

**UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO CELULAR MÓVEL**

Área de Telecomunicações

por

Fábio Bueno da Silva

Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira, Doutor  
Orientador

Itatiba (SP), novembro de 2005

**UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO CELULAR MÓVEL**

Área de Telecomunicações

por

Fábio Bueno da Silva

Relatório apresentado à Banca Examinadora do  
Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia  
Elétrica para análise e aprovação.  
Orientador: Carlos Henrique Rodrigues de  
Oliveira, Doutor

<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE EQUAÇÕES.....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>x</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. A COMUNICAÇÃO MÓVEL – CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 CARACTERIZAÇÃO DO CANAL DE COMUNICAÇÃO.....</b>	<b>2</b>
<b>2.2 VIABILIZAÇÃO DA COMUNICAÇÃO NO CANAL DE RÁDIO MÓVEL .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.1. Codificação De Fonte .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.2. Codificação De Canal .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.3. Entrelaçamento Temporal – Interleaving .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.4. Diversidade .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.5. Técnicas De Modulação Digital .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.6. Equalização .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.7. Cancelamento De Interferências .....</b>	<b>15</b>
<b>3. TÉCNICAS DE ACESSO PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MÓVEL .....</b>	<b>17</b>
<b>4. SISTEMAS AMPS .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1. FUNCIONAMENTO .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1.1. Mobile Station (Ms) .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1.2. Estação Rádio Base (Erb) .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1.3. Central De Comutação E Controle (Ccc) .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1.4. Home Location Register (Hlr) .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1.5. Visitor Location Register (Vlr) .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1.6. Freqüências De Operação (Mhz) .....</b>	<b>20</b>
<b>4.2. CANALIZAÇÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>4.3. CAPACIDADE .....</b>	<b>21</b>
<b>5. SISTEMA TDMA .....</b>	<b>23</b>
<b>5.1. FDMA .....</b>	<b>24</b>
<b>5.2. MULTIPLEXAÇÃO NO TEMPO .....</b>	<b>24</b>
<b>5.3. EVOLUÇÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>5.4. CANAIS TDMA .....</b>	<b>27</b>
<b>5.5. DUAL MODE TDMA/AMPS .....</b>	<b>28</b>

<b>5.6. TIPOS DE CANAIS DE RÁDIO .....</b>	<b>29</b>
5.6.1. Dcch - Digital Control Channel .....	30
<b>6. SISTEMAS GSM .....</b>	<b>31</b>
6.1. HISTÓRICO GSM .....	32
6.2. REDES GSM .....	33
6.3. CÉLULA GSM .....	33
6.4. MODULAÇÃO .....	38
6.5. NÍVEIS DE TX .....	39
6.6. AVANÇO DE <i>TIMING</i> .....	40
6.7. BURST DE POTÊNCIA .....	42
6.8. QUADROS E MULTIQUADROS .....	43
6.9. <i>DOWNLINK E UPLINK</i> .....	45
6.10. CANAL DE TRÁFEGO .....	45
6.11. CODIFICAÇÃO DE VOZ .....	46
6.12 CORREÇÃO DE ERROS .....	47
<b>7. SISTEMA CDMA .....</b>	<b>49</b>
<b>7.1. A TECNOLOGIA .....</b>	<b>50</b>
<b>7.2. PROCESSO .....</b>	<b>50</b>
<b>8. SISTEMA DE TERCEIRA GERAÇÃO .....</b>	<b>54</b>
8.1. CDMA 1xRTT .....	54
8.2. EV-DO .....	55
8.2.1. O que é 1xEVDO .....	56
8.2.2. Frequências de 450MHz, 850MHz e 1,9GHz .....	57
8.2.3. Taxa de transmissão .....	58
8.2.4. Evolução da Tecnologia .....	58
8.3. WCDMA .....	59
8.3.1. Disponibilidade de espectro .....	60
8.3.2. Integração com a rede existente.....	61
<b>9. SISTEMA 4G .....</b>	<b>62</b>
9.1. O QUE É? .....	62
9.2. QUANDO SERÁ INTRODUZIDO? .....	62
9.3. TIPOS DE SERVIÇOS .....	62
<b>10. IMT 2000 .....</b>	<b>63</b>
10.1. O QUE É .....	63
10.2. EVOLUÇÃO .....	64

<b>11. SIMULAÇÕES .....</b>	<b>64</b>
<b>11.1 CDMA 1x .....</b>	<b>65</b>
<b>12. LINK BUDGET .....</b>	<b>68</b>
<b>12.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>68</b>
<b>12.2. LINKS .....</b>	<b>68</b>
<b>13. CONCLUSÕES .....</b>	<b>77</b>
<b>14. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i>
AWGN	<i>Additive White Gaussian Noise</i>
CCC	Central de Comutação e Controle
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CTIA	<i>Cellular Telecommunications Industry Association</i>
DSP	<i>Digital Signal Processing</i>
ERB	Estação Rádio- Base
EGC	<i>Equal Gain Combining</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplexing</i>
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HLR	<i>Home Location Register</i>
MIN	<i>Mobile Identification Number</i>
MIP	<i>Multipath Intensity Profile</i>
MRC	<i>Maximum Ratio Combining</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
PCM	<i>Pulse Code Modulator</i>
PSK	<i>Phase Shift Keying</i>
RMS	<i>Root-Mean-Square</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TDD	<i>Time Division Duplexing</i>
TDMA	<i>Time division Multiple access</i>
USF	Universidade São Francisco
WAP	<i>Wireless Application Protocol</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reposta ao impulso de um canal de rádio móvel terrestre para vários instantes de observação .....	5
Figura 2. Função densidade de probabilidade Rayleigh .....	5
Figura 3. Arquitetura básica sistema AMPS .....	18
Figura 4. Multiplexação em frequência .....	25
Figura 5. Multiplexação no tempo .....	24
Figura 6. Frame TDMA .....	26
Figura 7. Evolução do TDMA .....	27
Figura 8. Canais TDMA – Faixa de 800 MHz .....	28
Figura 9. Processamento e voz no TDMA .....	30
Figura 10. Canais de controle .....	31
Figura 11. Rede GSM .....	33
Figura 12. Célula GSM .....	35
Figura 13. Funcionamento célula GSM .....	36
Figura 14. Canais de tráfego .....	37
Figura 15. Modulação .....	38
Figura 16. Níveis de Tx .....	40
Figura 17. Avanço de timing .....	41
Figura 18. <i>Burst</i> de potência .....	42
Figura 19. Quadros e multiquadros .....	43
Figura 20. <i>Downlink</i> e <i>Uplink</i> .....	45
Figura 21. Canal de tráfego .....	46
Figura 22. Codificador .....	47
Figura 23. Correção de erros .....	48
Figura 24. Acessos CDMA .....	50
Figura 25. Frequências.....	57
Figura 26. Frequências WCDMA. ....	61
Figura 27. Caminhos da evolução. ....	64
Figura 28. Simulação CDMA 1x.....	65
Figura 29. Simulação CDMA 1x por circuito.....	66
Figura 30. Capacidade 3G 1x.....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características das órbitas para satélites .....	3
Tabela 2. Frequências de operação .....	20
Tabela 3. Diferenças entre WCDMA e CDMA2000 1x .....	64

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 .....	4
Equação 2 .....	5
Equação 3 .....	7
Equação 4 .....	7
Equação 5.....	9
Equação 6.....	69
Equação 7.....	69

## **Resumo**

SILVA, Fábio Bueno da. **Sistemas de comunicação celular móvel**. Itatiba, 2005. f.Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2005.

Este *tcc* aborda conceitos relacionados às comunicações móveis. Os fundamentos relacionados à transmissão de informação nos canais de rádio móveis via satélite e terrestre, os fenômenos observados nesses canais e os métodos para viabilização da comunicação nesses ambientes são descritos.

Várias técnicas de acesso em sistemas de comunicação móvel são também apresentadas. São apresentadas ainda as principais características dos sistemas de comunicação móvel existentes e emergentes em todo o mundo.

Palavras chave: célula, comunicação móvel, geração de sistemas móveis.

## *Abstract*

*This tcc presents concepts related to mobile communications. It is concerned with the fundamentals of the transmission of information over satellite and terrestrial mobile radio channels, with the observed phenomena in these channels and with the methods for turning the communication feasible in these environments.*

*Several access techniques for mobile communication systems are also presented. The work also presents the main characteristics of today's and emerging mobile communication systems around the world.*

*Keywords: cell, mobile communications, mobile system generation.*

# 1. INTRODUÇÃO

Vivemos uma época na qual é percebido um avanço tecnológico ímpar nas telecomunicações. São inúmeros os diferentes sistemas existentes e a cada dia parece nos ser apresentado um novo. Mas qual é a tecnologia adequada? – perguntam, confusos, os profissionais de telecomunicações. Cada fabricante defende de forma ferrenha sua idéia e ainda diz que a do concorrente é a menos indicada, embora, muitas vezes, seja adequada. Se não se conhece a tecnologia, corre-se o risco de deixá-la ditar as decisões importantes nas organizações, decisões estas muitas vezes regadas de um modismo inerente a um lançamento tecnológico de impacto. É importante conhecer a tecnologia para bem poder utiliza-la. Conhecendo-a e tomando as ações em função do mercado, as organizações deixam de simplesmente “empurrar” essa ou aquela tecnologia para o cliente. A ele deve ser oferecido aquilo que lhe é necessário, que realmente se adequie às suas necessidades. Não bastasse essa demanda por conhecimento da tecnologia, o profissional, especialmente o profissional de telecomunicações, precisa se adequar à nova equação do mercado:  $\frac{1}{2} \cdot 2.3 = P + L$ , que significa que metade das pessoas chave nas organizações vêm sendo pagas duas vezes mais que antes, tendo que produzir três vezes mais e ainda manter (ou até superar) a produtividade e o lucro anteriores [2]. Para atender a esses requisitos é preciso acesso à informação e a capacitação para utilizá-la. De um lado as organizações precisam se antecipar às necessidades dos clientes, estar próximo deles. De outro é preciso velocidade na tomada das decisões internas. E é nesse cenário que surgem as comunicações móveis. A cada dia há maior necessidade dos profissionais se deslocarem para fora de seus escritórios, para perto do cliente e da tecnologia e apresentarem um desempenho no mínimo igual àquele que seria alcançado se estivessem dentro da organização. As informações precisam ser consultadas e atualizadas quase que em tempo real, sejam estas informações de caráter tecnológico ou relacionadas ao cliente. A variedade de serviços oferecidos a cada dia pelos sistemas de comunicação móvel é o reflexo de toda essa necessidade de acesso e utilização da informação como fator determinante do sucesso das organizações. Em 1947 a *AT&T Bell Laboratories* introduziu o conceito de telefonia celular com um sistema de comunicação móvel que utilizava modulação AM. O baixo desempenho desse sistema levou a *AT&T Bell Laboratories*, em 1962, a implementar um sistema com modulação em FM na faixa de VHF e com canais de 30 kHz. Esse sistema teve sua primeira utilização comercial em 1979, tendo o nome de sistema AMPS (*Advanced Mobile Phone System*). Hoje, através da elaboração de normas

mundiais, têm-se buscado constantemente a interoperabilidade dos sistemas de comunicação móvel e a possibilidade de comunicação global que permita a transmissão de voz, dados e aplicações multimídia. Devido principalmente à possibilidade de implementação de novos serviços e também pela segurança na comunicação, os sistemas digitais têm se mostrado, cada vez mais, candidatos a serem a base definitiva dos futuros sistemas, principalmente com o avanço da micro-eletrônica e com o desenvolvimento das ferramentas de *software*. Não houve a pretensão de esgotar aqui o assunto, que seja de maneira resumida, mas sim de fornecer ao leitor um texto reunindo conceitos fundamentais e essenciais ao entendimento de publicações e norma relacionadas, abordando ainda as principais características de alguns dos sistemas de comunicação móvel atuais e emergentes.

## **2. A COMUNICAÇÃO MÓVEL – CONCEITOS FUNDAMENTAIS**

### **2.1. CARACTERIZAÇÃO DO CANAL DE COMUNICAÇÃO**

Pode-se definir como comunicação móvel aquela onde existe a possibilidade de movimento relativo entre partes ou as partes sistêmicas envolvidas. Como exemplo tem-se a comunicação entre aeronaves, entre aeronaves e uma base terrena, entre veículos, a telefonia celular, a computação móvel, algumas classes de sistemas de telemetria, etc. Uma comunicação fixa (por exemplo, um *link* de microondas entre uma estação rádio base e uma central de comutação e controle de um sistema de telefonia celular) não caracteriza uma comunicação móvel, mas pode fazer parte de um sistema de comunicação móvel. Vários exemplos dessa natureza podem ser encontrados na prática. Os canais associados a sistemas de comunicação móvel podem ser agrupados em dois tipos: um pode ser chamado de canal via satélite e o outro de canal terrestre. O canal de comunicação via satélite é um canal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) onde predominam fortes atenuações e muitas vezes grandes atrasos de propagação do sinal. O termo AWGN é utilizado em modelamentos matemáticos para caracterizar aqueles canais onde o tipo de ruído responsável por degradar a comunicação é um ruído branco adicionado ao sinal. Este tipo de ruído é um dos mais “bem comportados” e a teoria acerca do desenvolvimento de receptores ótimos para utilização em canais

AWGN já se tornou clássica [8]. O ruído branco é um sinal aleatório e tem um modelamento matemático que o considera como possuindo largura de faixa infinita, média nula e correlação nula entre suas amplitudes tomadas a instantes de tempo distintos, ou seja, o valor da amplitude do ruído em um determinado instante independe daquele observado em outro instante de tempo qualquer. O termo gaussiano se deve ao fato desse tipo de ruído possuir uma função densidade de probabilidade gaussiana com média nula, com desvio padrão igual à sua tensão rms (*root-mean-square*) e variância igual à potência dissipada em um resistor de  $1\Omega$ . [11]. Um receptor é dito ótimo sob algum critério de optimalidade, por exemplo, máxima relação sinal ruído, mínima probabilidade de erro de decisão (para sistemas de comunicação digital), etc. Há três categorias nas quais se encaixam todos os sistemas de comunicação móvel via satélite. A primeira se refere aos satélites de órbita geossíncrona (GEO – *Geostationary Earth Orbit*). Esses satélites parecem estar parados para um observador na terra. Os satélites de órbita média (MEO - *Medium Earth Orbit*) e os de órbita baixa (LEO - *Low Earth Orbit*) estão mais próximos da superfície da terra e para que se mantenham nessa órbita necessitam viajar a uma velocidade superior à de rotação da terra, não possuindo, portanto, cobertura fixa. A distância dos vários satélites à terra, a porcentagem da superfície da terra “vista” por cada um (*footprint*), a largura de faixa de operação e o atraso de propagação (somente subida ou descida) típicos podem ser visualizados na Tabela 1 [2].

