2.
Tecnologia LTE (*Long Term Evolution*)

O LTE (*Long Term Evolution*) surge como uma evolução das redes 2G (GSM) e 3G (UMTS) existentes. Espera-se que o LTE seja capaz de absorver, eficientemente o crescente volume de dados trafegados pelas redes celulares da atualidade.

Esta nova tecnologia tem por objetivo somar melhorias ao padrão de telefonia móvel UMTS, também conhecido como redes de terceira geração e que segundo informações divulgadas em Fevereiro de 2010 pela GSA (*Global Móbile Supliers Association*), estaria presente em 135 países, somando-se 325 redes lançadas comercialmente até a presente data.

O LTE traz consigo aspectos relevantes que o tornam o principal sucessor das tecnologias existentes, tais como maior eficiência espectral, redução da latência, taxas de dados elevadas, melhorias de capacidade, de cobertura e redução dos custos, levando esta tecnologia a uma evolução da interface aérea e de *core*.

A evolução da interface aérea do UMTS para o LTE é, na verdade, um novo e completo sistema, contemplando no *Release* 8 do 3GPP, baseado no OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) no *downlink*, SC-FDMA (*Single-Carrier* FDMA) no *uplink* e em um eficiente suporte a antenas com tecnologia MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*). A arquitetura resultante desta evolução é chamada EPS (*Evolved Packet System*) e comprende E-UTRAN (*Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network*) para o acesso e EPC (*Evolved Packet Core*) para o núcleo da rede.

Uma característica fundamental das redes LTE, também denominada 4G, é que o núcleo deverá ser fundamentalmente baseada em TCP/IP, assumindo que a voz será servida através de *Packet Switch* (PS), uma vez que o VoIp (*Voice Over Internet Protocol*) tem se mostrado um método eficiente para se transferir dados de voz.

Com o crescente avanço das tecnologias de redes de comunicação, as pessoas estão descobrindo facilidades de acessar, de qualquer lugar e estando sob cobertura da rede celular, enormes quantidades de informações, na forma de textos, gráficos, áudios e vídeo. À medida que os tamanhos dos arquivos transmitidos se tomam cada vez maiores e os canais de acesso vão ficando

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

congestionados há a necessidade de empregar tecnologias que permitam um maior fluxo de dados.

O LTE irá possibilitar o tráfego de serviços de comunicações de grandes volumes de altas taxas de dados em conjunto com a facilidade e rapidez de implantação de redes sem fio em comparação com as redes baseadas em cabos.

O LTE representa uma tecnologia de evolução natural ao UMTS em expansão e um importante avanço tecnológico na área de redes sem fio, em virtude das perspectivas em termos de desempenho e cobertura.

2.1
Evolução das Redes Celulares

O GSM (*Global System for Móbile Communications*) se tornou o sistema de comunicações móvel mais popular no mundo, sendo tratado como um sistema de segunda geração (2G), pois emprega a tecnologia digital para os canais de tráfego e controle. Como evolução das redes GSM, que originalmente apresentavam baixa eficiência na transferência de dados, temos o GPRS (*General Packet Radio Service*), uma tecnologia que eleva as taxas nas redes GSM existentes. O GPRS permite a transferência de dados por pacotes, possibilitando taxas de transferências mais altas que as anteriores, onde se fazia uso da transferência dos dados apenas por circuito.

Representando uma evolução das tecnologias de segunda geração rumo à terceira geração, surge por volta de 2003 o EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) ou EGPRS (*Enhanced Data Rates for GPRS Evolution*), possibilitando que as operadoras passassem a oferecer maiores taxas de dados usando a mesma portadora de 200 KHz de banda ou faixa, adicionando-se um novo esquema de modulação, o 8PSK, minimizando problemas de interferência.

Usada cada vez mais para o tráfego de dados, as redes celulares continuaram sua evolução tecnológica e, seguindo a tendência de crescimento e inovação a partir do GSM, temos o surgimento do UMTS (*Universal Móbile Telecommunications System*), termo adotado para designar esta que é a tecnologia de 3ª Geração (3G) que utiliza como interface radio o WCDMA (*Wide-Band Code Division Multiple Access*). O WCDMA é uma tecnologia de acesso rádio que provê capacidade de

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

transmissão de 384 Kbps no R99 (Release 99), e que permite o uso mais eficiente do espectro.

Da mesma forma que ocorreu no GSM, no UMTS também temos pacotes que permitem que maiores taxas de dados sejam atingidas fazendo-se uso da mesma banda de 5 MHz. Para suportar maiores taxas no *downlink*, utiliza-se o HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*), permitindo a transmissão de dados com taxas de ate 14.4 Mbps. O HSDPA utiliza um novo canal físico (HS-PDSCH) e de transporte (HS-DSCH), cujas diferenças em relação aos canais compartilhados do WCDMA são, principalmente, a utilização da modulação 16 QAM, a retransmissão automática hibrida (HARQ) e a modulação e codificação adaptativa (MAC).

O subsistema que permite que taxas elevadas sejam atingidas no *uplink* é denominado de HSUPA (*High-Speed Uplink Packet Access*), permitindo taxas de ate 5.8 Mbps quando a modulação empregada é o QPSK, ou taxas de até 12 Mbps quando a modulação 16 QAM passa a ser utilizada. O HSUPA usa o canal dedicado E-DCH (*Enhanced Dedicated Channel*) para oferecer maiores taxas.

Dando continuidade a novas funcionalidades oferecidas no WCDMA, existe, ainda, um novo subsistema denominado HSPA+, um pacote que traz inovações tanto para o *donwlink* quanto para o *uplink*, permitindo, em um primeiro momento, taxas de aproximadamente 21 Mbps no *downlink* através da utilização da modulação 64 QAM. À medida que novas características são adicionadas a este subsistema, podem-se atingir taxas ainda maiores. Para se ter uma idéia, fazendo-se uso de sistemas MIMO e também de múltiplas portadoras, taxas da ordem de 80Mbps no *downlink* e 40 Mbps no *uplink* podem ser atingidas.

