

1

Introdução

O setor das comunicações móveis tem mostrado grande dinamismo nas duas últimas décadas. O início da década de 1990 foi marcado pelo crescimento exponencial dos usuários de voz em um ambiente cada vez mais competitivo e com a predominância da tecnologia GSM em todo o mundo como o padrão. A principal competição do UMTS é CDMA 2000, da 3GPP2, como ilustrado na figura 1.1. A clara necessidade de maiores taxas de transmissão de dados como uma condição necessária para o lançamento destes serviços encontrou uma resposta em HSPA e no equivalente EV-DO da 3GPP2, elementos que ajudaram ao crescimento exponencial do tráfego de dados observada desde 2007, juntamente com a generalização de taxas fixas para acesso à Internet móvel. O caminho apontado pelo 3GPP para atender as necessidades de tecnologia no horizonte 2010-2020 é o LTE. A predominância do LTE marca a conclusão do caminho paralelo da 3GPP2.

A evolução tecnológica ilustrada na figura 1.1 reflete, sem dúvida, a existência de um mercado altamente dinâmico que exige alta adaptabilidade e antecipação para atender as necessidades dos usuários, bem como para fazer frente aos concorrentes num ambiente caracterizado pela evolução dos modelos comerciais.

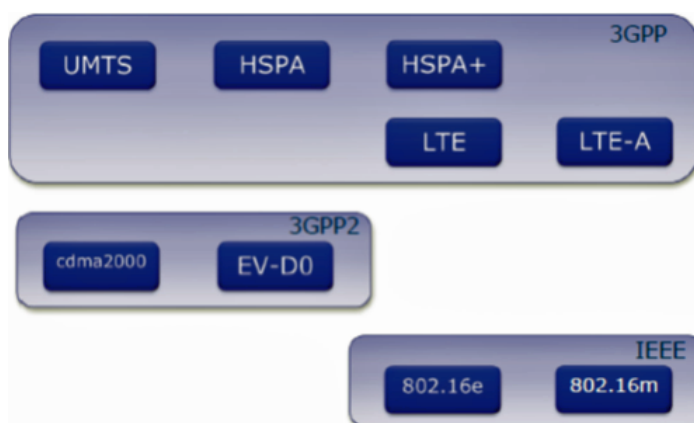


Figura 1.1: Visão geral dos sistemas móveis celulares 3G-4G.

Neste sentido, a figura 1.2 ilustra um dos principais paradigmas observados nos últimos tempos. Enquanto que o aumento do tráfego de voz supõe

um incremento nas receitas do operador ao faturar pelo estabelecimento de chamada e tempo de ocupação dos recursos do sistema, no caso do tráfego de dados se produz um desacoplamento entre os dois, associado à adoção de taxas fixas. Além disso, como é ilustrado na figura 1.3, o custo de instalação e operação de redes de comunicações móveis com a tecnologia atual mantém certa proporcionalidade com o volume do tráfego cursado para fornecer um QoS adequado de modo que, para preservar uma certa margem de lucro, é necessário reduzir os diferentes elementos da estrutura de custos o que é uma das razões principais para o desenvolvimento de um sistema como o LTE.

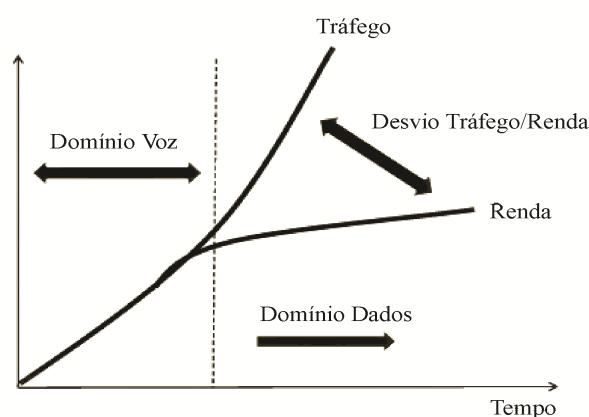


Figura 1.2: Paradigma da evolução do mercado das comunicações móveis.