Tabela 1 – Características das órbitas dos satélites

<b>Tipo</b>	<b>Altitude</b>	<b>Footprint</b>	<b>Banda (GHz)</b>	<b>Atraso</b>
GEO	~35781 km	34 %	20 a 30 (Ka) 11 a 17 (Ku) 4 a 8 (C)	0,25 s
NEO	10000 km a 13000 km	~24 %	1 a 3 (L)	0,07 a 0,09 s
LEO	755 km a 1390 km	2,5 % a 5 %	20 a 30 (Ka) 1 a 3 (L) 0,8	0,005 a 0,01 s

O canal de comunicação terrestre tem como características principais à propagação por multipercursos e o efeito Doppler. O sinal recebido pelo terminal móvel é composto pela soma (vetorial) dos vários sinais oriundos de diferentes caminhos entre o transmissor e o receptor. Esses multipercursos são formados pela reflexão e/ou difração e/ou espalhamento do sinal transmitido em estruturas próximas ao receptor, tais como edifícios, árvores, postes, morros, etc A soma vetorial dos vários sinais dos multipercursos pode resultar em uma interferência construtiva ou destrutiva no

sinal recebido. Com o movimento, as estruturas em torno do receptor vão se modificando e, por consequência, as interferências passam constantemente da situação construtiva para a destrutiva, fazendo com que a intensidade do sinal recebido varie rapidamente. Quanto maior a velocidade de movimentação, mais rápidas serão as variações no sinal recebido. Esse fenômeno de alteração na intensidade do sinal recebido é denominado desvanecimento por multipercursos. O efeito Doppler é a percepção de uma frequência diferente daquela que está sendo transmitida por uma determinada fonte. Esse efeito acontece devido ao movimento relativo entre a fonte e o receptor. Quanto maior a velocidade de deslocamento do receptor em relação à direção de propagação da onda de rádio, maior o desvio de frequência percebido. Pode-se deduzir o valor do desvio Doppler em função da velocidade de movimento através de uma abordagem relativística [19] ou por simples geometria [14]. Ambos os resultados levam à expressão:

$$f_D = v \frac{\cos \theta}{\lambda} \quad (1)$$

onde  $f_D$  é o desvio Doppler,  $v$  é a velocidade do móvel e  $\theta$  é o ângulo entre a direção do movimento e a direção de propagação da onda eletromagnética. Em uma situação real, como o sinal é recebido por várias direções e como as características das estruturas variam conforme a posição do terminal móvel, cada um dos sinais dos multipercursos sofrerá diferentes desvios Doppler e como resultado tem-se não mais um desvio, mas um espectro Doppler. Esse espectro é formado a partir da variação aleatória da frequência percebida em cada multipercurso, conforme a variação das estruturas ao redor do receptor, dando origem ao que é denominado Ruído FM Aleatório (*Random FM Noise*), ruído esse que é o responsável pela existência de um patamar mínimo para a probabilidade de erro de bit em vários sistemas de comunicação móvel digital. Esse patamar não pode ser reduzido mesmo com o aumento da potência de transmissão [19]. A resposta ao impulso de um canal de rádio móvel terrestre pode ser descrita pela expressão (2) e visualizada através da Figura 1.

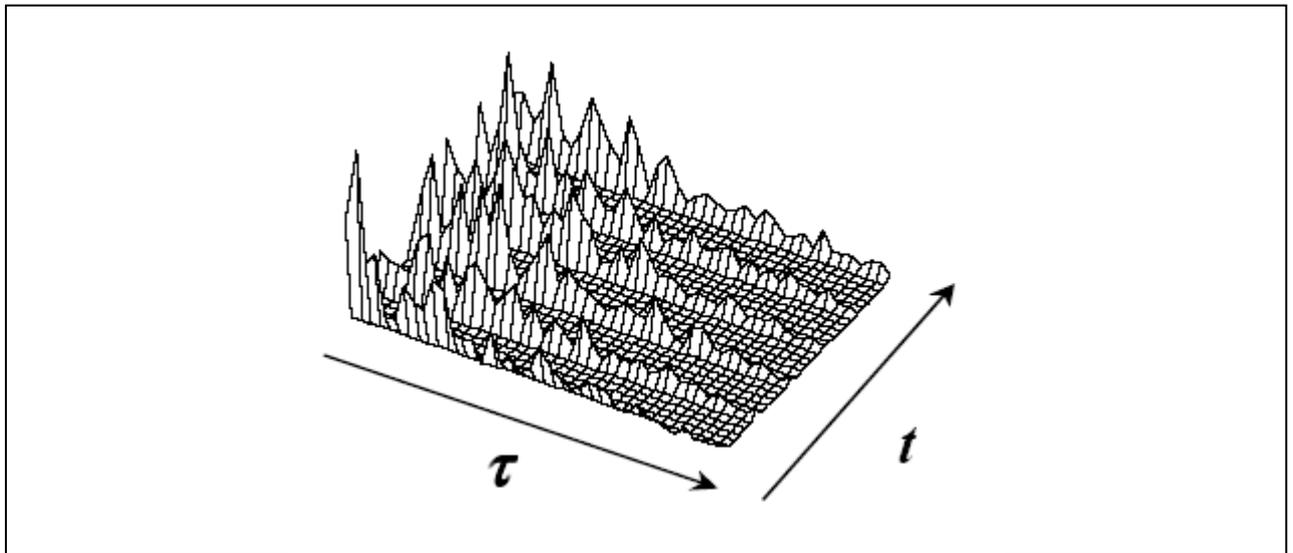


Figura 1. Resposta ao impulso de um canal de rádio móvel para vários instantes de observação.  
 Fonte: Adaptado de Proakis (1995)

$$h(t, \tau) = \sum_{l=1}^L g_l(t, \tau) \delta(t - \tau_l(t)) \quad (2)$$

Em (2)  $L$  é o número de percursos causados pelo canal,  $\tau_l(t)$  é o atraso de propagação do  $l$ -ésimo percurso, no instante  $t$  e  $g_l$  é uma variável aleatória complexa de média nula, cuja envoltória segue uma distribuição de Rayleigh [13]. A função densidade de probabilidade de Rayleigh tem o aspecto ilustrado pela Figura 2 e normalmente caracteriza o desvanecimento percebido em uma comunicação móvel onde não há predominância de visada direta entre a antena transmissora e a receptora. Esse desvanecimento indica que existe uma maior probabilidade da amplitude da envoltória do sinal recebido estar abaixo de um valor médio, de acordo com a interpretação da função densidade de probabilidade de Rayleigh da Figura 2. Na Figura 1 pode-se observar dois efeitos: a variação temporal do canal (ilustrada pelo eixo em  $t$ ) e o espalhamento temporal causado pela propagação por multipercursos (eixo em  $\tau$ ).

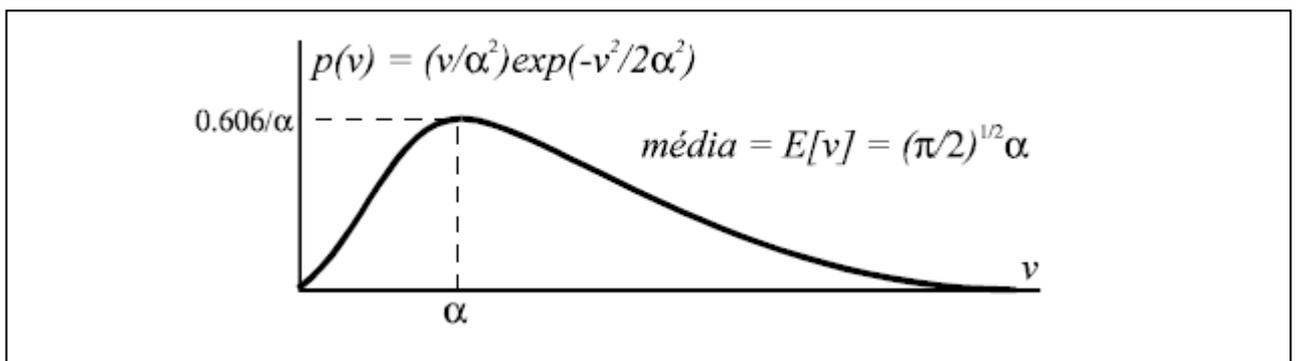


Figura 2. Função densidade de probabilidade de Rayleigh.  
 Fonte: Adaptado de Proakis (1995)

Para se avaliar um sistema de comunicação digital em um canal de rádio móvel terrestre, ou mesmo para que seja projetado um outro sistema, faz-se necessária a utilização de parâmetros que

forneçam o maior número de informações acerca das características e do comportamento do canal. Uma breve síntese desses parâmetros é abordada a seguir [5]. Quando um sinal é transmitido em um canal de rádio móvel terrestre, no receptor tem-se réplicas desse sinal oriundas de vários multipercursos. O resultado é um espalhamento temporal do sinal, espalhamento este que pode ser quantificado (valor médio, *rms* ou máximo) através do Perfil de Intensidade de Potência, mais conhecido como MIP (*Multipath Intensity Profile*) e de onde se obtém o Espalhamento por Atraso entre Multipercursos (*Multipath Delay Spread*) ou simplesmente Espalhamento Temporal. O MIP fornece o comportamento da energia recebida durante um intervalo de tempo correspondente ao máximo espalhamento do sinal recebido causado pelos multipercursos do sinal transmitido. Sempre que existe espalhamento temporal pode haver a alteração de amplitude das várias componentes do espectro do sinal transmitido. Esta alteração poderá ocorrer de maneira uniforme em toda faixa de frequências do sinal, configurando o chamado Desvanecimento Plano, ou poderá afetar somente uma determinada faixa de frequências, configurando o que é conhecido como Desvanecimento Seletivo ou Canal Seletivo em Frequência. A possibilidade de ocorrência de desvanecimento plano ou seletivo pode ser determinada pela Largura de Faixa de Coerência do canal. Este parâmetro fornece uma medida estatística da faixa de frequências em que o canal pode ser considerado plano ou, de forma análoga, é a faixa de frequências dentro da qual as componentes espectrais do sinal recebido possuem grande correlação de amplitude. A Largura de Faixa de Coerência é inversamente proporcional ao Espalhamento Temporal do canal e o seu valor exato depende da definição de um valor para a correlação entre as amplitudes das componentes espectrais, não existindo, portanto, uma fronteira nítida que separe um canal seletivo daquele que possa ser considerado plano. O espalhamento temporal leva à possibilidade de ocorrência de desvanecimento seletivo e, nessa situação, em sistemas digitais, pode ocorrer o que é conhecido como Interferência Intersimbólica. Essa interferência é a sobreposição temporal de símbolos vizinhos recebidos na “saída” do canal no momento de decisão dos bits e leva à necessidade de redução da taxa de transmissão através desse canal ou à implementação de técnicas que minimizem os seus efeitos. Em um canal de rádio móvel pode ocorrer o movimento relativo entre transmissor e receptor e/ou os objetos que circundam o transmissor e o receptor estão em movimento. Em qualquer dos dois casos há variação nos caminhos tomados pelo sinal que trafega do transmissor ao receptor. Essa variação faz com que o sinal recebido apresente uma correspondente variação de fase cuja taxa pode ser vista como uma variação de frequência do sinal recebido em cada multipercurso, formando o já citado Espalhamento Doppler ou Espectro Doppler. Dessa característica pode-se retirar um parâmetro que informe a variabilidade temporal do canal. Tal parâmetro é denominado Tempo de Coerência e é

uma medida estatística do intervalo de tempo durante o qual a resposta ao impulso do canal pode ser considerada como invariante ou, de maneira análoga, é o intervalo de tempo dentro do qual os sinais recebidos possuem grande correlação de amplitude. O Tempo de Coerência é inversamente proporcional ao Espalhamento Doppler e, de maneira análoga à anterior, não fornece uma fronteira nítida entre um canal que varia rapidamente, configurando um Desvanecimento Rápido, e aquele que varia lentamente, configurando um Desvanecimento Lento. Na prática assumisse que um canal pode ser considerado lento se suas características não se alteram entre dois intervalos de sinalização consecutivos do sinal transmitido [13]. É importante citar que os parâmetros do canal podem ser separados em parâmetros de dispersão temporal e parâmetros de variação temporal. São efeitos independentes, ligados a comportamentos distintos do canal. Outra característica importante do canal de rádio móvel terrestre está relacionada à atenuação média do sinal em função da distância entre transmissor e receptor. Uma propagação no espaço livre segue a conhecida lei quadrática de variação da potência recebida com a distância, ou seja:

$$Pr(d) = Prm(d_0) - 10 \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (3)$$

onde  $n = 2$ ,  $Prm(d)$  é a potência média recebida a uma distância  $d$  qualquer da antena transmissora e  $Prm(d_0)$  é a potência média recebida a uma distância de referência  $d_0$ , distância essa igual ou superior à distância de Fraunhofer – ponto fora da região de campo próximo da antena transmissora [14]. No canal de rádio móvel terrestre o expoente de perdas no percurso,  $n$ , é diferente de 2 (entre 2.5 e 6, tipicamente), e seu valor depende das características estruturais da região onde a comunicação se estabelecerá. Rappaport em [14] apresenta um simples método para estimação desse expoente a partir de algumas medidas em campo na área sob análise. Existem vários métodos de predição de perdas no percurso para canais de rádio móvel terrestres, métodos esses comumente utilizados durante o planejamento de sistemas celulares, onde alguns são à base dos *softwares* de planejamento utilizados e encontrados no mercado. Entre tais modelos pode-se citar o Modelo de Durkin, o Modelo de Okumura, o Modelo de Hata e o Modelo de Lee [9], [14].

