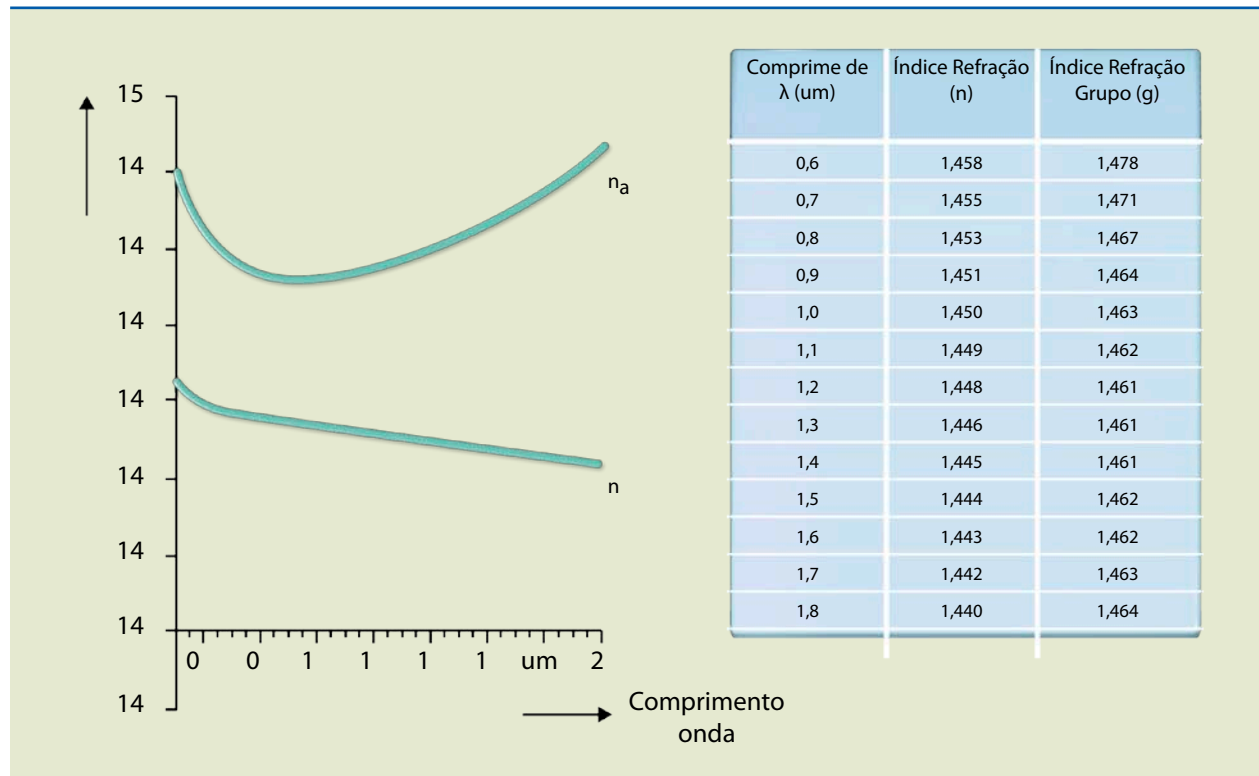


## 11.12 Anexos

**Figura 11.23**  
Índice de refração de grupo.

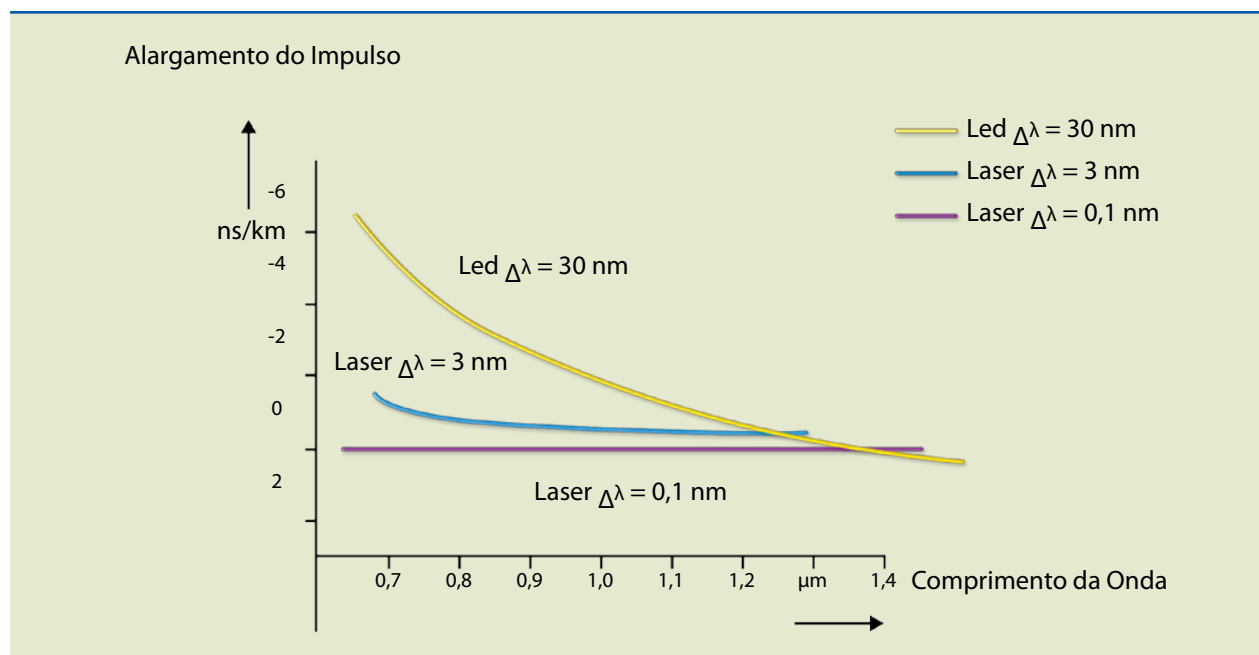
Anexo 1: Índice de refração de grupo



**Figura 11.24**

Dispersão material ou cromática.

Anexo 2: Dispersão material ou cromática



# Capítulo 12

## Telefonia móvel celular



O sistema de telefonia móvel surgiu para suprir a necessidade de comunicação durante o deslocamento do usuário. Telefonia ou comunicação móvel é aquela em que existe a possibilidade de movimento relativo entre os usuários ou as partes sistêmicas envolvidas, por exemplo: a comunicação entre aeronaves, entre aeronaves e uma base terrena, entre veículos; a telefonia celular; a computação móvel; algumas classes de sistemas de telemetria. No entanto, uma comunicação fixa (como um *link* de micro-ondas entre uma estação rádio base e uma central de comutação e controle de um sistema de telefonia celular) não caracteriza uma comunicação móvel. Vários exemplos dessa natureza podem ser encontrados na prática.

Em 1921, o Departamento de Polícia de Detroit, Estados Unidos, implantou um sistema móvel unidirecional de 2 MHz, utilizando modulação em amplitude (AM), com a finalidade de prover a transmissão de mensagens para suas viaturas. Esse sistema, precursor do serviço de radiobusca (*paging*), representa o marco inicial da telefonia móvel. Entretanto, a instabilidade dos receptores e a cobertura limitada foram alguns dos entraves para sua expansão.

O desenvolvimento de um novo receptor em 1928 propiciou a instalação de sistemas bidirecionais, ainda em AM, no início da década de 1930. Adicionalmente, a Federal Communication Commission (FCC) autorizou a utilização de quatro canais na faixa de 30 a 40 MHz. Todavia, com a utilização da modulação em amplitude, a qualidade do sinal recebido não era satisfatória. Esse problema foi resolvido somente em 1935, com a invenção da modulação em frequência (FM).

Por sua importância estratégica, os sistemas móveis tiveram considerável desenvolvimento durante a Segunda Guerra Mundial. Aplicações militares desenvolvidas pela Bell Labs e pela Western Electric foram responsáveis pelos avanços tecnológicos nesse campo no período industrial. Como resultado desse esforço, foi implantado nos Estados Unidos, em 1946, o primeiro serviço móvel de telefonia pública (manual – 150 MHz).

O primeiro sistema de comunicação móvel disponível com certo grau de praticidade foi o MTS (*mobile telephone service*), implantado em Saint Louis pela Bell Telephone Company em 1946. Ele era composto de um único ponto centralizado (chamado de estação base), ou seja, toda a região a ser coberta possuía uma única célula, com um transmissor de potência elevada e poucos canais de conversação.

Esse sistema criava uma série de limitações de ordem prática, pois cada usuário tinha determinado canal de radiofrequência fixo, que era compartilhado por outros assinantes (em uma configuração semelhante à das atuais linhas partilhadas), impossibilitando que um usuário utilizasse um canal enquanto o outro estivesse falando.

A solução para esse problema foi a divisão em pequenas células da área a ser coberta. Dessa maneira, cada área tinha sua estação base e canais de RF distintos em UHF, com todos os canais da rádio base disponíveis para o usuário.

Veja quando surgiram alguns sistemas importantes, em ordem cronológica:

- 1947 – Sistema móvel para autoestrada (35 MHz).
- 1956 – Serviço móvel em 450 MHz (manual).
- 1964 – Serviço automático (IMTS – *improved mobile telephone system*) em 150 MHz.
- 1969 – Serviço automático (IMTS) em 450 MHz.
- 1979 – Japão: sistema MCS (*mobile communication system*).
- 1980 – Países nórdicos: sistema NMT (*Nordiska Mobil Telefongruppen*).
- 1982 – Reino Unido: sistema TACS (*total access communications system*).
- 1985 – Alemanha: sistema C 450.

O sistema de rádio celular representa o que existe de mais avançado em sistemas de comunicação móvel e se tornou praticamente indispensável para todos os setores ligados à segurança pública, além de atender às necessidades de organizações comerciais, industriais, governamentais e da sociedade em geral.

A telefonia móvel foi introduzida no Brasil em 1972, por meio de um sistema IMTS de baixa capacidade, instalado em Brasília. Entretanto, o primeiro sistema de telefonia celular (AMPS) foi implantado somente em novembro de 1990, pela Telerj, no Rio de Janeiro. Um ano depois, surgiu o sistema da Telebrasil. Em 1992, o número de cidades atendidas subiu para cinco e, em 1993, para 17. Em dezembro de 1993, o total de usuários era 175 mil, atingindo cerca de 600 mil no final de 1994.

## 12.1 Estrutura celular

Células são áreas de serviço individuais, cada uma delas com um grupo de canais designados de acordo com o espectro disponível.

Quando se pensa em uma célula, a primeira ideia é a de uma estrutura circular, pois, em condições ideais de propagação e utilizando uma antena omnidirecional, a zona de cobertura é uniforme. Entretanto, quando se monta um aglomerado de células, o modelo de irradiação circular traz certos problemas, como áreas de superposição e de sombra.

As células normalmente são representadas por hexágonos, o que possibilita que sejam colocadas lado a lado, sem os inconvenientes citados. Esse recurso é somente para uso em modelos teóricos; na prática, é impossível conseguir condi-



ções tão favoráveis de propagação, pois uma região coberta por um sinal RF está sujeita a vários fenômenos da natureza, gerando consideráveis problemas em seu recurso.