2.2
Arquitetura da rede LTE

Existe, há alguns anos, uma tendência para que as redes migrem os serviços que utilizam *circuit switch* (CS) para uma rede baseada totalmente em IP, *packet switch* (PS). Na prática, isto já pode ser observado nas redes fixas, onde algumas operadoras já migraram seus serviços de telefônica para *packet switch*, oferecendo ambos os acessos de *internet* e telefonia via DSL ou *cable modem*. Nas redes *wireless* esta tendência ainda não foi iniciada. Isto se deve ao fato da arquitetura

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

das redes existentes (2G, 3G e outras) ainda ser otimizada para CS, tanto no acesso quanto no *core*. Além disto, a implementação de VoIP nas redes sem fio atuais aumentaria, significativamente, a quantidade de dados transferidos na interface ar, fazendo com que a capacidade para as chamadas de voz via CS fosse reduzida .

Por outro lado, a busca incessante pelo aumento das bandas de transmissão fez com que o 3GPP decidisse que a próxima geração de telefonia móvel seria baseada somente em PS. Como resultados, inicialmente surgiram duas pesquisas separadas, o programa LTE (*Long Term Evolution*), focado no projeto de uma nova arquitetura para a rede de acesso e interface ar, e o programa SAE (*Service Architecture Evolution*). Mais tarde, estes dois programas foram combinados em uma frente única de trabalho, o EPS (*Evolved Packet System*).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

2.2.1. Estações Base Melhorada (*Enhanced Base Stations*)

No LTE temos uma nova arquitetura, totalmente diferente da que vinha sendo utilizado nas tecnologias anteriores, e um exemplo disto é a estação rádio base, denominada de *eNodeB* (*Enhanced NodeB*), que no LTE passa a realizar tarefas de processamento, antes realizadas na RNC (*Radio Network Controller*).

As *Enhanced NodeB* do LTE são denominadas desta forma (eNodeB ou eNB), para se diferenciar da nomenclatura utilizada no UMTS (NodeB).

A Figura 2.1 mostra os principais componentes de uma rede LTE (núcleo e Acesso). No LTE a rede é menos complexa do que no UMTS, por exemplo, não existe a topologia do RNC (*Radio Network Controller*) existente no UMTS, onde parte de suas funcionalidades foram transferidas para a *eNodeB* e parte para o Core Network Gateway. No LTE também não teremos a central controlando os elementos na rede de acesso. A *eNodeB* irá realizar o controle de tráfego na interface aérea assegurando QoS (*Quality of Service*) para os serviços oferecidos.

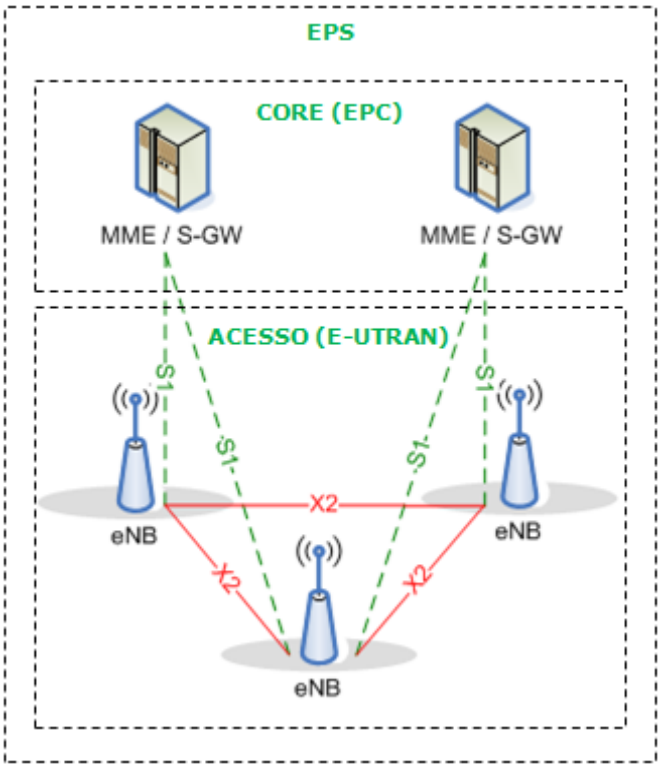

Figura 2.1: Arquitetura LTE

A eNB também será responsável pelas decisões de *handover* dos móveis, através da comunicação entre os elementos, fazendo uso da interface X2, no entanto, é possível que na falta da comunicação através de X2 (interface opcional), a comunicação entre as estações base seja realizada através de outra via no *Access Gateway*. Neste caso, os dados do usuário não serão transmitidos durante o *handover*, podendo ocasionar perda de pacotes. No LTE temos somente o *hard handover*, ou seja, apenas uma única célula ira se comunicar com o móvel em um mesmo momento. A *eNodeB* é conectada com o *gateway* através da interface S1 (baseada em IP). No LTE, o *eNodeB* é preparada para trabalhar com portas *Ethernet* de 100 Mbps e 1 Gbps.

2.2.2

Núcleo da Rede e *Gateway* **(*Core Network e Gateway*)**

O *Gateway* entre a rede de acesso e o *core* é dividido em duas entidades: *Serving Gateway* (*Serving-GW*) e *Mobility Management Entity* (MME). Juntos, eles são responsáveis por tarefas semelhantes às controladas pelo SGSN (*Serving*

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

GPRS Support Node) do UMTS . Na prática, estas duas entidades lógicas podem ser implementadas no mesmo *hardware* físico, ou separadas em níveis diferentes. Quando separadas, a interface S11 será a responsável pela comunicação entre elas.

