



*Centro Federal de Educação  
Tecnológica de Santa Catarina  
CEFET-SC  
Unidade São José*

*Introdução as  
Comunicações Móveis*

*Curso Tecnólogo em Sistemas de  
Telecomunicações  
Prof. Rubem Toledo Bergamo  
São José - SC, 2009*

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUÇÃO ÀS COMUNICAÇÕES MÓVEIS**

Atualmente verifica-se um crescimento comercial muito grande por parte dos sistemas de comunicação rádio-móveis, especialmente o serviço de telefonia celular. Entretanto, apesar de estarem em grande evidência nos dias de hoje, estes sistemas apresentam um histórico bastante antigo que se inicia em 1876, ou seja, a mais de 100 anos atrás. Portanto, primeiramente neste curso será apresentado um histórico das comunicações móveis que nos permite situar cronologicamente o momento em que vivemos, e a grande importância que estes sistemas assumiram na vida do ser humano.

### **1.1 BREVE HISTÓRICO**

- Para falarmos das Telecomunicações Celulares devemos nos reportar ao início com a transmissão de voz através de sinais elétricos experimentada por Alexander Graham Bell em 1876.
- Em meados de 1880 Heinrich Hertz evidenciou a propagação de ondas eletromagnéticas teoricamente sugerida por Maxwell. Isto levou o italiano Guglielmo Marconi a encontrar a primeira aplicação para a comunicação entre pontos não fixos. Em 1897, Marconi fez várias transmissões de rádio de Needles, na ilha de Wight, para um navio a 18 milhas da costa. Podemos dizer, portanto, que a primeira aplicação importante das comunicações móveis foi a utilização em navegação até mesmo para a segurança dos navios.
- Primeira Conferência Internacional em Radiotelegrafia acontece em Berlim.
- Reginald Fessenden realizou experimentos de transmissão em Amplitude Modulada (AM) de voz e música em 1905, mas somente em 1920 surgiu a primeira estação comercial de rádio em Pittsburg (EUA). Mesmo assim o uso do sistema de radiodifusão durante a 1ª Guerra Mundial ainda foi limitado.
- 1908 - No Japão é implantada telefonia pública entre embarcações e o país.
- 1909 - 1.700 pessoas são salvas da embarcação SS Republic: o operador do rádio Marconi enviou 200 sinais de socorro para grupos de salvamento.

- 1912 - 700 pessoas são salvas do Titanic – “Os que foram salvos, foram salvos por um homem: Mr. Marconi”, disse Lord Samuel.
- 1918 - Na Inglaterra é criado o “Wireless Telegraphy Board” para coordenar mudanças de frequência e evitar interferências.
- Motivados mais pela curiosidade, em 1921 o Departamento de Polícia de Detroit fez o primeiro uso regular de sistema de rádio móvel em viaturas, primeiramente somente enviando ordens da Central de Polícia para as mesmas. Posteriormente as estações móveis também podiam enviar mensagens. Esse sistema operava na faixa de 2MHz e sua operação era *Simplex Push-to-talk*.
- 1929 - A rede da Marconi, interligando Grã-Bretanha, Argentina, Brasil, USA e Canadá, torna-se *Cable and Wireless Ltd*.
- 1932 - Marconi instala o primeiro enlace (link) de telefone por microondas, conectando o Vaticano à residência oficial do Papa.
- Em 1932 era a vez do Departamento de Polícia Civil de Nova Iorque usar o sistema. Eram apenas 11 canais de voz compartilhados por até 5.000 veículos. Os primeiros transmissores móveis começaram a ser desenvolvidos no início da década seguinte e, apesar do tamanho(eram transportados no porta malas dos veículos), possibilitaram as transmissões half-duplex(*push to talk*).
- Com o avanço tecnológico, a tendência era a de elevar as frequências de operação. Em 1935, a *Federal Communication Commission* (FCC), órgão regular do setor nos EUA, autorizou a utilização de quatro canais na faixa de 30MHz a 40MHz, em bases experimentais, regulamentando seu uso em 1938. Foi apresentado o primeiro rádio FM, por Edmond H. Armstrong. Este rádio possuía qualidade muito superior a dos rádios AM, principalmente por ser mais imune a ruídos.
- 1937 - Morre na Itália Guglielmo Marconi: estações de rádio fazem dois minutos de silêncio.
- Durante a Segunda guerra mundial (1942-1945) o uso extensivo de equipamentos FM em combate fez com que aparecesse uma forte estrutura industrial para a produção

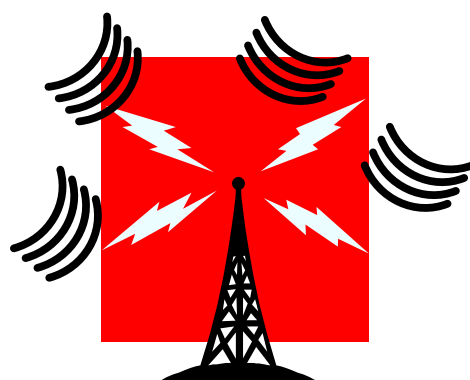
destes equipamentos, tornando-os comercialmente viáveis. No entanto, os primeiros sistemas FM necessitavam de uma banda de 120 kHz para transmitir um sinal de voz de 3 kHz. Somente na década de 60 os receptores FM foram melhorados, podendo-se transmitir a voz num canal de 30 kHz.

- 1945 - Arthur C Clarke propõe satélites geoestacionários para comunicações globais.
- A regulamentação do espectro destinado às comunicações móveis impulsionou o desenvolvimento de um sistema de grande porte nos Estados Unidos e que em 1946 a AT&T colocou em funcionamento. Esse sistema, iniciado em 1945 com um programa experimental a 150MHz, possuía seis canais espaçados de 60kHz e foi implantado em St. Louis (EUA). Este sistema também foi implantado em Green Bay (EUA), na mesma época. O sistema operava com poucos canais na faixa de 35MHz. Deve-se ressaltar que, mesmo com os canais espaçados de 60kHz, os mesmos eram susceptíveis a interferências de canais adjacentes entre usuários da mesma área. Este serviço era conhecido como Rádio Urbano, consistia de um transmissor de alta potência que atingia um raio de 80 km e operava com 3 canais *half-duplex* FM. O interessante é que apresentava custos baixos aos assinantes (15 *cents*/minuto), o que levou a uma grande procura pelo serviço, o qual cresceu rapidamente e logo ficou saturado
- Em 1947 a empresa americana Bell Labs. apresentou o conceito de telefonia móvel celular. Este novo sistema necessitava, entretanto, de um número muito grande de canais que na época não foram liberados pelo FCC( *Federal Communications Commission* – órgão que regulamente as telecomunicações nos Estados Unidos).
- Com novas descobertas a respeito da utilização de baixas frequências em sistemas de comunicação móvel inaugura-se um sistema de telefonia móvel ao longo da rodovia Nova Iorque – Boston em 1947. Esse sistema operava na faixa de 35 – 44MHz por acreditar que essa faixa possui um alcance maior e contornava melhor obstáculos de relevo, o que é verdade. Porém, o que veio a tona foi que essas frequências se propagam a longas distâncias via reflexão na ionosfera, fazendo com que as conversações pudessem ser ouvidas a quilômetros de distância causando interferências em outros sistemas.
- Em 1949 com o surgimento da televisão, o FCC resolve utilizar a faixa de 470-890 MHz e criar 70 novos canais, de 6 MHz cada, para as emissoras de TV. neste mesmo

