixo Cíclico (Cyclic Prefix- CP).(3GPP, Release 8, p 38).

O sistema OFDM é baseado numa tecnologia digital, usando a Discrete Fourier Transform (DFT) para transportar o sinal do domínio das frequências e a Inverse Discrete Fourier Transform (IDFT) para transportar de volta o sinal para o domínio do tempo sem nenhuma perda da informação original. O comprimento da DFT dever ser múltiplo de 2 para reduzir o número de multiplicações necessárias. (NETO, 2014, p. 5).

O OFDM tem como suas características principais:

- Modulação usando multiportadoras.
- Ortogonalidade entre as multiportadoras.
- Uso do prefixo cíclico, CP.
- Fácil implementação de equalizadores no domínio das frequências.

(NETO, 2014, p. 5,6)

A figura 6, vista abaixo apresenta as principais características de um sinal OFDM na frequência e no tempo. No domínio da frequência, múltiplas subportadoras são moduladas de forma independente com dados. Em seguida, no domínio do tempo, são introduzidos intervalos de guarda entre cada um dos símbolos para prevenir a interferência inter-simbólica no receptor causada pelo fator de o multi-percurso causar diferentes atrasos de propagação no canal rádio. (GONÇALVES, 2011, p. 94).

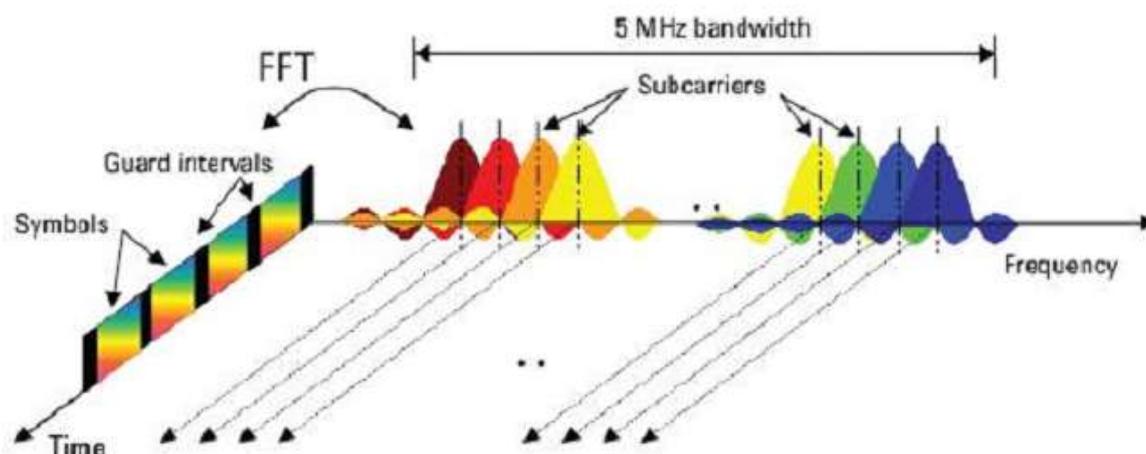


Figura 6: Sinal OFDM representado no tempo e na frequência.
 Fonte: 3GPP Release 6 V0.1.1(2010-02).

A desvantagem dos sistemas tradicionais multiportadoras se dá devido à complexidade de implementação, visto que é necessária uma estrutura de transceptores (transmissores e receptores) para que cada subportadora transmitida. No caso particular do OFDM, esse problema foi superado como uso da DFT, eliminando a necessidade de osciladores na transmissão e na recepção. (FARIAS, 2013, p. 8).

Os principais benefícios do OFDM que vêm à tona não são apenas o receptor de baixa complexidade, mas também a capacidade de OFDM de ser adaptado de forma simples de operar em diferentes larguras de banda de acordo com a disponibilidade de espectro. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 124).

Embora a utilização da tecnologia OFDM tenha sido utilizada durante vários anos nos sistemas de comunicações, a sua utilização em comunicações móveis é mais recente. O European Telecommunication Standards Institute (ETSI) pensou em utilizar a tecnologia OFDM no GSM, no final da década de 80, no entanto, o poder de processamento necessário para realizar as inúmeras operações da FFT de um sinal OFDM era bastante dispendioso e exigente para um terminal móvel naquela época.

No final da década de 90 o 3GPP cogitou a utilização da modulação OFDM para a terceira geração (3G) da telefonia móvel, entretanto, escolheu uma tecnologia alternativa baseada no Code Division Multiple Acesso (CDMA), pois o custo de processamento ainda era muito elevado para os terminais móveis - Equipamentos do Usuário (UE). Atualmente o custo do processamento digital de sinal é bastante

reduzido e a tecnologia OFDM é agora considerada um método de transmissão sem fios comercialmente viável para um UE. (GONÇALVES, 2011, p. 94).

Comparado com as gerações anteriores das telecomunicações, oferece inúmeras vantagens tais como:

- Pode facilmente, adaptar-se às condições do canal sem equalização complexa. (FERREIRA, 2010, p. 72).
- Os equalizadores de canal OFDM são muito mais simples de implementar que os equalizadores das tecnologias de gerações anterior ao 4G como o CDMA (tecnologia utilizada no UMTS 3G), uma vez que o sinal OFDM é representado no domínio da frequência em vez de ser no domínio do tempo. (GONÇALVES, 2011, p. 95).
- Robusto contra a interferência co-canal em banda estreita.
- Robusto contra interferência entre símbolos (ISI). (FERREIRA, 2010, p. 72).
- O sinal OFDM pode ser completamente resistente ao atraso gerado pela propagação de multi-percurso. Isto é possível uma vez que os símbolos longos utilizados no OFDM podem ser separados por um intervalo de guarda conhecido como Prefixo Cíclico (CP). O CP é uma cópia do final do símbolo colocada no início. Por amostragem do sinal recebido no momento ideal, o receptor pode remover, no domínio do tempo, a interferência entre símbolos adjacentes causadas pelo fator de o multi-percurso causar diferentes atrasos de propagação no canal rádio. (GONÇALVES, 2011, p. 95).
- Eficiente implementação usando FFT.
- Baixa sensibilidade para erros de sincronização no tempo.
- Filtros de subcanais no receptor não são necessários (ao contrário do convencional FDM). (FERREIRA, 2010, p. 72).
- A tecnologia OFDM é mais adequada para a tecnologia MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output). A representação do sinal no domínio da frequência permite a fácil pré-codificação do sinal de forma a fazer coincidir a frequência e a fase características do canal rádio com multi-percurso. (GONÇALVES, 2011, p. 95).

A tecnologia OFDM infelizmente também tem desvantagens como pode ser visto abaixo:

- As sub-portadoras são espaçadas tornando os sinais OFDM sensíveis a erros na frequência e ruído na fase. (GONÇALVES, 2011, p. 95).

- Sensível à amplitude não linear.
- Sensível ao deslocamento Doppler. (FERREIRA, 2010, p. 72).
- Um sinal OFDM puro também cria um elevado sinal de pico em relação à média e é por isso que uma modificação da tecnologia denominada SC-FDMA é utilizada no UPLINK. (GONÇALVES, 2011, p. 95).

2.3.3 OFDMA - Técnica Aplicado Para Downlink

O OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) é uma extensão do OFDM. “Consiste num esquema de modulação digital multiportadora que é amplamente utilizado em sistemas sem fios, mas tem uma utilização relativamente recente em sistemas de comunicações móveis. Em vez de transmitir um fluxo com um elevado débito binário numa portadora, a tecnologia OFDMA utiliza um grande número de subportadoras ortogonais muito pouco espaçadas na frequência que são transmitidas em paralelo. Cada subportadora é modulada com um esquema de modulação convencional (QPSK, 16QAM ou 64QAM) a um débito de símbolo baixo.” (GONÇALVES, 2011, P. 94).

Como visto anteriormente o custo do processamento para celulares, tablets ou qualquer outro tipo de UE se tornou relativamente baixo, viabilizando a tecnologia OFDMA para o 4G permitindo a transmissão de dados por múltiplas portadoras estreitas simultaneamente. Na figura 7 pode ser observada a utilização do IFFT em sua transmissão e a FFT na recepção do sinal.

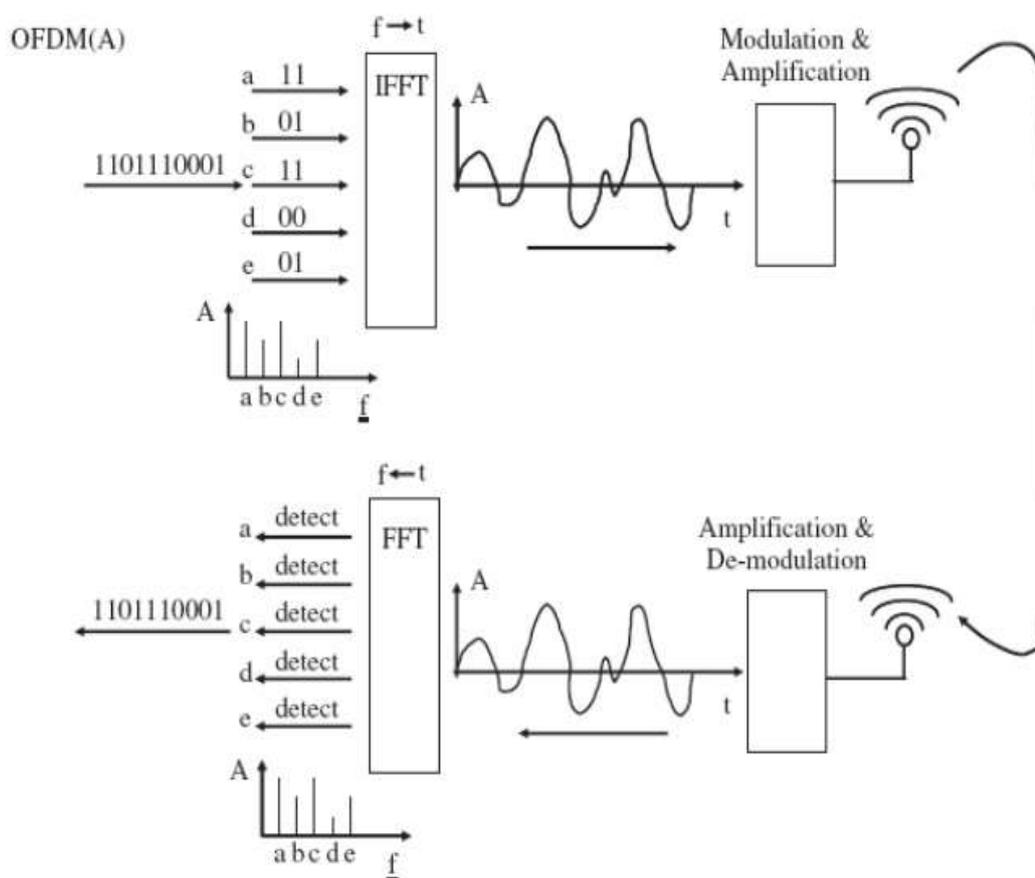


Figura 7: Sequência de caracteres sendo transmitidos no OFDMA.
 Fonte: SANTOS; 2010, p. 31.

O OFDMA tem sua camada física baseada no OFDM, tecnologia empregada no downlink do LTE. De forma semelhante ao OFDM, o OFDMA emprega múltiplas subportadoras sobrepostas no domínio da frequência, fato que pode ser observado na figura 6.

Com o OFDM normal, apenas transmissões muito estreitas de UE podem sofrer de desvanecimento e interferência de banda estreita. Foi por essa razão que o 3GPP escolheu a tecnologia OFDMA para o downlink, uma vez que incorpora elementos de Time Division Multiple Access (TDMA). A tecnologia OFDMA permite a atribuição dinâmica de subconjuntos de subportadoras ao longo dos diferentes utilizadores no canal, tal como apresentado na figura 8. (GONÇALVES; 2011, p.96).

A junção do OFDM com o TDMA gera o OFDMA o qual por sua vez gera um sistema mais robusto, também se destaca pelo ganho em capacidade.

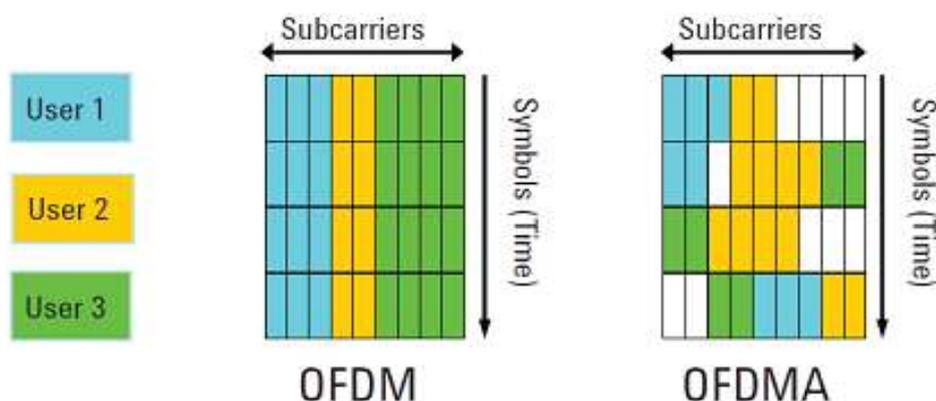


Figura 8: Subportadoras OFDM e OFDMA.
Fonte: GONÇALVES, 2011, p. 97.

2.3.4 SC-FDMA Técnica Aplicado Para Uplink

O SC-FDMA (Single Carrier FDMA) é utilizado no uplink no LTE e da mesma forma que ocorre no OFDM, intervalos de guarda com prefixos cíclicos são introduzidos entre os blocos de símbolos a serem transmitidos. (SANTOS; 2010, p. 34).

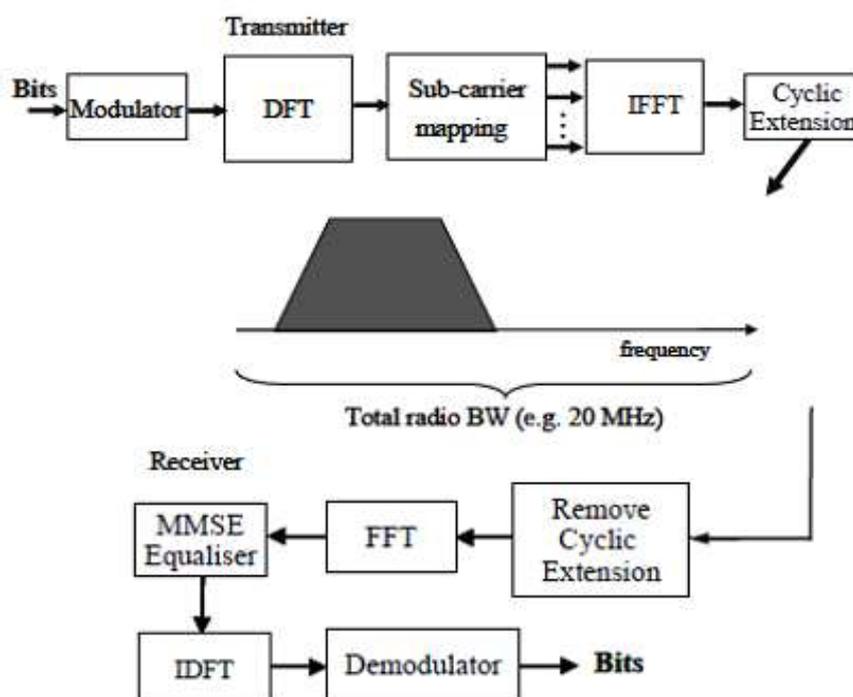


Figura 9. Transmissão e receptor de SC-FDMA com geração de um sinal no domínio da frequência.
Fonte: GONÇALVES, 2011, p. 98.

Podemos descrever a imagem vista na figura 9 como a estrutura do SC-FDMA onde os símbolos no domínio do tempo são convertidos para o domínio da

frequência utilizando da DFT, em seguida, já trabalhando no domínio da frequência, são alocados para os locais desejados em toda a largura de banda do canal antes de voltarem a ser convertidos para o domínio do tempo através da IFFT, por último, é inserido o CP (Cyclic Prefix - Prefixo Cíclico), o qual “cancela a interferência intersimbólica (ISI) de uma forma bastante eficaz o que é bom para receptores com igualadores de baixa complexidade.” (GONÇALVES; 2011, p. 18,).

O alto PAPR (Peak-to-average Power Ratio- Potência de pico e a potência média) associado à tecnologia OFDM levou o 3GPP a procurar um esquema de transmissão diferente para uplink no LTE. Foi escolhida a tecnologia SC-FDMA uma vez que combina as baixas técnicas de PAPR dos sistemas de transmissão SC, tais como o GSM e o CDMA, com a resistência ao multipercursos e a atribuição de frequências flexíveis da tecnologia OFDMA. (GONÇALVES; 2011, p.35).

As principais diferenças entre OFDMA e SC-FDMA podem ser resumidas da seguinte forma:

- No OFDMA são tomados grupos de entrada de bits (0 e 1) para montar as subportadoras que são processadas com IFFT para se ter um sinal no tempo.
- No SC-FDMA primeiro se tem uma FFT sobre grupos de entrada para espalhar sobre todas subportadoras, e em seguida usar o resultado no IFFT que cria o sinal no tempo. (SANTOS; 2010, p. 35,36).

2.4 TECNOLOGIA MIMO

Enquanto as comunicações sem fio tradicionais (Single Input-Single-Output (SISO)) exploram no domínio da frequência pré-processamento e decodificação dos dados transmitidos e recebidos, o uso adicionais de elementos de antena em qualquer estação base (eNodeB) ou o equipamento do usuário (UE) (na ligação descendente ou ascendente) abre uma dimensão espacial extra para sinalizar e detectar métodos de processamento de espaço-tempo, que exploram essa dimensão com o objetivo de melhorar o desempenho da ligação em termos de uma ou mais medidas possíveis, tais como a taxa de erro, a taxa de comunicação de dados, área de cobertura e eficiência espectral (expresso em bps / Hz / célula). (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 250).

A partir das primeiras implantações desse sistema muitos estudos foram feitos na procura de soluções que aumentasse a taxa de transmissão e melhorando a qualidade de um canal altamente seletivo. Quando se pensa em aumentar a taxa de transmissão, intuitivamente vem a ideia de aumentar a largura de banda ou elevar a potência do transmissor, porém essa ação é impraticável, pois no primeiro caso o espectro eletromagnético é um recurso que já está escasso e se tornaram muito caro, no segundo caso, o aumento sem uma pré-determinação da potência do transmissor exigiria um consumo excessivo de energia, gastos indesejados e aumento considerável dos níveis de interferência entre os usuários da rede e outras tecnologias. (AMORIM, 2009, p. 1).

Para que as interferências não ocorram e não tenham um consumo exagerado de energia elétrica tanto no transmissor como no receptor, outras estratégias foram propostas ao longo dos anos, dependendo da disponibilidade de múltiplas antenas no transmissor e / ou do receptor, tais técnicas são classificadas como Single Input-Multiple-Output (SIMO), Multiple-Input Single-Output (MISO) ou MIMO.

