

..... *Road Map* .....

- ⇒ Cap. VII - Introdução a Sistemas de Comunicações *Wireless* Móveis  
(*overview*)
- ⇒ Cap. VIII – Sistemas de Comunicações *Wireless* Móveis e Padrões  
(sistemas celulares)
- ⇒ Cap. IX - Tecnologias de Redes *Wireless* e Padrões  
(802.11x (WLAN), *Bluetooth* (WLAN extension), 802.16x (*Last Mile WMAN*), ...)

## Capítulo VII – Introdução a Sistemas de Comunicações *Wireless*

### Sistemas de Comunicações Móveis - Evolução

Inicialmente: o crescimento no campo das comunicações móveis foi lento e extremamente relacionado ao desenvolvimento tecnológico.

Sistemas de comunicações móveis para populações inteiras: Possibilitado pela concepção do conceito de comunicações celulares pelos pesquisadores do *Bell Laboratories* (décadas 60 e 70).

Marco inicial das comunicações *wireless*: Desenvolvimento de *hardware* miniaturizado e de confiabilidade adequada para uso em rádio-frequência (década de 70).

Recentemente: Crescimento dos serviços de comunicação rádio-celular e de sistemas de comunicações pessoais (*Personal Communications Systems* - PCS) tem sido exponencial.

Futuro: Acredita-se que a razão de crescimento dos sistemas de comunicações *wireless* esteja ligada a decisões regulatórias que irão suportar o desenvolvimento de novos serviços (e/ou a extensão de serviços pré-existentes), acompanhadas de avanços em processamento digital de sinais e tecnologia de redes.

## Cronologia da Evolução dos Sistemas de Comunicações Móveis

1990	Sistemas de rádio-não-celular licenciados nos USA $\approx$ 2 milhões de usuários, (o dobro da população de usuários de telefonia celular)
2001	Base de assinantes de sistemas celulares e PCS nos USA já supera em muito o número de usuários licenciados de sistemas não-celulares.

Fator determinante do surgimento da indústria de telecomunicações: segurança pública.	
1921	Primeiro uso de rádio-móvel em um automóvel (ao invés de em um navio): Depart. de Polícia de Detroit.
1932	Depart. de Polícia de New York.
1934	Existiam 194 estações policiais de rádio municipais e 58 estaduais adotando modulação AM em sistemas de comunicações móveis de segurança pública nos USA.

Em torno de 1930 foi estimado em 5.000 o número de usuários de **sistemas de comunicações instalados em veículos**.

No entanto, a **tecnologia** existente não era suficiente para desenvolver equipamentos de **pequenas dimensões** e **fácil manuseio**, para uso em veículos automotivos. A transmissão de sinais de rádio-telefonia também era prejudicada pela existência de ruas de calçamento irregular, prédios altos e terrenos acidentados.

A tecnologia revolucionária para melhorar a transmissão de rádio e diminuir o tamanho dos equipamentos surgiu em 1935, quando Edwin Armstrong revelou sua invenção, a Modulação em Frequência.

A **WWII** acelerou as melhorias dos processos de **industrialização** e **miniaturização**, o que possibilitou o posterior desenvolvimento de sistemas de rádio e televisão dedicados aos consumidores em geral.

Como consequência, o número de usuários do sistema de comunicações móveis nos USA subiu de poucos milhares em 1940 para 86.000 em 1948, logo após o final da WWII quando, então, já se encontrava disponibilizado para o setor privado, para a polícia e para os bombeiros.

1958	Nº de usuários de sists. de coms. móveis subiu para 695.000.
1962	Nº de usuários de sists. de coms. móveis subiu para 1.4 milhões.
60s	A grande maioria de usuários de sistemas móveis não era composta de usuários conectados à rede pública de telefonia comutada, não podendo, portanto, discar diretamente nº de telefones a partir de seus veículos.
1995	Nº de usuários de rádio portátil e sistemas móveis era de $\approx 100$ milhões, ou 37% da população dos USA. Este impacto foi devido ao surgimento de aplicações simples (para uso doméstico), tais como telefones e controles remotos para abrir portas de garagem.
1991	25 milhões < Nº estimado de telefones sem fio nos USA < 40 milhões
2001	Nº estimado de telefones sem fio utilizados nos USA $\approx 100$ milhões.

O número de telefones celulares utilizados no mundo cresceu de 25.000 em 1984 para ≈ 25 milhões em 1993 e, desde então, serviços *wireless* destinados a assinantes têm apresentado um crescimento de consumo com taxas que excedem 50% ao ano.

A base de assinantes de sistemas celulares e serviços de comunicação pessoal em nível mundial atingiu aproximadamente 630 milhões em 2001, um número considerável, se comparado ao número existente de linhas de telefones convencionais (telefones *wired*): ≈ 1 bilhão.

No início do Século XXI, mais de 1% dos assinantes de sistemas de comunicações *wireless* já tinha abandonado o serviço de telefonia convencional para uso residencial, passando a confiar unicamente em seus provedores de serviços de telefonia celular.

Acredita-se que o número de usuários de sistemas de telefonia que conte com meios de comunicação *wireless* como seu único tipo de acesso à telefonia aumente de forma considerável nos próximos anos.

## Rádio-Telefonia Móvel nos Estados Unidos

1946	Foi introduzido o primeiro serviço de telefonia pública móvel nas 25 maiores cidades americanas. Cada sistema usava um transmissor de alta potência e uma torre suficientemente grande para cobrir distâncias > 50 km.
	<b>Eficiência Espectral:</b>
1946	1 <sup>os</sup> sistemas de telefonia FM usavam 120 kHz de banda de RF, em um modo de transmissão <i>half-duplex</i> , embora o espectro de banda base ocupe apenas 3 kHz. - O uso de uma largura de banda de RF maior do que a necessária era devido a restrições de <i>hardware</i> - dificuldade de produzir filtros de RF eficientes e amplificadores, nos receptores, de baixo ruído. - <i>Half-Duplex</i> : sistema que permite comunicação bidirecional, mas não simultânea.
1950	FCC ( <i>Federal Communications Commission</i> ) dobrou o número de canais de telefonia móvel por região, mas sem nenhuma nova alocação de espectro. Tecnologias mais avançadas possibilitaram que a largura de banda requerida do canal fosse cortada pela metade, ou seja, para 60 kHz.
WWII até 60s	A eficiência espectral aumentou apenas quatro vezes durante o período compreendido entre a WWII e a metade dos anos sessenta.
50s e 60s	Nas décadas de 50 e 60 foi introduzido e implementado o conceito de <i>trunking</i> → IMTS ( <i>Improved Mobile Telephone Service</i> ). Técnicas de rádio-telefonia celular.

### ***Trunking* → aumento da eficiência espectral.**

Nas décadas de 50 e 60 foi introduzido o conceito de *trunking* (através do *IMTS-Improved Mobile Telephone Service*).