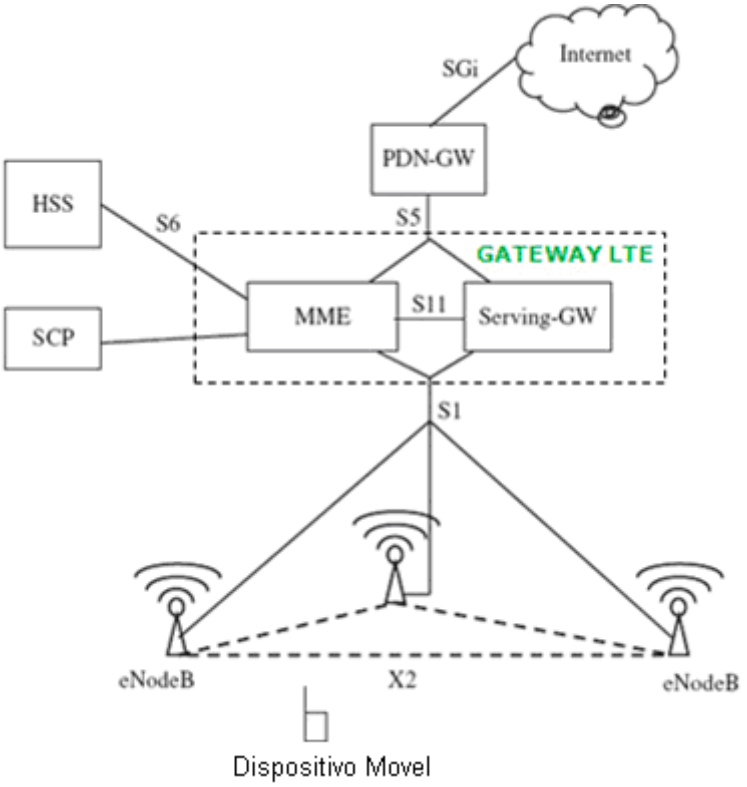

Figura 2.2: Arquitetura de core da rede (Core Network) LTE

O MME (*Mobile Management Entity*) é responsável pela mobilidade do usuário e pela sinalização incluindo autenticação, estabelecimento de conexões, suporte ao *handover* entre diferentes *eNodeBs* e entre diferentes tecnologias (ex. GSM, UMTS). É responsável, também, pelo móvel no modo *idle*, (quando ainda não temos o estabelecimento de conexões com alguma portadora). O MME também é responsável pela seleção do PDN-GW quando o móvel requer estabelecimento com endereços IP da rede.

O *Serving Gateway* é responsável pelo encaminhamento de pacotes IP entre o móvel e a *internet*. Do ponto de vista de capacidade, a capacidade da MME depende da carga de sinalização da rede (S1-C- *Control Plane*), e a capacidade de

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

uma *Serving Gateway* (S1-U – User Plane) depende da carga de tráfego dos usuários. A separação destas entidades neste ponto de vista é interessante, agregando facilidades para o dimensionamento. No LTE, o roteador é chamado *Packet Data Network* (PDN- *Gateway*, PDN-GW), sendo responsável em desempenhar as mesmas tarefas que o GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) do UMTS. A quantidade de PDNs depende do número de usuários, da capacidade de *hardware* e da quantidade de dados trafegados pelos usuários. Assim como o HLR (*Home Location Register*) para o UMTS, no LTE existe o HSS (*Home Subscriber Server*). Essencialmente, o HSS é considerado um *Enhanced* HLR. O HSS é a combinação dos dados dos usuários, sendo utilizado simultaneamente pelo GSM, UMTS e LTE. A comunicação entre o HSS e a MME é realizado pela interface S6, como descrito na Figura 2.2.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

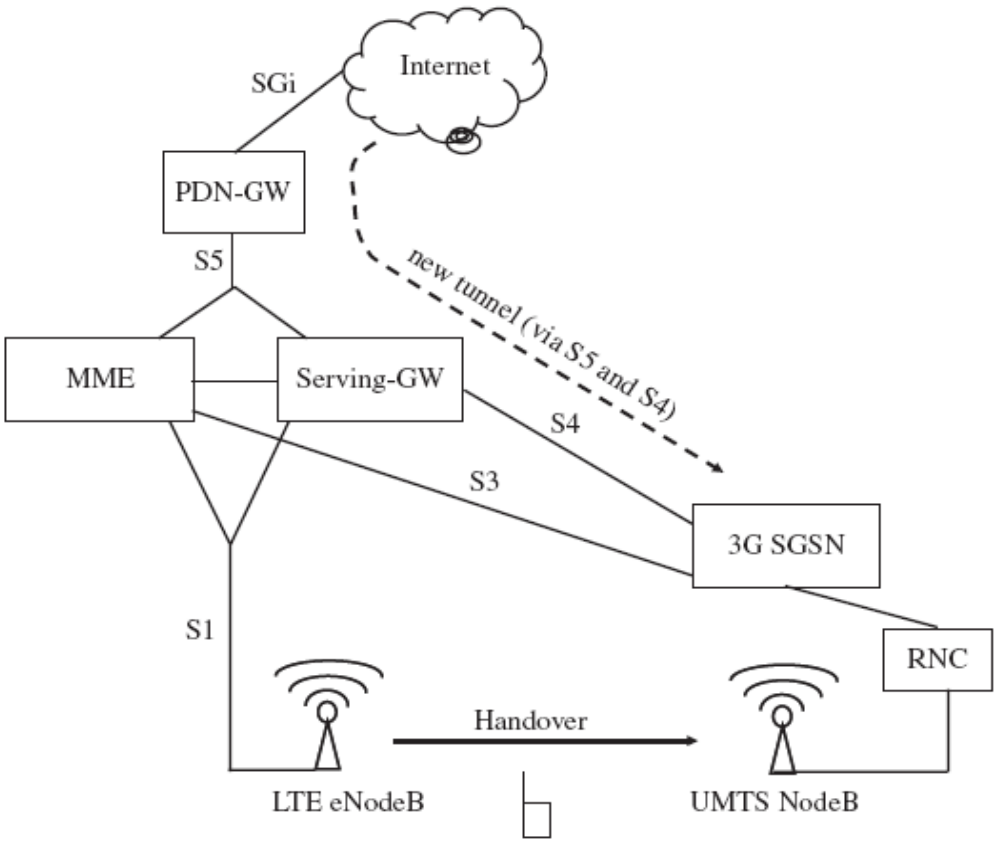

Figura 2.3: Handover entre LTE e UMTS

Quando um usuário se move para fora de uma área coberta pelo LTE, o móvel reporta para a *eNodeB* que uma célula UMTS ou GSM foi encontrada . Essa informação é passada para o MME, que tem a responsabilidade de conectar e