Em uma estação de base de multi-antena habilitada a comunicar com uma única antena UE, o uplink e downlink são referidos como SIMO e MISO respectivamente. Quando um terminal multi-antena está envolvido, uma ligação MIMO completa pode ser obtida, embora o termo MIMO seja por vezes também utilizado no seu sentido mais vasto, incluindo, assim, SIMO e MISO como casos especiais. Enquanto um link ponto-a-ponto com múltiplas antenas entre uma estação base e uma UE é referido como Single-User MIMO (SU-MIMO), Multi-User MIMO (MU-MIMO) apresenta várias UE comunicando simultaneamente com uma estação base comum usando os mesmos recursos em frequência e no domínio do tempo. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 250).

Uma característica chave no MIMO é que o seu desempenho depende de vários fatores tais como o estado do canal móvel (dispersão baixa verso dispersão alta), a qualidade do sinal, medida pelo SINR (Signal to Interference and Noise Ratio), a velocidade do UE e a correlação dos sinais recebidos nas antenas receptoras. Por esta razão, alguns modos MIMO serão mais eficientes que os outros dependendo destes fatores críticos. Isto gera a possibilidade de vários tipos de implementações práticas do MIMO que poderiam diferenciar os produtos das diferentes marcas. (GONÇALVES, 2011, p. 79).

Apesar de sua variedade e complexidade, por vezes percebida, mono-usuário e multi-usuário, as técnicas MIMO tendem a girar em torno de apenas alguns princípios fundamentais, que visam alavancar algumas propriedades fundamentais de multi-antena em canais de propagação de rádio. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 250).

2.4.1 Técnicas De Múltiplas Antenas

Na figura 10 é observada a evolução da tecnologia MIMO de uma única antena tradicional comunicação, para o cenário MIMO multiusuário, as possíveis redes MIMO multicélulas do futuro, onde são apresentadas suas variáveis como SISO, SISO/MIMO, SU-MIMO, MU-MIMO, MU-MIMO WITH INTER-CELL INTERFERENCE, COOPERATIVE MULTICELL MU-MIMO.

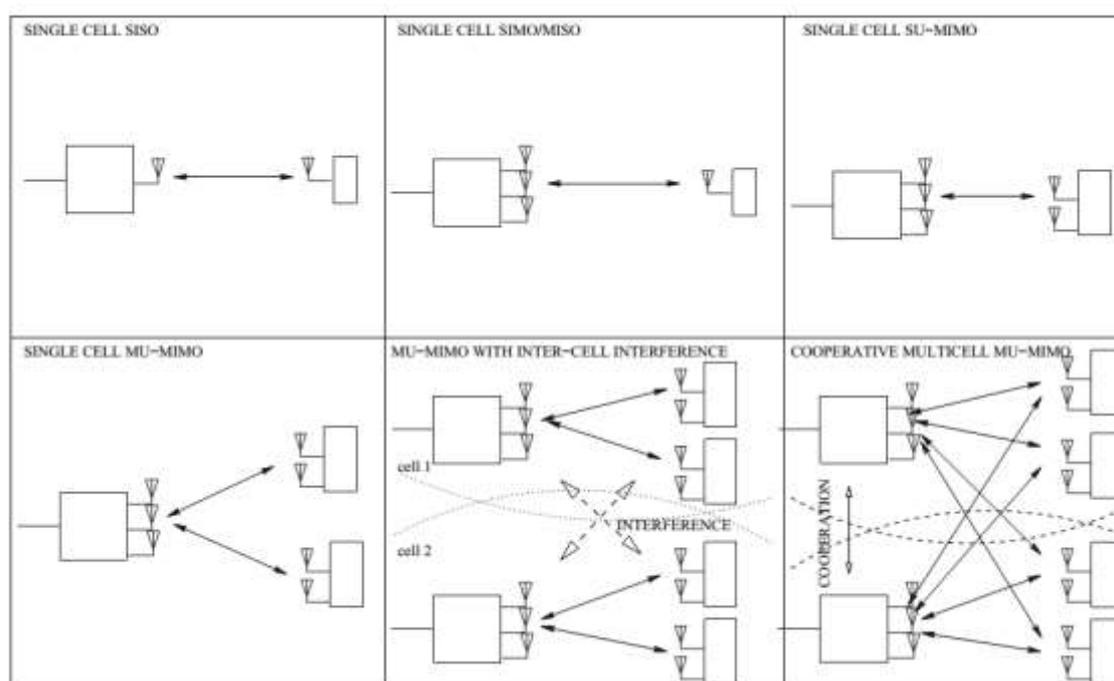


Figura 10: A evolução da tecnologia MIMO.

Fonte: The UMTS Long Term EvolutionB, p 251.

Dependendo da aplicação, existem basicamente três vantagens associadas a esses canais (sobre os seus homólogos SISO):

- Ganho de multiplexação espacial;
- Ganho de diversidade espacial;
- Ganho de arranjo;

2.4.2 Multiplexagem Espacial

Uma das principais vantagens dos sistemas MIMO é a capacidade, através da técnica de multiplexagem espacial, tornar a propagação multipercurso benéfica para o utilizador. Multiplexagem espacial consiste em separar em sequência de informação original em vários fluxos independentes de menor taxa e envia-los ao mesmo momento por meio das antenas transmissoras. Do outro lado o receptor que conhece a matriz do canal, pode detectar e combinar os diferentes fluxos de forma a obter a sequência original. Como pode ser visto na figura 11. (M. FERREIRA, 2009, p. 49).

Com a existência de canais paralelos para transmitir informações distintas (na mesma frequência e no mesmo instante de tempo) com antenas diferentes. Com a reutilização dos recursos do sistema aumenta a eficiência espectral que oferece um aumento linear na taxa de transmissão de dados. Através de um canal com codificações adequadas, como um ambiente em propagação, o receptor pode separar o conjunto de dados e, além disso, cada conjunto de dados é submetido à no mínimo a mesma qualidade de canal à qual se submete um sistema SISO. (COSTA; MELLO, 2007, p. 23).

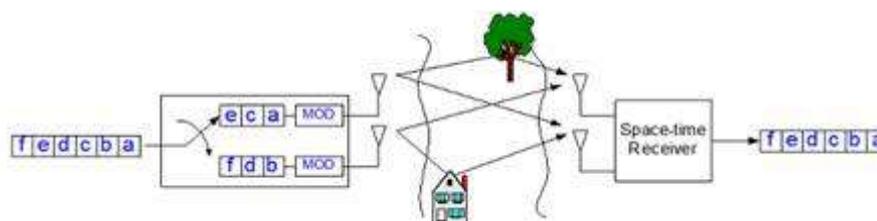


Figura 11: Multiplexação espacial.
Fonte: Teleco, 2015.

2.4.3 Diversidade Espacial

Para entender como funciona a estratégia de diversidade espacial é necessário estabelecer o conceito de diversidade. Em síntese, diversidade é a técnica que busca transmitir a informação em realizações distintas do canal (ramos), com o objetivo de diminuir a probabilidade de erros no receptor. Um exemplo da diversidade espacial pode ser observado na figura 12.

Desde que os ramos de diversidade experimentem realizações do canal com baixa correlação entre si, é possível que um ou mais ramos sejam recebidos corretamente, ainda que alguns apresentem sinais recebidos com baixa qualidade. (AMORIM, 2009, p. 13).

Ganho de diversidade corresponde à combinação de dados que trafegam em multipercuso, por ser usado tanto na transmissão ou recepção de múltiplas antenas em que o desvanecimento é diferente. Referindo-se tanto ao número de ramos de diversidade eficazes independentes ou para a inclinação da Taxa de Erros de Bits (BER) da curva como uma função da relação sinal/ruído (SNR) (ou, eventualmente, em termos de um ganho de SNR no orçamento do link do sistema). (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 251).

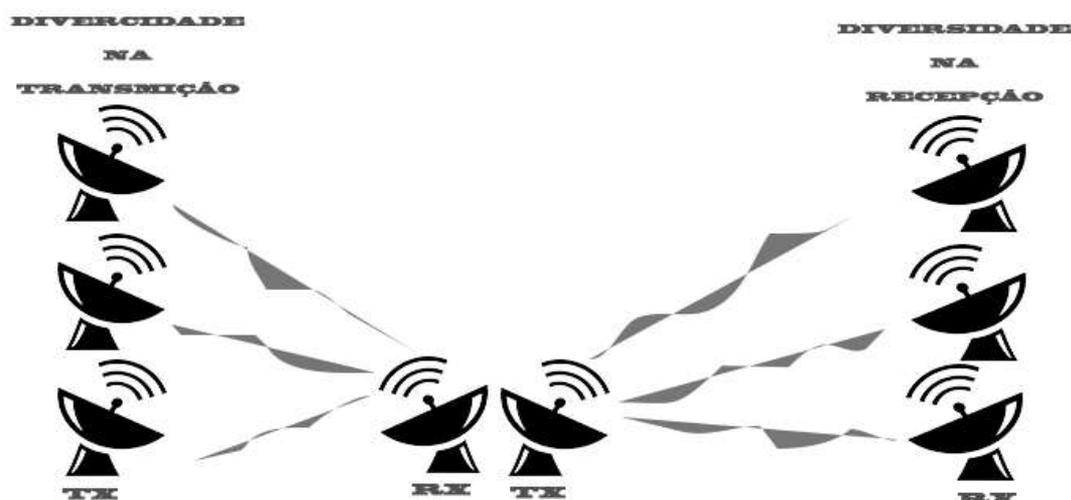


Figura 12: Diversidade Espacial.
Fonte: Autoria própria.

2.4.4 Arranjo

Intrinsecamente relacionado com a geometria espacial o ganho de arranjo representa um acréscimo na razão SNR no receptor obtido por meio da combinação coerente dos sinais recebidos nas diversas antenas. Pode ser obtido a partir de um pré-processamento no transmissor ou de um pós-processamento no receptor. (AMORIM, 2009, p. 13).

A utilização de arranjos de antenas adaptativas em sistemas 4G visa torna-los mais robustos e confiáveis. Isso porque um sistema de antenas adaptativas tem a capacidade de direcionar o diagrama de irradiação, aumentando-se o ganho, na direção de um usuário desejado e anular o diagrama de irradiação diminuindo-se o ganho, na direção de interferência. (SILVA; JUNIOR. 2013, p. 1).

Os arranjos de antenas adaptativas têm sido reconhecidos como a solução chave para aumentar a eficiência e para melhora do desempenho dos sistemas de comutações móveis das gerações 3G e 4G. Com estes arranjos é possível aperfeiçoar e atualizar o padrão de radiação de acordo com o ambiente, e assim reduzir o desvanecimento devido aos multipercursos, à interferência co-canal e à taxa de erro de bit. (JUNIOR. 2002, p. 6).

Genericamente, o desenho e análise de um arranjo de antenas podem ser separados em duas partes: uma que trata do arranjo horizontal, isto é, a manipulação da quantidade das faces do sistema, e outra que trata do arranjo vertical, ou seja, a manipulação da quantidade dos níveis de empilhamento do sistema. A figura 13 apresenta três ilustrações. À direita a dois arranjos empilhados sobre um mesmo mastro, no centro um arranjo de uma face de painéis faixa larga de UHF vertical, a esquerda o arranjo de quatro faces com dois níveis por face de painéis de VHF banda alta. (REVISTA SABER ELETRÔNICA, 2011).

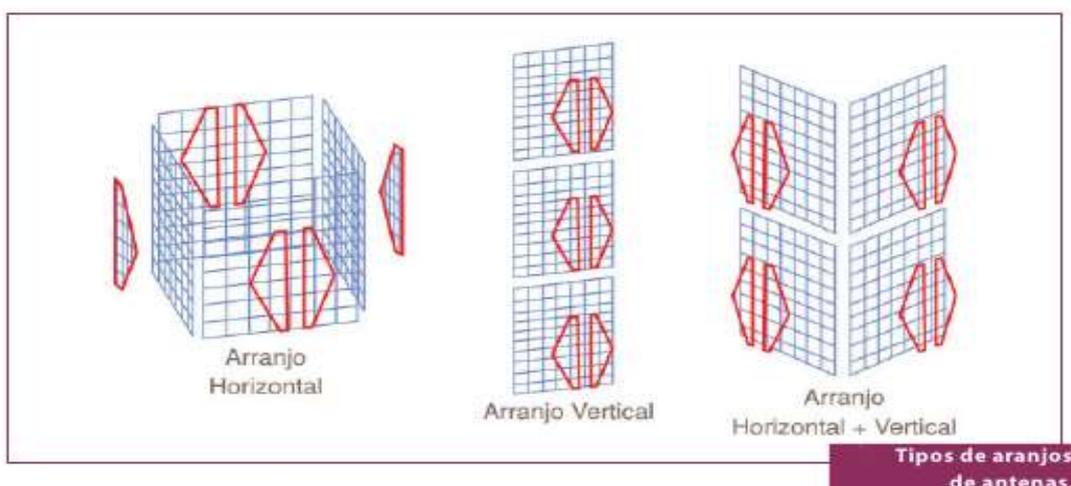


Figura 13: Tipos de arranjos.
Fonte: Saber Eletrônica, 2015.

2.4.5 Características Do MIMO

A técnica MIMO está presente no WIMAX com a configuração de duas antenas transmissoras e duas antenas receptoras, tanto no downlink, quanto no uplink, podendo também existir outras configurações. No LTE esta técnica apresenta uma diferença no downlink e uplink. No primeiro a configuração usada é igual à do WIMAX e, já no segundo é conhecida como MU-MIMO, essa modalidade apresenta o eNodeB com múltiplas antenas e o móvel com apenas uma antena, o que reduz o custo do mesmo. A figura 14 apresenta a configuração padrão do MIMO. (FERRAZ; GARCIA; NUNES, 2012, p. 4).

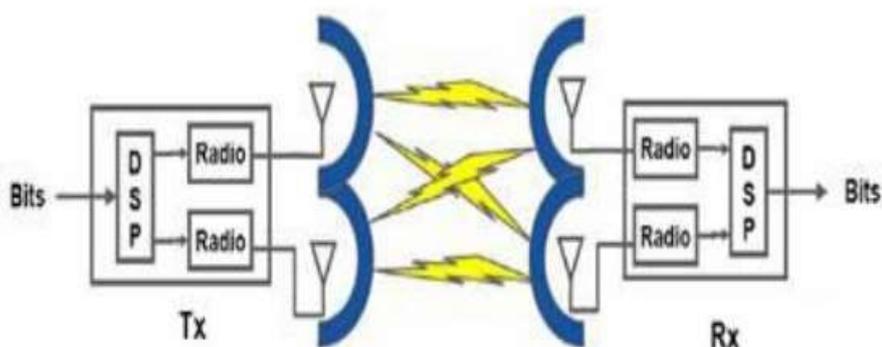


Figura 14: Sistema MIMO 2x2.
Fonte: Teleco, 2015.

A figura 15 mostra a configuração do MIMO no uplink do LTE:

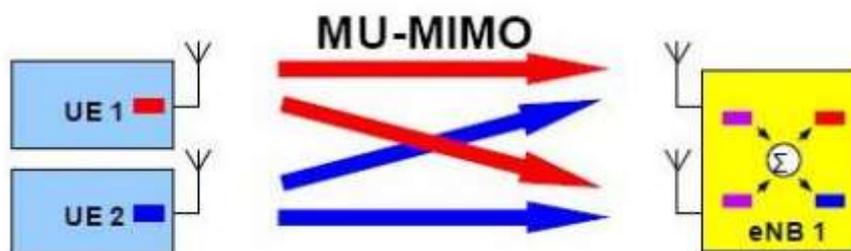


Figura 15: Sistema MU-MIMO.
Fonte: Teleco, 2015.

Algumas limitações práticas importantes afetam o desempenho dos sistemas MIMO. Tais restrições apresentam-se na implantação prática, nas configurações das antenas, nas condições da propagação, no conhecimento do canal e na

complexidade de implementação. Estes aspectos são muitas vezes decisivos para avaliar o desempenho estratégico de transmissão.

Os benefícios do MIMO (ganho de multiplexação espacial, de diversidade espacial e de arranjo). A este respeito, o ambiente de propagação e o desenho da antena (por exemplo, o espaçamento e polarização), desempenham um papel significativo no sistema MIMO. (BAKER; SESIA; TOUFIK, 2011, p. 263).

Apesar dessas limitações esse sistema parece ser um dos mais apropriados, para aumentar a capacidade de transmissão de dados pela rede sem fio.

2.5 LTE ADVANCED E 5G

2.5.1 LTE-Advanced

Com o LTE Advanced o foco é aumento de capacidade, e o grande objetivo é fornecer maiores taxas de bits de uma forma economicamente eficiente e, ao mesmo tempo cumprir com as especificações estabelecidas pela ITU (International Telecommunication Union) para o IMT (International Mobile Telecommunications). (3GPP, 2015)

Com a finalidade de ser uma evolução das redes LTE, o projeto LTE-Advanced apresenta algumas condições que são adotadas em seu estudo e desenvolvimento. Alguns dos acordos já firmados confirmam como pré-requisitos os itens abaixo:

- Taxa de pico – Downlink: 1 Gbps, Uplink: 500 Mbps;
- Largura de banda maior que 70MHz para downlink e 40 MHz para uplink;
- Taxa de transferência média para o usuário três vezes maior do que no LTE;
- Capacidade de pico – Downlink: 30 bps/Hz, Uplink: 15 bps/Hz;
- Mobilidade igual à do padrão LTE e cobertura otimizada;

A implementação do LTE-Advanced deverá ser totalmente baseada no protocolo IP e apresentar roaming internacional. Suas aplicações deverão ser compatíveis com ambientes dos mais variados. (GUEDES;VASCONCELOS, 2009)

Apesar de várias dessas exigências parecerem quase que inalcançáveis, o fato é que o LTE-Advanced já vem conseguindo cumprir esse papel. E o melhor, alguns consumidores já conseguem desfrutar de altas velocidades e que, em muitos

casos, são até 20 vezes mais rápidas que o 4G utilizado aqui no Brasil, por exemplo. (Tecmundo, 2015).

A companhia russa Yota, por exemplo, é uma das primeiras em todo o planeta a oferecer o sinal, comercializando planos de 300 Mbps por 1.440 rublos (cerca de 98 reais, em conversão simples – em 4 de junho de 2013). No Brasil, no entanto, o uso é exclusivamente empresarial. (Tecmundo, 2015).

A figura 16 mostra o funcionamento do LTE-Advanced onde podem ser alocado recursos de Downlink e Uplink em até 5 portadoras através do CC (Component Carrier). Os usuários podem ser alocados em qualquer um dos CCs independente da largura da banda.