Devido à grande variabilidade das estruturas tipicamente encontradas em canais de rádio móvel terrestres, a uma mesma distância de um transmissor a potência recebida é variável. Quando grandes obstáculos, como edifícios, morros e similares se situam entre transmissor e receptor de um sistema de comunicação móvel aparece o efeito denominado *sombreamento* (*shadowing*), efeito

esse que pode provocar consideráveis “vales” na potência recebida e interromper instantaneamente a comunicação. Medidas comprovam que a variabilidade do sombreamento segue uma distribuição gaussiana em escala logarítmica, ou seja, segue uma distribuição logonormal. Assim, pode-se reescrever a equação de perdas no percurso de forma a considerar esse novo efeito:

$$\Pr(d) = \Pr_m(d_0) - 10 \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right)^n + X\sigma \quad (4)$$

onde  $\Pr(d)$  é a potência média recebida em um ponto qualquer a uma distância  $d$  da antena transmissora e  $X\sigma$  é uma variável aleatória com distribuição logonormal (em dB). O desvio padrão dessa variável se situa normalmente na casa dos 7 a 15 dB [14]. Vale observar que o valor da potência  $\Pr(d)$  não considera as variações causadas pelos multipercursos.

## **2.2. VIABILIZAÇÃO DA COMUNICAÇÃO NO CANAL DE RÁDIO MÓVEL**

Em qualquer sistema de comunicação é desejada a transmissão da maior quantidade de informação possível no menor intervalo de tempo. Cada tipo de informação (voz, dados, vídeo) necessita, para uma qualidade esperada na recepção, uma determinada largura de faixa e uma potência de transmissão. Por outro lado, se esta informação está sendo transmitida na forma analógica ou digital, os requisitos para o sistema são diferentes. Em uma comunicação móvel analógica, para um determinado tipo de informação qualquer, o aumento na qualidade da transmissão é alcançado às custas de um “proporcional” aumento da potência de transmissão, recurso este normalmente limitado nesses sistemas. Com relação à largura de faixa ocupada, modulações do tipo FM Faixa Estreita e AM-SSB são as que melhor utilizam o espectro disponível [19]. Contudo, é sabido que uma transmissão analógica tem como grandes desvantagens a pequena imunidade a ruídos e o reduzido número de possibilidades de serviços a serem oferecidos, além do pequeno grau de segurança na comunicação. A atratividade da comunicação digital frente à analógica é há muito tempo notável e hoje é certa a substituição da maioria dos sistemas de comunicação analógicos pelos seus equivalentes digitais. Ainda objetivando transmitir a maior quantidade de informação por unidade de tempo, o que se traduz em uma maior taxa de transmissão para os sistemas digitais e/ou uma melhor qualidade do serviço oferecido, várias técnicas foram desenvolvidas. Dentre elas pode-se citar a codificação de fonte, a codificação de canal, o processo

de *interleaving*, técnicas de modulação digital adequadas, a diversidade, a equalização de canal, os processos de controle de potência e de utilização do ciclo de atividade da voz em sistemas celulares e os processos de cancelamento de interferência. Os parágrafos a seguir apresentam, de forma resumida, as principais finalidades de cada uma dessas implementações.

### **2.2.1. Codificação de Fonte**

Segundo define a teoria da comunicação, a quantidade de informação está diretamente ligada à incerteza contida no que se pretende transmitir ou comunicar [6]. Para melhor entender esse raciocínio, imagine uma única frase escrita em uma folha de papel várias vezes. O número de caracteres pode ser elevado, mas seria suficiente ler nessa folha a frase escrita somente uma vez. Na própria frase pode haver palavras que podem ser “descartadas” sem que se perca sua inteligibilidade. Assim acontece com quase todo tipo de informação que se deseja transmitir – há sempre alguma redundância inerente. As técnicas de codificação de fonte tem o objetivo de reduzir, tanto quanto possível, a redundância existente nos dados, antes que estes sejam transmitidos. A codificação de fonte é a base teórica que levou à implementação dos algoritmos de compressão de voz, dados e imagens hoje existentes nos sistemas de comunicação digital e armazenamento. No caso dos sistemas de telefonia móvel digital são utilizadas várias técnicas de codificação de fonte nos denominados *vocoders* (codificadores de voz). Esses codificadores têm o poder de reduzir a taxa de transmissão necessária para representar um sinal de voz dos conhecidos 64 kbps utilizados nos sistemas PCM (*Pulse Code Modulator*) para a casa dos 5 a 15 kbps, sem grande prejuízo para a qualidade na comunicação. Com essa redução pode-se economizar drasticamente o espectro ocupado pelo sinal de rádio frequência que irá transportar essa voz. No caso de transmissão de dados e imagem há também várias técnicas de codificação de fonte (compressão). O ganho que se obtém com essa compressão reflete diretamente na largura de banda ocupada pelo sinal modulado ou na taxa de transmissão atingível em uma dada banda disponível. As técnicas de codificação de fonte têm sido objeto de constante pesquisa e grandes avanços para a área de telecomunicações tem sido alcançados.

### **2.2.2. Codificação de Canal**

Claude E. Shannon, em 1948, publicou o artigo sobre a teoria matemática da comunicação que se tornou clássico e até hoje é referência bibliográfica de qualquer texto que aborde esse assunto [15]. Segundo Shannon haveria um limite na quantidade de informação que poderia trafegar por um canal com ruído. Em se tratando de uma comunicação digital em um canal AWGN, foi demonstrado que a maior taxa de transmissão que pode trafegar nesse canal é dada por:

$$C = B \log_2 (1 + P/N) \quad (5)$$

onde  $C$  é a capacidade do canal em bits por segundo (bps),  $P$  é a potência do sinal enviado através desse canal e  $N$  é a potência de ruído branco na largura de faixa disponível  $B$ . Shannon demonstrou que, adicionando uma redundância controlada à informação, poder-se-ia reduzir a quantidade de erros na recepção induzidos pelo ruído a um patamar tão pequeno quanto se quisesse, desde que a taxa de transmissão estivesse abaixo do limite determinado pela expressão (5). A codificação de canal é justamente o processo através do qual a redundância anteriormente citada é adicionada à informação de modo a permitir a detecção e correção de erros. O termo “redundância controlada” está relacionado à restrição das possíveis seqüências de bits de informação na recepção. Tendo uma seqüência detectada um padrão diferente das possíveis seqüências, o decodificador de canal “procura” dentre elas a seqüência que mais se assemelha à seqüência detectada. Essa semelhança é obtida através da correta utilização de critérios de decisão, sendo que os mais conhecidos são o critério do máximo a-posteriori – MAP (*Maximum a-posteriori*) e o de máxima verossimilhança - ML (*Maximum Likelihood*) [8]. Ambos têm como objetivo minimizar o erro de decisão sobre os bits transmitidos. Existem duas grandes famílias de códigos detectores e corretores de erros: os códigos de bloco e os convolucionais. A codificação de bloco atribui a cada bloco de  $n$  bits de informação uma palavra código com  $k$  bits codificados,  $k > n$ . Um código assim formado é descrito na literatura como código de bloco  $(n, k)$ , sendo que a relação entre o número de bits de um bloco de informação e o número de bits da palavra código correspondente,  $n/k$ , é denominada taxa do código. De maneira geral, quanto menor a taxa de um código, maior a sua capacidade de detecção e correção de erros. A outra família de códigos se refere aos convolucionais. Nesse tipo de codificação uma seqüência contínua de bits de informação, com tamanho variável, é mapeada em uma seqüência também contínua de bits codificados. Um codificador convolucional é dito com memória, pois um determinado bit codificado depende de um ou mais bits de informação anteriores combinados linearmente. Existem vários algoritmos de decodificação para códigos de bloco e

convolucionais. Destaque maior é dado àqueles caracterizados como algoritmos de decodificação suave (*soft decision decoding algorithms*). Nesse tipo de decodificação não são utilizados os bits “0s” e “1s” detectados no receptor, como acontece nos algoritmos de decodificação abrupta (*hard decision decoding algorithms*), e sim os valores reais dos sinais recebidos. Esse processo apresenta consideráveis ganhos em relação ao processo de decodificação abrupta.

Para os códigos convolucionais, o algoritmo de decodificação suave que minimiza a probabilidade de erro na decisão sobre os bits de informação transmitidos e que, portanto, utiliza o critério de máxima verossimilhança já citado, é o algoritmo de Viterbi [8], [18]. Para os códigos de bloco os processos de decodificação suave podem utilizar o algoritmo de Viterbi, mas atenção maior vem sendo dada a algoritmos de decodificação por treliça menos complexos que o algoritmo de Viterbi [7]. Em vários sistemas de comunicação móvel são utilizadas codificações em cascata. Essa cascata pode conter somente codificadores de bloco, codificadores de bloco e convolucionais ou somente codificadores convolucionais – são os denominados códigos concatenados. É importante nesse momento ressaltar a diferença entre os processos de codificação de fonte e de codificação de canal. O primeiro tem como objetivo reduzir a quantidade de bits necessários à representação da informação, ou seja, diminuir a redundância existente na informação. O segundo adiciona, de maneira controlada, outro tipo de redundância na informação, objetivando a detecção e a correção de erros causados pelo canal. Esses dois processos normalmente estão presentes nos sistemas de comunicação digital.

### **2.2.3. Entrelaçamento Temporal - Interleaving**

Um dos fatores que reduzem o desempenho dos decodificadores e, por conseqüência, a qualidade do serviço oferecido pelo sistema de comunicação está ligado ao canal de comunicação. Um canal de comunicação é dito sem memória quando afeta de maneira independente bits adjacentes. Ao contrário, quando vários bits consecutivos são afetados, diz-se que se trata de um canal com memória. Um canal de rádio móvel terrestre é essencialmente um canal com memória. Nos momentos de profundos desvanecimentos, uma grande quantidade de bits pode ser “destruída”. Os decodificadores, de maneira geral, não têm capacidade de corrigir essas longas seqüências de erros em rajada (ou erros em *burst*). O que é feito para minimizar esse problema é o chamado *interleaving*. Esse processo “embaralha” os bits codificados de tal forma que bits anteriormente

adjacentes sejam colocados distantes no tempo. Isso faz com que, na ocorrência de erros em *burst*, não sejam afetados bits adjacentes, facilitando o processo de detecção e correção de erros. Um simples processo de *interleaving* é aquele no qual a seqüência de bits codificados preenche linha a linha uma memória de tamanho definido e os bits entrelaçados são lidos coluna a coluna dessa memória. Na recepção o processo inverso é executado. Vale citar que o processo de *interleaving* causa um atraso adicional na comunicação, atraso este que pode ou não ser prejudicial, dependendo da natureza da informação que se deseja transmitir. Uma comunicação em tempo real oferece limites menores para o atraso no processo de *interleaving*, enquanto uma comunicação de dados onde há armazenamentos momentâneos é menos restrita em termos desse atraso.

#### **2.2.4. Diversidade**

A diversidade é uma técnica na qual réplicas de um sinal são combinadas na recepção no intuito de se obter maior confiabilidade na detecção desse sinal. Em um canal de rádio móvel terrestre, devido aos efeitos dos multipercursos, em um determinado instante pode-se ter um sinal recebido com intensidade insuficiente para a recuperação do sinal transmitido. Porém, é sabido que quando dois sinais iguais são transmitidos através desse canal em instantes de tempo distintos e transportados por portadoras distintas, na recepção ter-se-á a situação: quanto maior a separação temporal entre as réplicas do sinal e quanto maior a separação entre as portadoras utilizadas, menor será a correlação entre as envoltórias dos sinais recebidos. Essa observação é de fundamental importância para o entendimento da diversidade, ou seja, se de alguma forma é possível disponibilizar ao receptor réplicas da informação transmitida, sendo essas réplicas afetadas diferentemente (de maneira descorrelacionada) pelo canal, em determinado instante uma réplica poderá estar em situação de desvanecimento profundo, mas será grande a probabilidade de que outras réplicas não estejam nessa situação. Assim, elas podem ser combinadas para fornecer ao processo de detecção um sinal mais “estável” que aquele obtido se não houvesse réplicas não correlacionadas, ou seja, se não houvesse diversidade. São várias as formas de diversidade. Dentre elas pode-se citar a diversidade espacial, a diversidade temporal, a diversidade em frequência, etc. Na diversidade espacial, antenas receptoras são fisicamente separadas de tal forma que os sinais recebidos por cada uma delas estejam descorrelacionados. Os sinais provenientes dessas antenas são então combinados pelo receptor. Na diversidade temporal, réplicas da informação são enviadas em instantes de tempo distintos, sendo que o intervalo de separação entre essas réplicas deve ser

superior ao tempo de coerência do canal para que haja sinais descorrelacionados na recepção. A diversidade em frequência utiliza o mesmo princípio, ou seja, réplicas da informação são transportadas por portadoras distintas, portadoras estas separadas em frequência de um valor superior à largura de faixa de coerência do canal, também para que haja descorrelação entre as réplicas obtidas na recepção.

Outros tipos de diversidade são encontrados na prática, mas sempre com propósitos similares àqueles aqui apresentados. Com relação às regras de combinação utilizadas no processo de diversidade, a literatura cita várias. Algumas apresentam desempenho superior, mas são mais complexas; outras são extremamente simples, mas não apresentam desempenho ótimo. Apenas em caráter informativo pode-se citar a regra de combinação com ganhos iguais, EGC (*Equal Gain Combining*), a regra de combinação de máxima razão, MRC (*Maximum Ratio Combining*) e a regra de Seleção [3, p. 335]. A regra EGC simplesmente soma os sinais a serem combinados, eventualmente ponderando-os com ganhos iguais. A regra MRC, antes de somar os sinais a serem combinados pondera suas amplitudes por um valor proporcional à relação entre o nível de tensão do sinal recebido e a potência de ruído associada. Essa regra de combinação é considerada ótima para canais com desvanecimento Rayleigh [13], [19], pois maximiza a relação sinal ruído instantânea na saída do combinador e, portanto, minimiza a probabilidade de erro na decisão posterior. A regra de seleção, como o nome indica, seleciona dentre os sinais a serem combinados aquele com maior intensidade (e em aplicações mais avançadas aquele que produza a menor probabilidade de erro na decisão). A utilização de diversidade em sistemas de comunicação móvel é vital para que se alcance desempenhos aceitáveis. Pesquisas recentes têm focado a implementação de diversidade em frequência com o uso de multiportadoras. Algumas dessas implementações têm demonstrado a possibilidade de superar o desempenho alcançado com os convencionais receptores RAKE. Basicamente, ao invés de transmitir o sinal modulado fazendo uso de uma única portadora, várias portadoras transportam paralelamente um determinado número de bits, sendo que a taxa de transmissão em cada portadora é reduzida e a taxa total tem a possibilidade de superar aquela atingível com uma única portadora. Uma possível estrutura que combina o uso de multiportadoras e codificação de canal pode ser vista em [5], onde também são citadas várias outras implementações correlatas.