trocar informações com o SGSN responsável (UMTS, GSM) solicitando o procedimento de *handover*, Quando a rede UMTS ou GSM estiver preparada para receber o móvel, o MME envia uma mensagem de *handover* para a *eNodeB* responsável para comunicar o móvel. Após a execução do handover, o túnel de dados entre o *Serving Gateway* e a *eNodeB* é roteado para o novo SGSN. O MME é liberado do controle do usuário, que é repassado para o novo SGSN. O *Serving Gateway*, no entanto, continua com o caminho do usuário e ativa o GGSN do ponto de vista do SGSN. Do ponto de vista do SGSN, a interface entre GGSN e *Serving Gateway* é considerada como uma interface transparente entre SGSN e GGSN. A Figura 2.3 mostra, na prática, como um usuário se move de uma cobertura LTE para uma cobertura UMTS dentro da rede de uma mesma operadora**,** podemos observar a estrutura que pode ser implementada por uma operadora que possua redes GSM, UMTS e LTE integradas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

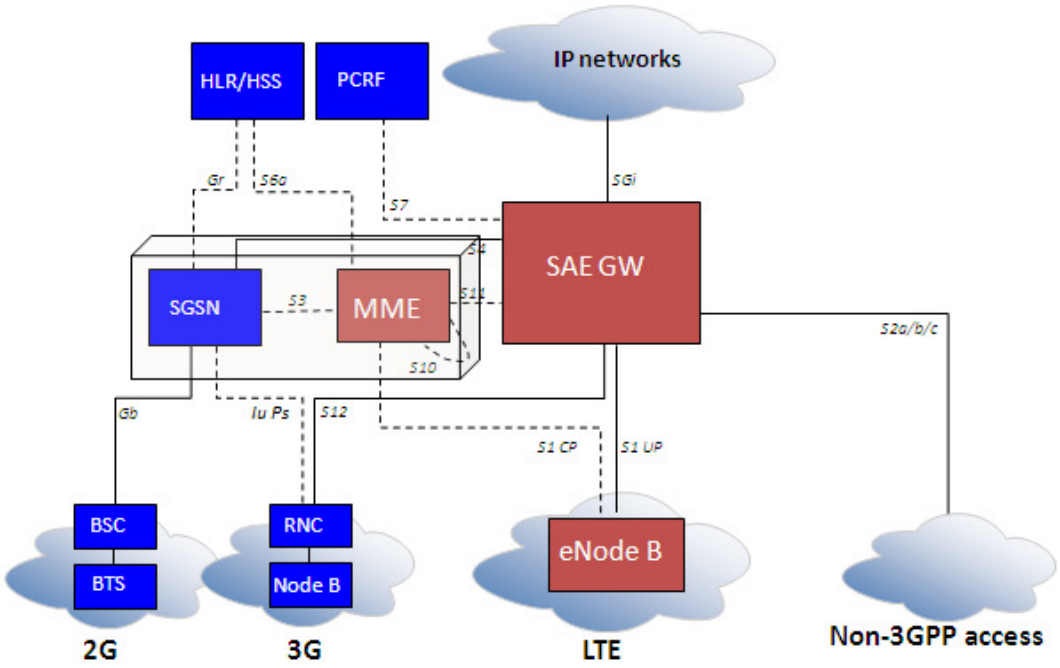

Figura 2.4: Integração de Redes GSM, UMTS e LTE

2.3
Faixas de Frequências

As faixas de frequência consideradas para o padrão LTE estão divididas em dois grupos, de acordo com os modos de operação: FDD (*Frequency Division Duplex*) e TDD (*Time Division Duplex*) [15].
Na Tabela 2.1 podemos verificar as frequências de operação definidas pela 3GPP em Maio de 2009

FDD

Banda	Frequências UL/DL (MHz)
1	1920 - 1980 / 2110 - 2170
2	1850 - 1910 / 1930 - 1990
3	1710 - 1785 / 1805 - 1880
4	1710 - 1755 / 2110 - 2155
5	824 - 849 / 869 - 894
6	830 - 840 / 875 - 885
7	2500 - 2570 / 2620 - 2690
8	880 - 915 / 925 - 960
9	1750 - 1785 / 1845 - 1880
10	1710 - 1770 / 2110 - 2170
11	1428 - 1453 / 1476 - 1501
12	698 - 716 / 728 - 746
13	746 - 758 / 776 - 788
14	758 - 768 / 788 - 798
17	704 - 716 / 734 - 746

TDD

Banda	Frequências UL/DL (MHz)
33, 34	1900 - 1920 / 2010 - 2025
35, 36	1850 - 1910 / 1930 - 1990
37	1910 - 1930
38	2570 - 2620
39	1880 - 1920
40	2300 - 2400

Tabela 2.1 – Freqüências definidas pelo 3GPP para o LTE

Nos sistemas FDD, o tráfego de DL e UL são transmitidos simultaneamente em frequências separadas. Com o TDD, as transmissões de DL e UL são descontinuadas na mesma frequência. Como exemplo, se o tempo para DL e UL for dividido em 1/1, o *uplink* utiliza metade do tempo e a média da potência para cada *link* é a metade da potência de pico. Como a potência de pico é limitada por regulamentações, o resultado é que, para a mesma potência de pico, o modo TDD oferece uma menor cobertura que o modo FDD. As operadoras quando fazem uso do modo TDD, habitualmente configuram o sistema DL/UL em 3/1. Para se obter

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

uma cobertura parecida quando comparando a sistemas FDD, se faz necessária a instalação de 120% de ERBs a mais no modo TDD.