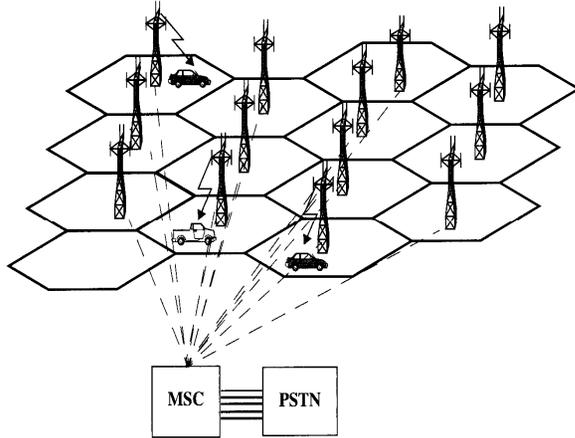
#### *Trunking*:

- ◆ permite acomodar um grande n<sup>o</sup> de usuários em um limitado espectro de frequência, ou seja,
- ◆ permite que um grande número de usuários divida o n<sup>o</sup> relativamente pequeno de canais na célula, provendo acesso sob demanda a cada usuário,
- ◆ após terminada a chamada, o canal previamente ocupado é imediatamente devolvido ao conjunto de canais disponíveis.

#### IMTS:

- ⇒ Permitiu que as companhias de telefone começassem a oferecer sistemas de telefonia *full-duplex*, com discagem e *trunking* automáticos.
- ⇒ Foi projetado para completar apenas 50% das chamadas durante as horas de congestionamento (devido ao pequeno número de canais disponíveis para o serviço) e era, frequentemente, ainda pior em áreas metropolitanas!
- ⇒ Rapidamente se tornou saturado nos principais mercados. Em 1976, o serviço de telefonia móvel da Bell para o mercado da cidade de New York, (um mercado de aproximadamente dez milhões de pessoas, naquela época) tinha apenas 12 canais e podia servir a apenas 543 assinantes pagantes. Havia uma lista de espera de mais de 3.700 pessoas e o serviço era de má qualidade devido ao bloqueamento de chamadas e ao uso de apenas poucos canais.

## O Conceito de Telefonia Celular



Com o intuito de melhor aproveitar o espectro de rádio-freqüências, durante as décadas de 50 e 60, os engenheiros **da AT&T e outras companhias de telecomunicações** através do mundo desenvolveram a teoria e técnicas de **rádio-telefonia celular**:

**O conceito de quebrar uma zona de cobertura em pequenas células, cada uma das quais reusando porções do espectro, para aumentar o uso do espectro, às custas de uma maior infra-estrutura de sistema.**

A idéia básica da alocação de espectro do rádio-celular é similar àquela usada pelo FCC quando aloca estações de televisão ou estações de rádio com diferentes canais em uma determinada região do país, e então realoca aqueles mesmos canais para diferentes estações em regiões completamente diferentes do país.

Os canais são reusados apenas quando há uma distância suficiente entre os transmissores, para que sejam evitadas interferências.

**Por sua vez, a telefonia celular baseia-se no reuso dos mesmos canais dentro do mesmo mercado ou área de serviço.**

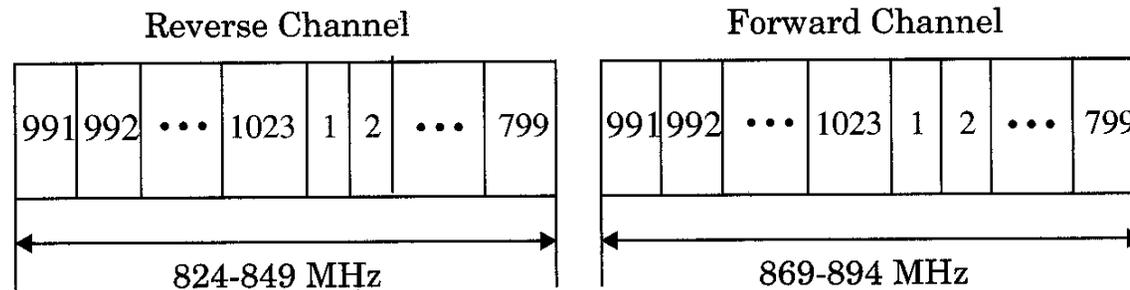
Em 1968, a **AT&T** propôs o conceito de um sistema móvel celular para o FCC (embora a tecnologia não estivesse disponível para implementar de fato os sistemas de telefonia celular até o final dos anos 70).

**O novo sistema propunha:**

- ⇒ **"esticar" o número limitado de frequências de rádio disponíveis para o serviço móvel,**
- ⇒ **através do "espalhamento" de múltiplos transmissores de baixa potência sobre uma região metropolitana e**
- ⇒ **"passar adiante" as chamadas, de transmissor a transmissor, à medida que o usuário móvel se deslocasse ao longo da região.**

A técnica proposta permitia o **acesso de mais usuários ao sistema simultaneamente**, além de permitir também que, **quando uma ampliação de capacidade fosse necessária, a área servida por cada transmissor fosse novamente dividida.**

- ◆ Em 1983, o FCC finalmente alocou 666 canais *duplex* (40 MHz de espectro, na banda de 800 MHz, cada canal tendo uma largura de banda de 30 kHz para uma ocupação total de espectro de 60 kHz para cada canal *duplex*) para o sistema **AMPS** (*Advanced Mobile Phone System*) americano.
- ◆ Regras do FCC: p/ cada cidade, 2 provedores de sistema rádio-celular, promovendo um duopólio dentro de cada mercado, p/ garantir algum nível de competição. Os canais de rádio eram divididos igualmente entre os dois provedores.
- ◆ O **sistema AMPS** foi o primeiro sistema de telefonia celular americano, aplicado em 1983 pela Ameritech em Chicago (analógico).
- ◆ Em 1989 o FCC permitiu o uso de 166 canais adicionais (10 MHz) para os provedores de serviço celular nos USA, com o intuito de acomodar o rápido crescimento da demanda.
- ◆ O sistema se baseia em um planejamento criterioso de reuso de frequências e em acesso múltiplo por divisão de frequência (FDMA - *Frequency Division Multiple Access*).



	Channel Number	Center Frequency (MHz)
Reverse Channel	$1 \leq N \leq 799$	$0.030N + 825.0$
	$991 \leq N \leq 1023$	$0.030(N - 1023) + 825.0$
Forward Channel	$1 \leq N \leq 799$	$0.030N + 870.0$
	$991 \leq N \leq 1023$	$0.030(N - 1023) + 870.0$

(Channels 800–990 are unused)

Alocação do espectro de frequências para o serviço de rádio celular nos Estados Unidos. Canais de mesma identificação nas duas bandas formam um par de canais direto e reverso usados para comunicação *duplex* entre a Estação Base e a Móvel. Observe que os canais direto e reverso são separados por 45 MHz.

No final de 1991 o 1º. sistema celular digital foi instalado nas principais cidades americanas.

O **padrão USDC** (*US Digital Cellular – Electronic Industry Association Interim Standard IS-54* e, mais tarde, **IS-136**) possibilitou aos operadores de telefonia celular substituir alguns canais analógicos por canais digitais, os quais permitiam 3 usuários na mesma banda de 30 kHz.

Desta forma, os sistemas analógicos foram gradualmente sendo substituídos por telefones digitais.