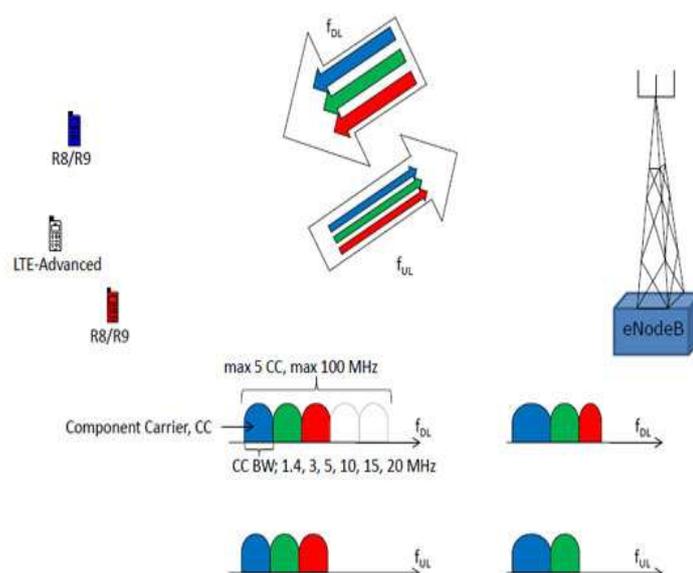


Figura 16. Exemplo do funcionamento do LTE-Advanced
Fonte: 3GPP, LTE-Advanced, 2015

Sistemas baseados em OFDMA como o LTE, devem conseguir a maior porcentagem de assinantes apenas na próxima década, e o LTE-Advanced deve atrair uma base maior de assinantes apenas no final da próxima década.

O LTE deve suportar as necessidades do mercado da próxima década, depois, as operadoras podem implementar redes 4G baseadas na tecnologia LTE-Advanced, com a disponibilidade de mais espectro durante a próxima década, e especialmente frequências que incluem canais de rádio mais largos, a tecnologia LTE-Advanced será ideal para essas novas bandas, até em bandas existentes, as

operadoras devem atualizar suas redes LTE para obter os ganhos de espectro e capacidade do LTE-Advanced. (4G Americas, 2015).

2.5.2 O Desenvolvimento Do 5G

O desenvolvimento do 5G exigirá vários progressos, entre eles, novos avanços tecnológicos de acessos múltiplos e de formas de ondas combinadas com algoritmos na codificação e modulação para que se tenha uma grande melhoria em eficiência espectral. Isso ajudará a suportar as conexões em massa da Internet e reduzirá drasticamente a latência de acesso. (AQUINO, 2015 p.43)

Em muitos lugares, o padrão LTE (4G) ainda está chegando, mas várias empresas já investem em pesquisas que podem levar às redes 5G.

A Nokia é uma delas, a companhia já revelou que a sua versão da tecnologia já consegue transferir dados à taxa de 10 Gb/s (gigabits por segundo). Para tamanho feito, a Nokia utilizou uma portadora com frequência de ondas milimétricas de 73 GHz e antenas em uma configuração MIMO (Multiple-Input / Multiple-Output) 2x2 que, basicamente, indica que envio e recebimento de dados são feitos simultaneamente em dois fluxos por sentido. (tecnoblog, 2015).

A operadora de telefonia japonesa NTT Docomo conseguiu desenvolver um sistema capaz de alcançar uma taxa de transmissão de 10 Gbit/s na interface aérea. A utilização da tecnologia MIMO foi necessária para proporcionar a multiplexação espacial dos diferentes fluxos de dados. Foram utilizadas 24 antenas, sendo 8 para transmissão e 16 na recepção demonstrado na figura 17. (AQUINO, 2015 p.44).

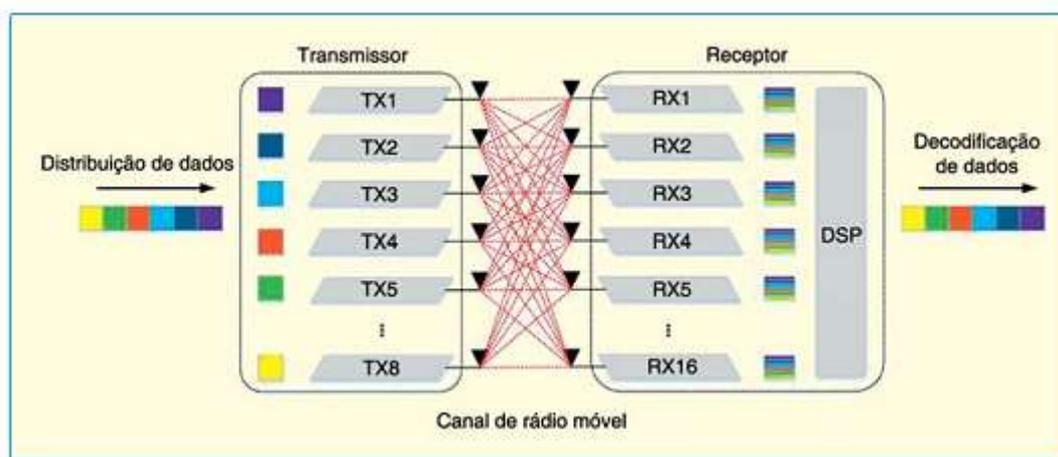


Figura 17. Sistema MassiveMIMO desenvolvido pela NTT Docomo.
Fonte: Perspectiva para o 5G.

2.5.3 Requisitos 5G

Os requisitos oficiais para o 5G ainda não foram definidos, mas as operadoras, os fornecedores e as instituições acadêmicas já estão imaginando a possibilidade. E as expectativas são de fornecer 5G com rendimento uniforme de pelo menos 1 Gbit/s, chegando a cerca de 10 Gbit/s, com um par de milissegundos de latência, oferecendo um serviço altamente confiável. Na Europa, o Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society (METIS) concentra-se em definir a base dos sistemas de 5G. Ele prevê que o 5G vai proporcionar uma experiência móvel ilimitada verdadeiramente onipresente através de terminais melhorados com recursos de inteligência artificial. (ITU, 2015).

O nome técnico do novo padrão é 5G IMT-2020 (que remete a data marcada para o lançamento oficial), serão realizados os primeiros testes em 2018 durante os Jogos Olímpicos de Inverno 2018, na cidade sul-coreana de Pyeongchang. (tudoocelular, 2015).

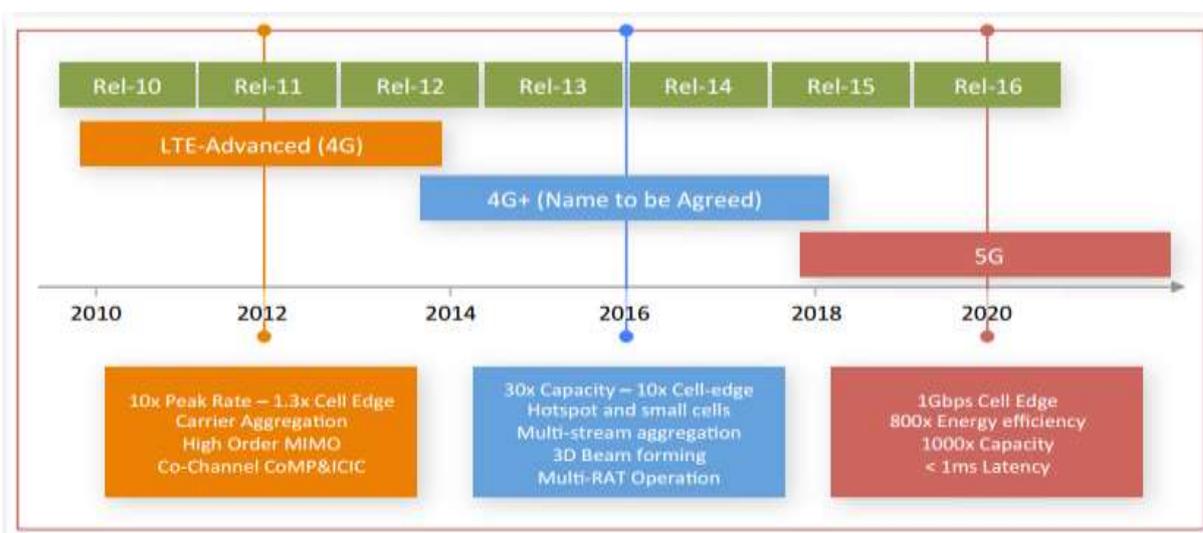


Figura 18 : Evolução do LTE para o 5G
Fonte: Global mobile Suppliers Association (GSA)

A 3GPP começou a fazer planos para a padronização da próxima geração de tecnologia celular, a quinta geração. O objetivo é atender às necessidades de conectividades das próximas décadas, um cronograma provisório para o 5G foi recentemente aprovado pelo 3GPP, incluindo planos para uma apresentação da

tecnologia para o processo do IMT 2020 do ITU-R, na figura 19 é apresentado uma linha do tempo para o plano da 3GPP para o 5G. (3GPP, 2015).

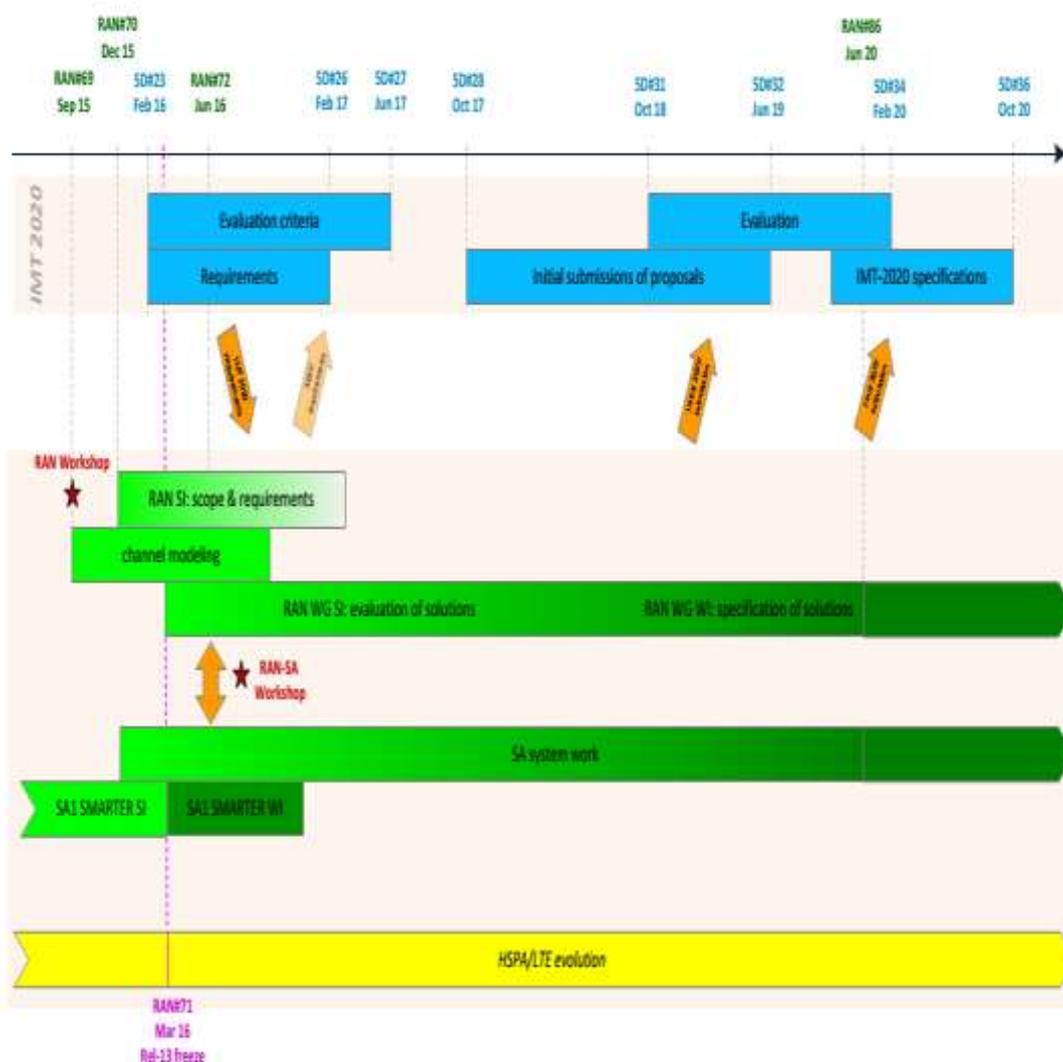


Figura 19. Cronograma para as especificações pelo grupo da 3GPP para 5G.
Fonte: 3GPP.

Um padrão global unificado para redes móveis 5G permitirá conectividade perfeita entre as normas existentes, como High Speed Packet Access (HSPA), LTE e Wireless Fidelity (Wi-Fi), e futuros sistemas sem fio, oferecendo uma ampla variedade de novos serviços multimídias. Exemplos de novas aplicações futuras incluem a realidade aumentada e internet tátil para fornecer uma rica experiência multimídia. Outros exemplos são as cidades inteligentes, carros driveless ou sistemas de saúde avançados onde os pacientes podem ser monitorados imediatamente em suas casas. (ITU, 2015).

Ainda acontecerão muitos estudos e experiências para a consolidação de um novo padrão 5G. No entanto, é importante relatar que o lançamento de um novo

padrão no cenário de comunicação móvel digital não pode ser tardio a ponto de se tornar rapidamente obsoleto. Isso se deve a um possível desenvolvimento de outro padrão com uso de uma tecnologia superior. Por outro lado, também não se deve lançar um novo padrão no mercado antes das conclusões dos estudos. Nesse ponto, percebe-se o quanto é crítica a definição de um novo padrão para os sistemas móveis celulares. Enquanto as operadoras de telecomunicações implantam o 4G, projeções para o 5G já se iniciaram. É bem provável que no início das próximas décadas pesquisas para uma tecnologia 6G serão desenvolvidas. (AQUINO, 2015, p.49).

3 TESTE DE CAMPO

3.1 OBJETIVO

Este capítulo tem como objetivo analisar o desempenho da tecnologia 4G em alguns pontos da cidade de Curitiba. Os testes realizados foram simples, em nível de usuários comuns. A intenção do teste é medir a capacidade de downlink e uplink, utilizando o software OOKLA SpeedTest, para medir a velocidade.

3.2 INTRODUÇÃO

Para alcançar os objetivos propostos foram contratados dois planos pós-pagos de internet com a tecnologia 4G. Foi contratado o plano CLARO INTERNET DOBRO 4G da operadora Claro e definida está como operadora A, e o plano INTERNET BOX 6GB 3G/4G da operadora Vivo e definida está como operadora B.

O que motivou a escolha das operadoras foi o relatório de indicadores de desempenho operacional da telefonia móvel (SMP) 2014, este documento é elaborado pela Anatel e divulgado em seu site. O documento tem por finalidade avaliar se as operadoras de telecomunicações móveis alcançaram as metas de qualidade estipuladas pela agencia regulamentadora. No gráfico 1 é apresentado resultado da pesquisa de qualidade entre janeiro a dezembro de 2014.

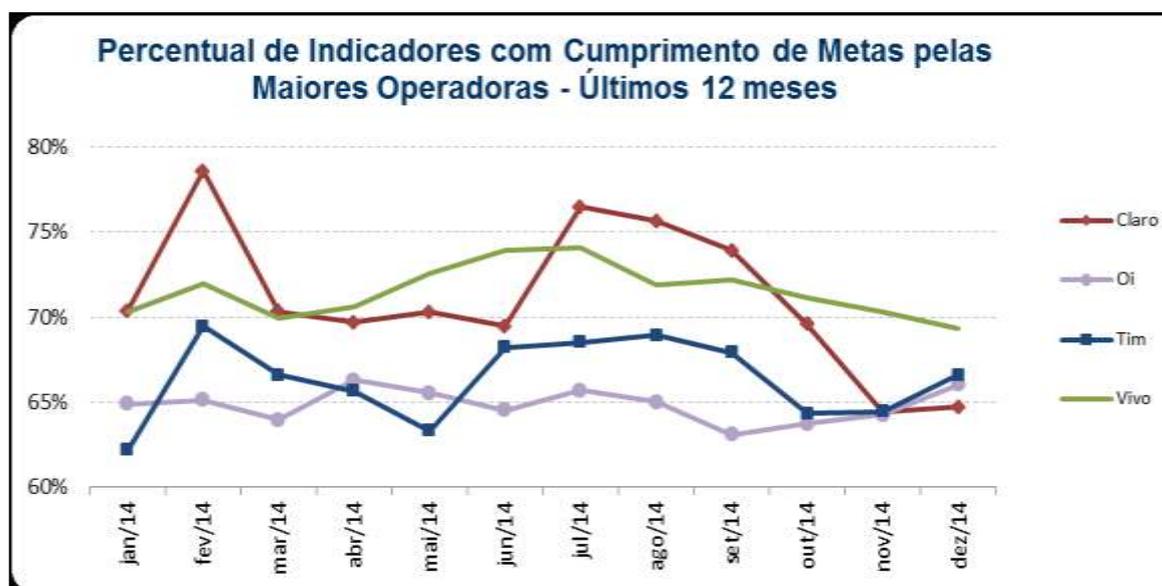


Gráfico. 1 Relatório SMP da ANATEL.
Fonte: ANATEL.

Descrição do plano da operadora A:

- O preço do plano contratado foi de R\$ 63,90.
- Velocidade de conexão disponível em 4G: 5 Mbps para download e 512Kbps para Upload, quando conectado no 3G (a velocidade de conexão disponível de download é de 1 Mbps, e a de upload, de 128 kbps).
- Na ausência da cobertura 4G, você navega em 3G.

Descrição do plano operadora B:

- O preço do plano contratado foi de R\$69,90.
- Velocidade de conexão disponível em 4G: 5 Mbps para download e 500Kbps para Upload, quando conectado no 3G (a velocidade de conexão disponível de download é de 1 Mbps, e a de upload, de 100 kbps).
- Na ausência da cobertura 4G, você navega em 3G.

Foi utilizado um smartphone com o sistema operacional Android e que suporta à tecnologia 4G, após instalado no aparelho o aplicativo Speed Test, foi dado início aos testes de campo. Os lugares foram escolhidos de forma aleatória na cidade de Curitiba, com o objetivo de ver se a tecnologia 4G estava em pleno funcionamento e se o plano contratado estava atendendo o ofertado.

3.3 SOFTWARE UTILIZADO PARA O TESTE

Para executar os testes e manter o objetivo de ser algo acessível a qualquer usuário do 4G, foi utilizado o software OOKLA SpeedTeste, o qual, pode ser baixado em EU's via AppStore, Windows Store, Google Play e Availableat Amazon. O qual pode ser obtido através do link:< <http://www.speedtest.net/mobile>> acessado em 10 de Jan 2015.

O OoklaSpeedtest disponibiliza as ferramentas mais sofisticadas de teste e análise de banda larga para qualquer pessoa interessada em saber como elas estão conectadas de fato. O serviço da Ookla é gratuito e abre em centenas de locais de teste no mundo inteiro para qualquer um que esteja curioso sobre o desempenho de sua conexão com a Internet. Use o serviço para exibir o histórico de desempenho do

seu acesso, para depois compartilhá-lo e compará-lo com outras pessoas perto de você – ou no mundo inteiro.

Com mais de 50 milhões de testes realizados todos os meses, o Ookla Speedtest é o padrão global em testes de conexão com a Internet. Disponíveis na Web e nas plataformas móveis iPhone e Android, os dados coletados alimentam o incomparável site de estatísticas globais de banda larga Net Index, onde você pode navegar pelas principais velocidades de banda larga por país ou limitar as estatísticas a locais muito específicos.

A Ookla é a líder global em teste de velocidade de banda larga e aplicativos de diagnóstico de redes baseadas na Web. O software e as metodologias da empresa definem os padrões da indústria de banda larga para precisão, popularidade, facilidade de uso e desenvolvimento subsequente de dados estatísticos. O OoklaSpeedtest é um dos sites mais populares da Internet, com mais de 170 milhões de visitantes diferentes em 2010.