A tabela 12.1 mostra uma comparação entre um sistema centralizado e um sistema celular.

**Tabela 12.1**

Diferenças entre sistemas móveis convencionais e sistemas celulares.

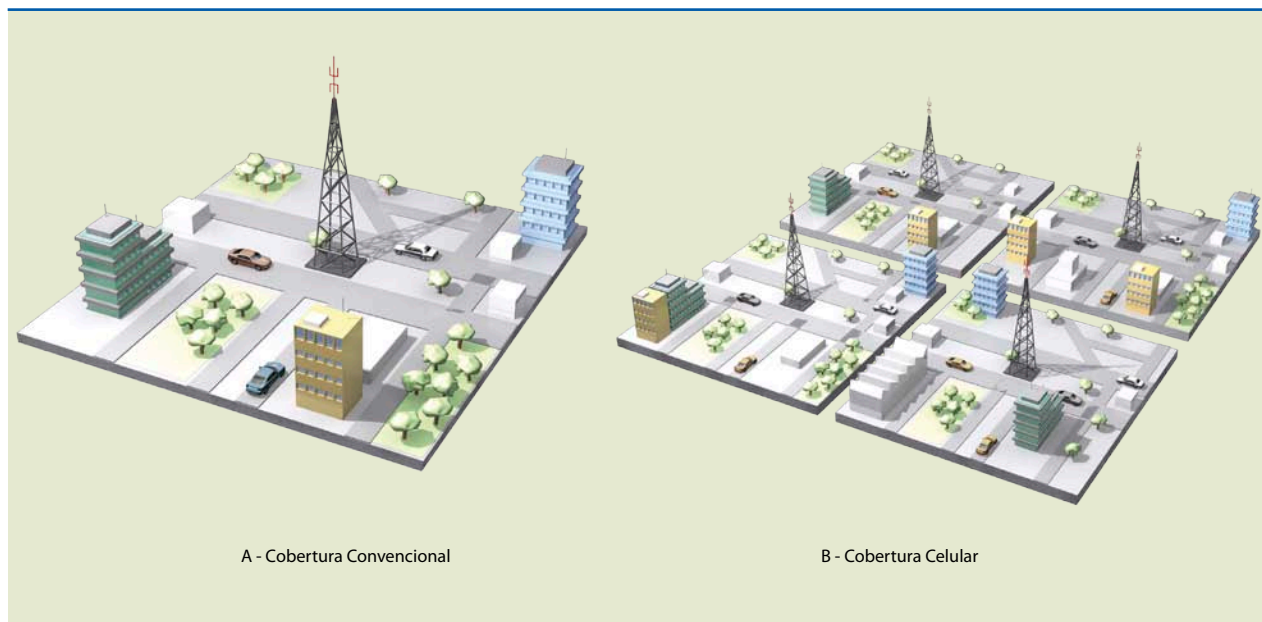
| Sistemas móveis convencionais | Sistemas celulares                      |
|-------------------------------|---|
| Baixa densidade de usuários   | Alta densidade de usuários              |
| Não reutilizam frequências    | Reutilizam frequências                  |
| Alta potência de transmissão  | Baixa potência de transmissão           |
| Antenas elevadas              | Antenas pouco elevadas                  |
| Grande área de cobertura      | Área de cobertura dividida em células   |
| Sem expansão modular          | Expansão modular teoricamente ilimitada |

Fonte: [http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/boros/cdma\\_01.html](http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/boros/cdma_01.html)

**Figura 12.1**

Conceitos de cobertura para comunicações móveis: (a) cobertura convencional e (b) cobertura celular.

A figura 12.1 ilustra as ideias de cobertura em sistemas centralizados e celulares.



tação e controle) e da rede de telefonia pública comutada (PSTN). Portanto, permite que usuários se comuniquem entre si em qualquer lugar da área de cobertura, seja essa comunicação entre usuários móveis, seja entre usuários móveis e fixos.

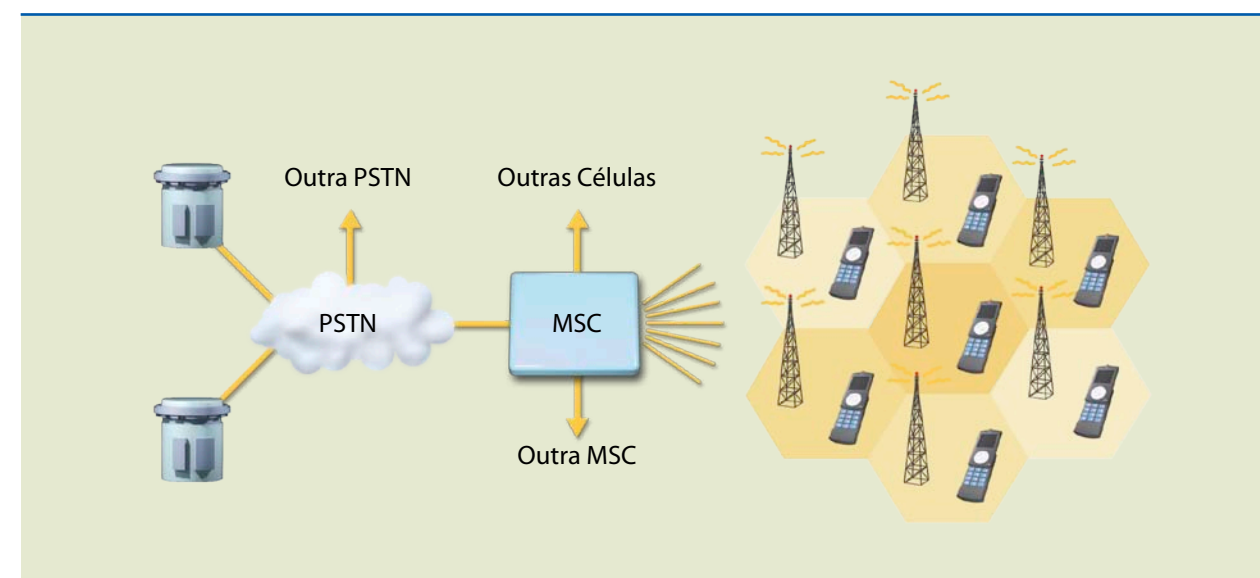
O sistema móvel celular é composto basicamente por três elementos principais:

- Estação rádio base.
- Estação móvel.
- Central de comutação móvel.

Pode-se considerar também a rede de telefonia pública comutada parte do sistema, devido a sua interligação com a rede de telefonia celular. A figura 12.2 esquematiza uma rede de comunicação celular e sua interligação à PSTN.

**Figura 12.2**

Rede celular e interligação à PSTN.



### 12.1.1 Estação rádio base (ERB)

As estações rádio base são responsáveis pela comunicação de rádio entre a estação móvel (aparelho celular) e a central de comutação e controle (CCC), efetuando a realização das chamadas recebidas ou destinadas aos móveis localizados em cada uma das células. As estações são conectadas à CCC por meio de ligações terrestres ou via rádio. Consistem em dois elementos básicos: o sistema de rádio e o sistema de controle.

São funções da ERB:

- Prover a interface de rádio entre as estações móveis e o sistema.
- Converter sinais de RF em áudio e vice-versa.
- Alertar os usuários sobre chamadas recebidas.
- Informar o sistema sobre tentativas de origem das chamadas.
- Responder a comandos recebidos da CCC.

Como vimos, a célula é uma área geográfica coberta por sinais de RF por meio de um sistema de comunicação chamado **estação rádio base** (ERB). Ela pode ser considerada um centro de radiocomunicação, em que um assinante móvel pode estabelecer uma chamada para um telefone móvel ou fixo por meio da **central de comutação móvel** (MSC, ou CCC – central de comu-



**Handoff** é o procedimento de troca de célula de um usuário móvel, durante uma conversação. Ocorre quando a estação móvel se distancia da ERB que controla sua chamada e o sistema percebe que o nível de sinal está abaixo de certo limiar, definido em projeto. Então, o sistema procura entre as células vizinhas qual está com melhor sinal e sinaliza ao celular para ocupar um dos canais livres dessa célula. Tal procedimento é automático e imperceptível para o assinante.

O **sistema de rádio**, também conhecido como BTS (*base transceiver station*), incorpora todo o conjunto de transmissão e recepção, e antenas. O sistema de controle (BSC – *base station controller*) é responsável pelo controle, monitoração e supervisão das chamadas.

A estação base faz a alocação e realocação de canais aos móveis e monitora os níveis de sinal dos móveis para verificar a necessidade de **handoff**.

Os canais utilizados na comunicação entre estações móveis e ERB são divididos em dois grupos:

- Canais de voz.
- Canais de controle.

Nos canais de voz ocorre a conversação (ou troca de dados). Neles também pode também ser realizada alguma forma de sinalização para a manutenção da chamada, como sinalização de *handoff*.

Os canais de controle carregam as informações necessárias ao estabelecimento de uma chamada, bem como informações sobre o atual estado do sistema. Canais de voz podem ser analógicos ou digitais, dependendo do sistema, porém canais de controle são sempre digitais.

Cada canal de comunicação é composto por um par de frequências, constituindo um sistema *full-duplex*, dividido em canal direto e canal reverso. O canal direto é responsável pela comunicação no sentido ERB-estação móvel, e o reverso, pela comunicação no sentido oposto, sempre alocado nas frequências baixas do espectro disponível.

Existem, no mínimo, dois tipos de canais em cada enlace (direto e reverso). O enlace direto contém o canal de *paging* (transmissão de dados de controle e sinalização para as estações móveis em sua área de cobertura) e o canal de tráfego (transmissão de voz e dados). Já o enlace reverso possui o canal de acesso, utilizado pelas estações móveis para realizar pedidos de chamada, e outro canal de tráfego.

### 12.1.2 Estação móvel

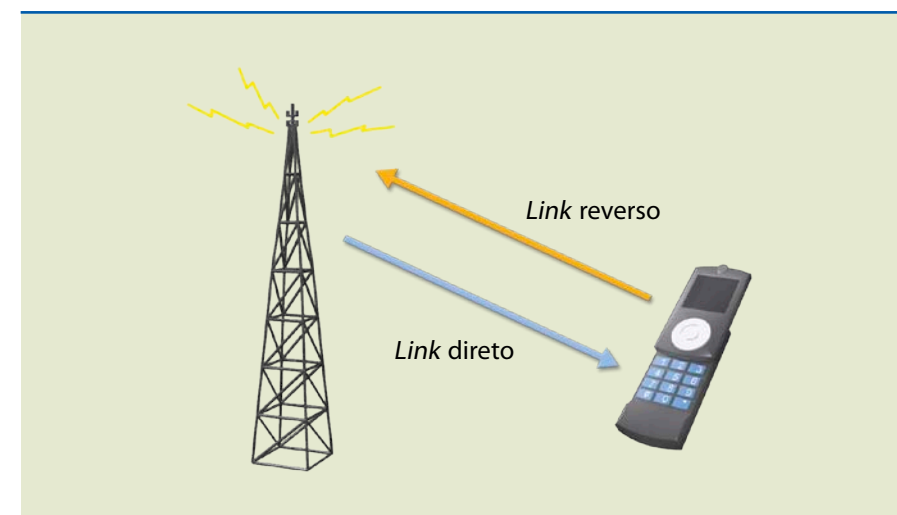
A unidade móvel do assinante constitui a interface entre o assinante móvel e a ERB. Trata-se de um transceptor portátil de voz e dados que modula as informações para serem transmitidas à ERB e demodula as informações recebidas da ERB. A unidade móvel é capaz de comunicar-se com os rádios das ERBs em qualquer um dos canais alocados, operando em modo *full-duplex*.