A capacidade oferecida pelo sistema USDC é três vezes a do AMPS, devido às características de: modulação digital ( $\pi/4$  *Differential Quadrature Phase Shift Keying*), usada em lugar do FM, codificação de voz e TDMA - *Time Division Multiple Access*, usado em lugar do FDMA analógico.

Um **sistema celular baseado em CDMA** foi desenvolvido pela **Qualcomm, Inc.** e padronizado pela **TIA** (*Telecommunications Industry Association*) como o padrão **IS-95** (*Interim Standard*).

Este sistema permite um número variável de usuários em canais de 1.25 MHz, usando *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS).

Enquanto o sistema AMPS analógico requer que o sinal seja, no mínimo, 18 dB maior do que a interferência co-canal para prover uma chamada de qualidade aceitável, os sistemas CDMA operam a níveis de interferência muito maiores.

Diferentemente de outros sistemas celulares digitais, o sistema da Qualcomm usa um **codificador de taxa variável de voz com detecção de atividade de voz**, o qual reduz consideravelmente a taxa de dados requerida e também o consumo de bateria pelo transmissor móvel.

## Sistemas Rádio-Móveis ao Redor do Mundo

Muitos padrões para sistemas de comunicações rádio-móveis têm sido desenvolvidos para sistemas de comunicações *wireless* através do mundo e muitos padrões com certeza ainda irão emergir.

As Tabelas 1.1 a 1.3 listam os padrões mais comuns de sistemas *paging*, sem fio e celular usados na América do Norte, Europa e Japão.

O padrão de *paging* mais comum em nível mundial é o *Post Office Code Standard Advisory Group* (POCSAG), que foi desenvolvido pelo *British Post Office* em 1970 e oferece suporte para *binary frequency shift keying* (FSK) a 512 bps, 1200 bps e 2400 bps.

Sistemas de *paging*, tais como FLEX e ERMES, provêm transmissões a mais de 6.400 bps através da utilização de modulação em quatro níveis e têm sido correntemente utilizados em nível mundial.

Os padrões **CT2** e *Digital European Cordless Telephone (DECT)* desenvolvidos na Europa são os dois mais populares padrões de telefone sem fio na Europa e na Ásia. O sistema CT2 faz uso de microcélulas, as quais cobrem pequenas distâncias, usualmente menores do que 100 metros, usando estações bases com antenas montadas em postes de iluminação ou nas laterais de prédios. O sistema CT2 utiliza modulação FSK juntamente com um codificador de voz do tipo ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) para transmissão com alta qualidade de voz. As operações de *handoff* entre estações base não são permitidas no padrão CT2, que pretende prover acesso de curto alcance para a rede comutada de telefonia pública.

O sistema **DECT** acomoda transmissões de dados e voz para escritórios e usuários no ramo de negócios.

Nos Estados Unidos, o padrão **PACS**, desenvolvido pelo Bellcore e pela Motorola pode ser usado dentro de prédios oficiais como um sistema para comunicação *wireless* de voz e dados ou para loop de rádio local.

O sistema **PHS** (*Personal Handyphone System*) permite aplicações dentro de prédios e em *loops* locais no Japão.

Major Mobile Radio Standards in North America

Standard	Type	Year of Introduction	Multiple Access	Frequency Band	Modulation	Channel Bandwidth
<b>AMPS</b>	Cellular	1983	FDMA	824-894 MHz	FM	30 kHz
<b>NAMPS</b>	Cellular	1992	FDMA	824-894 MHz	FM	10 kHz
<b>USDC</b>	Cellular	1991	TDMA	824-894 MHz	$\pi/4$ -DQPSK	30 kHz
<b>CDPD</b>	Cellular	1993	FH/ Packet	824-894 MHz	GMSK	30 kHz
<b>IS-95</b>	Cellular/ PCS	1993	CDMA	824-894 MHz 1.8-2.0 GHz	QPSK/ BPSK	1.25 MHz
<b>GSC</b>	Paging	1970s	Simplex	Several	FSK	12.5 kHz
<b>POCSAG</b>	Paging	1970s	Simplex	Several	FSK	12.5 kHz
<b>FLEX</b>	Paging	1993	Simplex	Several	4-FSK	15 kHz
<b>DCS-1900 (GSM)</b>	PCS	1994	TDMA	1.85-1.99 GHz	GMSK	200 kHz
<b>PACS</b>	Cordless/ PCS	1994	TDMA/ FDMA	1.85-1.99 GHz	$\pi/4$ -DQPSK	300 kHz
<b>MIRS</b>	SMR/PCS	1994	TDMA	Several	16-QAM	25 kHz
<b>iDen</b>	SMR/PCS	1995	TDMA	Several	16-QAM	25 kHz

Tabela 1.1: Principais padrões para sistemas de comunicações rádio-móveis adotados na América do Norte.

### Major Mobile Radio Standards in Europe

<b>Standard</b>	<b>Type</b>	<b>Year of Introduction</b>	<b>Multiple Access</b>	<b>Frequency Band</b>	<b>Modulation</b>	<b>Channel Bandwidth</b>
<b>ETACS</b>	Cellular	1985	FDMA	900 MHz	FM	25 kHz
<b>NMT-450</b>	Cellular	1981	FDMA	450-470 MHz	FM	25 kHz
<b>NMT-900</b>	Cellular	1986	FDMA	890-960 MHz	FM	12.5 kHz
<b>GSM</b>	Cellular /PCS	1990	TDMA	890-960 MHz	GMSK	200 kHz
<b>C-450</b>	Cellular	1985	FDMA	450-465 MHz	FM	20 kHz/ 10 kHz
<b>ERMES</b>	Paging	1993	FDMA	Several	4-FSK	25 kHz
<b>CT2</b>	Cordless	1989	FDMA	864-868 MHz	GFSK	100 kHz
<b>DECT</b>	Cordless	1993	TDMA	1880-1900 MHz	GFSK	1.728 MHz
<b>DCS-1800</b>	Cordless /PCS	1993	TDMA	1710-1880 MHz	GMSK	200 kHz

Tabela 1.2: Principais padrões para sistemas de comunicações rádio-móveis adotados na Europa.

Major Mobile Radio Standards in Japan

Standard	Type	Year of Introduction	Multiple Access	Frequency Band	Modulation	Channel Bandwidth
<b>JTACS</b>	Cellular	1988	FDMA	860-925 MHz	FM	25 kHz
<b>PDC</b>	Cellular	1993	TDMA	810-1501 MHz	$\pi/4$ -DQPSK	25 kHz
<b>NTT</b>	Cellular	1979	FDMA	400/800 MHz	FM	25 kHz
<b>NTACS</b>	Cellular	1993	FDMA	843-925 MHz	FM	12.5 kHz
<b>NTT</b>	Paging	1979	FDMA	280 MHz	FSK	12.5 kHz
<b>NEC</b>	Paging	1979	FDMA	Several	FSK	10 kHz
<b>PHS</b>	Cordless	1993	TDMA	1895-1907 MHz	$\pi/4$ -DQPSK	300 kHz

Tabela 1.3: Principais padrões para sistemas de comunicações rádio-móveis adotados no Japão.