ano, na cidade de Detroit, uma companhia de táxi instalou um sistema similar ao sistema celular proposto pelo Bell Labs. fazendo reuso de frequências em células alternadas de pequenas áreas de cobertura e foram conseguidos grandes ganhos de capacidade. Entretanto, a execução do *hand-off* era manual na troca das células.

- Década de 50 – Apareceram os primeiros sistemas de *paging* (envio de mensagens curtas). Deve-se ressaltar que a operação nos sistemas acima descritos ainda era *Simplex Push-to-talk* com as chamadas realizadas via telefonista e ainda com a necessidade de o usuário procurar manualmente um canal vago antes de solicitar uma chamada. Com o aumento da demanda, houve uma insuficiência de canais disponíveis tornando as listas de espera de usuários enormes.
- Em 1950 o Departamento de Polícia da Filadélfia implanta o primeiro sistema Full-duplex, e a técnica de Multiplexação por Divisão de Tempo (TDM) é utilizada em sistemas fixos.
- Já em 1955, implementou-se a seleção automática de canais vagos pelos equipamentos de rádios móveis, surgiram de novas técnicas de projeto e fabricação de filtros que diminuiram o espaçamento de canais, houve um aperfeiçoamento dos sistemas acarretando um melhor desempenho dos mesmos e também o uso de frequências cada vez mais elevadas. Nessa época, a Suécia já era pioneira na telefonia móvel automática, interligando o sistema de rádio móvel a uma central de comutação automática através de um computador.
- 1952 - Início das atividades de cooperação técnica da ITU.
- 1957 - Primeiro satélite em órbita - SPUTNIK 1.
- Década de 60 - O surgimento de sistemas chamados *Trunked*. Até então cada rádio urbano trabalhava apenas em uma única frequência e os assinantes eram alocados em grupos, sendo que cada grupo utilizava um canal apenas. Porém, o conceito de *trunked*, cada rádio podia ocupar qualquer um dos canais disponíveis, estando este desocupado
- Em 1961 os circuitos integrados vão para a produção comercial.
- 1962 - Satélite Telstar permite transmissões transatlânticas ao vivo.
- 1964 - É introduzido o serviço de telefone em trens no Japão.

- Em 1964 o primeiro sistema de comutação telefônico totalmente eletrônico entra em serviço.
- 1966 - Fotos da lua transmitidas ao vivo.
- Em 1967 foi introduzido experimentalmente o IMTS ( *Improved Mobile Telephone Service* ), (**Fig. 1.1**) que foi uma experiência bem sucedida implementada em diversos centros metropolitanos. As principais características do IMTS eram: transmissor de alta potência ( área de cobertura de 30 a 50 Km de raio), operação *Full-Duplex*, comutação automática, operação entre 150 a 450 MHz com canais de 30 KHz.



**Figura 1.1. Sistema IMTS**

- Em 1971 é apresentada pela AT&T a proposta do sistema AMPS ( *Advanced Mobile Phone Service*). Na época este sistema apresentava ainda poucos atrativos na medida em que não possuía *hand-off* automático. Este tipo de controle inteligente só foi tecnologicamente viável anos depois com grande aumento de capacidade de processamento dos microprocessadores.
- 1971 - Primeiro Fórum e Exibição Mundial de Telecomunicações em Geneva.
- 1976 - Consórcio MARISAT inicia exploração comercial de serviços de comunicação móvel marítima em todo o mundo, provendo serviços de voz e dados, full-duplex.
- Pressões de mercado e das operadoras para a expansão do sistema levaram o FCC a liberar uma banda de 40 MHz entre 800 e 900 MHz, isto só foi possível após negociações com emissoras de TVs que perderiam alguns canais de UHF. Posteriormente ampliou esta faixa para a faixa entre 824 a 894 MHz, na qual ainda é utilizada pelo sistema AMPS.

- Em 1978 o primeiro sistema celular é testado nos EUA, até então todos eram centralizados ( com raríssimas exceções de sistemas pequenos).
- 1983 - Ano mundial das comunicações.
- 1984 - Na Inglaterra a empresa GPO é dividida e são criadas a British Telecom e Oftel.
- 1984 - Na Califórnia acontecem os primeiros testes inter-agências para receptores de GPS (*global positioning system*).
- 1985 Cellnet e Vodafone começam a oferecer telefones celulares.
- Início da transmissão por satélite da televisão Sky.
- Entra em uso comercial o GSM (*global system for mobile communication*).
- Cellnet lança serviço digital GSM.
- Artigo sobre Gerenciamento do Espectro no Século 21 propõe que as licenças devem refletir o valor econômico do espectro.
- Acordo de padrão digital na Inglaterra.

## **1.2 . ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DE RÁDIO.**

Para uma mensagem se propagar pelo espaço, ela necessita estar adequadamente combinada com uma outra onda de frequência bem mais alta, ou onda de radiofrequência (RF), mediante um processo denominado modulação. Essas ondas de RF uma vez combinadas com os sinais da informação são denominadas ondas portadoras.

Os valores práticos das frequências destas ondas radioelétricas estão distribuídas em faixas internacionalmente conhecidas e recomendadas pela UIT (União Internacional de Telecomunicações), que é um órgão da ONU, responsável pela regulamentação dos serviços de Telecomunicações.

O quadro a seguir apresenta a designação técnica de cada onda, a faixa de frequência correspondente, a sigla e exemplos de utilização em Telecomunicações.

**CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE RÁDIO**

faixa de frequência	Designação Técnica	Designação Leiga	Exemplos de Utilização
300 Hz a 3000 Hz	ELF	Ondas Extremamente Longas	Comunicação p/ submarinos, escavações de minas
3 KHz a 30 KHz	VLF	Ondas Muito Longas	
30 KHz a 300 KHz	LF	Ondas Longas	Auxílio à navegação aérea, serviços marítimos, radiodifusão local
300 KHz a 3000 KHz	MF	Ondas Médias	
3 MHz a 30 MHz	HF	Ondas Tropicais Ondas Curtas	Radiodifusão local e distante, serviços marítimos (Estações Costeiras)
30 MHz a 300 MHz	VHF	Microondas	Transmissão de Tv, sistemas comerciais e particulares de comunicação, serviços de segurança pública (polícia, bombeiros etc)
300 MHz a 3000 MHz	UHF		
3 GHz a 30 GHz	SHF		Comunicação pública a longa distância: sistemas interurbanos e internacional em radiovisibilidade, tropodifusão e satélite
30 GHz a 300 GHz	EHF		

**ELF – Extremely Low Frequency**

**VLF – Very Low Frequency**

**LF – Low Frequency**

**MF – Medium Frequency**

**HF – High Frequency**

**VHF Very High Frequency**

**UHF – Ultra High Frequency**

**SHF – Super High Frequency**

**EHF – Extremely High Frequency**



**Abaixo destacamos algumas formas de comunicação e suas respectivas faixas de frequência:**

<b>Tipo de Comunicação</b>	<b>Faixa de Frequência</b>
Rádio Amador	1,80 – 1,85 KHz 7,00 – 7,30 KHz 14,0 – 14,35 KHz (por satélite) 24,0 – 24,5 GHz (por satélite)
Rádiodifusão AM	540 – 1590 KHz
Rádiodifusão FM	88,0 – 108 MHz
Rádiodifusão TV	54,0 – 88,0 MHz (VHF baixo) 174 – 216 MHz (VHF alto) 470 – 800 MHz (UHF)
Sistemas de TV a cabo (transmissão em meio confinado (cabo))	54,0 – 88,0 MHz (VHF baixo) 120 – 174 MHz (Mid Band) 174 – 216 MHz (VHF alto) 216 – 456 MHz (Super – Band) 470 – 800 MHz (UHF)
MMDS – sistema de TV por assinatura multiponto	2500 – 2680 MHz
Satélites banda C e C estendida	3,625 – 4,2 GHz (UPLINK) 5,850 – 6,425 GHz (DOWNLINK) 7,315 – 7,375 GHz (UPLINK) 7,965 – 8,025 GHz (DOWNLINK)
Satélites banda Ku e Ku estendida	11,7 – 12,2 GHz (UPLINK) 14,0 – 14,5 GHz (DOWNLINK) 10,95 – 11,2 GHz (UPLINK) 13,75 – 14,0 GHz (DOWNLINK)
Telefonia celular banda A	824 – 835 MHz (UPLINK) 845 – 846,5 MHz (UPLINK) 869 – 880 MHz (DOWNLINK) 890 – 891,5 MHz (DOWNLINK)
Telefonia celular banda B	835 – 845 MHz (UPLINK) 846,5 – 849 MHz (UPLINK) 880 – 890 MHz (DOWNLINK) 891,5 – 894 MHz (DOWNLINK)

### **1.3 NOTAS, ALGUMAS DEFINIÇÕES E CONCEITOS.**

Sistemas de comunicação por rádio móvel podem permitir a um usuário viajar e se comunicar com qualquer telefone, fax, modem, e-mail, em qualquer parte do mundo. Pode permitir verificar uma posição geográfica. Acompanhar uma carga em transporte. Melhorar o sistema de transporte. Verificar tráfego. Facilitar sistemas de busca e resgate, etc.

Isto é possível porque o sistema de transmissão é feito com a propagação de ondas eletromagnéticas pelo ar/espço, e para isto o equipamento deve dispor de uma antena, que permite a transmissão e a recepção.

- termo *rádio fixo* é usado quando o sistema permanece estacionário por tempo prolongado.
- termo *rádio portátil* é usado para o sistema que pode ser movimentado, mas que permanece estacionário quando em operação.
- termo *rádio móvel* é aplicado para o equipamento que pode ser movimentado e usado simultaneamente, num carro ou pelo próprio usuário. Os aparelhos de telefonia celular são exemplos de rádios móveis.

Equipamentos de rádio podem se comunicar diretamente entre si, ou através de “intermediários”, como por exemplo *repetidores passivos, estações rádio-base e switches*.

Quando todos os intermediários estão situados na terra, usa-se a expressão *Sistema de Comunicação de Rádio (ou Sistema Terrestre)*. Quando pelo menos um componente é um satélite, usa-se a expressão *Sistema de Comunicação por Satélite*.

**Porém os dois sistemas usam um único e mesmo meio de transmissão: ondas eletromagnéticas propagando-se pelo ar e espaço.**

### **Sistema terrestre.**

Num sistema terrestre para uma rede de rádios móveis, uma estação repetidora é colocada num ponto elevado para permitir a maior área possível de cobertura.

Conforme aumenta o número de usuários, o espectro de frequência disponível começa a ficar saturado, e passa a ser necessária a reutilização da frequência.

Além disso a área de cobertura original pode ser dividida em várias subáreas, chamadas células (de onde provém o nome da telefonia celular).

A reutilização da frequência aumenta a capacidade do sistema, enquanto a área menor de cada célula aumenta a qualidade de transmissão e recepção. Porém essas duas coisas significam também um aumento da complexidade do sistema e dos custos de infraestrutura.

O projeto de um conjunto de células dependerá então dos custos de cada estação rádio-base, preço dos equipamentos, complexidade da rede e dinâmica de sua implantação e operação.

#### **1.4 GERENCIAMENTO DO ESPECTRO DE RÁDIO.**

Internacionalmente as políticas relacionadas ao rádio, telegrafia e telefonia, estão sob os cuidados da ITU, agência especializada em telecomunicações das Nações Unidas, com mais de 150 membros governamentais.

O mundo está dividido em três regiões, de acordo com a ITU:

Região 1 – Europa, os países que formavam a União Soviética, Mongólia, África e a parte oeste do Irã;

Região 2 – Américas e Groelândia;

Região 3 – Ásia (exclui-se a parte oeste da Mongólia a Irã), Austrália e Oceania.

Historicamente essas três regiões desenvolveram seus planos de comunicação por rádio de forma mais ou menos independente, porém com o advento dos satélites e o aumento das comunicações internacionais, passou a ser urgente uma coordenação global.

O impacto recente das comunicações móveis (celulares), seu acréscimo e rápido desenvolvimento, tanto nas três Regiões citadas, e também nos países chamados de “terceiro mundo”, fizeram o gerenciamento do espectro de frequências muito importante.