A estação móvel também se comunica com a estação base por meio de suas funções de controle e sinalização. Alguns exemplos de mensagens de controle trocadas entre móvel e base são:

- Pedido do móvel para acessar um canal e efetuar uma chamada.
- Registro do móvel na área de serviço atual (outra MSC).

- Mensagem de alocação de canal para o móvel, oriunda da estação base.
- Mensagem de *handoff* oriunda da estação base, para que o móvel sintonize outro canal.

A partir de agora, consideraremos “canal” a dupla *link* direto e reverso (figura 12.3).



**Figura 12.3**

Comunicação entre terminal móvel e base.

A disponibilidade de recursos da estação móvel vem aumentando progressivamente, deixando de ser apenas um rádio e tornando-se cada vez mais uma central de recursos multimídia, com música, vídeos, jogos e TV digital.

### 12.1.3 Central de comutação móvel (MSC)

A MSC (*mobile services switching center*) é o elemento central do sistema de comutação celular, que interliga um conjunto de células. Também possibilita interligação com a rede de telefonia pública (PSTN) e com a rede digital de serviços integrados (RDSI).

São funções da MSC:

- Gerenciar e controlar os equipamentos da base de conexões.
- Dar suporte a múltiplas tecnologias de acesso.
- Prover a interligação com a PSTN.
- Prover registros de assinantes locais (HLR – *home location register*).
- Prover registros de assinantes visitantes (VLR – *visitor location register*).
- Dar suporte a conexões entre sistemas.
- Dar suporte de funções de processamento de chamadas.
- Controlar funções necessárias à tarifação.

A quantidade de células conectadas e controladas por uma MSC depende das necessidades. Uma MSC pode ser responsável por uma grande área metropolitana ou por um pequeno grupo de pequenas cidades vizinhas. A área servida por uma MSC é denominada área de serviço e o assinante de determinada área





**Roaming** é a utilização de uma estação móvel fora da área de serviço de seu sistema original. O uso dos serviços de outros sistemas é possível devido à conexão das MSCs pela RTPC e à criação de um registro do usuário móvel visitante no sistema hospedeiro.

de serviço é chamado **assinante local (home)**. O assinante que se desloca para uma área diferente daquela na qual está cadastrado é denominado **visitante (roamer)**.

## 12.2 Arquiteturas do sistema celular

A arquitetura do sistema celular pode ser centralizada ou descentralizada.

Na **arquitetura centralizada**, uma MSC controla grande quantidade de ERBs, próximas ou distantes dela. Normalmente é usada em sistemas pequenos, com baixa densidade de tráfego.

A **arquitetura descentralizada** utiliza MSCs atuando em uma região de abrangência menor ou controlando menos ERBs que a arquitetura centralizada. É adotada em sistemas maiores, podendo haver ou não interconexão entre as MSCs. Quando houver, a chamada de um móvel passará pela PSTN apenas se o usuário chamado for fixo. Quando não houver, mesmo que o usuário chamado seja móvel, mas pertencente a outra área de serviço (outra MSC, portanto), a chamada terá de passar pela PSTN, pois é ela que proverá o contato entre as duas MSCs.

## 12.3 Características do sistema celular

**Mobilidade** em telefonia celular é a garantia de que uma chamada, originada em qualquer ponto dentro da área de serviço, mantenha-se sem interrupção enquanto o assinante estiver em movimento. Isso é possível devido ao mecanismo de *handoff*, processo de troca de frequência das portadoras alocadas ao telefone quando o assinante muda da região de cobertura de uma ERB para outra.

A área de cobertura **ou abrangência** de uma célula depende de diversos fatores, como potência de transmissão, altura, ganho e localização da antena. Além disso, a presença de obstáculos (montanhas, túneis, vegetação e prédios) afeta de maneira considerável a cobertura RF de uma ERB.

Em razão das características de topografia das diversas regiões a serem cobertas por sistemas celulares, vários modelos de predição de propagação foram e têm sido desenvolvidos, com a intenção de fornecer estimativas de atenuação de sinal nos diversos ambientes.

Basicamente, existem três tipos de células, classificadas de acordo com seu diâmetro típico:

- **Macro células:** de 2 a 30 km.
- **Micro células:** de 200 a 2000 m.
- **Pico células:** de 4 a 200 m.

O tamanho das células diminui com o crescimento do sistema celular. Esse decréscimo provoca:

- Aumento na capacidade de usuários e no número de *handoffs* por chamada.

- Menor consumo de potência do aparelho celular.
- Diversos ambientes de propagação.
- Maior interferência e dificuldade de planejamento do sistema.

Quanto à irradiação do sinal dentro da célula pela ERB, temos:

- **Células omnidirecionais** – ERB equipada com antenas que irradiam em todas as direções, formando uma área de cobertura circular.
- **Células setorizadas** – ERB equipada com antenas diretivas que irradiam em direções preestabelecidas, chamadas de setores. Cada setor é focado de acordo com um ângulo de 120°.

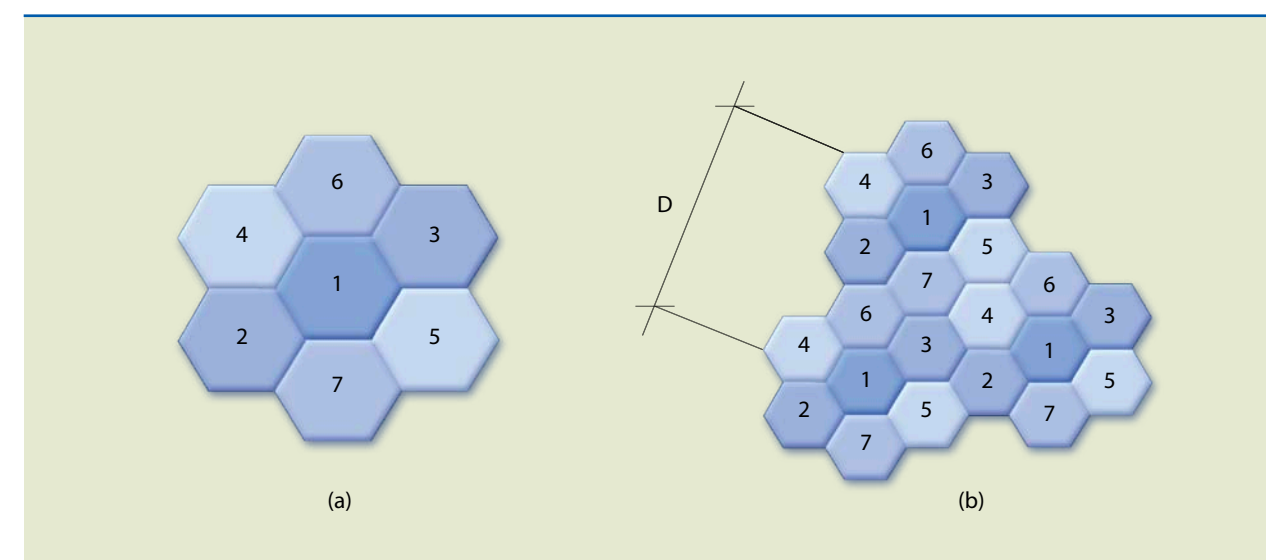
**Cluster** é o conjunto de células vizinhas que utiliza todo o espectro disponível. Ele pode conter todas as frequências do sistema celular, mas nenhuma frequência dentro dele pode ser reusada. A figura 12.4a apresenta um exemplo de cluster de sete células. Outras configurações muito utilizadas são de um, três, quatro e doze células.

À medida que o número de células por clusters aumenta, o número de canais por célula diminui e, portanto, também o tráfego, melhorando a qualidade do serviço.

Para cada ERB dentro de um cluster é alocado um grupo de canais de rádio, utilizados dentro da área de cobertura da célula. As ERBs de células adjacentes possuem grupos de canais diferentes das células vizinhas, evitando, assim, interferência. Limitando-se da área de cobertura até os limites da célula, um mesmo número de canais pode ser usado em outra célula. Para isso, as células devem estar separadas a uma distância tal que os níveis de interferência sejam aceitáveis, chamada de distância de reuso. Dessa maneira, usuários em diferentes áreas geográficas podem usar um mesmo canal simultaneamente (**reuso de frequências**, exemplificado na figura 12.4b), aumentando consideravelmente a eficiência da utilização do espectro. O processo de seleção e alocação de grupos de canais para todas as ERBs faz parte do planejamento de frequência.

**Figura 12.4**

(a) Cluster de sete células e (b) reuso de frequências.



O cálculo da distância de reuso de frequências  $D$  depende do valor do raio da célula, no formato hexagonal, e do número de células do cluster, resultando na relação:

$$D = \sqrt{3N} \cdot r \quad (12.1)$$

em que:

- $N$  é o número de células do cluster;
- $r$ , o raio da célula.

No sistema móvel, há vários tipos de área:

- **Área de cobertura** – Área geográfica coberta por determinada estação rádio base (ERB). Qualquer estação móvel (EM) dentro da área de cobertura pode ser coberta pelo equipamento rádio daquela ERB. Define o tamanho da célula.
- **Área de controle** – Área atendida por uma central de comutação e controle (CCC) do serviço móvel celular (SMC). Uma área de controle pode conter diversas áreas de localização.
- **Área de localização** – Área na qual uma EM pode mover-se livremente sem ser necessária a atualização dos registros de localização. Uma área de localização pode conter diversas áreas de cobertura de ERB.
- **Área de registro** – Área de localização na qual a EM está registrada.
- **Área de serviço** – Área na qual as estações móveis compatíveis têm acesso ao SMC e um usuário de EM pode ser acessado por um usuário qualquer da rede fixa de telecomunicações, sem conhecimento prévio de sua exata localização. Uma área de serviço pode conter diversas áreas de controle.
- **Área de sombra** – Área na qual o sinal irradiado pela ERB sofre obstrução à propagação devido a sua topografia (morros, declives, vegetações etc.) ou obstáculos criados pelo ser humano (edifícios).