## Sistemas Celulares ao Redor do Mundo

- O primeiro sistema de comunicações celulares implantado no mundo foi desenvolvido pela *Nippon Telephone and Telegraph Company (NTT)*, no Japão. O sistema, empregado em 1979, usa 600 canais *duplex* de FM (25 kHz para cada *link* unidirecional) na banda de 800 MHz.
- Na Europa, o sistema *Nordic Mobile Telephone (NMT 450)* foi desenvolvido em 1981 para a banda de 450 MHz e usa canais de 25 kHz.
- O *European Total Access Cellular System (ETACS)* foi empregado em 1985 e é virtualmente idêntico ao sistema AMPS americano, exceto pelo fato de que canais de menor largura de banda resultam em uma leve degradação da relação sinal-ruído (SNR) e alcance de cobertura.
- Na Alemanha, um padrão celular chamado **C-450** foi introduzido em 1985.

Os sistemas celulares de primeira geração europeus são geralmente incompatíveis entre si devido às diferentes frequências e protocolos de comunicação utilizados.

Estes sistemas estão agora sendo substituídos pelo padrão celular digital **GSM (*Global System For Mobile) Pan European*** o qual foi pela primeira vez utilizado em 1990 em uma nova banda de 900 MHz, a qual toda a Europa dedicou para serviços de telefonia celular.

O padrão GSM obteve aceitação mundial como o primeiro sistema de celular digital universal com características modernas de rede estendidas a cada usuário móvel, e é a interface ar-digital líder mundial para serviços PCS acima de 1.800 MHz.

No Japão, o padrão *Pacific Digital Cellular (PDC)* provê cobertura celular digital usando um sistema similar ao sistema USDC da América do Norte.

## »Exemplos de Sistemas de Comunicações *Wireless*«

Sistemas de comunicação rádio-móvel utilizados no dia-a-dia, tais como:

- ⇒ sistemas para abertura de portas de garagens,
- ⇒ controles remotos para equipamentos de entretenimento,
- ⇒ telefones sem fio,
- ⇒ *walkie-talkies* portáteis,
- ⇒ *pagers*,
- ⇒ telefones celulares.

O custo, a complexidade, o desempenho e o tipo de serviços oferecidos por cada um destes sistemas móveis são muito diferentes.

O termo móvel tem sido historicamente usado para classificar qualquer terminal de rádio que pode ser movido durante sua operação.

Mais recentemente, o termo **móvel** é usado para descrever um terminal de rádio que é acoplado a uma plataforma móvel de alta velocidade (por exemplo, um celular em um veículo em rápido movimento).

O termo **portátil** descreve um terminal de rádio que pode ser conduzido na mão e usado por alguém enquanto se desloca (por exemplo, um *walkie-talkie* ou um telefone sem fio dentro de uma casa).

A Tabela 1.4 lista definições de alguns termos usados para descrever os elementos dos sistemas de comunicações *wireless*.

Estação Móvel	Estações Rádio-Móveis ( <i>Mobile Station</i> - MS ou, em português, ERM) são estações no serviço de rádio-celular usadas quando em movimento, em locais não especificados. MS podem ser unidades portáteis ou instaladas em veículos.
Estação Base	Estações Rádio-Base ( <i>Base Station</i> - BS ou, em português, ERB) são estações fixas em um sistema de rádio-móvel, usadas para rádio-comunicações com MS. BS são localizadas no centro ou na borda de uma região de cobertura e consistem de canais de rádio e antenas transmissoras e receptoras montadas em uma torre.
Canal de Controle	Canais de Controle ( <i>Control Channel</i> - CS) são canais de rádio usados para transmissões de inicialização de chamada ( <i>call setup</i> ), solicitação de chamada ( <i>call request</i> ), início de conversação ( <i>call initiation</i> ) e outros propósitos de sinalização ( <i>beacon</i> ) ou controle.
Canal Direto	Canais Diretos ( <i>Forward Channel</i> - FC) são canais de rádio usados para transmissão de informação a partir da BS para a MS.
Canal Reverso	Canais Reversos ( <i>Reverse Channel</i> - RC) são canais de rádio usados para transmissão de informação a partir da MS para a BS.

Sistemas <i>Full Duplex</i>	Sistemas de comunicação que permitem comunicações simultâneas em dois sentidos. A transmissão e a recepção são realizadas tipicamente em dois canais diferentes ( <i>FDD-Frequency Division Duplex</i> , embora novos sistemas <i>wireless/PCS</i> estejam usando <i>TDD-Time Division Duplex</i> ).
Sistemas <i>Half Duplex</i>	Sistemas de comunicação que permitem comunicações em dois sentidos através do uso do mesmo canal de rádio tanto para transmissão quanto para recepção. Em qualquer instante de tempo, o usuário pode apenas transmitir ou receber informação.
Sistemas <i>Simplex</i>	Sistemas de comunicação que permitem comunicações em apenas um sentido.
<i>Handoff</i>	Processo de transferir uma MS de um canal ou BS para outro.
Centro de Comutação e Controle	O Centro de Comutação e Controle (CCC) coordena o roteamento de chamadas em uma grande área de serviço. Em um sistema de rádio-celular, o CCC (ou, em inglês, <i>Mobile Switching Center - MSC</i> ) conecta as BS e as MS à rede de telefonia pública comutada ( <i>Public Switched Telephone Network - PSTN</i> ).
<i>Page</i>	Breve mensagem que é transmitida sobre toda a área de serviço, usualmente de forma simultânea, por muitas BS.
<i>Roamer</i>	MS que opera em uma área de serviço diferente daquela em que é assinante.
Assinante	Usuário que paga uma taxa de assinatura para utilizar um sistema de comunicações móveis.
Transceptor	Dispositivo capaz de transmitir ou receber sinais de rádio simultaneamente.

Tabela 1.4: Definições pertinentes a sistemas de comunicações *wireless*.

## » Sistemas *simplex*, *half-duplex* e *full-duplex*

Sistemas de transmissão podem ser classificados como *simplex*, *half-duplex* ou *full-duplex*.

***Simplex***: a comunicação é possível em apenas uma direção. Sistemas *paging*, nos quais mensagens são recebidas mas o recebimento não é acusado são sistemas *simplex*.

***Half-duplex***: permitem comunicação bidirecional, mas usam o mesmo canal tanto para transmissão quanto para a recepção. Isto significa que em um dado tempo, um usuário pode apenas transmitir ou receber informações. Restrições do tipo “*push-to-talk*” e “*release-to-listen*” são características fundamentais dos sistema *half-duplex*.

***Full-duplex***: permitem transmissões e recepções simultâneas, através da existência de dois canais simultâneos, mas separados (*Frequency Division Duplex* ou FDD), ou divisões adjacentes de tempo sobre um único canal de rádio (*Time Division Duplex*, ou TDD) para comunicações para e a partir do usuário.

## » Sistemas TDD e FDD

Comunicação bidirecional simultânea é realizada em canais diretos e reversos.

Canal Direto: Canal usado para conduzir o sinal da estação base para o usuário móvel.

Canal Reverso: Canal usado para transportar informação do usuário móvel para a estação base.