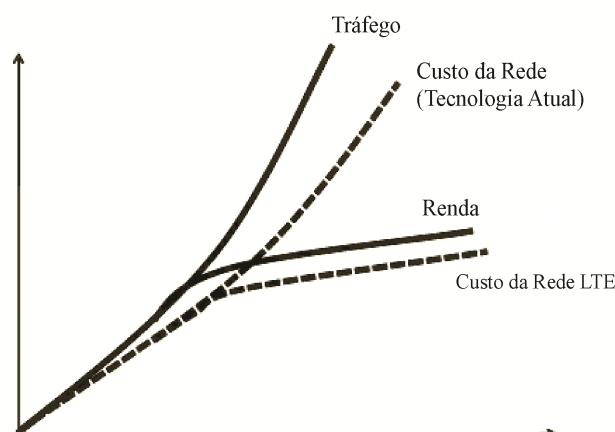


Figura 1.3: Relação do custo da rede com o volume do tráfego.

1.1 Padronização.

A tecnologia da informação e comunicações em geral e comunicações móveis em particular, têm um impacto decisivo no crescimento econômico, competitividade e melhoria de produtividade. O terminal móvel constitui,

hoje em dia, uma parte essencial entre os objetos pessoais. Neste contexto, a indústria de comunicações móveis tem fornecido soluções para o mercado. A globalização dos mercados e a procura de economias de escala são alguns dos principais argumentos apresentados, que podem justificar o interesse e o desenvolvimento de padrões resultado de um consenso entre os vários agentes envolvidos. Assim, os diferentes organismos de normalização e fóruns de padronização ganham uma importância muito significativa no quadro geral de negócios das comunicações móveis. Processos de normalização são custosos em tempo e esforço. Normalmente, o primeiro passo é estabelecer os requisitos que devem ser cumpridos o projeto do sistema que se quer padronizar. Depois disso, decide-se a arquitetura do sistema, com seus principais blocos e interfaces correspondentes. Em seguida, faz-se a especificação detalhada e os testes e verificações, que podem ser iniciados quando as especificações atingem um alto nível de estabilidade. O processo é iterativo. Por exemplo, podem ser adicionados, modificados ou removidos requisitos tendo em conta as soluções técnicas que são formuladas.

1.2

LTE-Advanced.

Ao mesmo tempo em que as especificações da UMTS R99 (3G) estavam sendo completadas, a ITU iniciou as primeiras considerações para dar soluções à IMT-2000, conhecida atualmente como *IMT-Advanced* e referida como 4G. A Resolução 228 (WRC-2000 e revisada em WRC-03) convidou a ITU-R a estudar em detalhe os aspectos técnicos e operacionais do futuro desenvolvimento do *IMT-Advanced*. O marco geral e os objetivos estão definidos na Recomendação ITU-R M.1645. Por outro lado, a Resolução ITU-R 57 estabelece os princípios e critérios essenciais para o desenvolvimento de Recomendações para interfase de rádio *IMT-Advanced*. No dia 7 de outubro de 2009 a 3GPP apresentou a proposta “*LTE Release 10 & beyond (LTE-Advanced)*”. Prevendo o início do processo *IMT-Advanced* na ITU, a 3GPP iniciou, em março de 2008, o *Study Item LTE-Advanced* [7]. O calendário da 3GPP está alinhado com o calendário da ITU, e as especificações do *Release 10* foram concluídas em 2011. A visão dentro da 3GPP é que o *LTE-Advanced* não deve limitar-se a cumprir os requerimentos do *IMT-Advanced*, mas deve perseguir objetivos mais ambiciosos. O LTE é o ponto de início para uma transição para o acesso 4G. Em outras palavras, *LTE-Advanced* é a evolução do LTE. Neste sentido, o *LTE-Advanced* deve garantir uma série de requisitos em relação à compatibilidade com *LTE Release 8*. Sob a compatibilidade espectral, o *LTE-Advanced* deve poder utilizar as bandas ocupadas pelo LTE. Assim sendo, o equipamento