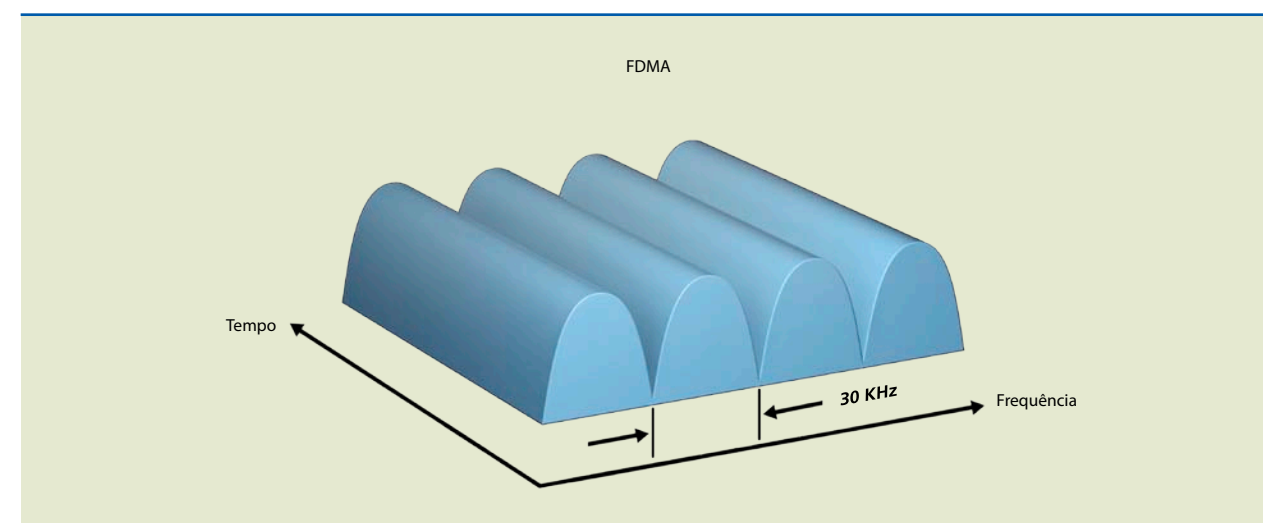
## 12.4 Técnicas de múltiplo acesso

Os sistemas celulares, analógicos ou digitais, têm a capacidade de processar várias chamadas simultâneas em uma mesma faixa de frequências. Essa capacidade é chamada de múltiplo acesso, que pode ser realizado de três maneiras:

- Múltiplo acesso por divisão de frequência (FDMA).
- Múltiplo acesso por divisão de tempo (TDMA).
- Múltiplo acesso por divisão de código (CDMA).

### 12.4.1 Tecnologia FDMA

A tecnologia de múltiplo acesso por divisão de frequência (FDMA – *frequency division multiple access*) é a mais antiga, utilizada nos sistemas analógicos, como o AMPS (*advanced mobile phone system*), primeiro padrão celular adotado no Brasil. No FDMA, a largura de banda disponível é dividida em canais ou frequências não sobrepostas, ou seja, durante toda a conversação a portadora está permanentemente alocada a um mesmo sinal de voz, sem ser compartilhada com sinais de outros usuários (figura 12.5).



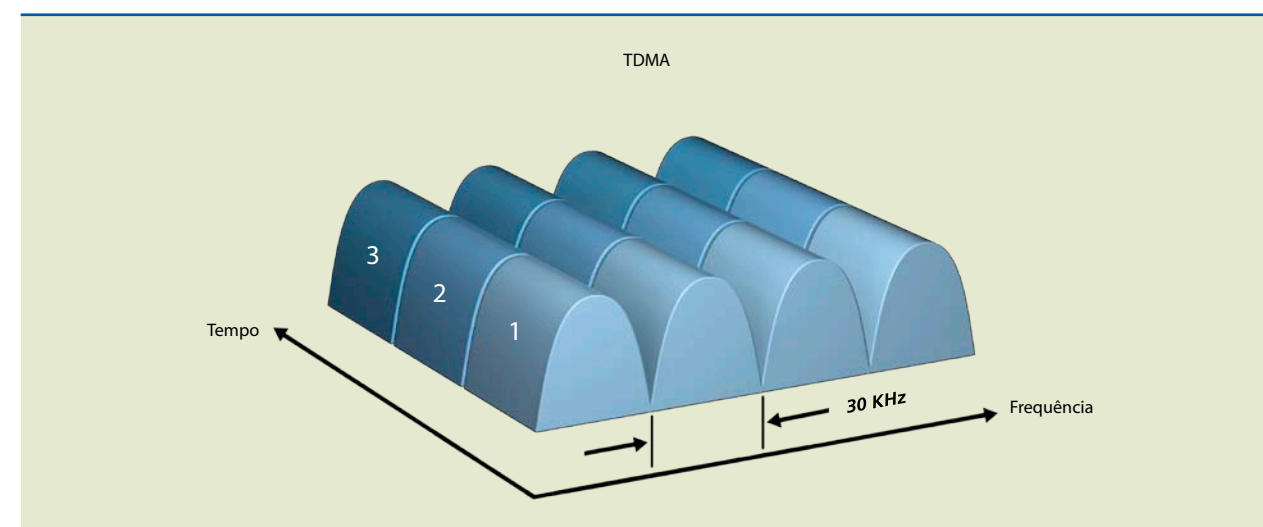
**Figura 12.5**  
Tecnologia FDMA.

Cada sinal a ser enviado modula uma portadora distinta e todas as portadoras moduladas são agrupadas e transmitidas. Na recepção, o sinal de cada usuário é separado por um filtro passa-faixa sintonizado na portadora correspondente. Portanto, a interferência entre canais adjacentes é determinada pelo desempenho dos filtros utilizados e pela separação entre as portadoras.

### 12.4.2 Tecnologia TDMA

No TDMA (*time division multiple access*), várias conversações são transmitidas compartilhando um canal de RF, em intervalos de tempo distintos, ou seja, há um revezamento no tempo, na transmissão e na recepção dos sinais pelas estações móveis, sob a mesma frequência compartilhada. Cada usuário dispõe de uma faixa de frequências em determinado intervalo de tempo (*slot*), disponibilizado de maneira cíclica. Na transmissão TDMA, cada surto transmite uma palavra digital, composta de subconjuntos de bits de sinal de voz (codificação do sinal de voz), de sinalização telefônica, de alinhamento de palavras e quadros e de redundância para detecção e correção de erros (figura 12.6).

**Figura 12.6**  
Tecnologia TDMA.



Utilizada em sistemas celulares digitais, essa tecnologia foi desenvolvida nos EUA e na Europa no início da década de 1990. Posteriormente, foi adotada, nos EUA, no sistema AMPS de segunda geração como D-AMPS (*digital AMPS*) utilizando o protocolo IS-54 (EIA/TIA) e, na Europa, como base do sistema GSM (*group special mobile*).

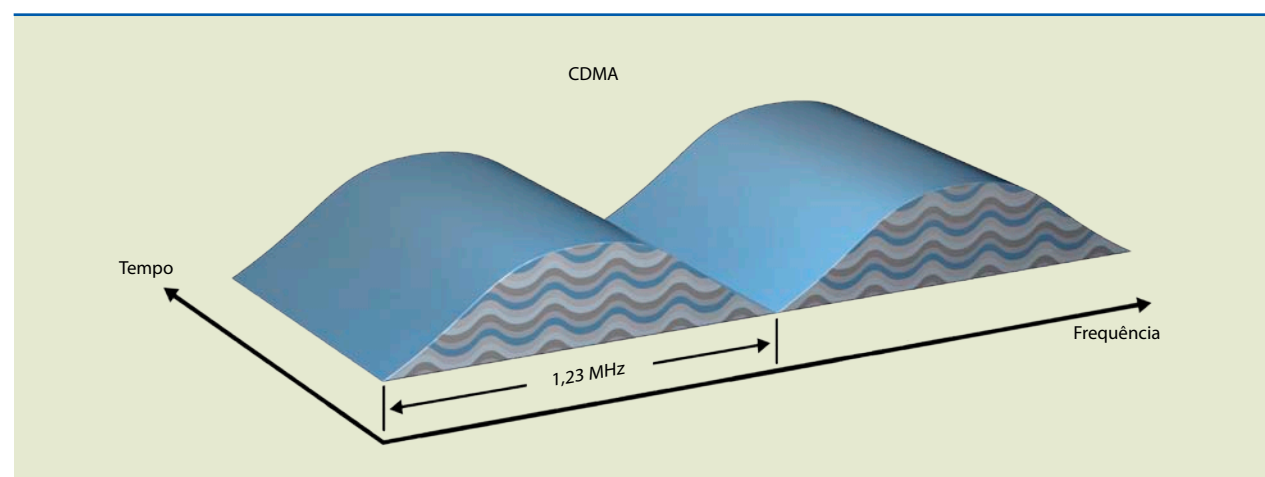
No Brasil, foi usado, primeiro, o padrão IS-136, com algumas características:

- BW (largura de banda) do canal: 30 kHz.
- Usuários por canal: três ou seis, a taxas de 7,95 kbps e 3,975 kbps.
- Faixas de frequências de operação: de 869 a 894 MHz para enlace direto e de 824 a 849 MHz para enlace reverso.
- Modulação:  $\pi/4$  Shifted DQPSK.
- Número máximo de canais (tráfego e controle): 2 496.
- O IS-136 possui capacidade e desempenho seis vezes maiores que o analógico AMPS. O sistema GSM, que será estudado mais adiante, também utiliza o múltiplo acesso TDMA.

### 12.4.3 Tecnologia CDMA

O múltiplo acesso por divisão de código (CDMA – *code division multiple access*) utiliza **espalhamento espectral**. Essa técnica faz com que uma informação fique contida em uma largura de banda bem maior que o sinal, permitindo que todos os usuários utilizem a mesma faixa de frequências durante todo o intervalo de tempo. Assim, várias conversações são transmitidas simultaneamente no mesmo canal de RF em um mesmo intervalo de tempo. No entanto, cada conversação recebe um código de identificação, diferenciando-se das demais (figura 12.7).

**Figura 12.7**  
Tecnologia CDMA.



Essa tecnologia foi idealizada na década de 1940 e por muito tempo teve uso militar. Sua aplicação comercial só ocorreu nos anos 1980.

Os canais de comunicação são separados por uma modulação pseudoaleatória, aplicada e removida no domínio digital, e não no domínio da frequência.

Múltiplos usuários podem utilizar a mesma banda de frequências (reuso de frequências), o que garante eficiência espectral, privacidade, por dificultar a interceptação do sinal, e grande resistência a sinais interferentes.

Algumas características importantes da utilização da tecnologia CDMA são:

- Capacidade de oito a dez vezes maior do que a do sistema AMPS.
- Melhoria na qualidade do sinal e maior privacidade.
- Melhoria nas características de cobertura, com menor número de células, reduzindo custos de operação e ampliação da rede.
- Redução das quedas de ligações devido ao *handoff*.
- Melhoria na capacidade de tráfego (*erlang*).
- Menor nível de interferências com outros equipamentos eletrônicos.
- Redução na potência de transmissão dos celulares.

### 12.5 Padrão IS-95

O sistema celular padrão IS-95 utiliza a técnica de múltiplo acesso CDMA, desenvolvido e utilizado nos EUA e também implantado em alguns países, principalmente da América Latina. No Brasil, a operadora Vivo emprega esse sistema.

Sua base é a técnica de espalhamento espectral (SS – *spread spectrum*), cujos tipos mais comuns são:

- Espalhamento espectral por sequência direta (DS/SS – *direct sequency/spread spectrum*).
- Salto em frequência (FH – *frequency hopping*).
- Na técnica FH, uma sequência pseudoaleatória alimenta um sintetizador de frequências que gera a portadora do sinal a ser transmitido, fazendo com que ela varie aleatoriamente dentro da banda de espalhamento.