### ***Frequency Division Duplexing (FDD)***

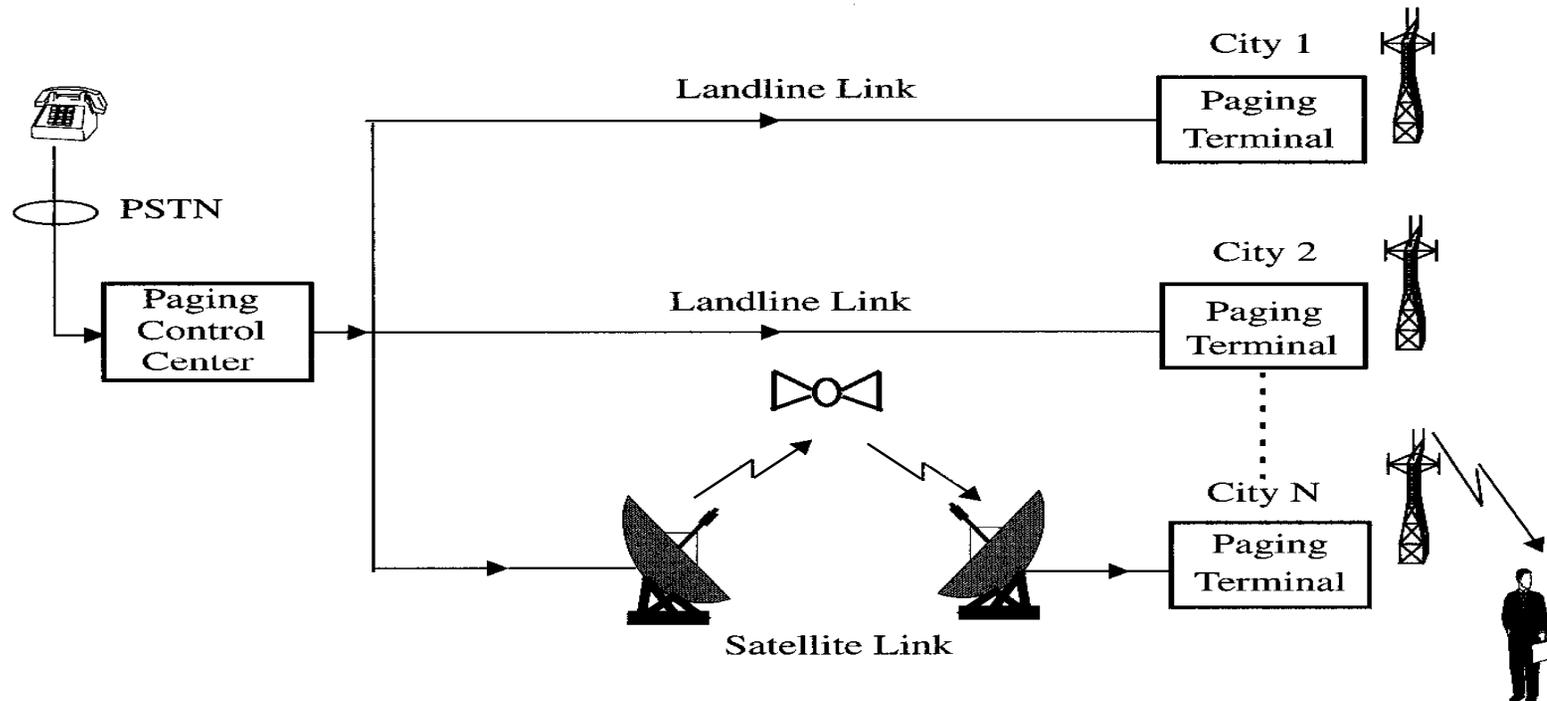
Provê canais distintos em frequência para transmissão simultânea para o assinante e para a estação base. Um par de canais *simplex* são usados para definir um específico canal *duplex*.

### ***Time Division Duplexing (TDD)***

Compartilha no tempo o uso de um único canal em, de tal forma que uma porção do tempo é usada para transmitir da ERB para a ERM, enquanto que o remanescente é usado para transmitir da ERM para a ERB.

TDD só é possível com formatos de transmissão digital e modulação digital, e é muito sensível à temporização.

## » Sistemas *Paging*



**Sistema *paging* com ampla área de cobertura.**

- Sistemas de comunicações *simplex* que enviam breves mensagens a um assinante.
- Sistemas *paging* são tipicamente usados para notificar um assinante da necessidade de ligar para um particular número de telefone, ou de se dirigir para um determinado local a fim de receber instruções posteriores.

**Sistemas *paging*** variam largamente em complexidade e área de cobertura:

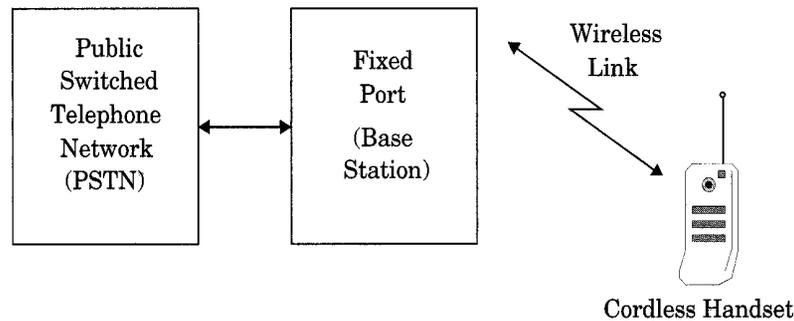
- \* podem cobrir uma extensão de 2 a 5 km,
- \* podem ser confinados dentro de prédios individuais,
- \* podem prover uma área ampla de cobertura, inclusive mundial.

**Embora os receptores de *paging* sejam simples e baratos, o sistema de transmissão requerido é sofisticado.**

**Sistemas *paging*** com ampla área de abrangência consistem de:

- \* uma rede de linhas telefônicas,
- \* muitas estações de base transmissoras,
- \* grandes torres de rádio que simultaneamente transmitem uma mensagem *page* a partir de cada estação base. Estes transmissores podem ser localizados dentro da mesma área de serviço ou mesmo em diferentes cidades ou países.

## » Sistemas de Telefone Sem Fio



Sistema de telefone sem fio.

**Sistemas de telefone sem fio são sistemas de comunicação *full-duplex* que usam rádio para conectar um equipamento de mão (portátil) a uma estação base dedicada, a qual é conectada a uma linha de telefone dedicada, com um número de telefone específico, pertencente a uma rede de telefonia fixa comutada.**

### STSF de 1ª geração:

Fabricados nos anos 80.

As unidades portáteis se comunicam apenas a uma unidade base dedicada, e somente sobre distâncias de umas poucas dezenas de metros, provendo ao usuário uma limitada extensão de mobilidade.

Operam apenas como extensões de telefones para um transceptor conectado a uma linha de um assinante em uma rede de telefonia pública comutada e são em primeira linha dedicados para uso domiciliar.

### STSF de 2ª geração:

Recentemente introduzidos.

Permitem aos assinantes utilizarem seus equipamentos portáteis em locais diferentes da domiciliar, dentro de centros urbanos como, por exemplo, Londres ou Hong Kong.

São muitas vezes combinados com receptores de *paging*, de tal forma que um assinante possa primeiro ser acessado através do sistema de *paging* (maior abrangência de cobertura) e, então, responda à mensagem *page* através do telefone sem fio.

