

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EVANDRO CHERUBINI ROLIN

**ANÁLISE DA QUALIDADE E DO DESEMPENHO DA COBERTURA
CELULAR *LONG TERM EVOLUTION* EM CURITIBA, PARANÁ**

CURITIBA
2014

EVANDRO CHERUBINI ROLIN

**ANÁLISE DA QUALIDADE E DO DESEMPENHO DA COBERTURA
CELULAR *LONG TERM EVOLUTION* EM CURITIBA, PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Horácio Tertuliano dos Santos Filho, Ph.D.

CURITIBA
2014

TERMO DE APROVAÇÃO

EVANDRO CHERUBINI ROLIN

ANÁLISE DA QUALIDADE E DO DESEMPENHO DA COBERTURA CELULAR *LONG TERM EVOLUTION* EM CURITIBA, PARANÁ

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná.

Prof. Horácio Tertuliano dos Santos Filho, Dr.
Orientador

Banca Examinadora

Prof. Horácio Tertuliano dos Santos Filho, Dr. (UFPR)
Presidente

Prof. Paulo Portela de Carvalho, Dr. (UNB)

Prof. Cesar Augusto Dartora, Dr. (UFPR)

Prof. Eduardo Gonçalves de Lima, Dr. (UFPR)
Presidente

CURITIBA, 22 DE AGOSTO DE 2014

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, sem o qual não estaríamos aqui.

Agradeço ao Professor Horácio Tertuliano Filho pela supervisão semanal e por todo o apoio e incentivo dado ao longo do desenvolvimento desse trabalho. Os seus conhecimentos, conselhos e sugestões foram essenciais para ultrapassar os diversos obstáculos encontrados durante a realização dessa dissertação.

Agradeço minha esposa Marcia e meu filho Mateus pelo incentivo e por compreenderem minha ausência.

Agradeço a todos os meus colegas de curso e de trabalho pelo apoio, assim como todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, que participaram direta ou indiretamente na realização desse trabalho.

RESUMO

A implantação da rede celular *Long Term Evolution* (LTE) no município de Curitiba, cidade localizada no sul do Brasil com uma população estimada de 1,8 milhões de habitantes, iniciou-se em dezembro de 2012 pelas principais operadoras de telefonia móvel celular. Considerando a crescente e exigente demanda por melhor qualidade dos serviços prestados pelas operadoras de telecomunicações, esse trabalho tem como objetivo analisar a qualidade e o desempenho da cobertura celular LTE, sendo os dados coletados por meio de um *drive test* aplicado em uma rede comercial, em região urbana densa na cidade de Curitiba, na faixa de frequência de 2.600 MHz, com largura de banda de 20 MHz. O processamento dos dados foi realizado por meio dos *softwares Microsoft Excel 2010* e do *MapInfo Professional*. Por meio da análise realizada nesse trabalho, afirma-se que a qualidade e o desempenho da cobertura celular LTE neste município ainda não atingiram as especificações padronizadas no *Release 8* pelo grupo 3GPP.

Palavras-chave: Cobertura. Metodologia. *Drive Test*. Qualidade. LTE. Móvel

ABSTRACT

The deployment of mobile network Long Term Evolution (LTE) in Curitiba, a city in southern Brazil with an estimated of 1.8 million inhabitants, started in December 2012 by the leading operators of mobile phone. Considering the growing demand for better quality of service provided by telecom operators, this paper aims to analyze the quality and performance of the LTE cell coverage, with data collected through a drive test applied on a commercial network in dense urban area in the city in Curitiba, in the frequency range of 2600 MHz, with bandwidths of 20 MHz band data processing was performed using the Microsoft Excel 2010 and MapInfo Professional software. Through the analysis performed in this work, it is argued that the quality and performance of the LTE cell coverage in this city, has not yet reached the standardized by 3GPP group in their Release 8.

Keywords: Coverage. Methodology. Drive Test. Quality. LTE. Mobile

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 - Países com o LTE implantado ou planejado para implantação [7].	17
Fig. 2 - Previsão de crescimento dos dispositivos conectados no Mundo [8].	19
Fig. 3 - Previsão de crescimento global de dispositivos móveis e conexões inteligentes [8].	20
Fig. 4 - Previsão de crescimento global de dispositivos móveis e conexões 2G, 3G e 4G [8].	21
Fig. 5 - Arquitetura do sistema EPS para uma rede LTE [7].	34
Fig. 6 - Arquitetura E-UTRAN de uma rede LTE [9].	37
Fig. 7 - Interfaces utilizadas no LTE [5].	38
Fig. 8 - Representação do sinal OFDM na frequência e no tempo [11].	40
Fig. 9 - Estrutura OFDMA [11].	41
Fig. 10 - <i>Frame</i> OFDM [14].	42
Fig. 11 - Estrutura OFDM para formação de um <i>frame</i> com CP curto [14].	42
Fig. 12 - Estrutura do <i>resource block</i> no <i>downlink</i> com CP longo [autor].	43
Fig. 13 - Comparação entre OFDMA e SC-FDMA [4].	45
Fig. 14 - Sistemas de acesso de múltiplas antenas [4].	65
Fig. 15 - Modelo mapeado de SNR – CQI [10].	70
Fig. 16 – Vista aérea da região de realização do <i>drive test</i> [Autor].	79
Fig. 17 - Região de realização do <i>drive test</i> [Autor].	80
Fig. 18 - Formato dos dados medidos pelo <i>scanner</i> [autor].	81
Fig. 19 - Formato dos dados registrados no <i>modem</i> [autor].	83
Fig. 20 – Carregamento de planilhas eletrônicas no <i>Software MapInfo Professional</i> [autor].	97
Fig. 21 – Configuração das propriedades dos parâmetros [autor].	97
Fig. 22 – Dados carregados no <i>software</i> [autor].	98
Fig. 23 – Dados estatísticos do parâmetro RSRP [autor].	98
Fig. 24 - Mapa de cobertura do RSRP [autor].	99
Fig. 25 - Distribuição da modulação no site EPRCCE25 [autor].	102
Fig. 26 - Representação gráfica do <i>throughput</i> no <i>downlink</i> [autor].	103
Fig. 27 - Histograma do <i>throughput</i> no <i>downlink</i> [autor].	104
Fig. 28 - Mapa de cobertura do RSRP no <i>downlink</i> [autor].	105
Fig. 29 - Histograma do RSRP [autor].	106
Fig. 30 - Mapa de cobertura do SINR no <i>downlink</i> [autor].	107
Fig. 31 - Histograma do SINR [autor].	108
Fig. 32 - Relação entre os parâmetros SINR e o <i>throughput</i> [autor].	108
Fig. 33 - Relação entre os parâmetros SINR e RSRP [autor].	109
Fig. 34 - Mapa de cobertura do PCI [autor].	109
Fig. 35 - Enlace na área de estudo [autor].	110
Fig. 36 - Mapa de cobertura 4G da operadora Claro na área central de Curitiba.	126
Fig. 37 - Mapa de cobertura 4G da operadora Tim na área central de Curitiba.	127
Fig. 38 - Mapa de cobertura 4G da operadora Oi na área central de Curitiba.	128
Fig. 39 - Mapa de cobertura 4G da operadora Vivo na área central de Curitiba.	129
Fig. 40 - Mapa de cobertura 4G Vivo, na área central de Curitiba, fornecido pela <i>Open Sign</i> .	130

LISTA DE TABELAS

Tab. 1 - Velocidade média de <i>download</i> de LTE no mundo.	18
Tab. 2 - Tempo médio de disponibilidade do LTE no mundo.	19
Tab. 3 - Bandas de operação E-UTRA.....	32
Tab. 4 - Arranjo de subfaixas da banda de radiofrequência de 2.500 MHz a 2.690 MHz.	33
Tab. 5 - Interfaces do LTE e suas funções.....	39
Tab. 6 - Parâmetros para cada largura de banda do canal.....	44
Tab. 7 - Taxas de transmissão de dados de pico da camada física para o DL [Mbps].	51
Tab. 8 - Taxas de transmissão de dados de pico da camada física para o UL [Mbps].	51
Tab. 9 - Taxas de transmissão de dados de pico para o DL, em função da largura de banda e do RB. ...	52
Tab. 10 - Taxas de transmissão de dados de pico para o UL, em função da largura de banda e do RB. ...	52
Tab. 11 - Categoria do UE no LTE.	53
Tab. 12 - Combinação de esquemas de modulação, eficiência espectral, taxa de códigos e MCS em LTE.	55
Tab. 13 - Modos de transmissão em <i>downlink</i> no LTE.	68
Tab. 14 - Matriz de decisão para os principais modos MIMO no LTE.	69
Tab. 15 – Especificações solicitadas para o desenvolvimento da proposta.	78
Tab. 16 - Dados da configuração lógica da EnodeB (parte 1).	85
Tab. 17 - Dados da configuração lógica da EnodeB (parte 2).	86
Tab. 18 - Dados da configuração física das torres.....	87
Tab. 19 - Dados da posição geográfica.....	88
Tab. 20 - Dados da configuração de apontamento de RF.	89
Tab. 21 – Apresentação dos valores dos parâmetros de desempenho e qualidade, referentes ao eNodeB EPRCCE25.	90
Tab. 22 – Porcentagem do tipo de modulação.	91
Tab. 23 - Informações de <i>ping</i> e <i>throughput</i> no eNodeB EPRCCE25.	92
Tab. 24 - Informações de <i>throughput</i>	92
Tab. 25 – Resultados do parâmetro RSSI.	93
Tab. 26 - Valores de RSSI considerando a variação da largura de banda.....	94
Tab. 27 – Resultados teóricos de pico calculados para o <i>throughput</i>	95

LISTA DE SIGLAS

2G	2 nd Generation of Mobile Network
3G	3 rd Generation of Mobile Network
3GPP	3 rd Generation Partnership Project
3GPP2	<i>Third Generation Partnership Project 2</i>
4G	4 th Generation of Mobile Network
Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
AMC	Adaptive Modulation and Coding
BLER	Block Error Rate
BCH	<i>Broadcast Channel</i>
BCCH	<i>Broadcast Control Channel</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
BTS	<i>Base Transceiver Station</i>
CCCH	<i>Common Control Channel</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CINR	<i>Carrier to Interference and Noise Ratio</i>
CP	Cyclic Prefix
CQI	Channel Quality Indicator
CS	<i>Circuit Switched</i>
CSI	<i>Channel State Information</i>
DCCH	<i>Dedicated Control Channel</i>
DFT	Discrete Fast Fourier
DL	Downlink
DL-SCH	<i>Downlink Shared Channel</i>
DTCH	<i>Dedicated Traffic Channel</i>
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution
E-DCH	<i>Enhanced Dedicated Channel</i>
eNodeB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
EPS	<i>Evolved Packet System</i>
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
E-UTRA	Evolved Universal Terrestrial Radio Access
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
EV-DO	<i>Evolution Data Optimized</i>
FDA	Função de Distribuição Acumulada
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FDP	Função Densidade de Probabilidade
FFT	Fast Fourier Transform
FOMA	<i>Freedom of Mobile Multimedia Access</i>
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications

GTP	<i>Generic Tunneling Protocol</i>
HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	Evolved High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IMS	Internet Protocol Multimedia Subsystem
IMT-A	International Mobile Telecommunications- <i>Advanced</i>
IP	Internet Protocol
ITU	Internacional Telecommunication Union
ITU-R	ITU - <i>Radiotelecommunication Sector</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LTE	Long Term Evolution
LTE-Advanced	Long Term Evolution Advanced
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MBMS	<i>Multimedia Broadcast/Multicast Services</i>
MCH	<i>Multicast Channel</i>
MCCH	<i>Multicast Control Channel</i>
MCS	Modulation and Coding Scheme
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MISO	Multiple Input Single Output
MME	Mobility Management Entity
MSC	<i>Mobile Switching Center</i>
MTCH	<i>Multicast Traffic Channel</i>
M2M	Machine to Machine
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PGW	Packet Data Network Gateway
PSCH	Primary Synchronization Channel
PAPR	<i>Peak to Average Power Ratio</i>
PBCH	Physical Broadcast Channel
PCFICH	Physical Control Format Indicator CHannel
PCH	<i>Paging Channel</i>
PCCH	<i>Paging Control Channel</i>
PCI	Physical Channel Indicator
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDP	Packet Data Protocol
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PHICH	<i>Physical Hybrid Indicator Channel</i>

PMI	Precoding Matrix Indicators
PMCH	<i>Physical Multicast Channel:</i>
PRACH	Physical Random Access Channel
P-SS	<i>Primary Synchronization Signal</i>
OS	<i>Packet Switch</i>
PUCCH	Physical Uplink Control Channel
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RACH	<i>Random Access Channel</i>
RB	Resource Block
RE	<i>Resource Element</i>
RF	Rádio Frequênci
RI	Rank Indicator
RNC	Radio Network Controller
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
RS	Reference Signal
RSRP	Reference Signal Reference Power
RSRQ	Reference Signal Reference Quality
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
RTT	Round Trip Time
Rx	Receção
SAE	<i>System Architecture Evolution</i>
SGW	Serving Gateway
SCTP	<i>Stream Control Transmission Protocol</i>
SC - FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIMO	Single Input Multiple Output
SINR	Signal to Interference and Noise Ratio
SIP	Session Initiation Protocol
SISO	Single Input Single Output
SNR	Signal to Noise Ratio
S-SS	<i>Secondary Synchronization Signal</i>
S1-U	<i>S1 User Plane Interface</i>
S1-MME	<i>S1 Control Plane Interface</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TTI	Time Transmission Interval
TX	Transmissão
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>

EU	User Equipment
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UL	Uplink
UL-SCH	<i>Uplink Shared Channel</i>
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UTRAN	<i>Universal Terrestrial Radio Access Network</i>
VoIP	Voice over Internet Protocol
VLN	Visitor Location Register
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 MOTIVAÇÃO	15
1.2 JUSTIFICATIVAS.....	17
1.3 OBJETIVOS.....	21
1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
1.5 CONTRIBUIÇÕES	23
1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	24
REFERÊNCIAS	25
2 FUNDAMENTOS DO LTE	27
2.1 INTRODUÇÃO	27
2.2 HISTÓRICO DO LTE	28
2.3 PREMISSAS DO LTE	30
2.4 MODOS DE ACESSO RÁDIO	31
2.5 BANDAS DE FREQUÊNCIA SUPORTADAS	31
2.6 ARQUITETURA DO LTE	33
2.6.1 Interfaces	37
2.7 CAMADA FÍSICA LTE	39
2.7.1 <i>Downlink</i>	39
2.7.2 <i>Uplink</i>	44
2.8 CANAIS E SINALIZAÇÕES DO LTE.....	46
2.8.1 Canais Físicos.....	46
2.8.2 Sinais Físicos.....	47
2.8.3 Canais de Transporte.....	48
2.8.4 Canais Lógicos	49
2.8.4.1 Canais de Controle	50
2.8.4.2 Canais de Tráfego.....	50
2.9 COBERTURA E CAPACIDADE	50
2.10 MODULAÇÃO ADAPTATIVA E CODIFICAÇÃO	54
2.11 ANÁLISE DE DESEMPENHO.....	56
2.12 CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS	58
3 PARÂMETROS UTILIZADOS EM <i>DRIVE TESTS</i>	60
3.1 PARÂMETROS DE DESEMPENHO E DE QUALIDADE.....	60
3.1.1 <i>Reference Signal Reference Power (RSRP)</i>	60
3.1.2 <i>Reference Signal Reference Quality (RSRQ)</i>	62
3.1.3 <i>Signal to Interference and Noise Ratio (SINR)</i>	63

3.1.4 Técnicas de Múltiplas Antenas	64
3.1.4.1 Single Input Single Output (SISO).....	65
3.1.4.2 Single Input Multiple Output (SIMO).....	65
3.1.4.3 Multiple Input Single Output (MISO).....	66
3.1.4.4 Multiple Input Multiple Output (MIMO).....	66
3.1.5 Modos de Transmissão no <i>Downlink</i> LTE em Múltiplas Antenas.....	67
3.1.6 <i>Channel Quality Indicator</i> (CQI).....	69
3.1.7 <i>Physical Cell ID</i> (PCI)	71
3.1.8 <i>Throughput</i>	71
3.2 CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS	74
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	75
4.1 INTRODUÇÃO	75
4.2 COLETA DE DADOS	75
4.3 TRATAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	84
4.4 PLANILHA ELETRÔNICA.....	89
4.5 <i>SOFTWARE</i> DE SIMULAÇÃO	96
4.6 CONCLUSÃO	99
REFERÊNCIAS.....	101
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	102
5.1 INTRODUÇÃO	102
5.2 CONCLUSÕES.....	110
REFERÊNCIAS.....	112
6 CONCLUSÕES	113
REFERÊNCIAS.....	117
ANEXO I – OFÍCIO 1	121
ANEXO II – OFÍCIO 2.....	122
ANEXO III - MAPAS DE COBERTURA DAS OPERADORAS DE TELECOMUNICAÇÕES	125
ANEXO IV – ACEITE DE ARTIGO.....	131

1 INTRODUÇÃO

A demanda por maiores taxas de transmissão de dados tem aumentado em função de novos aplicativos que necessitam de cada vez mais banda para os novos serviços. Os provedores mundiais de serviços de telecomunicações têm decidido sobre a escolha da tecnologia de quarta geração (4G) que satisfaça essa crescente demanda. Duas tecnologias concorrentes se destacam nesse cenário mundial, para oferta de banda larga móvel 4G: o *Third Generation Partnership Project (3GPP) Long Term Evolution (LTE)* e o WiMAX móvel 802.16m [1].

A maior adoção do *Long Term Evolution (LTE)* em nível mundial, segundo a *International Telecommunication Union (ITU)* e a *International Mobile Telecommunications-Advanced (IMT-A)*, está relacionada principalmente com as melhorias na capacidade da rede, do aumento da eficiência espectral, da redução da latência, da existência de um sistema de comutação por pacotes, de infraestruturas mais baratas e do aumento da qualidade dos serviços [1].

Níveis de qualidade e de disponibilidade de serviços de telecomunicações a serem oferecidos à sociedade é o desafio constante com o qual se deparam diariamente as empresas e os profissionais que atuam na área, em função do grande crescimento dos usuários desses serviços.

O crescimento do número de usuários móveis apresenta problemas ao nível de cobertura em regiões urbanas densas, sendo que esse crescimento tem acarretado novos desafios à tecnologia LTE, exigindo-se, cada vez mais, mudanças técnicas e legislativas para o setor.

Em junho de 2012, a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) realizou o leilão para a licitação das faixas de frequência de 2.500 MHz a 2.690 MHz, para a implantação da rede 4G no Brasil, sendo os termos de autorização assinados em outubro do mesmo ano. O padrão adotado pela agência reguladora foi o LTE, tendo sua implantação comercial iniciada, no município de Curitiba, em dezembro de 2012, sendo, portanto o LTE o objeto de estudo dessa dissertação [2].

1.1 MOTIVAÇÃO

As empresas vencedoras da licitação realizada pela Anatel no Brasil foram:

Telefônica Brasil S.A. (Vivo), Tim, Claro, Oi, Sky e Sunrise. Em Curitiba foram autorizadas a atuarem as empresas Vivo, Tim, Claro e Oi. A Claro foi a primeira a iniciar a implantação da rede LTE, a partir de dezembro de 2012 e as demais empresas, a partir de abril de 2013 [3].

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Curitiba abriga mais de 1,8 milhões de habitantes e, de acordo com a Anatel, a cidade é a décima primeira com maior número de acessos móveis por habitante no Brasil, sendo sua densidade igual a 152,11 acessos a cada 100 habitantes, em dezembro de 2013 [4].

Ainda segundo a Anatel, o número de equipamentos em operação no país atinge a soma de 275,7 milhões de aparelhos, sendo que o número de aparelhos celulares com acesso à rede LTE no Brasil, até junho de 2014, era de 3,27 milhões de unidades. Na região metropolitana de Curitiba este número corresponde a 99,3 mil unidades [3].

Segundo a organização 4G *Americas*, no final de 2013, o número de conexões móveis mundiais era de 6,8 bilhões, sendo que 2,1 bilhões eram em banda larga móvel, representando três vezes o número de conexões de banda larga fixa [5].

De acordo com a União Internacional de Telecomunicações (ITU), o número de conexões móveis ultrapassará o número de seres humanos no planeta até o final de 2014. A previsão é que a população mundial cresça para 7,3 bilhões de habitantes em 2014 e para 7,6 bilhões até 2018. O número de dispositivos móveis conectados chegará a 7,5 bilhões até o final de 2014 e, até o final de 2018, deverá atingir a marca de 10 bilhões de dispositivos móveis conectados [1].

Serviços de dados móveis estão no caminho para se tornarem necessidades essenciais para muitos usuários. O número de assinantes de telefonia móvel e, conseqüentemente de largura de banda, está crescendo rapidamente. Com a expansão das redes de telecomunicações e da utilização por dispositivos móveis e portáteis, a confiança dos usuários nas redes móveis tem aumentado e, conseqüentemente, sua exigência também [6].

Dessa forma, a motivação para a elaboração desse trabalho considerou a implantação da rede LTE em Curitiba, além da crescente e exigente demanda por qualidade na cobertura da tecnologia LTE.

1.2 JUSTIFICATIVAS

A rede LTE vem crescendo em todo o mundo, sendo que a Figura 1 mostra a expansão mundial da rede até fevereiro de 2014.



Fig. 1 - Países com o LTE implantado ou planejado para implantação [7].

A Figura 1 mostra que até fevereiro de 2014, 76 (setenta e seis) países haviam implantado ou encontravam-se em processo de implantação da rede LTE, conforme representado pela cor azul claro no mapa. Outros 18 (dezoito) países tinham planejamento para iniciar a implantação, conforme representado pela cor cinza. A cor azul escura representa os países que ainda não iniciaram o planejamento para a implantação do LTE.

O espectro mais utilizado em implementações de rede LTE é o de 1.800 MHz (3GPP), usado em 43% das implementações. Em março de 2014, 124 (cento e vinte e quatro) operadoras haviam implantado o LTE comercialmente na frequência de 1.800 MHz em 64 (sessenta e quatro) países. O espectro de 2.600 MHz é utilizado em 26,7 % das redes em operação comercial hoje, incluindo as redes brasileiras, seguida de 800 MHz usada em 13,5 % das redes, e 8,3% por outros espectros [1].

É válido ressaltar que o ITU/IMT-A (*International Mobile Telecommunications-Advanced* não reconhece o LTE como uma tecnologia de quarta geração (4G), uma

vez que não atende as recomendações do *Release 10* do 3GPP. Por sua vez o *LTE-Advanced* (LTE-A) é reconhecido como tecnologia 4G, por atender as mesmas recomendações [1]. Em maio de 2014 havia 6 (seis) países com o LTE-A implantado, sendo eles: Arábia Saudida, Rússia, Coreia do Sul, Reino Unido, Singapura e Japão [5].

Em estudo divulgado pela *Open Signal*, o Brasil aparece na terceira posição em velocidade média de *download* de LTE no mundo. Com 21 Mbps, o Brasil está atrás apenas da Austrália com 24,5 Mbps e da Itália com 22,2 Mbps [7]. As medidas foram feitas com aplicativos instalados em 6 milhões de usuários no mundo. A Tabela 1 representa o resultado do estudo.

Tab. 1 - Velocidade média de *download* de LTE no mundo.

PAÍS	Velocidade de <i>Download</i> (Mbps)
Austrália	24,5
Itália	22,2
Brasil	21,0
Hong Kong	21,0
Dinamarca	20,1
Canadá	19,3
Suécia	19,2
Coreia do Sul	18,6
Reino Unido	17,3
França	17,3
Alemanha	13,6
México	12,9
Rússia	12,4
Japão	11,8
Estados Unidos	6,50
Filipinas	5,30

Fonte: [7]

Nesse mesmo estudo, a rede LTE da Claro Brasil foi considerada a mais rápida do mundo com velocidade média de *download* de 27,8 Mbps, entretanto, a operadora brasileira foi considerada a terceira pior do planeta em disponibilidade, pois seus assinantes só conseguiram acessar a rede durante 45% do tempo avaliado, conforme mostrado na Tabela 2.

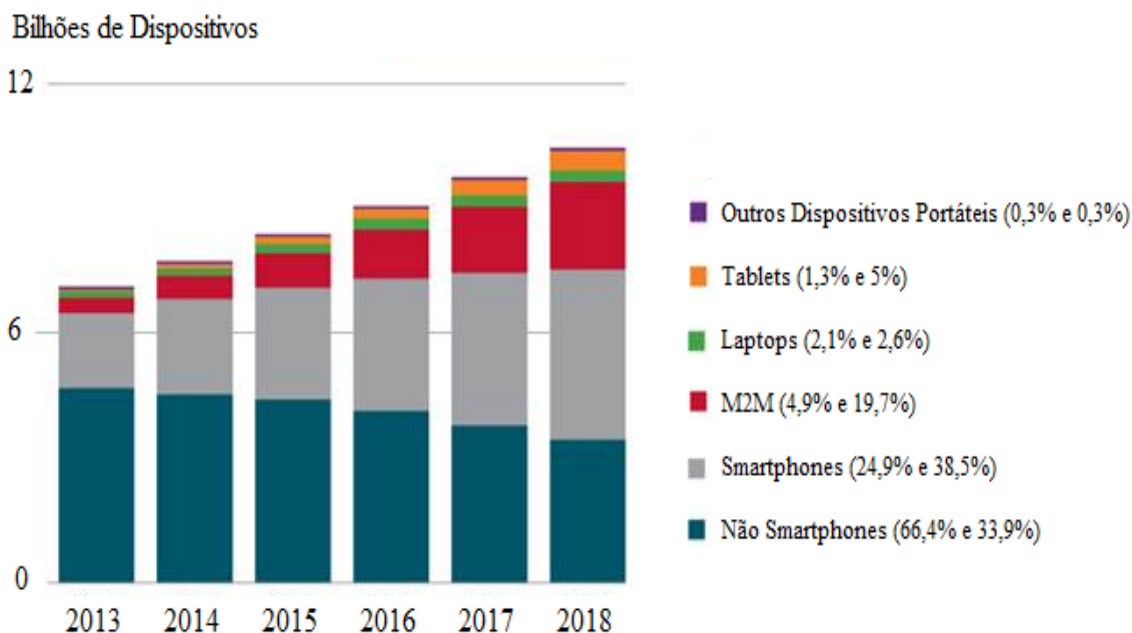
Tab. 2 - Tempo médio de disponibilidade do LTE no mundo.

PAÍS	Tempo sobre o LTE (%)
Coréia do Sul	91
Suécia	88
Hong Kong	74
Japão	68
Canadá	67
Estados Unidos	67
México	65
Dinamarca	62
Austrália	58
Reino Unido	53
França	50
Itália	49
Alemanha	47
Brasil	45
Rússia	42
Filipinas	38

Fonte: [7]

A velocidade de *download*, assim como o tempo de disponibilidade dos serviços de telecomunicações são parâmetros importantes para atender as expectativas de crescimento no setor.

A Figura 2 mostra a previsão de crescimento mundial de dispositivos com e sem conexão, reforçando a expectativa de crescimento das conexões móveis.



Os valores em parênteses referem-se aos dispositivos ou conexões em 2013 e 2018.

Fig. 2 - Previsão de crescimento dos dispositivos conectados no Mundo [8].

Na Figura 2 observa-se um rápido declínio da participação dos aparelhos não *smartphones* em mais de 32%, caindo de 4,7 bilhões para menos de 3,5 bilhões em 2018. Os maiores crescimentos são esperados para os dispositivos *smartphones*, com 13,6%, seguidos das conexões máquina-a-máquina (M2M), que são as comunicações entre máquinas via redes celulares móveis, com 14,8%, ambos crescendo quase seis vezes ao longo do período de previsão.

Segundo a ITU, 65% da população mundial ainda não tem acesso à internet, sendo que no Brasil esse número é de 55%. Enquanto 75% dos lares nos países em desenvolvimento têm televisão, apenas 20% estão conectados à internet. Entretanto, o uso móvel é considerado um fenômeno global, pois já existem mais de 100 países, onde o número de celulares já ultrapassou o número de habitantes [1].

A Figura 3 mostra a previsão de crescimento de dispositivos e conexões inteligentes e não inteligentes, considerando o período de 2013 até 2018.



Fig. 3 - Previsão de crescimento global de dispositivos móveis e conexões inteligentes [8].

Observa-se na Figura 3 que os dispositivos e conexões com acesso à internet crescerão de 21% em 2013 para 54% em 2018. Por sua vez, os dispositivos e conexões sem acesso à internet sofrerão uma redução de 79% em 2013 para 46% em 2018.

Globalmente, as conexões 4G móveis globais crescerão de 203 milhões em 2013 para 1.5 bilhões em 2018, conforme mostra a Figura 4.

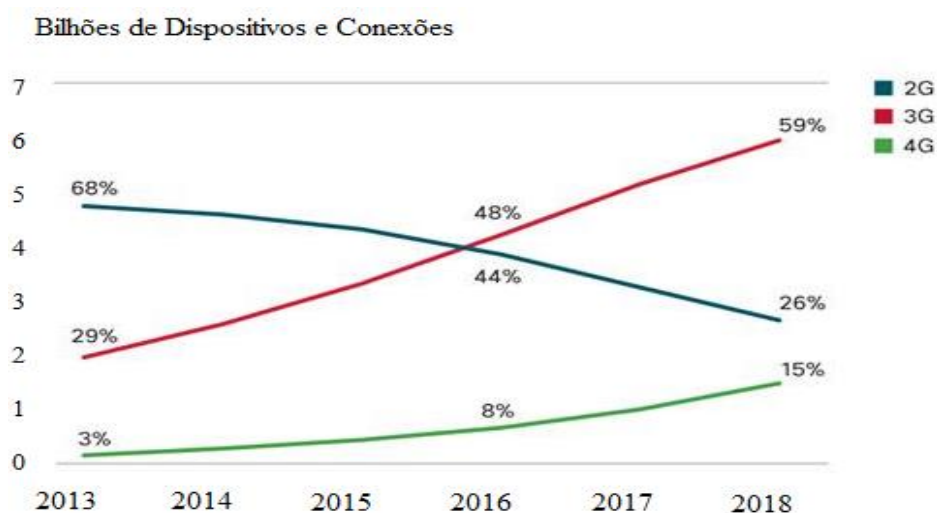


Fig. 4 - Previsão de crescimento global de dispositivos móveis e conexões 2G, 3G e 4G [8].

Observa-se pela Figura 4 que a participação relativa de dispositivos e conexões 3G superará os dispositivos e conexões 2G até 2016. É esperado que até 2018, 15% de todos os dispositivos e conexões globais sejam 4G.

Quase 50% de todas as pessoas no mundo estão cobertas por uma rede 3G, de acordo com a União Internacional de Telecomunicações (ITU). Conexões de banda larga móvel, através de redes de terceira geração (3G), como o *High Speed Packet Access* (HSPA) e *Code Division Multiple Access* (CDMA) e o *Evolution Data Optimized* (EV-DO) e, de redes LTE, estão crescendo a uma taxa média anual de 40%, com um total de 2,1 bilhões de assinantes móveis de banda larga e uma taxa de penetração global de quase 30% [1].

O acesso à banda larga móvel é uma opção atrativa, especialmente considerando o crescimento de novos mercados. Dessa forma, justifica-se a necessidade de estudar os benefícios das novas redes móveis, em especial das redes desenvolvidas pelo grupo 3GPP, como o LTE [9].

1.3 OBJETIVOS

Considerando a implantação da rede LTE em Curitiba, os mapas de cobertura disponibilizados pelas operadoras e a crescente e exigente demanda por qualidade na cobertura da tecnologia LTE, esse trabalho tem por objetivo geral a análise da qualidade e do desempenho da cobertura celular LTE em Curitiba, Paraná, sendo os

dados coletados por meio de um *drive test* aplicado em uma rede comercial, em região urbana densa na cidade de Curitiba, com área de aproximadamente 5 km², na faixa de frequência de 2.600 MHz, com largura de banda de 20 MHz, desenvolvido no seio do Laboratório de Telecomunicações da Universidade Federal do Paraná - LabTelecom.

Outros objetivos propostos são levantar o estado-da-arte acerca do padrão de banda larga móvel – LTE, no Brasil e especificamente na cidade de Curitiba/PR; realizar o tratamento e a interpretação dos dados medidos em campo, por meio dos *softwares Microsoft Excel 2010* e do *MapInfo Profissional*; implementar uma planilha eletrônica, a partir dos dados obtidos no *drive test*, para viabilizar a simulação gráfica dos resultados.

1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O desenvolvimento do atual trabalho utilizou como referência dissertações de mestrado e o Fórum 4G Brasil, cadastrado na Universidade Federal do Paraná. O Fórum apresentou em 2002, no *4G Mobile Fórum*, em Londres, o trabalho intitulado “4G Brasil: Tendências dos Sistemas de Comunicações Móveis”. As dissertações foram publicadas em 2011 e 2012, tendo como objetos de pesquisa a rede LTE [10].

Gonçalves, em 2011, desenvolveu o trabalho intitulado “Análise de Desempenho dos Sistemas LTE e LTE-*Advanced* com base em Simuladores”, sendo seu objetivo simular o *throughput* das redes LTE e LTE-*Advanced*, comparando os resultados obtidos com valores teóricos esperados. Utilizando dois simuladores comerciais, Gonçalves analisou quais os parâmetros que tinham maior impacto no *throughput* máximo. Concluiu que a largura de banda, o valor do Indicador da Qualidade do Canal (CQI) e a configuração de antenas, através da tecnologia MIMO, apresentavam os maiores impactos, tanto no simulador do LTE como para o do LTE-*Advanced* [11].

Também em 2011, Cornélio desenvolveu o trabalho “Inovações Tecnológicas no Setor de Telecomunicações no Brasil: desafios e oportunidades do LTE para expansão da telefonia móvel”. O estudo teve por objetivo a análise das oportunidades e os desafios no mercado de telefonia móvel de Telecomunicações no Brasil, ao implantar o sistema de tecnologia LTE demonstrando o benefício dos fabricantes e operadoras no sentido econômico e tecnológico [12].

Em 2012, Nunes desenvolveu o trabalho “Análise de Desempenho em Redes Móveis *Long Term Evolution*”. O trabalho teve por objetivo a análise do desempenho de uma rede *LTE* e a comparação dos resultados obtidos com os valores teóricos esperados. Adotou-se uma metodologia de planejamento em *LTE*, sendo comprovada através das medidas empíricas realizadas. Das medições efetuadas observou-se que em boas condições, os valores de *throughput* eram bastante próximos dos máximos teóricos [13].