Em função do progresso e dinamismo das telecomunicações, a partir de 1993 os comitês anteriores, com suas siglas muito conhecidas: CCITT e CCIR são agora UTI-T e UTI-R.

1. **UTI-T** = assuntos em telecomunicações (network)
2. **UTI-R** = assuntos em radio-comunicação
3. **UTI-D** = assuntos de desenvolvimento

Além do órgão máximo representado pela ITU, há órgãos regionais que procuram ordenar os assuntos de telecomunicações nas suas áreas de competências. Os principais são:

1. **CEPT & ETSI**
2. **ANSI & FCC**
3. **ARIB**
4. **CITEL**

- **CEPT** ( Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications ), congrega operadoras do continente Europeu
- **ETSI** ( European Telecommunication Standard Institute ), órgão que assume todas as discussões de caráter técnico e de desenvolvimento e administração das padronizações.

O ETSI produziu os padrões GSM e o DECT. Seus trabalhos tem repercussão em outras regiões e seus padrões são utilizados também em países não europeus.

- **ANSI** ( American National Standards ) entidade normalizadora dos EUA, equivalente a ABNT, edita normas oficiais.
- **FCC** ( Federal Communication Commission ), nos EUA, os assuntos de telecomunicações são coordenados pela FCC. As associações dos ramos industriais são mais ativas, destacam-se:
  - a) **TIA** ( Telecommunication Industries Association)
  - b) **EIA** ( Eletronics industries Association )

Essas duas associações desenvolveram os Interins Standards (IS) que regulam as interfaces do D-AMPS e do CDMA

- **ARIB** ( Association of Radio Industries and Businesses ), essa associação elaborou as especificações do celular japonês (PDH) e também do PHS.

O Japão utiliza o modelo norte-americano da TIA e EIA através da ARIB.

- **CITEL** ( Conferência Interamericana de Telecomunicações), É uma entidade subordinada à Organização dos Estados Americanos (OEA) que se encarrega em discutir assuntos de telecomunicações. São objetivos da CITEL:
- a) Transformar-se num órgão unificado na UTI;
  - b) Estabelecer padrões comum de rádio;
  - c) Impulsionar a modernização e integração das infra-estruturas de telecomunicações nas Américas

### **AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES – ANATEL**

A Lei Geral das Telecomunicações Brasileiras aprovada em votação na Câmara dos Deputados em 18/06/97, no Senado Federal em 10/07/97 e sancionada no dia 16 de julho de 1997 pelo Presidente da República determina a criação da Agencia Nacional de Telecomunicações – ANATEL.

A ANATEL é então criada como autarquia especial, administrativamente independente, financeiramente autônoma e não se subordina hierarquicamente a nenhum órgão de governo. Nestes termos suas decisões só podem ser contestadas judicialmente. Assim, a Agência possui poderes de outorga, regulamentação e fiscalização. A autonomia financeira da agência é assegurada pelos recursos do Fundo de Fiscalização das Telecomunicações (FISTEL).

A ANATEL deve implementar a política nacional de telecomunicações; propor a instituição ou eliminação da prestação de modalidade de serviço no regime público; propor o Plano Geral de Outorgas; propor o plano geral de metas para universalização dos serviços de telecomunicações, administrar o espectro de radio-freqüências e o uso de órbitas; compor administrativamente conflitos de interesses entre prestadoras de serviços de telecomunicações; atuar na defesa e proteção dos direitos dos usuários; atuar no controle, prevenção e repressão das infrações de ordem econômica; estabelecer restrições, limites ou condições a grupos empresariais para obtenção e transferência de concessões, permissões e autorizações, de forma a garantir a competição e impedir a concentração econômica no mercado; estabelecer a estrutura tarifária de cada modalidade de serviço; dentre outras atribuições.

No Brasil a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) é o órgão regulador e fiscalizador de todos os sistemas de comunicação no Brasil. A ANATEL foi criada pela Lei Geral das Telecomunicações de julho de 1997.

Resumindo, as atribuições principais da ANATEL são:

- a) **Propor políticas governamentais para o setor;**
- b) **Atuar na regulamentação e fiscalização;**
- c) **Atuar como poder concedente;**
- d) **Fixar, acompanhar e controlar tarifas;**
- e) **Atuar na defesa e proteção dos direitos dos usuários;**
- f) **Administrar o espectro radioelétrico;**
- g) **Representar o Brasil em organismos internacionais**

### **1.5 QUESTÕES TÉCNICAS E PROBLEMAS NO AMBIENTE.**

Um usuário de aparelho celular, ao se deslocar, percebe variações na qualidade do seu sinal. Tais variações acontecem devido a:

- movimentação em relação à estação base;
- múltiplos caminhos de propagação;
- *jamming* não intencional, que ocorre por exemplo devido a ruídos produzidos por equipamentos eletro-eletrônicos, interferência de canais adjacentes, interferência no próprio canal.

Tal ambiente pertence à classe dos campos não-estacionários randômicos, dos quais é difícil obter dados experimentais, e também é difícil prever ou modelar seu comportamento satisfatoriamente.

Problemas de interferência eletromagnética são estudados pela Engenharia de Compatibilidade Eletromagnética.

*Frequency selective fading* – quando componentes de sinais refletidos tornam-se comparáveis em amplitude ao do componente atenuado do próprio sinal direto, e o atraso

relativo dos sinais dá origem a uma defasagem no sinal capaz de enfraquecê-lo. O problema aumenta com o deslocamento do receptor, variando os pontos de reflexão do sinal. Este modelo ambiental é chamado de *Doppler multipath Rayleigh channel*.

Projetar células, prever áreas de cobertura e qualidade de serviço, num ambiente de canais de rádio sempre em mutação é uma tarefa complexa e difícil. Muitos modelos computacionais existem para ajudar nessa tarefa (prevendo os caminhos de perda e atenuação de sinais), porém são específicos e não aplicáveis nos casos gerais. A solução adotada é a transmissão de potências excessivas, para tentar garantir uma performance adequada.

### **1.6 QUALIDADE DE SERVIÇO.**

O principal, primeiro e mais importante índice de medida da qualidade de serviço é a satisfação do cliente. As necessidades do cliente devem orientar tanto os conceitos gerais do sistema quanto o desenvolvimento dos produtos.

Mas há algumas medidas técnicas de qualidade, tanto para serviços de voz como de dados.