As soluções da Ookla foram adotadas por praticamente todos os provedores de Internet do mundo inteiro, tendo sido traduzidas para mais de 30 idiomas para serem usadas por milhares de pequenas empresas, governos federais e estaduais, universidades e organizações de grande importância, como AT&T, BBC, Cisco, Comcast, FCC, Reuters, Time Warner, Verizon, Vodafone e Vonage. Mais de três milhões de pessoas por dia usam software da Ookla, tornando a empresa líder dominante em testes de conexão banda larga. Fundada por veteranos da Internet e da área de telecomunicações em 2006, a Ookla possui escritórios em Seattle, WA e Kalispell, MT, ambos nos EUA.

3.4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como foi citado no início do capítulo 3, o objetivo não é comparar as operadoras, mas sim analisar se a tecnologia está funcionando e se os planos ofertados estão sendo realmente entregue aos usuários. Para isto foi escolhido 11 locais, os quais podem ser visto na figura 13 para testar a tecnologia, contemplando as regiões sul (Bairro xaxim, parque náutico e Vila Lindóia), na região central (Arena da Baixada, Praça da Espanha, Palácio das Telecomunicações e praça Tiradentes) na região norte (Museu Oscar Niemayer parque general iberê de Mattos) e a região

leste (Detran e Jardim Botânico). Os testes foram feitos em períodos e dias distintos, conforme pode ser observado na tabela abaixo.

LOCAL		ENDEREÇO	OPERADOR A	DATA	HORÁRIO	TAXA DE DOWLOAD EM Mbps	TAXA DE UPLOAD EM Mbps	PÉRI ODO
CURITIBA	XAXIM	R. Ayrton Pizzatto Gusi, 254	CLARO - A	14/01/15	08:21:31	9,44	8,03	MANHÃ
		R. Ayrton Pizzatto Gusi, 255	VIVO - B	14/01/15	08:16:50	7,11	2,18	
	XAXIM	R. Ayrton Pizzatto Gusi, 254	CLARO - A	14/01/15	21:11:26	11,39	11,89	NOITE
		R. Ayrton Pizzatto Gusi, 255	VIVO - B	14/01/15	21:07:12	4,02	2,02	
	JDM. BOTÂNICO	R. Engenheiro Ostoja Roguski	CLARO - A	14/01/15	19:01:58	16,7	9,31	NOITE
		R. Engenheiro Ostoja Roguski	VIVO - B	14/01/15	18:58:06	8,7	5,07	
	JDM. BOTÂNICO	R. Engenheiro Ostoja Roguski	CLARO - A	23/01/15	10:23:10	38,51	12,87	MANHÃ
		R. Engenheiro Ostoja Roguski	VIVO - B	23/01/15	10:26:30	8,78	5,48	
	PARQUE NAÚTICO	Av. Mal. Floriano Peixoto	CLARO - A	18/01/15	15:00:42	13,27	2,28	TARDE
		Av. Mal. Floriano Peixoto	VIVO - B	18/01/15	14:56:53	8,2	3,62	
	PARQUE NAÚTICO	Av. Mal. Floriano Peixoto	CLARO - A	19/01/15	08:50:33	20,48	4,35	MANHÃ
		Av. Mal. Floriano Peixoto	VIVO - B	19/01/15	08:37:25	8,03	4,92	
	DETRAN PR	Av. Victor Ferreira do Amaral	CLARO - A	18/01/15	15:26:07	6,99	1,78	TARDE
		Av. Victor Ferreira do Amaral	VIVO - B	18/01/15	15:32:17	7,02	5,23	
DETRAN PR	Av. Victor Ferreira do Amaral	CLARO - A	23/01/15	09:35:36	19,34	7,6	MANHÃ	

		Av. Victor Ferreira do Amaral	VIVO - B	23/01/15	09:39:23	8,66	0,39	
	MUSEU OSCAR NIEMEYER	Rua Mal. Hermes	CLARO - A	18/01/15	15:58:01	12,83	4,61	TARDE
		Rua Mal. Hermes	VIVO - B	18/01/2015	15:54:44	8,73	4,76	
	MUSEU OSCAR NIEMEYER	Rua Mal. Hermes	CLARO - A	19/01/15	11:48:21	23,63	6,03	MANHÃ
		Rua Mal. Hermes	VIVO - B	19/01/15	11:58:10	6,36	0,03	
	PARQUE GEN. IBERE DE MATTOS	R. Canada	CLARO - A	19/01/15	12:40:29	3,87	4,04	TARDE
		R. Canada	VIVO - B	19/01/15	12:35:53	1,09	0	
	PARQUE GEN. IBERE DE MATTOS	R. Canada	CLARO - A	23/01/15	10:02:13	15,03	13,33	MANHÃ
		R. Canada	VIVO - B	23/01/15	09:59:31	9,02	0,37	
	PALACIO DE TELECOMUNICAÇÕES	Manoel Ribas 115	CLARO - A	16/03/15	09:48:49	7,09	1,96	MANHÃ
		Manoel Ribas 115	VIVO - B	16/03/15	09:58:27	7,18	6,2	
	PALACIO DE TELECOMUNICAÇÕES	Manoel Ribas 115	CLARO - A	16/03/15	12:47:52	15,86	8,84	TARDE
		Manoel Ribas 115	VIVO - B	16/03/15	12:43:16	9,01	5,1	
	PALACIO DE TELECOMUNICAÇÕES	Manoel Ribas 115	CLARO - A	16/03/15	16:57:17	14,89	6,49	NOITE
		Manoel Ribas 115	VIVO - B	16/03/15	17:04:57	3,95	2,13	

TIRADENTES	Centro, Matriz Curitiba - PR	CLARO - A	02/04/15	08:21:06	33,85	7,05	MANHÃ
	Centro, Matriz Curitiba - PR	VIVO - B	02/04/15	08:25:47	32,02	9,1	
TIRADENTES	Centro, Matriz Curitiba - PR	CLARO - A	02/04/15	12:48:35	13,23	7,76	TARDE
	Centro, Matriz Curitiba - PR	VIVO - B	02/04/15	12:42:20	29,59	2,76	
V. LINDOIA	Antero de Quental 455	CLARO - A	12/02/15	07:52:03	17,46	1,38	MANHÃ
	Antero de Quental 455	VIVO - B	12/02/15	07:48:31	1,08	0,06	
V. LINDOIA	Antero de Quental 455	CLARO - A	12/02/15	18:41:37	14,74	4,37	NOITE
	Antero de Quental 455	VIVO - B	12/02/15	18:55:22	7,45	0,41	
ÁRENA DA BAIKADA	Rua Engenheiros Rebouças-3108	CLARO - A	10/03/15	08:09:16	12,89	4,96	MANHÃ
	Rua Engenheiros Rebouças-3108	VIVO - B	10/03/15	08:17:16	13,53	6,62	
ÁRENA DA BAIKADA	Rua Engenheiros Rebouças-3108	CLARO - A	10/03/15	18:40:12	20,93	9,22	NOITE
	Rua Engenheiros Rebouças-3108	VIVO - B	10/03/15	18:35:01	7,35	1,38	
PRAÇA DA ESPANHA	R. Saldanha Marinho 1594	CLARO - A	10/03/15	08:37:31	25,64	7,5	MANHÃ
	R. Saldanha Marinho 1594	VIVO - B	10/03/15	08:26:20	10,23	8,25	
PRAÇA DA ESPANHA	R. Saldanha Marinho 1594	CLARO - A	10/03/15	18:08:54	9,57	2,11	NOITE

		R. Saldanha Marinho 1594	VIVO - B	10/03/15	18:14:29	12,51	7,23	
--	--	-----------------------------	----------	----------	----------	-------	------	--

Tabela 3. Locais onde foram executados os testes e seus respectivos resultados.

Fonte: Autoria própria.

Para facilitar o entendimento da tabela 3, foi dividido por localidade, desta maneira foi gerado o gráfico com os valores obtidos em cada ponto de teste. As imagens dos testes encontram-se no anexo C, abaixo é dada uma rápida explicação sobre cada local escolhido e apresentado os valores obtidos nos testes.

Bairro Xaxim: O teste abaixo foi realizado no bairro Xaxim no dia 14/01/2015 o primeiro teste no período da manhã e o segundo a noite.

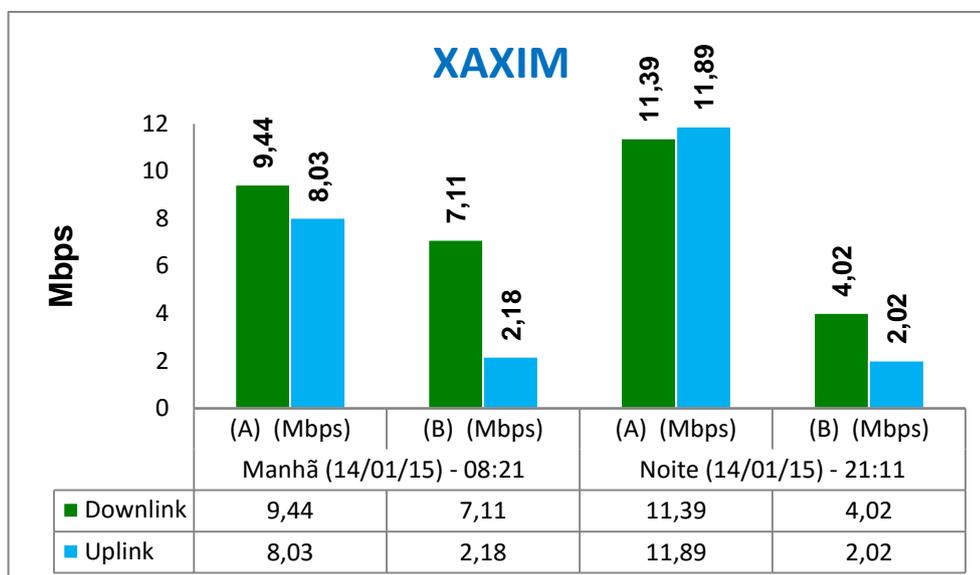


Gráfico 2. Capacidade de Downlink e Uplink No Bairro Xaxim.

Fonte: Autoria Própria.



Figura 20. Local do teste – Rua Ayrton Pizzatto Gusi - Xaxim - Curitiba. (5X10).

Fonte: Google Maps.

Jardim Botânico: O local foi escolhido por ser muito frequentado por turistas e por pessoas que gostam de correr, fazer uma caminhada ou outras atividades ao ar livre portanto grande fluxo de pessoas. O teste abaixo foi executado primeiramente no dia 14/01/2015 no período da noite o segundo foi no dia 23/01/2015 no período da manhã.

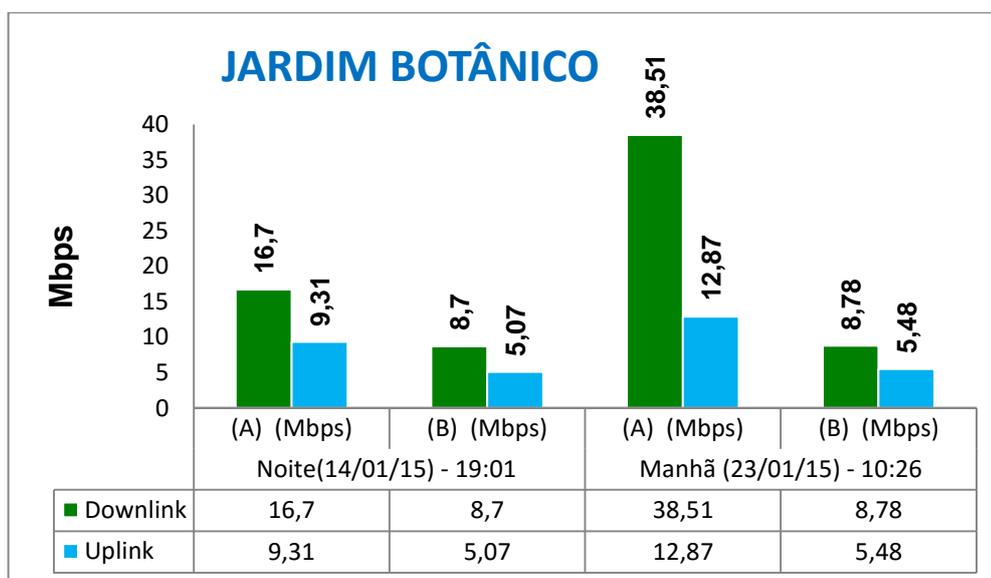


Gráfico 3. Capacidade de Downlink e Uplink No Parque Jardim Botânico.
Fonte: Autoria Própria.



Figura 21. Local do teste – Rua Engenheiro Ostoja Roguski - Jardim Botânico - Curitiba.
Fonte: Google Maps.

Parque Iguaçu setor Náutico: É um espaço para a prática de lazer e recreação, da mesma forma como o jardim botânico concentra grande volume de pessoas. O teste abaixo foi realizado primeiramente no dia 18/01/2015 no período da tarde e no dia 19/01/2015 durante a manhã.

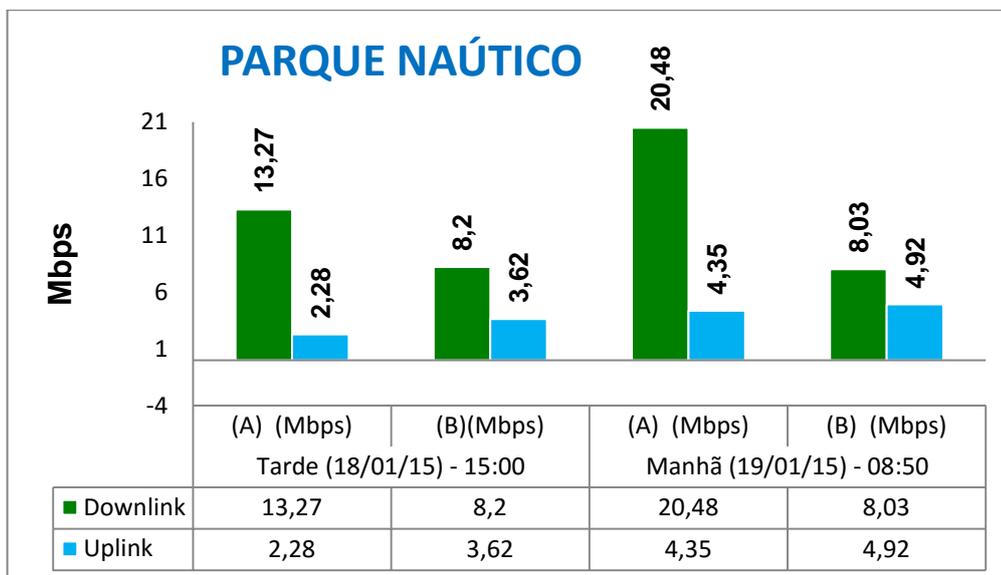


Gráfico 4. Capacidade de Downlink e Uplink No Parque Náutico De Curitiba.
Fonte: Autoria Própria.



Figura 22. Local do teste – Av. Mal. Floriano Peixoto – Boqueirão – Curitiba.
Fonte: Google Maps.

Detran PR: O ponto foi escolhido para cobrir a região leste de Curitiba, visando que o trabalho tem como objetivo cobrir uma região grande da cidade. O teste abaixo foi executado em frente ao Detran primeiramente no dia 18/01/2015 durante a tarde e no dia 23/01/2015 no período da manhã.

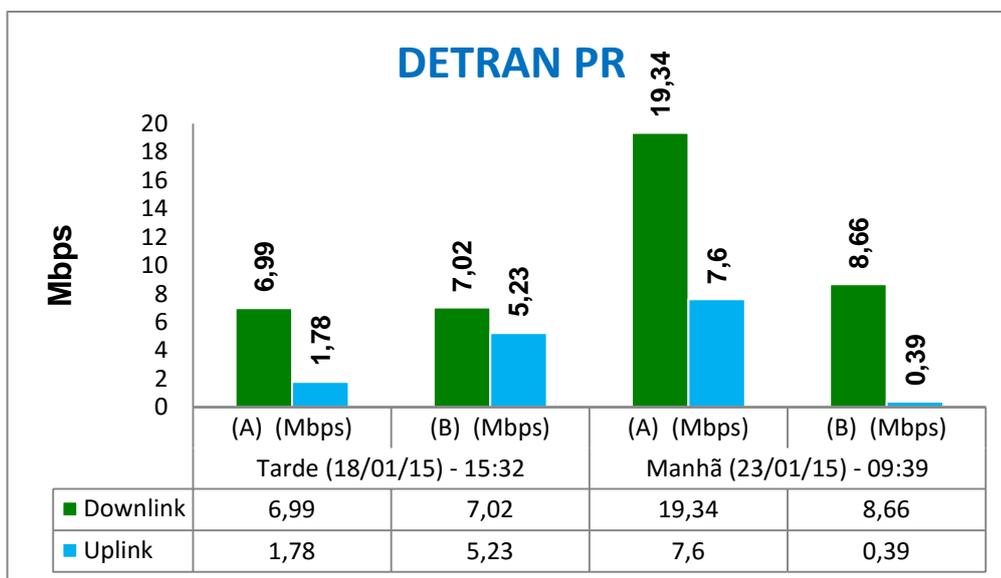


Gráfico 5. Capacidade de Downlink e Uplink No Detran.

Fonte: Autoria Própria.



Figura 23. Local do teste – Av. Victor Ferreira do Amaral –Capão Da Imbuia- Curitiba.

Fonte: Google Maps.

MUSEU OSCAR NIEMEYER: O primeiro teste foi realizado no dia 18/01/2015 durante a tarde deste dia o segundo teste no dia seguinte no período da manhã.

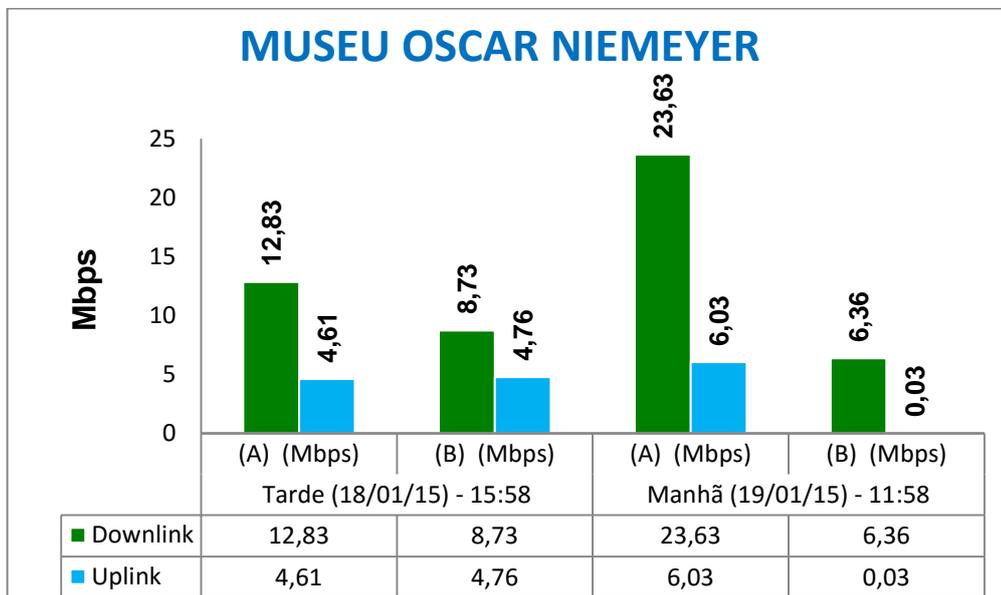


Gráfico 6. Capacidade de Downlink e Uplink No Museu Oscar Niemeyer.
Fonte: Autoria Própria.