Ainda em 2012, Rodrigues desenvolveu o trabalho “Avaliação da Qualidade e Desempenho de Serviços em Redes *LTE*”. O mesmo buscou verificar, por meio de simulações, se os resultados obtidos representavam a realidade encontrada pelos clientes nas redes comerciais. Dessa forma, foram realizadas medições em campo, nas bandas de frequência dos 800 MHz com largura de banda de 10 MHz. Comparando os dados do *throughput* e o SINR (*Signal to Interference and Noise Ratio*), em cenário veicular, com os dados obtidos em redes comerciais observou-se que os resultados foram muito semelhantes para os canais de *downlink* e *uplink* [14].

1.5 CONTRIBUIÇÕES

A principal contribuição desse trabalho é a análise da qualidade e do desempenho da cobertura móvel celular *LTE*, na faixa de frequência de 2.600 MHz, com largura de banda de 20 MHz, com área de aproximadamente 5 km², sendo os dados coletados por meio de um *drive test* aplicado em uma rede comercial, em região urbana densa na cidade de Curitiba. Outras contribuições esperadas são a análise dos resultados reais obtidos do sistema móvel celular, por meio da medição de mais de 200 (duzentas) estações na região urbana densa na cidade de Curitiba/PR, com a análise de 7 (sete) estações, através de planilhas eletrônicas e um simulador específico; a implementação de uma planilha eletrônica, a partir dos dados obtidos no *drive test*, para viabilizar a simulação gráfica dos resultados; disponibilizar a planilha eletrônica como uma fonte aberta para futuros trabalhos acadêmicos em *LTE*; além de utilizar o trabalho e a planilha como recurso de ensino-aprendizagem em instituições de ensino.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A Dissertação é composta por seis capítulos, sendo que o primeiro é o presente capítulo onde se apresentam a introdução contendo a motivação, as justificativas, os objetivos, as anterioridades e as contribuições do trabalho.

No segundo capítulo são apresentados os principais fundamentos do LTE, sendo apresentado o histórico do LTE, assim como a sua respectiva arquitetura da rede, onde os principais componentes da mesma são comparados aos elementos da rede UMTS.

No capítulo 3 descrevem-se os principais parâmetros utilizados em *drive tests* e que influenciam no desempenho e conseqüentemente na qualidade móvel celular.

No capítulo 4 são apresentados os procedimentos utilizados para a análise da qualidade e do desempenho da cobertura celular LTE, sendo realizados a partir de um *drive test*. Também são apresentados os resultados após o tratamento e a interpretação dos dados obtidos nas medições em campo, assim como os resultados da planilha desenvolvida e utilizada para viabilizar a utilização de um software de simulação dos resultados.

No capítulo 5 é apresentada a análise dos resultados obtidos nesse trabalho.

No capítulo 6 apresentam-se as principais conclusões, assim como as limitações e as sugestões de trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- [1] ITU. International Telecommunication Union. The World in 2013: ICT facts and figures. Disponível em: <<http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2013-e.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2014.
- [2] ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documentoVersionado.asp?numeroPublicacao=278408&documentoPath=278408.pdf&Pub=&URL=/Portal/verificaDocumentos/documento.asp>>. Acesso em: 8 jul. 2014.
- [3] ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. Brasília, DF. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/SMP/Default.asp?SISQSmodulo=18228&SISQSsistema=172>>. Acesso em: 8 jul. 2014.
- [4] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home>>. Acesso em: 10 mar. 2014.
- [5] 4G AMERICAS. White papers. Disponível em: <<http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=428>>. Acesso em: 14 mar. 2014
- [6] ASTELY, D. LTE: the evolution of mobile broadband. IEEE Communications Magazine, v. 47, p. 45-51, 2009.
- [7] OPEN SIGN. The State of LTE. fev. 2014. Disponível em: <<http://opensignal.com/reports/state-of-lte-q1-2014/>>. Acesso em: 10 mar. 2014.
- [8] CISCO. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013–2018. Disponível em: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html>. Acesso em: 14 mar. 2014.
- [9] 3GPP. Third Generation Partnership Project. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>>. Acesso em: 10 mar. 2014
- [10] TERTULIANO Filho, H. et all: “4G Brasil: Tendências dos Sistemas de Comunicações Móveis”. 4G Mobile Fórum, Londres, 2002.
- [11] GONÇALVES, J. F. E. A. C. Análise de Desempenho dos Sistemas LTE e LTE-Advanced com base em Simuladores [dissertação de mestrado]. Lisboa, Portugal: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa; 2011.
- [12] CORNELIO, J. B. M. Inovações Tecnológicas no Setor de Telecomunicações no Brasil: desafios e oportunidades do LTE para expansão da telefonia móvel [dissertação de mestrado]. Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Getúlio Vargas; 2011.
- [13] NUNES do Nascimento, J. F. Análise de Desempenho em Redes Móveis Long Term Evolution [dissertação de mestrado]. Lisboa, Portugal: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa; 2012.

[14] RODRIGUES, C. F. R. Avaliação da Qualidade e Desempenho de Serviços em Redes LTE [dissertação de mestrado]. Lisboa, Portugal: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa; 2012.

2 FUNDAMENTOS DO LTE

O LTE foi proposto pelo 3GPP e apresentado a partir do Release 8, tratando-se de uma evolução da rede UMTS. Nesse capítulo é apresentado o histórico do LTE, bem como a sua respectiva arquitetura da rede. Os principais componentes constitutivos da mesma são comparados com os elementos da rede UMTS. Também são apresentados os canais e as sinalizações utilizadas no LTE, assim como a capacidade e a cobertura da rede onde são feitas as ponderações e apresentadas às limitações da mesma. O capítulo é concluído com a explicação do motivo pelo qual o LTE, quando comparado ao UMTS, não garante melhoras na cobertura ou no desempenho.

2.1 INTRODUÇÃO

As tecnologias 3G foram desenvolvidas por organismos de padronização que congregaram operadoras, fabricantes e entidades de padronização regionais, para o desenvolvimento de um projeto criado pela ITU, denominado de Programa IMT-2000. Duas famílias de tecnologias 3G foram desenvolvidas: UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*), sendo um padrão desenvolvido pela 3GPP, e o CDMA2000 desenvolvido pela 3GPP2 (*Third Generation Partnership Project 2*) [1].

O LTE foi a denominação dada pelo grupo 3GPP para melhorar as especificações da Terceira Geração Móvel - (UMTS). O termo é usado para referir-se ao *Evolved – Universal Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) ou *Evolved Universal Terrestrial Radio Access* (E-UTRA) iniciado a partir do *Release 8*. Como principais objetivos definidos para a padronização do LTE destacavam-se: a necessidade de variadas opções de largura de banda, a redução nos custos da infraestrutura da rede, a simplificação e a minimização do número de interfaces, o aumento da eficiência e da capacidade da rede, a melhoria no desempenho dos serviços, além da interoperacionalidade com os outros sistemas 3GPP [2].

O grupo 3GPP desenvolveu tecnologias de comunicação, atingindo a massificação por meio do *Group Special Mobile/Global System for Mobile Communications* (GSM). Os padrões desenvolvidos tratam-se da família 3GPP, em que se baseiam a evolução dos padrões desenvolvidos para o GSM, o *Enhanced Data*

rates for Global Evolution (EDGE), UMTS, High Speed Packet Access (HSPA), HSPA+, Long Term Evolution (LTE) e LTE –Advanced [2].

2.2 HISTÓRICO DO LTE

O desenvolvimento dos padrões 3GPP UMTS iniciou-se em 1995, quando o UMTS foi padronizado pela primeira vez. O responsável foi o Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações (ETSI), ocorrido em janeiro de 1998, por meio do *Release 99* (Rel-99). Essa primeira versão das especificações 3G foi uma consolidação das especificações GSM e do desenvolvimento do *Universal Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN). Trata-se da transferência de tráfego de alta velocidade, nos modos de comutação de pacotes e comutação de circuitos. O primeiro lançamento comercial foi realizado pela japonesa NTT DoCoMo, em 2001, por meio do padrão *Freedom of Mobile Multimedia Access* (FOMA), sendo uma derivação do UMTS [1]. As informações apresentadas a seguir, a partir do *Release 4*, utilizam como referência as informações consultadas em [2].

Em abril de 2001, foi publicado o *Release 4* (Rel-4), com pequenas melhorias no transporte dos dados, na interface rádio UMTS e na arquitetura do sistema.

O rápido crescimento do UMTS fez chegar ao *Release 5* (Rel-5), sendo publicado em 2002 e implantado em 2005, com algumas melhorias em relação ao Rel-99. Foi a partir do Rel-5 que as operadoras de telefonia móvel passaram a oferecer serviços sem fio de alta velocidade de dados com maior eficiência espectral. Isso foi possível por meio do recurso *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA). Também foi apresentado no Rel-5 o *Internet Protocol Multimedia Arquitetura Subsystem* (IMS), aumentando consideravelmente a experiência do usuário final para aplicativos integrados de multimídia. O UMTS Rel-5 também introduziu o conceito IP UTRAN, a partir do qual foi possível reduzir os custos da rede de transporte.

O *Release 6* (Rel-6) foi publicado em março de 2005, onde os recursos definidos, como o *uplink Enhanced Dedicated Channel* (E-DCH), melhoraram as especificações mínimas de desempenho dos receptores avançados, além do aumento dos serviços de *broadcast* e *multicast*, através do *Multimedia Broadcast/Multicast Services* (MBMS). O E-DCH foi uma das principais características do Rel-6, pois oferecia maior capacidade e velocidade de dados de usuários no *uplink*, em

comparação ao Rel-99 UMTS. Os receptores avançados melhoraram a eficiência espectral de *downlink* em até 50%, assim como de equalização, melhorando o desempenho de *downlink*, particularmente em velocidades de dados muito elevadas. O UMTS Rel-6 também introduziu serviços em que o conteúdo específico é destinado a um grande número de usuários, tais como *streaming* de áudio ou vídeo *broadcasting*.

O *Release 7* (Rel-7) foi publicado em março de 2007, onde o HSPA evoluiu para o HSPA+ e também houve a padronização do *Evolved* EDGE. Houve a melhoria do desempenho para os serviços de conversação e das aplicações interativas em tempo real, tais como *Push-to-Talk* sobre celular, imagem e compartilhamento de vídeo e voz e de voz sobre IP (Internet Protocol) (VoIP), através da introdução de características como o *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO). Estas melhorias do Rel-7 são chamadas de *Evolved* HSPA ou HSPA+.

As especificações do *Release 8* (Rel-8) foram publicadas em março de 2009, incluindo melhorias para a tecnologia HSPA+, bem como a introdução do *Evolved Packet System* (EPS), que consiste no *System Architecture Evolution/Evolved Packet Core* (SAE/EPC), juntamente com o *Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access* (OFDMA) baseado em *Radio Access Network* (RAN) E-UTRAN/LTE. Os termos LTE e E-UTRAN são utilizados para referir-se à interface aérea da rede de acesso de rádio com base no OFDMA, enquanto que os termos SAE e EPC são utilizados para se referir à evolução da rede IP.

Enquanto o trabalho para a conclusão e publicação do Rel-8 estava em andamento, o planejamento para o conteúdo da versão 9 (Rel-9) e do *Release 10* (Rel-10) já iniciava, pois pretendia-se obter novas soluções para o LTE. Além de outras melhorias para HSPA+, o Rel-9 focou em melhorias na arquitetura do LTE/EPC. Foi necessário limitar as especificações do LTE/EPC de Rel-8 para características essenciais, como chamadas de rádio de continuidade de voz, suporte genérico para acessos não 3GPP e *Circuit Switched* (CS).

Ao mesmo tempo que as melhorias eram desenvolvidas no Rel-9, o 3GPP reconheceu a necessidade de desenvolver uma solução e especificação a ser submetida à ITU para satisfazer às necessidades *IMT-Advanced*. Por isso, concomitantemente com o Rel-9, o 3GPP trabalhou em um item de estudo chamado *LTE-Advanced*, que definiu a maior parte do conteúdo para Rel-10. O objetivo foi incluir melhorias significativas na nova tecnologia para LTE/EPC, para atender às exigências do IMT. Em 7 de outubro de 2009, o 3GPP *LTE-Advanced* foi proposto na

conferência ITU de Genebra, como uma tecnologia para o IMT-Advanced. Um ano mais tarde, em outubro de 2010, a LTE-Advanced foi aprovada pelo ITU-Radiotelecommunication Sector (ITU-R) por ter cumprido todos os requisitos para o IMT-Advanced.

Já no Release 11, foram apresentadas novas combinações de agregação de canal e de verificação para recepção multiantena. No Release 12 apresentaram-se melhorias de acesso na segurança das redes IP/WLANs, de melhorias nas comunicações máquina a máquina (M2M), além de melhorias para o LTE na faixa de 450 MHz no Brasil. No Release 13 foram apresentadas melhorias na gestão de alarmes e de monitoramento do uso de recursos da rede de telecomunicações.

2.3 PREMISSAS DO LTE

O LTE foi projetado para ser competitivo, sendo suas premissas bastante ambiciosas. A flexibilidade espectral permite que o LTE seja implementado, conforme as necessidades, como os 2,6 GHz, ou no espectro radioelétrico liberado por outros sistemas. Por exemplo, com o encerramento da televisão analógica o espectro dos 700 MHz ficará livre para a utilização no LTE [3].

Por esse motivo, é requerido que o LTE opere em uma grande variedade de bandas de frequência, larguras de banda e dois modos de duplexação TDD e FDD. Utiliza-se 15 kHz no espaçamento entre subportadoras, pois reduz a complexidade de um sistema que utiliza largura de banda com múltiplos canais. As principais premissas do LTE são [3]:

- Altas Taxas de Transmissão de Dados: Valores superiores a 100 Mbps no *downlink* e de 50 Mbps no *uplink*, considerando uma largura de banda de 20 MHz. Suporta interatividade em tempo real;
- Controle de latência: Valores inferiores a 10 ms no plano de usuário e de 100 ms no plano de controle. Suporta *web browsing*, FTP, video *streaming*, VoIP e jogos online;
- Controle de capacidade: Valores superiores a 200 usuários por célula no estado ativo, considerando o espectro de 5 MHz;

- Mobilidade: Suporta velocidades de até 500 km/h, mas a otimização é feita para velocidades baixas (0 até 15 km/h);
- Maior Cobertura: Entre 5 km e 100 km;
- Flexibilidade espectral: 1,25 MHz, 2,5 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz e 20 MHz. O LTE pode ser implementado em quaisquer das larguras de banda apresentadas, cabendo a escolha à operadora;
- Comutação por Pacotes;
- *Throughput* elevado;
- Interoperabilidade com outras redes;
- Esquemas de múltiplo acesso: OFDMA no *downlink* e SC-FDMA no *uplink*;
- Modulação adaptativa: QPSK, 16QAM e 64QAM no *downlink* e no *uplink*;
- Técnicas MIMO;
- Suporte para modos: TDD (*Time Division Duplex*) e FDD (*Frequency Division Duplex*).

2.4 MODOS DE ACESSO RÁDIO

A interface aérea LTE suporta os modos *Time Division Duplex* (TDD) e *Frequency Division Duplex* (FDD), cada qual com sua própria estrutura de *frame*. Os dois modos diferem apenas na camada física, sendo o modo implementado transparente às camadas superiores. Isto significa que o Equipamento do Usuário (UE) é capaz de suportar os dois modos. O modo TDD suporta a transmissão e a recepção de sinais no mesmo canal, sendo que o mesmo não ocorre com o modo FDD [4].

Para se utilizar os recursos TDD no LTE, todas as emissões em *uplink* devem ser colocadas em estado de espera, enquanto qualquer recurso *downlink* for usado, ou vice versa. O *downlink* precisa ser totalmente cancelado quando qualquer uma das unidades está transmitindo na direção de *uplink* [4].

2.5 BANDAS DE FREQUÊNCIA SUPORTADAS

As especificações do LTE herdaram todas as faixas de frequência definidas para o UMTS. Observa-se, pela Tabela 3, que algumas faixas sobrepõem outras, o que necessariamente não representa um problema, como será visto mais adiante.

Tab. 3 - Bandas de operação E-UTRA.

Banda	Faixa de frequência no UL (MHz)	Faixa de frequência no DL (MHz)	Modo
1	1920 - 1980	2110 – 2170	FDD
2	1850 – 1910	1930 – 1990	FDD
3	1710 – 1785	1805 – 1880	FDD
4	1710 – 1755	2110 – 2155	FDD
5	824 – 849	869 – 894	FDD
6	830 – 840	875 – 885	FDD
7	2500 – 2570	2620 – 2690	FDD
8	880 – 915	925 – 960	FDD
9	1749,9 – 1784,9	1844,9 – 1879,9	FDD
10	1710 - 1770	2110 - 2170	FDD
11	1427,9 – 1452,9	1475,9 – 1500,9	FDD
12	698 – 716	728 – 746	FDD
13	777 – 787	746 – 756	FDD
14	788 – 798	758 – 768	FDD
17	704 – 716	734 – 746	FDD
33	1900 – 1920	1900 - 1920	TDD
34	2010 - 2025	2010 - 2025	TDD
35	1850 – 1910	1850 – 1910	TDD
36	1930 – 1990	1930 – 1990	TDD
37	1910 – 1930	1910 – 1930	TDD
38	2570 – 2620	2570 – 2620	TDD
39	1880 – 1920	1880 – 1920	TDD
40	2300 - 2400	2300 - 2400	TDD

Fonte: [5]

Nesse estudo, a banda utilizada é a 7, abrangendo a faixa de frequência de 2.500 MHz a 2.690 MHz, anteriormente destinada ao *Multichannel Multipoint Distribution Service* (MMDS). Para regulamentar a utilização do espectro, a Anatel publicou a Resolução n. 544/2010, que modifica a destinação de radiofrequências nas faixas de 2.170 MHz a 2.182 MHz e de 2.500 MHz a 2.690 MHz e republica, com alterações, o regulamento sobre condições de uso de radiofrequências nas faixas de 2.170 MHz a 2.182 MHz e de 2.500 MHz a 2.690 MHz [6].

A Tabela 4 mostra a ocupação das subfaixas na banda 7 [6].

Tab. 4 - Arranjo de subfaixas da banda de radiofrequência de 2.500 MHz a 2.690 MHz.

Subfaixas (MHz)	Blocos (MHz)	Transmissão (MHz)	
		UE	Estação Base
P	10+10	2500 – 2510	2620 – 2630
W	20+20	2510 – 2530	2630 – 2650
V1	10+10	2530 – 2540	2650 – 2660
V2	10+10	2540 – 2550	2660 – 2670
X	20+20	2550 – 2570	2670 - 2690
T	15		2570 – 2585
U	35		2585 – 2620

Fonte: [6]

2.6 ARQUITETURA DO LTE

Concomitantemente ao desenvolvimento do LTE, o grupo 3GPP desenvolveu o *Service Architecture Evolution* (SAE), tendo como objetivo a evolução dos sistemas da rede 3GPP, por meio de maior *throughput* na transmissão, menor latência da rede e comutação por pacotes de forma mais eficientes. Como resultado do projeto SAE, obteve-se a normatização de uma nova rede, o *Evolved Packet Core* (EPC), garantindo a interoperacionalidade entre redes 3GPP e não 3GPP. É válido ressaltar que ao LTE associam-se dois termos, o primeiro associado a uma evolução da tecnologia de acesso rádio UTRAN, designado de *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) e o segundo associado a uma evolução dos aspectos não rádio, chamado de *System Architecture Evolution* (SAE) [5].

O UE, em conjunto com a rede E-UTRAN e a rede EPC constitui o EPS. A alteração mais importante, em relação às tecnologias anteriores, é a simplificação da arquitetura. A rede LTE é baseada totalmente em redes IP, ao contrário do que ocorria com o GSM na comutação por circuitos.

A Figura 5 mostra a arquitetura do sistema EPS.

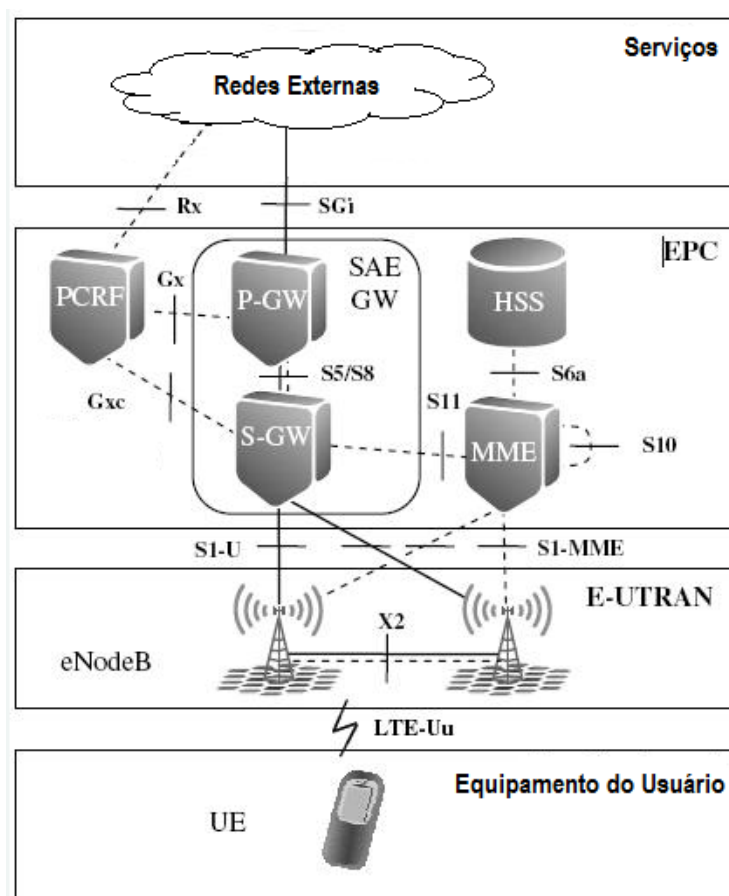


Fig. 5 - Arquitetura do sistema EPS para uma rede LTE [7].

Observa-se que o usuário se conecta à rede LTE, tendo acesso aos serviços ofertados pelas operadoras de telecomunicações, por meio do E-UTRAN e do EPC.

Na rede E-UTRAN não há mais a existência da *Base Transceiver Station* (BTS) e do *Base Station Controller* (BSC) presentes no GSM, assim como do *Node B* e do *Radio Network Controller* (RNC) presentes no UMTS [2].

Observa-se na Figura 5 que há um único componente de rede no E-UTRAN denominado *Evolved Node B* (eNodeB), tratando-se de uma estação base que controla todas as funções rádio do sistema. O eNodeB assumiu as funções realizadas anteriormente pelo RNC e pelo *Node B*, realizando, portanto, a gestão de todos os recursos de rádio (RRM), o controle da ligação de rádio (RLC) e o controle de recursos de rádio (RRC), diminuindo, dessa forma, os nós existentes na arquitetura de rede [5].

As principais funcionalidades do eNodeB são:

- Transmissão dos dados – A transmissão e a recepção de dados é feita através da interface rádio. Os usuários por meio da interface rádio, se

conectam à rede EPS, garantindo assim, o acesso aos seus serviços em qualquer lugar. O eNodeB é responsável pela modulação/demodulação dos sinais, bem como pela codificação/decodificação do canal rádio.

- Coordenação da interferência *Inter-cell* – Esta funcionalidade tem o objetivo de realizar a gestão dos recursos de rádio, de forma a controlar a interferência entre diferentes células. Para isso, é necessária a troca de informações entre os diferentes canais de rádio, associadas às diferentes células.
- Balanceamento da carga – Esta função tem o objetivo de fazer a gestão de tráfego garantindo o balanceamento da carga entre as diferentes células. Dessa forma, podem ser tomadas decisões que levam à decisão de *handover* de forma a redistribuir o tráfego, garantindo uma *Quality of Service* (QoS) aos usuários, assegurando a diminuição da probabilidade de queda de chamadas.
- Sincronização - Para garantir a sincronização da rede EPS, cada eNodeB possui um circuito lógico para possibilitar a recepção de sinais de forma independente ao método de sincronismo escolhido.
- Mobilidade – Esta função gera a mobilidade do terminal enquanto o mesmo permanece no estado ativo (*call*). Caso o terminal esteja no modo ocioso (*idle*), a gestão é efetuada pela rede *core*. É necessária a existência de medidas da qualidade do sinal de rádio, para a correta execução desta funcionalidade. Assim como, a existência de algoritmos de *handover* que determinem o momento em que deva ser executado, definindo dessa forma, a célula alvo.
- *Paging* – A função de *Paging* permite que um UE contate a E-UTRAN quando o terminal está no modo *idle* ou, quando no modo *connected*, ser endereçado de uma mensagem de aviso.

Por sua vez, a EPC é uma rede *core* baseada em IP, desenvolvida para suportar os requisitos dos serviços em tempo real com alta taxa de transmissão, assegurando melhor qualidade e desempenho aos usuários. O domínio *Circuit Switch* (CS) deixa de existir sendo todos os serviços, *real-time* ou não *real-time*, suportados pela rede de pacotes, definida no domínio *Packet Switch* (PS) [5].

A EPC é constituída por quatro elementos principais:

- *Mobility Management Entity (MME)*: É o equivalente ao *Mobile Switching Center (MSC)* e ao *Visitor Location Register (VLR)* na rede UMTS. O MME é responsável pela sinalização, controle e gestão da mobilidade, manipulando a distribuição da paginação das mensagens para o eNodeB. Estas funcionalidades facilitam a otimização das redes implementadas, permitindo a ampliação da capacidade das mesmas. O MME também faz a gestão do acesso do UE à rede, através da interação com o *Home Subscriber Server (HSS)*, de forma a autenticar os usuários e realizar a verificação dos perfis. Fornece ainda, a função do plano de controle para permitir a mobilidade contínua entre o LTE e as redes móveis 3G/2G. Pode-se afirmar que é o nó de controle responsável pelo processamento da informação entre o UE e a *Core Network (CN)*.
- *Serving-Gateway (S-GW)*: Atua como o ponto final entre a rede de acesso rádio (E-UTRAN) e a rede *Core*. Encaminha os pacotes de dados para o eNodeB, assim como para o P-GW. É responsável pelo controle dos dados do usuário, servindo também como apoio de mobilidade local para os *handovers* entre os eNodeBs, ou para a passagem entre redes 3GPP. Informa ainda, o tráfego da rede do usuário.
- *Packet Data Network Gateway (P-GW)*: É por meio do P-GW que o tráfego de dados do UE entra e sai do sistema. É responsável pela interface entre as redes LTE e as redes de pacotes de dados, tais como a *Internet* com origem nas redes fixas ou móveis, baseadas em *Session Initiation Protocol (SIP)* ou em *IP Multimedia Subsystem (IMS)*. O P-GW gerencia a atribuição de endereços IP, assim como a filtragem de pacotes para cada usuário. Oferece ainda, suporte à tarifação, além de servir como apoio para a mobilidade entre redes 3GPP e redes não 3GPP.
- *Policy and Charging Rules Function (PCRF)*: Permite ou rejeita solicitações de multimídia. Cria e faz a atualização do *Packet Data Protocol (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. Ou seja, é responsável pelas políticas de tomada de decisão, bem como pelo controle das funcionalidades.

2.6.1 Interfaces

As especificações de transmissão e recepção do LTE são documentadas em 3GPP TS 36.101 [5] para o UE e 3GPP TS 36.104 [8] para o eNodeB. No E-UTRAN, os eNodeBs são interligados entre si por meio da interface X2, para fins de comunicação rádio ou *handover*, conforme mostrado na Figura 06 [9].

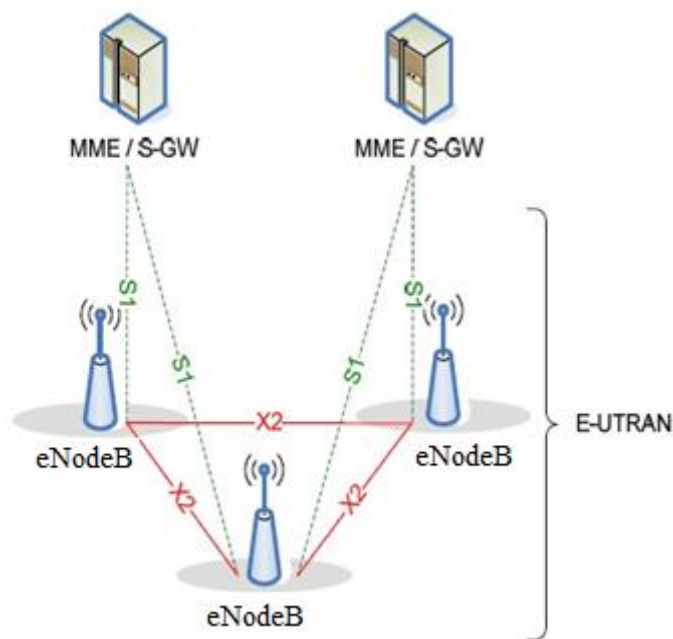


Fig. 6 - Arquitetura E-UTRAN de uma rede LTE [9].

Através da comunicação entre os eNodeBs, uma grande quantidade de fluxo de dados é eliminada, sendo desnecessária a utilização dos RNCs utilizados no UMTS. Como visto anteriormente, o SAE é uma evolução do *core* GPRS (*General Packet Radio Service*), destacando-se como principal diferença, o fato de ser totalmente baseada em IP e de suportar a mobilidade entre redes heterogêneas. O principal elemento da SAE é o EPC, que por sua vez é constituído pelo MME, PCRF, P-GW e S-GW. Dessa forma, o EPC está interligado aos eNodeBs, através de uma interface S1 ou de uma Rede de Acesso Rádio (RAN). As funcionalidades do RNC na rede UMTS são divididas entre o eNodeB e o S-GW, que também tem as funcionalidades do SGSN (*Serving GPRS Support Node*) da rede GSM [9].

Da mesma forma, como mostrado na Figura 6, a ligação entre os vários nós do sistema EPS abrangendo o UE, E-UTRAN e o EPC é realizada através de

interfaces, as quais podem ser verificadas na Figura 7.

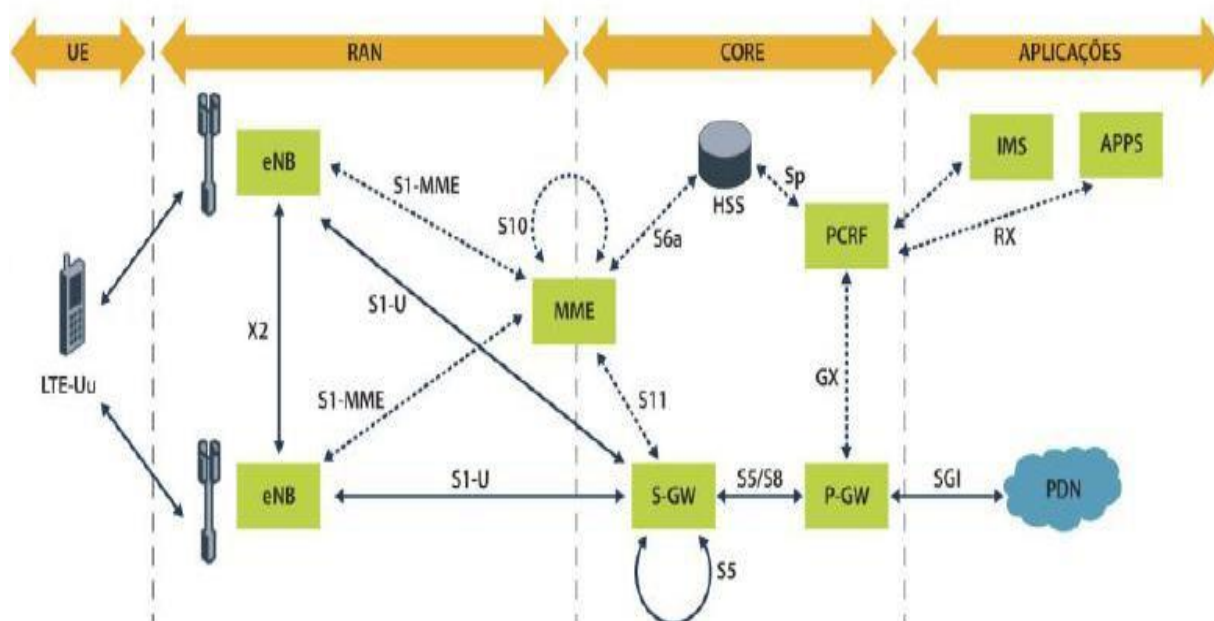


Fig. 7 - Interfaces utilizadas no LTE [5].

Na Figura 7, observa-se que a interface S1 interliga o eNodeB ao EPC, como já detalhado na Figura 6. As ligações no EPC são divididas em duas partes, sendo o plano de usuário e o plano de controle. No plano de usuário, a interface *S1 User Plane Interface* (S1-U), transporta os dados do eNodeB para o S-GW. A estrutura do protocolo usado nesta interface é semelhante à usada pelo UMTS e baseia-se no *Generic Tunneling Protocol* (GTP) / *User Datagram Protocol* (UDP) / IP [5].

No plano de controle a interface S1-MME (*S1 Control Plane Interface*) baseia-se no protocolo SCTP (*Stream Control Transmission Protocol*) sobre IP (SCTP/IP). O SCTP é usado por ser um protocolo com garantia de serviço muito similar ao TCP (*Transmission Control Protocol*) [2].

A interface X2 utiliza os mesmos protocolos que a interface S1, quer para o plano de usuário, quer para o plano de controle. A interface X2 pode ser estabelecida quando existe necessidade de troca de informações entre dois eNodeBs. A comunicação estabelecida por meio da interface X2 poderá ser interrompida através de grande fluxo de tráfego de informação de interferência ou de informação de *handover*. O procedimento para estabelecimento de uma inicialização da interface X2 começa com a identificação do eNodeB destino [5].

A Tabela 5 apresenta um resumo das principais interfaces utilizadas no LTE e representadas na Figura 7.

Tab. 5 - Interfaces do LTE e suas funções.