Acredita-se que, para o Brasil, as bandas 1,7 e 13 sejam as utilizadas na implantação das redes, a começar pela banda 7.

Em nosso estudo iremos considerar esta banda de 2500 MHz.

No LTE existe a possibilidade de escalonamento da banda, variando-se desde 1.4 MHz ate 20 MHz [34], como pode ser observado na Figura 2.5

Figura 2.5: Possibilidades de configuração de largura de banda

2.4.
Tecnologias de Acesso

2.4.1
Tecnologia OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

O OFDM, Multiplicação Ortogonal por Divisão de Freqüência (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), é uma técnica complexa de multiplicação, baseada na idéia da multiplicação pela divisão da freqüência (FDM)

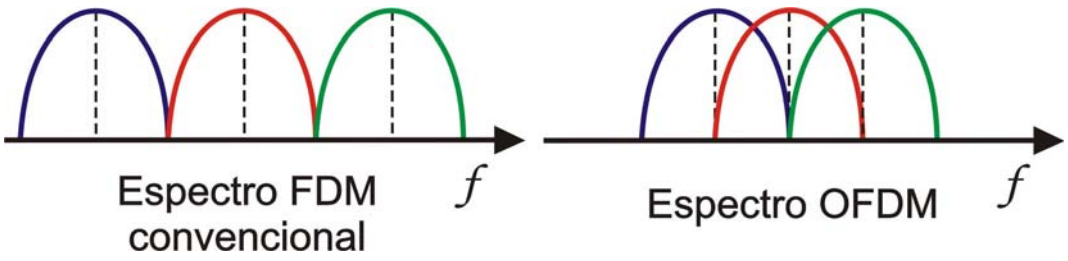

Figura 2.6: Disposição das portadoras na Modulação FDM e OFDM

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

Na técnica de OFDM, em vez de utilizar bandas de guarda entre as portadoras para poder separá-las, emprega-se uma sobreposição das mesmas, como demonstrado na Figura 2.6, resultando em um ganho espectral de até 50% em relação a técnica FDM.

O OFDM é uma técnica que distribui a informação de dados sobre um grande número de frequências, denominadas de subportadoras, que são espaçadas em frequências precisas. Este espaçamento provê a ortogonalidade no sentido matemático, o que previne que não ocorra interferência entre as portadoras na demodulacao. Os benefícios de OFDM são alta eficiência espectral, robustez contra interferência de radiofreqüência (RF) e baixa distorção por propagação multi-percurso.

No OFDM emprega-se a técnica IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) na modulação e FFT (*Fast Fourier Transform*) na demodulação, utilizando-se 256 portadoras, onde cada canal de frequência pode ser modulado com uma modulação simples QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) ou PSK (*Phase Shift-Keying*) [2].

Visando-se o compartilhamento dos recursos do espectro por múltiplos usuários, foi criada a técnica OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), que é um refinamento da OFDM. No OFDMA os sub-canais são alocadas no domínio da frequência e os símbolos OFDM são alocados no domínio do tempo, conforme ilustrado na Figura 2.7**.** [34]

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

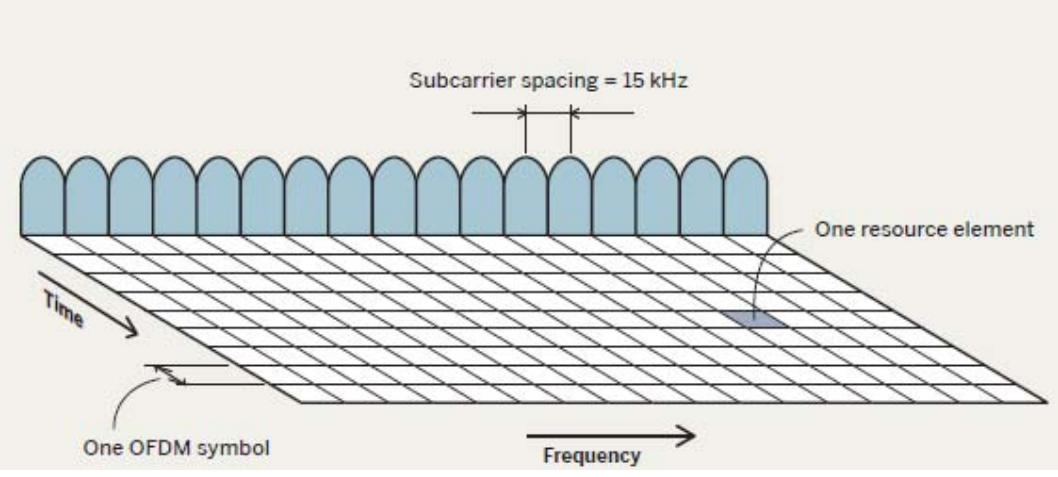

Figura 2.7: Configuração de acesso no OFDM

2.4.2
Tecnologia OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access*)

Foi decidido, que no LTE, que o esquema de transmissão de dados na interface aérea seria um novo esquema, completamente diferente do WCDMA do UMTS. Em vez de se usar uma única portadora como é feito no 3G, utiliza-se o esquema de transmissão denominado OFDMA, onde são transmitidos dados com múltiplas portadoras estreitas, simultaneamente, como 512, 1024 ou mais subportadoras, dependendo da banda utilizada. Por exemplo: 5, 10, 20 MHz. Na Figura 2.8, podemos observar a transmissão OFDMA, empregando-se IFFT na transmissão e a FFT na recepção.