### **2.2.5. Técnicas de Modulação Digital**

Um sistema de comunicação móvel apresenta algumas exigências no que diz respeito aos esquemas de modulação. Dentre essas exigências pode-se citar: reduzida complexidade de implementação, robustez contra desvanecimentos por multipercursos, envoltória filtrada constante e eficiência espectral adequada. Os terminais móveis devem possuir dimensões reduzidas e baixo custo e, para que isso seja possível, a complexidade dos circuitos utilizados também deve ser reduzida. Nesse aspecto, atenção especial é dada a técnicas de modulação baseadas em FSK (*Frequency Shift Keying*) e PSK (*Phase Shift Keying*). É sabido que existe um compromisso a ser atendido entre a eficiência espectral de um tipo de modulação e a sua eficiência de potência. Por um lado, aumentando-se o número de pontos em uma constelação PSK aumenta-se a eficiência espectral, mas é necessário um aumento na energia de cada símbolo para que o desempenho, em termos da probabilidade de erro de bit, seja equiparável ao anterior. Em um canal de rádio móvel terrestre, devido aos grandes desvanecimentos por multipercursos e à ocorrência de sombreamento, modulações do tipo  $M$ -QAM ou  $M$ -PSK com  $M$  acima de 4 são inviáveis devido à sua pequena eficiência de potência, ou seja, para se atingir uma probabilidade de erro de bit aceitável em um sistema de comunicação móvel que utiliza essas modulações seria necessária uma grande potência de transmissão. Um valor elevado para essa potência faz com que as baterias dos terminais portáteis tenham vida reduzida e tamanho elevado, além de tornar complexos os estágios de amplificação dos transmissores, elevando os custos de aquisição e operação do sistema. Nesse aspecto são preferidas modulações com no máximo quatro pontos em sua constelação. Em um canal de rádio móvel via satélite, canal este que pode ser considerado essencialmente gaussiano (AWGN), modulações com maior eficiência espectral podem ser implementadas. Ainda objetivando reduzir o consumo de energia dos transceptores, é desejável a utilização de amplificadores de potência não lineares (Classe C, por exemplo), amplificadores estes que apresentam elevado rendimento. Contudo, quando sinais de amplitudes variáveis são injetados nesses amplificadores, sua não linearidade faz com que o espectro de saída apresente componentes de frequência fora da faixa de interesse. Em um transmissor, antes do sinal modulado ser amplificado, é executada a filtragem, objetivando limitar o espectro do sinal transmitido. Ao passar por um amplificador não linear, esse sinal pode voltar a apresentar um espectro com largura superior à desejada. Esse efeito acontece quando o sinal a ser amplificado não possui envoltória constante, com é o caso de sinais modulados em fase quando passam pelo filtro de transmissão (antes da etapa de amplificação de potência). Então, nesse aspecto, é desejável que as técnicas de modulação sejam baseadas em FSK ou em alguma modulação PSK que não apresente grandes transições de fase. Devido à escassez do espectro de rádio frequências, uma característica fundamental de qualquer esquema de modulação para

comunicações móveis é a eficiência espectral adequada. Todas as técnicas utilizadas em comunicações móveis procuram ao máximo reduzir a largura de faixa ocupada pelo sinal modulado.

### **2.2.6. Equalização**

Um canal dispersivo a sobreposição temporal de símbolos adjacentes recebidos caracteriza a interferência intersimbólica. Tanto mais prejudicial será essa interferência, quanto mais seletivo em frequência for o canal, ou seja, quanto maior a probabilidade de ocorrência de desvanecimento seletivo. Se o canal não apresenta resposta em frequência plana em toda a faixa de frequências ocupada pelo sinal transmitido, é inevitável a utilização dos equalizadores. Estes têm a função de compensar as distorções em frequência causadas pelo canal ou, de maneira mais rigorosa, apresentam uma resposta em frequência inversa à resposta do canal. Os equalizadores podem ser classificados em duas famílias: a dos equalizadores fixos e a dos equalizadores adaptativos. Na primeira família, como o próprio nome indica, a resposta em frequência dos equalizadores é fixa. Tais equalizadores são aplicáveis em sistemas de comunicação fixos em canais aproximadamente invariantes no tempo, como pares metálicos e fibras ópticas. Em um canal de rádio móvel, devido à sua variabilidade temporal, é necessária a utilização dos equalizadores adaptativos. Estes possuem sua resposta em frequência variável em função da resposta em frequência do canal. Essa resposta do canal é constantemente estimada pelos equalizadores adaptativos através da utilização de processamento digital de sinais, DSP (*Digital Signal Processing*).

É importante citar que a formatação dos pulsos transmitidos através do canal também é de fundamental importância na redução da interferência intersimbólica. Os filtros de transmissão e recepção devem, sempre que possível, atender ao critério de Nyquist para interferência intersimbólica nula, critério este que estabelece as condições, em termos de resposta ao impulso do conjunto filtro de transmissão, filtro de recepção e canal, que garantem a inexistência de interferência intersimbólica. Um dos formatos de pulso mais utilizados são os denominados pulsos coseno levantado (*raised cosine pulses*), esse filtro é responsável pela formação desses pulsos e é chamado também de filtro de *roll-off* (*roll-off filter*) [6].

### **2.2.7. Cancelamento de Interferências**

Um dos grandes problemas em sistemas de comunicação móvel é o elevado grau de auto-interferência, ou seja, aquela interferência gerada pelo próprio sistema. Basicamente pode-se caracterizar as interferências em um sistema de comunicação móvel como Interferência Co-canal e Interferência de Canal Adjacente.

A interferência no sinal desejado causada por sinais adjacentes em frequência é denominada interferência de canal adjacente. Esse tipo de interferência ocorre, principalmente, devido a produtos de intermodulação gerados nos amplificadores dos transmissores e não eliminados pelos filtros de canal dos receptores. Esse tipo de interferência pode ser minimizado através de elaborados filtros de recepção e de uma adequada alocação de frequências para cada usuário. Uma alocação adequada implica na utilização de faixas de frequência não contíguas em uma mesma região geográfica. Alguns sistemas de comunicação móvel reutilizam um determinado conjunto de frequências em áreas diferentes. A interferência em um sinal desejado causada por um sinal de mesma frequência é denominada interferência co-canal. A redução da interferência co-canal se dá pela adequada separação física entre as fontes dos sinais interferentes. Em um sistema de comunicação móvel celular, por exemplo, se o tamanho de cada célula é aproximadamente o mesmo, a interferência co-canal é independente da potência de transmissão e torna-se função do raio da célula ( $R$ ) e da distância ao centro da célula que utiliza o mesmo *set* de frequências ( $D$ ), células estas denominadas de co-células.

Aumentando a relação  $D/R$ , a separação entre as co-células relativa à área de cobertura das mesmas torna-se maior. Uma outra forma de redução do nível de interferências em um sistema de comunicação móvel é baseada no controle de potência. A idéia é utilizar nos transceptores, dinamicamente, a menor potência necessária a uma qualidade aceitável do serviço. Além de elevar a vida útil de eventuais baterias utilizadas nos terminais móveis, a quantidade de interferência é drasticamente reduzida. Hoje, com o aumento considerável da velocidade de processamentos dos DSPs, sofisticadas técnicas de redução de interferências em um sistema de comunicação móvel têm sido consideradas. São basicamente duas as técnicas que utilizam processamento digital de sinais: as antenas adaptativas e o cancelamento direto do sinal interferente. No primeiro caso um arranjo (*array*) de antenas colocado nas estações de rádio base tem as amplitudes e fases das correntes em cada elemento constantemente monitoradas/controladas de forma a maximizar a potência recebida/transmitida de/para um determinado usuário, conformando de maneira adaptativa o padrão

de irradiação do arranjo de antenas. Elaborados algoritmos são implementados com a função de maximizar a relação sinal-interferência em um sinal recebido de um determinado usuário, independente da sua posição espacial em relação ao arranjo de antenas. Em recentes pesquisas, técnicas de codificação de canal têm sido utilizadas com algoritmos de processamento digital de sinais objetivando, por exemplo, estimar os sinais (ou alguns sinais) interferentes no receptor de forma a subtraí-los do sinal recebido e assim minimizar a probabilidade de erro de decisão sobre o sinal desejado.

### **3. TÉCNICAS DE ACESSO**

As técnicas de acesso são utilizadas para permitir o compartilhamento de uma determinada faixa de rádio frequência entre vários terminais móveis. O compartilhamento se faz necessário, pois objetiva-se maximizar o número de usuários simultâneos nessa faixa de frequências [10], [14].

Em se tratando de uma comunicação bidirecional, o canal pode ser dividido temporalmente ou na frequência. No primeiro caso tem-se a duplexação por divisão de tempo (TDD – *Time Division Duplexing*). Quando o canal é dividido em frequência, tem-se a duplexação por divisão em frequência (FDD – *Frequency Division Duplexing*). Em ambos os casos uma parcela do canal é destinada à transmissão e outra à recepção, independente do canal estar dividido temporalmente ou na frequência. A técnica de duplexação TDD elimina a necessidade de utilização de faixa de frequências distintas para transmissão e recepção, mas possui um atraso inerente – a comunicação não é *full duplex* no sentido real.

Os sistemas de comunicação móvel podem ser divididos em sistemas de faixa estreita e sistemas de faixa larga. A distinção entre eles é feita baseada na comparação entre a largura de faixa de cada canal de usuário e a largura de faixa de coerência esperada para o canal de comunicação.

### **4. -SISTEMA AMPS**

A primeira Geração de Sistemas Celulares, formada por sistemas analógicos, estabeleceu a estrutura e funcionalidades básicas associadas a estes sistemas como *roaming* e *handover* entre células.

O AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) desenvolvido pelo *Bell Labs* nos Estados Unidos (1979) entrou em operação naquele país em 1983 tornando-se o sistema analógico dominante a nível mundial. Foi padronizado pela EIA-553 e serviu de base para os demais sistemas analógicos.

O crescimento da utilização de sistemas celulares levou a necessidade do aumento da capacidade destes sistemas tendo sido este o grande motivador nos Estados Unidos para o desenvolvimento dos sistemas digitais de segunda geração. A solução TDMA surgiu como uma opção que mantinha compatibilidade com a arquitetura e canalização utilizada pelos sistemas AMPS tendo sido inicialmente chamada de DAMPS ou Digital AMPS. O TDMA (IS-136) foi padronizado pela TIA (*Telecommunications Industry Association*).

O AMPS e o TDMA (IS-136) apresentam, portanto, a mesma arquitetura básica apresentada na Figura 3 a seguir.

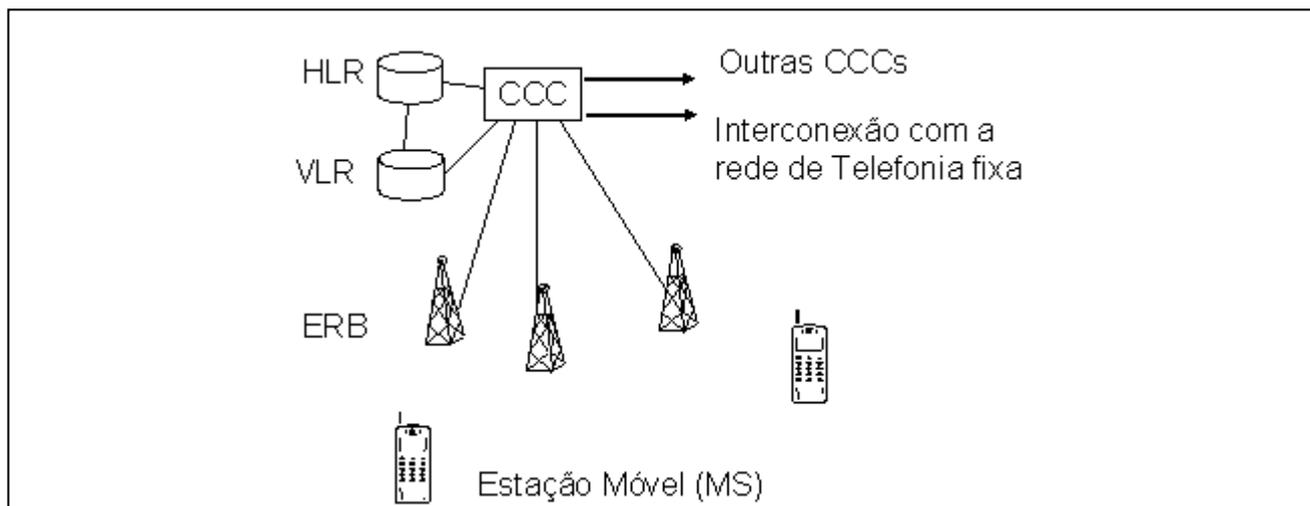


Figura 3. Arquitetura básica sistema AMPS.

Fonte: [http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtdma/pagina\\_1.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtdma/pagina_1.asp)

## 4.1 FUNCIONAMENTO

### **4.1.1 Mobile Station (MS)**

Estação Móvel é o terminal utilizado pelo assinante. A estação móvel é identificada por um MIN (*Mobile Identification Number*). O equipamento dispõe ainda de um número de série eletrônico (ESN).

### **4.1.2 Estação Rádio Base (ERB)**

A ERB (Estação Rádio Base) é o equipamento encarregado da comunicação com as estações móveis em uma determinada área que constitui uma célula.

### **4.1.3 Central de Comutação e Controle (CCC)**

A CCC é a central responsável pelas funções de comutação e sinalização para as estações móveis localizadas em uma área geográfica designada como a área da CCC.

### **4.1.4 Home Location Register (HLR)**

Ou Registro de Assinantes Locais é a base de dados que contém informações sobre os assinantes de um sistema celular.

### **4.1.5 Visitor Location Register (VLR)**

Ou Registro de Assinantes Visitantes é a base de dados que contém informações sobre os assinantes em visita (*roaming*) a um sistema celular.