O padrão IS-95 usa a técnica DS/SS, em que o sinal de informação é multiplicado por um sinal codificador com características pseudoaleatórias, conhecido como pseudoruído ou *pseudonoise (PN code)*. Com isso, todos os usuários do sistema são separados entre si por meio de códigos, podendo utilizar o mesmo canal físico simultaneamente. Em uma conversação, apenas o sinal desejado é decodificado e os sinais dos demais usuários parecerão ruído para o receptor. Na recepção, o sinal é novamente multiplicado pela função de espalhamento e decodificado. Essa técnica é chamada de *dispersing*.

Algumas características técnicas do IS-95 são:

- BW do canal: 1,25 MHz.
- Número de usuários por canal: depende da relação sinal/ruído adotada no sistema.
- Faixas de frequências: de 869 a 894 MHz no enlace direto e de 824 a 849 MHz no enlace reverso.
- Modulação QPSK.



## 12.6 Sistema GSM

O sistema GSM (*global system for mobile communications*) é o padrão mais utilizado hoje no mundo e foi desenvolvido na Europa no final da década de 1980 para solucionar a falta de padronização de sistemas celulares, analógicos, limitando os serviços prestados. No Brasil, foi implantado em 2002, substituindo as redes celulares digitais que usavam o padrão IS-136 (TDMA). Uma característica importante no GSM é que as informações do usuário necessárias à conexão na rede ficam armazenadas em um cartão (cartão SIM), garantindo maior segurança.

A tecnologia GSM possui padrões definidos de acordo com sua faixa de operação:

- **P-GSM (primary-GSM)** – É o sistema original, com frequências na faixa de 900 MHz (de 890 a 915 MHz para enlace reverso e de 935 a 960 MHz para enlace direto).
- **E-GSM (extended-GSM)** – Desenvolvido para aumentar a capacidade do P-GSM, opera também na faixa de 900 MHz. Esse padrão possui 35 MHz de banda em cada enlace.
- **R-GSM (railways-GSM)** – Evolução dos padrões anteriores, com maior capacidade de canais, opera na faixa de 900 MHz.
- **DCS 1800** – Operando na faixa de 1,8 GHz, foi criado para permitir a formação de redes de comunicação pessoal (PCN). Possui largura de banda de 75 MHz por enlace, aumentando significativamente a capacidade do sistema em número de usuários.
- **PCS 1900** – Opera na faixa de 1,9 GHz e oferece maior gama de serviços aos usuários do sistema.

A cada padrão desenvolvido, novos serviços foram implantados, como envio de SMS (*short message service*), aplicações multimídia e serviço de dados.

### 12.6.1 Canais do GSM

O sistema GSM utiliza uma combinação dos sistemas TDMA e FDMA, ou seja, dos sistemas que envolvem divisão de tempo e divisão de frequência. Conforme dito anteriormente, em um sistema FDMA, uma frequência é associada a um usuário. Assim, quanto mais usuários estiverem na rede, maior será a necessidade de frequência disponível. Combinando com o sistema TDMA, o GSM permite que vários usuários dividam o canal.

As frequências disponíveis são divididas em duas bandas: o enlace reverso (*uplink*), usado para transmissão da unidade móvel, e o enlace direto (ou *downlink*), utilizado para transmissão da ERB.

Cada banda (*uplink* e *downlink*) é dividida em canais (ou *slots*) com BW de 200 kHz, denominados ARFCN (*absolute radio frequency channel number*, ou número absoluto de canal de radiofrequência). Em cada canal associado a uma portadora, é feita também uma divisão no tempo para sua ocupação. Cada canal é compartilhado por até oito estações móveis, uma por vez. Ou seja, cada

estação móvel utiliza um *time slot* (ou pedaço de tempo) e depois aguarda sua vez de usar novamente.

Há dois tipos de canais no sistema GSM, usados para troca de informações de gerenciamento e manutenção da rede: canais de tráfego e canais de controle.

#### Canais de tráfego

O canal de tráfego (TCH – *traffic channel*) é utilizado para transportar voz e dados. É dividido em 26 espaços denominados *frames* (quadros), que representam um tempo de 120 ms. Ou seja, é como se fosse a comunicação direta entre a estação móvel e a estação rádio base, mas subdividida em 26 intervalos de tempo, que são aplicados da seguinte maneira:

- 24 *frames* para a comunicação de voz.
- Um *frame* para enviar informações de controle à unidade móvel, como alterar a potência de transmissão da estação móvel.
- Um *frame* não utilizado, ficando livre para ser usado em outras funções, como medir a potência de sinal das células vizinhas.

Desse modo, a cada 120 ms de conversação transportada pelo canal de tráfego, as informações de voz são transmitidas por 12 *frames*, interrompidas por um *frame* para transmissão de sinais de controle, mais 12 *frames* de conversação, um *frame* não utilizado, e assim por diante. Como cada *frame* corresponde a 1/26 de 120 ms (aproximadamente 4,6 ms), é como se a comunicação fosse estabelecida por 55,2 ms (12 · 4,6), parasse por 4,6 ms, continuasse por mais 55,2 ms, parasse por 4,6 ms, e assim por diante. Como a interrupção é pequena, torna-se imperceptível ao usuário. Os usuários GSM compartilham o tempo e a frequência durante todo o período de utilização do sistema.

A formação dos dados que estão sendo transmitidos na rede GSM está contida no **superquadro**. Vamos entender como ele é montado.

Primeiramente, é formado um *time slot*, que, como vimos, é um intervalo de tempo. Ele equivale a um período de 156,25 *bits*; o período de cada bit é aproximadamente 3,69  $\mu$ s, formando um *time slot* de 576,92  $\mu$ s. Assim, cada assinante tem esse tempo para transmitir dados, espera sete outros usuários transmitirem e tem sua vez novamente.

O conjunto de oito *time slots* constitui um quadro, que tem duração de 4,6 ms. Vinte e seis quadros formam um multiquadro, com duração de 120 ms. Um conjunto de multiquadros compõe um superquadro, que é o quadro final contendo todas as informações.

#### Canais de controle

Além do canal de tráfego, é necessário existir um caminho entre a estação móvel e o restante do sistema para a troca de mensagens e sinalização. Esse tipo de informação circula por meio de canais de controle.





Os canais de controle são divididos em:

- Canais de *broadcast*.
- Canais de controle comum.
- Canais de controle dedicado.
- Canais de controle associado.

Os **canais de broadcast** (BCH – *broadcast channels*) são utilizados pela ERB para fornecer à EM informações de sincronismo com a rede. Há três tipos de canais de *broadcast*:

- **Canal de controle de broadcast (BCCH)** – Usado para transmissão de informações, como a identificação da ERB, alocações de frequências e outras informações e parâmetros para a EM identificar e acessar a rede.
- **Canal de sincronismo (SCH)** – Utilizado pela EM para ajustar seu *timing* interno e sincronizar a sequência do multiquadro.
- **Canal de correção de frequência (FCH)** – Empregado para transmitir as informações da referência de frequência que a EM deverá utilizar quando for ligada pela primeira vez.

Os **canais de controle comum (CCCH – common control channels)** ajudam a estabelecer as chamadas da EM para a rede. Há três tipos de canais de controle:

- **Canal de paging (PCH)** – Utilizado para alertar a EM sobre uma chamada que está sendo encaminhada a ela.
- **Canal de acesso aleatório (RACH)** – Usado pela EM para requisitar acesso à rede.
- **Canal de concessão de acesso (AGCH)** – Empregado pela ERB para informar à EM qual canal deverá ser utilizado. É o canal de resposta do canal RACH.

Os **canais de controle dedicado (DCCH – dedicated control channels)** são utilizados para troca de mensagens entre várias EMs ou entre uma EM e a rede. Há dois tipos de canais de controle dedicado:

- **Canal de controle dedicado independente (SDCCH)** – Usado para trocar sinalização tanto no *downlink* como no *uplink*.
- **Canal lento de controle associado (SACCH)** – Empregado para manutenção e controle do canal.

Quando as informações enviadas pelo SACCH indicarem que há outra célula com melhor qualidade de sinal, será necessário executar um *handover* (procedimento de mudança de célula). Como o canal SACCH não tem a largura de banda requerida para transmitir todas as informações necessárias ao *handover*, o canal de tráfego (TCH) será substituído por um intervalo de tempo pelo **canal rápido de controle associado (FACCH – fast associated control channel)**, para que ele forneça as informações necessárias à EM. Normalmente, quando o FACCH toma o TCH, há perda de alguns dados da conversação. Muitas vezes, acontece pequena interrupção na conversação quando ocorre um *handover*.

## 12.7 Transmissão de informações no sistema GSM

Na conversação por telefonia móvel entre dois usuários, duas etapas garantem a transmissão, a qualidade e a segurança da informação:

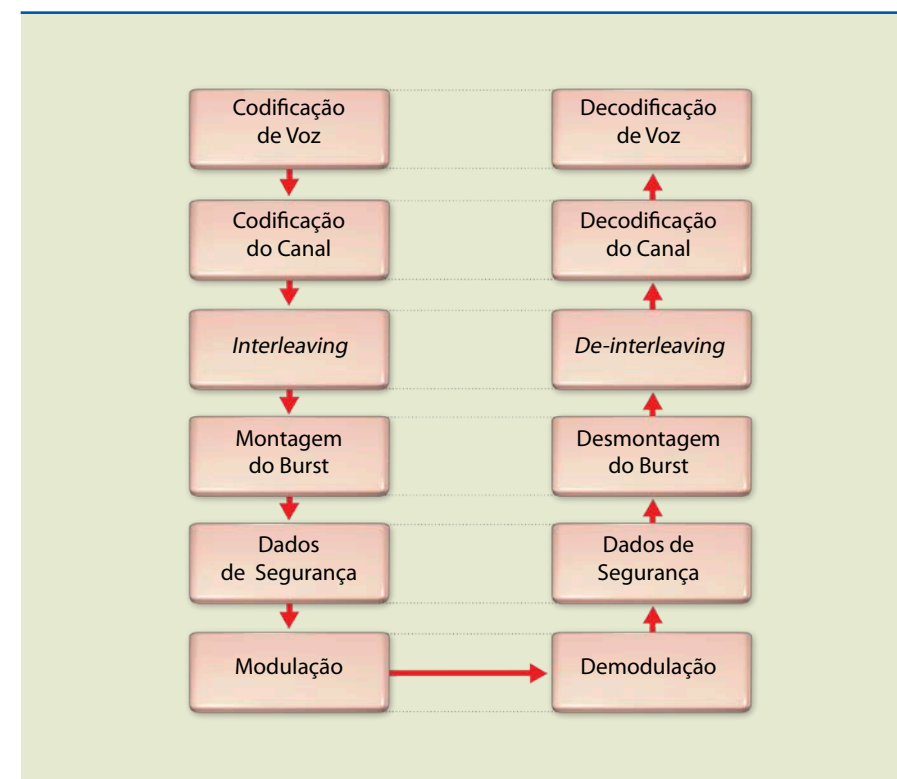
a) **Digitalização da voz** – É feita por um codec, equipamento que transforma o sinal analógico da voz em um sinal digital. A codificação deve garantir boa qualidade de voz, reduzir sinais redundantes e não empregar um algoritmo muito complexo para conversão dos sinais, evitando demora na codificação, que pode prejudicar a comunicação e aumentar o custo do sistema.

b) **Codificação do canal** – São adicionados alguns bits de controle na informação original para detectar e corrigir possíveis erros durante a transmissão. A codificação do canal é realizada nas seguintes fases:

- **Interleaving** – Um grupo de bits é reorganizado de outra maneira para melhorar o desempenho do mecanismo de correção de erros.
- **Montagem do burst** – O conjunto de *bits* convertidos pelo codec e rearranjados é separado em **bursts** ou trens de pulsos que serão transmitidos.
- **Dados de segurança** – Nessa fase, é adicionada uma chave secreta que protege os dados do usuário. Um programa gera um número combinando um algoritmo de segurança armazenado no cartão SIM e um número fornecido pela rede.