- qualidade de serviço de dados: taxa de erros de bits (*Bit Error Rate – BER*), por exemplo  $BER < 10^{-5}$ ; atraso do processamento do sinal (1 – 10 ms); probabilidade de colisão em acesso múltiplo (<20%); probabilidade de chamada falsa; probabilidade de chamada perdida; perda de sincronização; etc.
- qualidade de voz: geralmente expressa por uma avaliação/opinião subjetiva (*MOS – mean opinion score*), que varia de 0 (ruim), 1 (fraco), 2 (médio), 3 (bom) até 4 (excelente). Em serviços de telefonia fixa (PSTN) o valor 1 para MOS equivale a uma relação sinal/ruído (*signal-to-noise ratio S/N*) próxima de 35 dB, enquanto o nível excelente corresponde a  $S/N > 45$  dB. Porém os mesmos valores de MOS na telefonia móvel, por exemplo, correspondem a  $S/N \sim 15$  dB para o fraco e  $S/N > 25$  dB para o excelente.

## **1.7 CODIFICAÇÃO DA VOZ.**

Para permitir a transmissão de sinais de voz, é necessário realizar uma codificação e compressão do sinal. Pode ser feita de modo analógico e digital.

No processo analógico a voz é limitada em 4 kHz, feita compressão em amplitude (2:1), e modulada em frequência ou fase (*phase modulation – PM / frequency modulation – FM*).

No receptor as operações inversas são realizadas. Devido a essas conversões e características do uso do canal, o resultado é de baixa qualidade e o ouvido humano é responsável por estimar e entender como inteligível o sinal.

Em esquemas digitais a fonte de voz analógica é primeiramente modelada e digitalizada, e codificada para uso em taxas de transmissão de 64 kbps, 56 kbps, conforme recomendações da ITU para total qualidade. Porém em sistemas de rádios móveis um taxa de 8-16 kbps é aplicada, permitindo um sinal de qualidade satisfatória, eficiência espectral, robustez e um aceitável retardo de processamento.

Geralmente os sistemas convivem de forma híbrida (celular – fixo, celular – celular, digital – analógico, digital – digital).

<b>Glossário de termos</b>	
AMPS	Advanced mobile phone service
ASIC	Application specific integrated circuit
BER	Bit error rate
CAD	Computer aided design
CDMA	Code division multiple access (spread spectrum)
CT	Cordless telephone
DSP	Digital signal processing
FCC	Federal Communications Commission (USA)
FDMA	Frequency division multiple access
GDSS	Global distress safety system
GOES	Geostationary operational environmental satellites
GPS	Global positioning system



GSM	Groupe Spécial Mobile (hoje Global System for Mobile communications.
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
ISDN	Integrated services digital network
ITU	International Telecommunications Union
ITU-T	International Telecommunications Union, setor de Normas
ITU-R	International Telecommunications Union, setor de Rádio
kbps	kilo bits por segundo
MOS	Mean opinion score
MMIC	Microwave monolithic integrated circuit
NMC	Network management center
PCN	Personal communications networks
PCS	Personal communications systems
PSTN	Public switched telephone network
SARSAT	Search and rescue satellite tracking system
SERES	Search and rescue satellite
TACS	Total access communication system
TDMA	Time division multiple access
TIA	Telecommunication industries association (USA)
WARC	World administrative radio conference

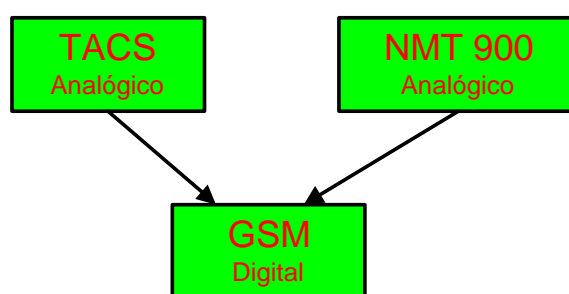
## **1.8 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS SISTEMAS 1G para 2G**

Os sistemas de comunicação móvel celular pioneiros da década de 30 pecaram por seus equipamentos volumosos, pesados, caros e de grande consumo. Utilizava-se a válvula de lógica. Os transmissores operavam com potência alta para cobrir a maior área de serviço possível, com a utilização ineficiente do espectro de frequência e transmissão apenas *one-way*. Em meados de 1950 surgiram os primeiros equipamentos transportáveis pelo homem, mas sua utilização ainda limitava-se às aplicações militares. Em 1957, com o surgimento dos transistores houve uma grande redução do volume dos aparelhos, em até 50% de seu volume. Isto representou redução de custo e menor consumo de potência. Os rádio portáteis já eram utilizados em 1960 com o advento dos circuitos integrados os telefones sem fio e telefones celulares portáteis surgiram com a tecnologia VLSI de integração de circuito em larga escala em 1970.

O *boom* dos sistemas de comunicação móveis celulares deu-se com o avanço tecnológico da década de 80 proporcionado pelas centrais CPA, técnicas de sinalização por canal comum e os enlaces digitais, via rádio ou cabo óptico. Isto tornou os sistema móvel celular mais baratos ao usuário. Nos últimos anos, os sistemas móvel celular se popularizaram mundialmente. A tecnologia celular está evoluindo de analógica para digital, objetivando a eficiência do espectro, qualidade de voz e integração de serviços.

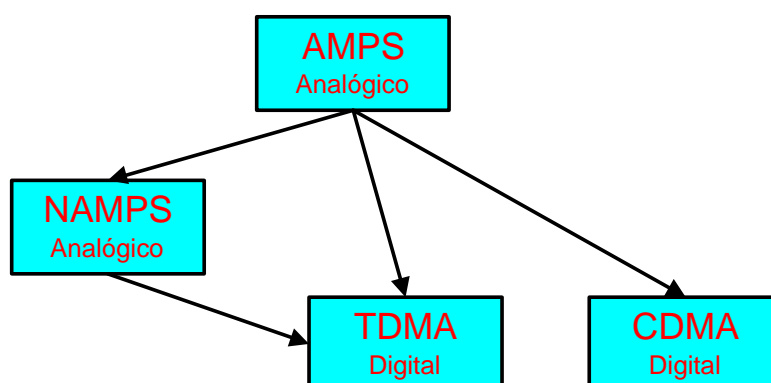
Durante a implantação dos primeiros sistemas de comunicação móvel celular, a tecnologia ficou dependente das características do mercado-alvo. Essa tendência de pesquisa mercadológica dirigiu a evolução e convergência dos sistemas em todo o mundo.

Na Europa os sistemas celulares analógicos TACS o NMT 900 convergiram para o *Global System for Mobile Communications (GSM)*.