### 4.1.6 Freqüências de Operação (MHz)

O AMPS foi padronizado para a freqüência de 800 MHz alocada nos Estados Unidos para sistemas celulares. O TDMA (IS-136) foi padronizado para a faixa de 800 MHz e 1900 MHz alocada posteriormente para sistemas celulares nos Estados Unidos.

Tabela 2 – Freqüências de operação

(Freqüências em MHz)	Banda A	Banda B	PCS 1900
Estação Móvel -> ERB	824-835 845-846,5	835-845 846,5-849	1850-1910
ERB -> Estação Móvel	869-880 890-891,5	880-890 891,5-894	1930-1990
Espaçamento entre Freqüências (Transmissão e Recepção)	45	45	80

## 4.2 CANALIZAÇÃO

O AMPS é um sistema que utiliza o múltiplo acesso por divisão de freqüência (FDMA).

A Banda do AMPS é dividida em canais de RF (rádio freqüência), onde cada canal consiste de um par de freqüências (Transmissão e Recepção) com 30 kHz de banda cada. Cada Banda (A ou B) ocupa 12,5 MHz e é composta por 416 canais, sendo 21 canais de controle e os demais de voz. Os canais no AMPS utilizam modulação FM.

No AMPS, um canal de voz é alocado e permanece dedicado a uma chamada durante toda a sua duração. O TDMA (IS-136) mantém toda a estrutura de canalização do AMPS, mas permite que

um canal seja compartilhado no tempo por vários usuários através de múltiplo acesso por divisão no tempo (TDMA).

A estrutura de transmissão de dados é implementada através de um *frame* de 40 ms com 6 intervalos (*Slots*) de tempo com 6,66 ms cada. Cada chamada telefônica utiliza dois intervalos de tempo sendo, portanto, possíveis até 3 conversações utilizando a mesma banda de 30 kHz de um canal de voz do AMPS. Cada conversação tem uma taxa bruta de 16,2 kbit/s e a modulação utilizada no canal é do tipo  $\pi/4$ -DPSK. O canal de controle no TDMA (IS-136) é digital e permite a implantação de serviços de mensagens curtas (SMS). Uma versão anterior do TDMA, o IS-54, apresentava canal de controle analógico. No TDMA (IS-136) existem dois tipos de codificadores de voz. O *Enhanced Full Rate* (EFR), especificado no IS-641, e o VSELP. A taxa bruta é de 13 kbit/s.

### 4.3 CAPACIDADE

Os sistemas AMPS e TDMA (IS-136) utilizam geralmente um plano de frequência com reuso de 7 por 21, ou seja, cada célula é dividida em três setores formando 21 grupos de frequências (canais de voz do AMPS) reutilizados em cada grupo de 7 células.

No AMPS cada uma destas frequências (ou par) é utilizada por uma chamada enquanto que no TDMA (IS-136) são possíveis até três chamadas simultâneas utilizando esta mesma frequência.

A possibilidade de *roaming*, ou seja, o assinante de um sistema celular continuar falando do seu terminal móvel em outro sistema, como visitante, foi implementada para sistemas AMPS e TDMA através do protocolo IS-41.

O IS-41, utilizado também por sistemas CDMA (IS-95), pode ser implementado tendo como base para transferência de dados o protocolo X.25 ou o SS7 (ANSI). No Brasil, a rede nacional de *roaming*, que possibilita o *roaming* automático entre celulares das Bandas A e B é baseada no protocolo IS-41.

Quando os sistemas digitais de segunda geração (CDMA e TDMA) foram implantados, o AMPS passou ser utilizado como uma alternativa para complementar a cobertura destes sistemas, devido a sua extensa cobertura. Isto é possível, pois os terminais móveis são duais TDMA/AMPS e

CDMA/AMPS, podendo passar a operar automaticamente em AMPS quando o sistema digital não está disponível.

No Brasil todas as operadoras de Banda A mantêm canais AMPS em toda a sua área de cobertura, de modo a garantir o *roaming* nacional para todos os assinantes. Assim, um assinante da Telefonica Celular (Vivo), que utiliza o CDMA, ao viajar para o Rio Grande do Sul utilizará o serviço no modo AMPS, pois as operadoras de Banda A e B naquele estado têm sistemas TDMA. Da mesma forma, um assinante de uma operadora de TDMA ao se dirigir a uma pequena cidade do interior de São Paulo, coberta apenas pela antiga Telesp Celular (padrão CDMA), terá que operar em modo AMPS.

O *roaming* do TDMA ou do AMPS com sistemas GSM exigiria terminais duais, ou com três modos, e não está implementado no Brasil.

A transmissão digital do TDMA e outros sistemas de segunda geração, como o GSM e o CDMA (IS-95), permite uma considerável economia de energia em relação ao AMPS, pois não precisam estar transmitindo de forma contínua. Esta característica, aliada à evolução da tecnologia de baterias dos terminais móveis, possibilitou um grande incremento no tempo de operação dos terminais sem necessidade de recarga.

Os sistemas AMPS oferecem um número limitado de serviços além de voz. O TDMA (IS-136) permitiu oferecer dezenas de serviços suplementares, tais como identificação do número chamador, chamada em espera, siga-me e conferência.

As operadoras que adotavam o AMPS migraram para o TDMA (IS-136) ou CDMA (IS-95) ao redor dos anos de 1997 e 1998.

As operadoras que adotam o TDMA (IS-136) não têm a sua disposição uma transição suave para a terceira geração (3G) de sistemas celulares que possibilita o oferecimento de serviços de dados com altas taxas de bits. Deverão, portanto, escolher um dos dois caminhos disponíveis: GSM/GPRS ou CDMA 2000.

O AMPS foi o padrão dominante para os sistemas celulares no Brasil sendo hoje utilizado basicamente para *roaming*. Em dezembro de 2002 existiam ainda em operação no Brasil 800 mil terminais celulares AMPS.

O TDMA (IS-136) era em dezembro de 2002 o padrão dominante no Brasil com 20,9 milhões de terminais e 60% dos assinantes.

A migração das operadoras para sistemas 3G da família GSM ou CDMA implicou numa diminuição gradual do número de terminais celulares TDMA no Brasil.

## 5. SISTEMA TDMA

O problema central do sistema de comunicação celular é a escassez do espectro. Por isso o sistema celular necessita usar o espectro de rádio limitado da maneira mais eficiente possível. Empresas solucionaram este desafio de duas maneiras. A primeira envolve a gradual mudança do formato do sinal de analógico para digital, pois permite um sistema celular empregar menos estações rádio-base. O segundo método emprega a modulação de fase digital para permitir um grupo de usuários utilizar o mesmo canal de frequência de rádio simultaneamente. Nos anos 80, a indústria da comunicação sem fio começou explorar a conversão da rede analógica existente para digital com o intuito de aumentar a capacidade. Em 1989, a *Cellular Telecommunications Industry Association* (CTIA) escolheu o TDMA ao invés do FDMA da Motorola, para ser o padrão banda estreita como a tecnologia alternativa dos mercados de celular de 800 MHz existentes e para os emergentes mercados de 1,9 GHz. Com o crescimento da competição tecnológica aplicada pela *Qualcomm* em favor do CDMA e as realidades do padrão GSM Europeu (variante do TDMA), o CTIA decidiu permitir as empresas a fazerem suas próprias escolhas de tecnologia.

Os dois maiores sistemas concorrentes que dividem a rádio-frequência são TDMA e o Acesso por Múltipla Divisão do Código (CDMA – *Code Division Multiple Access*). CDMA é uma tecnologia de espectro amplo que permite que os pacotes de dados sejam transmitidos em canais que se alternam no tempo. Cada pacote digital de códigos CDMA é enviado com uma única chave. Um receptor CDMA responde somente àquela chave e pode demodular o sinal associado.

O sistema TDMA é designado para uso em uma variedade de circunstâncias e situações, que vão desde o uso em um escritório no centro da cidade até um usuário viajando em alta velocidade em uma rodovia. O sistema também suporta uma variedade de serviços para fins do usuário, tais como voz, dados, fax, serviços de pequenas mensagens, difusão de mensagens e WAP - *Wireless Application Protocol* (internet para celular). O TDMA oferece uma flexível interface aérea,

provendo alta performance acerca da capacidade e cobertura, ilimitado suporte de mobilidade e capacidade para tratar dos diferentes tipos de necessidades do usuário. O Acesso TDMA é uma tecnologia de transmissão digital que permite um número de usuários acessar um único canal de frequência de rádio sem interferência, locando um *slot* de tempo para cada usuário dentro de cada canal. O esquema de transmissão digital TDMA multiplexa três sinais sobre um único canal. O TDMA padrão para celular divide um único canal em seis *slots* de tempo, com cada sinal usando dois *slots*, promovendo um ganho em capacidade de 3 para 1 sobre o AMPS.

## 5.1 FDMA

O FDMA - Acesso por Múltipla Divisão de Frequência [17] - (utilizado pelo Padrão AMPS) loca um único canal para um usuário por vez. Se o caminho da transmissão deteriora, o controlador CCC passa a ligação para outro canal. Embora tecnicamente simples de implementar, o FDMA desperdiça muita largura de banda: o canal é disponibilizado para uma única conversação. Além disso, ele não pode tratar de formas diversificadas de dados, somente transmissões de voz. A Figura 4 ilustra um gráfico onde cada bloco representa um canal sendo usado por um único usuário.

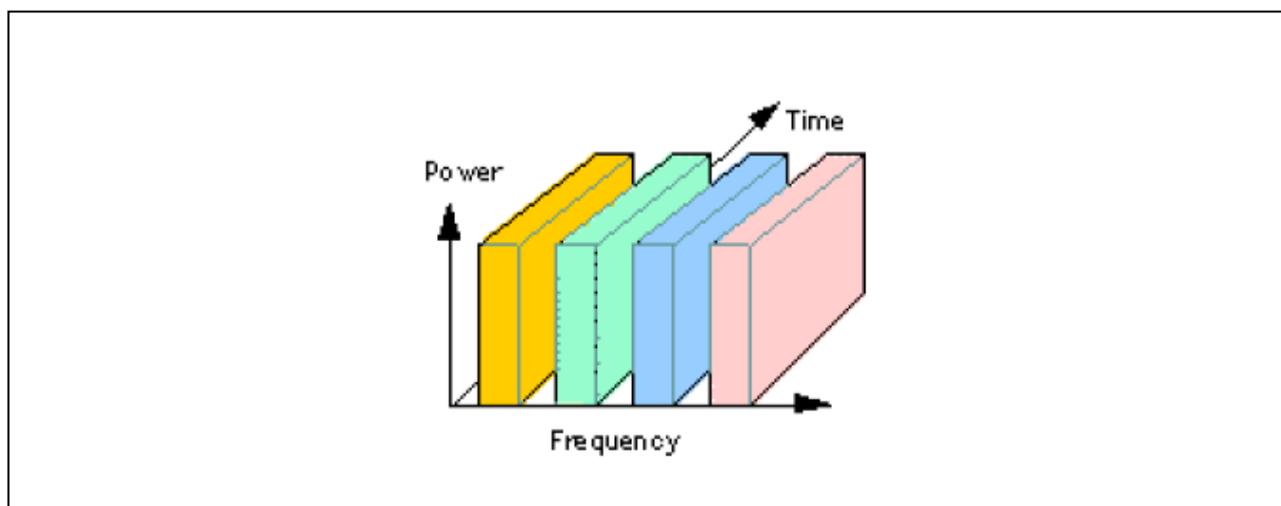


Figura 4. Multiplexação em frequência.

Fonte: <http://proenca.uel.br/curso-redes-graduacao/1998/trab-05/equipe-02/tdma2.htm>

## 5.2 MULTIPLEXAÇÃO NO TEMPO

Como foi dito anteriormente o TDMA divide cada canal em 6 *slots* de tempo os quais, atualmente, são divididos entre 3 usuários aumentando assim a capacidade do Sistema. A Figura 5 mostra o gráfico onde 3 usuários compartilham o mesmo canal. O período de tempo em que os usuários utilizam o canal é chamado de *frame*.

Um *frame* na IS-136 tem duração de 40 ms e tem capacidade de transmitir 1944 bits, resultando numa taxa de 48,6 kbps/s. O *frame* é subdividido em 6 partes, as quais chamamos de *time slots*. Uma conversação na realidade é composta por um conjunto de *time slots*.

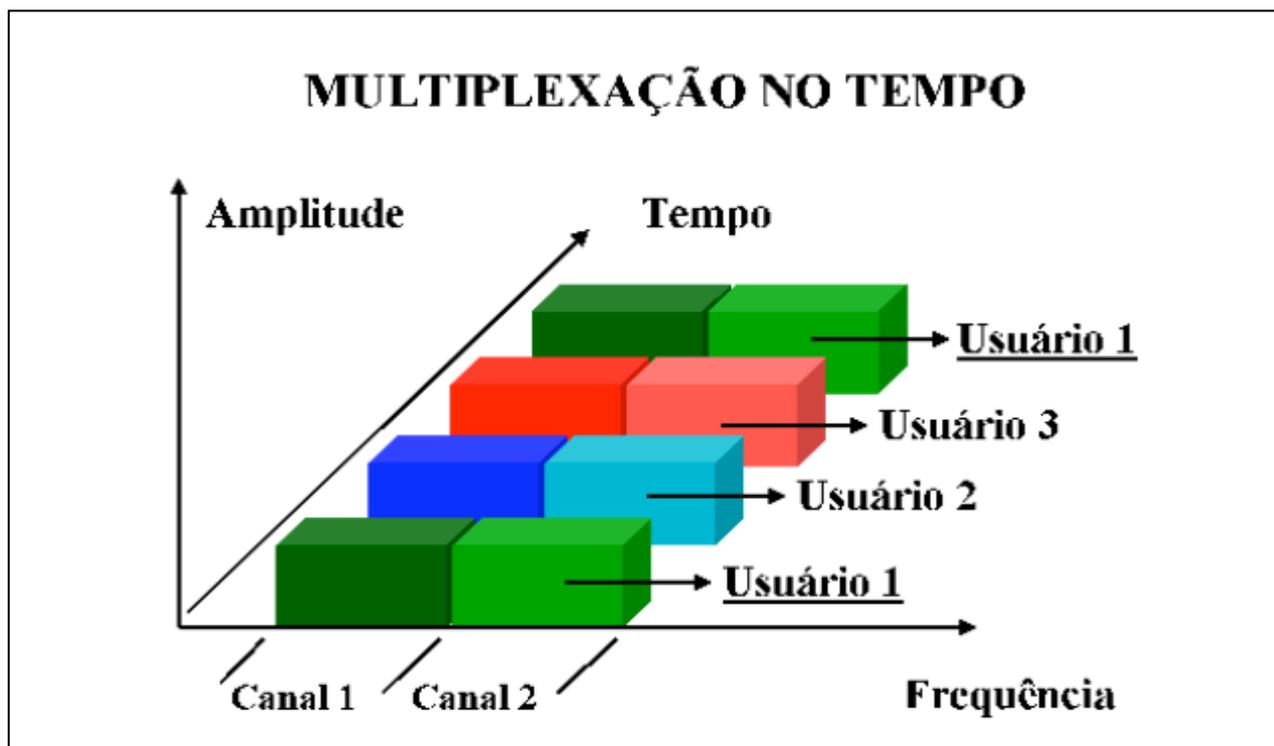


Figura 5. Multiplexação no tempo.