LTE deve poder se incorporar nas funcionalidades do *LTE-Advanced* com uma complexidade e custo razoavelmente baixo. Os requisitos do *LTE-Advanced* estabelecidos na TR 36.913, são divididos em certas categorias gerais como capacidade (pico de velocidade de transmissão, latência), características do sistema (eficiência espectral, *throughput* na borda da célula, mobilidade, cobertura, etc.), desenvolvimento (espectro, coexistência e incorporação com *legacy RATs*, etc.), arquitetura da E-UTRAN e migração, complexidade, custo, etc. Para poder satisfazer os requisitos estabelecidos (por exemplo, velocidade de pico de até 1 Gbps no *Downlink* e 500 Mbps no *Uplink*), é necessário uma série de melhorias técnicas em relação ao LTE (*Release 8*). Algumas das principais componentes técnicas do *LTE-Advanced* são [7]:

- Adição da banda até 100 MHz, agregando vários componentes de 20 MHz para obter esta largura de banda, e assim, proporcionar as maiores taxas de transmissão de acordo com as exigências.
- Extensão de soluções para multi-antena, com até 8 níveis no *downlink* e 4 níveis no *uplink*, aumentando as taxas de transmissão atingíveis no enlace.
- Coordenação multiponto na transmissão e recepção (CoMP), o que permite um melhor desempenho na borda da célula, através da realização da transmissão / recepção a partir de células diferentes. CoMP é um termo relativamente geral, que inclui diferentes tipos de coordenação (*packet scheduling*, *beam-forming*, etc.) entre transceptores separados geograficamente.
- Uso de repetidores como um mecanismo para melhorar a cobertura e reduzir o custo de implantação.

1.2.1

Adoção do LTE no mundo.

Uma determinada tecnologia é considerada 4G quando é reconhecida como um sistema *IMT-Advanced* (4G). Em outubro de 2010 a ITU anunciou, oficialmente, o *LTE-Advanced* e *WirelessMAN-Advanced*, parte do Wimax IEEE 802.16m como tecnologias IMT-Advanced(4G) [46]. No 3T12 existiam 68.5 milhões de acessos 4G no mundo, sendo 24.8 milhões com tecnologia WiMAX e 43.7 milhões com tecnologia LTE. O tráfego de dados móveis está aumentando, agressivamente impulsionado pela maior adoção de *smartphone*, *tablets* e o crescente interesse por vídeos na internet. Diante deste cenário, o LTE foi adotado como próxima tecnologia pela maior parte das operadoras de celular do mundo. Segundo o 4G Américas, existiam 63 milhões de acessos

4G (LTE), sendo 33 milhões (52%) nos EUA e Canadá, 27 milhões (45%) na região Ásia Pacífico, 2.7 milhões (4.33%) na Europa, 93 mil (0.15%) na América Latina, 0.06% no Oriente médio e 0.03% na África [46].

A implantação das redes de LTE pode se utilizar de um novo espectro:

- 700 MHz ou 800 MHz, faixas de frequências liberadas com o término da transição da radiodifusão de TV analógica para a TV Digital, como já aconteceu nos Estados Unidos;
- 2.6 GHz que deverão ser utilizadas pelas operadoras na Europa e no Brasil ou ainda;
- Em espectro “*refarmed*”, incluindo a banda de 1800 MHz, que está ganhando entre um número de operadores de rede.

O padrão LTE é o padrão de 4G predominante no Brasil sendo adotado por todas as operadoras. A Anatel realizou, em 2012, uma licitação de frequências em 2500 MHz para a implantação de redes 4G [46]. As empresas que adquiriram estas frequências foram: Vivo, Tim, Claro, Oi, *Sky* e *Sunrise*. A tabela 1.1 a seguir apresenta os fornecedores de redes 4G para as operadoras no Brasil.

Operadora	Fornecedores
Telefônica/Vivo	Ericsson e Huawei
Tim	Ericsson, Huawei e Nokia Siemens
Claro	Ericsson e Huawei
Oi	Alcatel Lucent, Ericsson e Nokia-Siemens
Sunrise	Huawei

Tabela 1.1: Fornecedores para os operadores no Brasil.[46]

1.2.2

Estatísticas de Celulares no Brasil.