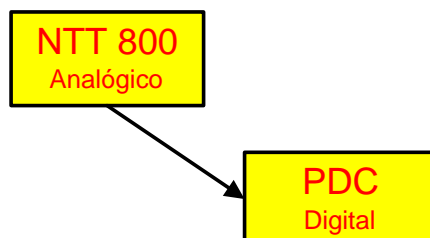
**Figura 1.2: Evolução dos Sistemas Celulares na Europa**

Nos Estados Unidos, o sistema analógico AMPS, implantado também nas Américas e Austrália, evoluiu para o *Narrowband AMPS (NAMPS)* e depois para os padrões digitais *Time Division Multiple Access (TDMA)* e *Code Division Multiple Access (CDMA)*.



**Figura 1.3: Evolução dos Sistemas Celulares nas Américas.**

O Japão desenvolveu seu padrão analógico NTT 800 evoluindo depois para o padrão digital *Personal Digital Celular* (PDC).



**Figura 1.4: Evolução do Sistema Celular Japonês.**

A expectativa tecnológica do mercado de serviços móvel celular é a supremacia do padrão CDMA sobre as outras soluções analógicas e digitais devido a utilização mais eficiente do espectro, qualidade de transmissão e adaptabilidade aos diversos serviços existentes.

No entanto atualmente isso não está se consolidando de forma como se esperava, pois o CDMA ainda apresenta muitos problemas referente, principalmente, ao aumento de tráfego, não conseguindo nunca atingir sua capacidade máxima teórica.

### **1.9 VANTAGENAS E DESVANTAGENS DOS SISTEMAS MÓVEIS E SEM FIO**

A principal característica de um sistema celular é que o aparelho telefônico pode ser carregado e utilizado em qualquer lugar desde que se tenha acesso ao serviço. Isto faz com que os assinantes não estejam presos a uma determinada região e tenham acesso imediato ao serviço. Esta característica, que é uma das principais vantagens dos sistemas celulares pode também trazer alguns inconvenientes, como por exemplo, a perturbação causada por aparelhos celulares em determinados ambientes.

Uma das maiores vantagens dos sistemas celulares sobre os sistemas fixos é certamente a não necessidade de cabeamento. Para a instalação de um sistema de telefonia fixa, são necessários quilômetros e quilômetros de fios, postes, dutos subterrâneos, etc.

Naturalmente existem desvantagens em qualquer sistema. E os sistemas móveis não estão livres delas. As tecnologias utilizadas são muito complexas, principalmente em

função das características do ambiente onde estes sistemas são utilizados. Os sistemas móveis trabalham com interfaces aéreas (rádio), estando, portanto, sujeitos a problemas como topologia do terreno, características das regiões onde os sistemas são instalados (área urbana, rural), condições do tempo, entre outros.

Além disso os sistemas móveis também são limitados em função dos espectros de frequência utilizados.

### Vantagens

- Mobilidade dos usuários
- Acesso imediato aos serviços independente de
- Não há necessidade de cabeamento

### Desvantagens

- Espectro de frequências limitado
- Problemas com segurança/privacidade
- Fontes de energia para os telefones móveis
- Qualidade do sinal

Por outro lado, os sistemas móveis são mais simples de instalar se comparados aos sistemas fixos e os custos de ampliação da rede são praticamente constantes, o que não acontece com os sistemas fixos, como pode ser observado na figura 1.5, que se refere a um estudo realizado sobre os custos de ampliação de uma rede telefônica. A figura 1.5 mostra que os custos de ampliação de uma rede telefônica fixa aumentam com a distância dos assinante em relação à central telefônica.

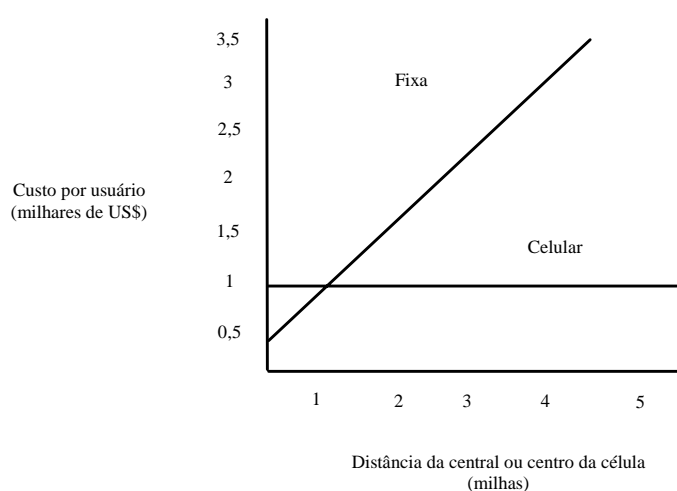


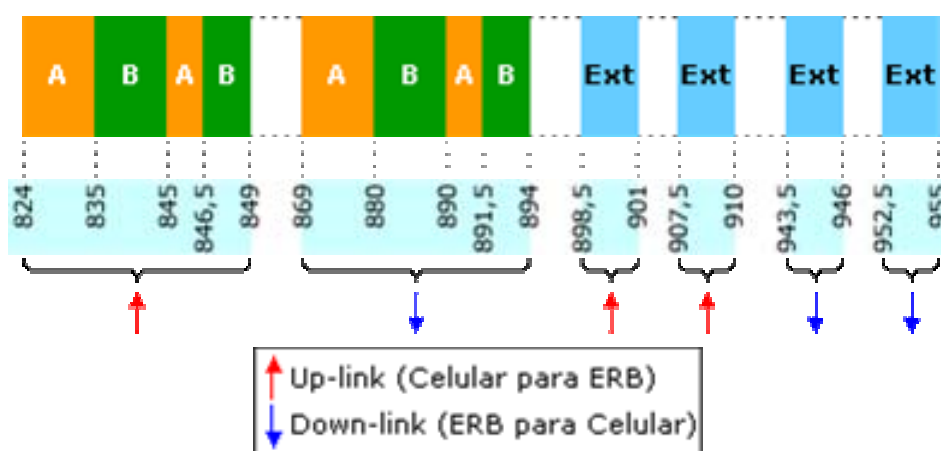
Fig.1.5 – Custos de ampliação de redes telefônicas fixa e móvel

## 1.10 BANDAS DE FREQUÊNCIAS PARA O CELULAR NO BRASIL

Estão disponíveis para o celular no Brasil (SMP) frequências nas bandas de:

- 850 MHz, antigas bandas A e B
- 900 MHz, bandas de extensão utilizadas pelo GSM
- 1700 e 1800 MHz, bandas D, E e subfaixas de extensão utilizadas pelo GSM
- 1900 e 2100 MHz destinadas na sua maior parte para sistemas 3G

### Frequências em 850 MHz e 900 MHz



Frequências (MHz)	Transmissão da	
	Estação Móvel	ERB
Subfaixa A**	824-835 845-846,5	869-880 890-891,5
Subfaixa B**	835-845 846,5-849	880-890 891,5-894
Subfaixa D	910-912,5 1710-1725	955-957,5 1805-1820
Subfaixa E	912,5-915 1740-1755	957,5-960 1835-1850
Subfaixas de Extensão	898,5-901* 907,5-910* 1725-1740 1775-1785	943,5-946* 952,5-955* 1820-1835 1870-1880

\* Não serão autorizadas para prestadoras do SMP operando nas Bandas D e E. Todas as operadoras de Banda D e E adquiriram também as faixas de frequências de 900 MHz alocadas para a sua Banda.