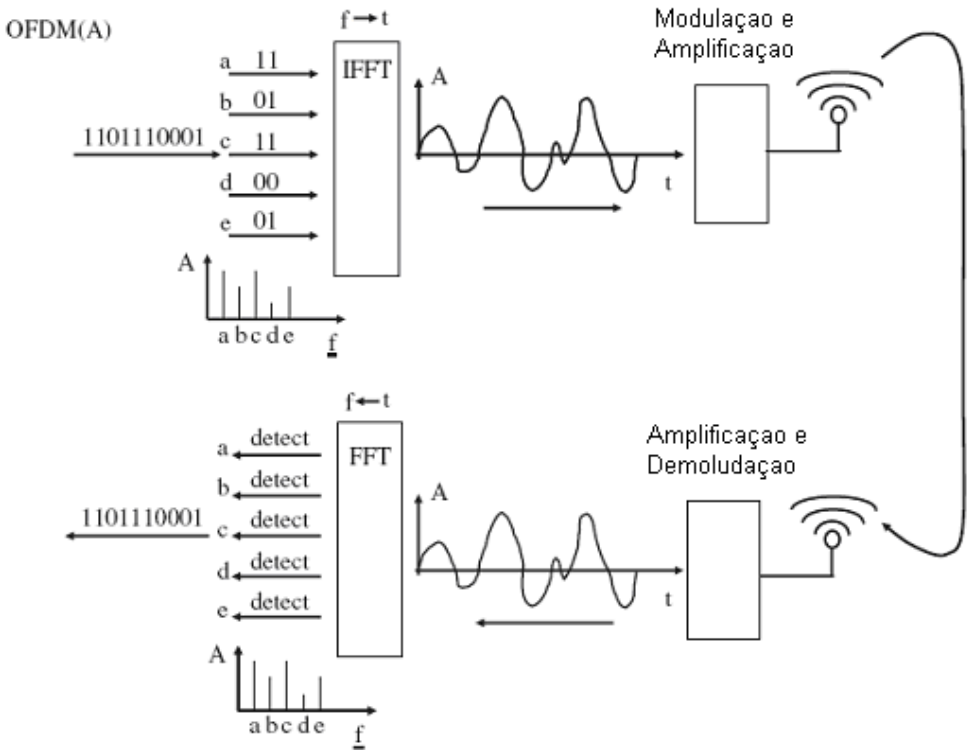

Figura 2.8: Transmissão OFDMA

O OFDMA tem sua camada física baseada no OFDM, tecnologia empregada no *downlink* do LTE. Desta forma, semelhante ao OFDM, o OFDMA emprega múltiplas subportadoras sobrepostas no domínio da frequência, fato que pode ser observado na Figura 2.9 [2].

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

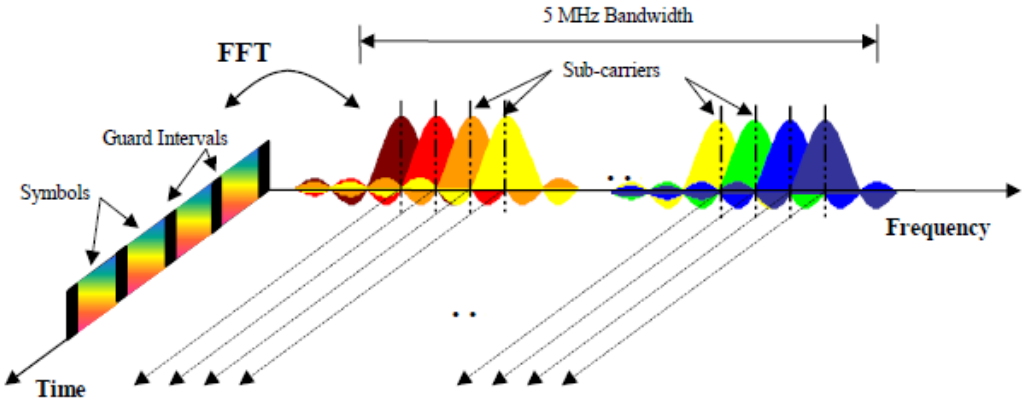

Figura 2.9: Tecnologia OFDMA

A principal diferença está na subdivisão das subportadoras em grupos, onde cada grupo, formado por 12 subportadoras, com espaçamento regular de 15 KHz cada, formam um "*resource block*". O número de *resource blocks* está associado à banda disponível, conforme apresentado na Tabela 2.2. A duração de um símbolo OFDM é de 66,667 µs e o prefixo cíclico padrão é de 4,7 µs. Logo, o tempo total de transmissão de um símbolo OFDM é de 71,367 µs.

O prefixo cíclico é transmitido antes de cada símbolo OFDM como medida de prevenção ao multi-percurso. Para aplicações onde existe grande degradação por multi-percurso, um prefixo cíclico de 16,67 µs pode ser utilizado, no entanto este maior prefixo cíclico faz com que seja reduzido o *throughput*, mantendo-se a mesma duração do símbolo.

Canal (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Resource Blocks (Blocos de Recurso)	6	15	25	50	75	100
Sub-Portadoras	72	180	300	600	900	1200

Tabela 2.2: Blocos de recurso e subportadoras

Como os dados são alocados em *resource blocks*, um usuário pode ser alocado em um *resource block* inteiro no domínio da frequência. No domínio do tempo, a

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

alocação deve ser analisada e pode ser modificada na transmissão em intervalos de 1ms (esta decisão é tomada no *eNodeB*). O conjunto de múltiplas sub-portadoras são independentes quanto à modulação e, no LTE, elas podem ser moduladas em QPSK, 16QAM ou 64QAM.

O menor arranjo de dados agregados é referido ao *resource block*, que contém 12 subportadoras e 7 símbolos para cada subportadora (no caso de se utilizar o prefixo cíclico curto). Este grupo de 12 subportadoras (*resource block*) tem uma banda de 180 KHz e 0.5 ms de duração no domínio do tempo (1 *slot*). Dois *slots* são agrupados em um sub-quadro, referente a um TTI (*Transmit Time Interval*).

Dez sub-quadros são agrupados juntos para formar um quadro de rádio único, com duração de 10 ms como amostra a Figura 2.10. A menor quantidade de *resource elements* (símbolos) que pode ser alocada para um único usuário em um determinado instante de tempo são dois *resource blocks*, o que significa um sub-quadro (ou um TTI).