Plano de Controle	Função
S1-MME	Ponto de referência entre a E-UTRAN e o MME para troca de sinalização. O protocolo de sinalização entre o eNodeB e o MME é o S1AP.
Gx	É através dessa interface que o PCRF transfere as políticas de qualidade de serviço e de tarifação para o P-GW.
Rx	Interface entre o PCRF e a rede externa.
S6a	Interface entre o MME e o HSS que permite a transferência de dados de subscrição e de autenticação.
Plano de Usuário	Função
X2	Essa interface é definida entre os eNodeBs possibilitando a transferência de dados do usuário. É também através deste ponto de referência que é efetuada a gestão da carga das antenas bem como a coordenação dos <i>handovers</i> . Utiliza o protocolo X2AP para troca de sinalização entre os eNodeBs.
S1-U	Ponto de referência entre a E-UTRAN e o S-GW para o fluxo de dados do utilizador.
S11	Este é o ponto de referência entre o MME e o S-GW. É usado para troca de sinalização.
S5	Este ponto de referência permite a transferência de dados do utilizador entre o S-GW e o P-GW.
S-GI	Esta interface liga a rede EPS às redes externas de pacotes, permitindo o acesso à internet.
S10	Ponto de referência entre diferentes MMEs.

Fonte: [5], [8]

2.7 CAMADA FÍSICA LTE

O LTE transmite, com eficácia, dados e informações de controle entre a estação base E-UTRAN e o equipamento do usuário, por meio da camada física. A seguir são apresentadas as principais diferenças utilizadas no *downlink* e no *uplink*, empregadas na camada física do LTE.

2.7.1 Downlink

O LTE utiliza o *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) como

esquema de multiplexação no *downlink*. O OFDM é uma técnica de transmissão digital baseada no conceito de modulação com multiportadoras, o que permite atingir elevadas taxas de transmissão de dados [7].

O OFDMA foi a técnica de múltiplo acesso escolhida para o *downlink* do LTE, pois apresenta melhor desempenho em comparação ao WCDMA utilizada no UMTS [10].

O espectro do WCDMA foi dimensionado para portadoras com largura de banda de 5 MHz, entretanto o LTE foi projetado para suportar larguras de banda de até 20 MHz. Apesar do WCDMA apresentar um bom desempenho a 5 MHz, o aumento da largura da banda neste sistema, provoca um aumento da complexidade do receptor e dos componentes de multipercurso. Assim sendo, o OFDMA apresenta vantagens, pois mantém a ortogonalidade das subportadoras [10].

O OFDM, por meio da ortogonalidade entre as subportadoras, permite a divisão de uma única transmissão em múltiplos sinais e envia-os em diferentes frequências, como mostrado na Figura 8.

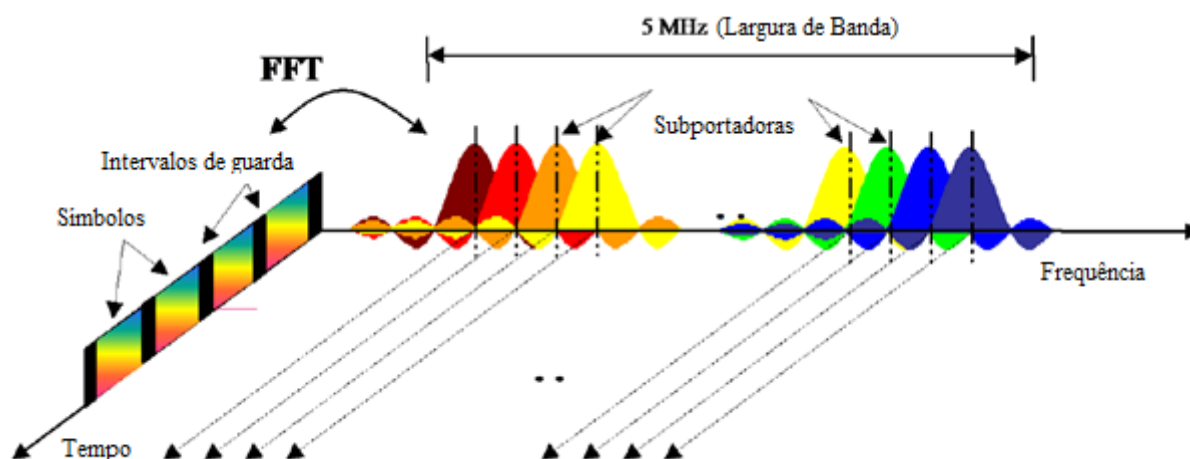


Fig. 8 - Representação do sinal OFDM na frequência e no tempo [11].

No OFDM é introduzido um tempo de guarda a cada símbolo de modo a compensar o atraso da propagação do canal, diminuindo a interferência entre símbolos ou Interferência Inter-Simbólica (*Inter Symbolic Interference*) [10].

Com o OFDMA, as subportadoras ficam mais próximas entre si, passando a ocupar menos largura de banda para transmitir a mesma quantidade de informação, aumentando a eficiência espectral do sistema. Esta técnica gera grande quantidade de subportadoras no espectro, desta forma o sistema pode ficar robusto contra interferências de banda estreita com a anulação de transmissão nessas

portadoras [11].

O uso do OFDMA permite efetuar o escalonamento no domínio da frequência, que não é possível de realizar-se no CDMA, uma vez que os sinais estão distribuídos ao longo de toda a largura de banda. O escalonamento no domínio da frequência consiste em alocar recursos para cada utilizador, respeitando as condições de canal referente a cada um. Este fato possibilita aumentar a capacidade oferecida na célula, uma vez que os pacotes terão uma menor probabilidade de apresentarem erros, evitando assim a sua retransmissão [12].

Observa-se na Figura 9 que o OFDMA utiliza várias subportadoras, sendo que essas são espaçadas de 15 kHz entre si no LTE, evitando dessa forma, a sobreposição do espectro. Os símbolos OFDMA são espaçados entre si pelo *Cyclic Prefix* (CP), cuja função é a de reduzir a interferência inter-simbólica.

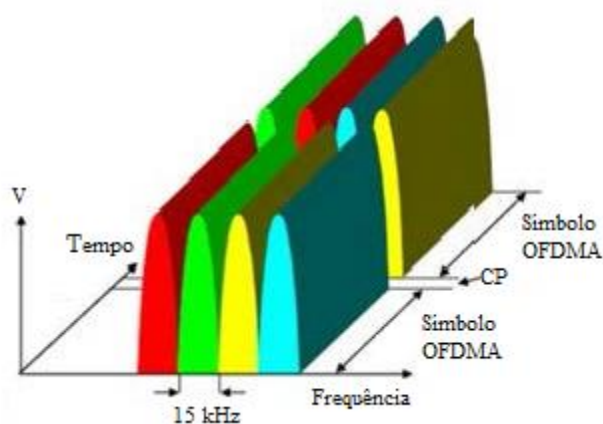


Fig. 9 - Estrutura OFDMA [11].

No LTE, além de o OFDM dividir a banda de frequência da portadora em subportadoras, também ocorre a modulação de cada uma individualmente, por meio das modulações QPSK, 16QAM ou 64 QAM. A principal diferença entre o OFDM e o OFDMA é que no primeiro caso, a banda de frequência é destinada a um único usuário, enquanto que, no segundo caso, vários usuários compartilham a banda ao mesmo tempo [13].

Outra característica importante do LTE é a capacidade de escalonamento das subportadoras por meio dos eNodeBs. Essa característica permite às estações a resolução de problemas de desvanecimento, buscando melhores níveis de qualidade de sinal.

Na Figura 10 observa-se a estrutura de um *frame* OFDM, onde cada

subframe consiste em 2 (dois) *slots* com duração de 0,5 ms, totalizando 20 *slots*. Dessa forma, um *frame* tem a duração de 10 ms, sendo estes divididos em 10 *subframes* de 1 ms cada, correspondendo ao valor de um TTI (*Transmission Time Interval*), que representa a periodicidade de transmissão [14].

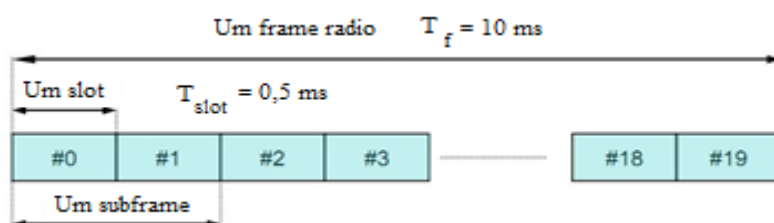


Fig. 10 - *Frame* OFDM [14].

A Figura 11 mostra que a junção de 10 (dez) *subframes*, forma um *frame*.

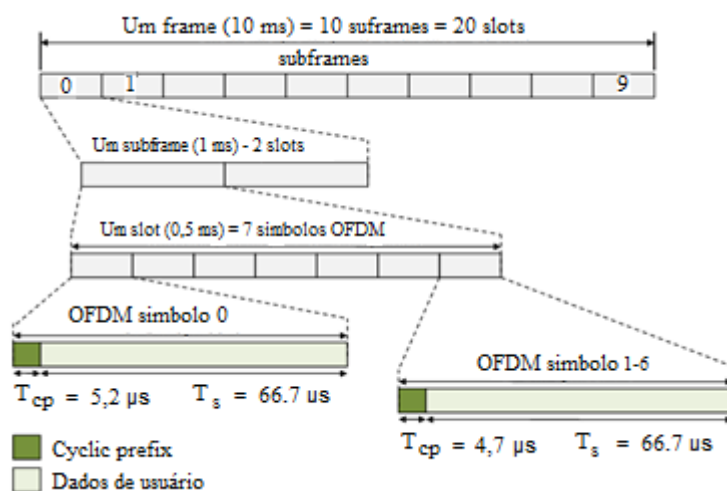


Fig. 11 - Estrutura OFDM para formação de um *frame* com CP curto [14].

Verifica-se que o espaçamento de 15 kHz das subportadoras implica uma duração do símbolo de $(T_s) = 1 / 15000 = 66,666 \mu\text{s}$. O 3GPP, para definir as diferentes durações da estrutura da camada física do LTE, escolheu a unidade de tempo base, definida como: $T = 1 / (15000 * 2048) = 32,55 \text{ ns}$. Assim sendo, cada símbolo tem duração de $2048 * T$ ou de $66,666 \mu\text{s}$. Para CPs longos, a duração do símbolo é de $512 * T$ ou $16,66 \mu\text{s}$. Para CPs curtos, o primeiro CP é de $160 * T$ ou $5,2 \mu\text{s}$ e os próximos são de $144 * T$ ou $4,687 \mu\text{s}$. Dessa forma, o tamanho das amostras por *slot* é de $15.360 * T$.

No LTE o mapeamento dos canais e dos sinais em cada *subframe* é representado por um *resource block* (RB), que por sua vez originam-se de *resource*

elements (RE), conforme mostra a Figura 12. O RE resulta da combinação de uma subportadora no domínio da frequência, com um símbolo OFDM no domínio do tempo. Observa-se que cada RB corresponde a um *slot* no domínio do tempo de 0,5 ms, contendo 12 subportadoras, com 15 kHz de largura de banda, ocupando um total de 180 kHz por RB [14].

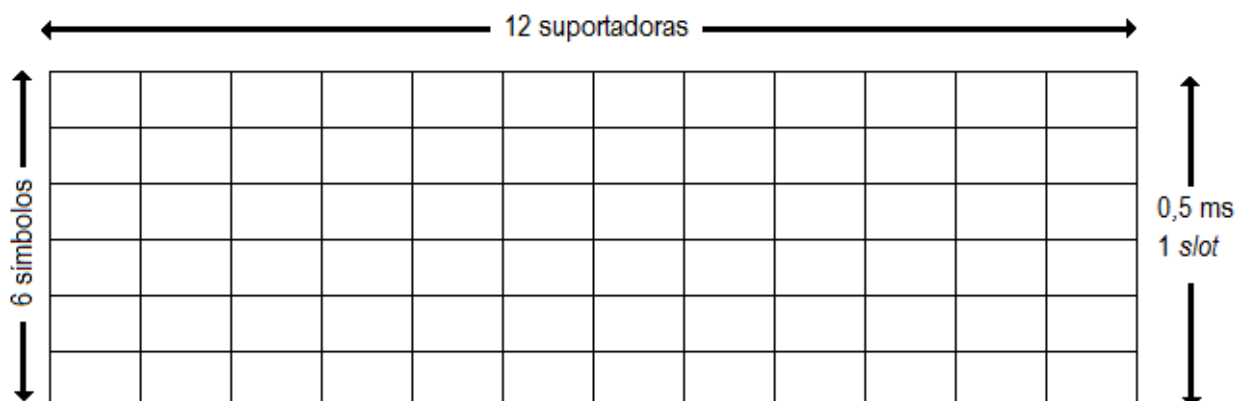


Fig. 12 - Estrutura do *resource block* no *downlink* com CP longo [autor].

Considerando o CP curto ou normal, ou seja, com 7 símbolos por *slot*, o RB tem 84 REs, sendo este indicado para *sites* urbanos. Entretanto se o CP for longo, o RB apresenta 72 REs, sendo este indicado para *sites* rurais. Como o LTE emprega modulação no *downlink*, sinais de referência para estimação de canal são necessários. Dessa forma, esse sinais são inseridos no *grid* tempo x frequência em cada primeiro ou quarto símbolos OFDM e com um espaçamento de 6 subportadoras. Como um RB possui 4 (quatro) sinais de referência, cada RB transportará $12 * 7 = 84 - 4 = 80$ símbolos OFDM úteis.

Supondo uma modulação 64QAM (6 bits/símbolo) ter-se-á $80 * 6 = 480$ bits/RB. Como cada RB tem uma duração de 0,5 ms, a taxa de transmissão possível em um RB, considerando os sinais de referência, será de 960 kbits/s.

Na Tabela 6 são apresentados os valores para diversos parâmetros utilizados na transmissão do LTE.

Tab. 6 - Parâmetros para cada largura de banda do canal.

Parâmetros	Valores					
Largura de Banda (MHz)	1,4	3	5	10	15	20
Número de RBs	6	15	25	50	75	100
Espaçamento da Subportadora (kHz)	15					
Número de Subportadoras Ocupadas	72	180	300	600	900	1200
Eficiência de Banda Larga (%)	77,1	90	90	90	90	90
Taxa de Amostragem (MHz)	1,92	3,84	7,68	15,36	23,04	30,72
Amostras por <i>slot</i>	960	1920	3840	7680	11520	15360

Fonte: [15]

2.7.2 Uplink

No *uplink* é utilizado o esquema de multiplexação *Single Carrier Frequency Division Multiplexing* (SC-FDM). Basicamente o SC-FDM pode ser compreendida como a modulação *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM), pois cada símbolo é transmitido de cada vez, semelhante ao método *Time Division Multiple Access* (TDMA) utilizado em sistemas GSM [7].

O *uplink* recorre ao acesso por *Single-Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) [5], assim como ocorre no OFDMA, entretanto a transmissão é feita baseada em uma única portadora. A transmissão recorre a um espalhamento por *Discrete Fourier Transform* (DFT) dos símbolos modulados, antes do mapeamento das subportadoras. A aplicação da DFTs, antes do mapeamento, permite fazer a distribuição de cada símbolo pelas diversas subportadoras. A separação entre os utilizadores é feita por meio do mapeamento de cada subportadora na *Inverse Fourier Transform* (IFFT). Dessa forma, o mapeamento ocorre em função dos comandos de alocação de largura de banda recebidos no *downlink*, podendo classificá-los em dois tipos: mapeamento localizado e mapeamento distribuído. No mapeamento localizado as saídas do bloco da DFT são mapeadas segundo um subconjunto de subportadoras consecutivas. Já no mapeamento distribuído, as saídas são mapeadas em subportadoras espalhadas [13].

A opção da utilização do SC-FDM no *uplink*, resulta das flutuações de

potência ocasionadas nas formas de onda do esquema OFDM, resultando em um elevado *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) [23]. Este fator poderá causar problemas, ao nível da conversão digital para analógico, destruindo a ortogonalidade entre as subportadoras, levando assim a uma utilização ineficiente da potência.

Buscando a redução do PAPR é que se transmite um único símbolo de cada vez. Esse parâmetro relaciona-se com a eficiência do amplificador de potência, que é máxima quando esse atua perto da saturação. Com um valor elevado, a potência máxima do amplificador deve ser reduzida, para evitar a distorção do sinal. Com valores baixos, o amplificador pode trabalhar mais perto da zona de saturação.

Essas características refletem-se em transmissores mais eficientes e com menores consumos, pois os transmissores, no equipamento móvel, permitem aumentar a autonomia da bateria do terminal [12].

Na Figura 13 pode-se comparar os esquemas de multiplexação OFDMA e SC-FDMA, onde é possível observar o exemplo do envio de uma sequência de símbolos modulados em QPSK.

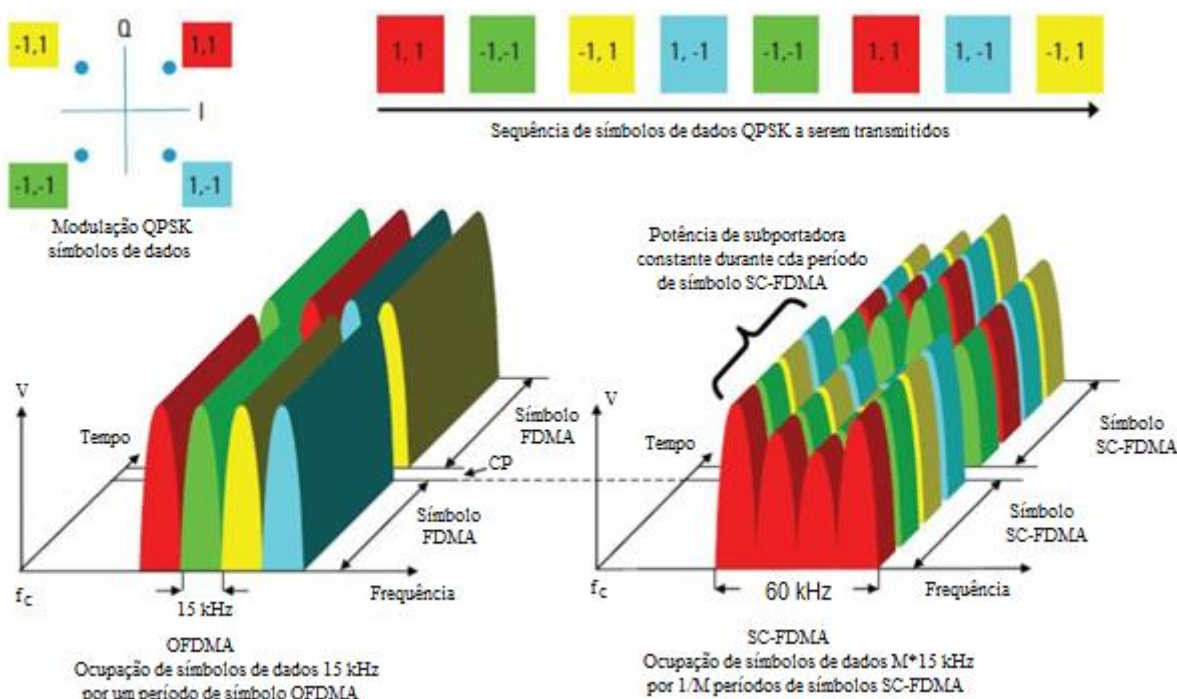


Fig. 13 - Comparação entre OFDMA e SC-FDMA [4].

O SC-FDMA transmite os símbolos em séries de $4M$ símbolos vezes a taxa, com cada símbolo ocupando $M \cdot 15$ kHz. No OFDMA os símbolos são transmitidos em paralelo, um por subportadora. O símbolo SC-FDMA contém M subsímbolos que

representam os dados modulados. Transmitindo M símbolos em M vezes a taxa, o SC-FDMA ocupa a mesma banda que o OFDMA, mas com um nível menor de ruído Gaussiano.

Do lado do receptor existe uma necessidade de combater a interferência do multipercurso, em função da curta duração do símbolo. Ainda assim, as principais diferenças entre as duas técnicas de acesso são a melhor eficiência de potência da tecnologia SC-FDMA e a menor complexidade fornecida pelo SC-FDMA ao UE.

2.8 CANAIS E SINALIZAÇÕES DO LTE

O E-UTRAN foi desenvolvido com o conceito de rede baseada totalmente em IP, sendo uma das principais consequências desta mudança a substituição dos elementos que utilizam a comutação por circuito por elementos baseados na comutação por pacote. No entanto, alguns canais compartilhados e canais de *broadcast* que já foram introduzidos pelo 3GPP nos *Releases* anteriores são reutilizados no LTE.

Esta tecnologia não faz uso dos canais dedicados, responsáveis pelo transporte dos dados de um usuário específico. Dessa forma, há a melhoria da eficiência na interface aérea, pois a rede pode controlar a utilização dos recursos em tempo real, de acordo com a demanda e não há mais necessidade de se definir em níveis fixos de recursos para cada usuário.

Os canais de rádio do LTE estão separados em canais físicos, canais de transporte e canais lógicos, sendo esses subdivididos em canais de controle e canais de tráfego. As informações a seguir utilizaram como base o disposto no 3G TS 25.211 [16].

2.8.1 Canais Físicos

Os canais físicos correspondem a um conjunto de elementos que transportam as informações provenientes das camadas mais altas, podendo ser classificados como canais de *downlink* ou *uplink*. Os canais físicos do *downlink* são apresentados a seguir.

- *Physical Broadcast Channel (PBCH)*: A cada 40 ms o canal PBCH envia informações sobre o sistema para que o UE possa se conectar à rede;
- *Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH)*: Informa ao UE o número de símbolos OFDM utilizados para transmitir o canal de controle PDCCH. Este canal é transmitido em todos os *frames* e utiliza modulação QPSK;
- *Physical Downlink Control Channel (PDCCH)*: Os UEs obtêm os recursos de alocação para o *uplink* e *downlink* através desse canal;
- *Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)*: É mapeado no canal de transporte DL-SCH e contém os dados dos usuários;
- *Physical Multicast Channel (PMCH)*: Carrega informações de *multicast* que são enviadas a múltiplos UEs simultaneamente. Assim como o PDSCH, esse canal possui várias opções de modulação incluindo QPSK, 16-QAM ou 64-QAM.

Os canais físicos do *uplink* são apresentados a seguir.

- *Physical Uplink Control Channel (PUCCH)*: Esse canal transporta informações de controle como o CQI, ACK/NACK em resposta as transmissões de *downlink* e agendamentos de pedidos de *uplink*;
- *Physical Uplink Shared Channel (PUSCH)*: É mapeado no canal de transporte UL-SCH e contém os dados dos usuários;
- *Physical Hybrid Indicator Channel (PHICH)*: Carrega as informações ACK/NACK em resposta às transmissões de *uplink*;
- *Physical Random Access Channel (PRACH)*: Esse canal é utilizado para funções de acesso aleatório.

2.8.2 Sinais Físicos

Os sinais físicos são utilizados somente pela camada física e não carregam nenhum tipo de informação das camadas mais altas. Os sinais físicos do *downlink* são apresentados a seguir.

- *Reference Signal (RS)*: Os UEs utilizam o RS para estimar o canal de *downlink*. O RS é o produto de uma sequência ortogonal e uma sequência pseudo-aleatória. A especificação do 3GPP identifica 504 possibilidades de sequência para este sinal.
- *Synchronization Signal (P-SS e S-SS)*: Os UEs utilizam o *Primary Synchronization Signal (P-SS)* e o *Secondary Synchronization Signal (S-SS)* para sincronizar os *frames* e requisitar informações como frequência e ID da célula.

Os sinais físicos do *uplink* são:

- *Demodulation Reference Signal*;
- *Sounding Reference Signal*.

2.8.3 Canais de Transporte

Os órgãos reguladores do LTE têm se esforçado para simplificar o mapeamento dos canais de transportes e dos canais lógicos. Os canais de transporte se distinguem pelas características com o qual os dados são transmitidos através da interface rádio. A camada MAC é responsável por mapear os canais de transporte nos canais lógicos e selecionar o formato de transporte mais adequado. Assim como os canais físicos os canais de transporte podem ser classificados como canais de *downlink* ou *uplink* conforme apresentados a seguir:

- *Broadcast Channel (BCH)*: É caracterizado pelo formato pré-definido de transporte. Esse canal carrega as informações de *broadcast* em uma área definida pela cobertura de uma célula.
- *Downlink Shared Channel (DL-SCH)*: Provê suporte para o HARQ e para o link adaptativo dinâmico, esse parâmetro possibilita a variação da modulação, da codificação e da potência transmitida. Pode ser utilizado como canal de *broadcast* no interior da célula.

- *Paging Channel (PCH)*: Provê suporte para a recepção descontínua, permitindo economia no consumo de energia da bateria do UE. Pode ser utilizado tanto como um canal de tráfego quanto para controle.
- *Multicast Channel (MCH)*: Utilizado para enviar informações *multicast* para os UEs, sendo que tais mensagens podem ser enviadas simultaneamente para vários dispositivos.

Os canais de transporte do *uplink* são apresentados a seguir:

- *Uplink Shared Channel (UL-SCH)*: Provê suporte para o HARQ e para o link adaptativo dinâmico, esse parâmetro possibilita a variação da modulação, da codificação e da potência transmitida.
- *Random Access Channel (RACH)*: Canal utilizado para efetuar o acesso ao sistema. Apenas permite o envio de uma identificação provisória e a razão do acesso.

2.8.4 Canais Lógicos

Esses canais são responsáveis pelas funcionalidades requeridas pelas camadas de níveis superiores para entrega de aplicativos e serviços. Na camada 3 o protocolo NAS é utilizado para interligar os canais lógicos. Eles são mapeados dentro dos canais de transporte na camada 2, através do elemento RRC. O gerenciamento dos dados do usuário é feito pelo PDCP na camada 2, o controle e as conexões da camada física são efetuadas pelos elementos RLC, MAC e PHY na camada 1.

Na pilha de protocolos do LTE os canais de transporte são encapsulados pelos canais lógicos, sendo esses, especificados em termos dos serviços aos quais eles suportam. Cada canal lógico é definido pelo tipo de informação transferida, sendo divididos normalmente, em 2 grupos, os canais de controle, utilizados para transferência de informações no plano de controle, e os canais de tráfego, utilizados para transferência de informações no plano do usuário.

2.8.4.1 Canais de Controle

Os canais de controle são apresentados a seguir:

- *Broadcast Control Channel (BCCH)*: Canal utilizado no *downlink* para fazer o *broadcast* das informações de controle do sistema.
- *Paging Control Channel (PCCH)*: Canal de *downlink* responsável pela transferência das informações de *paging*. É utilizado pelo sistema para que a rede possa localizar em qual célula está o UE.
- *Common Control Channel (CCCH)*: Este canal é utilizado para obter informações de acesso aleatório.
- *Multicast Control Channel (MCCH)*: Canal de *downlink* ponto-a-ponto utilizado para transmitir informações de controle da rede para o UE.
- *Dedicated Control Channel (DCCH)*: Canal bidirecional ponto-a-ponto que transmite informações de controle dedicadas entre o UE e a rede.

2.8.4.2 Canais de Tráfego

Os canais de tráfego são apresentados a seguir:

- *Dedicated Traffic Channel (DTCH)*: É um canal ponto-a-ponto dedicado para um UE. É utilizado para transferir as informações do usuário tanto no *downlink* quanto no *uplink*.
- *Multicast Traffic Channel (MTCH)*: É um canal de *downlink* ponto-a-ponto responsável pela transmissão do tráfego de dados da rede para o UE. Esse canal é utilizado somente por dispositivos que suportam o MBMS.

2.9 COBERTURA E CAPACIDADE

A taxa de dados de pico alcançada pelo usuário final depende de vários parâmetros, como por exemplo, o tipo de modulação, a configuração das antenas, a quantidade de usuários na célula, o tipo de CP, a largura de banda e o número de RBs.

A Tabela 7 apresenta os valores das taxas de transmissão de dados de pico

atingidos para o *downlink*, em função da largura de banda, do número de subportadoras ocupadas e da modulação utilizada. É válido ressaltar que esses valores são atingidos apenas em condições de rádio propagação ideais [9].

Tab. 7 - Taxas de transmissão de dados de pico da camada física para o DL [Mbps].

Modulação e Codificação		Número de subportadoras ocupadas e Largura de Banda [MHz]					
		72/1,4	180/3	300/5	600/10	900/15	1200/20
QPSK ½	SISO	0,9	2,2	3,6	7,2	10,8	14,4
16-QAM ½		1,7	4,3	7,2	14,4	21,6	28,8
16-QAM ¾		2,6	6,5	10,8	21,6	32,4	43,2
64-QAM ¾		3,9	9,7	16,2	32,4	48,6	64,8
64-QAM		5,2	13,0	21,6	43,2	64,8	86,4
64-QAM ¾	2x2	7,8	19,4	32,4	64,8	97,2	129,6
64-QAM	MIMO	10,4	25,9	43,2	86,4	129,6	172,8
64-QAM	4x4 MIMO	16,6	47,7	80,3	160,6	240,9	321,2

Fonte: [10]

As modulações QPSK, 16-QAM e 64-QAM têm respectivamente 2, 4 e 6 bits por símbolo e o uso de antenas MIMO permite duplicar o valor da taxa de dados de pico obtida.

Na Tabela 8 são apresentadas as taxas de transmissão de dados de pico suportadas para o *uplink*. Observa-se que a taxa de transmissão de dados de pico é, em alguns casos, inferior no *uplink* do que no *downlink*, em função das limitações dos terminais.

Tab. 8 - Taxas de transmissão de dados de pico da camada física para o UL [Mbps].

Modulação e Codificação		Número de subportadoras ocupadas e Largura de Banda [MHz]					
		72/1.4	180/3	300/5	600/10	900/15	1200/20
QPSK ½	SISO	0,9	2,2	3,6	7,2	10,8	14,4
16-QAM ½		1,7	4,3	7,2	14,4	21,6	28,8
16-QAM ¾		2,6	6,5	10,8	21,6	32,4	43,2
16-QAM 4/4		3,5	8,6	14,4	28,8	43,2	57,6
64-QAM ¾		3,9	9,0	16,2	32,4	48,6	64,8
64-QAM 4/4		5,2	13,0	21,6	43,2	64,8	86,4

Fonte: [10]

Observa-se na Tabela 8, que no *uplink* não se utiliza a técnica MIMO, em função das especificações do 3GPP.

As Tabelas 9 e 10 mostram os valores das taxas de transmissão de dados de pico para o *downlink* e para o *uplink*, em função das larguras de banda, dos RBs e dos bits por símbolo das modulações, considerando a codificação utilizada.

Tab. 9 - Taxas de transmissão de dados de pico para o DL, em função da largura de banda e do RB.

Modulação/ Codificação	Configuração das Antenas	Bits/ Símbolo	Largura de banda [MHz] / RBs					
			1,4/6	3/15	5/25	10/50	15/75	20/100
QPSK ½	SISO	1	0,8	2,2	3,7	7,4	11,2	14,9
16 QAM ½	SISO	2	1,5	4,4	7,4	14,9	22,4	29,9
16 QAM ¾	SISO	3	2,3	6,6	11,1	22,3	33,6	44,8
64 QAM ¾	SISO	4,5	3,5	9,9	16,6	33,5	50,4	67,2
64 QAM 1	SISO	6	4,6	13,2	22,2	44,7	67,2	89,7
64 QAM ¾	2x2 MIMO	9	6,6	18,9	31,9	64,3	96,7	129,1
64 QAM 1	2x2 MIMO	12	8,8	25,3	42,5	85,7	128,9	172,1
64 QAM 1	4x4 MIMO	24	16,6	47,7	80,3	161,9	243,5	325,1

Fonte: [7]

Tab. 10 - Taxas de transmissão de dados de pico para o UL, em função da largura de banda e do RB.

Modulação/ Codificação	Configuração das Antenas	Bits/ Símbolo	Largura de banda [MHz] / RBs					
			1,4/6	3/15	5/25	10/50	15/75	20/100
QPSK ½	SISO	1	0,9	2,2	3,6	7,2	10,8	14,4
16 QAM ½	SISO	2	1,7	4,3	7,2	14,4	21,6	28,8
16 QAM ¾	SISO	3	2,6	6,5	10,8	21,6	32,4	43,2
64 QAM 1	SISO	4,5	3,5	8,6	14,4	28,8	43,2	57,6
64 QAM ¾	SISO	4,5	3,9	9	16,2	32,4	48,6	64,8
64 QAM 1	SISO	6	5,2	13	21,6	43,2	64,8	86,4

Fonte: [7]

Observa-se nas Tabelas 9 e 10 que, com o aumento da largura de banda do canal, o desempenho do sistema também aumenta, principalmente em função do aumento do espectro e da eficiência da banda larga.

No LTE também estão definidas 5 classes de UEs com diferentes capacidades. As taxas de transmissão de dados de pico variam entre 5 e 75 Mbps no UL e entre 10 e 300 Mbps no DL. Todos os UEs suportam largura de banda de 20 MHz, tanto para a transmissão como para a recepção. Para a maioria dos casos, onde as bandas de frequência estão abaixo de 1 GHz, a procura é maior para larguras de banda menores. Em função dessa característica, o suporte para larguras de banda até os 20 MHz não

é especificado. Entretanto, para as bandas de frequência acima de 1 GHz, as larguras de banda inferiores a 5 MHz, normalmente não são necessárias. Apenas o UE de categoria 5 utilizará a modulação 64 QAM no UL. Os demais utilizarão as modulações QPSK e 16 QAM. A diversidade e a utilização da técnica MIMO no receptor são especificadas para todas as categorias, exceto para a categoria 1, que não suporta MIMO. Na Tabela 11 são apresentadas as categorias dos UEs e as respectivas especificações.

Tab. 11 - Categoria do UE no LTE.

	Categoria do UE				
	1	2	3	4	5
Taxa de transmissão de dados máxima no DL [Mbps]	10	50	100	150	300
Taxa de transmissão de dados máxima no UL [Mbps]	5	25	50	50	75
Número mínimo de antenas de recepção	2	2	2	2	4
Número de fluxos MIMO suportados no DL	1	2	2	2	4
Modulação no DL	QPSK 16 QAM 64 QAM	QPSK 16 QAM 64 QAM	QPSK 16 QAM 64 QAM	QPSK 16 QAM 64 QAM	QPSK 16 QAM 64 QAM
Modulação no UL	QPSK 16 QAM	QPSK 16 QAM	QPSK 16 QAM	QPSK 16 QAM	QPSK 16 QAM 64 QAM

Fonte: [1], [17]

Observa-se que as taxas de transmissão de dados até 300 Mbps apenas são atingidas na categoria 5, recorrendo à utilização de 4 antenas de transmissão e de 4 antenas de recepção (MIMO 4x4), o que não é suportado pelas outras categorias.