Figura 24. Local do teste – Rua Mal. Hermes - Centro Cívico - Curitiba.
Fonte: Google Maps.

Parque General Iberê de Mattos: O teste do gráfico 6 foi executado no dia 19/01/2015 no período da tarde e no dia 23/01/2015 durante o período da manhã.

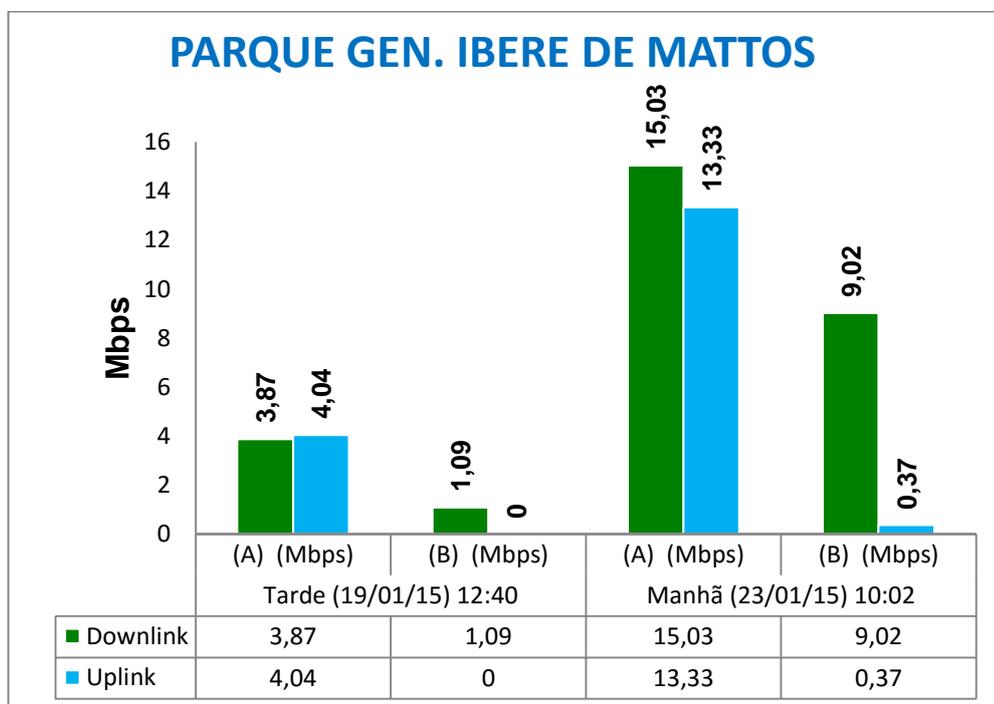


Gráfico 7. Capacidade de Downlink e Uplink No Parque General Iberê De Mattos.
Fonte: Autoria Própria.

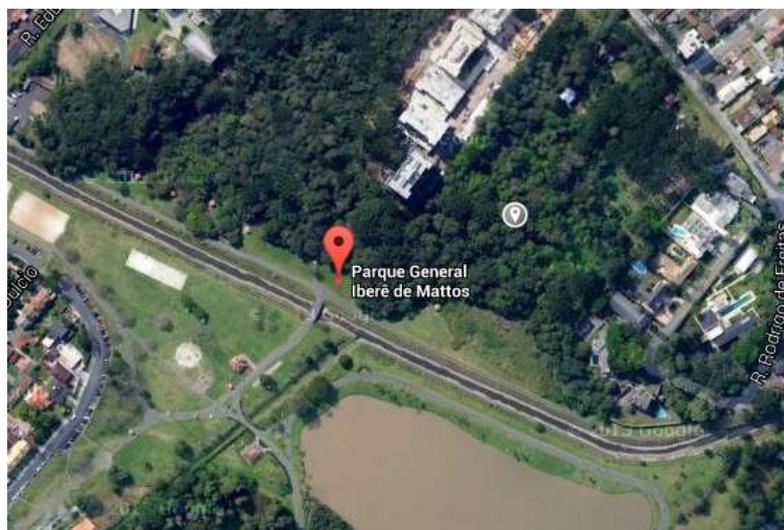


Figura 25. Local do teste – Rua Canadá - Boa Vista - Curitiba.
Fonte: Google Maps.

Palácio das telecomunicações: Ponto histórico das telecomunicações paranaenses, antiga sede da TELEPAR. Os testes foram realizados no mesmo dia em condições climáticas perfeitas com sol e sem nuvens proporcionando uma qualidade de sinal aceitável para os padrões especificados pelo contrato das operadoras. Realizado na data 16/03/2015, dividido em três períodos manhã, tarde e noite.

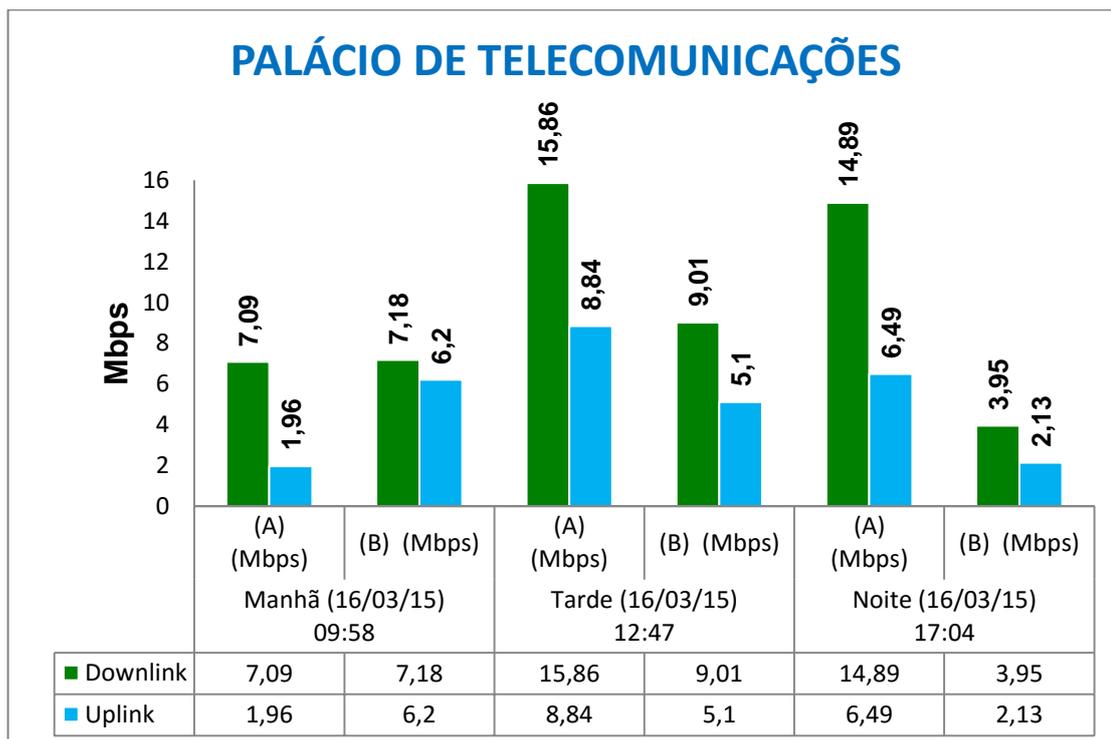


Gráfico 8. Capacidade de Downlink e Uplink No Palácio de Telecomunicações.
Fonte: Autoria Própria.

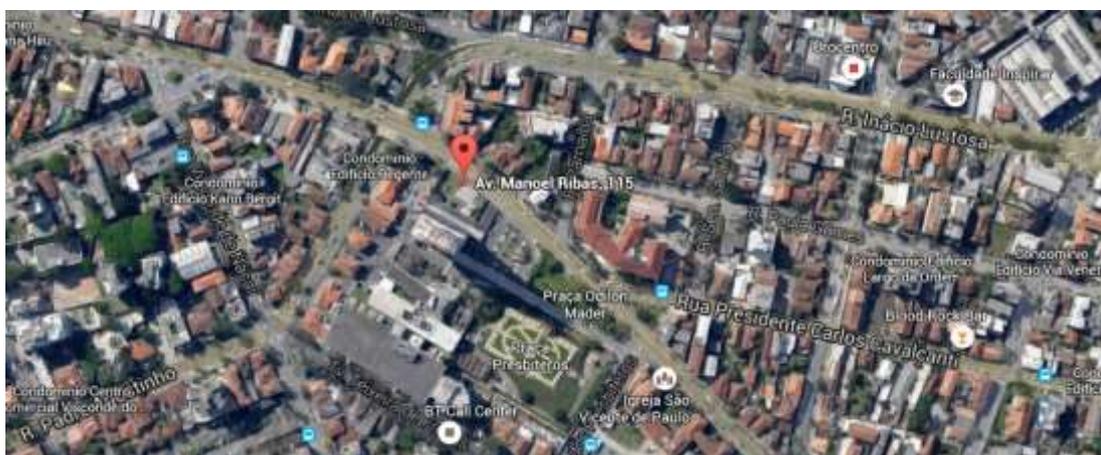


Figura 26. Local do teste – Av. Manoel Ribas - São Francisco - Curitiba.
Fonte: Google Maps.

Praça Tiradentes: Local é o marco zero de Curitiba, os testes foram realizados no dia 02/04/2015, o primeiro no período da manhã onde tinha um fluxo menor de usuárias os resultados foram mais significativos já o segundo a tarde por estar no horário de almoço de muitos usuários, as taxas de dados foram mais baixas.

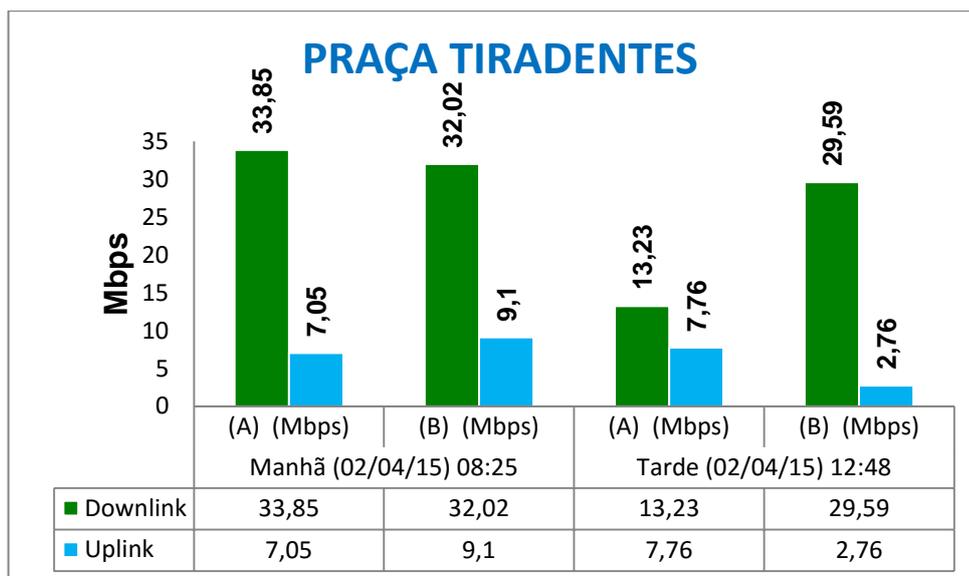


Gráfico 9. Capacidade de Downlink e Uplink Na Praça Tiradentes.
Fonte: Autoria Própria.

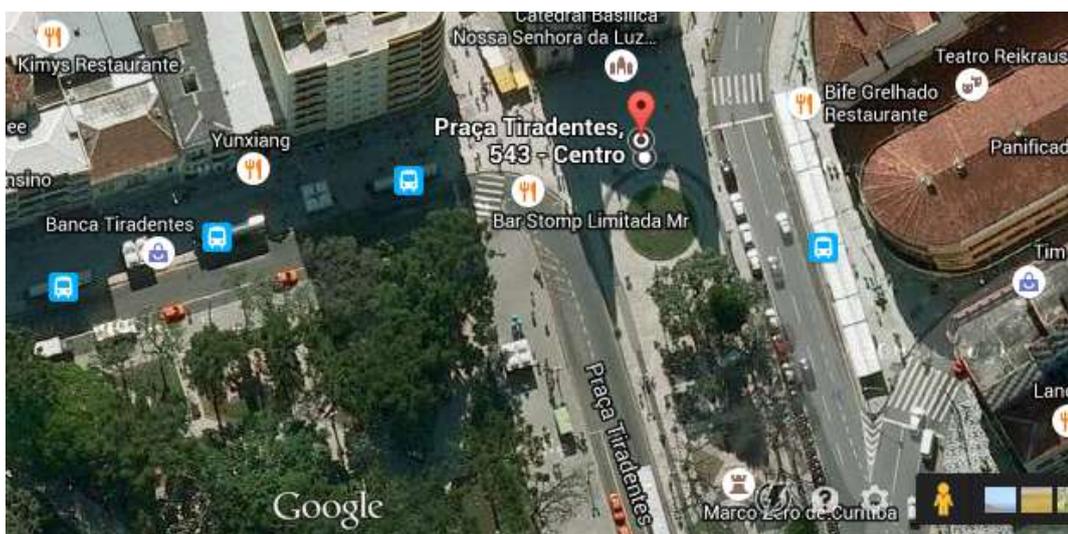


Figura 27. Local do teste – Centro, Matriz Curitiba.
Fonte: Google Maps.

O teste apresentado no gráfico 10 foi executado no bairro vila Lindóia no dia 12/02/2015, lugar escolhido como um ponto neutro da cidade, sem influência do fluxo de usuários e grandes centros comerciais que demanda uma maior quantidade de dados, o primeiro teste foi executado no período da manhã com um dia de muita neblina e o segundo na tarde do mesmo dia com as condições climáticas boas sem nuvens e clima com temperaturas amenas.

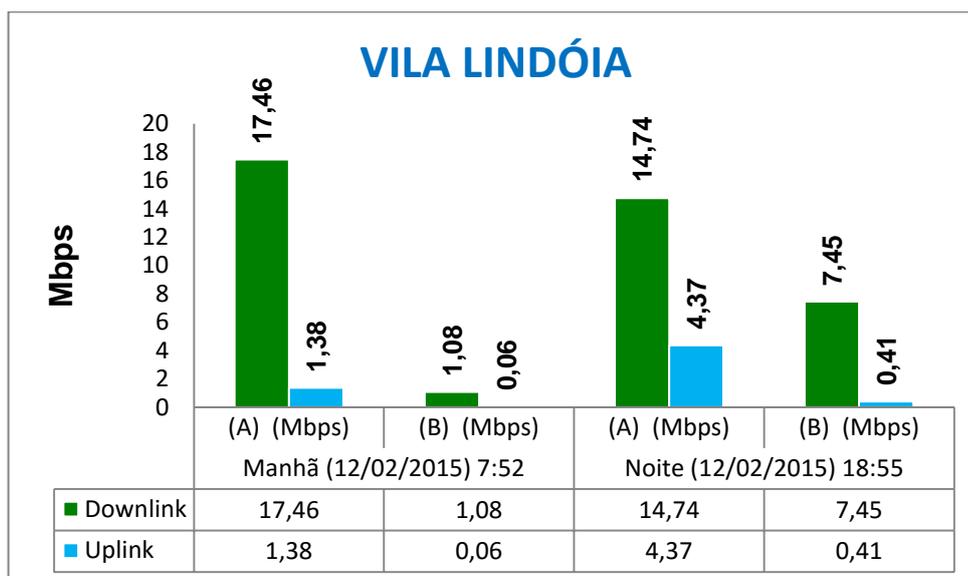


Gráfico 10. Capacidade de Downlink e Uplink No Bairro Vila Lindóia.
Fonte: Autoria Própria.

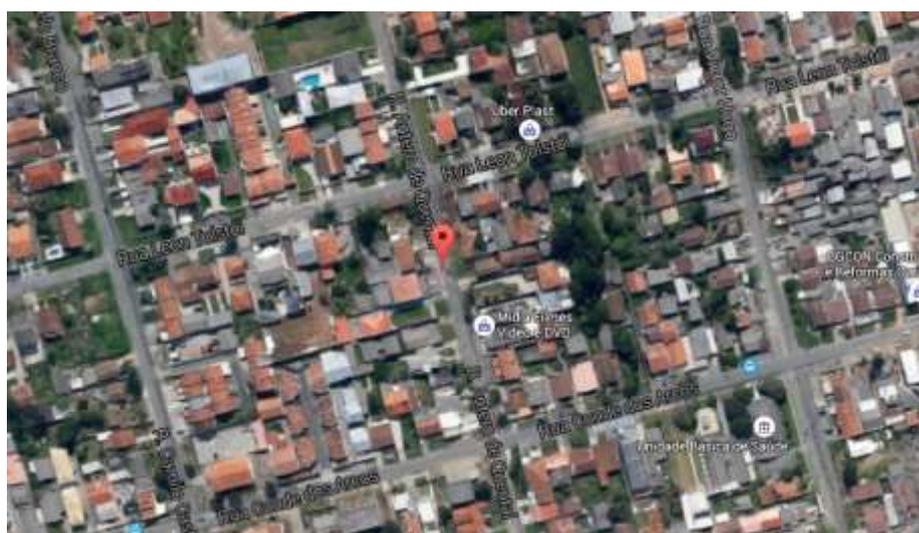


Figura 28. Local do teste – Rua Antero de Quental – Vila Lindóia – Curitiba.
Fonte: Google Maps.

O teste abaixo foi realizado no estádio de futebol que sediou jogos da copa do mundo de 2014, pois o mesmo tinha a obrigação de oferecer a tecnologia 4G durante os jogos do Mundial. Foi executado o teste no dia 10/03/2015 um tempo depois do evento no período da manhã com poucas nuvens e tempo bom e da noite com um pouco de chuva.