A fim de aumentar as taxas de dados para os dispositivos móveis, a alocação dos recursos da rede pode concatenar vários *resource blocks* no domínio do tempo e da frequência.

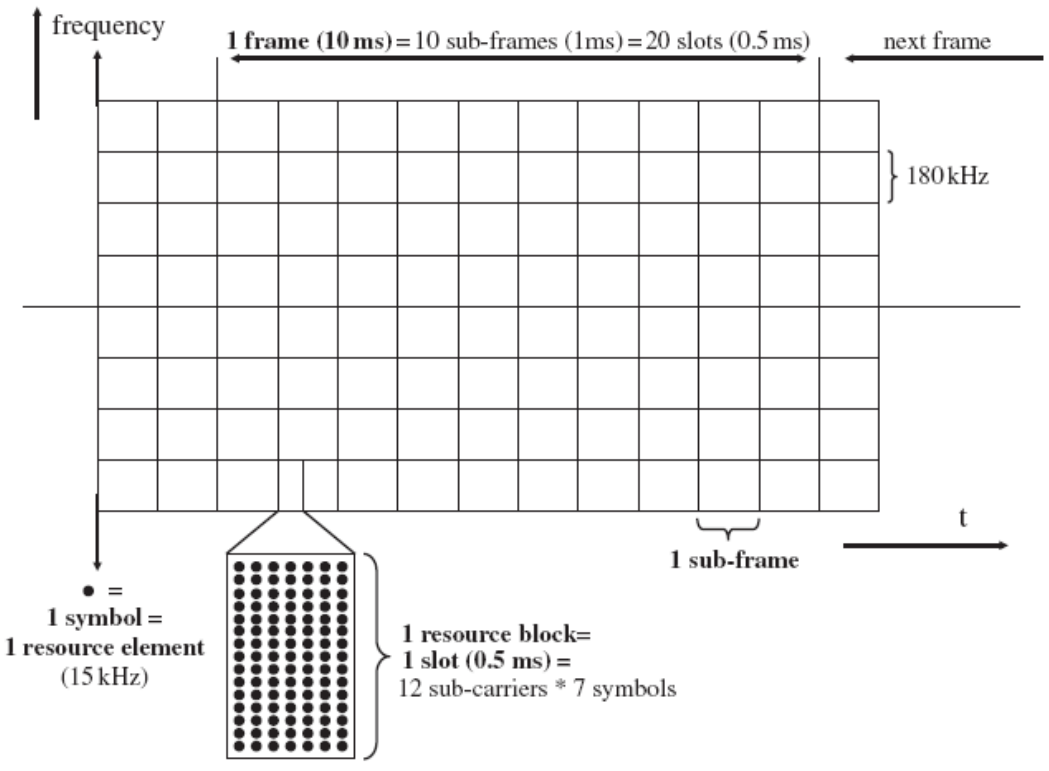

Figura 2.10: Acesso no LTE

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

E importante deixar claro que nem todos os *resource elements* de um *resource block* são alocados para a transmissão de dados, podendo ser utilizados também para outros fins, como por exemplo, a referência do canal piloto e medidas de qualidade dos canais de *downlink* [3].

2.4.2.1
Blocos de Recurso (*Resource Blocks*)

O termo *Resource Block* é utilizado para descrever o mapeamento dos canais físicos que descrevem os *Resource Elements*. Fisicamente, podemos definir um *resource block* como um conjunto de símbolos OFDM consecutivos no domínio do tempo, em consecutivas subportadoras no domínio da frequência [3].

No domínio da frequência, as subportadoras são agregadas em *slots* de 180 kHz cada e, dependendo do prefixo cíclico adotado (normal ou estendido), o número de subportadoras e símbolos OFDM trafegados em 180 kHz podem variar de acordo como o exposto na Tabela 2.3.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

Prefixo Cíclico	Sub portadoras (KHz)	N Subportadoras	Símbolos OFDM
Normal	**15**	**12**	**7**
Estendido	**15**	**12**	**6**
Estendido	**7.5**	**24**	**3**