As categorias e as classes dos terminais são necessárias para garantir que o eNodeB possa comunicar-se corretamente com o UE. Este, ao transmitir para a rede a informação da sua categoria, faz com que o eNodeB seja capaz de determinar qual será o desempenho do UE e, assim comunicar-se com ele, de acordo com as suas capacidades. O eNodeB só enviará para o UE as informações relacionadas à sua própria categoria.

2.10 MODULAÇÃO ADAPTATIVA E CODIFICAÇÃO

Nos sistemas de comunicações móveis, a qualidade do sinal recebido pelo terminal, depende da qualidade do canal da célula, do nível de interferência de outras células e do nível de ruído. Para otimizar a cobertura e a capacidade para uma dada potência de transmissão, o transmissor precisa comparar a informação de *throughput* de cada utilizador, conforme a variação do sinal recebido [12]. Esse procedimento normalmente refere-se como adaptação do canal, baseando-se na *Adaptive Modulation and Coding* (AMC). A AMC consiste na adaptação ao canal dos níveis de modulação e dos códigos de canal.

Os esquemas de modulação de baixa ordem, como, por exemplo, o QPSK (2 bits por símbolo), são mais robustos e toleram níveis de interferência mais altos, mas fornecem taxas de transmissão mais baixas. Com as modulações de ordem mais alta, como o 64-QAM, acontece exatamente o oposto, ou seja, o UE fica suscetível às interferências e ruídos, mas com taxas de transmissão mais elevadas. Esse último tipo de modulação só é utilizada quando o SINR é próximo de +40 dB. Relativamente aos códigos de canal para uma dada modulação, é escolhida uma determinada taxa de códigos, considerando as condições rádio. Se o SINR for baixo, é atribuída uma taxa de código baixa, mas, se for alto, é atribuída uma taxa também elevada [15].

No LTE, em transmissões de dados no DL, o eNodeB tipicamente seleciona a *Modulation and Coding Scheme* (MCS) dependendo do *feedback* que é transmitido pelo terminal no UL no *Channel Quality Indicator* (CQI). O *feedback* do CQI é uma indicação de qual poderá ser a taxa de dados suportada pelo canal, considerando-se o SINR e as características do terminal do utilizador. Na resposta ao *feedback* do CQI podem ser escolhidos os seguintes esquemas de modulação: QPSK, 16-QAM e 64-QAM, aos quais pode-se associar diferentes taxas de códigos.

Nas transmissões em UL, o processo de adaptação do canal é similar ao do DL, com a seleção do MCS, sob controle do eNodeB. Também no UL, existem esquemas de modulação que podem ser selecionados conforme as condições rádio: QSPK e 16-QAM. Um método simples, segundo o qual o terminal pode escolher um valor apropriado de CQI, considera os intervalos de *Block Error Rate* (BLER).

O terminal reportará os valores de CQI correspondentes ao MCS, garantindo que o $BLER \leq 10\%$, tendo por base as medidas de qualidade recebidas. Na Tabela 12 observam-se os esquemas de modulação e seus respectivos números de símbolos, além das taxas de códigos referentes aos valores de CQI, sendo os mesmos, padronizados pelo Grupo 3GPP LTE [18].

Tab. 12 - Combinação de esquemas de modulação, eficiência espectral, taxa de códigos e MCS em LTE.

CQI	Eficiência Espectral [bps/Hz]	Número de Símbolos/ Modulação	Taxa de Código Aproximada	MCS
1	0,152344	2 / QPSK	0,08	1
	0,193359		0,10	2
2	0,234375		0,12	3
	0,305664		0,15	4
3	0,376953		0,19	5
	0,489258		0,24	6
4	0,601563		0,30	7
	0,739258		0,37	8
5	0,876953		0,44	9
	1,026367		0,51	1
6	1,175781		0,59	1
	1,326172		0,33	1
7	1,476563		0,37	1
	1,695313		0,42	1
8	1,914063		4 / 16- QAM	0,48
	2,160156	0,54		1
9	2,406250	0,60		1
	2,568359	0,64		1
10	2,730469	0,46		1
	3,026367	0,50		2
11	3,322266	0,55	2	
	3,612305	0,60	2	
12	3,902344	6 / 64- QAM	0,65	2
	4,212891		0,70	2
13	4,523438		0,75	2
	4,819336		0,80	2
14	5,115234		0,85	2
	5,334961		0,89	2
15	5,554688	0,93	2	

Fonte: [8]

2.11 ANÁLISE DE DESEMPENHO

As taxas de transmissão de dados máximas são conseguidas em condições de rádio propagação excelentes. Por esse motivo, evita-se a interferência de outras células e do ruído. No LTE o *Downlink Shared Channel* (DL-SCH) é utilizado como um indicador de desempenho, sendo representado como uma função de interferência e de ruído [19].

Na prática, tanto a modulação adaptativa como a codificação dependem das informações de estado do canal. A adaptação do caminho no DL é primeiramente ponderada pelo *feedback* do CQI, sendo enviado pelos utilizadores que se encontram na célula. No UL o *Channel State Information* (CSI) é estimado, a partir dos sinais de referência transmitidos pelo utilizador. Além disso, o *Rank Indicator* (RI) e o *Pre-coding Matrix Indicator* (PMI) são essenciais para utilização das técnicas MIMO, os quais apenas devem ser considerados, quando o SINR está abaixo de 10 dB [19].

Em conjunto, os requerimentos relativos ao espaço vazio entre canais adjacentes, e a implementação de filtros práticos, reduzem a ocupação da largura de banda para 90%. Adicionalmente, o CP, o *pilot overhead* para a estimação do canal e as duas antenas para transmissão reduzem ainda mais a eficiência da largura de banda para 83% [20].

Apesar do *Link Budget* no DL em LTE ter várias semelhanças com o UMTS, no UL existem várias diferenças. Uma delas é a redução das interferências, devido à ortogonalidade dentro da célula e o ganho obtido, em função da possibilidade de utilização de MIMO. Dessa forma, o LTE, por si só, não fornece um aumento na cobertura ou no desempenho em baixos *throughputs*, quando comparados aos resultados do UMTS [20].

2.12 CONCLUSÃO

Nesse capítulo, foi apresentado, baseando-se na literatura usual, o histórico do LTE, bem como a sua respectiva arquitetura da rede, a partir do qual, os principais componentes constitutivos da mesma foram comparados com os elementos da rede UMTS. Verificou-se que, no LTE, em comparação ao UMTS, há uma redução e

simplificação dos componentes integrantes da arquitetura, ocasionando uma redução dos custos da rede. Viu-se que o 3GPP escolheu o OFDMA como interface aérea para o *downlink* (eNodeB para UE) e o SC-FDMA para o *uplink* (UE para eNodeB). Finalmente foi apresentada e discutida a interface rádio do LTE, além da capacidade e a cobertura da rede, sendo feitas as ponderações e apresentadas as limitações da mesma, destacando-se como principais, a redução das interferências em função da ortogonalidade dentro da célula e do ganho obtido, em função da utilização de técnicas MIMO e das formas de acesso múltiplo.

REFERÊNCIAS

- [1] ITU. International Telecommunication Union. The World in 2013: ICT facts and figures. Disponível em: <<http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2013-e.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2014.
- [2] 4G AMERICAS. White papers. Disponível em: <<http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=428>>. Acesso em: 14 mar. 2014
- [3] 3GPP. Third Generation Partnership Project. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>>. Acesso em: 10 mar. 2014.
- [4] Agilent Technologies. 3GPP Long Term Evolution: System Overview, Product Development and Test Challenges, Application Note. Junho, 2009. 9. Disponível em: <<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-8139EN.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2014.
- [5] 3GPP Technical Specification 36.101. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/DynaReport/36101.htm>>. Acesso em: 15 mar. 2014.
- [6] ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. Resolução nº 544. Brasília, DF, ago. 2010. Disponível em: <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/25-2010/41-resolucao-544>>. Acesso em: 10 mar. 2014
- [7] Holma, H. e Toskala, A., LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. 1. ed. John Wiley & Sons, Chichester, Inglaterra, 2009.
- [8] 3GPP Technical Specification 36.104. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/DynaReport/36104.htm>>. Acesso em: 15 mar. 2014.
- [9] 3GPP Technical Specification TS36.300. Evolved UTRA aspects; Overall description. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/DynaReport/36300.htm>>. Acesso em: 16 mar. 2014.
- [10] Holma, H. e Toskala, A., WCDMA for UMTS - HSPA Evolution and LTE. 4. ed. John Wiley & Sons, Chichester, Inglaterra, 2007.
- [11] 3GPP Technical Specification TS25.892. Feasibility study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN enhancement. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/DynaReport/25892.htm>>. Acesso em: 18 mar. 2014.
- [12] Sesia, S., Toufik, I., Baker, M. LTE, The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. John Wiley and Sons, 2009.
- [13] Elayoubi, S. E., Ben Haddada, O. Fourestie, B. Performance Evaluation of Frequency Planning Schemes in OFDMA - based Networks. Wireless Communications, v. 7, n. 5, 2008.

- [14] 3GPP Technical Specification 36.211. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation. França: 2009.
- [15] Korowajczuk, L. LTE, WIMAX, and WLAN network design, optimization, and performance analysis. John Wiley and Sons, 2011.
- [16] 3G TS 25.211, v3.2.0. Physical Channels and Mapping of Transport Channels onto Physical Channels (FDD). Disponível em:<<http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/25425-640.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2014.
- [17] 3GPP Technical Specification 36.306. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio access capabilities. Disponível em:<<http://www.3gpp.org/DynaReport/36306.htm>>. Acesso em: 21 mar. 2014.
- [18] Qualcomm Europe. Conveying MCS and TB size via PDCCH. Set., 2012. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/DynaReport/TDocExMtg--R1-52b--26911.htm>>. Acesso em: 25 mar. 2014
- [19] Mogensen P., Wei Na., Kovacs I.Z., Frederiksen F., Pokhariyal A., Pedersen K.I., Kolding T., Hugi K., Kuusela M. "LTE Capacity Compared to the Shannon Bound". IEEE 65th Vehicular Technology Conference, Abril, 2007. Disponível em:<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4212688&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D4212688>. Acesso em: 26 mar. 2014.
- [20] ETSI. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), LTE, User Equipment (UE), application layer data throughput performance (3GPP TR 37.901 version 11.6.1 Release 11). 2013. Disponível em:<http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/137900_137999/137901/11.06.01_60/tr_137901v110601p.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2014.

3 PARÂMETROS UTILIZADOS EM *DRIVE TESTS*

Nesse capítulo, são apresentados os principais parâmetros utilizados em *drive tests* que apresentam impactos no desempenho e na qualidade da cobertura celular LTE, sendo aqui identificados e caracterizados, de forma a constituir um modelo de referência e que subsidiem a criação de uma metodologia que será apresentada a *posteriori*.

3.1 PARÂMETROS DE DESEMPENHO E DE QUALIDADE

Os parâmetros utilizados na rede LTE que têm impacto no desempenho e na qualidade dos sinais são fortemente dependentes das condições de rádio propagação e da carga existente na rede.

O UE e o eNodeB realizam as medições das características rádio, na camada física, sendo as definições das medições especificadas em 3GPP TS 36.214 [1]. As medições são transmitidas às camadas superiores, sendo utilizadas para uma variedade de aplicações, incluindo *handover*, medições de tempo e apoio ao *Radio Resource Management* (RRM). Embora as medições da camada física sejam definidas em 3GPP TS 36.214, as condições de medição e os requisitos de precisão são fornecidos em subseções da especificação do RRM em 3GPP TS 36.133 [2].

Em redes celulares LTE, quando um UE se move de célula para célula e realiza a seleção das células, além do *handover*, é necessário medir a força e a qualidade do sinal das células vizinhas. Dessa forma, o UE mede dois parâmetros em sinal de referência: *Reference Signal Reference Power* (RSRP) e *Reference Signal Reference Quality* (RSRQ) [1], [2].

3.1.1 *Reference Signal Reference Power* (RSRP)

O *Reference Signal Reference Power* (RSRP) é usado para medir a cobertura LTE no DL, em dBm, sendo a medição mais básica da camada física, realizada pelo UE. Significa a potência média linear dos sinais de referência (RS) do *downlink*, em

toda a largura de banda do canal [1], [2].

O conhecimento do valor absoluto RSRP fornece informações essenciais sobre o nível de potência do sinal que chega efetivamente ao usuário móvel, a partir do qual a perda de caminho pode ser calculada e usada em algoritmos para determinar as configurações de energia ideais para o funcionamento da rede. O RSRP é usado nos estados *idle* (ocioso) e *call* (conectado).

Os valores de RSRP estão compreendidos entre -140 dBm e -44 dBm. É através do RSRP que é determinado qual é a melhor célula no DL da interface rádio, o que faz com que essa célula seja escolhida para a realização de *handover* em LTE.

Existe uma correlação entre o RSRP e a *Quality of Service* (QoS) no plano do usuário, a partir do qual os valores de RSRP podem ser classificados em 3 categorias. Se o RSRP for maior do que -75 dBm, o QoS é considerado excelente. Se os valores estiverem entre -95 dBm e -75 dBm, o QoS é considerado aceitável. Se o RSRP for inferior a -95 dBm, o QoS torna-se inaceitável, tendendo a um *throughput* próximo de zero [3].

O parâmetro RSRP trabalha em conjunto com o parâmetro *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), medido em dBm, sendo este uma métrica mais tradicional, utilizada para exibir a força do sinal no GSM, pois integra toda a energia RF dentro da banda passante do canal. Em outras palavras, no LTE, para a medição do RSSI na largura de banda, são consideradas todas as subportadoras ativas. Dessa forma, o RSSI mede a potência de RF de forma eficaz [3].

O RSSI é um parâmetro que fornece informações sobre a potência total recebida da banda larga (medida em todos os símbolos), incluindo todas as interferências e ruídos térmicos. O UE não fornece dados do RSSI ao eNodeB. Esse parâmetro pode ser calculado a partir do RSRP, sendo este dado enviado pelo UE ao eNodeB.

Já o RSRP é uma métrica específica do LTE, responsável pelo cálculo da média da potência RF, em todos os sinais de referência da banda passante. Portanto, para o RSRP, é calculada a média da potência em cada uma das subportadoras. O cálculo de RSRP é realizado como mostrado na Equação 1 [3].

$$\text{RSRP (dBm)} = \text{RSSI (dBm)} - 10 \cdot \log(12 \cdot N) \quad (\text{Eq. 1})$$

onde,

- N é o número de RBs em que o RSSI é medido, em função da largura de banda utilizada.

Como o RSSI varia de acordo com a largura de banda no *downlink*, mantendo-se constante todos os demais fatores, em uma largura de banda LTE de 10 MHz, o RSSI medirá cerca de 3 dB acima do que em uma banda de 5 MHz LTE. Entretanto, essa diferença, na prática, não se traduz em sinal com mais força (intensidade) para o usuário final. Quanto maior for a transferência de dados na rede, maior será o RSSI. A faixa de variação do RSSI varia de -35 dBm a -85 dBm, estando os melhores resultados próximos ao primeiro valor.

Já o RSRP executa uma função melhor, com relação à medição da potência do sinal em um determinado setor, desde que não haja ruídos e ou interferências de outros setores. Os melhores níveis de sinal RSRP normalmente são obtidos próximos dos *sites* celulares, com valores próximos a -75 dBm.

O parâmetro RSRP apresenta 2 (dois) tipos de precisão, a relativa e a absoluta. Na precisão absoluta os valores podem sofrer uma variação de ± 6 dB até ± 11 dB, dependendo do nível de ruído e das condições ambientais. É aplicável quando as células estão em diferentes frequências. Por outro lado, a precisão relativa é considerada uma operação mais precisa, para as quais os valores do RSRP variam de ± 2 dB até ± 3 dB.

Na precisão relativa, os valores máximo e mínimo medidos no RSRP chegam a -50 dBm e -121 dBm, respectivamente. Na precisão absoluta, os valores medidos são de -70 dBm e -121 dBm, respectivamente.

3.1.2 Reference Signal Reference Quality (RSRQ)

Tal como no RSRP o *Reference Signal Reference Quality* (RSRQ) é usado para determinar a melhor célula LTE em um determinado local geográfico, e também serve de critério para a escolha da célula para acesso aleatório, como para *handover*. O RSRQ é definido entre -19,5 dB e -3 dB [2].

O termo RSRQ fornece a indicação da qualidade do sinal de referência recebido, onde sua medição é importante, pois indica a existência de interferências de sinal na rede, sendo utilizado apenas durante os estados conectados.

Quando se comparam os resultados medidos no mesmo local geográfico, para o RSRQ e RSRP, é possível determinar se existem problemas de cobertura ou de interferência para aquele determinado local. Se um UE muda de posição, ou se as condições rádio alteram, e o RSRP se mantém estável ou fica melhor do que estava enquanto o RSRQ se degrada, significa que há interferência nesse local. Se por outro lado, tanto o RSRP como o RSRQ se degradam ao mesmo tempo, nesse caso, trata-se de falta de cobertura. Esta avaliação é muito importante para descobrir qual a causa de queda de chamadas, em função de problemas rádio.

A medição RSRQ fornece informações adicionais quando o RSRP não é suficiente para fornecer informações confiáveis. Nesse procedimento, as especificações técnicas do LTE são capazes de fornecer a flexibilidade de uso do RSRP ou do RSRQ, ou de ambos.

Como foi descrito para o RSRP, também o RSRQ pode ser definido em 3 intervalos, mas, em função da limitação das redes atuais, esses intervalos ainda precisam de monitoramento, para serem mais precisos. Pode-se afirmar que, se o RSRQ for superior a -9 dB, o UE terá uma boa qualidade. Se o intervalo estiver entre -12 dB e -9 dB, o UE começará a sentir uma degradação no QoS, mas ainda em condições aceitáveis. Entretanto, abaixo dos -13 dB, as taxas de transmissão de dados obtidas são muito baixas, podendo acarretar interferências nas ligações ou a mudança para outras redes, como é o caso do UMTS ou GSM [3].

3.1.3 *Signal to Interference and Noise Ratio (SINR)*

O *Signal to Interference and Noise Ratio (SINR)*, dado em dB, é uma forma de medir a qualidade das conexões LTE sem fio, onde a energia do sinal diminui com o aumento da distância, em função de parâmetros ambientais, como ruído de fundo, além de outras transmissões simultâneas.

Os parâmetros de status do canal, essenciais para os algoritmos de enlace adaptativo e *scheduling*, não são descritos explicitamente pelo SINR, sendo o SINR estimado pelos sinais de referência do OFDMA. Essa informação tem de ser previamente processada no UE. Ressalta-se que o que é de fato informado pelo UE são um conjunto de índices que apontam para o melhor conjunto e parâmetros do

transmissor, tal que seja obtido o melhor desempenho do enlace em termos de taxa de bits.

O SINR trabalha em conjunto com outro parâmetro denominado *Carrier to Interference and Noise Ratio* (CINR), sendo basicamente compreendido como a taxa sinal ruído, dada em dB, onde sua faixa de operação varia de -10 dB a +40 dB, estando o segundo valor próximo aos melhores resultados.

A definição do RSRQ pelo 3GPP mostra que há uma dependência do tráfego de dados na célula observada. Mas na prática, no entanto, na ausência de interferência entre símbolos, a qualidade do canal e a capacidade do receptor para decodificar os dados não dependem do tráfego de dados a partir da própria célula, mas do tráfego de dados a partir das células vizinhas, provocando a interferência.

O CINR fornece uma referência objetiva da qualidade do canal, onde o sinal é decodificado pelo *scanner*. Dessa forma, o *scanner* fornece um valor CINR mais confiável do que seria um valor dado pelo RSRQ, independente do tráfego na célula observada. Dessa forma, o valor CINR é um critério utilizado para se avaliar a qualidade do canal.

3.1.4 Técnicas de Múltiplas Antenas

As técnicas de múltiplas antenas são usadas para aumentarem a cobertura e a capacidade da camada física. Por meio da inclusão de mais antenas, torna-se possível melhorar o desempenho da rede, pois os sinais irradiados terão diferentes caminhos físicos.

Os termos usados para rotular os modos de acesso do canal de rádio propagação, referem-se às entradas e saídas do canal de rádio, ao invés dos transmissores e receptores dos dispositivos.

A Figura 14 mostra a representação das principais técnicas de acesso de múltiplas antenas que podem ser utilizadas no LTE, além do MIMO [4].

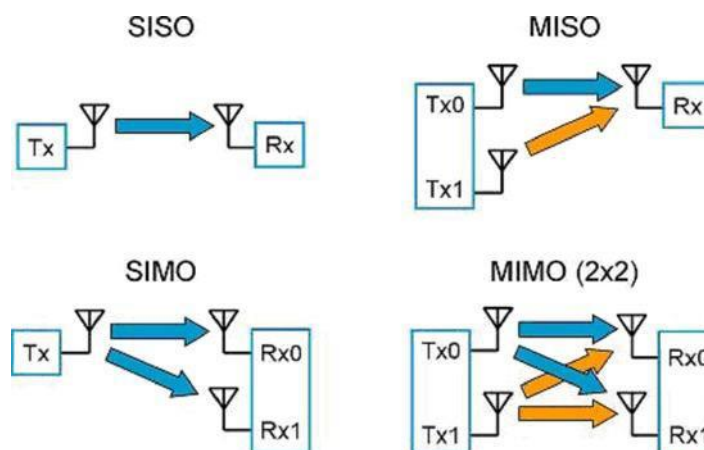


Fig. 14 - Sistemas de acesso de múltiplas antenas [4].

Observa-se que podem ocorrer variações para a utilização de múltiplas antenas, onde a sigla SI significa entrada simples ou única, a SO significa saída simples, a MI significa entradas múltiplas ou mais de uma entrada e a MO significa múltiplas saídas.

3.1.4.1 Single Input Single Output (SISO)

O modo de acesso ao canal de rádio mais básico possui uma única saída e uma única entrada (SISO), em que apenas uma antena transmissora e uma antena receptora são usadas. Tem sido a forma de comunicação padrão, desde o surgimento do rádio, sendo comparada com todas as demais técnicas de antena.

3.1.4.2 Single Input Multiple Output (SIMO)

Um segundo modo possui uma única entrada e múltiplas saídas (SIMO), utilizando um transmissor e dois ou mais receptores. Esse modo de acesso ao canal de rádio é bem adaptado às condições de baixa relação sinal ruído (SNR), a partir do qual o ganho teórico de 3 dB é possível, quando dois receptores são usados. Não há mudança na taxa de dados, desde que apenas um fluxo de dados seja transmitido, mas a cobertura da célula é melhorada, em função da redução da SNR.

3.1.4.3 Multiple Input Single Output (MISO)

A técnica com múltiplas entradas e única saída (MISO) utiliza dois ou mais transmissores e um receptor. É mais comumente referido como a diversidade de transmissão. Dessa forma, os dados são enviados codificados em ambas as antenas de transmissão, de tal modo que o receptor pode identificá-los. Diversidade nas transmissões aumenta a robustez do sinal contra desvanecimento, podendo aumentar o desempenho em condições de baixa SNR. A técnica MISO não aumenta as taxas de dados, mas ela suporta as mesmas taxas de dados utilizando menos potência.

3.1.4.4 Multiple Input Multiple Output (MIMO)

O sistema LTE foi desenhado de forma a fornecer elevadas taxas de transmissão. As redes móveis estão sujeitas a interferências e multipercurso, limitando as taxas de transmissão de dados.

A utilização das técnicas de *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) possibilita o aumento das taxas de transmissão, através da exploração das características de multipercurso dos canais móveis. Esse aumento é conseguido com a utilização de várias antenas para transmissão (Tx) e recepção (Rx) dos sinais, o que reforça a dimensão espacial resultante da utilização de múltiplas antenas distribuídas espacialmente. Quando os sinais são combinados corretamente no receptor, a qualidade do sinal e as taxas de transmissão para cada usuário MIMO são melhoradas [4].

O princípio básico da multiplexação espacial baseia-se em enviar sinais de duas ou mais antenas, com fluxos de dados diferentes e, por meio do processamento do sinal no receptor, separar esses fluxos de dados aumentando, assim, a taxa de transmissão de pico por um fator de 2 ou 4 para uma configuração MIMO 4x4. Na pré-codificação, os sinais transmitidos pelas diferentes antenas são ponderados de modo a maximizar a relação sinal ruído (SNR) recebido. A diversidade de transmissão depende do envio do sinal codificado, a partir de várias antenas, de forma a explorar os ganhos do desvanecimento entre as mesmas.

A natureza do OFDMA é bastante adequada para a operação MIMO, uma vez que requer um SNR razoavelmente elevado, dessa forma, um sistema OFDMA pode

beneficiar-se do alto SNR obtido [5].

O aumento da taxa de transmissão de dados de um sistema MIMO é linearmente proporcional ao número mínimo de antenas de transmissão e recepção. Ou seja, um sistema MIMO com 4 antenas de transmissão e 2 antenas de recepção oferece o dobro da taxa de transmissão, uma vez que existem duas camadas espaciais no canal móvel [6].

Nas técnicas MIMO, os símbolos de referência ativam o receptor para separar as diferentes antenas umas das outras. Para evitar que a transmissão de uma antena corrompa a estimação do canal necessária para separar os fluxos MIMO, são necessários recursos de símbolos de referência utilizados por cada uma das antenas de transmissão. Dessa forma, os símbolos de referência e os elementos de recursos vazios são mapeados para alternarem-se entre as antenas. Este princípio também pode ser estendido para cobrir mais de duas antenas, como especificado no *Release 8* do LTE, a partir do qual foi possível utilizar até 4 antenas. Conforme o número de antenas aumenta, o SNR necessário também aumenta, assim como a complexidade entre o transmissor, o receptor e a sobrecarga de símbolos de referência [6].

O *uplink* no LTE suporta a tecnologia MIMO, entretanto o UE utiliza apenas uma antena de transmissão, portanto a taxa de transmissão de dados não pode ser aumentada com técnicas MIMO. O nível máximo da taxa de transmissão da célula pode ser o dobro, mas somente com a atribuição de 2 UEs com sinais de referência ortogonais. Assim, a transmissão do eNodeB é tratada como uma transmissão MIMO [7].

Um fator importante para o desempenho MIMO é o número de *spatial layers* do canal móvel, o que determina a capacidade para melhorar a eficiência espectral. As camadas espaciais formam-se fora do ambiente de multipercurso e dispersão, entre os transmissores e os receptores. Outro fator é o número de antenas de transmissão e de recepção [7].

3.1.5 Modos de Transmissão no *Downlink* LTE em Múltiplas Antenas

O 3GPP especificou 7 modos de transmissão utilizados em múltiplas antenas, sendo os mesmos representados na Tabela 13.

Tab. 13 - Modos de transmissão em *downlink* no LTE.

Índice	Modo de Transmissão	Descrição
1	<i>Single-antenna port; port 0</i>	A transmissão é feita por uma antena e a recepção por uma (SISO) ou mais antenas (SIMO).
2	<i>Transmit Diversity</i>	A mesma informação é transmitida por múltiplas antenas e combinada na recepção, melhora a qualidade de ligação, mas não aumenta a capacidade.
3	<i>Open loop spatial multiplexing</i>	Informação distinta é enviada por duas ou mais antenas sem informação explícita das condições do canal, permite aumentar a capacidade.
4	<i>Closed loop spatial multiplexing</i>	Semelhante ao anterior, com a distinção do uso de uma matriz de pré-codificação sinalizada pelo UE, permitindo otimizar a transmissão e facilitando a decodificação dos fluxos de informação.
5	<i>Multi-user MIMO</i>	Semelhante ao modo anterior, nos quais os fluxos de informação são orientados para UEs distintos, existindo uma partilha de recursos em que todos têm a mesma taxa de transmissão, mas a capacidade da célula aumenta.
6	<i>Closed loop Rank 1 with precoding</i>	A mesma informação é transmitida em uma única camada espacial. Controla as relações de fase dos sinais elétricos irradiados para as antenas, para, assim, orientar fisicamente a energia transmitida.
7	<i>Single-antenna port; port 5</i>	A mesma informação é enviada em uma única camada espacial, um sinal de referência forma um ponto de antena adicional permitindo que a transmissão seja feita em mais de quatro antenas.

Fonte: [7]

O modo MIMO possibilita o uso da diversidade na transmissão, uma vez que existem várias antenas no sistema, sendo um conceito conhecido das tecnologias anteriores. Este modo de transmissão permite melhorar a qualidade de ligação em condições rádio adversas, em função do ganho obtido na recepção do mesmo sinal, proveniente de duas antenas no transmissor [8].

A tecnologia MIMO pode recorrer a uma pré-codificação, a qual conhecendo as condições do canal busca amenizar o efeito da interferência na transmissão e, assim, mapear os sinais de modo a maximizar a SNR na recepção. Esta estratégia melhora a qualidade do sinal para o usuário, no entanto quando estão envolvidos mais utilizadores, o desempenho não pode ser maximizado da mesma forma para todos [8].

Uma das principais características do MIMO é que o seu desempenho depende de vários fatores, como o estado do canal móvel, a qualidade do sinal, 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 [7].

Os Modos 3 e 4 têm um melhor desempenho quando os sinais têm um coeficiente de correlação baixo. Com o aumento da correlação do sinal, o desempenho destes modos diminui. A correlação do sinal está relacionada com o ambiente de dispersão junto do eNodeB ou do UE. Quanto maior for a dispersão do sinal, mais eficientes se tornam esses Modos. É esperado que esses Modos tenham o seu melhor desempenho em ambientes de alta dispersão, onde o sinal recebido tem uma propagação angular relativamente elevada, como ocorre em áreas urbanas densas [7].

A baixa correlação dos sinais é também dependente da instalação das antenas. Quanto maior for a distância entre as múltiplas antenas em cada transmissor e receptor, menor é a correlação. Esse fator implica algumas restrições no desenho dos terminais, uma vez que o espaço é muito limitado. Os modos 6 e 7 são alternativas eficientes em ambientes de elevada correlação, onde os sinais têm uma propagação angular baixa, como em ambientes rurais [8].

A Tabela 14 resume a matriz de decisão para selecionar os modos MIMO mais indicados para cada região.

Tab. 14 - Matriz de decisão para os principais modos MIMO no LTE.

Modo MIMO	Qualidade do Sinal (SINR)	Dispersão	Velocidade	Adaptação Dinâmica
Modo 2	Baixa	Baixa	Alta	---
Modo 3	Alta	Alta	Alta	Modo 2
Modo 4	Alta	Alta	Baixa	Modo 2 ou Modo 6
Modo 6	Baixa	Baixa	Baixa	Modo 2

Fonte: [7]

3.1.6 Channel Quality Indicator (CQI)

Um UE pode ser configurado para enviar informação sobre o *Channel Quality*

Indicator (CQI), de forma a auxiliar o eNodeB na seleção do *Modulation and Coding Scheme* (MCS) na transmissão no DL. Essa informação do valor do CQI é derivada da qualidade do sinal recebido, normalmente baseada nas medições do sinal de referência do DL. Compete ao UE informar qual é o melhor MCS utilizado na transmissão [9].

Assim, a informação recebida pelo eNodeB considera as características do receptor do UE e não apenas a qualidade dos canais rádio existentes. Desta forma, um UE que utilize algoritmos avançados de processamento de sinal pode informar que tem uma qualidade superior do canal e, dependendo das características de escalonamento do eNodeB, pode receber uma taxa de transmissão superior.

Na Figura 15 observa-se o mapeamento teórico da relação sinal ruído com o parâmetro CQI, sendo que os mesmos apresentam proporcionalidade [10].

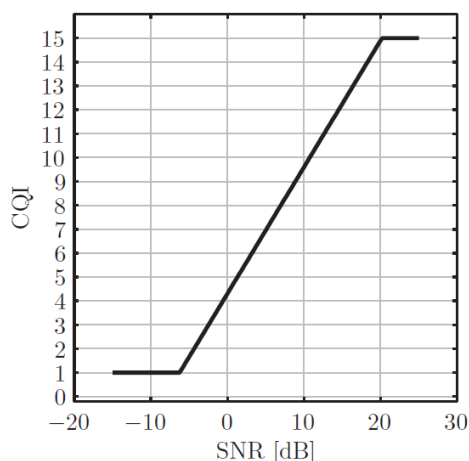


Fig. 15 - Modelo mapeado de SNR – CQI [10].

Como visto anteriormente, o UE é responsável por medir o RSRP e o RSRQ, sendo esses parâmetros utilizados para possibilitar a mobilidade. Com base no RSRQ o UE pode calcular o CQI de todos os RBs e reportá-los ao eNodeB, para que na sequência, o eNodeB possa decidir sobre a melhor codificação e modulação deverá ser utilizada na transmissão [4].

A faixa de operação do parâmetro CQI varia na escala de +1 a +15. O CQI é uma medida da qualidade da comunicação de canais sem fios, ou seja, indica a qualidade do canal no *downlink* do rádio móvel. Um valor elevado CQI é indicativo de um canal com alta qualidade de sinal e vice-versa. O parâmetro CQI é medido apenas no modo conectado, sendo dependente das condições de RF. Quanto melhor for o

valor do CQI, melhor será o *throughput* e vice-versa [4].

3.1.7 *Physical Cell ID (PCI)*

A procura de células é feita através dos sinais de sincronização, onde o terminal móvel procura pela sincronização primária que se encontra no centro da banda. Quando o sinal primário é detectado, o UE procura por um dos 168 sinais secundários possíveis e, uma vez encontrado, o *Physical Cell ID (PCI)* pode ser identificado dentre um dos 504 identificadores existentes.

A partir da determinação do PCI, o UE tem informação dos parâmetros usados em *downlink* e poderá decodificar o PBCH. Todo esse processo é independente da banda alocada no sistema, pois os sinais de sincronização encontram-se situados no centro da largura de banda do sistema.

O PCI é utilizado pelo UE para efetuar medidas nas células vizinhas, assim sendo, os PCI mapeados têm que ser diferentes, pois o UE não pode medir duas células que apresentem o mesmo identificador. No entanto, tal situação não deve acontecer, pois existem 504 PCIs definidos, permitindo um afastamento entre identificadores iguais.