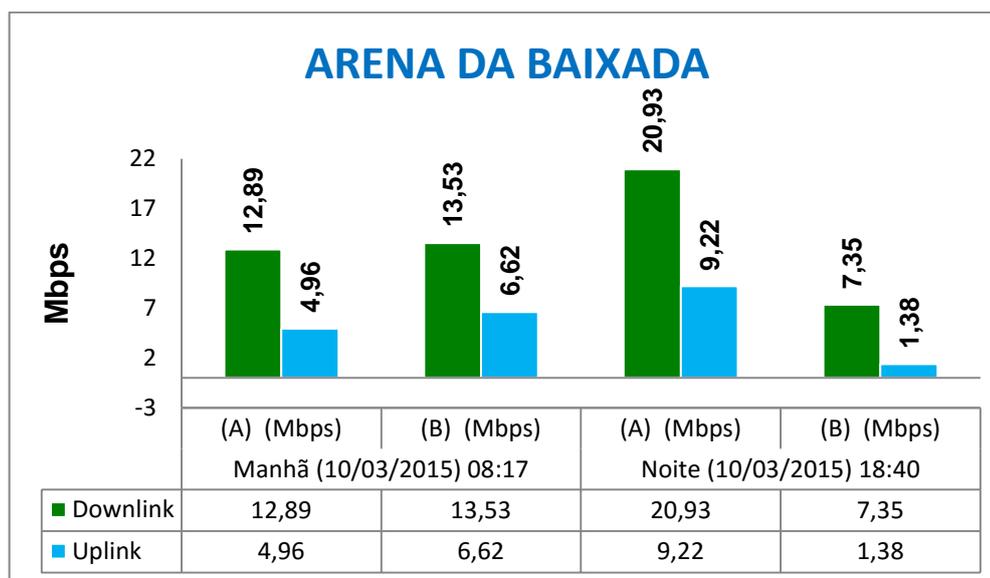


Gráfico 11. Capacidade de Downlink e Uplink No Estádio Joaquim Américo Guimarães.
Fonte: Autoria Própria.



Figura 29. Local do teste – Rua Engenheiros Rebouças – Água Verde – Curitiba.
Fonte: Google Maps.

A Praça da Espanha foi escolhida por ser um espaço cultural que atrai crianças, jovens e adultos (Grande concentração de usuários da telefonia móvel). O teste foi realizado no dia 10/03/2015 no período da manhã e no começo da noite.

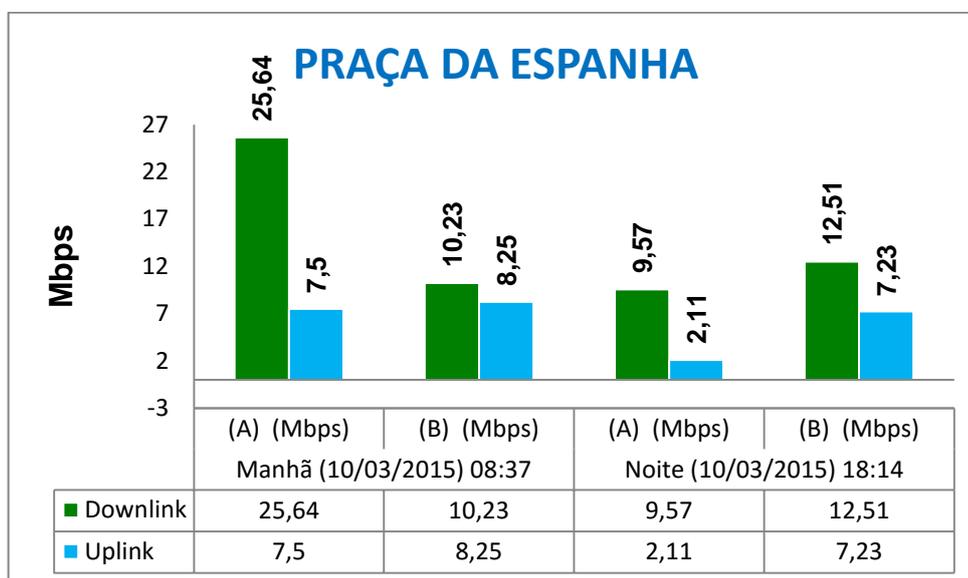


Gráfico 12. Capacidade de Downlink e Uplink Na Praça Da Espanha.
Fonte: Autoria Própria.



Figura 30. Local do teste – Rua Saldanha Marinho – Bigorrião – Curitiba.
Fonte: Google Maps.

Com o objetivo de fazer uma análise geral da cidade de Curitiba foi feita a média dos resultados obtidos em campo, o resultado encontrado pode ser observado no gráfico 12. Os valores da média foram satisfatórios, tendo em vista, o que foi ofertado pelas operadoras. Porém em uma análise mais criteriosa pode-se considerar que o número de aparelho que utilizam a tecnologia 4G ainda não é

grande, com isto cria-se a dúvida se a rede 4G vai continuar tendo este bom desempenho quando aumentar o número de UEs conectados a rede.

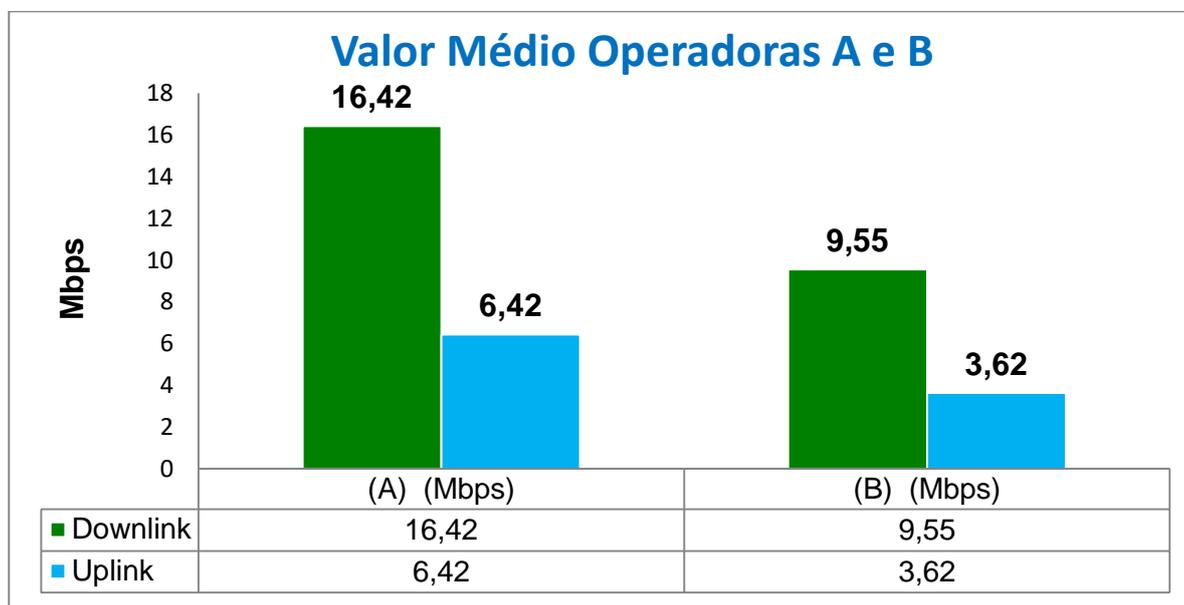


Gráfico 13. Valor Médio Para Operadora A e B.
Fonte: Autoria Própria.



Figura 31. Os 11 Locais Onde Foram Realizados Os Testes Em Curitiba.
Fonte: Google Earth.

4 CONCLUSÃO

O trabalho apresentou uma análise da tecnologia 4G e verificou com testes de campo a eficiência da tecnologia em Curitiba.

Como visto nos testes práticos às operadoras cumpriram o que foi oferecido no plano contratado, obtendo até resultados superiores ao esperado em determinados lugares. Entretanto como foi visto no capítulo 2 no item 1.7 a capacidade de dados de pico é de 100 Mb/s para o downlink no LTE e ambas as operadoras ofertaram em contrato uma velocidade de 5Mb/s o equivalente a 5% da capacidade da tecnologia, na média as operadoras tiveram resultados mais relevantes por exemplo a operadora A teve média de 16,42Mb/s o equivalente a 16,42% da capacidade da tecnologia já a operadora B obteve em média 9,55Mb/s o equivalente a 9,55% da capacidade do LTE para baixar arquivos.

Com o crescente aumento pela demanda do 4G e sua grande expansão no território nacional surge a dúvida se as operadoras de telecomunicações estarão preparadas para atender à futura demanda de banda larga móvel no Brasil, mantendo ou até melhorando sua capacidade com relação aos valores obtidos nos testes apresentados neste trabalho de conclusão de curso.

4.1 CONTRIBUIÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Fazer uma nova pesquisa de campo para avaliar se as operadoras vão acompanhar o aumento da demanda pelo serviço de dados utilizando o 4G, tendo como intuito verificar se o serviço prestado continua em evolução, acompanhado a demanda de novos usuários. Também seria interessante realizar os testes com operadoras diferentes as quais foram utilizadas neste trabalho, ou mesmo utilizando todas as operadoras que oferecem a tecnologia no Brasil.

Também é proposta uma nova pesquisa nos mesmos moldes desta para a futura tecnologia 5G a qual promete ter taxas de transmissão de dados entre 1 a 10 Gbit/s conforme descrito capítulo 2.

REFERÊNCIAS

3GPP, Global iniciativa. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>> Acessado em 24 de Jul. 2015.

4G Americas - **LTE-Advanced.** Disponível em: <<http://www.4gamericas.org/pt-br/resources/technology-education/lte-advanced/#sthash.2wzOEgPK.dpuf>> Acessado em 21 Jul. 2015.

ANATEL, Agência nacional de telecomunicações. **Relatório de Indicadores de Desempenho Operacional.** Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=331461&filtro=1&documentoPath=331461.pdf>>. Acessado em 1 de Dez 2015.

AMORIM, Rafael M. **Estudo De Códigos Não Coerrentes Para Sistemas MIMO/OFDM Aplicado Ao Enlace Direto Do LTE.** 2009 59 f. Trabalho de Graduação(Graduação em Engenharia) - Programa de Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade De Brasília, Faculdade de Tecnologia, 2009. Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/894/1/2009_RafaelMedeirosdeAmorim.pdf> Acessado em 13 Nov. 2014.

AQUINO, G. Pedro, **Redes Móveis - A Perspectiva para o 5G.** Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/271838803_Perspectivas_para_o_5G> Acessado em 21 Jul. 2015.

BAKER, Matthew; SESIA, Stefania; TOUFIK, Issam;. **LTE The UMTS Long Term Evolution From Theory To Practice.** 2nd ed, John Wiley & Sons, 2011.

COSTA, Maice d'Utra; MELLO, Renata V. **Simulador De Enlace Para 3G LTE Com Foco Em Técnicas de Múltiplas Portadoras E Múltiplas Antenas.** 2007. 84 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia) - Programa de Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade De Brasília, Faculdade de Tecnologia, 2007. Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/893/1/2007_MaiceCosta_RenataMello.pdf> Acessado em 16 Fev. 2015.

FARIAS, Éder J. P. **Análise de Sistemas OFDM Cooperativos AF com Amplificadores de Potência Não Lineares.** 2013. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Teleinformática - Universidade Federal Do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em:

HOLMA, Harri; TOSKALA, Antti. **HSDPA/HSUPA for UMTS High Speed Radio Access for Mobile Communications**. John Wiley & Sons, 2006.

ITU - **Towards converged 5G mobile networks — Challenges and current trends**. Disponível em: < <https://itunews.itu.int/En/5228-Towards-converged-5G-mobile-networks-Challenges-and-current-trends.note.aspx> > Acessado em: 27 Jul. 2015.

JUNIOR, Arismar C. S. **Projeto de Arranjos de Antenas Para Sistemas Adaptativos de Comunicações Móveis Celulares de Últimas Gerações**. 2002. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Mestrado em Engenharia Elétrica - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000296367&fd=y>. Acessado em 28 Mai. 2015.

NETO, Rúbens E. M. **Análise do Desempenho de Sistemas Rádio-Fibra Usando Sinais OFDM e SC-FDMA**. 2014. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores - Faculdade De Engenharia Do Porto, 2014. Disponível em: < <http://paginas.fe.up.pt/~ee09113/reports/tese.pdf> > Acessado em 20 Mai. 2015.

REVISTA SABER ELETRÔNICA, **Arranjos de Antenas**. n. 455 Set. 2011. Disponível em: < <http://www.sabereletronica.com.br/artigos/2720-arranjo-de-antenas> >. Acessado em : 28 Mai. 2015.

SILVA, Diego C. Souza; Junior, Arismar C. Sodré. **Arranjo de antenas adaptativas para Sistemas 4G**. Instituto Nacional de Telecomunicação, Santa Rita do Sapucaí - Minas Gerais, Agosto. 2013. Disponível em: < http://www.inatel.br/ic/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=128&Itemid=100014 >. Acessado em 30 Abr. 2015.

SOUZA, Tiago B.; GUARDEIRO, Paulo R. **QUALIDADE DE SERVIÇO EM REDES MÓVEIS DE 4ª GERAÇÃO LTE**. 2012, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG. disponível em: < http://www.ceel.eletrica.ufu.br/artigos2012/ceel2012_artigo103_r01.pdf > Acessado em 1 Dez. 2014.

SVERZUT, José U. **Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS: Evolução a Caminho da Quarta Geração [4G]**. 2nd ed, Erica, 2008.

TECMUNDO - **Mais que 4G: Entenda a tecnologia LTE-Advanced.** Disponível em:< <http://www.tecmundo.com.br/4g/41622-mais-que-4g-entenda-a-tecnologia-lte-advanced.htm>> . Acessado em 26 jul. 2015.

TELECO Inteligência Em Telecomunicações. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriallte/pagina_4.asp>. Acessado em 29 Out. 2014.

TUDOCELULAR, **Conexões 5G chegarão em 2020 até 20x mais rápidas que o 4G.** Disponível em: <<http://www.tudocelular.com/tecnologia/noticias/n56405/conexao-5g-lancamento-ano-2020.html>> Acessado em 19 Jun. 2015.

ANEXO(S)

ANEXO A – Termo de adesão de pessoa física para planos de serviços pós pagos – SMP