Fonte: <http://www.testecell.hpg.ig.com.br/tdma2.htm>

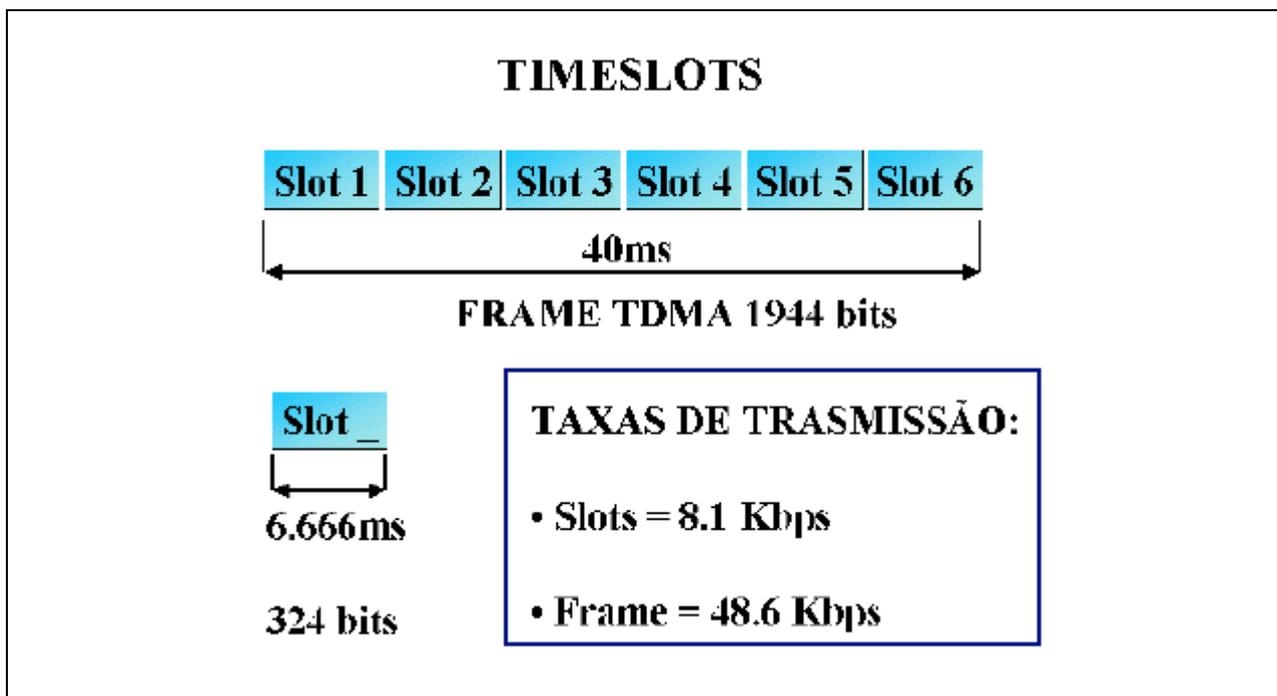


Figura 6. Frame TDMA.

Fonte: <http://www.testecell.hpg.ig.com.br/tdma2.htm>

### 5.3 EVOLUÇÃO

O TDMA foi implantado originalmente em 1988 com o padrão IS - 54 pela TIA/CTIA. O IS - 54 surgiu como uma evolução do sistema AMPS, que vigorava até então. As principais características desta primeira versão do TDMA são a digitalização e codificação da voz para transmissão multiplexada no tempo e os canais de controle semelhantes aos do AMPS com apenas algumas alterações de mensagens. O IS - 54 foi substituído posteriormente pelo IS - 136. Este padrão tornou o TDMA totalmente digital com a adição do Canal de Controle Digital - DCCH. O codificador de voz utilizado na IS - 54 também foi substituído por outro que apresentou maior qualidade de voz. O IS - 136 trouxe novos serviços como os de SMS (envio de mensagens curtas), identificador de chamada e outros. O IS - 136A foi criado para estabelecer serviço celular na faixa de 1.900 MHz e introduziu novos serviços programados. E finalmente, a implantação do IS-136B incluiu mais serviços como *broadcast* SMS, dados de pacotes, etc.

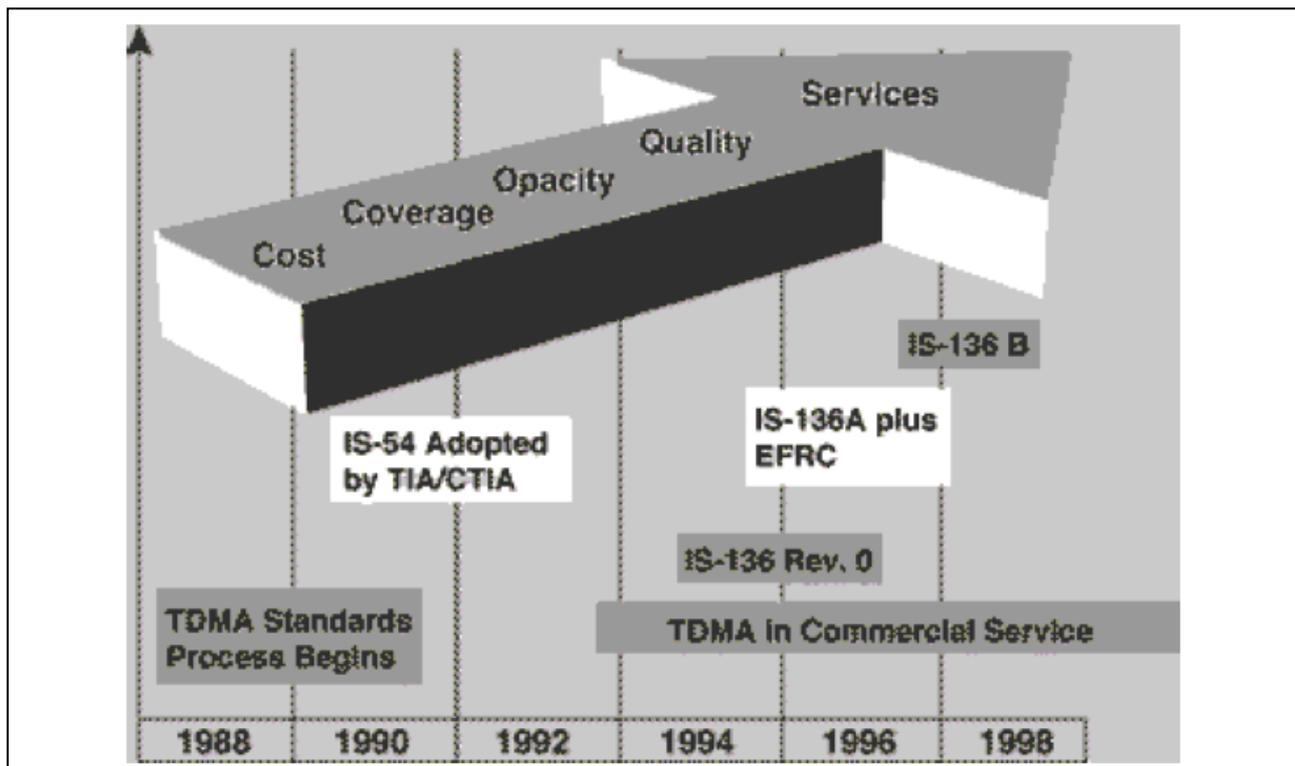


Figura 7. Evolução do TDMA

Fonte: <http://proenca.uel.br/curso-redes-graduacao/1998/trab-05/equipe-02/tdma7.htm>

## 5.4 CANAIS TDMA

Um canal TDMA assim como um canal AMPS é constituído, na realidade, de um par de canais: um chamado *forward* ou direto (para comunicação no sentido ERB - móvel) e outro *reverse* ou reverso (no sentido móvel - ERB), ambos de largura de 30 kHz e distância entre eles de 45 MHz (separação full-duplex).

Originalmente, o sistema celular trabalhava com 666 pares de canais em uma faixa de frequência de 825 MHz a 845 MHz para canais diretos e 870 MHz a 890 MHz para canais reversos, sendo que os primeiros 333 eram os canais da banda A e os acima de 334 os de banda B. Posteriormente, em 1986, o sistema se expandiu e novos canais foram adicionados às bandas A e B.

As bandas A e B são utilizadas por operadoras diferentes. No Brasil, determinou-se que a banda A seria usada por operadoras estatais do sistema Telebrás e a banda B para operadoras privadas.

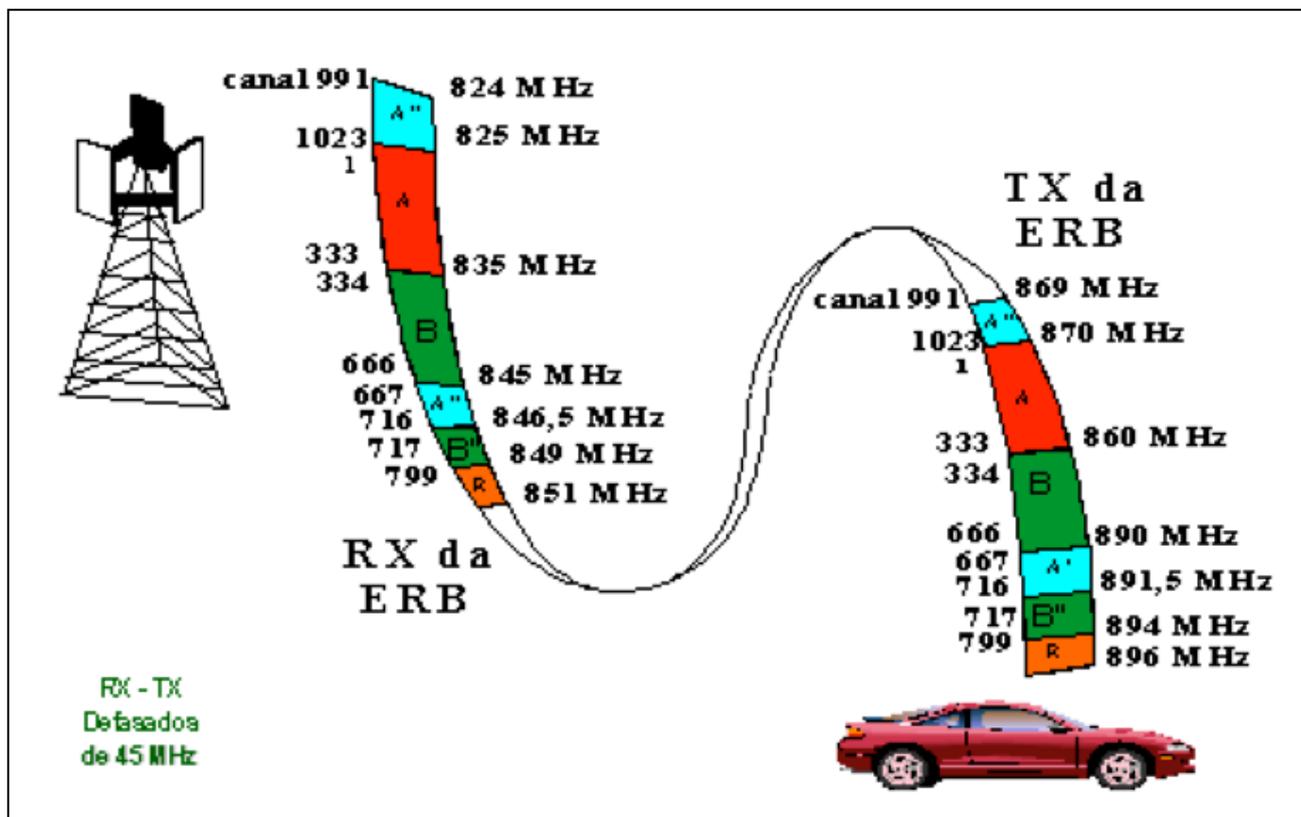


Figura 8. Canais TDMA – Faixa de 800 MHz.  
 Fonte: <http://sites.uol.com.br/hugom/AMPS-TDMA/sld037.htm>

A Figura 8 mostra como ficou o espectro de frequência do sistema celular na faixa dos 800 MHz atualmente, essa canalização é chamada de EAMPS – *Extended AMPS*. O "R" na figura representa faixas reservadas e não utilizadas.

Já existe e é padronizada pela IS-136A e IS-136B uma faixa no espectro em 1900 MHz a qual é usada por outras operadoras. No Brasil a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) divulgou a faixa de frequência para a nova Banda C, que será de 1,8 GHz, utilizando o padrão GSM (*Global System Mobile* - um sistema variante do TDMA), utilizado na Europa e Ásia.

### 5.5 Dual Mode TDMA/AMPS

Como foi visto o TDMA usa os mesmos canais do sistema AMPS na faixa de 800 MHz. Isso permitiu o Modo Duplo de sistemas dentro do TDMA. Em outras palavras, o sistema AMPS permaneceu dentro do TDMA depois que este foi implementado e foram mantidos os canais sem multiplexação do tempo. A grande vantagem do Dual Mode é a conexão de tecnologias digitais diferentes. Outros padrões digitais, como o CDMA, também possuem duplo modo de funcionamento Digital/AMPS, assim quando uma estação móvel TDMA está numa área coberta por serviço CDMA, conseguirá serviço AMPS nessa área. Isso é muito importante porque em localidades diferentes podem ser adotados padrões diferentes.