O PCI é também usado para mapear os recursos dos sinais de referência (RS) de *downlink* e *uplink*. O sinal de referência em *downlink*, apesar de ser transmitido no mesmo símbolo OFDM, no domínio da frequência, é deslocado do PCI por três [11]. Ao existir esse desvio, os sinais de referência, das diferentes células do eNodeB, não se sobrepõem na frequência, o que resulta em menores interferências no canal. No entanto, poderá existir sobreposição com os REs de dados e de controle das células adjacentes.

O uso de deslocamento é aconselhado, pois evita que ocorram interferências entre os sinais de sincronização primários, o que provocaria problemas na procura de célula e nas medidas de canal.

3.1.8 *Throughput*

O *throughput* pode ser compreendido como uma medida da velocidade de

transferência de dados, através de um sistema de comunicação, ou a velocidade de processamento de dados em um sistema de computador. Para qualquer sistema, o *throughput* oferecido na camada física de uma estação eNodeB é calculado considerando o tempo do símbolo, a modulação utilizada na interface aérea e o número de subportadoras utilizadas, em função da banda. O *throughput* especificado no 3GPP TS 36.213 [7], é dado pela Equação 2, a seguir.

$$T_{hr} = \frac{sps.sp.RB.bs}{t_{RB}} \quad (\text{Eq. 2})$$

onde,

T_{hr} = *throughput*;

sps = número de símbolos por *slot*;

sp = total de subportadoras;

RB = número de *Resource Block*, em função do *cyclic prefix* (CP);

bs = número de *bits* por símbolo, considerando o tipo de modulação utilizada;

t_{RB} = tempo de duração de cada RB.

Considerando a banda de frequência de 20 MHz, tem-se 100 RBs, sendo que cada RB possui 12 subportadoras, 7 símbolos por *slot* e duração de 0,5 ms, tem-se 168 símbolos por ms para o CP normal. Dessa forma, há 16.800 símbolos por ms ou 16.800.000 símbolos por segundo. Se a modulação utilizada for a 64 QAM, com 6 bits por símbolo, então o *throughput* será de $16,8 * 6 = 100,8$ Mbps [7].

Para o sistema com MIMO 4x4, o *throughput* poderá ser até quatro vezes superior, ou seja, 403,2 Mbps. Como há em média 25% de sobrecarga existente na rede, sendo a mesma usada para o controle e a sinalização, os valores efetivos do *throughput* serão de 300 Mbps para a MIMO 4x4. Esse valor é válido para o DL e não para o UL. Para o UL, com a banda de 20 MHz, obtém-se no máximo 100,8 Mbps, como mostrado anteriormente e considerando os 25% de sobrecarga, chegam-se aos 75 Mbps [7].

3.2 CONCLUSÃO

Nesse capítulo foram apresentados os principais parâmetros que têm impacto

no desempenho e na qualidade da cobertura dos sinais LTE. Foi visto que uma das características importantes das técnicas MIMO é que o seu desempenho depende de alguns fatores entre eles a qualidade do sinal, sendo essa medida pelo SINR. Por esta razão, alguns modos MIMO serão mais eficientes que os outros dependendo desses fatores críticos. Quanto aos Modos de transmissão, ressalta-se que os melhores resultados dos modos 3 e 4 são atingidos, quando a qualidade do sinal recebido é máxima, ou seja, para valores SINR superiores a 20 dB. No limite da célula, um sinal mais fraco e uma relação sinal ruído maior reduz os benefícios destes modos, no entanto, torna os Modos 2 e 6 mais atrativos. O Modo 2 também é mais atrativo que os Modos 3 e 4 em ambientes onde a dispersão do sinal é baixa, como em zonas rurais. Com respeito às modulações de ordem mais alta (64 QAM), nesse caso o UE fica mais suscetível às interferências e ruídos, mas com taxas de transmissão de dados mais elevadas. Portanto, esse tipo de modulação só é utilizado quando o SINR é suficientemente alto. Como os parâmetros CINR e SINR são indicações de informações de sinal ruído, é desejado que esses parâmetros apresentem valores elevados, pois implica menos interferência e ruídos na rede. Considerando uma banda larga fixa, quanto maior for a relação sinal ruído, maiores serão as possibilidades da obtenção de valores elevados de *throughput*. E por último, que os PCIs são usados em redes LTE como um modo de os dispositivos móveis distinguirem-se entre as diferentes células.

REFERÊNCIAS

- [1] 3GPP Technical Specification 36.214. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/DynaReport/36214.htm>>. Acesso em: 11 mar. 2014.
- [2] 3GPP Technical Specification 36.133. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/DynaReport/36133.htm>>. Acesso em: 11 mar. 2014.
- [3] Kreher, R., Gaenger, K. LTE Signaling – Troubleshooting & Optimization. John Wiley and Sons, 2011.
- [4] Agilent Technologies. 3GPP Long Term Evolution: System Overview, Product Development and Test Challenges, Application Note. Junho, 2009. 9. Disponível em: <<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-8139EN.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2014.
- [5] Holma, H., Toskala, A. WCDMA for UMTS – HSPA Evolution and LTE. John Wiley & Sons, 4. ed. 2007.
- [6] Holma, H. and Toskala, A., LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. 1. ed. John Wiley & Sons, Chichester, Inglaterra, 2009.
- [7] 3GPP Technical Specification 36.213. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/DynaReport/36213.htm>>. Acesso em: 14 mar. 2014.
- [8] Telesystem Innovations. The Seven Modes of MIMO in LTE, White Paper, Telesystem Innovations (TSI), Toronto, Canada, 2009.
- [9] Wireless Technologies. R&S®TS8980 test system analyzes LTE quality indicators: CQI, PMI and RI. Disponível em: <http://cdn.rohde-schwarz.com/dl_downloads/dl_common_library/dl_news_from_rs/203/NEWS_203_english_TS8980.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2014.
- [10] Mehlführer, C., Wrulich, M., Ikuno, J., Bosanska, D., and Rupp, M. Simulating the Long Term Evolution Physical Layer. 17th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2009), Glasgow, Escócia, 2009. Disponível em: <http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_175708.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2014.
- [11] J. Salo, M. Nur-Alam, K. Chang. Practical Introduction to LTE Radio Planning. 2010.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesse capítulo, são apresentados os procedimentos utilizados para a análise da qualidade e do desempenho da cobertura celular LTE, sendo realizados a partir de um *drive test*, sendo o mesmo aplicado em uma rede comercial em região urbana densa na cidade de Curitiba, na faixa de frequência de 2.600 MHz, com largura de banda de 20 MHz. Também são apresentados os resultados após o tratamento e a interpretação dos dados obtidos nas medições em campo, assim como os resultados da planilha desenvolvida e utilizada para viabilizar a utilização de um software de simulação dos resultados a serem apresentados no Cap. 5.

4.1 INTRODUÇÃO

Esse estudo tomou como ponto de partida o início da implantação da rede 4G LTE em Curitiba, em dezembro de 2012, assim como as recomendações do 3GPP TS 37.320 [1].

A realização de um *drive test* é uma forma comum e eficiente para avaliações das redes de telecomunicações, compreendendo as etapas de coleta de dados e a análise dos mesmos. A coleta dos dados é realizada em campo, com o auxílio de equipamentos apropriados. A análise dos dados é realizada por meio de softwares específicos que fornecem diversos relatórios em forma de planilhas e gráficos, sobre os parâmetros que se desejam analisar.

Na sua grande maioria, empresas do setor de telecomunicações, Instituições de Ensino e Institutos de Pesquisa possuem infraestrutura adequada para a análise de tais parâmetros. Entretanto, quando não se possui essas condições devem-se buscar alternativas para a realização das análises.

A seguir são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados nesse trabalho para a realização das análises, considerando as limitações do Laboratório de Telecomunicações da Universidade Federal do Paraná.

4.2 COLETA DE DADOS

De acordo com a Anatel, a realização de um *drive test* por parte dos *players* de

telecomunicações, normalmente, é demandada pela própria Agência Reguladora, com parâmetros pré-definidos, de acordo com a necessidade no momento, e executados por empresas terceirizadas. Após a realização das medições em campo, os dados são processados e encaminhados à Agência para emissão de relatórios técnicos.

Baseando-se nesses fatores, procedeu-se ao encaminhamento de ofícios direcionados a uma operadora atuante em Curitiba/PR, conforme Anexos I e II, sendo que o segundo apresenta a solicitação, com seus respectivos critérios, para a realização de um *drive test*.

Solicitou-se que o mesmo deveria ocorrer em uma região (morfologia) urbana densa, no município de Curitiba/PR, contendo a seguinte relação mínima de equipamentos:

- um *modem* (aparelho celular com conexão ao LTE);
- um *notebook*;
- um *scanner*;
- um GPS;
- uma antena externa.

O *scanner* apresentaria as seguintes características:

- Ser conectado à antena externa;
- Ser configurado para varrer a banda de *downlink* LTE da operadora (2.630 MHz a 2.650 MHz);
- Verificar se a banda configurada no *scanner* media toda a faixa LTE (20 MHz);
- Alterar o tempo de amostragem do GPS a cada 500 ms;

As informações coletadas por meio do *scanner* deveriam conter:

1. Data e hora;
2. Latitude e Longitude (coordenadas em grau decimal);
3. Canais utilizados pela operadora;
4. Largura de Banda do canal;
5. PCI (*Physical Cell ID*);
6. RSRP (*Reference Signal Received Power*);

7. RSRQ (*Reference Signal Received Quality*);
8. RSSI (*Reference Signal Strength Indicator*);
9. CINR (*Carrier to Interference and Noise Ratio*).

O modem conectado à rede LTE coletaria as seguintes informações:

1. *Wideband CQI (Channel Quality Indicator)*;
2. *DL PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) Throughput*;
3. *UL PDSCH Throughput*;
4. *DL PDCP (Packet Data Convergence Protocol) Throughput*;
5. *UL PDCP Throughput*;
6. *DL MAC (Medium Access Control) Throughput*;
7. *UL MAC Throughput*.

O modem apresentaria as seguintes características:

- Início do *script*;
- Inicia no modo *idle*. Após 5 s entra automaticamente no modo ativo (*call*);
- Conexão de dados com 10 sessões em paralelo;
- Realizar um download de arquivo de 1 GB;
- Ao término do *download* termina a sessão;
- Realizar um *upload* de arquivo de 1 GB;
- Ao término do *upload*, termina a sessão;
- Retornar ao início do *script*.

No *drive test* constaria o comprimento do percurso percorrido e o tempo total de duração das medições. As medições ocorreriam em dia útil da semana, no período matutino, sendo que, ao término das mesmas, deveriam ser entregues à UFPR os arquivos com as extensões .txt e .xls contendo todos os dados registrados durante o *drive test*. Além dos itens anteriormente descritos, solicitaram-se as seguintes especificações descritas na Tabela 15.

Tab. 15 – Especificações solicitadas para o desenvolvimento da proposta.

Configuração Lógica da eNodeB	Configuração Física da Torre	Posição Geográfica	Configurações de Apontamento de RF
eNodeB Name	Site Owner	City	Morphology
LTE ID	Type of Structure		
Number of Sectors	New Antenna or replace antenna		Azimuth (°) (NV)
Band	Type of Antenna		Height (m)
	Antenna Model		
CN	Antenna Sharing	Address	Mechanical Down Tilt (MDT)
	Port Sharing		
Site ID	Type of Combiner		
eNodeB ID	RRU position for LTE		Electrical Down Tilt (EDT)
Cell ID			
Sector ID	Change RRU position of UMTS		
Cluster Name			

Fonte: [autor]

Dessa forma, as medidas de campo foram realizadas em uma rede comercial LTE, em tempo real, a qual se encontra em operação, em região urbana densa, em Curitiba, Paraná, Brasil.

Como se trata de rede comercial, considera-se a existência de carga na rede, uma vez que o cenário urbano denso inclui os efeitos das perdas de percurso e das interferências das células vizinhas. As medidas foram realizadas por meio de um veículo de passeio, com velocidade de até 60 km/h.

Apesar de ser solicitada a realização de um *drive test* próprio para a UFPR, em função das limitações de infraestrutura do Laboratório de Telecomunicações, a operadora autorizou somente o acompanhamento de um *drive test* real demandado pela Anatel e posterior encaminhamento dos dados sem o pós-processamento. O mesmo tinha como objetivo verificar a qualidade e o desempenho dos sinais de cobertura LTE, considerando o trajeto Arena da Baixada e o Aeroporto Internacional Afonso Pena. Dessa forma, o percurso iniciou no centro de Curitiba, em função da localização administrativa da Operadora, deslocando-se em direção ao aeroporto. O retorno ocorreu pelo contorno Leste de Curitiba, passando pelos bairros CIC e Campo Comprido. As informações referentes ao trajeto Arena da Baixada e Aeroporto não foram encaminhadas à UFPR, em função do sigilo das informações.

No total foram entregues à UFPR 8 (oito) arquivos texto com extensão .nmf, referentes às medições realizadas durante o *drive test*, totalizando 332,489 MB de

informações registradas. É válido ressaltar que as extensões .txt e .xls não foram disponibilizadas.

Dos dados repassados verificou-se que foram feitas medições em 203 (duzentas e três) estações. Neste trabalho, são utilizadas os dados de 7 (sete) eNodeBs, abrangendo uma área de aproximadamente 5 km², localizada no centro de Curitiba. Essas 7 (sete) estações representam o *cluster* de interesse, o que se traduz pelo agrupamento das células em estudo.

A Figura 16 mostra, com auxílio do *Google Earth* [2], a vista aérea da região escolhida para a realização desse estudo, sendo possível observar a Praça General Osório no centro da respectiva figura.

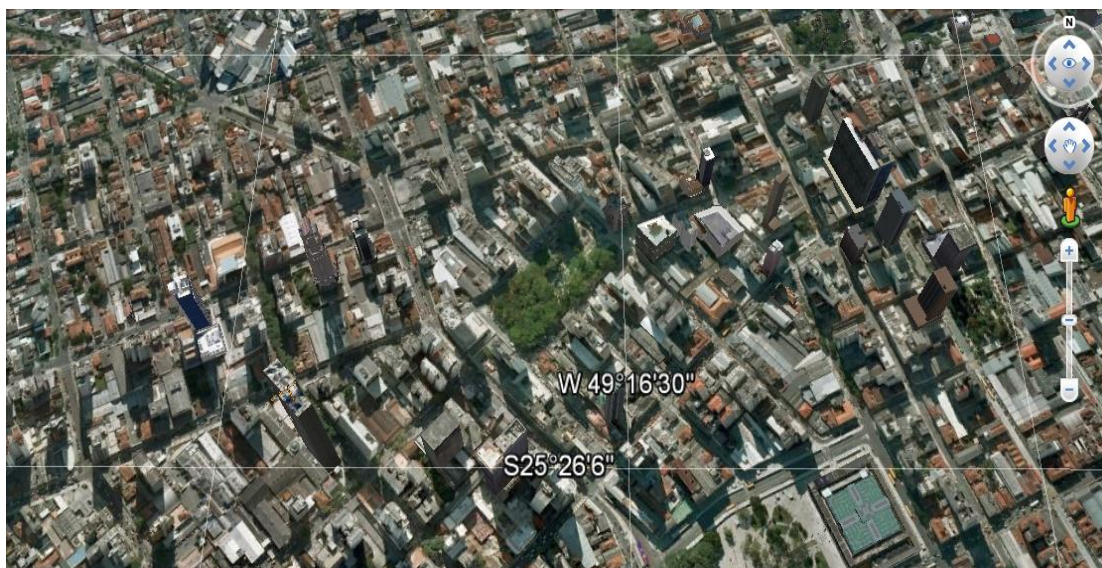


Fig. 16 – Vista aérea da região de realização do *drive test* [Autor].

A Figura 17 mostra, com auxílio do *Google Maps* [3], a mesma região com a identificação dos 7 (sete) pontos escolhidos.



Fig. 17 - Região de realização do *drive test* [Autor].

Dessa forma, os equipamentos utilizados no *drive test* apresentaram as seguintes especificações:

- *Modem* - Huawei modelo E392;
- *Notebook* - Dell Core I 7 Windows 7;
- *Software* - Nemo versão Outdoor 6;
- *Scanner* - Nemo Anite Modelo 412054-00 / FSR1 94182126;
- *Antena* - Belden RG 58 frequência 1.650 – 2.700 MHz.

O *scanner* foi conectado à antena externa, sendo configurado para varrer a banda de *downlink* LTE da operadora em Curitiba. Dessa forma, a varredura atendeu à faixa de 2.630 MHz a 2.650 MHz, com suporte a outras bandas de frequência, como por exemplo, 2.100 MHz. Houve a alteração do tempo de amostragem do GPS a cada 500 ms.

As informações coletadas por meio do *scanner* registraram a data e a hora das amostras (*time stamp*), as coordenadas em grau decimal da latitude e da longitude, os canais utilizados pela operadora, a largura de banda do canal, além dos seguintes parâmetros:

O *modem*, conectado à rede LTE, foi configurado para coletar os seguintes parâmetros:

- *Wideband Channel Quality Indicator (CQI)*;
- *Physical Downlink Shared Channel (DL PDSCH) Throughput*;
- *Physical Uplink Shared Channel (UL PDSCH) Throughput*;
- *Packet Downlink Data Convergence Protocol (DL PDCP) Throughput*;
- *Packet Uplink Data Convergence Protocol (UL PDCP) Throughput*;
- *Application Throughput*;
- *Medium Downlink Access Control (DL MAC) Throughput*;
- *Medium Uplink Access Control (UL MAC) Throughput*.

Além desses registros, o *modem* foi parametrizado com as seguintes especificações: o *script* teve início no modo *idle*, passando automaticamente para o modo ativo (*call*), após 5 s; realizou-se um *attach* em uma conexão de dados com 10 sessões em paralelo; ocorreu o *download* de um arquivo de 1 GB e a sessão foi encerrada no término do *download*; realizou-se o *upload* de um arquivo de 1 GB e encerrou-se a sessão no término do *upload*; o *script* foi reiniciado até a finalização do trajeto.

Os outros 4 (quatro) arquivos *.nmf* foram gerados a partir das medições realizadas pelo *modem*, conforme mostra a Figura 19, totalizando 39,426 MB de informações registradas.



```

Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
#PRODUCT,,,"NEMO OUTDOOR", "6.4.1"
#FF,,,"2.15"
#ID,,,"{A8DC4186-07D6-4e0b-AF2D-AC1B25094FE8}"
#AG,,,"0.00"
#BF,,,"BD_GSM_Claro.nbf"
#CL,,,"0.00"
#DL,,,"MS4"
#DN,,,"Qualcomm"
#DS,,,"3,1,5,7"
#DT,,,"1"
#SERVER,,,"1,"
#EI,,,"862300011119253"
#HV,,,"6.4.2.9"
#HW,,,"3.01 model 255", "Huawei Technologies Co., Ltd.", "E392"
#NN,,,""
#PC,,,"0"
#EVRC,,,"1"
#SI,,,"724054009280578"
#SP,,,""
#SW,,,"11.433.57.01.150 (SCAQWBZM Oct 17 2012 19:11:14)"
#TS,,,"dados lte down.nsf"
#UT,,,"-120,-120"
#VQ,,,"0,"
#LICENSE,,,"1", "1469608695", "28.02.2015", "28.2.2014"
#LICENSEREGION,,,"0,1,0,1"
#SERVERHW,,,"0", "", "", "", "", "Intel(R) Core(TM) i7-3632QM CPU @
2.20GHZ"
#START,11:18:01.414,,,"21.10.2013"
GPS,11:18:01.414,,,-49.299946,-25.535265,934,0,2,9,0
LOCK,11:18:01.426,,,"1,3,1,7"
GAA,11:18:01.426,1,1,7
GAC,11:18:01.426,1,1,7
SEI,11:18:01.499,,,"7,1,,724,5,,,,,"
CHI,11:18:01.499,,,"7,70007,2,100,2950,257,,,,,"
CELLMEAS,11:18:01.499,,,"7,0,2,7,0,70007,2950,257,

```

Fig. 19 - Formato dos dados registrados no *modem* [autor].

Entre as diversas informações é possível verificar o nome do software, o nome da operadora de telecomunicações, a data de realização das medições, o horário de início do *script*, as especificações do *notebook* e do *modem* utilizados, a banda de operação E-UTRA, os dados da longitude e da latitude em grau decimal, além do canal utilizado pela operadora no *downlink*.

Os testes realizados na rede LTE utilizaram serviços de FTP, de forma a recolher os parâmetros definidos na metodologia proposta. Alguns scripts tiveram duração superior a 180 s, sendo considerada longa. Dessa forma, é possível verificar se os *handovers* da rede estão funcionando perfeitamente, ou seja, se haverá queda da conexão.

Como observado nas Figuras 18 e 19, as informações não são apresentadas de forma clara nos arquivos *.nmf*, sendo necessário interpretá-las e filtrá-las. Em função dessa dificuldade, procedeu-se ao tratamento das mesmas, a fim de se obter

informações compreensíveis e que permitissem visualizações gráficas.

4.3 TRATAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Os dados foram processados utilizando recursos do *software Microsoft Excel 2010*.

Apesar de solicitado, não foram identificadas informações referentes ao comprimento do percurso executado e do tempo total de duração do *drive test*. O comprimento do percurso poderia ser obtido considerando as coordenadas de latitude e longitude dos arquivos .nmf e, da mesma forma, o tempo total. Entretanto, em função do não recebimento de todos os arquivos, esses resultados não são apresentados nesse trabalho. Da mesma forma, não foram localizadas informações referentes aos parâmetros RSRQ e RSSI.

Para a escolha das estações eNodeBs, procedeu-se à análise das coordenadas de latitude e longitude registradas no *drive test* e relacionadas às estações. Cada coordenada medida foi simulada no *Google Earth* [2] e visualizada no *Google Maps* [3], para indicação dos endereços correspondentes e comprovadas pelas informações disponibilizadas pela Anatel [4], [5]. Dessa forma, foram escolhidas as 7 (sete) estações, representando a região urbana densa no centro de Curitiba.

Para cada uma das 7 (sete) estações, realizou-se uma verificação *in loco* nas mesmas, juntamente com a operadora, para o levantamento de outras informações não registradas no *drive test*, como por exemplo, os modelos e as alturas das antenas, o *azimuth* e os valores de *tilt*.

A partir da interpretação e do tratamento dos dados obtidos no *drive test*, associados às informações verificadas *in loco*, chegou-se aos resultados apresentados nas Tabelas 16, 17, 18, 19 e 20.

A Tabela 16 refere-se aos dados da configuração lógica, onde são apresentados, respectivamente, os nomes dos eNodeBs, o *status* do eNodeB, a identificação do LTE, o ambiente em que se encontra o eNodeB, o número de setores, a identificação física da célula, o número de referência utilizada para a sinalização, a potência do símbolo de referência, a largura de banda e a banda de operação.

Tab. 16 - Dados da configuração lógica da ENodeB (parte 1).

eNodeB Name	STATUS	LTE ID	Environment	Number of Sectors	PCI	Min Root Sequence Index	RS pwr (dBr)	Bandwidth (MHz)	Band
EPRCCE18	ATIVO	EPRCCE18A	Outdoor	3	80	265	18,2	20	7
EPRCCE18	ATIVO	EPRCCE18B	Outdoor	3	78	260	18,2	20	7
EPRCCE18	ATIVO	EPRCCE18C	Outdoor	3	79	255	18,2	20	7
EPRCCE24	ATIVO	EPRCCE24A	Outdoor	3	57	355	18,2	20	7
EPRCCE24	ATIVO	EPRCCE24B	Outdoor	3	58	350	18,2	20	7
EPRCCE24	ATIVO	EPRCCE24C	Outdoor	3	59	345	18,2	20	7
EPRCCE25	ATIVO	EPRCCE25A	Outdoor	3	60	370	18,2	20	7
EPRCCE25	ATIVO	EPRCCE25B	Outdoor	3	62	365	18,2	20	7
EPRCCE25	ATIVO	EPRCCE25C	Outdoor	3	61	360	18,2	20	7
EPRCCE26	ATIVO	EPRCCE26A	Outdoor	3	83	385	18,2	20	7
EPRCCE26	ATIVO	EPRCCE26B	Outdoor	3	82	380	18,2	20	7
EPRCCE26	ATIVO	EPRCCE26C	Outdoor	3	81	375	18,2	20	7
EPRCCE47	ATIVO	EPRCCE47A	Outdoor	3	72	665	18,2	20	7
EPRCCE47	ATIVO	EPRCCE47B	Outdoor	3	73	660	18,2	20	7
EPRCCE47	ATIVO	EPRCCE47C	Outdoor	3	74	655	18,2	20	7
EPRCCE50	ATIVO	EPRCCE50A	Outdoor	3	53	710	18,2	20	7
EPRCCE50	ATIVO	EPRCCE50B	Outdoor	3	52	705	18,2	20	7
EPRCCE50	ATIVO	EPRCCE50C	Outdoor	3	51	700	18,2	20	7
EPRCCE51	ATIVO	EPRCCE51A	Outdoor	3	37	720	18,2	20	7
EPRCCE51	ATIVO	EPRCCE51B	Outdoor	3	38	715	18,2	20	7
EPRCCE51	ATIVO	EPRCCE51C	Outdoor	3	39	725	18,2	20	7

Fonte: [autor]

A Tabela 17 refere-se aos dados da configuração lógica, onde são apresentados, respectivamente, a rede *core*, a identificação do *site*, a identificação do eNodeB, a identificação das células, a identificação dos setores, o nome do *cluster*, a localização física do *cluster*, além da banda de frequência 3G para medições de predição ou *handover*.

Tab. 17 - Dados da configuração lógica da ENodeB (parte 2).

CN	Site ID	eNodeB ID	CELL ID	Sector ID	Cluster Name	Cluster_Area	3G-Band
41	0053	0410053	0	0	PR_CURITIBA_CENTRO	PR-Bigorrilho_Centro_Praca Japão	2100
41	0053	0410053	1	1	PR_CURITIBA_CENTRO	PR-Bigorrilho_Centro_Praca Japão	2100
41	0053	0410053	2	2	PR_CURITIBA_CENTRO	PR-Bigorrilho_Centro_Praca Japão	2100
41	0059	0410059	0	0	PR_CURITIBA_CENTRO	PR-Bigorrilho_Centro_Praca Japão	2100
41	0059	0410059	1	1	PR_CURITIBA_CENTRO	PR-Bigorrilho_Centro_Praca Japão	2100
41	0059	0410059	2	2	PR_CURITIBA_CENTRO	PR-Bigorrilho_Centro_Praca Japão	2100
41	0060	0410060	0	0	PR_CURITIBA_CENTRO	PR-Bigorrilho_Centro_Praca Japão	2100
41	0060	0410060	1	1	PR_CURITIBA_CENTRO	PR-Bigorrilho_Centro_Praca Japão	2100
41	0060	0410060	2	2	PR_CURITIBA_CENTRO	PR-Bigorrilho_Centro_Praca Japão	2100
41	0061	0410061	0	0	PR_CURITIBA_REBOUCAS	PR-Cajuru_Reboucas_Umbara	2100
41	0061	0410061	1	1	PR_CURITIBA_REBOUCAS	PR-Cajuru_Reboucas_Umbara	2100
41	0061	0410061	2	2	PR_CURITIBA_REBOUCAS	PR-Cajuru_Reboucas_Umbara	2100
41	0081	0410081	0	0	PR_CURITIBA_CENTRO		2100
41	0081	0410081	1	1	PR_CURITIBA_CENTRO		2100
41	0081	0410081	2	2	PR_CURITIBA_CENTRO		2100
41	0084	0410084	0	0	PR_CURITIBA_CENTRO	PR-Bigorrilho_Centro_Praca Japão	2100
41	0084	0410084	1	1	PR_CURITIBA_CENTRO	PR-Bigorrilho_Centro_Praca Japão	2100
41	0084	0410084	2	2	PR_CURITIBA_CENTRO	PR-Bigorrilho_Centro_Praca Japão	2100
41	0085	0410085	0	0	PR_CURITIBA_CENTRO	PR-Bigorrilho_Centro_Praca Japão	2100
41	0085	0410085	1	1	PR_CURITIBA_CENTRO	PR-Bigorrilho_Centro_Praca Japão	2100
41	0085	0410085	2	2	PR_CURITIBA_CENTRO	PR-Bigorrilho_Centro_Praca Japão	2100

Fonte: [autor]

A Tabela 18 refere-se aos dados da configuração física das torres, onde são apresentados, respectivamente, a informação de propriedade do *site*, o tipo de estrutura utilizada, a informação de que se trata de adição de antena ou de substituição/atualização, o tipo e modelo da antena utilizada, se há compartilhamento de antena e/ou de porta, qual a posição física do RRU (*remote radio unit*) e se houve alteração na posição do RRU em relação ao UMTS.

Tab. 19 - Dados da posição geográfica.

CITY	Address	BAIRRO	Latitude	Longitude
CURITIBA	R. Barão do Cerro Azul, 252	Centro	-25,42691667	-49,27052778
CURITIBA	R. Barão do Cerro Azul, 252	Centro	-25,42691667	-49,27052778
CURITIBA	R. Barão do Cerro Azul, 252	Centro	-25,42691667	-49,27052778
CURITIBA	Praça Osório, nº 379	Centro	-25,43289	-49,276611
CURITIBA	Praça Osório, nº 379	Centro	-25,43289	-49,276611
CURITIBA	Praça Osório, nº 379	Centro	-25,43289	-49,276611
CURITIBA	R. Emiliano Perneta, nº 10	Centro	-25,432742	-49,27316
CURITIBA	R. Emiliano Perneta, nº 10	Centro	-25,432742	-49,27316
CURITIBA	R. Emiliano Perneta, nº 10	Centro	-25,432742	-49,27316
CURITIBA	R. Barão do Rio Branco, nº 546	Centro	-25,43452778	-49,26702778
CURITIBA	R. Barão do Rio Branco, nº 546	Centro	-25,43452778	-49,26702778
CURITIBA	R. Barão do Rio Branco, nº 546	Centro	-25,43452778	-49,26702778
CURITIBA	Rua XV de Novembro, 387	Centro	-25,43033	-49,27033
CURITIBA	Rua XV de Novembro, 387	Centro	-25,43033	-49,27033
CURITIBA	Rua XV de Novembro, 387	Centro	-25,43033	-49,27033
CURITIBA	Rua Visconde do Rio Branco, 1710	Centro	-25,436012	-49,277374
CURITIBA	Rua Visconde do Rio Branco, 1710	Centro	-25,436012	-49,277374
CURITIBA	Rua Visconde do Rio Branco, 1710	Centro	-25,436012	-49,277374
CURITIBA	Rua Marechal Deodoro, 320	Centro	-25,431638	-49,269138
CURITIBA	Rua Marechal Deodoro, 320	Centro	-25,431638	-49,269138
CURITIBA	Rua Marechal Deodoro, 320	Centro	-25,431638	-49,269138

Fonte: [autor]

A Tabela 20 refere-se aos dados da configuração de apontamento de RF, onde são apresentados a morfologia da região, os valores do *azimuth*, a altura da antena, além dos *tilts* mecânico e elétrico.

Tab. 20 - Dados da configuração de apontamento de RF.

Morphology	Azimuth (°) (NV)	Height (m) of Antenna	Mechanical Down Tilt (MDT)	Electrical Down Tilt (EDT) 4G
DENSE URBAN	90	58	5	6
DENSE URBAN	210	58	5	9
DENSE URBAN	310	58	4	5
DENSE URBAN	70	47	4	8
DENSE URBAN	180	47	4	8
DENSE URBAN	300	47	2	8
HIGH DENSE URBAN	50	52	2	9
HIGH DENSE URBAN	200	58	2	8
HIGH DENSE URBAN	310	58	2	9
DENSE URBAN	120	45,6	2	6
DENSE URBAN	270	45,6	4	8
DENSE URBAN	350	45,6	5	8
HIGH DENSE URBAN	80	25	0	8
HIGH DENSE URBAN	230	25	0	8
HIGH DENSE URBAN	330	25	0	9
HIGH DENSE URBAN	40	49	3	4
HIGH DENSE URBAN	150	49	3	4
HIGH DENSE URBAN	260	49	3	4
HIGH DENSE URBAN	80	43,5	4	3
HIGH DENSE URBAN	200	43,5	3	6
HIGH DENSE URBAN	290	43,5	3	4

Fonte: [autor]

Na sequência é apresentada uma planilha eletrônica, desenvolvida no *software Microsoft Excel 2010*, com o propósito de sintetizar os cálculos teóricos e práticos empregados nesse trabalho e, assim obter-se os gráficos apresentados no Cap. 5.

4.4 PLANILHA ELETRÔNICA

Baseado nos trabalhos de H. Tertuliano Filho [6] e de G. D. Patriota [7], que descrevem uma metodologia completa de um projeto de enlace sob o ponto de vista de caracterização geométrica, a seguir contribui-se a estes trabalhos precedentes, o desenvolvimento de uma metodologia que contemple medições baseadas nas premissas do Grupo 3GPP *Release 8*.

A motivação para o desenvolvimento da planilha eletrônica surgiu da

necessidade de se otimizarem os cálculos necessários nesse estudo, de forma a auxiliar na interpretação e na simulação dos resultados. Para a implementação da mesma, escolheu-se, como referência, a estação EPRCCE25. A partir dessa escolha, e da etapa de interpretação das informações citadas no item anterior, passou-se ao processo de filtragem e alimentação das informações na planilha.

A Tabela 21 apresenta algumas leituras dos parâmetros de desempenho e de qualidade obtidos no *drive test*, após a interpretação e o tratamento das informações presentes nos arquivos .nmf.

Tab. 21 – Apresentação dos valores dos parâmetros de desempenho e qualidade, referentes ao eNodeB EPRCCE25.