TERMO DE ADESÃO DE PESSOA FÍSICA PARA PLANOS DE SERVIÇO PÓS-PAGOS - SMP																																																																																																																																																																																												
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <input checked="" type="checkbox"/> Habilitação <input type="checkbox"/> Troca de plano <input type="checkbox"/> Troca de aparelho </div> <div style="width: 45%;"> <input type="checkbox"/> Portabilidade <input type="checkbox"/> Migração de plano <input type="checkbox"/> Troca de chip </div> <div style="width: 45%;"> <input type="checkbox"/> Migração Base <input type="checkbox"/> Migração Cartão-Conta <input type="checkbox"/> Troca de número </div> <div style="width: 45%;"> <input type="checkbox"/> Trade-In <input type="checkbox"/> Migração de tecnologia <input type="checkbox"/> Transferência de titularidade </div> <div style="width: 45%;"> <input type="checkbox"/> Inclusão de dependente <input type="checkbox"/> Pacotes Avulsos <input type="checkbox"/> Transferência de regional </div> </div>																																																																																																																																																																																												
Nome do cedente			Assinatura (cedente)																																																																																																																																																																																									
Nome		RG / CNH / RC		CPF																																																																																																																																																																																								
Data de Nascimento		E-mail		Nome da mãe																																																																																																																																																																																								
Ter. residencial fixo		Telf. contato fixo		Endereço para entrega da fatura (rua/avenida)		Número																																																																																																																																																																																						
Bairro		Cidade		UF		CEP																																																																																																																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Plano/Promoção/Pacotes</th> <th>Titular/Usu</th> <th>Titular/Banda Larga</th> <th>Dependente 1</th> <th>Dependente 2</th> <th>Dependente 3</th> <th>Dependente 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Plano de Serviço</td> <td></td> <td>Claro Internet Extra 4GB</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Promoção</td> <td></td> <td>Claro Internet Extra + Claro SIM</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pacote/Serviço 1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pacote/Serviço 2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pacote/Serviço 3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pacote/Serviço 4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pacote/Serviço 5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pacote/Serviço 6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pacote/Serviço 7</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pacote/Serviço 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pacote/Serviço 9</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Outros Pacotes/Serviços</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nº do Claro Chip (SIMCARD)</td> <td></td> <td>8955053460009342820</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nº do Celular (Claro/Portado)</td> <td></td> <td>4187961614</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nº do Celular (Provedor)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Marca/Modelo Aparelho</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nº de série Aparelho (IMEI)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor Inicial Aparelho</td> <td>0,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Descontos Benefício comercial</td> <td>0,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Descontos de Claro Clube</td> <td>0,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Descontos Descontação</td> <td>0,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor Final Aparelho</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Permanência</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Multa Plano Serviço</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Multa Aparelho</td> <td>0,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							Plano/Promoção/Pacotes	Titular/Usu	Titular/Banda Larga	Dependente 1	Dependente 2	Dependente 3	Dependente 4	Plano de Serviço		Claro Internet Extra 4GB					Promoção		Claro Internet Extra + Claro SIM					Pacote/Serviço 1							Pacote/Serviço 2							Pacote/Serviço 3							Pacote/Serviço 4							Pacote/Serviço 5							Pacote/Serviço 6							Pacote/Serviço 7							Pacote/Serviço 8							Pacote/Serviço 9							Outros Pacotes/Serviços							Nº do Claro Chip (SIMCARD)		8955053460009342820					Nº do Celular (Claro/Portado)		4187961614					Nº do Celular (Provedor)							Marca/Modelo Aparelho							Nº de série Aparelho (IMEI)							Valor Inicial Aparelho	0,00						Descontos Benefício comercial	0,00						Descontos de Claro Clube	0,00						Descontos Descontação	0,00						Valor Final Aparelho							Permanência	0						Multa Plano Serviço							Multa Aparelho	0,00					
Plano/Promoção/Pacotes	Titular/Usu	Titular/Banda Larga	Dependente 1	Dependente 2	Dependente 3	Dependente 4																																																																																																																																																																																						
Plano de Serviço		Claro Internet Extra 4GB																																																																																																																																																																																										
Promoção		Claro Internet Extra + Claro SIM																																																																																																																																																																																										
Pacote/Serviço 1																																																																																																																																																																																												
Pacote/Serviço 2																																																																																																																																																																																												
Pacote/Serviço 3																																																																																																																																																																																												
Pacote/Serviço 4																																																																																																																																																																																												
Pacote/Serviço 5																																																																																																																																																																																												
Pacote/Serviço 6																																																																																																																																																																																												
Pacote/Serviço 7																																																																																																																																																																																												
Pacote/Serviço 8																																																																																																																																																																																												
Pacote/Serviço 9																																																																																																																																																																																												
Outros Pacotes/Serviços																																																																																																																																																																																												
Nº do Claro Chip (SIMCARD)		8955053460009342820																																																																																																																																																																																										
Nº do Celular (Claro/Portado)		4187961614																																																																																																																																																																																										
Nº do Celular (Provedor)																																																																																																																																																																																												
Marca/Modelo Aparelho																																																																																																																																																																																												
Nº de série Aparelho (IMEI)																																																																																																																																																																																												
Valor Inicial Aparelho	0,00																																																																																																																																																																																											
Descontos Benefício comercial	0,00																																																																																																																																																																																											
Descontos de Claro Clube	0,00																																																																																																																																																																																											
Descontos Descontação	0,00																																																																																																																																																																																											
Valor Final Aparelho																																																																																																																																																																																												
Permanência	0																																																																																																																																																																																											
Multa Plano Serviço																																																																																																																																																																																												
Multa Aparelho	0,00																																																																																																																																																																																											
Valor total dos serviços escolhidos		Descontos		Valor total dos serviços com desconto		Valor total do aparelho e chip																																																																																																																																																																																						
63,90		6,09		57,81		0,00																																																																																																																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Forma de pagamento do aparelho</td> <td><input type="checkbox"/> Fatura</td> <td><input type="checkbox"/> Cartão</td> <td><input type="checkbox"/> Cheque</td> <td><input type="checkbox"/> Dinheiro</td> <td>em</td> <td>vezes de R\$</td> </tr> <tr> <td>Forma de pagamento da conta</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> Boleto</td> <td><input type="checkbox"/> Débito Automático</td> <td>Banco</td> <td>Nº Banco</td> <td>Agência</td> <td>Conta</td> </tr> <tr> <td>Forma de recebimento da conta</td> <td><input type="checkbox"/> Fatura Digital Total</td> <td><input type="checkbox"/> Fatura Digital parcial com envio de boletins pelo correio</td> <td colspan="4"><input checked="" type="checkbox"/> Conta impressa enviada pelos correios</td> </tr> <tr> <td>Ciclo Clube</td> <td colspan="2">Saldo de pontos</td> <td colspan="2">Saldo de pontos utilizados nesta data</td> <td colspan="2">Saldo restante em pontos</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Data de vencimento da conta</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">10</td> </tr> </table>							Forma de pagamento do aparelho	<input type="checkbox"/> Fatura	<input type="checkbox"/> Cartão	<input type="checkbox"/> Cheque	<input type="checkbox"/> Dinheiro	em	vezes de R\$	Forma de pagamento da conta	<input checked="" type="checkbox"/> Boleto	<input type="checkbox"/> Débito Automático	Banco	Nº Banco	Agência	Conta	Forma de recebimento da conta	<input type="checkbox"/> Fatura Digital Total	<input type="checkbox"/> Fatura Digital parcial com envio de boletins pelo correio	<input checked="" type="checkbox"/> Conta impressa enviada pelos correios				Ciclo Clube	Saldo de pontos		Saldo de pontos utilizados nesta data		Saldo restante em pontos							Data de vencimento da conta							10																																																																																																																																													
Forma de pagamento do aparelho	<input type="checkbox"/> Fatura	<input type="checkbox"/> Cartão	<input type="checkbox"/> Cheque	<input type="checkbox"/> Dinheiro	em	vezes de R\$																																																																																																																																																																																						
Forma de pagamento da conta	<input checked="" type="checkbox"/> Boleto	<input type="checkbox"/> Débito Automático	Banco	Nº Banco	Agência	Conta																																																																																																																																																																																						
Forma de recebimento da conta	<input type="checkbox"/> Fatura Digital Total	<input type="checkbox"/> Fatura Digital parcial com envio de boletins pelo correio	<input checked="" type="checkbox"/> Conta impressa enviada pelos correios																																																																																																																																																																																									
Ciclo Clube	Saldo de pontos		Saldo de pontos utilizados nesta data		Saldo restante em pontos																																																																																																																																																																																							
					Data de vencimento da conta																																																																																																																																																																																							
					10																																																																																																																																																																																							
<p>O ASSINANTE adere ao Contrato de Prestação do Serviço Móvel Pessoal, na modalidade Pós-Pago, e declara, sob as penas da lei, que: a) seus dados cadastrais são verdadeiros e que se compromete a atualizá-los periodicamente, autorizando a CLARO a verificá-los junto aos órgãos restritivos de crédito e instituições assessoradas; b) conhece (i) o Plano Básico de Serviços e (ii) as condições do Plano de Serviço, Promoções e/ou Pacotes ora contratados; c) tem conhecimento que o valor da habilitação poderá ser cobrado conforme as condições promocionais apresentadas neste momento; d) tem conhecimento que este instrumento integra (i) o Contrato SMP, (ii) o Contrato de Permanência e (iii) o(s) Regulamento(s) de Promoção, se aplicável, especialmente as condições para cancelamento, sendo recebido copia deste(s) documento(s); e) tem conhecimento que todos os serviços utilizados em roaming nacional ou internacional serão cobrados separadamente, caso não estejam contemplados no Plano contratado; f) tem conhecimento que as Facilidades Adicionais, tais como as situações de Proctos de acesso avulso à Internet por meio do serviço de banda larga, os serviços suplementares são independentes do plano de voz ou plano de internet e serão cobrados separadamente, mediante sua utilização, ou de acordo com o plano/pacote de serviços contratado, seja ele de voz ou dados; g) conhece os requisitos de configuração de hardware e software do seu equipamento, necessários para a utilização dos serviços de conexão e acesso à internet; h) Nos Planos de Voz, após o consumo da franquia de dados, a velocidade será reduzida (Plano de Voz com 500MB de dados: 64 para download e 64 para upload e Plano de Voz com 2GB e 5GB de dados: 128 para download e 128 para upload) e não haverá cobrança de excedente; i) para os Planos e Pacotes de Acesso à Internet, a Claro garantirá o mínimo de 20% da velocidade nominal contratada até 31/10/2013, 30% de 01/11/2013 até 31/10/2014, e 40% a partir de 01/11/2014 de acordo com a tecnologia da área de cobertura, sendo (i) GSM GPRS: até 60 kbps, (ii) GSM EDGE: até 120 kbps, (iii) 3G HSDPA: até 1 Mbps para baixar arquivos da internet (download) e até 128 Kbps para enviar arquivos para a internet (upload) e (iv) 4G LTE: até 5 Mbps para baixar arquivos da internet (download) e até 512 Kbps para enviar arquivos para a internet (upload); j) avaliou suas necessidades de tráfego de dados e velocidade de conexão e optou pelo Plano escolhido, estando ciente que ao término da franquia inicialmente contratada, o Assinante poderá optar: a) nos Planos de 300MB e 300MB (i) pelo bloqueio da navegação até o final daquele ciclo de lançamento ou (ii) contratar franquias adicionais para utilização até o término do ciclo vigente; b) nos Planos de 2GB, 3GB e 5GB, por continuar navegando com velocidade reduzida para até 128 Kbps de download e 128 Kbps para upload; c) no Plano de 10GB por continuar navegando com velocidade reduzida para até 256 Kbps para download e 256 kbps para upload; k) ter conhecimento que, na hipótese de cancelamento ou alteração das condições contratadas, o Assinante não poderá se desobrigar do pagamento da multa contratada prevista acima. l-) Em caso de falta de pagamento das faturas e antes da rescisão do Contrato SMP, a Claro fará a migração do Assinante do Plano Controle para Pós-Pago, como forma de manter o serviço disponível ao Assinante; m-) A opção da Fatura Digital Total passará a vigorar após a validação do e-mail informado no ato da ativação.</p>																																																																																																																																																																																												
<p><input checked="" type="checkbox"/> ACEITO receber mensagens de cunho publicitário enviadas pela CLARO e/ou seus parceiros para o meu aparelho; <input type="checkbox"/> NÃO ACEITO receber mensagens de cunho publicitário enviadas pela CLARO e/ou seus parceiros para o meu aparelho.</p>																																																																																																																																																																																												
Local		Data		Assinatura do Cliente																																																																																																																																																																																								
Curiúba		7 de Janeiro de 2015																																																																																																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="7">Para mais informações</td> </tr> <tr> <td>Nº de protocolo único</td> <td>Cod. do vendedor</td> <td colspan="3">Nome do vendedor</td> <td>Cod. da aprovação</td> <td>Cod. da loja</td> </tr> <tr> <td>20158083213</td> <td>L96UB</td> <td colspan="3">L96UB - GRAZIELE BARBOSA DUTRA</td> <td>88399495</td> <td>AH4K</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Nome da loja</td> <td colspan="5">Assinatura do Vendedor (declara que confere todos os documentos do assinante no ato da habilitação)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">LCJA SHOP MUELLER PR</td> <td colspan="5"></td> </tr> </table>							Para mais informações							Nº de protocolo único	Cod. do vendedor	Nome do vendedor			Cod. da aprovação	Cod. da loja	20158083213	L96UB	L96UB - GRAZIELE BARBOSA DUTRA			88399495	AH4K	Nome da loja		Assinatura do Vendedor (declara que confere todos os documentos do assinante no ato da habilitação)					LCJA SHOP MUELLER PR																																																																																																																																																									
Para mais informações																																																																																																																																																																																												
Nº de protocolo único	Cod. do vendedor	Nome do vendedor			Cod. da aprovação	Cod. da loja																																																																																																																																																																																						
20158083213	L96UB	L96UB - GRAZIELE BARBOSA DUTRA			88399495	AH4K																																																																																																																																																																																						
Nome da loja		Assinatura do Vendedor (declara que confere todos os documentos do assinante no ato da habilitação)																																																																																																																																																																																										
LCJA SHOP MUELLER PR																																																																																																																																																																																												

Figura 32. Contrato Pós-Pago Operadora Claro.

Fonte: Operadora Claro.



Termo de Adesão e Contratação de Serviços SMP

PMS03-04

Dados do Cliente	Nome / Razão Social: _____	Data de Nasc.: _____	Sexo: (-) M () F			
	CPF / CNPJ: _____	Identidade / Insc. Estadual: _____	Orgão Exp.: _____ CNAE: _____			
Serviços Solicitados	Resp. Legal: _____	Procurador: _____	Endereço: _____			
	Bairro: _____	Município: CURITIBA	UF: PR CEP: _____			
Plano de Serviços / Pacotes e Dados do Aparelho	Tel. Fixo: _____	Contato: casa	Nacionalidade: _____			
	<input type="checkbox"/> Habilitação <input type="checkbox"/> Ativação de Serviços de Dados <input type="checkbox"/> Portabilidade <input type="checkbox"/> Troca de Número	<input type="checkbox"/> Reabilitação <input type="checkbox"/> Migração Pré-Pós <input type="checkbox"/> Ativação Imediata de Código de Acesso (-) Não () Sim <input type="checkbox"/> Com Portabilidade (-) Não () Sim	<input type="checkbox"/> Troca de Tecnologia <input type="checkbox"/> Troca de Serial <input type="checkbox"/> Novo Número: _____	<input type="checkbox"/> Habilitação Avulsa <input type="checkbox"/> Troca de Área de Registro <input type="checkbox"/> Outros: _____		
Plano de Serviços / Pacotes e Dados do Aparelho	Código de Acesso	4192048353	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	Marca / Modelo / Tecnologia	CHIP AVULSO				
	Nota Fiscal					
	Plano de Serviço	INTERNET BOX 6GB 3G				
	Serviço Adicional					
	Serviço Adicional					
	Número de Homologação	001				
	Titular / Dependente	TITULAR				
	Aquisição sem Permanência	SIM				
	Benefício para Aquisição de Aparelho	NAO				

Informações de Pagamento

Recebimento da Conta Mensal: o cliente declara optar pelo recebimento da conta de serviços/fatura na forma assinalada:
 E-mail: _____ Via Postal
 A não marcação do campo acima implica disponibilização da conta mensal no site da Vivo, com envio de boleto para pagamento por via postal. O envio será realizado conforme dados cadastrados junto à Vivo. O Cliente poderá alterar sua opção de recebimento a qualquer tempo, por meio dos canais de atendimento Vivo.
 Data de vencimento: (-) dia 1 () dia 6 () dia 10 () dia 17 () dia 21 () dia 26

Limite Temporário de Utilização

1. Valor: a partir dessa data, será atribuído um limite de utilização, não inferior a R\$ 50,00 (cinquenta reais), doravante denominado "valor", conforme condições técnicas e/ou operacionais. O valor será aplicado após a utilização do pacote de minutos contratado (após a "franquia") e sobre débitos não incluídos na "franquia". 2. Bloqueio: ultrapassado o "valor", poderá ser efetuado o bloqueio total ou parcial para qualquer uso que gere ónus (ressaldados os serviços de emergência definidos em regulamentação). 3. Desbloqueio: caso o Cliente opte por desbloquear os serviços, deverá ligar para a Central de Relacionamento com o Cliente (1409) de seu celular Vivo ou para 1050 de outro telefone, para obter informações sobre o pagamento de sua Conta (o serviço será estabelecido em até 24 horas após identificação do pagamento pela Vivo). O Limite de Utilização voltará a ser aplicado a partir do desbloqueio. 4. Pagamento de Valores Devidos: o Cliente fica ciente de que o bloqueio pode não ocorrer, podendo ainda ultrapassar o "valor", e concorda que tal fato não o isenta da obrigação de pagar todos os valores cobrados, observadas as disposições contratuais, legais e regulamentares. 5. Prazo: o Limite de Utilização terá duração definida pela Vivo, não sendo superior a 6 (seis) meses de utilização efetiva do SMP.

Vivo Internet (-) O Cliente declara ter realizado Ativação de Serviços de Dados em equipamento LTE (4G), HSPA+ ou HSPA (3G) ou GSMEDGE no código de acesso acima identificado. Para funcionamento do serviço na tecnologia LTE (4G), HSPA+ ou HSPA (3G) é necessário estar em região que possua cobertura LTE (4G), HSPA+ ou HSPA (3G), respectivamente. ***Cliente comprou equipamento LTE (4G), compatível com a tecnologia HSPA+ ou HSPA (3G) ou GSMEDGE e está ciente de que nos bairros da cidade onde, segundo ele, utilizará o serviço não há cobertura LTE (4G). Portanto, a velocidade de acesso atingirá valores compatíveis com a tecnologia HSPA+ ou HSPA (3G) ou GSMEDGE. A utilização do serviço 4G está condicionada à aquisição de chip compatível. ***Cliente comprou equipamento HSPA+ / HSPA (3G), compatível com a tecnologia GSMEDGE, e está ciente de que nos bairros da cidade onde, segundo ele, utilizará o serviço não há cobertura HSPA+ / HSPA (3G). Portanto, a velocidade de acesso atingirá valores compatíveis com a tecnologia GSMEDGE. Declara ter verificado na embalagem ou manual de instrução do modem ou Vivo Box adquirido a sua compatibilidade com o Sistema Operacional do equipamento a ser utilizado. Bloqueio do uso do chip para tráfego de voz

(O cliente está ciente de que o modem ou equipamento Vivo Box adquirido encontra-se bloqueado para o serviço de tráfego de voz, sendo no entanto permitida a realização de chamadas de emergência. Se for do seu interesse a ativação do serviço, deverá solicitar o desbloqueio nos canais de atendimento da Vivo, quando receberá as informações sobre os valores das tarifas aplicadas. Área Rural/Área SEM Cobertura Vivo) (O Cliente declara que consultou o mapa de cobertura no site www.vivo.com.br/cobertura e está ciente de que a localização/firma informada em "Dados do Cliente" não possui cobertura Vivo, podendo ou não captar sinal de Estações próximas, sendo devidos os valores dos serviços contratados/utilizados. O Cliente, ainda, declara ter interesse na contratação do SMP para utilização na Área de Cobertura da Vivo.

No pacote exclusivo para internet no celular de 100 MB (a velocidade de conexão disponível de download é de 1 Mbps, e a de upload, de 100 Kbps) e nos planos Pós-Pagos SmartVivo (a velocidade de conexão disponível de download é de 5 Mbps, e a de upload, de 500 Kbps) o serviço de internet contratado será interrompido após o consumo da franquia. Ao atingir a franquia contratada, o cliente poderá continuar com a velocidade-padrão alterando seu plano para outro com franquia superior. Nos planos Pós-Pagos SmartVivo Controle* 250 MB/500 MB (a velocidade de conexão disponível de download é de 5 Mbps, e a de upload, de 500 Kbps), o serviço de internet contratado será interrompido após o consumo da franquia. Ao atingir a franquia contratada, o Cliente poderá continuar com a velocidade-padrão alterando seu pacote para outro com franquia superior. O pacote na modalidade mensal (Vivo Internet Pré 200 MB 4G) é válido para clientes Vivo Pré e Controle. Os pacotes na modalidade mensal (Vivo Internet Pré 250 MB 4G, Vivo Internet Pré 400 MB 4G e Vivo Internet Pré 600 MB 4G) são destinados apenas para clientes Vivo Pré, para uso exclusivo em aparelhos celulares compatíveis com a internet. Nesses pacotes, a velocidade máxima de conexão disponível de download é de até 5 Mbps, e a de upload, de 1 Mbps, e após atingir a franquia do pacote contratado, ele será bloqueado. O pacote na modalidade semanal (Vivo Internet Pré 40 MB) é destinado apenas para clientes Vivo Pré, para uso exclusivo em aparelhos celulares compatíveis com a internet. Nesse pacote, a velocidade de conexão disponível de download é de até 1 Mbps, e a de upload, de 50 Kbps, e após atingir a franquia do pacote contratado, ele será bloqueado. Consulte condições de velocidade da internet e demais regras no www.vivo.com.br. Nos pacotes pré-pagos de internet Nível Vivo Internet Diário, Vivo Internet Semanal e Vivo Internet Mensal, a velocidade de conexão disponível de navegação é de até 1 Mbps para download e 50 Kbps para upload e, após atingir a franquia de 150 MB, 250 MB e 1 GB, respectivamente, o serviço será bloqueado. **VARIAÇÕES NA PRESTAÇÃO DO SERVIÇO.** A operadora informa que o serviço de voz, dados e internet poderá apresentar variações de sinal ou diminuição de velocidade, dependendo de fatores, como condições topográficas e de relevo urbano, velocidade de movimento e distância do Cliente em relação à Estação Rádio Base (antena), número de clientes que utilizam ao mesmo tempo o sinal provido pela mesma antena, disponibilidade e intensidade do sinal, condições meteorológicas, locais fechados, como apartamentos, shopping centers, prédios comerciais, entre outros. **ÁREA DE COBERTURA -** A Vivo informa ao Cliente que o mapa da área de cobertura do serviço consta no site www.vivo.com.br/cobertura e em seus pontos de venda. Para obter mais informações, ligue para 14096. **Vivo Torpedo SMS:** o Cliente fica ciente, desde já, que cada SMS possui um limite de caracteres específico pela tecnologia e que, ultrapassado esse limite, o texto será dividido em uma ou mais mensagens. Cada mensagem entregue será tarifada individualmente e, em caso de impossibilidade de entrega, não haverá cobrança pelo SMS enviado. Para obter mais informações sobre as condições de uso, limite de caracteres por tecnologia e tarifação do serviço, acesse www.vivo.com.br/tpedsms. **Serviços de terceiros:** o Cliente se declara ciente de que os Serviços de Valor Adicionado por ele contratados serão prestados por empresas terceiras sendo a sua cobrança indicada de forma apartada na nota fiscal futura. Autoriza a utilização de seus dados pessoais anônimos e/ou consolidados e sua localização constantes de nossas antenas e sistemas para receber em seu Vivo ofertas, promoções e novidades personalizadas que nós e nossos parceiros preparamos especialmente para você, bem como para melhoria e desenvolvimento de novos produtos estatísticos? (-) Sim () Não

*As velocidades em 4G só estão disponíveis em localidades com cobertura 4G.

No caso de assinatura eletrônica, o Cliente reconhece sua validade, sendo que a Vivo enviará uma via assinada virtualmente no e-mail: _____
 Para documentos assinados em papel, o cliente atesta que recebeu uma via do instrumento e está ciente das condições ora dispostas.