**Burst** é uma sequência de sinais a serem transmitidos.

A figura 12.8 dá uma ideia de como acontece a transmissão de sinais no sistema GSM.



**Figura 12.8**  
Aspectos de transmissão no sistema GSM.



### 12.7.1 Transmissão descontinuada

A transmissão descontinuada (DTX) do GSM interrompe a transmissão durante longos períodos de silêncio enquanto o usuário está ouvindo, mas não está falando. É uma função muito interessante, pois, além de aumentar a capacidade do sistema, permite que o aparelho celular economize bateria. A transmissão descontinuada acontece graças a dois recursos:

- **Detector de atividade de voz (VAD – *voice activity detector*)** – É o que determina a presença da voz durante a conversação. O som que não tiver nível suficiente será considerado ruído e a transmissão, cortada.
- **Gerador de ruído de conforto (CNG – *confort noise generator*)** – Para evitar o silêncio da descontinuidade da transmissão durante uma conversação, é inserido um ruído de fundo para que o usuário não tenha a impressão de que a chamada foi desconectada.

### 12.7.2 Recepção descontinuada

Na recepção descontinuada (DRX), as estações móveis são divididas em grupos de *paging* (processo de busca de uma EM para encaminhar a chamada). Como os grupos de *paging* são procurados ou chamados apenas em momentos predefinidos, nos outros momentos a EM fica em *sleep mode* (dormindo), conservando a energia da bateria, e volta a atuar quando recebe o *paging*.

### 12.7.3 Criptografia

Um dos principais recursos do GSM é a segurança. A ERB verifica se a cifragem está ativada ou desativada, e a criptografia dos dados acontece depois de eles terem sido intercalados e arranjados. Outro fator de segurança é a troca dos algoritmos de criptografia a cada chamada: mesmo que um desses algoritmos seja violado, a criptografia utilizada na próxima chamada será diferente.

### 12.7.4 Timing variável e controle de potência

Dentro da área de cobertura de uma célula, as EMs estão a diferentes distâncias da ERB. Dependendo dessa distância, ocorre atraso na comunicação com a ERB e atenuação da potência recebida pela EM.

Como o sistema GSM utiliza compartilhamento no tempo, a questão do atraso é muito importante. Para evitar a “colisão” de dados ou superposição (ou seja, dados chegando juntos), a ERB realiza medidas desses atrasos em cada EM. As EMs que estão enviando dados com atraso (devido à distância) recebem um comando para adiantar o envio. Dessa forma, garante-se que cada EM transmita em seu *time slot* correspondente, sem superposição nem atraso.

## 12.8 Modulação do sistema GSM

A modulação escolhida pelo sistema GSM é a técnica do chaveamento por deslocamento mínimo gaussiano (GMSK). Seu desenvolvimento está basea-

do na modulação FSK (*frequency shift keying*) com índice de modulação ( $m$ ) igual a 0,5, sendo, assim, denominada MSK (*minimum shift keying*). Uma sequência de bits de entrada do modulador é filtrada por um filtro passa-baixa com resposta gaussiana a um pulso retangular. A saída desse filtro é responsável por modular em MSK as portadoras utilizadas. O efeito do filtro é conformar os pulsos de entrada do modulador MSK, tornando as transições de frequência mais suaves e, com isso, reduzindo a largura de faixa do lóbulo principal do sinal modulado.

Um parâmetro que caracteriza a modulação GMSK é o produto BT, em que B é a largura de faixa (3 dB) do filtro gaussiano e T a duração de um bit de entrada do modulador.

Após a modulação, o sinal será transmitido pela interface aérea até o outro lado da rede, onde ocorrerão as mesmas etapas, porém no caminho inverso da primeira sequência. O sinal é demodulado, recuperando-se a informação original, e decodificado com a chave de segurança. A ordem dos *bursts* é identificada e interpretada e o processo de *de-interleaving* reorganiza os bits da maneira original. Desse modo, a decodificação do canal retira os bits de controle adicionados, pois eles não fazem parte do sinal original. O sinal de voz transmitido é decodificado e a informação original transmitida é recebida.

## 12.9 Frequências utilizadas no sistema GSM

O GSM é utilizado mundialmente, em uma destas frequências:

- **GSM 900** – É a frequência mais comum na Europa e em outros países, na faixa dos 900 MHz.
- **GSM 1800** – Também conhecida como PCN (*personal communication network*, ou rede de comunicação pessoal), opera na faixa dos 1 800 MHz. Será a faixa de frequência a ser utilizada no Brasil.
- **GSM 1900** – É a frequência usada pelo sistema GSM nos Estados Unidos e no Canadá, na faixa dos 1 900 MHz.

## 12.10 Arquitetura da rede GSM

A arquitetura GSM pode ser dividida em três partes principais:

- Estações móveis (MS – *mobile station*, ou EM).
- Subsistema da estação base (BSS – *base station subsystem*).
- Sistema de comutação de rede (NSS – *network switching system*).
- Cada parte dessa arquitetura é composta por diversas entidades funcionais, cujas funções e interfaces encontram-se especificadas pelas recomendações da International Telecommunications Union (ITU) e do ETSI.

### 12.10.1 Estação móvel

Constituída pelo equipamento móvel (ME – *mobile equipment*) e por um cartão inteligente denominado módulo de identidade do subscritor (SIM – *subscriber*



*identity module*). O cartão SIM contém os dados associados ao número telefônico do usuário, permitindo-lhe acesso aos serviços de rede independentemente do equipamento móvel utilizado. A ligação de rádio entre a estação móvel e o subsistema da estação base (BSS) é denominada interface “1”. Cada ME possui um número de identificação internacional, chamado *international mobile equipment identity* (IMEI).

### 12.10.2 Subsistema da estação base (BSS)

É composto por duas partes:

- **BTS (*base transceiver station*)** – Favorece as conexões na interface aérea com a estação móvel. Formada pelo *hardware* de RF (transceptores) e por um conjunto de antenas.
- **BSC (*base station controller*)** – Responsável pelo controle de um grupo de BTS, ou seja, a parte de *software* do sistema.

A comunicação entre BTS e BSC é feita por meio da interface padronizada Abis, possibilitando a interoperação de componentes oriundos de diversos fornecedores. Os controladores de estação base (BSCs) comunicam-se com a central de comutação móvel (MSC – *mobile switching center*), situada no subsistema de rede (NS – *network subsystem*), por meio da interface A.

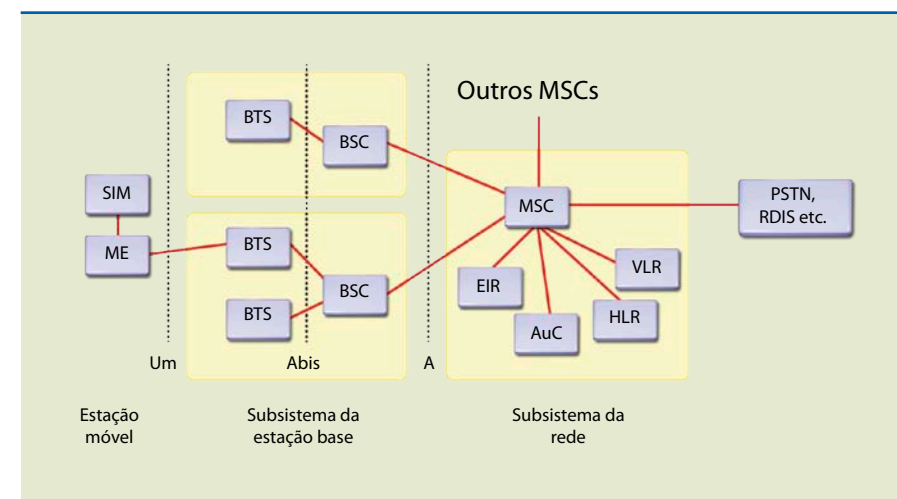
### 12.10.3 Sistema de comutação de rede (NSS)

É responsável pelas funções de comutação das chamadas dos usuários e controle e gerenciamento da mobilidade e da base de dados dos assinantes. É formado pelos seguintes subsistemas:

- Central de comutação móvel (MSC – *mobile services switching centre*).
- Registro de localização local (HLR – *home location register*).
- Centro de autenticação (AuC – *authentication centre*).
- Registro de localização de visitante (VLR – *visitor location register*).
- Registro de identidade do equipamento (EIR – *equipment identity register*).
- Função de interfuncionamento (IWF – *interworking function*).
- Supressor de eco (EC – *echo canceler*).

A **MSC** é responsável pela comutação das chamadas e pelas funcionalidades de gestão das subscrições das estações móveis, além de efetuar a ligação da rede GSM à rede de telefonia fixa. O encaminhamento das chamadas na rede GSM é realizado com o auxílio dos registros **HLR** e **VLR**, que armazenam informações administrativas dos usuários, incluindo a localização da estação móvel.

O registro de identidade do equipamento **EIR** contém uma lista de todas as estações móveis válidas (com permissão de utilizar a rede). O registro de autenticação **AuC** é uma base de dados que armazena uma cópia do código secreto contido em cada cartão SIM da rede, sendo utilizado para autenticação dos usuários e encriptação dos dados (figura 12.9).



**Figura 12.9**  
Componentes da arquitetura GSM.

## 12.11 Handover

No sistema GSM, existem quatro níveis de *handover*, referentes à transferência das chamadas entre as seguintes entidades:

- Canais (*slots*) em uma mesma célula.
- Células sob controle de um mesmo controlador de estação base (BSC) – inter-BTS.
- Células sob controle de BSCs diferentes, porém associados a uma mesma central de comutação móvel (MSC) – inter-BSC.
- Células associadas a diferentes MSCs – inter-MSC.

Os dois primeiros níveis, denominados *handovers* internos, envolvem apenas um BSC e são geridos sem a intervenção da MSC. Os outros dois, denominados *handovers* externos, são geridos pelas MSCs.

Os *handovers* podem ser iniciados tanto pela estação móvel como pela MSC. Durante seus *slots* vazios, a estação móvel monitora o canal BCCH de até 16 células vizinhas, formando uma lista das seis melhores candidatas para um possível *handover* pela medição da taxa de erro de bit (BER – *bit error rate*). Essa informação é então passada para o BSC e para a MSC, pelo menos uma vez por segundo.

Para que uma estação móvel saiba quando receberá uma nova chamada, ela consulta as mensagens de paginação difundidas no canal de *paging* da célula. Para garantir que a mensagem de paginação seja difundida na célula em que a estação móvel se encontra, uma abordagem extrema deveria obrigar a transmissão da mensagem de paginação em todas as células que compõem a rede, porém isso representaria um *overhead* significativo. No outro extremo, a estação móvel poderia informar sua localização a cada mudança de célula, mas isso também causaria impacto.