Coordenadas (grau decimal)		Total de Amostras			
EPRCCE25		3.720			56.586
Latitude	Longitude	RSRP (dBm)	SINR (dB)	PCI	Thr (Mbps)
-25,4327	-49,2732	-80,2	22	62	20,1
-25,4327	-49,2732	-82,1	18	80	19,1
-25,4327	-49,2732	-70,9	19	60	19,3
-25,4327	-49,2732	-69,8	11	38	6,7
-25,4327	-49,2732	-69,1	12	37	6,9
-25,4327	-49,2732	-68,4	15	39	7,8
-25,4327	-49,2732	-71,8	17	38	8,4
-25,4327	-49,2732	-70,8	19	54	19,3
-25,4327	-49,2732	-72,8	8	62	5,9
-25,4327	-49,2732	-90,7	13	80	7,1
-25,4327	-49,2732	-85,6	13	57	7,1
-25,4327	-49,2732	-89,5	11	54	6,7
-25,4327	-49,2732	-92,8	16	39	8,1
-25,4327	-49,2732	-75,6	18	38	19,1
-25,4327	-49,2732	-76,8	9	61	6,1
-25,4327	-49,2732	-77,1	10	78	6,4
-25,4327	-49,2732	-76,8	25	57	22,3
-25,4327	-49,2732	-80,2	17	67	8,4
-25,4327	-49,2732	-68,6	13	39	7,1
-25,4327	-49,2732	-66,8	19	37	19,3
-25,4327	-49,2732	-70,5	12	60	6,9
-25,4327	-49,2732	-75,6	13	31	7,1
-25,4327	-49,2732	-78,5	10	62	6,4

Fonte: [autor]

Os valores das coordenadas obtidas nas medições em campo apresentaram resultados com até 8 (oito) casas decimais. Procedeu-se ao mapeamento de todos os

valores, relacionados aos pontos de interesse, e na sequência filtraram-se as coordenadas relacionadas à estação EPRCCE25, cujos valores foram arredondados para 4 (quatro) casas decimais.

Os valores de RSRP, SINR e PCI foram obtidos por meio das medições realizadas pelo *scanner*, totalizando 3.720 amostras registradas. Os valores do *throughput* e CQI foram obtidos pelo *modem*, totalizando 56.586 amostras. Dessa forma, a Tabela 21 apresenta apenas parte dessas medições, sendo os resultados, em forma gráfica, apresentados no Cap. 5.

Como os valores especificados para o RSRP variam de -140 dBm e -44 dBm, tendo o valor de -75 dBm como referência, aparentemente observa-se que os valores medidos no *drive test* apresentam excelentes resultados. Os valores especificados para o SINR variam de -10 dB e +40 dB, tendo como referência o valor de +30 dB. Dessa forma, nota-se que havia a presença de ruídos e/ou de interferências durante as medições, acarretando a redução do *throughput*.

Como visto anteriormente, para valores de CQI variando entre +1 e +6, a configuração do sistema LTE adota automaticamente a modulação QPSK, para valores entre +7 e +9 é adotada a modulação 16 QAM e para valores entre +10 e +15, utiliza-se a modulação 64 QAM. Dessa forma, para a estação em estudo, têm-se os resultados apresentados na Tabela 22, a partir da qual, tem-se 13,5% das amostras registradas pelo *modem* atuando na modulação QPSK, 32,6% em 16 QAM e 54% em 64 QAM.

Tab. 22 – Porcentagem do tipo de modulação.

	CQI		
	(1 e 6)	(7 e 9)	(10 e 15)
modulação	QPSK	16 QAM	64 QAM
amostras/ modulação	7.639	18.390	30.557
	13,5%	32,5%	54,0%

Fonte: [autor]

A Tabela 23 apresenta as informações referentes às tentativas de acesso aos serviços realizados e das falhas ocorridas durante o *drive test*, em cada setor do eNodeB em estudo.

Tab. 23 - Informações de *ping* e *throughput* no eNodeB EPRCCE25.

Teste <i>Ping</i>	Setor 1	Setor 2	Setor 3
Número de serviço de dados	45	47	47
Número de sucesso de acessos	45	47	47
Número de falhas de acesso	0	0	0
Latência média (ms)	180,38	39,96	39,96
Teste <i>throughput</i>	Setor 1	Setor 2	Setor 3
<i>Throughput</i> médio do <i>downlink</i> (Mbps)	4,56	8,01	9,07
<i>Throughput</i> pico do <i>downlink</i> (Mbps)	8,47	22,51	15,66
<i>Throughput</i> médio do <i>uplink</i> (Mbps)	4,48	7,08	5,13
<i>Throughput</i> pico do <i>uplink</i> (Mbps)	7,97	9,8	7,31

Fonte: [autor]

Observa-se que houve 100% de sucesso nas tentativas de conexão, entretanto a latência média nos setores ficou acima dos valores especificados nas premissas do grupo 3GPP. Já os valores de *throughput* médio e de pico apresentaram valores abaixo dos padronizados pelo grupo. A Tabela 24 apresenta os dados de *downlink* do *throughput* obtidos por meio do *modem*. Os valores foram separados em faixas de variação, para posterior representação gráfica.

Tab. 24 - Informações de *throughput*.

Taxa de <i>throughput</i>	Valor	
<i>Throughput</i> médio no <i>downlink</i> (Mbps)	7,21	
<i>Throughput</i> máximo no <i>downlink</i> (Mbps)	22,51	
Taxa de <i>throughput</i> no <i>downlink</i> (Mbps)	Amostras	%
80 ≤ Thr < 100	0	0
50 ≤ Thr < 80	0	0
30 ≤ Thr < 50	0	0
20 ≤ Thr < 30	122	0,22
10 ≤ Thr < 20	11.842	20,93
5 ≤ Thr < 10	29.378	51,92
1 ≤ Thr < 5	12.213	21,58
Thr < 1	3.031	5,36

Fonte: [autor]

A Tabela 25 mostra o resultado do cálculo do parâmetro RSSI, em função dos resultados do RSRP, conformes mostrados na Tabela 21.

Tab. 25 – Resultados do parâmetro RSSI.

Latitude	Longitude	RSRP (dBm)	RSSI (dBm)
-25,4327	-49,2732	-80,2	-49,4082
-25,4327	-49,2732	-82,1	-51,3082
-25,4327	-49,2732	-70,9	-40,1082
-25,4327	-49,2732	-69,8	-39,0082
-25,4327	-49,2732	-69,1	-38,3082
-25,4327	-49,2732	-68,4	-37,6082
-25,4327	-49,2732	-71,8	-41,0082
-25,4327	-49,2732	-70,8	-40,0082
-25,4327	-49,2732	-72,8	-42,0082
-25,4327	-49,2732	-90,7	-59,9082
-25,4327	-49,2732	-85,6	-54,8082
-25,4327	-49,2732	-89,5	-58,7082
-25,4327	-49,2732	-92,8	-62,0082
-25,4327	-49,2732	-75,6	-44,8082
-25,4327	-49,2732	-76,8	-46,0082
-25,4327	-49,2732	-77,1	-46,3082
-25,4327	-49,2732	-76,8	-46,0082
-25,4327	-49,2732	-80,2	-49,4082
-25,4327	-49,2732	-68,6	-37,8082
-25,4327	-49,2732	-66,8	-36,0082
-25,4327	-49,2732	-70,5	-39,7082
-25,4327	-49,2732	-75,6	-44,8082
-25,4327	-49,2732	-78,5	-47,7082

Fonte: [autor]

Como os valores especificados para o RSSI variam de -35 dBm e -85 dBm, tendo o valor de -50 dBm como referência, observa-se que os valores medidos no *drive test* apresentam excelentes resultados.

Para o cálculo do RSSI utilizou-se a Equação 1 mostrada no Cap. 3, uma vez

que o UE não fornece dados do RSSI ao eNodeB. Dessa forma, faz-se necessário seu cálculo a partir do RSRP, pois este é reportado ao eNodeB pelo UE.

É válido ressaltar que o RSSI depende da largura de banda do canal. Como a banda medida no *drive test*, e utilizada nesse estudo, é de 20 MHz, o cálculo do RSSI mostrado na Tabela 25 considerou somente esse valor.

Realizando a variação da largura de banda e considerando o valor de RSRP fixo e igual a -80,2 Mbps obtém-se os valores apresentados na Tabela 26.

Tab. 26 - Valores de RSSI considerando a variação da largura de banda.

Largura de Banda (MHz)	1,4	3	5	10	15	20
Número de RBs (N)	6	15	25	50	75	100
RSSI (dBm)	-61,6267	-57,6473	-55,4288	-52,4185	-50,6576	-49,4082

Fonte: [autor]

Observa-se que para a largura de banda de 10 MHz, o valor de RSSI calculado é aproximadamente 3 dB acima do valor calculado para a banda de 5 MHz.

A Tabela 27 mostra os valores teóricos de pico calculados para o *throughput*, considerando os valores padronizados pelo 3GPP *Release 8*.

Tab. 27 – Resultados teóricos de pico calculados para o *throughput*.

Parâmetros		Valores					
Largura de Banda (MHz)		1,4	3	5	10	15	20
Número de RBs (N)		6	15	25	50	75	100
Subportadoras (sp)		12					
Subportadoras Ocupadas (sp*RB)		72	180	300	600	900	1200
Amostras por slot		960	1920	3840	7680	11520	15360
Espaçamento da Subportadora (kHz)		15					
símbolos/slot (CP curto)		7					
símbolos/slot (CP longo)		6					
tempo RB/slot (ms)		0,5					
bits/modulação	QPSK	2					
	16 QAM	4					
	64 QAM	6					
Throughput (Mbps) QPSK		2,016	5,04	8,4	16,8	25,2	33,6
Throughput (Mbps) 16 QAM		4,032	10,08	16,8	33,6	50,4	67,2
Throughput (Mbps) 64 QAM		6,048	15,12	25,2	50,4	75,6	100,8

Fonte: [autor]

Observa-se que os valores do *throughput* aumentam em função do tipo da modulação utilizada, assim como da largura de banda. E como o tipo de modulação depende do valor do CQI, é correto afirmar que o *throughput* depende da largura de banda do canal e do CQI. O máximo *throughput* atingido com 20 MHz de banda é de 100,8 Mbps, portanto taxas de dados maiores que esse valor não serão atingidas, em função do limite que existe no canal de transmissão, onde a máxima taxa de dados é atingida com 6 bits por símbolo (64 QAM).

Após o processamento dessas informações é possível implementar e analisar

os mapas de cobertura celular, a partir dos parâmetros de desempenho e de qualidade celular LTE. Para tal, utilizar-se-á o *software MapInfo Professional* apresentado a seguir.

4.5 SOFTWARE DE SIMULAÇÃO

O *MapInfo Professional* é uma ferramenta de mapeamento eletrônico por computador de ampla utilização que permite a execução de análises geográficas complexas, como redistribuição de territórios, acesso a dados remotos, incorporação de objetos de mapa em aplicativos e criação de mapas temáticos que enfatizam os padrões dos dados. Na área de telecomunicações, o *MapInfo Professional* é um programa de processamento de informações georeferenciadas, a partir do qual é possível gerar informações para *drive tests*, para avaliar redes celulares com sites e células, analisar indicadores de desempenho do sistema e gerar mapas de cobertura [6].

As operadoras de telecomunicações disponibilizam publicamente seus mapas de cobertura celular, a fim de que os usuários possam verificar a abrangência e a qualidade do sinal em uma determinada região, conforme mostrado no Anexo III [9], [10], [11], [12], [13].

A Figura 20 apresenta a tela de abertura do *software* e o carregamento das planilhas, para geração dos gráficos.

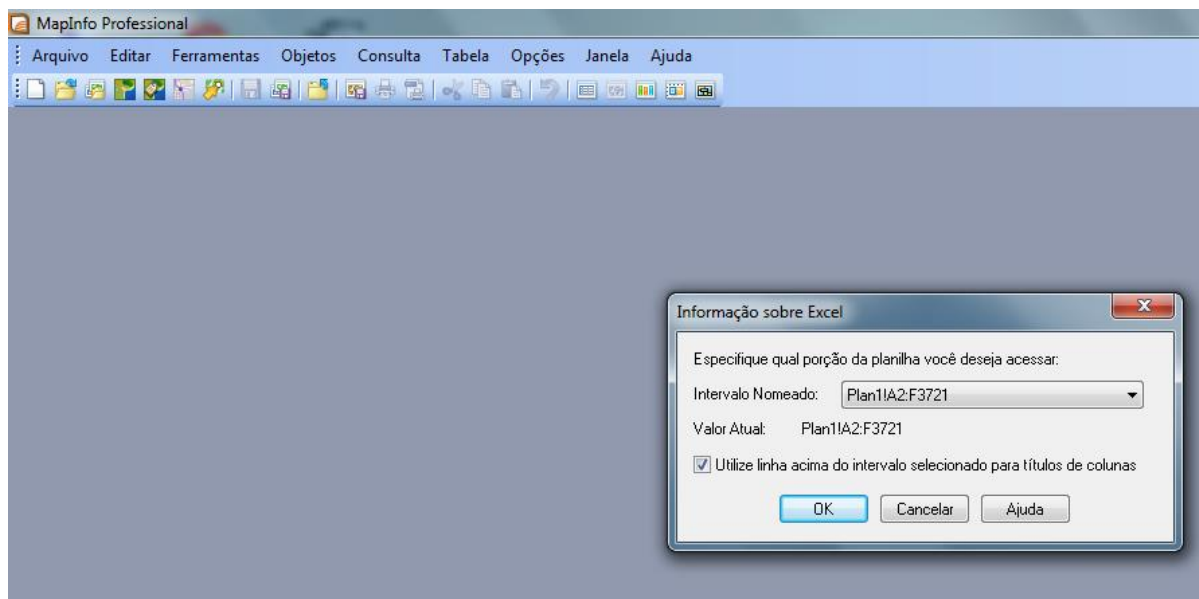


Fig. 20 – Carregamento de planilhas eletrônicas no *Software MapInfo Profissional* [autor]

A Figura 21 apresenta a tela de configuração das propriedades dos parâmetros de desempenho e de qualidade.

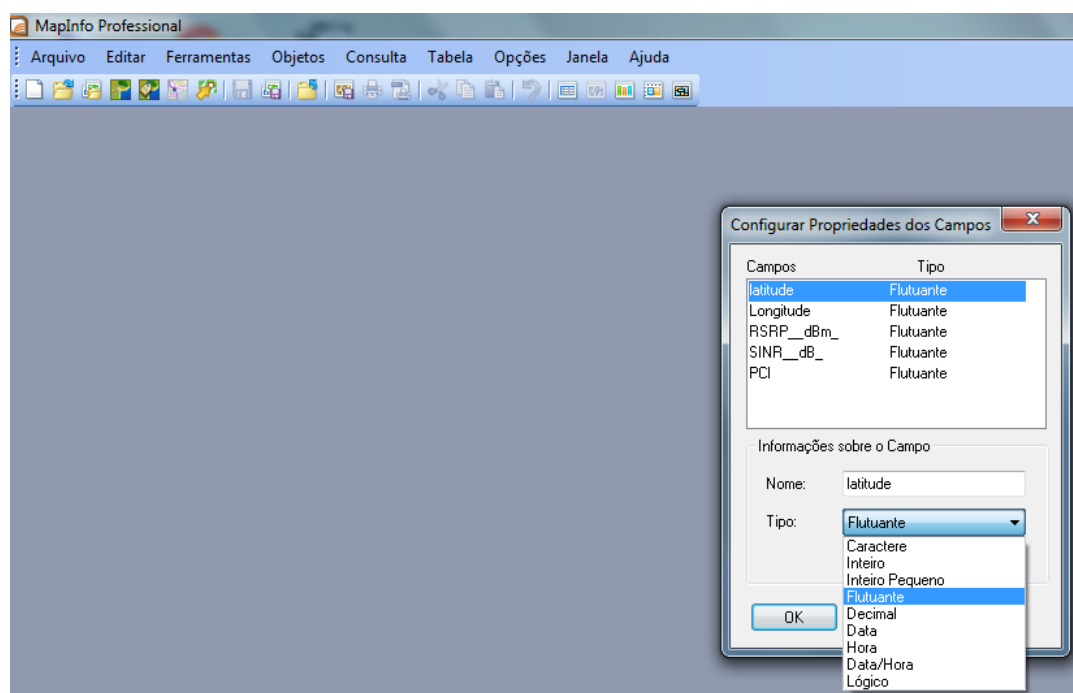


Fig. 21 – Configuração das propriedades dos parâmetros [autor]

A Figura 22 apresenta os dados carregados no *software*.

latitude	Longitude	RSRP_dBm	SINR_dB	PCI
-25,4327	-49,2732	-80,2	22	62
-25,4327	-49,2732	-82,1	18	80
-25,4327	-49,2732	-70,9	19	60
-25,4327	-49,2732	-69,8	11	38
-25,4327	-49,2732	-69,1	12	37
-25,4327	-49,2732	-68,4	15	39
-25,4327	-49,2732	-71,8	17	38
-25,4327	-49,2732	-70,8	19	54
-25,4327	-49,2732	-72,8	8	62
-25,4327	-49,2732	-90,7	13	80
-25,4327	-49,2732	-85,6	13	57

Fig. 22 – Dados carregados no *software* [autor]

A Figura 23 mostra a geração de dados estatísticos do parâmetro RSRP, sendo mostrados o número de amostras (contagem), os valores mínimo e máximo, a média, a variância e o desvio padrão.

latitude	Longitude	RSRP_dBm	SINR_dB	PCI
-25,4327	-49,2732	-80,2	22	62
-25,4327	-49,2732	-82,1	18	80
-25,4327	-49,2732	-70,9	19	60
-25,4327	-49,2732	-69,8	11	38
-25,4327	-49,2732	-69,1	12	37
-25,4327	-49,2732	-68,4	15	39
-25,4327	-49,2732	-71,8	17	38
-25,4327	-49,2732	-70,8	19	54
-25,4327	-49,2732	-72,8	8	62
-25,4327	-49,2732	-90,7	13	80
-25,4327	-49,2732	-85,6	13	57

Estadísticas da Coluna	
Tabela:	Parâmetros_LTE_
Coluna:	RSRP_dBm_
Contagem:	3.720
Mínimo:	-104
Máximo:	-10
Intervalo:	94
Somatória:	-291.932,5
Média:	-78,4765
Variância:	1,79244
Desvio Padrão:	1,33882

Fig. 23 – Dados estatísticos do parâmetro RSRP [autor]

Em virtude do *software* utilizar como base teórica, as próprias planilhas eletrônicas, os valores apresentados nessa tela, são idênticos aos calculados. O

mesmo procedimento foi realizado para os demais parâmetros.

A Figura 24 mostra o mapa de cobertura do RSRP, a ser apresentado no Cap. 5.

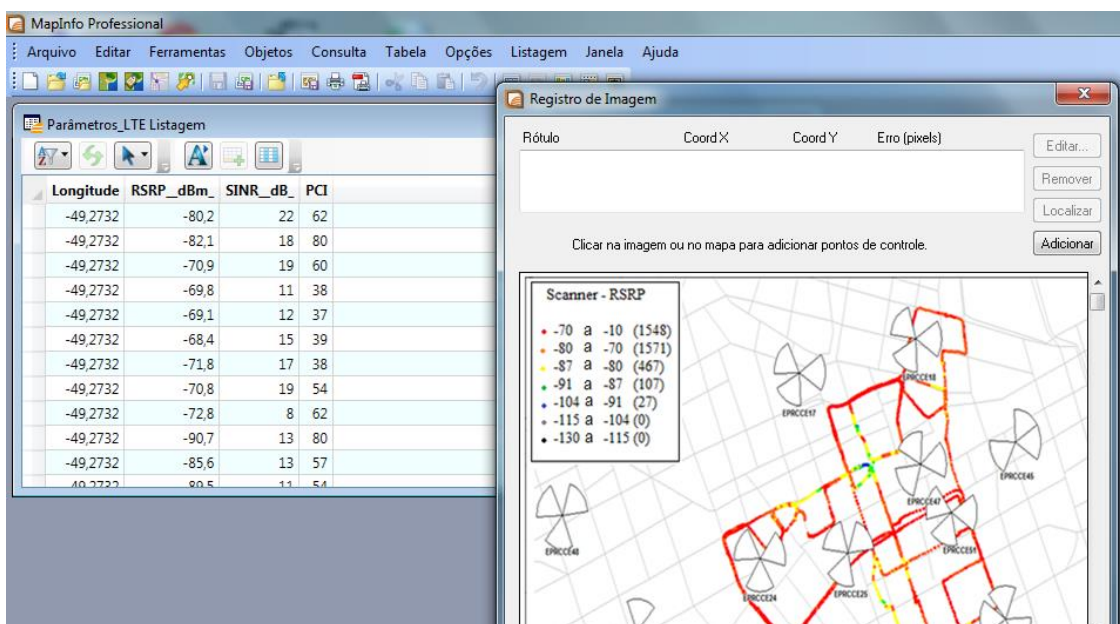


Fig. 24 - Mapa de cobertura do RSRP [autor]

Em função do *software* tratar-se de uma versão livre, não possui todas as aplicações disponíveis. Entre elas, destaca-se a comunicação com o *Google Earth*, a partir do qual seria possível gerar o arruamento nos mapas de cobertura.

4.6 CONCLUSÃO

Nesse capítulo foram apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para a análise dos parâmetros de qualidade e de desempenho, realizados a partir de um *drive test* aplicado em uma rede comercial em região urbana densa de Curitiba, na faixa de frequência de 2.600 MHz, com largura de banda de 20 MHz. Foi visto que, após a realização das medições em campo, os dados foram tratados, sendo apresentados em planilhas eletrônicas. O *software Microsoft Excel 2010* foi utilizado com o objetivo de sintetizar os cálculos teóricos e práticos empregados nesse trabalho e, assim, tornar possível a obtenção de gráficos específicos. Foi visto que, como os valores especificados para o RSRP variam de -140 dBm e -44 dBm, tendo o valor de -75 dBm como referência, os valores medidos no *drive test* apresentaram excelentes

resultados. Da mesma forma, que os valores especificados para o SINR variam de -10 dB e +40 dB, tendo como referência o valor de +30 dB, foi constatado que houve a presença de ruídos e/ou de interferências durante as medições, acarretando redução do *throughput* medido. Calculou-se que 13,5% das amostras registradas pelo *modem*, foram relacionadas à modulação QPSK, 32,6% em 16 QAM e 54% em 64 QAM. Observa-se que houve 100% de sucesso nas tentativas de conexão à rede LTE da operadora, entretanto a latência média nos setores ficou acima dos valores especificados nas premissas do grupo 3GPP. Já os valores de *throughput* médio e de pico, apresentaram valores abaixo dos padronizados pelo grupo, pois o valor médio no *downlink* foi de 7,21 Mbps e o valor máximo foi de 22,51 Mbps. Como os valores especificados para o RSSI variam de -35 dBm e -85 dBm, tendo o valor de -50 dBm como referência, observa-se que os valores calculados apresentaram excelentes resultados. Comprovou-se, pelos cálculos realizados por meio da planilha, que os valores do *throughput* aumentam em função do tipo da modulação utilizada, assim como da largura de banda. Por sua vez, em função de o *software MapInfo Professional* utilizar como base teórica, as mesmas planilhas eletrônicas utilizadas nos cálculos teóricos, os valores resultantes foram idênticos.

REFERÊNCIAS

[1] 3GPP Technical Specification 37.320. Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio measurement collection for Minimization of Drive Tests (MDT); Overall description; Stage 2. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/DynaReport/37320.htm>>. Acesso em: 20. abr. 2014.

[2] Google Earth – Aplicativo de visualização 3D da Terra. Disponível em: <<http://www.earth.google.com.br>>. Acesso em: 21. out. 2013.

[3] Google Maps – Aplicativo de pesquisa e visualização de mapas e imagens de satélite da Terra. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em: 21. out. 2013.

[4] Cobertura Celular. Disponível em: <<http://www.cobaturacelular.com.br/>>. Acesso em: 28. Abr. 2014.

[5] ANATEL - Cobertura Celular. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/stel/consultas/ListaEstacoesLocalidade/tela.asp/>>. Acesso em: 28. Abr. 2014.

[6] TERTULIANO Filho, H. et all: “4G Brasil: Tendências dos Sistemas de Comunicações Móveis”. 4G Mobile Fórum, Londres, 2002.

[7] PATRIOTA, G. D. Modelo de Propagação Outdoor para Região Urbana Densa na Cidade de Curitiba [dissertação de mestrado]. Curitiba, Brasil: UFPR; 2011.

[8] MapInfo – Aplicativo para processamento de informações georreferenciadas. Disponível em: < <http://www.mapinfo.com/>>. Acesso em: 21. out. 2013.

[9] CLARO. Mapas de Cobertura GSM/3G/4G. Disponível em: < <http://www.claro.com.br/celular/cobertura-pos/regiao/ddd41/PR/tv-2/>>. Acesso em: 22. out. 2013.

[10] TIM. Mapa de Cobertura 2G, 3G, 4G. Disponível em: <<http://portasabertas.tim.com.br/>> Acesso em: 22. out. 2013.

[11] OI. Mapa de Cobertura – 4G. Disponível em: < <http://www.oi.com.br/oi/oi-pra-voce/planos-servicos/cobertura/>> Acesso em: 22. out. 2013.

[12] VIVO. Mapa de Cobertura – 4G. Disponível em: < http://www.vivo.com.br/portalweb/appmanager/env/web?_nfls=false&_nfpb=true&_pageLabel=vivoVcCobNacCoberturaVivoPage&WT.ac=portal.internet.modem.coberturaaeroaming#>. Acesso em: 22. out. 2013.

[13] OPEN SIGN. Cell Coverage Map. Disponível em: <<http://opensignal.com/coverage-maps/Brasil/>>. Acesso em: 22. Abr. 2014.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos do drive test realizado em uma rede comercial em Curitiba, tendo como referência os parâmetros definidos no Capítulo 3 e os procedimentos metodológicos apresentados no Capítulo 4.

5.1 INTRODUÇÃO

Os gráficos apresentados nesse capítulo foram obtidos por meio da simulação dos softwares *MapInfo Professional* [1] e do *Microsoft Excel* 2010. Para tal, foram utilizadas como fontes de dados, as tabelas apresentadas no Cap. 4, após o tratamento dos dados medidos no *drive test*, respeitando as especificações do 3GPP [2].

A Tabela 22 apresentou os percentuais para cada modulação, em função dos valores registrados do CQI, durante o *drive test*. Viu-se que para valores variando entre +1 e +6, a configuração do sistema LTE adota automaticamente a modulação QPSK, para valores entre +7 e +9 é adotada a modulação 16 QAM e para valores entre +10 e +15, utiliza-se a modulação 64 QAM. Dessa forma, tem-se que 13,5% das amostras registradas pelo *modem* atuaram na modulação QPSK, 32,6% em 16 QAM e 54% em 64 QAM.

A Figura 25 mostra a distribuição gráfica da modulação utilizada no *drive test*.

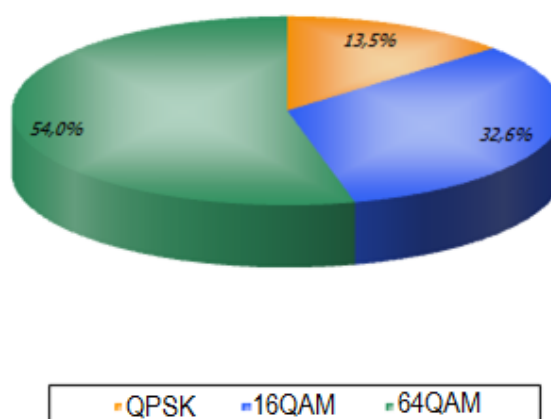


Fig. 25 - Distribuição da modulação no site EPRCCE25 [autor].

Por sua vez as Tabelas 23 e 24 mostraram resultados referentes ao *throughput*,

que podem ser verificados na Figura 26, por meio da representação gráfica da distribuição do *throughput*, em função das amostras registradas.

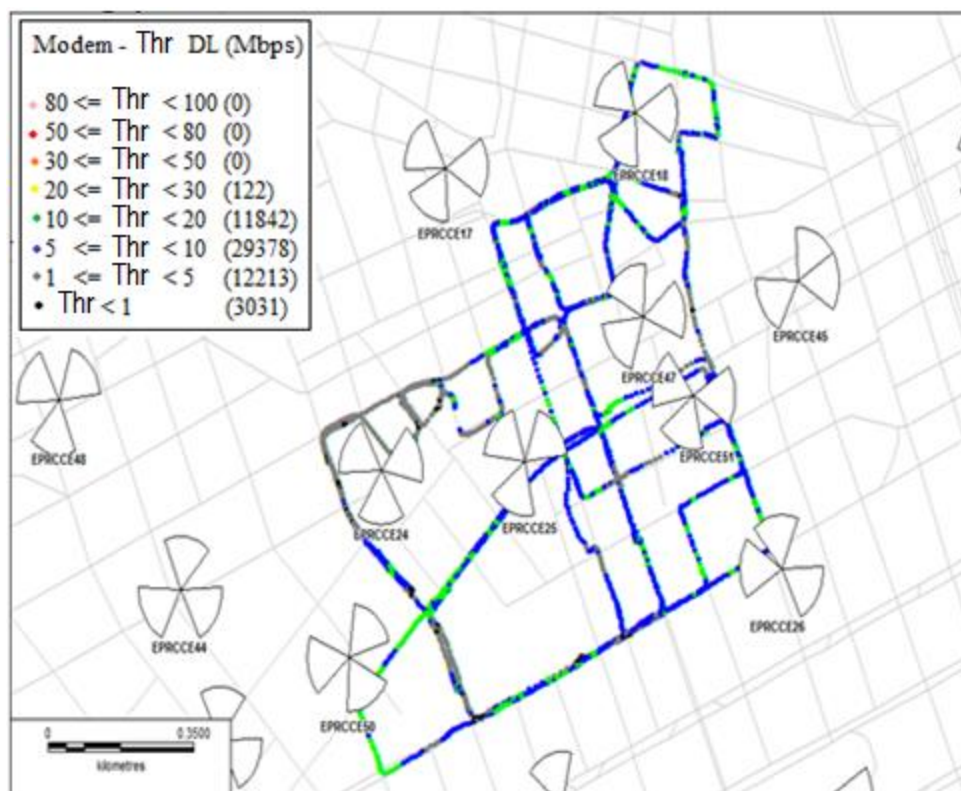


Fig. 26 - Representação gráfica do *throughput* no *downlink* [autor].

Como a largura de banda utilizada pela operadora e comprovada nas medições é de 20 MHz, considerando que a modulação de amplitude de quadratura 64 QAM foi responsável pela cobertura de 54% das amostras registradas e sendo utilizadas antenas MIMO 2x2, conforme verificado *in loco*, eram esperados melhores resultados, uma vez que o *throughput* teórico calculado é superior a 100 Mbps no *downlink* e de 50 Mbps no *uplink*.

Em função de o *software MapInfo Professional* ser uma versão livre, não possui todas as aplicações disponíveis. Entre elas, destaca-se a comunicação com o *Google Earth*, a partir do qual seria possível gerar o arruamento nos mapas de cobertura.

Observa-se que nas faixas de 30 a 100 Mbps não há registros de amostras e que há 3.031 amostras na faixa onde o *throughput* é inferior a 1 Mbps, o que equivale a 5,36% das amostras, acarretando baixa velocidade de transmissão dos dados. Nessa região há quantidade insuficiente de antenas, como pode ser observado no entorno do site EPRCCE24, sendo este o de maior concentração de baixo *throughput*. Entretanto, o simples aumento do número de antenas pode acarretar no consequente

aumento do SNR, sendo esse um dos objetivos do compartilhamento de infraestrutura por parte das operadoras de telecomunicações.

Outra justificativa para os baixos valores medidos pode ser em função dos bits de sinalização, durante o processo de *handover* [3].

A Figura 27 mostra o histograma do *throughput*, apresentado na figura anterior.

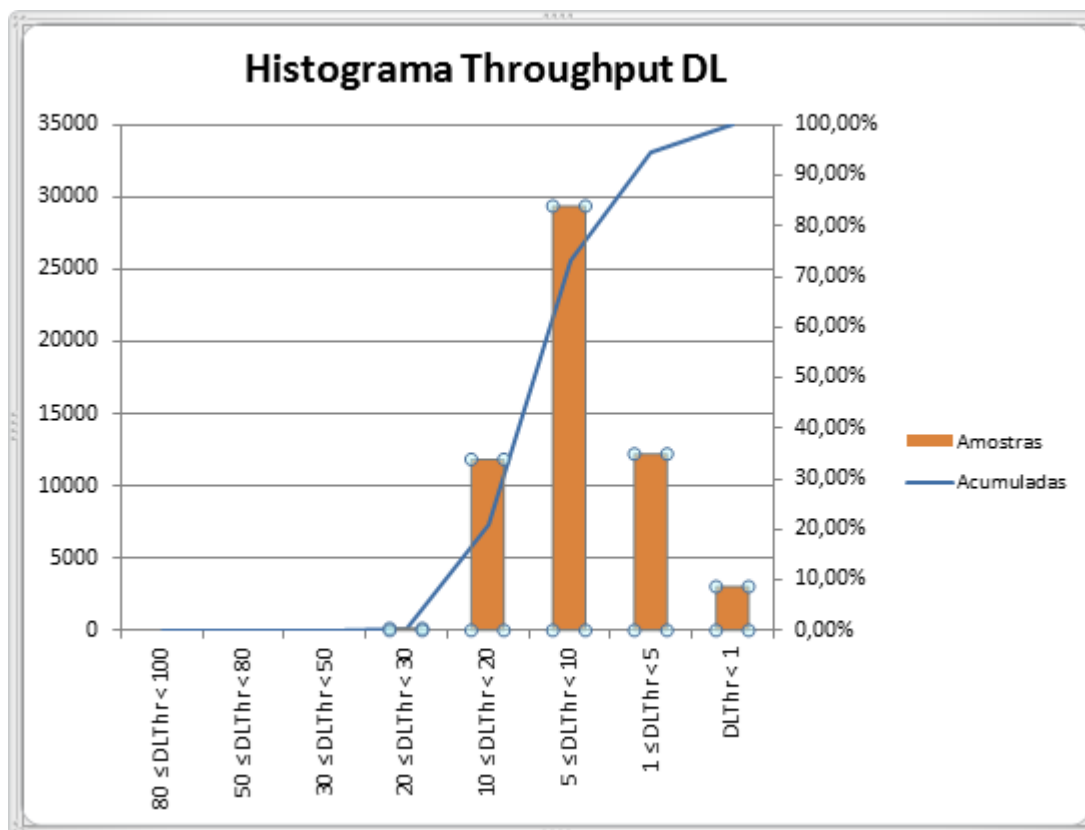


Fig. 27 - Histograma do throughput no *downlink* [autor].

O histograma mostra a distribuição da Função Densidade de Probabilidade (FDP) e da Função de Distribuição Acumulada (FDA). A primeira refere-se aos valores distribuídos por faixa de variação das amostras e a segunda ao valor acumulado das mesmas.

Outro parâmetro importante para a análise da cobertura celular LTE é o RSRP, que representa o nível de potência do sinal que efetivamente chega ao equipamento do usuário, sendo utilizado para medição da cobertura LTE no *downlink*.