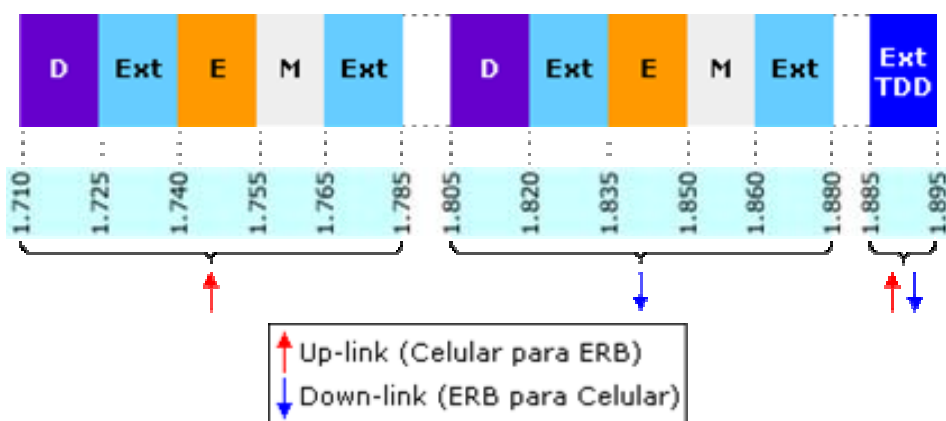
\*\* Admite o emprego de sistemas analógicos (AMPS) nas Bandas A e B até 30/06/2008.

**Desligamento do AMPS**

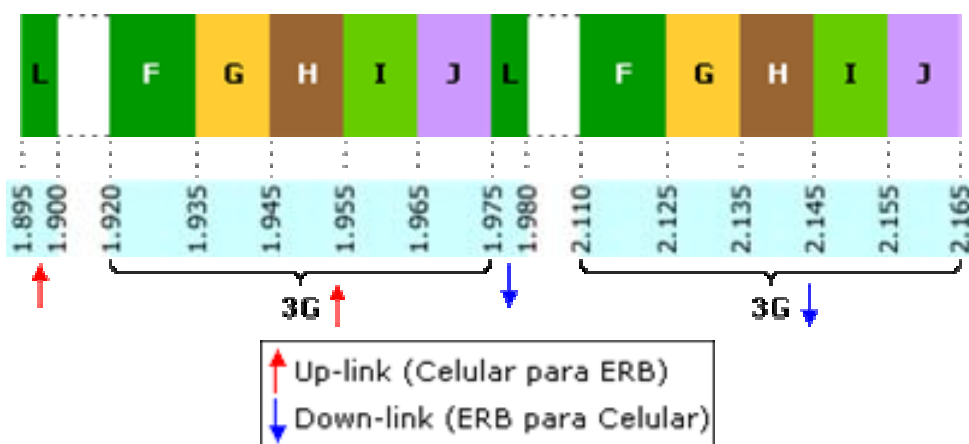
Foi publicado em 30/06/08, ato da Anatel prorrogando a operação da rede analógica até a finalização do processo de Consulta Pública nº 24, de 19 de junho de 2008, ou nova data que venha a ser estabelecida pela Anatel.

Esta consulta pública propõe adiamento de 12 meses no prazo para desligamento do AMPS utilizado em sistemas para o suporte a telefonia fixa em áreas remotas e de baixa densidade populacional, em modalidades conhecidas como Ruralcel e Ruralvan.

**Frequências em 1700 e 1800 MHz**



**Frequências em 1900 e 2100 MHz**



**Novas Bandas do SMP**

Res. 454 de 11/12/06 que revogou a Res. 376 02/09/04.

MHz	Transmissão da	
	Estação Móvel	ERB
F*	1920-1935	2.110-2.125
G*	1.935-1.945	2.125-2.135
H*	1.945-1.955	2.135-2.145
I*	1.955-1.965	2.145-2.155
J*	1.965-1.975	2.155-2.165
L	1.895-1.900	1.975-1.980
M	1.755-1.765	1.850-1.860
Subfaixa de Extensão	1.765-1.770	1.860-1.865
	1.770-1.775	1.865-1.870
	1.885-1.890**	
		1.890-1.895**

\* Faixas reservadas para sistemas 3G

\*\* Sistemas TDD (Time Division Duplex) que utilizam a mesma subfaixa de frequências para transmissão nas duas direções.

**Limites de Banda por prestadora de SMP**

O limite máximo total por prestadora de SMP em uma mesma área geográfica é de 50 MHz, passando a 80 MHz quando forem licitadas as subfaixas de 1.900 e 2.100 MHz (F, G, H, I e J) e a 85 MHz quando também for licitada a subfaixa de extensão para TDD.

Além do limite total devem ser respeitados também os seguintes limites por faixas de frequências.

Subfaixas de	Limite (MHz)
800 MHz	12,5 + 12,5
900 MHz	2,5 + 2,5
1.800 MHz	25 + 25
1.900 e 2.100 MHz	15 + 15
Extensão TDD de 1.900 MHz	5

**1.11 EVOLUÇÃO DO MERCADO (fonte: <http://www.teleco.com.br>)****ESTATÍSTICAS DE CELULARES NO BRASIL****Total de Celulares (Dez/08): 150,6 milhões****Crescimento do celular em Dez/08**

Dados divulgados pela Anatel indicam que o Brasil terminou 2008 com 150,6 milhões de celulares e uma densidade de 78,11 cel/100 hab. (não considerando a nova estimativa de população publicada pelo IBGE em 2008). Considerada esta nova estimativa a densidade passa para 79,17 cel/100 hab.

As adições líquidas de dezembro (3,6 milhões) foram 23% menores que as de dezembro/07 (4,7 milhões).

Entretanto, as adições líquidas acumuladas no ano somaram 29,6 milhões de celulares, a maior da história. Um crescimento de quase 41% em as adições de 2007.