## » Sistemas de Telefonia Celular

Definições de Rádio-Celular:

(1) FCC:

*"Um sistema móvel terrestre de alta capacidade, no qual o espectro de rádio é dividido em canais discretos, os quais são designados em grupos a células geográficas cobrindo uma área geográfica de serviço celular. Os canais discretos são reusados em diferentes células dentro da área de serviço, através de um processo chamado reuso de frequência."*

(2) Layman:

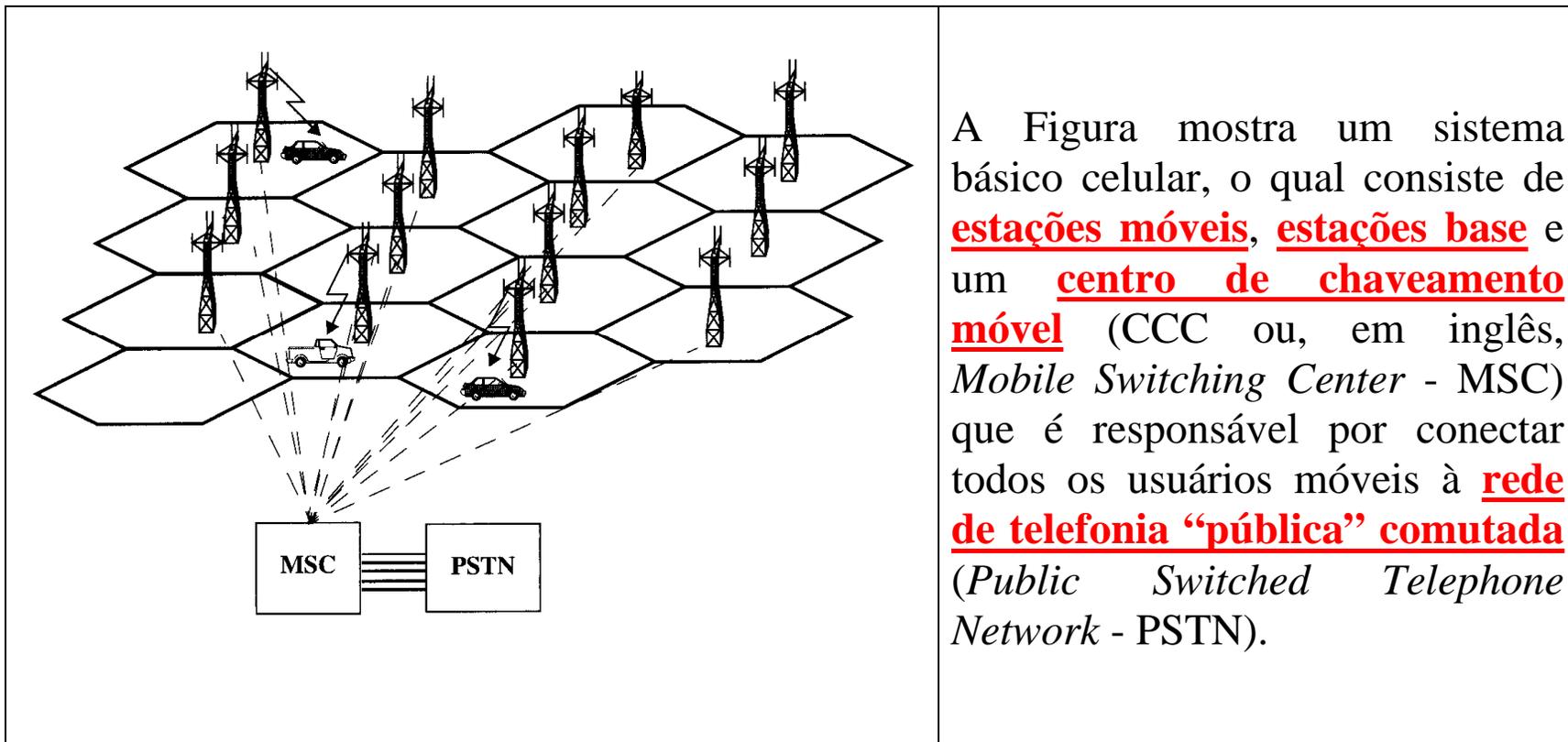
*"Um sistema que usa transmissão de rádio preferencialmente a linhas físicas para prover serviços de telefonia comparáveis aos de serviços telefônicos comerciais e residenciais."*

## **Características:**

- ⇒ Permitem uma conexão *wireless* à rede de telefonia fixa comutada, para qualquer usuário localizado dentro da extensão de cobertura do sistema.
- ⇒ Permitem atender a um grande número de usuários, sobre uma grande área geográfica, dentro de um espectro de frequência limitado.
- ⇒ Permitem serviço de alta qualidade, comparável ao dos sistemas de telefonia fixa.

## **A alta qualidade é devida a:**

- (1) o limite da cobertura de cada transmissor de cada estação base ser definido para uma área geográfica pequena chamada célula, de tal forma que
- (2) os mesmos canais de rádio sejam reusados por outra estação base localizada a alguma distância adiante.
- (3) uma técnica sofisticada de chaveamento chamada *handoff*, que permite que uma chamada não seja interrompida quando o usuário se move de uma célula para outra.



A Figura mostra um sistema básico celular, o qual consiste de **estações móveis**, **estações base** e um **centro de chaveamento móvel** (CCC ou, em inglês, *Mobile Switching Center - MSC*) que é responsável por conectar todos os usuários móveis à **rede de telefonia “pública” comutada** (*Public Switched Telephone Network - PSTN*).

Cada usuário móvel se comunica via rádio com uma das estações base e pode ser repassado para um número qualquer de estações base, durante a duração de uma chamada.

**ERM:** contém um transceptor, uma antena, circuitos de controle e pode ser montada num veículo (móvel) ou ser usada como uma unidade portátil.

**ERB:** consistem de vários transmissores e receptores, os quais lidam simultaneamente com comunicações *full-duplex* e possuem torres, as quais suportam várias antenas receptoras e transmissoras. A estação base serve como uma ponte entre os usuários móveis em uma célula e conectam as chamadas móveis simultaneamente, via linhas de telefone ou *links* de microondas ao centro de comutação e controle móvel.

**CCC:** coordena as atividades de todas as estações base e conecta o sistema celular à rede de telefonia fixa comutada. Um CCC típico pode lidar com cem mil assinantes celulares e cinco mil conversações simultâneas, bem como toda a tarifação e as funções de manutenção dos sistemas. Em grandes cidades, muitos CCCs.

A comunicação entre a ERB e os usuários móveis é definida por uma interface de ar que especifica quatro diferentes canais:

Canais de Voz:

(1) FVC – *Forward Voice Channels*

Canal usado para transmissão de voz da ERB para a ERM (canal de voz direto).

(2) RVC – *Reverse Voice Channels*

Canal usado para transmissão de voz da ERM para a ERB (canal de voz reverso).

Canais de Controle (responsáveis por inicializar as chamadas móveis):

(3) FCC – *Forward Control Channels* (canal de controle direto).

(4) RCC – *Reverse Control Channels* (canal de controle reverso).