A Figura 28 representa o mapa de cobertura RSRP no *downlink*, com a medição de 3.720 amostras.

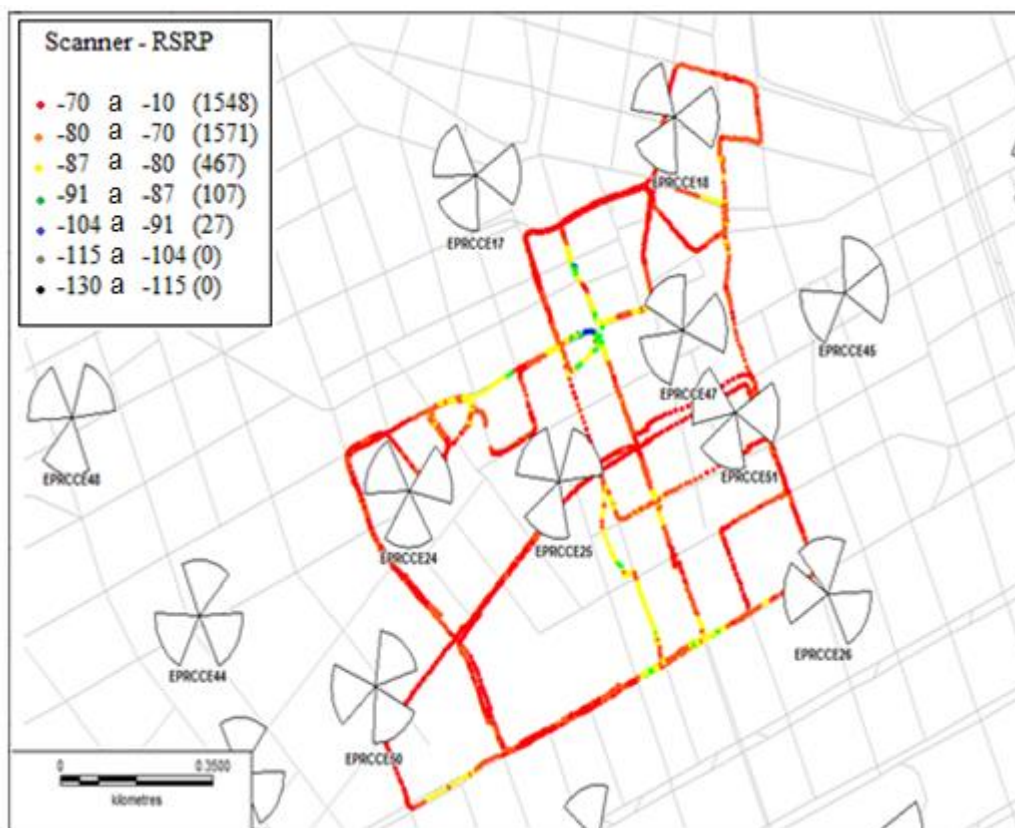


Fig. 28 - Mapa de cobertura do RSRP no *downlink* [autor].

Observa-se na Figura 28 que os valores RSRP estão compreendidos entre -130 e -10 dBm, sendo através desse parâmetro que é determinada a melhor célula do *downlink* da interface área, a partir da qual escolhe-se a célula para um acesso aleatório ou para a realização de *handover* em LTE [4].

Para valores de RSRP maiores do que -70 dBm, há a representação de um *Quality of Service* (QoS) excelente, ou seja, com ótima cobertura. Se estiverem entre -91 e -70 dBm são considerados sinais com qualidade aceitável, entretanto é esperado que o QoS sofra uma ligeira degradação, podendo acarretar uma redução de até 50% na qualidade do sinal. Entretanto se o RSRP for inferior a -91 dBm, a qualidade da cobertura é considerada inaceitável, podendo ocorrer áreas sem cobertura [4].

Dessa forma, observa-se que, de uma forma geral, o mapa de cobertura do RSRP apresenta valores de boa qualidade, a partir do qual 41,61% das amostras apresentam ótima cobertura e 57,66%, com cobertura aceitável. Entretanto, não se pode deixar de ressaltar que há regiões com cobertura muito ruim, como pode ser comprovado pela cor azul, representando 0,72% do total das amostras. Essa região compreendida próxima ao site EPRCCE47 é considerada altamente densa, onde as

ruas são estreitas e os prédios são altos, portanto os valores *electrical down tilt* são altos, com valores entre 8 (oito) e 9 (nove) graus, conforme pode ser verificado na Tabela 20, apresentada no capítulo anterior. Nessas condições são esperadas dificuldades para a realização de *handover* em LTE.

Na Figura 29 é mostrado o histograma do RSRP, onde a distribuição por faixas de variação é melhor visualizado.

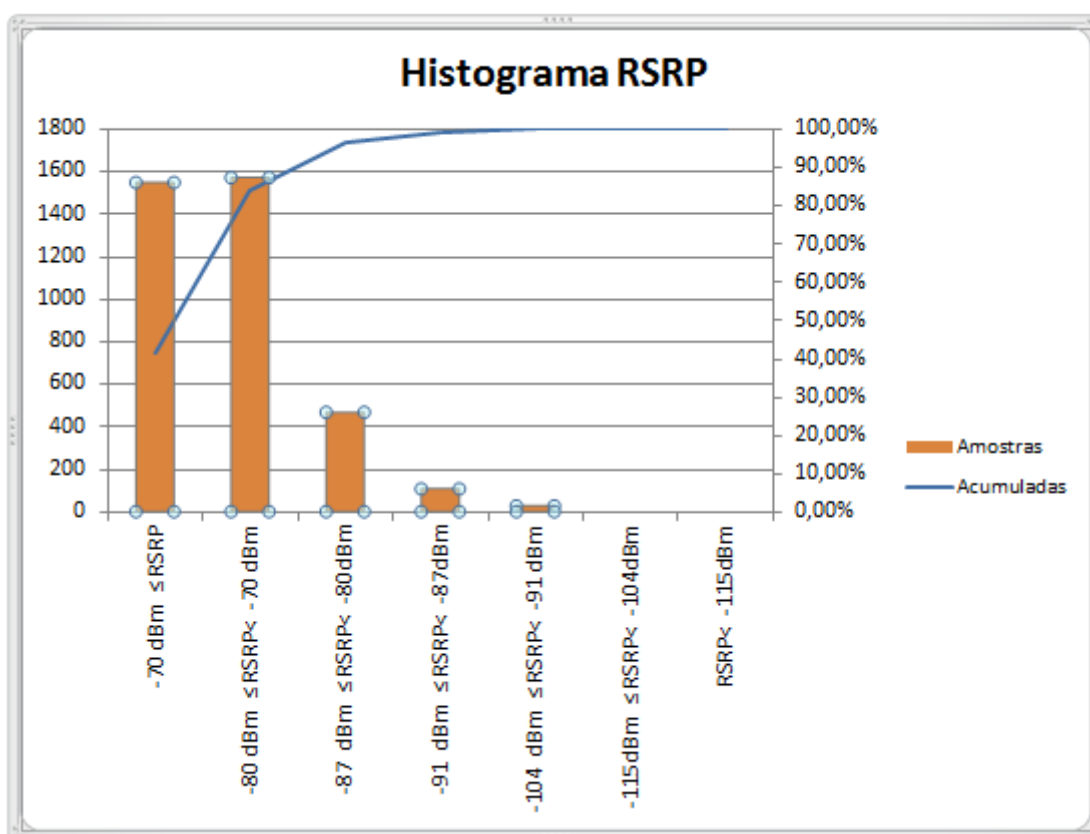


Fig. 29 - Histograma do RSRP [autor].

No LTE, o eNodeB consegue adaptar seu próprio esquema de modulação, a fim de melhorar a qualidade na cobertura celular. O esquema 64 QAM possui 6 (seis) bits por símbolo, sendo considerado de alta ordem. Nesse esquema, o equipamento do usuário está sujeito às interferências e aos ruídos, apesar de teoricamente apresentar um *throughput* elevado [3].

Já o esquema *Quadrature Phase-Shift Keying* (QPSK), por possuir 2 (dois) bits por símbolo, é mais robusto e suporta níveis de interferências mais elevados, com o agravante da redução do *throughput*. O esquema de modulação 64 QAM é utilizado quando o *Signal to Interference and Noise Ratio* (SINR) é elevado [4].

Nas transmissões de dados no *downlink*, o eNodeB seleciona o esquema de

modulação, em função da informação que ele recebe do equipamento do usuário durante o *uplink* no CQI. Essa informação é uma indicação do *throughput* suportado pelo canal, considerando-se o SINR.

No LTE valores elevados de *throughput* são possíveis em condições excelentes, sem interferências de outras células e sem ruídos. O SINR é utilizado como indicador de desempenho, representado como uma função de interferência e de ruído, ou seja, é utilizado como indicação de informação sinal ruído (SNR) [5].

Quanto maior for o valor de SINR melhor será o indicador de SNR, ou seja, há menos interferência e/ou ruído na rede em análise. A Figura 30 representa o comportamento do SINR durante o deslocamento do veículo no *downlink*.

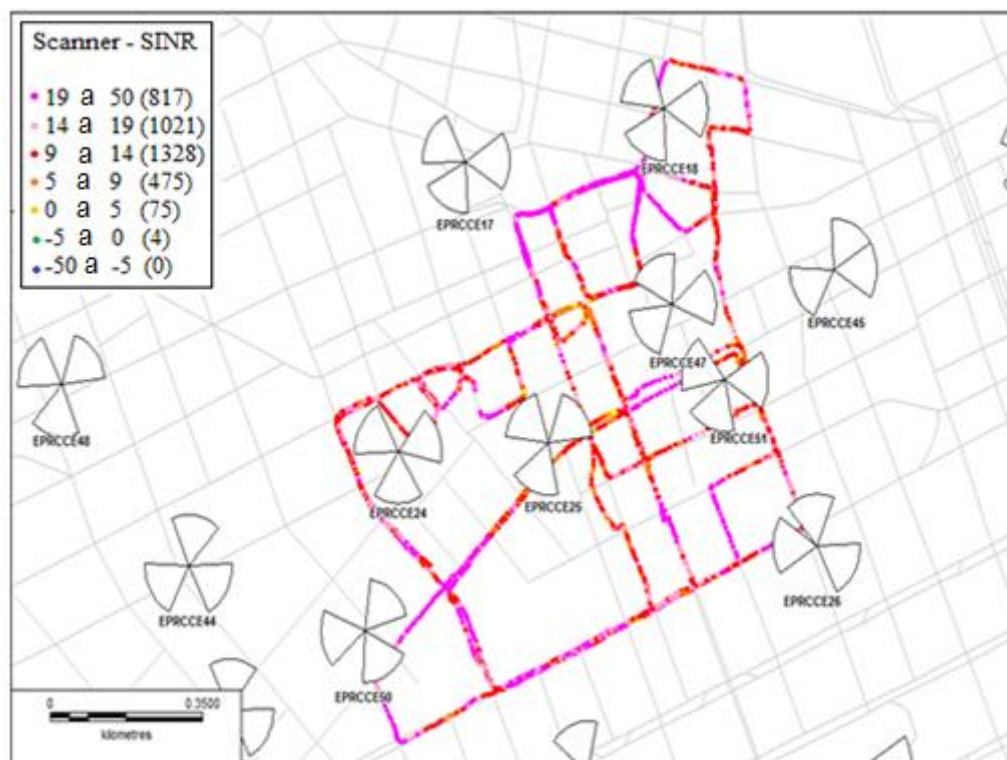


Fig. 30 - Mapa de cobertura do SINR no *downlink* [autor].

A maior porcentagem das 3.720 amostras encontram-se no intervalo de +9 a +14 dB, representando 27,45% das amostras. Entretanto na mesma região que apresentou cobertura com qualidade ruim, como verificado na cor azul da Figura 28, observam-se valores de SINR abaixo de +9 dB, representando a existência de interferências e/ou ruídos, contribuindo para a escolha do tipo de modulação QPSK e consequentemente de um baixo valor de *throughput*.

Na Figura 31, é mostrado o histograma do SINR, onde a distribuição por faixas

de variação é melhor visualizado.

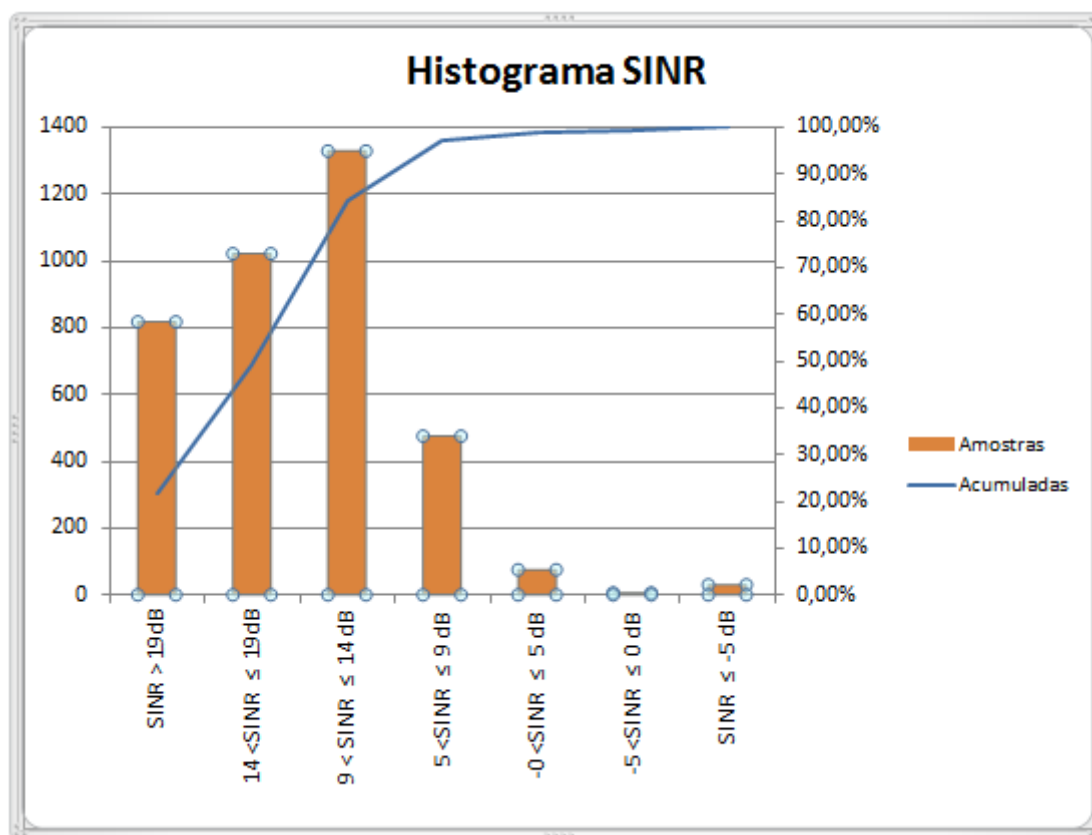


Fig. 31 - Histograma do SINR [autor].

A Figura 32 apresenta a relação entre os parâmetros SINR e *throughput*, a partir do qual é esperado que com o aumento do SINR, o *throughput* também aumente.

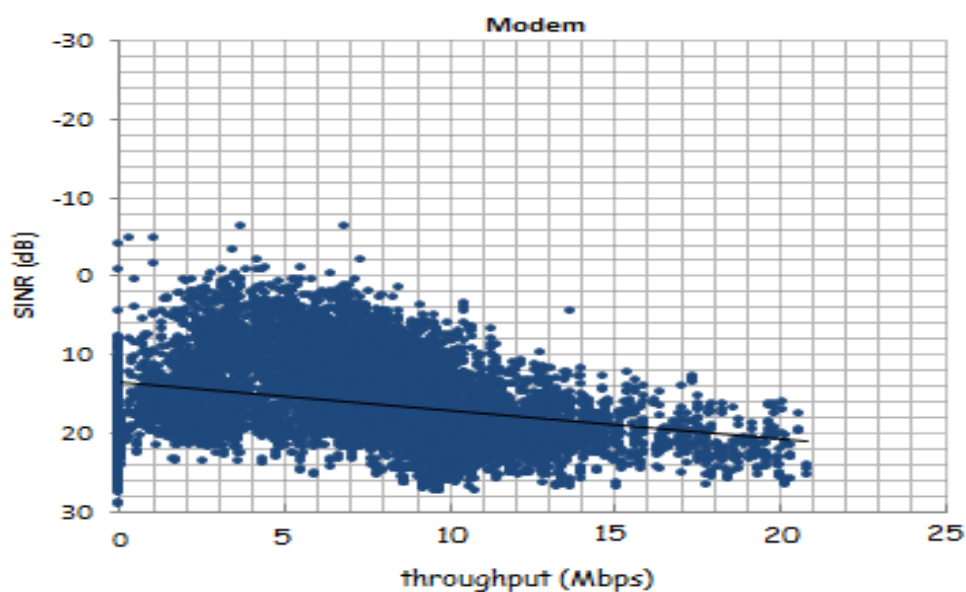


Fig. 32 - Relação entre os parâmetros SINR e o *throughput* [autor].

Observa-se que os maiores valores do *throughput* estão relacionados com os maiores valores do SINR.

Da mesma forma, pode-se relacionar os parâmetros SINR e RSRP, conforme mostrado na Figura 33.

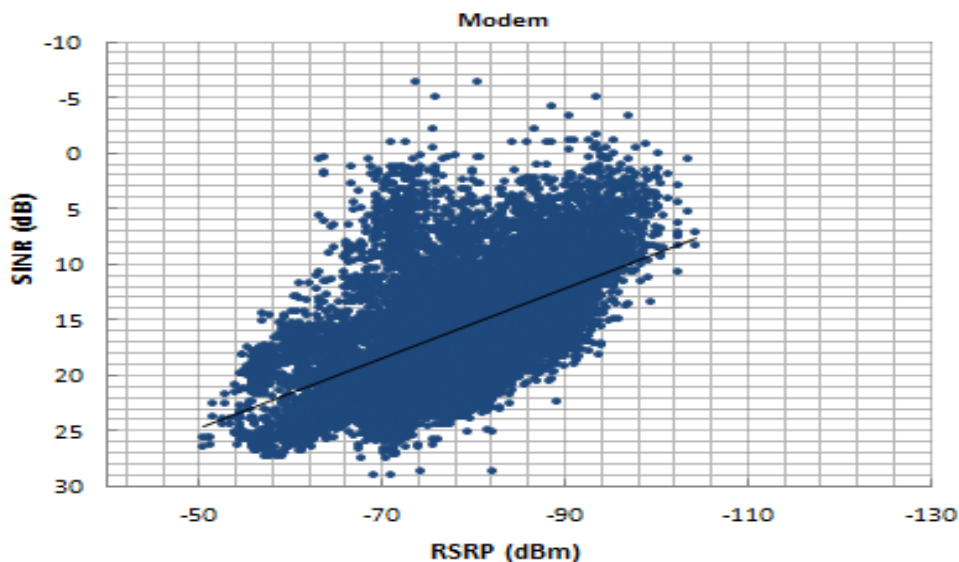


Fig. 33 - Relação entre os parâmetros SINR e RSRP [autor].

Nota-se que há o aumento do RSRP em função do aumento do SINR, confirmando os valores esperados.

A Figura 34 representa o comportamento do PCI durante o deslocamento do veículo no *downlink*.

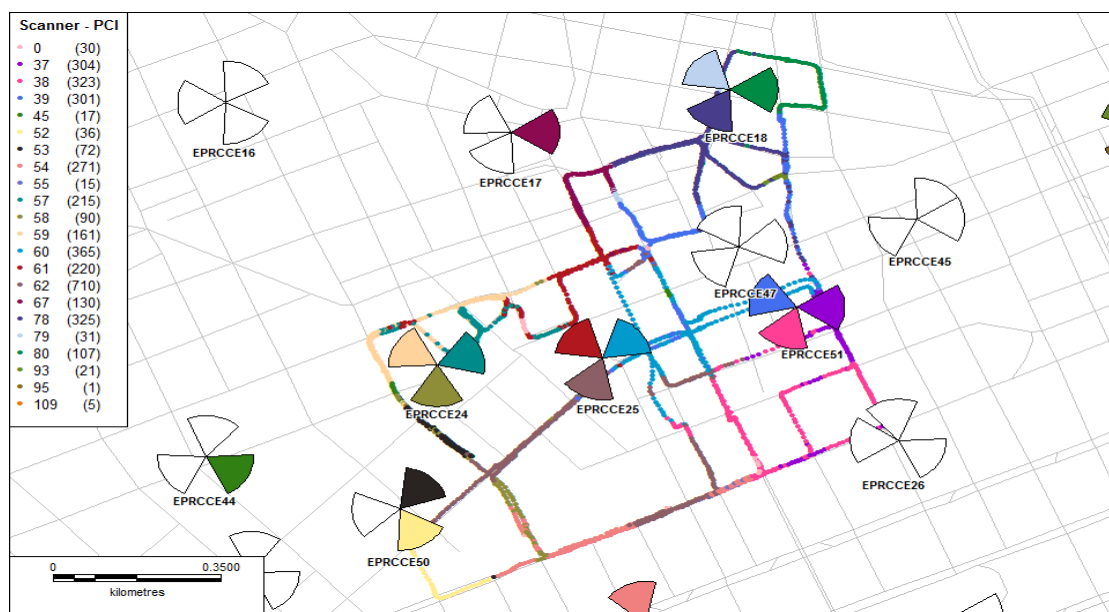


Fig. 34 - Mapa de cobertura do PCI [autor].

Foi visto anteriormente que a procura de células é feita através dos sinais de sincronização, onde o terminal móvel procura pela sincronização primária que se encontra no centro da banda. Quando o sinal primário é detectado, o UE procura por um dos 168 sinais secundários possíveis e, uma vez encontrado, o *Physical Cell ID* (PCI) pode ser identificado de um dos 504 identificadores existentes.

O PCI é utilizado pelo UE para efetuar medidas nas células vizinhas, assim sendo, os PCI mapeados têm que ser diferentes, pois o UE não pode medir duas células que apresentem o mesmo identificador. Verifica-se na Figura 34 que o máximo de medições em células vizinhas foi de 109 registros.

A Figura 35 representa o enlace entre os pontos de interesse, sendo gerado com o *software Radio Mobile* no *Google Earth*, para fins de representação da região estudada [6], [7].

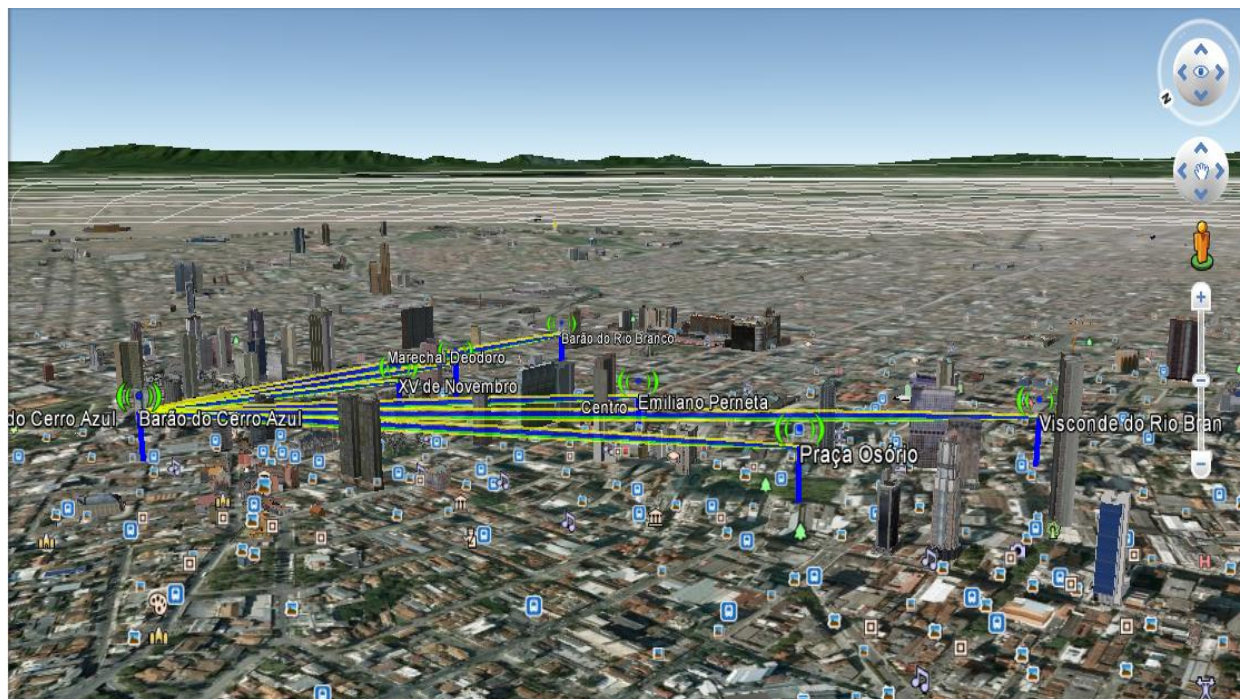


Fig. 35 - Enlace na área de estudo [autor].

5.2 CONCLUSÕES

Nesse capítulo foram apresentados os resultados gráficos, após o tratamento dos dados medidos em campo, conforme demonstrado no Cap. 4, a partir do qual foi

possível observar que em determinadas regiões, como é no caso da site EPRCCE24, que apresenta 5,36% do total de amostras na faixa onde o *throughput* é inferior a 1 Mbps, pode ser sugerido o compartilhamento de antenas, para fins de melhoria da taxa de transmissão LTE, pois o aumento de antenas poderia acarretar no aumento do SNR e conseqüente redução do SINR. Outra justificativa aceitável para os baixos valores medidos pode ser em função dos bits de sinalização, durante o processo de *handover*.

O parâmetro RSRP apresentou resultados excelentes, uma vez que 99,27% das amostras medidas apresentaram cobertura ótima ou aceitável. Verificou-se que em regiões altamente densas, com ruas estreitas, prédios altos e valores de *electrical down Tilt* elevados, os valores do parâmetro RSRP foram baixos, prejudicando dessa forma, o *handover* em LTE e conseqüentemente, o *throughput*.

Durante as medições, o esquema de modulação 64 QAM foi utilizado em 54% do tempo e o parâmetro SINR apresentou 85,11% das amostras em intervalos de baixa interferência e/ou ruído. Entretanto observaram-se valores de SINR abaixo de +9 dB, representando a existência de interferências e/ou ruídos na rede, contribuindo para a escolha do tipo de modulação QPSK e conseqüentemente de um baixo valor de *throughput*. Como o desempenho de uma rede está diretamente relacionado a sua respectiva qualidade, eram esperados melhores valores de *throughput*.

Através das medições em campo, do processamento dos dados e da comparação com os valores esperados calculados, observou-se que os valores de *throughput* medidos encontram-se abaixo dos especificados pelo grupo 3GPP.

REFERÊNCIAS

[1] MapInfo – Aplicativo para processamento de informações georreferenciadas. Disponível em: < <http://www.mapinfo.com/>>. Acesso em: 21. out. 2013.

[2] 3GPP. Third Generation Partnership Project. Disponível em:< <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

[3] ETSI. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), LTE, User Equipment (UE), application layer data throughput performance (3GPP TR 37.901 version 11.6.1 Release 11). 2013. Disponível em:< http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/137900_137999/137901/11.06.01_60/tr_137901v110601p.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2014.

[4] Wireless Technologies. R&S®TS8980 test system analyzes LTE quality indicators: CQI, PMI and RI. Disponível em:< http://cdn.rohde-schwarz.com/dl_downloads/dl_common_library/dl_news_from_rs/203/NEWS_203_english_TS8980.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2014.

[5] 3GPP Technical Specification 37.320. Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio measurement collection for Minimization of Drive Tests (MDT); Overall description; Stage 2. Disponível em:<<http://www.3gpp.org/DynaReport/37320.htm>>. Acesso em: 22. abr. 2014.

[6] Google Earth – Aplicativo de visualização 3D da Terra. Disponível em: <<http://www.earth.google.com.br>>. Acesso em: 21. out. 2013.

[7] RADIO MÓBILE. Software de Predição de Cobertura. Disponível em: <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>. Acesso em: 21. fev. 2014.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho propôs analisar a qualidade e o desempenho da cobertura celular LTE, a partir de dados obtidos por meio de um *drive test*, em rede comercial, na faixa de frequência de 2.600 MHz, com largura de banda de 20 MHz, em região urbana densa na cidade de Curitiba, baseado nas padronizações interpostas pelo grupo *Third Generation Partnership Project (3GPP)*.

No capítulo 2, foi apresentado o histórico do LTE, bem como a sua respectiva arquitetura da rede, a partir do qual os principais componentes constitutivos da mesma foram comparados com os elementos da rede UMTS. Verificou-se que, no LTE, em comparação ao UMTS, há uma redução e simplificação dos componentes integrantes da arquitetura, ocasionando uma redução dos custos da rede. Viu-se que o 3GPP escolheu o OFDMA como interface aérea para o *downlink* (eNodeB para UE) e o SC-FDMA para o *uplink* (UE para eNodeB). Finalmente, foi apresentada e discutida a interface rádio do LTE, além da capacidade e a cobertura da rede, sendo feitas as ponderações e apresentadas as limitações da mesma, destacando-se como principais, a redução das interferências em função da ortogonalidade dentro da célula e do ganho obtido, em função da utilização de técnicas MIMO e das formas de acesso múltiplo.

No capítulo 3, foram apresentados os principais parâmetros que têm impacto no desempenho e na qualidade da cobertura dos sinais LTE. Foi visto que uma das características importantes das técnicas MIMO é que o seu desempenho depende de alguns fatores, entre eles a qualidade do sinal, sendo essa medida pelo SINR. Por esta razão, alguns modos MIMO são mais eficientes que outros dependendo desses fatores críticos. Para as modulações de ordem mais alta, o UE está mais suscetível às interferências e ruídos, mas com taxas de transmissão de dados mais elevadas. Portanto esse tipo de modulação só é utilizado quando o SINR é suficientemente alto. Como os parâmetros CINR e SINR são indicações de informações de sinal ruído, é desejado que esses parâmetros apresentem valores elevados, pois implica menos interferência e ruídos na rede. Considerando uma banda larga fixa, quanto maior for a relação sinal ruído, maiores serão as possibilidades da obtenção de valores elevados de *throughput*.

No capítulo 4, foram apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para a análise dos parâmetros de qualidade e de desempenho, realizados a partir de

um *drive test* aplicado em uma rede comercial em região urbana densa de Curitiba, na faixa de frequência de 2.600 MHz, com largura de banda de 20 MHz. Foi visto que, após a realização das medições em campo, os dados foram tratados, sendo apresentados em planilhas eletrônicas. O *software Microsoft Excel 2010* foi utilizado com o objetivo de sintetizar os cálculos teóricos e práticos empregados nesse trabalho e, assim, tornar possível a obtenção de gráficos específicos. Foi visto que, como os valores especificados para o RSRP variam de -140 dBm e -44 dBm, tendo o valor de -75 dBm como referência, os valores medidos no *drive test* apresentaram excelentes resultados. Da mesma forma, que os valores especificados para o SINR variam de -10 dB e +40 dB, tendo como referência o valor de +30 dB, foi constatado que houve a presença de ruídos e/ou de interferências durante as medições, acarretando redução do *throughput* medido. Calculou-se que 13,5% das amostras registradas pelo *modem*, foram relacionadas à modulação QPSK, 32,6% em 16 QAM e 54% em 64 QAM. Observa-se que houve 100% de sucesso nas tentativas de conexão à rede LTE da operadora, entretanto a latência média nos setores ficou acima dos valores especificados nas premissas do grupo 3GPP. Já os valores de *throughput* médio e de pico, apresentaram valores abaixo dos padronizados pelo grupo, pois o valor médio no *downlink* foi de 7,21 Mbps e o valor máximo foi de 22,51 Mbps. Como os valores especificados para o RSSI variam de -35 dBm e -85 dBm, tendo o valor de -50 dBm como referência, observa-se que os valores calculados apresentaram excelentes resultados. Comprovou-se, pelos cálculos realizados por meio da planilha, que os valores do *throughput* aumentam em função do tipo da modulação utilizada, assim como da largura de banda. Por sua vez, em função de o *software MapInfo Professional* utilizar como base teórica as mesmas planilhas eletrônicas utilizadas nos cálculos teóricos, os valores resultantes foram idênticos.

No capítulo 5, foram apresentados os resultados gráficos, após o tratamento dos dados medidos em campo, conforme demonstrado no Cap. 4, a partir do qual foi possível observar que, em determinadas regiões, como é no caso da site EPRCCE24, que apresenta 5,36% do total de amostras na faixa onde o *throughput* é inferior a 1 Mbps, pode ser sugerido o compartilhamento de antenas, para fins de melhoria da taxa de transmissão LTE, pois o aumento de antenas poderia acarretar no aumento do SNR e conseqüente redução do SINR. Outra justificativa aceitável para os baixos valores medidos pode ser em função dos bits de sinalização, durante o processo de *handover*. O parâmetro RSRP apresentou resultados excelentes, uma vez que 99,27% das

amostras medidas apresentaram cobertura ótima ou aceitável. Verificou-se que em regiões altamente densas, com ruas estreitas, prédios altos e valores de *electrical down Tilt* elevados, os valores do parâmetro RSRP foram baixos, prejudicando dessa forma, o *handover* em LTE, e conseqüentemente, o *throughput*. Durante as medições, o esquema de modulação 64 QAM foi utilizado em 54% do tempo e o parâmetro SINR apresentou 85,11% das amostras em intervalos de baixa interferência e/ou ruído. Entretanto observaram-se valores de SINR abaixo de +9 dB, representando a existência de interferências e/ou ruídos na rede, contribuindo para a escolha do tipo de modulação QPSK e conseqüentemente de um baixo valor de *throughput*. Como o desempenho de uma rede está diretamente relacionado a sua respectiva qualidade, eram esperados melhores valores de *throughput*, uma vez que os valores de medidos, encontram-se abaixo dos especificados pelo grupo 3GPP.

Por meio da análise realizada nesse trabalho, afirma-se que a qualidade e o desempenho da cobertura celular LTE no município de Curitiba, Paraná, ainda não atingiram as especificações padronizadas no *Release 8* pelo grupo 3GPP. Como visto no Cap. 1, o ITU (*International Telecommunication Union*) - Sistema IMT-A (*International Mobile Telecommunications-Advanced* (IMT-A) não reconhece o LTE como uma tecnologia de quarta geração, uma vez que não atende as recomendações de 1 Gbps para a taxa de transmissão de dados máximo. Conforme verificado nos resultados apresentados nesse trabalho, o desempenho da rede avaliada não atendeu às próprias recomendações do *Release 8*, que exigiam valores de 100 Mbps, sendo que os valores máximos registrados foram de 22,51 Mbps.