**Celulares em Dez/08**

	<b>Dez/07</b>	<b>Out/08</b>	<b>Nov/08</b>	<b>Dez/08</b>
Celulares	120.980.103	144.795.618	147.052.397	150.641.403
Pré-pago	80,66%	81,24%	81,29%	81,47%
Densidade	63,59	75,24	76,33	78,11
Densidade corrigida *	64,22	76,22	77,34	79,17
Cresc. mês	4.666.276	4.007.056	2.256.779	3.589.006
	4,01%	2,8%	1,6%	2,4%
Cresc. ano	21.061.482	23.815.515	26.072.294	29.661.300
	21,08%	19,69%	21,55%	24,52%
Cresc. em 1 ano	21.061.482	30.105.314	30.738.570	29.661.300
	21,08%	26,25%	26,43%	24,52%

Nota: celulares ativos na operadora. Densidade calculada com a projeção de população do IBGE para o mês respectivo.

\*Com a nova estimativa de população do IBGE publicada em Nov/08.



**Celulares por Tecnologia**

Tecn.	Dez. 2007	Dezembro 2008			
		Nº Celulares		Cresc. mês	Cresc. ano
AMPS	15.581	11.546	0,01%	-387	-3,2%
TDMA	5.157.187	1.153.580	0,77%	-346.022	-23,1%
CDMA	20.881.790	12.732.287	8,45%	-588.400	-4,4%
GSM	94.925.545	133.925.736	88,90%	3.926.668	3,0%
WCDMA	-	1.692.436	1,12%	346.642	25,8%
CDMA 2000	-	452.816	0,30%	176.427	63,8%
Term. Dados	-	673.002	0,45%	74.078	
<b>Total</b>	<b>120.980.103</b>	<b>150.641.403</b>	<b>100%</b>	<b>3.589.006</b>	<b>2,4%</b>

**Celulares por Banda**

Banda	Dez. 2007	Outubro 2008			
		Nº Celulares		Cresc.mês	Cresc ano
A	44.443.667	49.330.703	34,1%	-125.949	11,0%
B	35.478.117	41.636.719	28,8%	824.104	17,4%
D	28.330.142	37.030.092	25,6%	1.969.354	30,7%
E*	12.728.177	16.798.104	11,6%	1.465.761	32,0%
<b>Total</b>	<b>120.980.103</b>	<b>144.795.618</b>	<b>100,0%</b>	<b>4.007.056</b>	<b>19,7%</b>

\* Banda E inclui banda M.

**GSM**

<b>Banda</b>	<b>Dez/06</b>	<b>Out/07</b>	<b>Nov/07</b>	<b>Dez/07</b>
D e E	32.319.472	38.696.140	39.317.353	41.058.319
A e B	31.225.102	47.912.706	49.910.740	53.867.226*

\* 14.043 mil na Banda A e 28.562 mil na Banda B

Apresenta-se a seguir o market share das operadoras de celular

**MARKET SHARE DAS OPERADORAS (FONTE: ANATEL)****Market Share das Operadoras (Fonte: Anatel)**

<b>Milhares</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>1T08</b>	<b>2T08</b>	<b>3T08</b>	<b>Dez/08</b>
<u>Vivo*</u>	32,52%	30,90%	30,45%	30,36%	30,03%	29,84%
<u>Claro</u>	23,90%	24,99%	24,78%	24,87%	25,33%	25,71%
<u>TIM</u>	25,45%	25,85%	25,87%	25,40%	25,02%	24,17%
<u>Oi*</u>	14,30%	14,38%	14,89%	15,24%	15,53%	16,19%
<u>BrT</u>	3,38%	3,52%	3,64%	3,8%	3,73%	3,72%
<u>CTBC</u>	0,37%	0,30%	0,31%	0,31%	0,31%	0,30%
<u>Sercomtel</u>	0,08%	0,06%	0,06%	0,05%	0,05%	0,06%
Aeiu	-	-	-	-	0,003%	0,01%
<b>Celulares</b>	<b>99.919</b>	<b>120.980</b>	<b>125.811</b>	<b>133.169</b>	<b>140.789</b>	<b>150.641</b>
Oi/BrT	17,68%	17,90%	18,53%	19,04%	19,26%	19,91%

\* Vivo inclui Telemig e Oi inclui Amazônia Celular. A Telemig Celular foi vendida para a Vivo e a Amazônia Celular para a Oi.  
Elas foram incorporadas em 03/04/2008.

**Diferenças em Market Share (Pontos Percentuais)**

<b>Entre</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>1T08</b>	<b>2T08</b>	<b>3T08</b>	<b>Dez/08</b>
Vivo* e Claro	8,7%	5,9%	5,5%	5,5%	4,7%	4,1%
Claro e Tim	- 1,55%	- 0,86%	- 1,09%	- 0,53%	0,31%	1,54%
Tim e Oi/BrT	7,77%	7,95%	7,34%	6,36%	5,76%	4,26%

\* inclui Telemig.

**Quantidade de Celulares Operadoras**

<b>Milhares</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>1T08</b>	<b>2T08</b>	<b>3T08</b>	<b>Dez/08</b>
<u>Vivo*</u>	32.489	37.385	38.309	40.435	42.277	44.945
<u>Claro</u>	23.881	30.228	31.182	33.113	35.668	38.731
<u>TIM</u>	25.425	31.268	32.548	33.829	35.220	36.416
<u>Oi*</u>	14.289	17.401	18.737	20.299	21.864	24.388
<u>BrT</u>	3.377	4.263	4.578	5.015	5.246	5.605
<u>CTBC</u>	373	363	388	407	438	454
<u>Sercomtel</u>	86	73	71	71	72	85
Aeiou	-	-	-	-	4	17
<b>Celulares</b>	<b>99.919</b>	<b>120.980</b>	<b>125.811</b>	<b>133.169</b>	<b>140.789</b>	<b>150.641</b>
Oi/BrT	17.666	21.664	23.315	25.314	27.110	29.993

\* Vivo inclui Telemig e Oi inclui Amazônia Celular. A Telemig Celular foi vendida para a Vivo e a Amazônia Celular para a Oi.

Elas foram incorporadas em 03/04/2008.

**Diferenças em Quantidade de Celulares (Milhares)**

<b>Entre</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>1T08</b>	<b>2T08</b>	<b>3T08</b>	<b>Dez/08</b>
Vivo* e Claro	8.608	7.157	7.127	7.322	6.609	6.214
Claro e Tim	- 1.544	- 1.040	- 1.366	- 0.779	0.448	2.315
Tim e Oi/BrT	7.759	9.604	9.233	8.515	8.110	6.423

\* inclui Telemig.