## » Características dos canais de controle:

- \* São chamados canais de *setup* porque são apenas envolvidos em estabelecer uma chamada e movê-la para um canal de voz que não esteja sendo utilizado.
- \* Transmitem e recebem mensagens de dados que portam a inicialização de chamadas e solicitação de serviços.
- \* São monitorados por usuários móveis quando eles não têm uma chamada em andamento.
- \* Servem como sinalizadores (*beacons*), os quais continuamente transmitem todas as requisições de tráfego para todos os usuários móveis no sistema.

Mensagens de supervisão são enviadas para facilitar mudanças automáticas entre canais e repassar instruções para os usuários móveis antes e durante uma chamada.

Quando um telefone celular é ligado, mas ainda não está envolvido em uma chamada:

- varre o grupo de canais de controle direto para determinar aquele canal cujo sinal é mais forte;
- monitora o canal de sinal mais forte até que o sinal caia abaixo de um nível aceitável de uso;
- novamente varre os canais de controle na busca de um sinal mais forte de uma estação base.

Desde que canais de controle são padronizados (idênticos) através de diferentes mercados dentro de países ou continentes, cada telefone varre os mesmos canais quando desocupado, possibilitando identificação para operação em *roaming*.

### Roaming

- **Serviço provido por todos os sistemas de telefonia celular.**
- **Permite aos assinantes operar em áreas de serviço diferentes daquela na qual o usuário é assinante.**
- Quando uma estação móvel entra em uma cidade ou área geográfica diferente daquela área de serviço da qual é assinante, ele é registrado como *roamer* na nova área de serviço.
- Esta operação é executada no canal de controle direto, desde que cada *roamer* está alojado em um canal de controle direto a qualquer instante.
- O CCC envia periodicamente um comando global sobre cada canal de controle direto do sistema solicitando a todas estações móveis que não estão previamente registradas a reportarem o seu número de telefone (MIN) e o seu número de série eletrônico (ESN) através do canal de controle reverso.
- Estações móveis novas não registradas no sistema periodicamente enviam as informações solicitadas e o centro de comutação e controle então utiliza os dados MIN/ESN para solicitar tarifação de onde a estação móvel está registrada para cada estação móvel operando na modalidade de *roaming*.
- Se um particular *roamer* recebe autorização para *roaming*, o centro de comutação e controle registra o assinante como um usuário válido.
- Uma vez registrados, os usuários móveis em *roaming* estão habilitados a receber e realizar chamadas a partir daquela área e a taxação é automaticamente direcionada para o provedor onde o assinante está inscrito.

## Seqüência de eventos envolvidos na conexão de uma chamada dirigida a um usuário móvel.

1. CCC dispara uma solicitação a todas as estações base no sistema celular.
2. MIN é transmitido como uma mensagem de *paging* por todos os CCD através do sistema celular.
3. Os receptores móveis recebem a mensagem de *paging* enviada pela estação base a qual está monitorando e o destinatário da chamada responde através de uma auto-identificação feita via CCR.
4. A estação base retransmite o sinal enviado pelo aparelho móvel e informa o CCC do estabelecimento da comunicação.
5. O CCC instrui a estação base para mover a chamada para um canal de voz que não esteja sendo utilizado dentro da célula.
6. A estação base sinaliza a estação móvel para mudar a frequência para um par de canais de voz direto e reverso disponível.
7. Uma outra mensagem de dados (chamada *alert*), é transmitida sobre o CVD direto para instruir o telefone móvel a chamar, portanto instruindo o usuário móvel a responder à chamada telefônica.

(Todos estes eventos ocorrem em um intervalo de poucos segundos e não são perceptíveis pelo usuário.)

8. Uma vez que a chamada esteja em progresso, o CCC muda o canal da unidade móvel e da estação base para manter a qualidade da chamada, à medida que o usuário se move dentro e fora da área de cobertura de cada estação base. Este procedimento é chamado *handoff*.
9. Uma sinalização especial de controle é aplicada aos canais de voz de tal forma que a unidade móvel possa ser controlada pela estação base e pelo centro de comutação e controle enquanto uma chamada está em progresso.

### **Seqüência de eventos envolvida com a conexão de uma chamada iniciada por um usuário móvel.**

1. Uma solicitação de inicialização de chamada é enviada pelo CCR. Com esta solicitação, a unidade móvel transmite: MIN, ESN, o n<sup>o</sup>. de telefone para o qual está sendo dirigida a chamada.
2. A ERB recebe este dado e o envia para o CCC.
3. O CCC valida a solicitação, estabelece a conexão com o parceiro na chamada rede pública de telefonia fixa, se for o caso, e instrui a ERB e a ERM a mover para um par de canais de voz direto e reverso (CVD e CVR) disponível, para permitir que a conversação inicie.

## Comparação entre os Sistemas de Comunicação *Wireless*

Tipos de serviço, nível de infra-estrutura, custo e complexidade requeridos para cada um dos sistemas de rádio-móvel ou portátil já discutidos (são incluídos dispositivos de controle remoto sem fio, de uso doméstico).

Comparison of Mobile Communication Systems—Mobile Station

Service	Coverage Range	Required Infra-structure	Complexity	Hardware Cost	Carrier Frequency	Functionality
<b>TV Remote Control</b>	Low	Low	Low	Low	Infrared	Transmitter
<b>Garage Door Opener</b>	Low	Low	Low	Low	< 100 MHz	Transmitter
<b>Paging System</b>	High	High	Low	Low	< 1 GHz	Receiver
<b>Cordless Phone</b>	Low	Low	Moderate	Low	< 1 GHz	Transceiver
<b>Cellular Phone</b>	High	High	High	Moderate	< 2 GHz	Transceiver

Segmento do assinante.

Tipos de serviço, nível de infra-estrutura, custo e complexidade requeridos para cada um dos sistemas de rádio-móvel ou portátil já discutidos (são incluídos dispositivos de controle remoto sem fio, de uso doméstico).

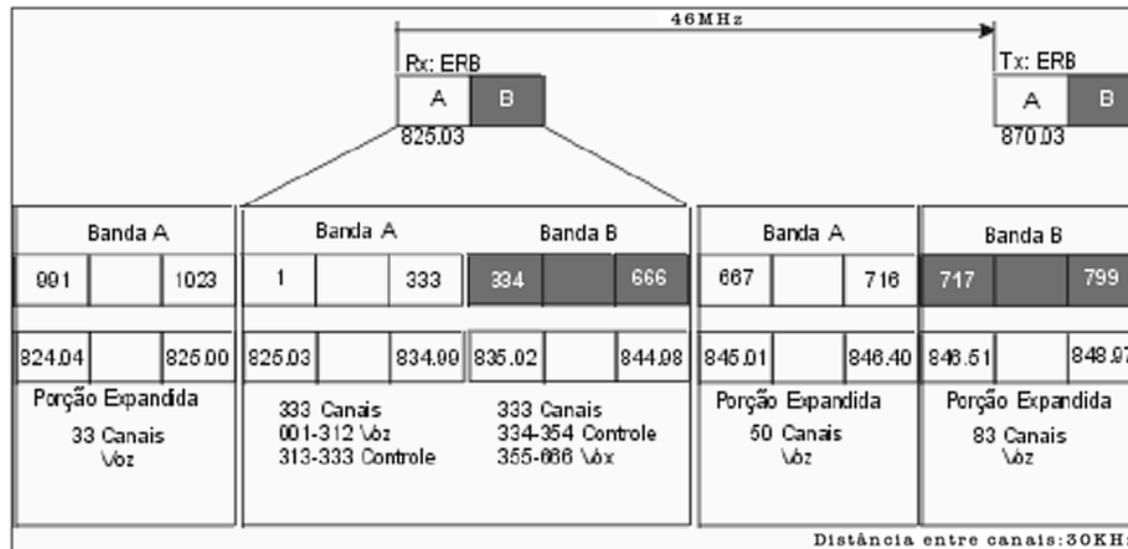
Comparison of Mobile Communication Systems—Base Station