O *handoff* no GSM é semelhante ao D-AMPS, pois os terminais móveis decidem quando devem fazer as efetuações, medindo as estações vizinhas com os *slots* disponíveis.

Centre é usado no Reino Unido e Center nos Estados Unidos.



## 12.12 Transmissão de dados na rede GSM

A transmissão de dados no sistema GSM pode ser feita por meio de duas tecnologias: GPRS e EDGE.

O **general packet radio service (GPRS)** acrescenta à infraestrutura da rede GSM o recurso de transmissão de dados por pacote, utilizando protocolo IP, o que permite mobilidade e conectividade, gerando a integração dos serviços de voz e dados. Isso possibilita aos usuários acesso à internet e a outros serviços, a uma velocidade de até 115 kbits/s. Tais serviços são cobrados somente quando os usuários estão enviando ou recebendo dados. Os benefícios são:

- Maior velocidade de dados e mobilidade *always on*.
- Conexão quase instantânea.
- Acesso a uma abundância de dados ao redor do mundo, por meio da sustentação.
- Para múltiplos protocolos, incluindo o IP.
- O primeiro passo para os serviços 3G.

Para implementar o GPRS, é necessário adicionar novos elementos de rede e interfaces e atualizar os elementos da arquitetura GSM existentes. Nessas condições, deve-se prover o roteamento da distribuição de dados entre o terminal móvel e um nó do *gateway*, que permitirá a conexão com as redes de dados externas e o acesso à internet e a intranets.

Os principais elementos da arquitetura GPRS são:

- **PCU (packet control unit)** – A unidade de controle de pacotes é responsável por prover as interfaces físicas e lógicas que permitem a transferência de tráfego de dados por pacotes do BSS para um servidor de nó de suporte GPRS, o SGSN (*serving GPRS support node*). O tráfego de voz continua sendo transportado da maneira tradicional, ou seja, do BSS até a MSC.
- **SGSN (serving GPRS support node)** – É um novo nó ou ponto de rede introduzido pela rede GSM. Ele pode ser visto como uma MSC de comutação por pacotes, com a função de prover o ponto de acesso das estações móveis à rede de dados GPRS, além de gerenciar a mobilidade durante a conexão, criptografia e compressão de dados e tarifação.
- **GGSN (gateway GPRS support node)** – O *gateway* de nó de suporte GPRS provê as interfaces de conexão com redes externas, como internet (protocolo IP) e PDN (*packet data network*). Tem como funções o mapeamento das informações de roteamento e dos endereços de rede e assinantes e a tarifação dos dados.
- **DNS (domain name service)** – Assim como na internet, pode-se identificar um elemento da rede GPRS utilizando nomes em vez de um endereço IP. A associação de um nome com o endereço IP de cada elemento é feita por meio de um serviço de resolução de domínio (DNS).
- **DHCP (dynamic host configuration protocol)** – O protocolo de configuração dinâmica de *host* atribui endereços IP aos *hosts* (clientes DHCP-computadores, celulares, *palmtops* conectados à internet) das redes IP.

O DHCP atribui um endereço IP ao cliente por um intervalo de tempo limitado, ou seja, durante uma conexão.

- **RADIUS (remote access dial in user service)** – O serviço de acesso remoto ao usuário por linha discada provê ao usuário que acessa a rede por linha discada as funcionalidades de autenticação (verificação de usuário e senha), autorização e tarifação do acesso.
- **Firewall** – Dispositivo de segurança que protege o usuário de ataques externos (*hackers*) e vírus.
- **APN (access point name)** – O nome do ponto de acesso é usado para designar determinada aplicação à estação móvel, como envio de mensagens multimídia (MMS), acesso à internet e envio de *e-mails*.

Como podemos ver, assim como a internet, o GPRS tem, além desses elementos comuns a uma rede de computadores, uma camada de protocolos, responsável pela conexão da rede GSM com as redes de comunicação por pacotes. Também possui um conjunto de canais físicos e lógicos para comunicação.

A tecnologia **EDGE (enhanced data rates for global evolution)** permite que as redes GSM/GPRS possam ser atualizadas para acomodar a terceira geração de serviços de telefonia móvel, com velocidade de transmissão de dados de até 384 kbits/s, aumentando a eficiência do espectro de frequências em até três vezes para tráfego de dados e utilizando as licenças de banda existentes. A rede é idêntica à GPRS, com diferenças apenas na interface aérea e nos elementos BTS e MS, agregando ao sistema GPRS as seguintes funcionalidades:

- Novas facilidades no protocolo de acesso à interface aérea entre estações móveis e BSS.
- Modulação 8-PSK (*8-state phase shift keying*).
- Melhoria na codificação de canal.

## 12.13 Terceira geração celular (3G)

A finalidade dos primeiros sistemas celulares analógicos (1G), como o AMPS, era prover um serviço de voz ao usuário que garantisse a mobilidade dentro de sua área de cobertura. Com a digitalização da rede celular, surgiram os sistemas 2G, como o TDMA, o CDMA e o GSM, capazes de transportar voz e dados a baixas taxas de transferência. Com o avanço e popularização da internet, o perfil dos usuários começou a mudar. Os sistemas celulares então começaram a evoluir, visando a adaptar-se à crescente demanda por novos serviços e aplicações. Deixaram de ser apenas um “telefone” e se transformaram em computadores de pequeno porte, provendo acesso à internet, serviço de *e-mail*, *download* de aplicativos, dando origem à terceira geração de telefonia celular.

A ampla gama de serviços oferecidos pelo 3G se deve à capacidade de sua rede de suportar maior número de clientes de voz e dados, ter melhor eficiência espectral e apresentar maiores taxas de dados a um custo de implantação menor que na segunda geração.





A padronização da tecnologia 3G começou em 1989, quando a ITU divulgou um documento com as características gerais do sistema, os requisitos mínimos de operação e as restrições. Surgiu então o padrão IMT-2000 (*international mobile telephony 2000*). Com base nesse padrão, as empresas de telefonia e órgãos reguladores do mundo inteiro passaram a estudar e propor soluções para a criação de uma tecnologia que atendesse às demandas do IMT-2000.

Os primeiros serviços utilizando tecnologia 3G foram introduzidos na Europa em 2003, no Reino Unido e na Itália. Devido a custos relacionados a licenciamento de novas frequências para operação, a implantação da rede foi adiada em alguns países.

Pelo padrão IMT-2000, o usuário pode ser classificado, no que diz respeito a sua mobilidade, como:

- Estacionário: 0 km/h.
- Pedestre: até 10 km/h.
- Veicular: até 100 km/h.
- Veicular de alta velocidade: até 500 km/h.
- Aeronáutico: até 1 500 km/h.
- Satélite: até 27 000 km/h.

São prestados serviços de: voz, áudio, texto, imagem, vídeo, sinalização e dados.

Quanto às células, são dos seguintes tipos, de acordo com o tamanho:

- Megacélula: de 100 a 500 km de raio.
- Macrocélula: até 35 km de raio.
- Microcélula: menor que 1 km de raio.
- Picocélula: até 50 m de raio.

Com base nesses requisitos propostos, diversas empresas e órgãos reguladores do mundo apresentaram à ITU 13 propostas de sistemas 3G, sendo as mais importantes:

- WCDMA (*wideband CDMA*).
- CDMA 2000 (evolução do IS-95).
- UMTS (*universal mobile telecommunications system* – evolução do GSM).
- TD-SCDMA (*time division synchronous CDMA*).

Analisando essas propostas, concluiu-se que as tecnologias UMTS e CDMA 2000 seriam as mais propícias, devido à facilidade de migração dos sistemas GSM e IS-95 para elas.

Pode-se dizer que uma rede 3G é baseada em dois princípios:

- Comunicação banda larga via rádio.
- Serviços baseados em IP.

Dessa maneira, a rede 3G apresenta os seguintes benefícios:

- Maior velocidade de transmissão de dados e mobilidade/conexão permanente.
- Conexão quase instantânea.
- Conexão com dados suportando diversos protocolos, incluindo IP.

### 12.13.1 Migração para a rede 3G

A migração da telefonia móvel 2G para 3G com as tecnologias UMTS e CDMA 2000 possibilitou às operadoras reutilizar grande parte do investimento já realizado nas redes em operação, além de ser progressiva, de modo que as operadoras puderam administrar, cada uma a seu tempo, a migração de seus assinantes.

Em redes baseadas nas tecnologias GSM e TDMA, a migração para os serviços 3G é possível utilizando as tecnologias EDGE e WCDMA. Ambas têm suas vantagens, propiciando ampla gama de possibilidades e aumento da capacidade da rede. As operadoras com redes 2G em operação podem prover serviços 3G nas frequências existentes usando a infraestrutura de rede atual. Isso significa que as operadoras não precisam obter licença para faixas de frequências adicionais. Além disso, é possível construir essa rede sobre a base já existente, protegendo os investimentos já realizados, por meio da adição de *hardware* e *software* à rede já em operação.

Para operadoras GSM, o primeiro passo foi a implementação do GPRS (*general packet radio service*), introduzindo a comunicação baseada em IP em sua rede. Conforme visto anteriormente, sua origem é ligada à transmissão de pacotes, permitindo que os usuários estejam sempre conectados, porém pagando apenas pelos serviços de dados enviados e recebidos. Logo em seguida, as operadoras foram migrando para a tecnologia EDGE, incrementando a capacidade da rede de acesso via rádio para suportar os serviços 3G com até 384 kbits/s de taxa de transmissão.

Para redes baseadas em CDMA, a escolha é o CDMA 2000, elevando as taxas de velocidade de transmissão nas redes CDMA e permitindo a oferta de novos serviços, além de oferecer aproximadamente o dobro de capacidade para tráfego de voz, em comparação com as redes CDMA de segunda geração.

### 12.13.2 WCDMA

O WCDMA (*wideband code division multiple access* – banda larga de múltiplo acesso por divisão de código) possui velocidade de dados mais rápida que o GPRS e o EDGE e permite ao usuário a transmissão e recepção de dados durante uma chamada, o que não é possível utilizando GPRS e EDGE.

Foi projetado para tratar serviços de multimídia que demandam grande largura de banda, com taxas de velocidade de transmissão de dados até 100 vezes superiores às taxas das redes móveis 2G (até 2 Mbits/s), além de uma nova geração de serviços que misturam diferentes elementos de mídia, como voz, vídeo, som digital, cor, imagens e animações.



O WCDMA tem dois modos de operação:

- **Frequency division duplex (FDD)** – Os enlaces de subida e descida utilizam canais de 5 MHz diferentes e separados por uma frequência de 190 MHz.
- **Time division duplex (TDD)** – Os enlaces de subida e descida compartilham a mesma banda de 5 MHz. Em 2010 esse sistema ainda estava em desenvolvimento.

A tabela 12.2 apresenta algumas características do WCDMA utilizando FDD.