O Brasil fechou em Janeiro de 2013 com 262.3 milhões de celulares e 132.85 celulares por cada 100 habitantes. As adições líquidas, em janeiro, foram de 482 mil celulares.

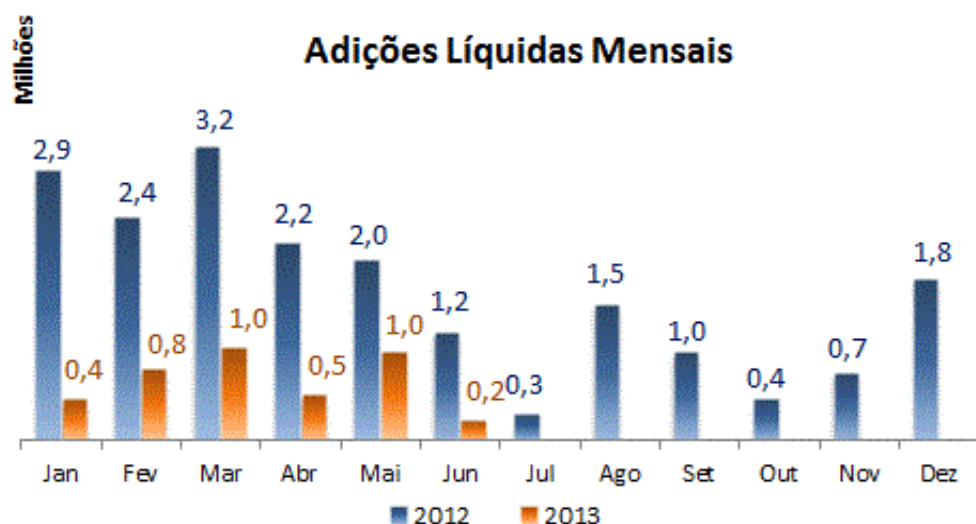


Figura 1.4: Crescimento de celulares no Brasil.[46]

1.3

Objetivos do Trabalho

Os objetivos deste trabalho são o desenvolvimento de uma metodologia para o planejamento de cobertura e dimensionamento da capacidade dos sistemas *LTE-Advanced* e a utilização desta metodologia para a comparação do desempenho que pode ser obtido pelo sistema nas bandas de frequência 700 MHz e 2,6 GHz.

No capítulo 2 é apresentado um estudo do sistema *LTE-Advanced* (*Release 10*), onde se mostra as principais características do sistema, a arquitetura da rede e da camada física do LTE tanto para o *downlink* como para o *uplink*.

Ao longo do capítulo 3 são apresentados os modelos para o cálculo de cobertura e interferências em sistemas *LTE-Advanced* e um estudo dos modelos para caracterização de canais em Banda Larga. Ainda nesse capítulo são apresentadas as características e uma análise de desempenho dos diversos modos MIMO. Finalmente é apresentada, em detalhe a etapa do Cálculo do Enlace, que é uma das fases fundamentais no planejamento celular.

O capítulo 4 descreve o passo a passo para o dimensionamento de redes *LTE-Advanced* são apresentados os parâmetros de avaliação do desempenho da rede. Por último, são discutidas ferramentas para o planejamento de uma rede móvel.

O capítulo 5 apresenta o estudo de caso realizado, abordando o projeto que consiste no dimensionamento de cobertura e capacidade de uma rede de acesso sem fio para prover serviços de banda larga móvel num bairro

do Rio de Janeiro, nas frequências de 2.6 GHz e 700 MHz. Para fazer o planejamento utilizamos as características do *LTE-Advanced* com uma banda de 100 MHz e foi feito o calculo dos *eNodeB* necessários para dar cobertura e uma capacidade determinada na zona de estudo. É apresentada a comparação entre as demandas para prover a cobertura e a capacidade desejada nas duas frequências.