Service	Coverage Range	Required Infra-structure	Complexity	Hardware Cost	Carrier Frequency	Functionality
<b>TV Remote Control</b>	Low	Low	Low	Low	Infrared	Receiver
<b>Garage Door Opener</b>	Low	Low	Low	Low	< 100 MHz	Receiver
<b>Paging System</b>	High	High	High	High	< 1 GHz	Transmitter
<b>Cordless Phone</b>	Low	Low	Low	Moderate	< 1 GHz	Transceiver
<b>Cellular Phone</b>	High	High	High	High	< 2 GHz	Transceiver

Segmento da estação base.

## » Estrutura do Mercado de Telefonia Celular no Brasil

- ⇒ No Brasil, em 1997, com a abertura de mercado de telefonia móvel, o espectro de frequências foi dividido em duas Bandas, a Banda A e a Banda B.
- ⇒ Tal divisão objetivava permitir que, dentro de cada região, existissem sempre duas operadoras.
- ⇒ Ambas operadoras teriam a concessão do Governo para explorar o serviço de telefonia móvel.
- ⇒ Qualquer uma das operadoras poderia disponibilizar sistemas analógicos ou digitais.



Divisão original do espectro de frequências para sistemas celulares no Brasil.

- ⇒ Inicialmente, a maioria das operadoras da Banda A oferecia serviços a partir de sistemas analógicos, utilizando o padrão AMPS – *Advanced Mobile Phone System*, obedecendo rigorosamente a formatação em uso nos Estados Unidos.
- ⇒ As operadoras da Banda B, por sua vez, iniciaram as operações disponibilizando serviços a partir de sistemas digitais, nos padrões TDMA (*Time Division Multiple Access*) e CDMA (*Code Division Multiple Access*).
- ⇒ Estes padrões foram adotados devido à compatibilidade com o padrão AMPS já existente, pois tanto aparelhos CDMA quanto TDMA operam em modo duplo (analógico e digital), permitindo também a comunicação através de uma rede AMPS quando o assinante estiver fora de sua região (*roaming*).
- ⇒ A Banda A consistia de uma faixa de frequências destinadas à telefonia celular, a serem exploradas pelas empresa públicas de telecomunicações brasileiras pré-existentes à privatização do sistema nacional de telecomunicações (as 27 empresas do antigo Sistema Telebrás).
- ⇒ A Banda B consistia de uma faixa de frequências também destinadas à telefonia celular, a serem exploradas pela iniciativa privada, concorrendo com as operadoras da banda A.

Originalmente, as operadoras de telefonia móvel no Brasil ficaram divididas entre Banda A e Banda B, conforme mostrado na tabela abaixo.

<b>OPERADORAS DE TELEFONIA MÓVEL - Distribuição original.</b>		
<b>Estado</b>	<b>Banda A</b>	<b>Banda B</b>
Acre	Tele Centro Oeste	Americel
Alagoas	Tele Nordeste	BCP
Amapá	Tele Norte	NBT
Amazonas	Tele Norte	NBT
Bahia	Tele Leste	Maxitel
Ceará	Tele Nordeste	BCP
Distrito Federal	Tele Centro Oeste	Americel
Espírito Santo	Tele Sudeste	ATL - Algar
Goiás	Tele Centro Oeste, CTBC Telecom	Americel
Maranhão	Tele Norte	NBT
Mato Grosso	Tele Centro Oeste	Americel
Mato Grosso do Sul	Tele Centro Oeste, CTBC Telecom	Americel
Minas Gerais	Telemig Celular, CTBC Telecom	Maxitel
Paraíba	Tele Nordeste	BCP
Paraná	Tele Celular Sul, Sercomtel	Global Telecom
Pará	Tele Norte	NBT
Pernambuco	Tele Nordeste	BCP
Piauí	Tele Nordeste	BCP
Rio de Janeiro	Tele Sudeste	ATL - Algar
Rio Grande do Norte	Tele Nordeste	BCP
Rio Grande do Sul	CRT, Telefonica-RS, Tele Celular Sul	Telet
Rondônia	Tele Centro Oeste	Americel
Roraima	Tele Norte	NBT
Santa Catarina	Tele Celular Sul	Global Telecom
Sergipe	Tele Leste	Maxitel
São Paulo (interior)	Telesp, CTBC Telecom, Ceterp	Tess
São Paulo (capital e cidades próximas)	Telesp	BCP
Tocantins	Tele Centro Oeste	Americel

Segundo o ANEXO À RESOLUÇÃO N.º 268, DE 28 DE JUNHO DE 2001, que estabelece o PLANO GERAL DE AUTORIZAÇÕES DO SERVIÇO MÓVEL PESSOAL (PGA-SMP), editado com fundamento no art. 22, VI da Lei n.º 9.472, de 16 de julho de 1997, Lei Geral de Telecomunicações - LGT, de responsabilidade da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), **o espectro de rádio-freqüências destinado à prestação de SMP fica subdividido nas seguintes sub-faixas:**

**I - Sub-faixa “A”:**

(I.1) Transmissão da Estação Móvel:

824 MHz a 835 MHz e 845 MHz a 846,5 MHz

Transmissão da Estação Rádio Base:

869 MHz a 880 MHz e 890 MHz a 891,5 MHz

(I.2) Transmissão da Estação Móvel: 1900 MHz a 1905 MHz

Transmissão da Estação Rádio Base: 1980 MHz a 1985 MHz

**II - Sub-faixa “B”:**

(II.1) Transmissão da Estação Móvel:

835 MHz a 845 MHz e 846,5 MHz a 849 MHz

Transmissão da Estação Rádio Base:

880 MHz a 890 MHz e 891,5 MHz a 894 MHz

(II.2) Transmissão da Estação Móvel: 1905 MHz a 1910 MHz

Transmissão da Estação Rádio Base: 1985 MHz a 1990 MHz

**III - Sub-faixa “C”:**

Transmissão da Estação Móvel: 1725 MHz a 1740 MHz

Transmissão da Estação Rádio Base: 1820 MHz a 1835 MHz

**IV - Sub-faixa “D”:**

Transmissão da Estação Móvel: 1710 MHz a 1725 MHz

Transmissão da Estação Rádio Base: 1805 MHz a 1820 MHz

**V - Sub-faixa “E”:**

Transmissão da Estação Móvel: 1740 MHz a 1755 MHz

Transmissão da Estação Rádio Base: 1835 MHz a 1850 MHz