**Tabela 12.2**

Características técnicas do WCDMA.

| Método de múltiplo acesso                  | DS-SS-SS (sequência direta CDMA) |
|--|----------------------------------|
| Fator de reuso de frequências              | 1                                |
| Banda por portadora                        | 5 MHz                            |
| Chip rate                                  | 3,84 Mcps                        |
| Frame                                      | 10 ms (38 400 chips)             |
| Nº de slots/frame                          | 15                               |
| Nº de chips/slot                           | 2 560 (máx. 2 560 bits)          |
| Fator de espalhamento no enlace de subida  | 4 a 256                          |
| Fator de espalhamento no enlace de descida | 4 a 512                          |
| Taxa do canal                              | 7,5 kbits/s a 960 kbits/s        |

### 12.13.3 CDMA 2000

CDMA 2000 é um padrão 3G eficiente para disponibilizar serviços de voz e de dados em banda larga de alta capacidade, com taxas de transmissão de 2 Mbits/s. Esse sistema permite também o acesso simultâneo de serviços de voz, vídeo e dados. É totalmente compatível com os padrões IMT-2000 para 3G. Foi implementado nas bandas de frequências existentes de CDMA e TDMA nas faixas de 800 e 1 900 MHz, assim como no espectro de 2 GHz, utilizado no Japão. É uma evolução do padrão CDMA baseado no IS-95 e ANSI-41.

A tecnologia CDMA 2000 1X oferece altas taxas de transmissão de dados por pacotes, aumentando a velocidade da rede e elevando a capacidade de tráfego de voz em aproximadamente duas vezes a das redes CDMA 2G. A sigla 1X significa uma vez 1,25 MHz, largura de banda padrão de uma operadora CDMA IS-95.

Manter a largura da banda padronizada para CDMA tornou ambas as infraestruturas e seus terminais compatíveis, perante as evoluções tecnológicas. Uma rede CDMA 2000 é composta de componentes de interface aérea 1X e um

*backbone* de dados (PCN – *packet core network*). O CDMA 2000 PCN é equivalente em funcionalidade a uma rede GPRS, mas utiliza protocolos baseados em IP móvel.

A evolução do CDMA 2000 1X é o CDMA 2000 1XEV, dividido em duas fases:

- 1XVE-DO (*data only*), voltado para tráfego veloz de dados.
- 1XVE-DV (*data and voice*), combinando voz e dados em alta velocidade em uma mesma frequência ou *carrier*.

O 1XVE-DO permitirá maior velocidade de dados para usuários CDMA de uma operadora dedicada a tráfego de dados, superior a 2 Mbits/s. O 1XEV-DV oferecerá alta velocidade para transmissão de dados e voz simultânea em uma mesma operadora, além de serviços de dados em tempo real.

### 12.13.4 UMTS

O padrão UMTS (*universal mobile telecommunications system*) é uma evolução dos sistemas GSM de segunda geração no que diz respeito à capacidade do sistema e taxas de transmissão de dados, possibilitando o incremento de novos serviços e facilidades oferecidas pelas operadoras de telefonia celular. Pode utilizar como interface de rádio as tecnologias WCDMA e EDGE e é totalmente compatível com as tecnologias GPRS e EDGE. Sua banda de operação básica é de 5 MHz.

A interface aérea do UMTS é chamada de UTRA (*universal terrestrial radio access*), e possui os dois modos de operação utilizados no WCDMA, divisão de frequência duplex (FDD) e divisão de tempo duplex (TDD), vistos anteriormente. No FDD são alocadas duas faixas de frequências, uma para enlace direto e outra para enlace reverso, enquanto no TDD os enlaces direto e reverso são alocados em uma única faixa, multiplexada no tempo.

Apesar de o UMTS ser baseado na tecnologia GSM, utiliza como tecnologia de múltiplo acesso o CDMA, permitindo que os usuários usem a mesma faixa de frequências durante todo o tempo, além de oferecer maior segurança ao sistema.

A arquitetura da rede UMTS é formada pelos seguintes elementos:

- **User equipment (UE)** – É o terminal móvel e seu módulo de identidade de serviços do usuário (USIM), equivalente ao cartão SIM dos terminais GSM.
- **Core network (CN)** – Rede de suporte, ou seja, núcleo da rede que suporta serviços baseados em comutação de circuitos e comutação de pacotes.
- **Universal terrestrial radio access network (UTRAN)** – Rede universal de acesso de radiofrequência terrestre.

As interfaces de ligação desses elementos são chamadas de lu e Uu, com a função de transporte de protocolos, que implementam os serviços de acesso à interface aérea e seu controle. Os protocolos de comunicação utilizados nessa arquitetura procuram manter a compatibilidade com os protocolos definidos para o GSM, principalmente no que se refere à parte do usuário. A sinalização empregada é a

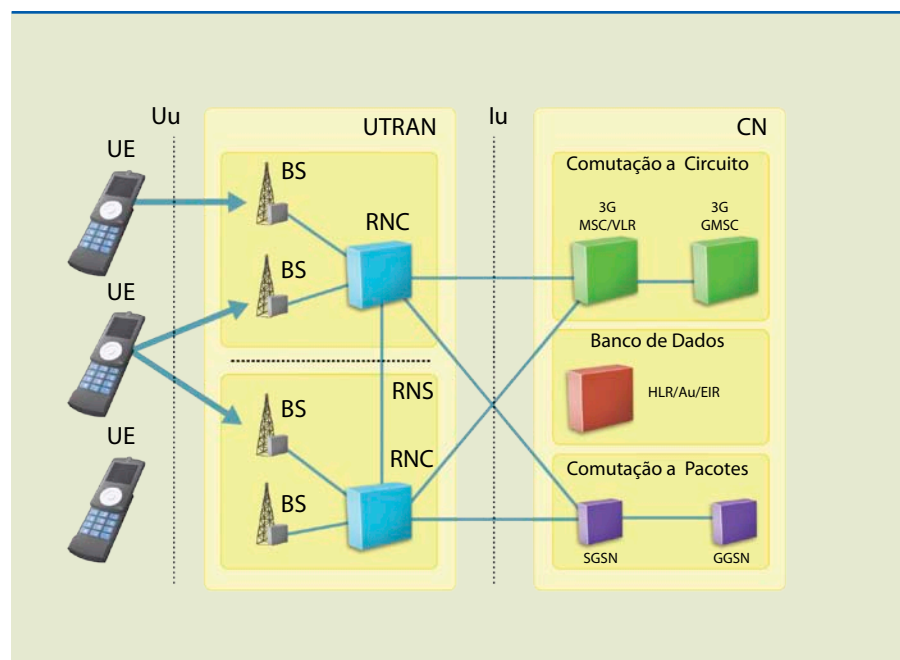


SS7, mas com algumas modificações que possibilitam suportar o transporte de dados com taxas mais altas.

A figura 12.10 dá uma ideia da arquitetura UMTS.

**Figura 12.10**

Arquitetura da rede UMTS.



A UTRAN é formada por um conjunto de subsistemas de rede de RF, chamado de RNS (*radio network system*), conectado à rede de suporte pela interface lu. A RNS é dividida em RNC (*radio network controller*) e nó B (*node B*). O RNC é responsável pela conexão da interface aérea com a rede de suporte CN (gerenciamento dos recursos de RF, gerenciamento dos nós B, localização dos terminais de usuários e gerenciamento da mobilidade). O nó B faz a interconexão da interface aérea com a infraestrutura celular (controle dos sinais de RF presentes na interface aérea, dos canais físicos e espalhamento espectral).

A comunicação realizada por meio da interface rádio do UTRAN utiliza três tipos de grupos de canais, com funções semelhantes aos canais GSM:

- **Canais lógicos** – Identificam o tipo de informação transportada. Podem ser de dois grupos: de controle e de tráfego. São exemplos de canais lógicos de controle: o BCCH (*broadcast control channel*), o PCCH (*paging control channel*), o CCCH (*common control channel*) e o DCCH (*dedicated control channel*). No grupo de canais de tráfego encontram-se o CTCH (*common traffic channel*) e o DTCH (*dedicated traffic channel*).
- **Canais de transporte** – Identificam as características de transporte dos dados pela interface aérea e são divididos em dois grupos: comuns e dedicados. Os canais comuns transportam informação comum a vários usuários – por exemplo, o BCH (*broadcast channel*) e o FACH (*forward access channel*). Os canais dedicados transportam informação para um usuário específico – por exemplo, o DCH (*dedicated channel*) e o E-DCH (*enhanced dedicated channel*).

- **Canais físicos** – Responsáveis pela codificação e transmissão dos canais de transporte pela interface aérea. São formados por quadros de RF e intervalos de tempo de canal (*time slots*). Possuem canais comuns e dedicados.

A rede de suporte CN utilizada no UMTS é a mesma implementada nos padrões GPRS e EDGE, possibilitando uma migração relativamente simples entre as redes 2G, 2.5G, 2.75G e 3G, além de garantir que os serviços desenvolvidos para essas redes possam ser utilizados na terceira geração. Esse padrão está sendo desenvolvido pelo 3GPP (responsável pela padronização da evolução do GSM para 3G), devendo incorporar, em suas versões futuras, o IP *multimedia subsystem* (IMS) em sua *core network*, o que permitirá que um usuário estabeleça uma sessão multimídia com outro usuário. Com a implantação do *high speed downlink packet access* (HSDPA) a taxa de dados poderá também ser ampliada.

O HSDPA é um serviço de transmissão de pacotes de dados que opera dentro do WCDMA, no enlace direto (*downlink*), possibilitando a transmissão de dados de até 14,4 Mbits/s em uma banda de 5 MHz, abrindo novas possibilidades de serviços multimídia que utilizam a transmissão em banda larga em telefones móveis. Esse serviço já é considerado uma tecnologia 3.5G.

## 12.14 Bluetooth

*Bluetooth* é um padrão aberto para comunicação de rádio bidirecional, de curto alcance, entre diferentes aparelhos eletroeletrônicos, como telefones celulares, *palmtops*, *laptops* e impressoras, permitindo, ainda, a sincronização entre eles. É também importante para comunicação entre máquinas, um dos segmentos de maior potencial de crescimento nas telecomunicações. Por exemplo, suas notícias diárias podem ser transmitidas de um computador para seu PDA de maneira automática quando estiver dentro da área de cobertura de seu PC com *bluetooth*. Essa tecnologia opera na faixa de frequência de 2,4 GHz, reservada pela Anatel para a operação de equipamentos de radiação restrita, sem necessidade de licença de operação.

As principais características do *bluetooth* são:

- Técnica de espalhamento espectral com salto de frequências (SS/FH – *spread spectrum-frequency hopping*).
- Taxa de transferência de dados: até 1 Mbit/s.
- Distância entre dispositivos: de 10 a 100 m, utilizando amplificadores.
- Transferência de voz e dados combinados no mesmo meio físico.
- Baixa potência: de 0 dBm a 10 m e de 20 dBm a 100 m de distância.
- Baixo custo.

A tecnologia *bluetooth* foi desenvolvida pela Ericsson em meados da década de 1990, mas hoje está sob os cuidados Bluetooth Special Interest Group (SIG), um grupo de diversos fabricantes de equipamentos de telecom, computadores e componentes eletrônicos que fomenta o desenvolvimento e aplicações baseadas nessa tecnologia. Seu nome foi escolhido em homenagem a Harald Bluetooth (Dente Azul), rei da Dinamarca no século IX. Segundo a lenda, ele recebeu esse apelido porque possuía na arcada dentária uma incrustação azulada.