Como limitações pode-se citar a impossibilidade da renovação da licença do *software Celplanner*, sem o qual não foi possível a ampliação das simulações em redes LTE. Outra dificuldade consistiu no período de início da implantação comercial da rede LTE em Curitiba e, conseqüentemente, da autorização para a realização desse trabalho em campo.

Como os resultados foram obtidos por meio de medições realizadas em um único dia da semana, sugere-se a repetição das medições em mais dias, assim como a realização do *drive test*, em parceria com outros *players* atuantes em Curitiba. Em termos de perspectivas para trabalhos futuros, sugere-se a realização de mais medições em outras redes comerciais, além de outros ambientes, como o rural. Sugere-se, ainda, o desenvolvimento de simuladores em linguagem de programação compilada, pois os programas feitos em Matlab são geralmente lentos,

sendo que esse simulador poderia possuir uma interface gráfica, tornando as configurações mais intuitivas aos usuários, do que em arquivos de configurações.

Os resultados alcançados foram utilizados em um artigo submetido e aceito no Congresso NGMAST 2014 (*8th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*) com o título "*Mobile Coverage in Curitiba, Brazil: methodology for measuring the quality of services using LTE*", como pode ser verificado no Anexo IV, sendo que o mesmo conta com a participação de revisores IEEE.

REFERÊNCIAS

- [1] ITU. International Telecommunication Union. The World in 2013: ICT facts and figures. Disponível em:<<http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2013-e.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2014.
- [2] ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. Brasília, DF. Disponível em:<<http://sistemas.anatel.gov.br/SMP/Default.asp?SISQSmodulo=18228&SISQSSistema=172>>. Acesso em: 8 jul. 2014.
- [3] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília, DF. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home>>. Acesso em: 10 mar. 2014.
- [4] 4G AMERICAS. White papers. Disponível em:<<http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=428>>. Acesso em: 14 mar. 2014
- [5] ASTELY, D. LTE: the evolution of mobile broadband. IEEE Communications Magazine, v. 47, p. 45-51, 2009.
- [6] OPEN SIGN. The State of LTE. fev. 2014. Disponível em:<<http://opensignal.com/reports/state-of-lte-q1-2014/>>. Acesso em: 10 mar. 2014.
- [7] CISCO. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013–2018. Disponível em:<http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html>. Acesso em: 14 mar. 2014.
- [8] TERTULIANO Filho, H. et all: “4G Brasil: Tendências dos Sistemas de Comunicações Móveis”. 4G Mobile Fórum, Londres, 2002.
- [9] GONÇALVES, J. F. E. A. C. Análise de Desempenho dos Sistemas LTE e LTE-*Advanced* com base em Simuladores LTE [dissertação de mestrado]. Lisboa, Portugal: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa; 2011.
- [10] CORNELIO, J. B. M. Inovações Tecnológicas no Setor de Telecomunicações no Brasil: desafios e oportunidades do LTE para expansão da telefonia móvel [dissertação de mestrado]. Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Getúlio Vargas; 2011.
- [11] NUNES do Nascimento, J. F. Análise de Desempenho em Redes Móveis Long Term Evolution [dissertação de mestrado]. Lisboa, Portugal: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa; 2012.
- [12] RODRIGUES, C. F. R. Avaliação da Qualidade e Desempenho de Serviços em Redes LTE [dissertação de mestrado]. Lisboa, Portugal: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa; 2012.
- [13] 3GPP. Third Generation Partnership Project. Disponível em:<<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

- [14] Agilent Technologies. 3GPP Long Term Evolution: System Overview, Product Development and Test Challenges, Application Note. Junho, 2009. 9. Disponível em: <<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-8139EN.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2014.
- [15] 3GPP Technical Specification 36.101. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception. Disponível em:<<http://www.3gpp.org/DynaReport/36101.htm>>. Acesso em: 15 mar. 2014.
- [16] ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. Resolução nº 544. Brasília, DF, ago. 2010. Disponível em: <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/25-2010/41-resolucao-544>>. Acesso em: 10 mar. 2014
- [17] Holma, H. e Toskala, A., LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. 1. ed. John Wiley & Sons, Chichester, Inglaterra, 2009.
- [18] 3GPP Technical Specification 36.104. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception. Disponível em:<<http://www.3gpp.org/DynaReport/36104.htm>>. Acesso em: 15 mar. 2014.
- [19] 3GPP Technical Specification TS36.300. Evolved UTRA aspects; Overall description. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/DynaReport/36300.htm>>. Acesso em: 16 mar. 2014.
- [20] Holma, H. e Toskala, A., WCDMA for UMTS - HSPA Evolution and LTE. 4. ed. John Wiley & Sons, Chichester, Inglaterra, 2007.
- [21] 3GPP Technical Specification TS25.892. Feasibility study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN enhancement. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/DynaReport/25892.htm>>. Acesso em: 18 mar. 2014.
- [22] Sesia, S., Toufik, I., Baker, M. LTE, The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. John Wiley and Sons, 2009.
- [23] Elayoubi, S. E., Ben Haddada, O. Fourestie, B. Performance Evaluation of Frequency Planning Schemes in OFDMA - based Networks. Wireless Communications, v. 7, n. 5, 2008.
- [24] 3GPP Technical Specification 36.211. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation. França: 2009.
- [25] Korowajczuk, L. LTE, WIMAX, and WLAN network design, optimization, and performance analysis. John Wiley and Sons, 2011.
- [26] 3G TS 25.211, v3.2.0. Physical Channels and Mapping of Transport Channels onto Physical Channels (FDD). Disponível em:<<http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/25425-640.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2014.
- [27] 3GPP Technical Specification 36.306. Evolved Universal Terrestrial Radio Access

(E-UTRA); User Equipment (UE) radio access capabilities. Disponível em:<<http://www.3gpp.org/DynaReport/36306.htm>>. Acesso em: 21 mar. 2014.

[28] Qualcomm Europe. Conveying MCS and TB size via PDCCH. Set., 2012. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/DynaReport/TDocExMtg--R1-52b--26911.htm>>. Acesso em: 25 mar. 2014

[29] Mogensen P., Wei Na., Kovacs I.Z., Frederiksen F., Pokhariyal A., Pedersen K.I., Kolding T., Hugi K., Kuusela M. "LTE Capacity Compared to the Shannon Bound". IEEE 65th Vehicular Technology Conference, Abril, 2007. Disponível em:<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4212688&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D4212688>. Acesso em: 26 mar. 2014.

[30] ETSI. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), LTE, User Equipment (UE), application layer data throughput performance (3GPP TR 37.901 version 11.6.1 Release 11). 2013. Disponível em:<http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/137900_137999/137901/11.06.01_60/tr_137901v110601p.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2014.

[31] Wireless Technologies. R&S®TS8980 test system analyzes LTE quality indicators: CQI, PMI and RI. Disponível em:<http://cdn.rohde-schwarz.com/dl_downloads/dl_common_library/dl_news_from_rs/203/NEWS_203_english_TS8980.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2014.

[32] 3GPP Technical Specification 36.214. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements. Disponível em:<<http://www.3gpp.org/DynaReport/36214.htm>>. Acesso em: 11 mar. 2014.

[33] 3GPP Technical Specification 36.133. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management. Disponível em:<<http://www.3gpp.org/DynaReport/36133.htm>>. Acesso em: 11 mar. 2014.

[34] Kreher, R., Gaenger, K. LTE Signaling – Troubleshooting & Optimization. John Wiley and Sons, 2011.

[35] 3GPP Technical Specification 36.213. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures. Disponível em:<<http://www.3gpp.org/DynaReport/36213.htm>>. Acesso em: 14 mar. 2014.

[36] Telesystem Innovations. The Seven Modes of MIMO in LTE, White Paper, Telesystem Innovations (TSI), Toronto, Canada, 2009.

[37] Mehlführer, C., Wrulich, M., Ikuno, J., Bosanska, D., and Rupp, M. Simulating the Long Term Evolution Physical Layer. 17th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2009), Glasgow, Escócia, 2009. Disponível em: <http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_175708.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2014.

[38] J. Salo, M. Nur-Alam, K. Chang. Practical Introduction to LTE Radio Planning. 2010.

[39] 3GPP Technical Specification 37.320. Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio measurement collection for Minimization of Drive Tests (MDT); Overall description; Stage 2. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/DynaReport/37320.htm>>. Acesso em: 22. abr. 2014.

[40] Google Earth – Aplicativo de visualização 3D da Terra. Disponível em: <<http://www.earth.google.com.br>>. Acesso em: 21. out. 2013.

[41] Google Maps – Aplicativo de pesquisa e visualização de mapas e imagens de satélite da Terra. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em: 21. out. 2013.

[42] PATRIOTA, G. D. Modelo de Propagação Outdoor para Região Urbana Densa na Cidade de Curitiba [dissertação de mestrado]. Curitiba, Brasil: UFPR; 2011.

[43] MapInfo – Aplicativo para processamento de informações georreferenciadas. Disponível em: < <http://www.mapinfo.com/>>. Acesso em: 21. out. 2013.

[44] CLARO. Mapas de Cobertura GSM/3G/4G. Disponível em: < <http://www.claro.com.br/celular/cobertura-pos/regiao/ddd41/PR/tv-2/>>. Acesso em: 22. out. 2013.

[45] TIM. Mapa de Cobertura 2G, 3G, 4G. Disponível em: <<http://portasabertas.tim.com.br/>> Acesso em: 22. out. 2013.

[46] OI. Mapa de Cobertura – 4G. Disponível em: < <http://www.oi.com.br/oi/oi-pra-voce/planos-servicos/cobertura/>> Acesso em: 22. out. 2013.

[47] VIVO. Mapa de Cobertura – 4G. Disponível em: < http://www.vivo.com.br/portalweb/appmanager/env/web?_nfls=false&_nfpb=true&_pageLabel=vivoVcCobNacCoberturaVivoPage&WT.ac=portal.internet.modem.coberturaeroaming#>. Acesso em: 22. out. 2013.

[48] OPEN SIGN. Cell Coverage Map. Disponível em: <<http://opensignal.com/coverage-maps/Brasil/>>. Acesso em: 22. Abr. 2014.

[49] RADIO MÓBILE. Software de Predição de Cobertura. Disponível em: <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>. Acesso em: 21. fev. 2014.

[50] ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. Brasília, DF. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/SMP/Default.asp?SISQSmodulo=18228&SISQSsistema=172>>. Acesso em: 8 jul. 2014.

[51] Cobertura Celular. Disponível em: <<http://www.cobaturacelular.com.br/>>. Acesso em: 28. Abr. 2014.

[52] ANATEL - Cobertura Celular. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/stel/consultas/ListaEstacoesLocalidade/tela.asp/>>. Acesso em: 28. Abr. 2014.

ANEXO I – OFÍCIO 1



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Setor de Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica

De: Professor Horacio Tertuliano Filho – Ph.D

Para:

Assunto: Solicitação (Faz) de Cooperação Científica

Prezado Senhor:

Tendo em vista o desenvolvimento da Dissertação de Mestrado do Professor do Instituto Federal do Paraná – IFPR, Professor Evandro Cherubini Rolin, no Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, eu Horacio Tertuliano Filho, professor orientador do mestrando, venho pela presente, explicar e solicitar de V.Sa, o que segue:

Esclarecimentos:

- 1) O tema de mestrado do professor é sobre a quarta geração de telefonia móvel celular – 4G;
- 2) O padrão em estudo é o padrão LTE;
- 3) A tese possui por objetivo um estudo de otimização da banda de designação pela Anatel de 20 MHz para a faixa de frequência de 2.5 a 2.6 GHz, sua eficiência espectral e conseqüente desdobramentos de canalização e serviços.
- 4) Pretende-se dar cunho teórico/prático à mesma.

Solicitação:

- 1) Que a operadora, parceira tecnológica da UFPR autorize a realização de um “*drive-test*” de aproximadamente 5 km de cobertura na região urbana densa da Capital, em qualquer ponto, para análise comparativa do estudo teórico com a medição prática, uma vez que a Universidade não dispõe de meios físicos para tal medição.
- 2) A UFPR esclarece que sob hipótese alguma, na eventualidade de fornecimento da medição, os dados serão utilizados para fins comerciais, o que não é propósito de uma universidade pública e federal de educação;
- 3) Que os artigos científicos produzidos como resultados experimentais serão levados à apreciação da diretoria da empresa para aprovação e, em caso afirmativo um agradecimento específico será feito à companhia.

Certos de que esta solicitação encontrará respaldo junto a V.Sa e ficando a disposição para quaisquer esclarecimentos posteriores.

Subscrevo-me.

Atenciosamente.

Curitiba, 21 de maio de 2013

Prof. Horácio Tertuliano Filho
Professor Associado do Departamento de Engenharia Elétrica

ANEXO II – OFÍCIO 2



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Setor de Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica

De: Professor Horacio Tertuliano Filho – Ph.D

Para:

Assunto: Proposta de Metodologia para a Realização de *Drive Test* LTE

Prezado Senhor:

Este documento apresenta uma proposta de metodologia para a realização de um *drive test*, para verificação *in loco* do nível de qualidade da cobertura celular LTE, devendo ocorrer em uma região (morfologia) urbana densa, no município de Curitiba/PR.

A relação mínima de equipamentos a serem utilizados é:

- 1 - *modem* (aparelho celular com conexão ao LTE);
- 1 – *notebook* com o *software* específico instalado;
- 1 – *scanner*;
- 1 - *gps*;
- 1 – antena externa.

O *scanner* deve apresentar as seguintes características:

- Ser conectado à antena externa;
- Configurado para varrer a banda de *downlink* LTE da operadora (2.630 MHz a 2.650 MHz);
- Verificar se a banda configurada no *scanner* está medindo toda a faixa LTE (20 MHz);
- Alterar o tempo de amostragem do GPS a cada 500 ms;

As informações coletadas por meio do *scanner* deverão conter:

1. Data e hora;
2. Latitude e Longitude (coordenadas em grau decimal);
3. Canais utilizados pela operadora;
4. Largura de Banda do canal;
5. PCI (*Physical Cell ID*);
6. RSRP (*Reference Signal Received Power*);
7. RSRQ (*Reference Signal Received Quality*);
8. RSSI (*Reference Signal Strength Indicator*);
9. CINR (*Carrier to Interference and Noise Ratio*).

O modem (aparelho celular) deverá estar conectado no LTE. As informações coletadas por meio do *modem* deverão conter:

1. Wideband CQI (*Channel Quality Indicator*);
2. DL PDSCH Throughput (*Physical Downlink Shared Channel*);
3. UL PDSCH Throughput;
4. DL PDCCP Throughput (*Packet Data Convergence Protocol*);
5. UL PDCCP Throughput;
6. DL MAC Throughput (*Medium Access Control*);
7. UL MAC Throughput.

O *modem* deve apresentar as seguintes características:

- Início do *script*;
- Inicia no modo *idle* e, após transcorridos 5 s, entra automaticamente no modo ativo (*call*);
- Conexão de dados com 10 sessões em paralelo;
- Realizar um download de arquivo de 1GB;
- Ao término do *download* termina a sessão;
- Realizar um *upload* de arquivo de 1GB;
- Ao término do *upload*, termina a sessão;
- Reinicia o *script*.

No *drive test* deve constar o comprimento do percurso executado e o tempo total de duração.

Além dos itens acima descritos, esta Instituição também solicita as seguintes especificações:

Configuração Lógica da eNodeB	Configuração Física da Torre	Posição Geográfica	Configurações de Apontamento de RF
eNodeB Name	Site Owner	City	Morphology
LTE ID	Type of Structure		
Number of Sectors	New Antenna or replace antenna		Azimuth (°) (NV)
Band	Type of Antenna		Height (m)
	Antenna Model		
CN	Antenna Sharing		Address
	Port Sharing		
Site ID	Type of Combiner		
eNodeB ID	RRU position for LTE	Electrical Down Tilt (EDT)	
Cell ID			
Sector ID	Change RRU position of UMTS		
Cluster Name			

As medições deverão ocorrer em dia útil da semana, em período matutino, sendo que ao término das mesmas, deverão ser entregues à UFPR, os arquivos com as extensões .txt e .xls contendo todas as medições realizadas no *drive test*.

Atenciosamente,

Curitiba, 21 de maio de 2013

Prof. Horácio Tertuliano Filho

Professor Associado do Departamento de Engenharia Elétrica

ANEXO III - MAPAS DE COBERTURA DAS OPERADORAS DE TELECOMUNICAÇÕES

Um mapa de cobertura representa a visualização gráfica resultante da predição, ou seja, trata-se do produto que se espera de um *software*. Alguns programas utilizam arquivos próprios para apresentação dos mapas de cobertura, outros permitem a interface com aplicativos, como o *Google maps* e *Google Earth*.

Alguns *softwares* de predição de cobertura celular utilizados no Brasil são: o ODISSEY utilizado pela operadora TNL PCS – MG; a CTBC utiliza *Cellplanner* em suas redes GSM; a operadora VIVO no Estado de São Paulo usa o *software* PLANET; a operadora TIM utiliza o *software* GUITAR, desenvolvido pela empresa TILAB, integrante do Grupo *Telecom Itália*; a Claro com outras associadas como a BCP utilizam o *software* ASSET; a *Lucent* usa o *software* Airpro; a Ericsson faz uso do programa TCP, conhecido como TEMS; a Alcatel usa o *software* A1955; em Curitiba, a operadora OI utiliza o *Cellplanner* para controle de seus projetos GSM e comparação com *drive-tests* de rotina.

As operadoras de telecomunicações disponibilizam publicamente seus mapas de cobertura celular, a fim de que os usuários possam verificar a abrangência e a qualidade do sinal em uma determinada região.

As Figuras 36, 37, 38 e 39 mostram os mapas de cobertura celular no 4G, disponibilizadas pelas operadoras de telecomunicações, em suas respectivas páginas eletrônicas.

Na Figura 36 é apresentada a cobertura 4G da operadora Claro na área central de Curitiba, a partir do qual é possível verificar a presença, em sua grande maioria, de áreas com excelente cobertura, conforme legenda.

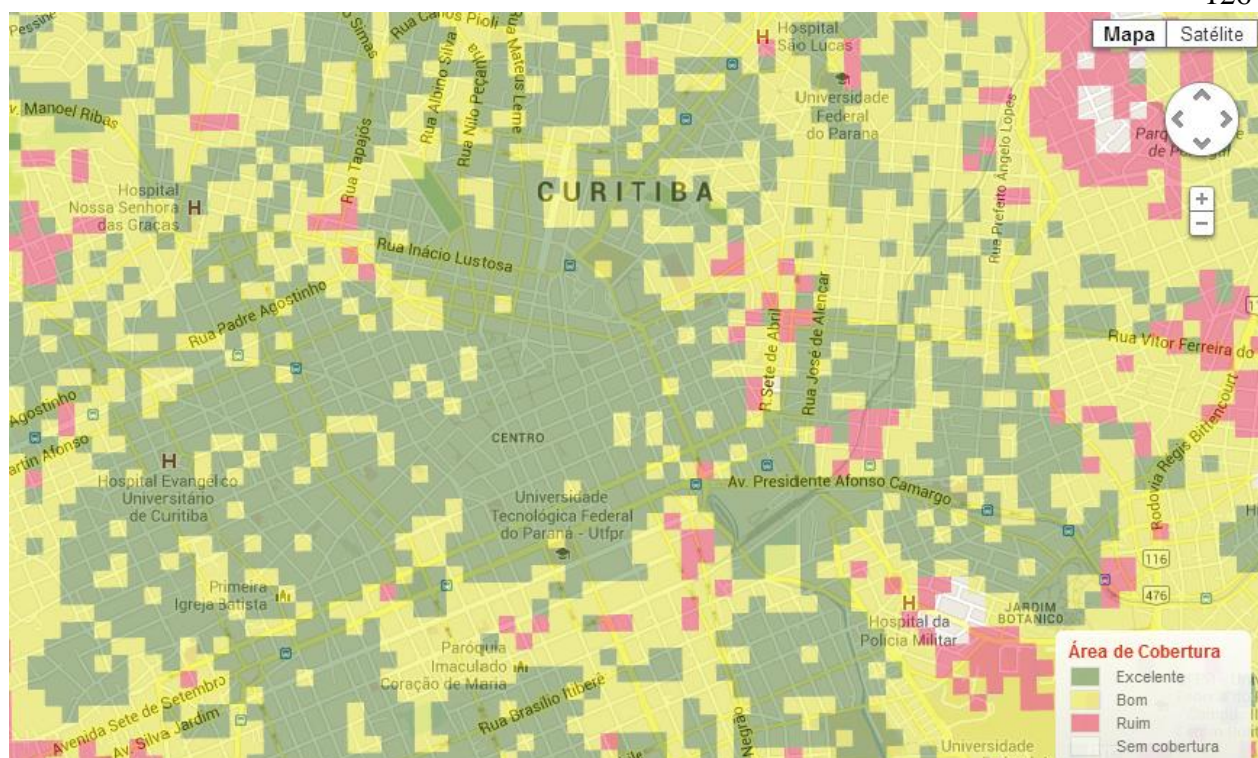


Fig. 36 - Mapa de cobertura 4G da operadora Claro na área central de Curitiba.

A operadora Claro possui uma plataforma que permite a visualização de sua planta de cobertura nos sistemas GSM, 3G e 4G, pela internet, através de uma associação entre os recursos do *Google Maps*, o sistema *Maplink* e seu *software* de cobertura.

Na Figura 37 é apresentada a cobertura 4G da operadora Tim na área central de Curitiba, a partir do qual é possível verificar a presença de áreas com cobertura total e de cobertura parcial.

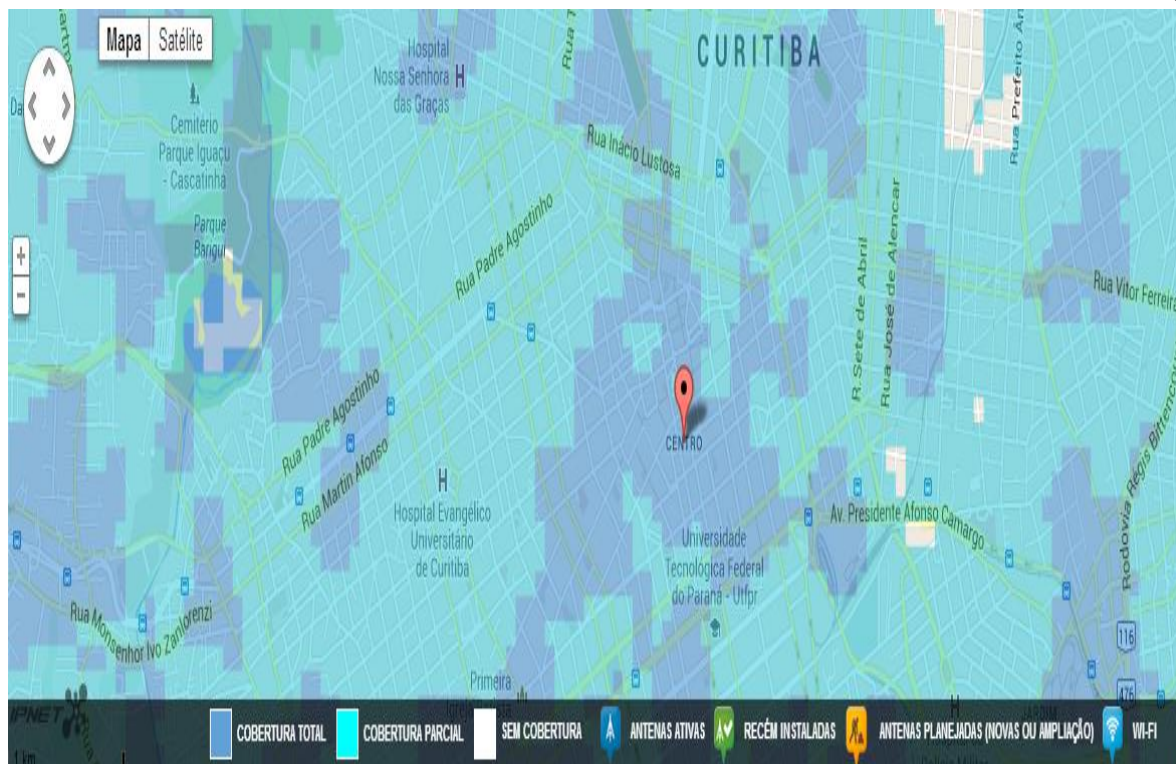


Fig. 37 - Mapa de cobertura 4G da operadora Tim na área central de Curitiba.

A operadora Tim, assim como a operadora Claro, possui uma plataforma que permite a visualização de sua planta de cobertura nos sistemas 2G, 3G e 4G.

Na Figura 38 é apresentada a cobertura 4G da operadora Oi na área central de Curitiba, a partir do qual consta apenas a informação da existência de cobertura 2G, 3G e 4G, não sendo apresentadas informações suficientes para um usuário concluir sobre a qualidade da cobertura nessa região.

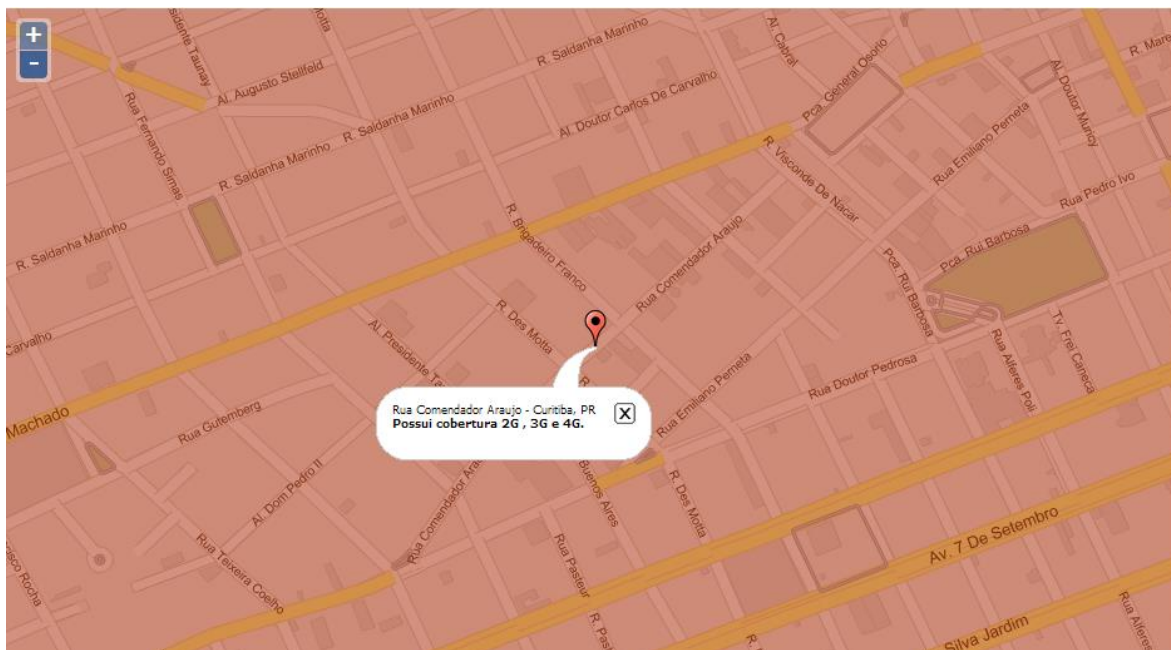


Fig. 38 - Mapa de cobertura 4G da operadora Oi na área central de Curitiba.

A operadora Oi, assim como as operadoras anteriores, possui uma plataforma que permite a visualização de sua planta de cobertura, também nos sistemas 2G, 3G e 4G.

Na Figura 39 é apresentada a cobertura 4G na operadora Vivo na área central de Curitiba, a partir do qual consta apenas a informação da existência de cobertura GSM, 3G e 4G, não sendo apresentadas informações suficientes para um usuário concluir sobre a qualidade da cobertura nessa região.

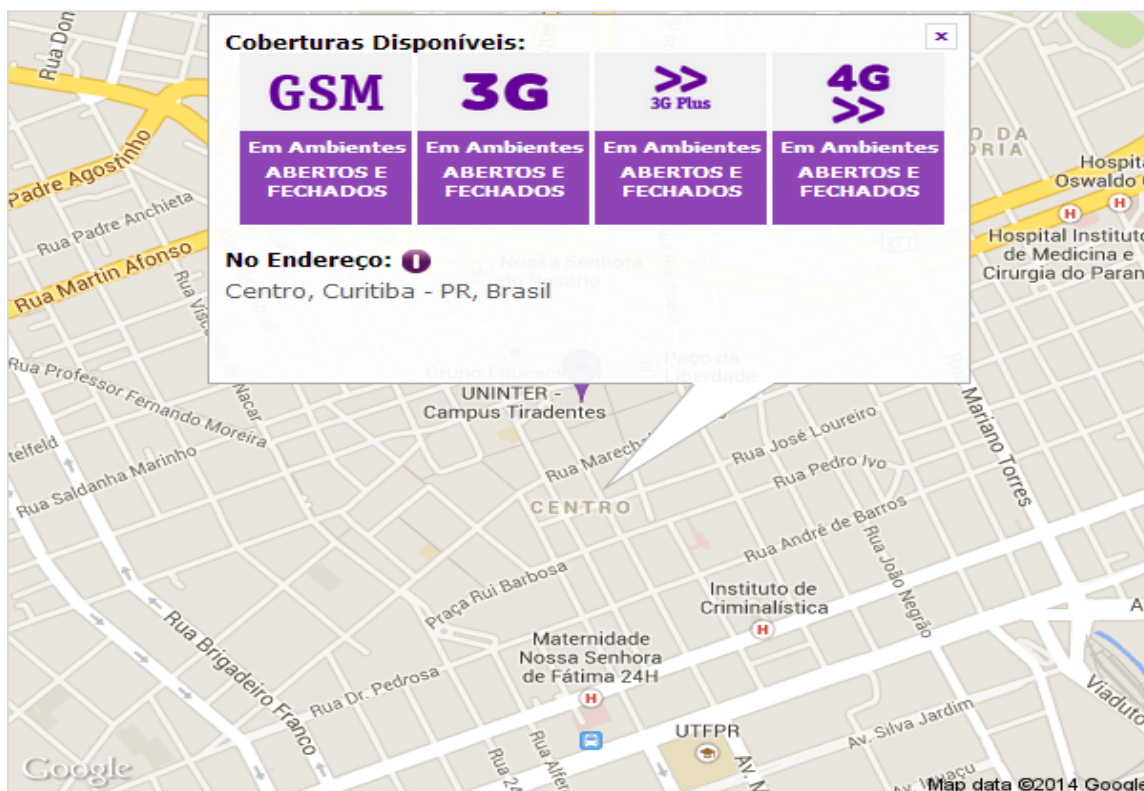


Fig. 39 - Mapa de cobertura 4G da operadora Vivo na área central de Curitiba.

Da mesma forma que a operadora Oi, a Vivo possui uma plataforma que permite a visualização de sua planta de cobertura, também nos sistemas GSM, 3G e 4G.

Entretanto, ao se utilizar outra fonte de simulação de mapas de cobertura, como é o caso do simulador da empresa *Open Sign*, a partir do qual chega-se a Figura 40, nota-se uma representação dos níveis de cobertura, por meio da intensidade dos sinais, como pode ser verificado na legenda.



Fig. 40 - Mapa de cobertura 4G Vivo, na área central de Curitiba, fornecido pela *Open Sign*.

Verifica-se que um dos problemas encontrados nas representações dos mapas de cobertura das operadoras atuantes em Curitiba, é justamente a não padronização na apresentação desses mapas, pois alguns são apresentados com diferentes cores, diferenciando a intensidade do sinal e, outros apenas incluem textos informativos da presença de determinada cobertura.

ANEXO IV – ACEITE DE ARTIGO

[NGMAST'14] Your paper #1569970853 ('Mobile Coverage in Curitiba, Brazil: methodology for measuring the quality of services using LTE') **has been accepted**, in 01/07/2014.

Dear Mr. Evandro Rolin :

The reviewing process for 8th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services, and Technologies 2014 has been completed. I am pleased to inform you that your paper 1569970853 (Mobile Coverage in Curitiba, Brazil: methodology for measuring the quality of services using LTE) for NGMAST'14 has been accepted.

Congratulations. PLEASE READ THE FOLLOWINGS CAREFULLY

1) The reviews are listed at the end of this e-mail or can be found at <http://edas.info/showPaper.php?m=1569970853>, using your EDAS login name evandro.rolin@ifpr.edu.br. You are requested to consider and improve your paper according to the reviewers' comments (if any).

2)IMPORTANT Deadline for registration and payment (10 July 2013): Only papers with at least one registered author with appropriate fees paid by this deadline will be considered for publication. International Participants: Payment is requested through Credit Card (or Paypal if you have a Paypal account). we will be informed automatically. In exceptional cases, payment by Bank transfer is possible but then you will need to send us a scanned copy of the bank transfer receipt as e-mail attachment to ngmast@glam.ac.uk. UK participant can always pay via bank transfer or Credit Card/Paypal.

Camera Ready papers submitted without payment will be discarded. If you have problem meeting this deadline please let us know on ngmast@glam.ac.uk

3)IMPORTANT: Do not submit final CR paper to EDAS. It must go directly to IEEE CPS!!

The following is a URL link to the Author's Final Paper Formatting and Submission Instructions webpage (Online Author Kit) for NGMAST 2014:

http://www.ieeeconfpublishing.org/cpir/authorKit.asp?Facility=CPS_Sept&ERoom=NGMAST+2014

If authors are having difficulty with understanding how to format their final papers or if any authors are having difficulty submitting both copyrights and their accepted papers, please forward any questions to Juan Guerrero [jequerrero@computer.org] or concerns from authors directly to me via email. Please ask authors to include the conference's acronym (NGMAST 2014) in the subject field.

IMPORTANT: Your paper will only be considered for publication if you register and pay registration fees. To do so please go to "Registration" menu bar on the website <http://www.ngmast.com>

Congratulations again and Thank you for contributing to NGMAST'14 and hope to meet you in Prague in September.

Regards,
NGMAST'14 Conference Team
ngmast@glam.ac.uk