Esta variação de padrões pode acontecer entre países, estados, cidades e até mesmo entre operadoras que cobrem uma mesma área.

## 5.6 TIPOS DE CANAIS DE RÁDIO

Tanto para TDMA quanto para AMPS, os canais são divididos em dois grupos. Um deles transmitem dados (ou voz) específicos de um usuário e o outro é dedicado a monitorar e controlar o sistema. A seguir são dadas a nomenclatura e descrição desses canais.

No velho sistema AMPS a voz é modulada em frequência e transmitida no Canal de Tráfego. Esse canal é dedicado a transmissão da conversação e dados do usuário. O canal de voz AMPS é também chamado de AVCH - *Analog Voice Channel* (Canal de Voz Analógico). No TDMA a voz é processada e transformada em dados, esses dados e outros dados do sistema são transmitidos no canal de tráfego, que pelo fato de ser digital passou a ser chamado de Canal de Tráfego Digital - DTCH.

Devido à voz humana possuir uma forte redundância e embora seja grande o número de vocábulos, o número de vocábulos diferentes é bem limitado. Pode-se então, criar um alfabeto desses sons e suas seqüências de bits criando um código mais curto. Assim não é difícil criar algoritmos de compreensão de voz que a comprima uma taxa menor que 64 kbps/s. Na primeira fase do TDMA, o VSELP - *Vector Sum Excited Linear Predictive Coding* - era o algoritmo que transformava 64 kbps/s em 7,95 kbps. Esse algoritmo usado no IS-54 deixava a voz metalizada e foi substituído na versão IS-136 pelo ACELP - *Algebraic Code Excitation Linear Predictive* - que

corrige o problema da voz metalizada e apresenta maior qualidade de voz. O ACELP tem taxa de 7,4 kbps/s.



Figura 9. Processamento e voz no TDMA.

Fonte: <http://sites.uol.com.br/hugom/AMPS-TDMA/sld063.htm>

Finalmente os 16,2 Kbps de voz e mensagens do sistema são modulados em  $\pi/4$ DQPSK ( $\pi/4$  *Differential Quaternary Phase Shift Keying*) e transmitidos no canal de tráfego.

### 5.6.1 DCCH - Digital Control Channel

Esses canais não são dedicados a nenhum usuário em particular e são utilizados para troca de mensagens e dados do sistema. Quando foi implantado o TDMA (IS-54), o canal de controle tinha quase as mesmas características do canal de controle AMPS com exceção de algumas mensagens. Esse canal de controle é modulado em FSK e transmite dados digitais. Na versão IS-136 o canal de controle passou a ser modulado em  $\pi/4$  DQPSK promovendo maior velocidade e serviços adicionais como por exemplo, mensagem e e-mail, este é o DCCH. O canal de controle AMPS/IS-54, apesar de ser digital FSK, por ser característico do sistema analógico é chamado de Canal de Controle Analógico (ACCH - *Analog Control Channel*).

Os canais DCCH e ACCH contém principalmente:

- Mensagem de *Overhead* - dados gerais do sistema, de interesse de todos os usuários (SID, DCC e Etc.);

- *Paging* - Busca de um usuário para receber uma chamada;

- *Access* - Acesso de um usuário para originar uma chamada.

A figura 10 mostra os canais de controle e tráfego na faixa de 800 MHz. Com o aumento da capacidade do sistema digital os canais de controle primários se tornaram insuficientes, então se passou a utilizar as bandas A' e B' para canais de controle. As bandas A B e A “são usadas para canais de tráfego.

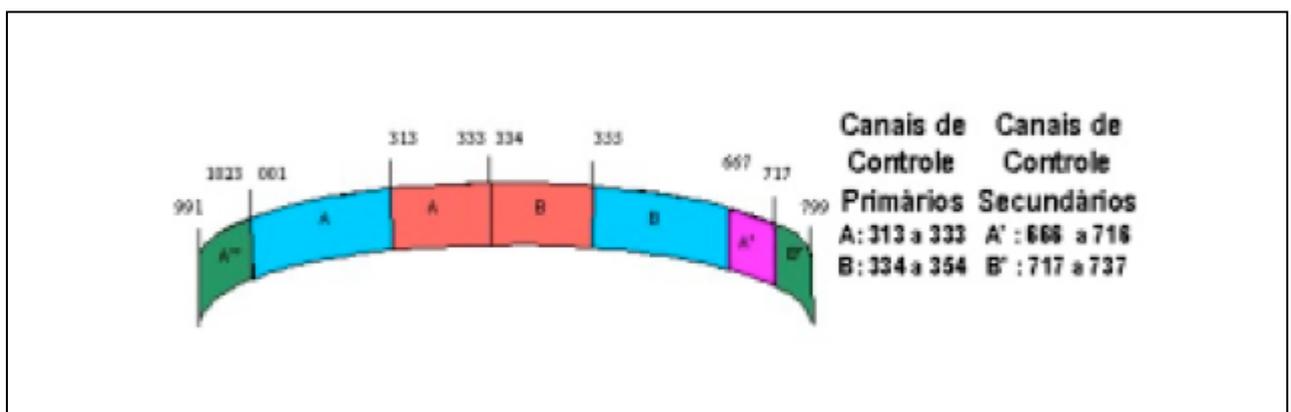


Figura 10. Canais de controle

Fonte: <http://sites.uol.com.br/hugom/AMPS-TDMA/sld059.htm>

## 6. SISTEMA GSM

O Sistema Global para Comunicações Móveis (GSM) é uma tecnologia consolidada, de sucesso e rápida expansão. Há menos de cinco anos, havia algumas poucas dezenas de empresas trabalhando no GSM. Em cada uma destas empresas havia alguns poucos especialistas, que traziam o conhecimento dos comitês do Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações (ETSI), os criadores das especificações para o GSM. Atualmente, há centenas de empresas trabalhando no GSM e milhares de especialistas em GSM. O GSM não é mais uma tecnologia de laboratório. É uma tecnologia do dia-a-dia, que provavelmente um técnico de serviço poderá compreender tão bem quanto um membro do comitê da ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).

A GSM rapidamente ultrapassou as fronteiras da Europa e está se tornando um padrão mundial. O GSM está realmente se tornando um Sistema GLOBAL para Comunicações Móveis. Estava claro há muito tempo que o GSM seria usado em toda a Europa.

## 6.1 HISTÓRICO GSM

Antes de passar para a operação propriamente dita do sistema GSM [16], vamos dar uma olhada no passado e ver como chegamos e onde estamos hoje. Em 1981, o celular analógico foi lançado e, quase ao mesmo tempo, houve um estudo conjunto franco-germânico voltado à tecnologia celular digital e à possibilidade da criação de um sistema pan-europeu. Em 1982, um comitê de trabalho especial, o Groupe Spécial Mobile (GSM) foi criado no CEPT para analisar e continuar o estudo franco-germânico. Em 1986, o comitê de trabalho deu um passo à frente com o estabelecimento de um núcleo permanente de pessoas designadas para a continuação do trabalho e a criação de normas para um sistema digital do futuro.

Aproximadamente um ano depois, o memorando de entendimento, ou MoU, como foi denominado, foi assinado por mais de 18 países. Este memorando declarava que os signatários participariam do sistema GSM e o colocariam em operação até 1991. Em 1989, o GSM foi transferido para a organização ETSI.

Uma vez sob o controle do ETSI, o sistema GSM teve o seu nome alterado para Global System for Mobile communications. Os comitês de trabalho do sistema tiveram o seu nome mudado de GSM para SMG (*Special Mobile Group*). Estas mudanças foram feitas para evitar confusão entre o nome do sistema (GSM) e o grupo de pessoas que trabalham nas especificações (SMG), e também para colocar os nomes no idioma de trabalho oficial do ETSI (inglês). Em 1990, foi criado um novo ramo da especificação GSM - o DCS1800. As especificações originais do DCS1800 foram desenvolvidas simplesmente como versões editadas dos documentos do GSM900.

O interesse no GSM espalhou-se rapidamente fora da Europa. A Austrália foi o primeiro país não europeu a juntar-se ao MoU, em 1992. Desde então, muitos outros países asiáticos adotaram o GSM. Atualmente, existe um MoU pan-asiático, que analisa os acordos de *roaming* internacionais.

## 6.2. REDES GSM

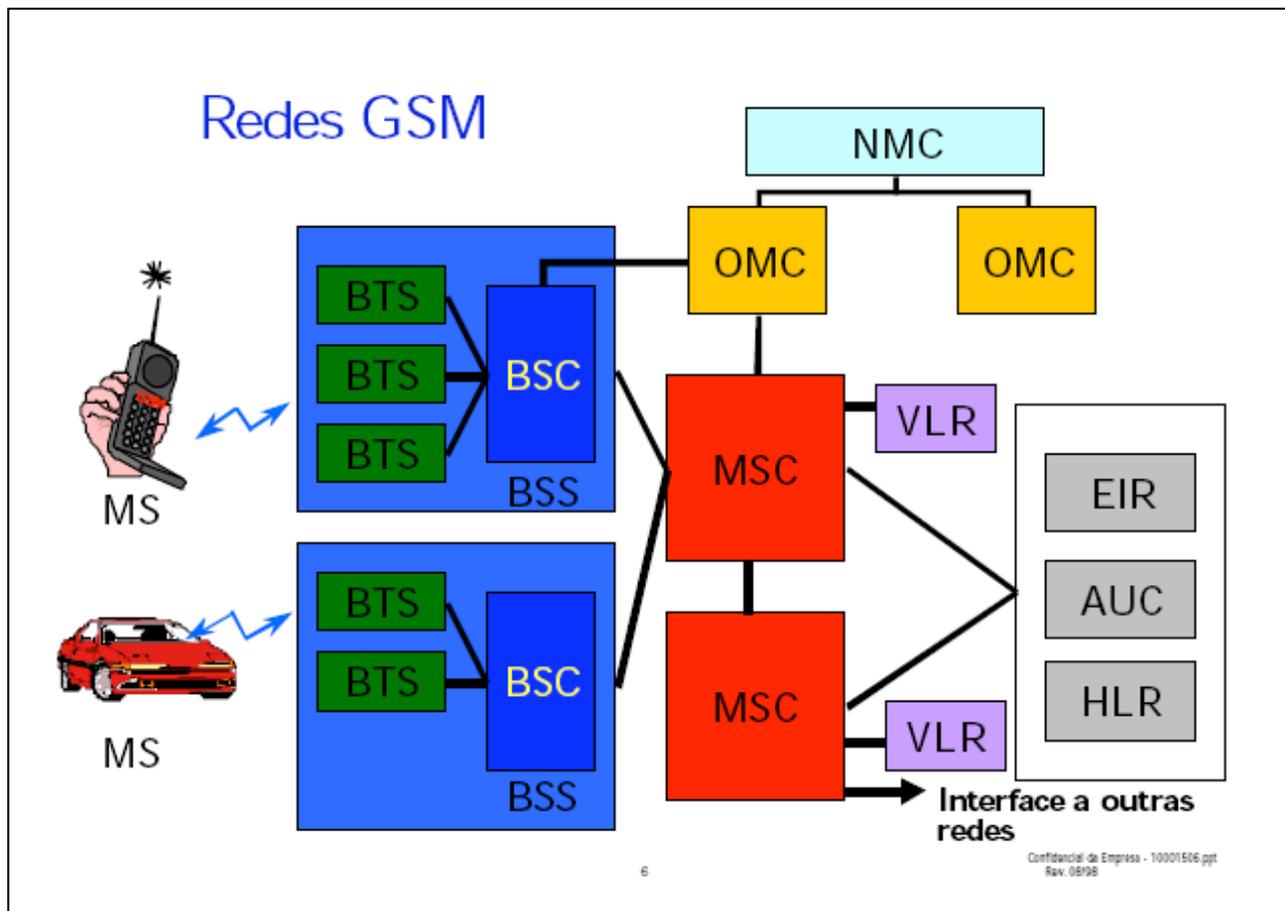


Figura 11. Rede GSM

Fonte: [http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas\\_telefonia.php](http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas_telefonia.php)

Este é um sistema GSM. As estações móveis (MS), sejam telefones celulares (e portáteis) e as tradicionais unidades móveis instaladas em automóveis, falam com o Sistema da Estação Base (BSS) pela interface aérea de RF. O Sistema de Estação Base (BSS) é formado por uma Estação Transceptora Base (BTS) e um Controlador de Estação Base (BSC). É comum que diversas BTS estejam localizadas em um mesmo local, criando de 2 a 4 células setorizadas ao redor de uma torre de antena comum. As BSC são frequentemente ligadas à BTS por links de microondas. O link do BSC à BTS é chamado de interface Abis. Tipicamente, de 20 a 30 BTS serão controladas por um BSC. Por sua vez, diversas BSS são subordinadas a uma Central de Comutação e Controle (MSC), que controla o tráfego entre diversas células diferentes. Cada Central de Comutação e Controle (MSC) terá um Registro de Localização de Visitante (VLR), no qual as unidades móveis que estiverem fora das células de sua área local serão listadas, de forma que a rede saiba onde encontrá-las. A MSC será também conectada ao Registro de Localização de Unidade Móvel Local (HLR), a

Central de Autenticação (AUC) e ao Registro de Identidade do Equipamento (EIR), de forma que o sistema possa verificar se os usuários e equipamentos são assinantes em situação legal. Isto ajuda a evitar o uso de unidades móveis roubadas ou fraudadas. Há também instalações dentro do sistema para as organizações de Operações e Manutenção (OMC) e de Gerenciamento da Rede (NMC). A Central de Comutação e Controle (MSC) também possui uma interface para outras redes, como as Redes Privadas Fixas de Telefonia Móvel (PLMN), Redes Públicas de Telefonia Comutada (RPTC) e redes RDSI.