(-) Cliente das condições acima: _____ (campo para a assinatura do Cliente)



Contrato de Permanência por Benefício

PR10-14

Nome/Razão Social: _____ CPF/CNPJ: _____ Número da Homologação: **001**

Contrato de Permanência por Benefício na Aquisição de Aparelho e/ou Estação Móvel

A. No caso de cancelamento dos serviços da VIVO ou de transferência para o Plano de Serviço e/ou pacote de tráfego com valor mensal inferior ao contratado, durante o prazo de permanência, o Cliente deverá reembolsar à VIVO, sempre proporcionalmente aos meses faltantes para o término da permanência (pro rata), os valores abaixo mencionados, de acordo com o benefício recebido, e especificados neste documento nos itens E e 11, conforme o caso. B. No caso de transferência do direito de uso da linha a que estiver vinculada ao aparelho ora adquirido, o futuro comprador deverá obrigá-lo a cumprir todas as estipulações referentes à presente contratação, incluindo o período de permanência restante; C. Na hipótese de suspensão do serviço a pedido do Cliente, o prazo de permanência também ficará suspenso, voltando a fluir, após o término da suspensão, pelos dias restantes para o fim do prazo de permanência fixado. D. O Cliente compromete-se a não adquirir, junto à VIVO, novo aparelho, vinculado ao código de acesso (linha) identificado no verso, em condições promocionais, pelo período de 12 (doze) meses a contar da data de assinatura deste documento. No caso da compra de novo aparelho, no período mencionado, e vinculada ao mesmo código de acesso, o Cliente está ciente de que este somente poderá ser realizado pelo maior preço vigente para o modelo escolhido, sem qualquer benefício para aquisição do aparelho, independentemente do Plano de Serviço por ele contratado. E. O Cliente está ciente de que, conforme Cláusula Quarta das Cláusulas Gerais do Contrato de Prestação do Serviço Móvel Pessoal Pós-Pago e em função de recebimento de benefício na aquisição do aparelho, deverá permanecer vinculado ao Plano de Serviço ora contratado pelo prazo de 12 (doze) meses. No caso de cancelamento dos serviços da VIVO ou de transferência para o Plano de Serviço e/ou pacote de tráfego com valor mensal inferior ao contratado, durante o prazo de permanência, o Cliente deverá reembolsar à VIVO, sempre proporcionalmente aos meses faltantes para o término da permanência (pro rata), os valores abaixo:

Plano	Valor da multa
1. SmartVivo 1 GB	RS 450,00
2. SmartVivo 4 GB	RS 650,00
3. SmartVivo 6 GB	RS 1.000,00
4. SmartVivo 8 GB	RS 1.100,00
5. SmartVivo V	RS 4.000,00
6. MultiVivo Internet	RS 100,00
7. MultiVivo Smartphone	RS 150,00

	Vivo Controle Limitado	Plano SmartVivo Controle 250 MB	Plano SmartVivo Controle 500 MB
8. Controle Limitado Móvel	RS 40,00	RS 50,00	RS 60,00
9. Controle Limitado Móvel - Mais Vivo	RS 80,00	RS 90,00	RS 100,00

10. Pacote Vivo Internet: no caso de cancelamento de qualquer Plano Vivo Internet Móvel ou Vivo Internet Box, ou de transferência para plano de tráfego com valor mensal inferior ao contratado, durante o prazo de permanência, o Cliente deverá reembolsar à Vivo o valor do benefício, sempre proporcionalmente aos meses faltantes para o término da permanência (pro rata). Os valores promocionais devidos serão: i) RS 150,00 para os planos 3G Vivo Internet Moveit: 500 MB e 1 GB; ii) RS 250,00 para os planos 4G Vivo Internet Moveit: 3 GB, 6 GB, 10 GB e 20 GB e para o plano 3G Vivo Internet BOX: 2 GB; iii) RS 350,00 para os planos 4G Vivo Internet BOX: 6 GB, 12 GB, 20 GB e 40 GB.

11. Serviço Vivo Direto: no caso de cancelamento do Serviço Vivo Direto, durante o prazo de permanência, o Cliente deverá reembolsar à Vivo o valor de RS 100,00, sempre proporcionalmente aos meses faltantes para o término da permanência (pro rata).

Declarações e Aceites: para obter mais informações, ligue *8486 de seu Vivo ou 1658 de qualquer outro telefone.

O Cliente, neste ato, declara que conhece e concorda com as Cláusulas Gerais do Contrato de Prestação de Serviço Móvel Pessoal Pós-Pago, registrado no 7º Ofício de Registro de Títulos e Documentos de São Paulo/SP sob o nº 1858073 e suas alterações posteriores, comprometendo-se a cumpri-lo integralmente, assin, como o Plano de Serviço indicado neste Termo de Adesão, tendo pleno conhecimento de todas as cláusulas e condições deste Termo e seus Anexos, quando aplicável, do Manual do Cliente Vivo, dos folhetos explicativos de serviços, preços e promoções, da área de cobertura e das condições de contratação e uso dos serviços solicitados (inclusive dos Termos de Adesão específicos), todos entregues ao Cliente neste ato (sujeitos a alteração conforme legislação e regulamentação aplicáveis). O Cliente está ciente de que a Estação Móvel (EM) ou aparelho Vivo Box estão sujeitos a oscilações na transmissão/recepção do sinal em função de condições técnicas, podendo, eventualmente, receber sinais de Estações Rádio-Base (ERB) instaladas em cidades vizinhas e estar sujeita a operação em roaming, com custos e preços decorrentes da operação nessa condição. Ainda, tem ciência de que eventual transferência de Plano de Serviço Pós-Pago para Pós-Pago implica desabilitação do Plano de Serviço Pós-Pago, com o consequente cancelamento dos serviços inerentes àquela modalidade, e dá plena e geral quitação dos créditos e do serviço prestado na modalidade Pré-Pago. O Cliente está ciente e de acordo com a possibilidade de adesão a Serviços Suplementares, Serviços de Valor Adicional, Programas de Relacionamento e/ou Programas Especiais de descontos e vantagens oferecidos, reconhecendo e aceitando a possibilidade de alteração, inclusão e/ou exclusão, inclusive pela Central de Relacionamento com o Cliente, observada a cobrança pelos serviços prestados, conforme o caso, comprometendo-se a ler todos os regulamentos, condições e informações a eles referentes, disponíveis no site da Vivo na internet (www.vivo.com.br) e/ou em outros canais, a eles aderindo e deles se utilizando nas condições de suas regras e eventuais restrições. O Cliente autoriza eventual inclusão de valores devidos por ele a terceiros no mesmo documento de cobrança dos valores devidos à VIVO, nos termos da regulamentação aplicável. O Cliente declara e reconhece, ainda, que os seguintes serviços estão pré-habilitados, podendo ser desabilitados após a assinatura deste instrumento, mediante solicitação à Central de Relacionamento com o Cliente: Chamada em Espera, Desvio de Chamadas, Caixa Postal e Identificador de Chamadas. Caso o Cliente não tenha adquirido a(s) EM(s) e/ou o aparelho Vivo Box pela VIVO, declara que a compra ocorreu de forma lícita e legítima, sendo de sua inteira e exclusiva responsabilidade a origem, procedência e forma da referida aquisição e posse, podendo a(s) EM(s) e/ou o aparelho Vivo Box ser(em) atendida(s) no SMP, sem prejuízo a terceiros nem à VIVO. Declara também que está ciente de suas funções e limitações e dos termos de seu Manual do Aparelho, inclusive restrições de tecnologia, de área de cobertura e de disponibilidade de serviços. Outrossim, declara estar ciente das condições ora acordadas, inclusive aquelas referentes ao Limite Temporário de Utilização, contratos de Permanência por Benefícios na Aquisição de Estação Móvel e/ou no aparelho Vivo Box e/ou por Benefício Pecuniário em Serviços, conforme assinalado no verso e acima descritas. O Cliente declara e concorda com as disposições do Contrato de Licença de Software e demais termos e condições relativos ao uso da EM e/ou aparelho Vivo Box adquirido(s) (de acordo com a Nota Fiscal), conforme disponibilizado, ao Cliente, pelo fabricante da EM e/ou aparelho Vivo Box. O Cliente declara, sob as penas da lei, que são verdadeiras todas as informações e declarações prestadas e que concorda com todas as informações constantes no presente documento (frente e verso), assinando-o para que produza seus jurídicos e legais efeitos.

Assinatura do Cliente

CURITIBA, 18 de Dezembro de 2014

Telefônica
Para uso interno

Declaro ter verificado os dados do cliente por meio dos documentos originais, hábeis para tanto, sendo corretas as informações constantes neste documento.
Loja / Dealer: LOJA SHOPPING MUELLER
Cód. da Loja / Dealer: PR606-1

Nome do Vendedor: Ana Paula Dos Santos
Ass. do Vendedor: _____

Figura 33. Contrato Pós-Pago Operadora Vivo.
Fonte: Operadora Vivo.

ANEXO B – Cobertura 4G em Curitiba da operadora Claro.

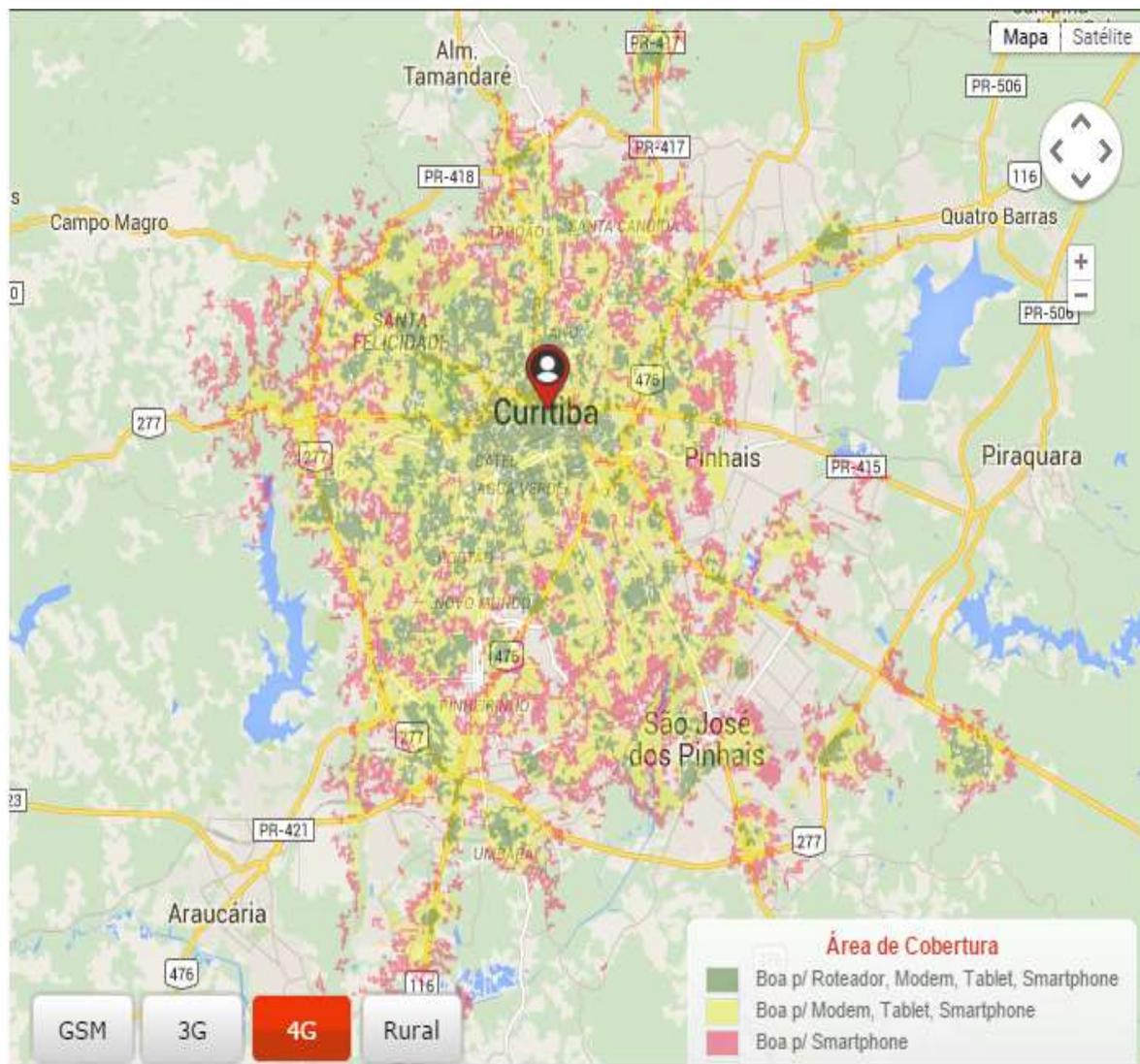


Figura 34. Cobertura 4G Da Operadora Claro.
Fonte: Site da Claro acessado em 12/08/2015.

A cobertura da operadora Vivo não pode ser apresentada da mesma forma que a operadora Claro, pois no site da operadora só é possível verificar mediante de pesquisa via endereço ou CEP do local, desta forma não foi encontrado uma maneira de apresentar um mapa de toda a cidade de Curitiba da mesma maneira do exemplo de cima.

ANEXO C - Resultados obtidos a partir do software Speed Test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 35. Operadora B - Bairro Xaxim	
Figura 36. Operadora A - Bairro Xaxim	79
Figura 37. Operadora B - Bairro Xaxim	
Figura 38. Operadora A - Bairro Xaxim	79
Figura 39. Operadora B - Jardim Botânico	
Figura 40. Operadora A - Jardim Botânico	80
Figura 41. Operadora A - Jardim Botânico	
Figura 42. Operadora B - Jardim Botânico	80
Figura 43. Operadora B – Parque Iguaçu Setor Náutico	
Figura 44. Operadora A – Parque Iguaçu Setor Náutico	81
Figura 45. Operadora B - Parque Iguaçu Setor Náutico	
Figura 46. Operadora A – Parque Iguaçu Setor Náutico	81
Figura 47. Operadora A – Detran	
Figura 48. Operadora B – Detran	82
Figura 49. Operadora A - Detran	
Figura 50. Operadora B – Detran	82
Figura 51. Operadora B – Museu Oscar Niemeyer	
Figura 52. Operadora A – Museu Oscar Niemeyer	83
Figura 53. Operadora A – Museu Oscar Niemeyer	
Figura 54. Operadora B – Museu Oscar Niemeyer	83
Figura 55. Operadora B - Parque General Iberê de Mattos	
Figura 56. Operadora A - Parque General Iberê de Mattos	84
Figura 57. Operadora B - Parque General Iberê de Mattos	
Figura 58. Operadora A - Parque General Iberê de Mattos	84
Figura 59. Operadora A - Bairro Vila Lindóia	
Figura 60. Operadora A - Bairro Vila Lindóia	85
Figura 61. Operadora B - Bairro Vila Lindóia	
Figura 62. Operadora B - Bairro Vila Lindóia	85
Figura 63. Operadora A - Palácio das Telecomunicações	
Figura 64. Operadora A - Palácio das Telecomunicações	86
Figura 65. Operadora A - Palácio das Telecomunicações	
Figura 66. Operadora B - Palácio das Telecomunicações	86
Figura 67. Operadora B - Palácio das Telecomunicações	
Figura 68. Operadora B - Palácio das Telecomunicações	86
Figura 69. Operadora A - Estádio Joaquim Américo Guimarães	
Figura 70. Operadora A - Estádio Joaquim Américo Guimarães	87
Figura 71. Operadora B - Estádio Joaquim Américo Guimarães	
Figura 72. Operadora B - Estádio Joaquim Américo Guimarães	87
Figura 73. Operadora A - Praça da Espanha	
Figura 74. Operadora A - Praça da Espanha	88
Figura 75. Operadora B - Praça da Espanha	
Figura 76. Operadora B - Praça da Espanha	88
Figura 77. Operadora A - Praça Tiradentes	
Figura 78. Operadora A - Praça Tiradentes	89

Figura 79. Operadora B – Praça Tiradentes

Figura 80. Operadora B - Praça Tiradentes89

TESTES REALIZADOS NO BAIRRO XAXIM

Figura 35. Operadora B - Bairro Xaxim



Figura 36. Operadora A - Bairro Xaxim



Figura 37. Operadora B - Bairro Xaxim



Figura 38. Operadora A - Bairro Xaxim

TESTES REALIZADOS NO JARDIM BOTÂNICO DE CURITIBA



Figura 39. Operadora B - Jardim Botânico



Figura 40. Operadora A - Jardim Botânico



Figura 41. Operadora A - Jardim Botânico



Figura 42. Operadora B - Jardim Botânico

TESTES REALIZADOS NO PARQUE IGUAÇU



Figura 43. Operadora B – Parque Iguaçu Setor Náutico



Figura 44. Operadora A – Parque Iguaçu Setor Náutico



Figura 45. Operadora B - Parque Iguaçu Setor Náutico



Figura 46. Operadora A – Parque Iguaçu Setor Náutico

TESTES REALIZADOS NO DETRAN



Figura 47. Operadora A – Detran



Figura 48. Operadora B – Detran



Figura 49. Operadora A - Detran



Figura 50. Operadora B – Detran

TESTES REALIZADOS NO MUSEU OSCAR NIEMEYER



Figura 51. Operadora B – Museu Oscar Niemeyer



Figura 52. Operadora A – Museu Oscar Niemeyer



Figura 53. Operadora A – Museu Oscar Niemeyer



Figura 54. Operadora B – Museu Oscar Niemeyer

TESTES REALIZADOS NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS



Figura 55. Operadora B - Parque General Iberê de Mattos



Figura 56. Operadora A - Parque General Iberê de Mattos



Figura 57. Operadora B - Parque General Iberê de Mattos



Figura 58. Operadora A - Parque General Iberê de Mattos

TESTES REALIZADOS NO BAIRRO VILA LINDÓIA



Figura 59. Operadora A - Bairro Vila Lindóia



Figura 60. Operadora A - Bairro Vila Lindóia



Figura 61. Operadora B - Bairro Vila Lindóia



Figura 62. Operadora B - Bairro Vila Lindóia

TESTES REALIZADOS NO PALÁCIO DAS TELECOMUNICAÇÕES



Figura 63. Operadora A - Palácio das Telecomunicações



Figura 64. Operadora A - Palácio das Telecomunicações



Figura 65. Operadora A - Palácio das Telecomunicações



Figura 66. Operadora B - Palácio das Telecomunicações



Figura 67. Operadora B - Palácio das Telecomunicações



Figura 68. Operadora B - Palácio das Telecomunicações

TESTES REALIZADOS NA ARENA DA BAIXADA



Figura 69. Operadora A - Estádio Joaquim Américo Guimarães



Figura 70. Operadora A - Estádio Joaquim Américo Guimarães



Figura 71. Operadora B - Estádio Joaquim Américo Guimarães



Figura 72. Operadora B - Estádio Joaquim Américo Guimarães

TESTES REALIZADOS NA PRAÇA DA ESPANHA



Figura 73. Operadora A - Praça da Espanha



Figura 74. Operadora A - Praça da Espanha



Figura 75. Operadora B - Praça da Espanha



Figura 76. Operadora B - Praça da Espanha

TESTES REALIZADOS NA PRAÇA TIRADENTES



Figura 77. Operadora A - Praça Tiradentes



Figura 78. Operadora A - Praça Tiradentes



Figura 79. Operadora B – Praça Tiradentes



Figura 80. Operadora B - Praça Tiradentes