Tabela 2.3: Parâmetros físicos dos *Resource Blocks*

2.4.3
SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiplex Access*)

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

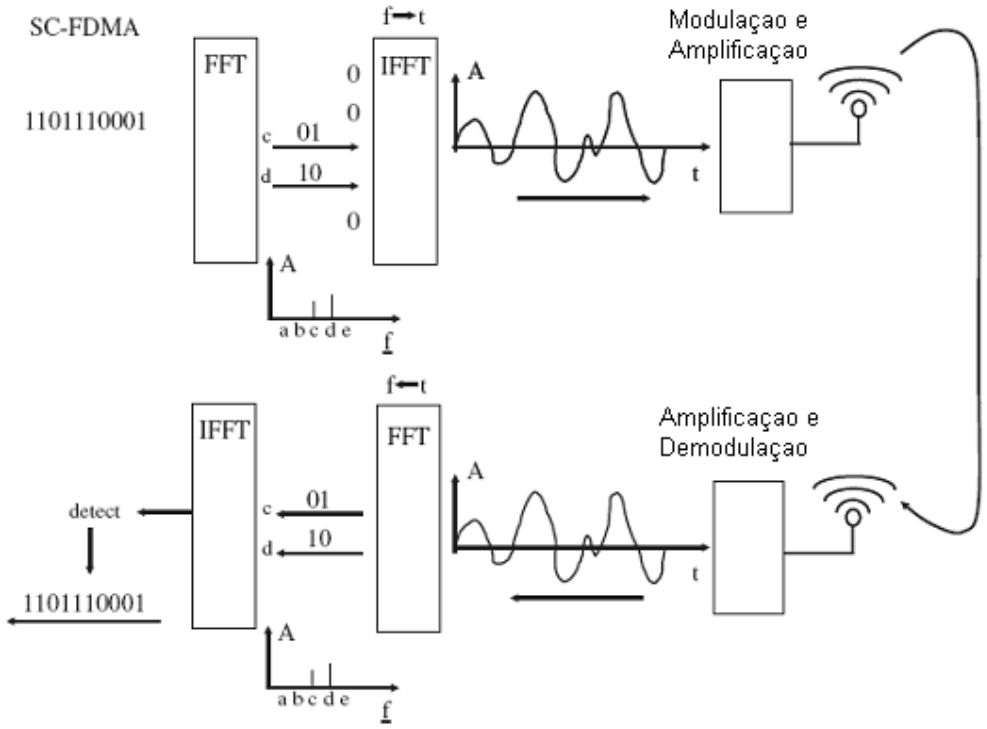

Figura 2.11: Transmissão SC-FDMA

A principal vantagem do SC-FDMA, em comparação com OFDM e OFDMA, é que os sinais apresentam um baixo PAPR (*Peak-to-average Power Ratio*) diminuindo a necessidade de transmissores complexos. Afigura 2.11 ilustra tal transmissão. Podemos classificar o SC-FDMA como um sistema híbrido que combina o baixo PARP do SC utilizado no GSM com o bom desempenho relacionado ao multi-percurso do OFDM. Apesar do nome, o SC-FDMA também transmite dados na interface aérea utilizando múltiplas subportadoras assim como o OFDMA. Como exemplo, podemos observar a Figura 2.12**,** onde no OFDMA os quatro símbolos QPSK são transmitidos paralelamente, sendo um em cada sub-portadora, e no SC-FDMA os quatro símbolos são transmitidos em série em quatro tempos distintos.

No OFDMA, cada subportadora carrega somente informações de um símbolo especifico. No SC-FDMA, cada subportadora contém informações de todos os símbolos transmitidos.

No *uplink*, os dados são transmitidos também em 12 sub-portadoras, como no *downlink*, com o mesmo TTI de 1ms.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

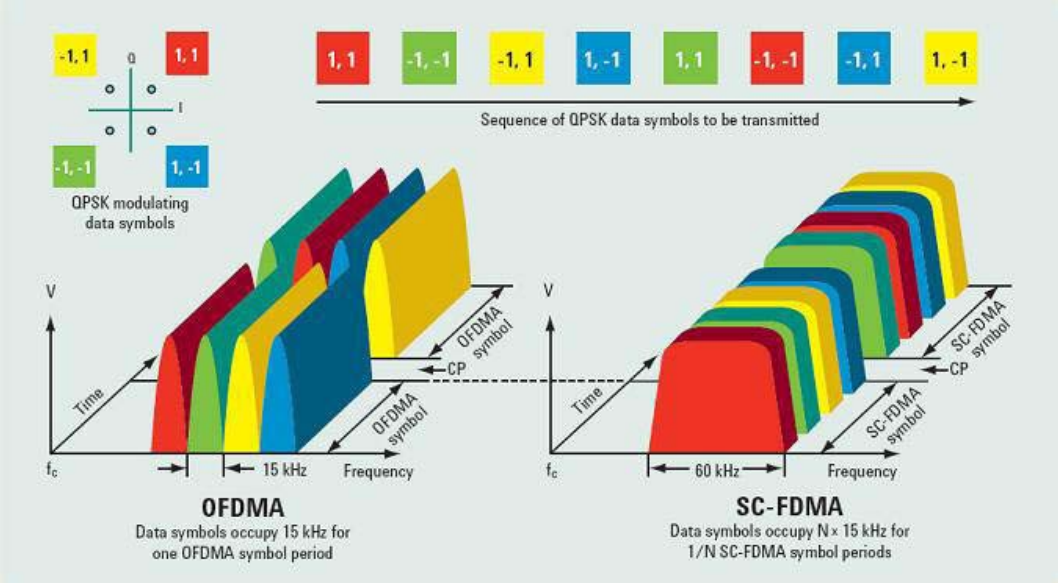

Figura 2.12 Transmissão utilizando OFDMA x SC-FDMA

As principais diferenças entre OFDMA e SC-FDMA podem ser resumidas da seguinte forma. No OFDMA são tomadas grupos de *input* de bits (0`s e 1`s) para montar as subportadoras que são processadas com IFFT para se ter um sinal no tempo. Já no SC-FDMA primeiro se tem uma FFT sobre grupos de *input* para espalhar sobre todas as sub-portadoras e, em seguida usar o resultado no IFFT que cria o sinal no tempo. Este é o motivo que, por vezes, o SC-FDMA é referido como um FFT espalhado de OFDM [2].

2.5
LTE Avançado (*LTE Advanced*)

Em meio das discussões sobre as futuras tecnologias em termos de mobilidade, um aspecto comum nas discussões diz respeito à necessidade de ampliar a capacidade das redes móveis e de fornecer maiores taxas para os usuários, o que de fato mostra a necessidade de novos projetos de rede. O padrão LTE-*Advanced* vem sendo desenvolvido pela 3GPP a fim de ir ao encontro desse cenário.

Com a finalidade de ser uma evolução das redes LTE, o projeto LTE- *Advanced* apresenta algumas condições que são adotadas em seu estudo em

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA

desenvolvimento. Alguns dos acordos já firmados entre fornecedores e 3GPP confirmam como pré-requisitos os itens abaixo.

- Taxa de pico- *downlink* 1 Gbps, *uplink* 500 Mbps
- Capacidade de pico – *downlink* 30 bps/Hz, *uplink* 15 bps/Hz
- Largura de banda maior que 70 MHz para *downlink* e 40 MHz para *uplink*
- Taxa de transferência média para o usuário três vezes maior do que no LTE
- Capacidade três vezes maior do que no LTE, refletida como a eficiência Espectral
- Flexibilidade do espectro. Suporte à agregação espectral e largura de banda escalável
- Mobilidade igual a do padrão LTE.
- Compatibilidade com redes anteriores.

Assim como no LTE, a implementação do LTE-Advanced deverá ser totalmente baseada no protocolo IP [35] [36].

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912878/CA