### 6.3. CÉLULA GSM

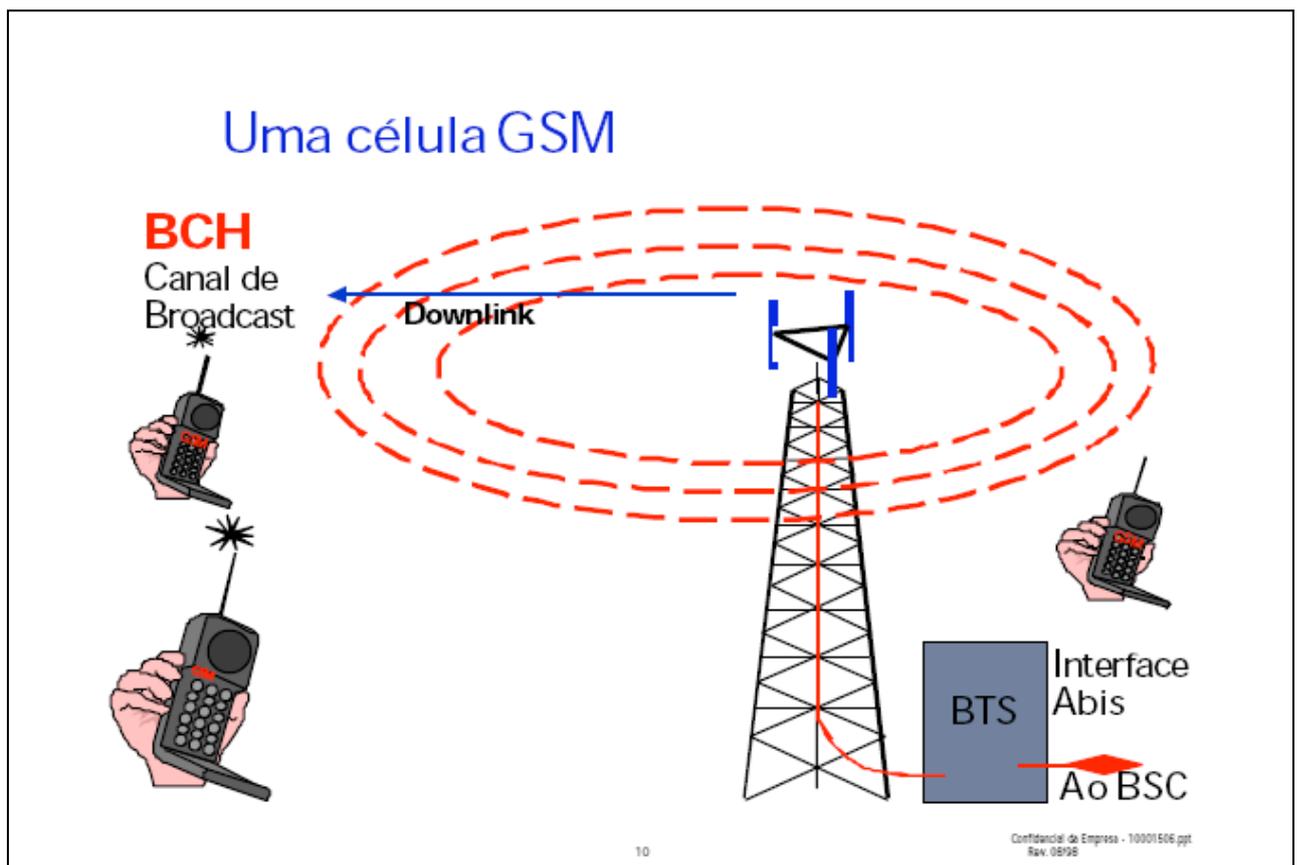


Figura 12. Célula GSM

Fonte: [http://www.projetoederedes.com.br/apostilas/apostilas\\_telefonia.php](http://www.projetoederedes.com.br/apostilas/apostilas_telefonia.php)

Esta é uma visão detalhada de uma célula GSM típica. As células podem ter um raio de até 35 km no GSM900 e 2 km no DCS1800 (devido à menor potência das unidades móveis do DCS1800). A parte mais óbvia da célula GSM é a estação base e a sua torre de antena. É comum ter

diversas células setorizadas ao redor de apenas uma torre de antena. A torre terá diversas antenas direcionais, cada uma destas cobrindo uma área em particular. Esta co-alocação de diversas BTS é às vezes denominada estação radiobase, ou simplesmente uma estação base. As BTSs são conectadas aos seus BSC pela interface Abis, por cabo ou fibras ópticas.

As redes DCS1800 muitas vezes usam um link de microondas para a interface Abis. Cada BTS possuirá um certo número de pares Tx/Rx ou módulos transceptores. Este número determinará o número de canais de frequência que poderão ser usados na célula, o que dependerá do número esperado de usuários.

Todas as BTSs produzem um BCH (Canal de *Broadcast*). O BCH é como um farol ou sinal luminoso. Ele está ligado todo o tempo e permite que as unidades móveis encontrem a rede GSM. A intensidade do sinal BCH é também usada pela rede em diversas funções relacionadas ao usuário, sendo um meio útil para dizer qual é a BTS mais próxima da unidade móvel. Este sinal também carrega informações codificadas, como a identidade da rede (por exemplo, *Mannesmann*, *Detecon* ou *Optus*), mensagens de *paging* para as unidades móveis que devam aceitar uma chamada telefônica e diversas outras informações. O BCH é recebido por todas as unidades móveis “acampadas” na célula, estejam estas no meio de uma chamada ou não.

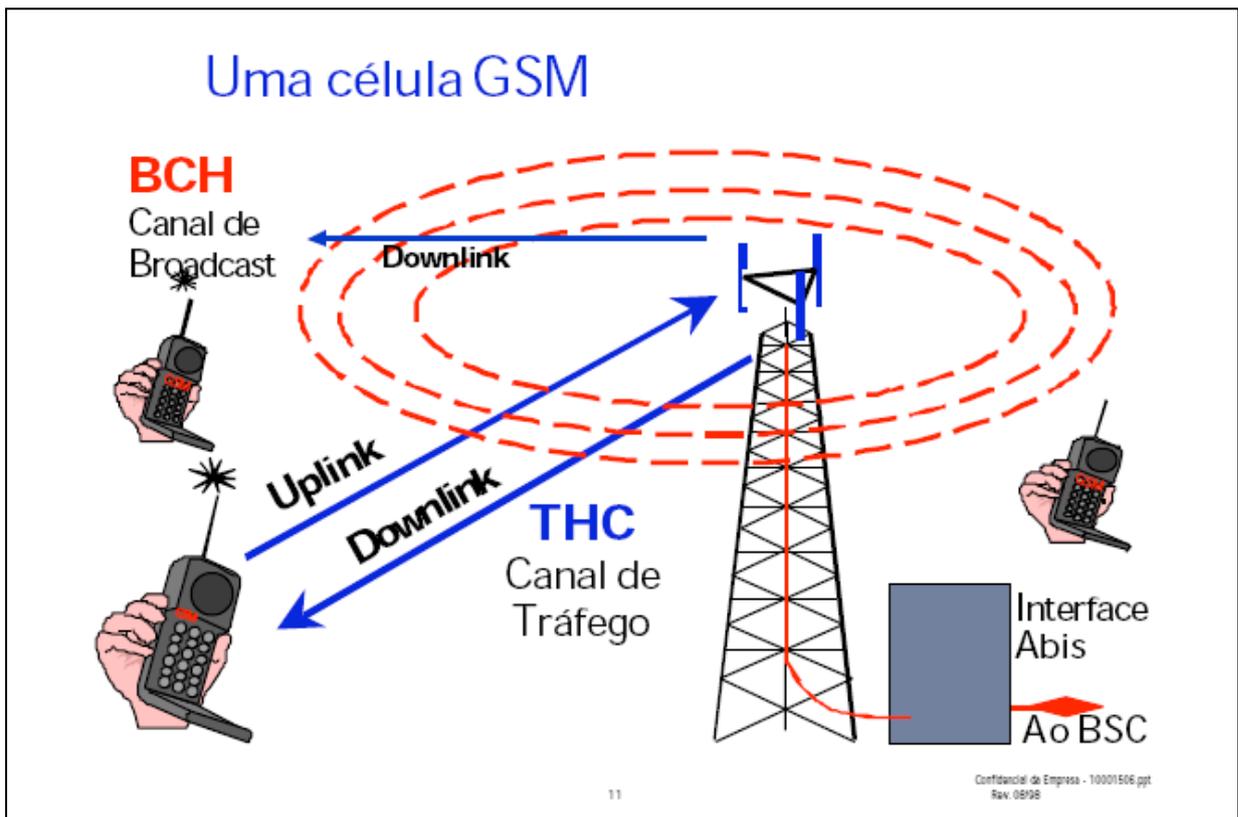


Figura 13. Funcionamento célula GSM

Fonte: [http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas\\_telefonia.php](http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas_telefonia.php)

O canal de frequência usado pelo BCH é diferente em cada célula. Os canais podem ser reutilizados por células distantes, nas quais o risco de interferência é baixo.

As unidades móveis em chamada usam um TCH (Canal de Tráfego). O TCH é um canal bidirecional usado para a troca de informações de conversação entre a unidade móvel e a estação base. As informações são divididas em *uplink* e *downlink*, dependendo da direção do fluxo. O GSM separa o *uplink* e o *downlink* em bandas de frequência distintas. Dentro de cada banda, o esquema de numeração de canais usado é o mesmo. Na verdade, um canal do GSM é formado por um *uplink* e um *downlink*.

É interessante observar que, enquanto que o TCH usa um canal de frequência no *uplink* e no *downlink*, o BCH somente ocupa um canal no *downlink*. O canal correspondente no *uplink* é, na verdade, deixado desocupado. Este canal pode ser usado pela unidade móvel para canais não programados ou canais de acesso aleatório (RACH). Quando a unidade móvel quiser chamar a atenção da estação base (para fazer uma chamada, por exemplo), ela poderá fazê-lo usando este canal de frequência desocupado para enviar um RACH. Como mais de uma unidade móvel pode querer chamar a atenção da estação ao mesmo tempo, é possível que haja uma colisão de canais

RACH, e talvez seja necessário que as unidades móveis façam diversas tentativas para serem ouvidas.

O GSM usa o TDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo) e o FDMA (Acesso Múltiplo por Divisão da Frequência). As frequências disponíveis são divididas em duas bandas. O *uplink* é utilizado para a transmissão da unidade móvel e o *downlink* é usado para a transmissão da estação base. Cada banda é dividida em slots de 200 kHz, denominados ARFCN (Número Absoluto de Canal de Radiofrequência). Além de dividir em fatias a frequência, também divide o tempo. Cada ARFCN é compartilhado por 8 unidades móveis, sendo usado por uma delas por vez. Cada unidade móvel usa o ARFCN por um TS (*timeslot*) e, em seguida, aguarda a sua vez de usá-lo novamente. As unidades móveis usam o ARFCN uma vez por quadro do TDMA.

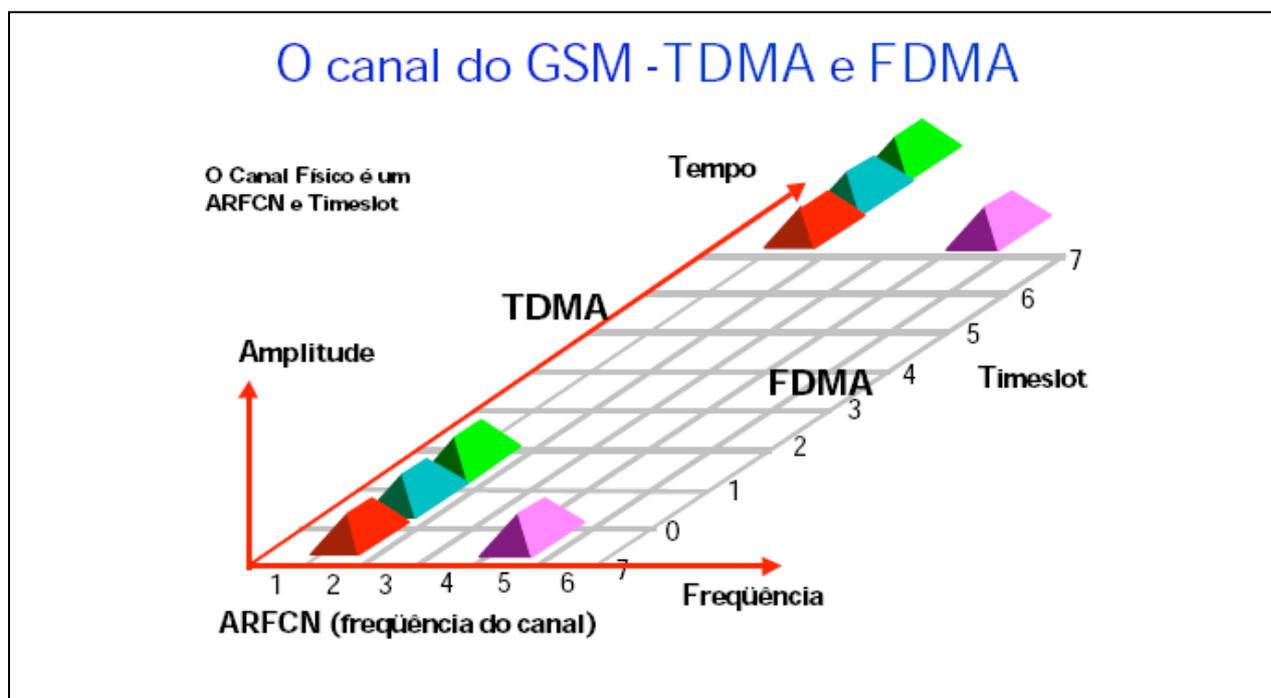


Figura 14. Canais de tráfego

Fonte: [http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas\\_telefonia.php](http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas_telefonia.php)

A Figura 14 mostra 4 TCHs (Canais de Tráfego). Cada TCH usa um determinado ARFCN e um timeslot. Três dos TCH estão no mesmo ARFCN, usando timeslots diferentes. O quarto TCH está em um ARFCN diferente. O conjunto formado pelo número do TS e o ARFCN é denominado canal físico.

Não há muito espaço entre os timeslots e os ARFCNs. É importante que a unidade móvel ou estação base transmitam seus *bursts* TDMA exatamente no momento certo e exatamente com a frequência e amplitude corretas. Estando muito adiantado ou muito atrasado, um *burst* poderá

colidir com um *burst* adjacente. A falta de controle no espectro ou espúrios de modulação podem provocar interferência no ARFCN adjacente.

## 6.4. MODULAÇÃO

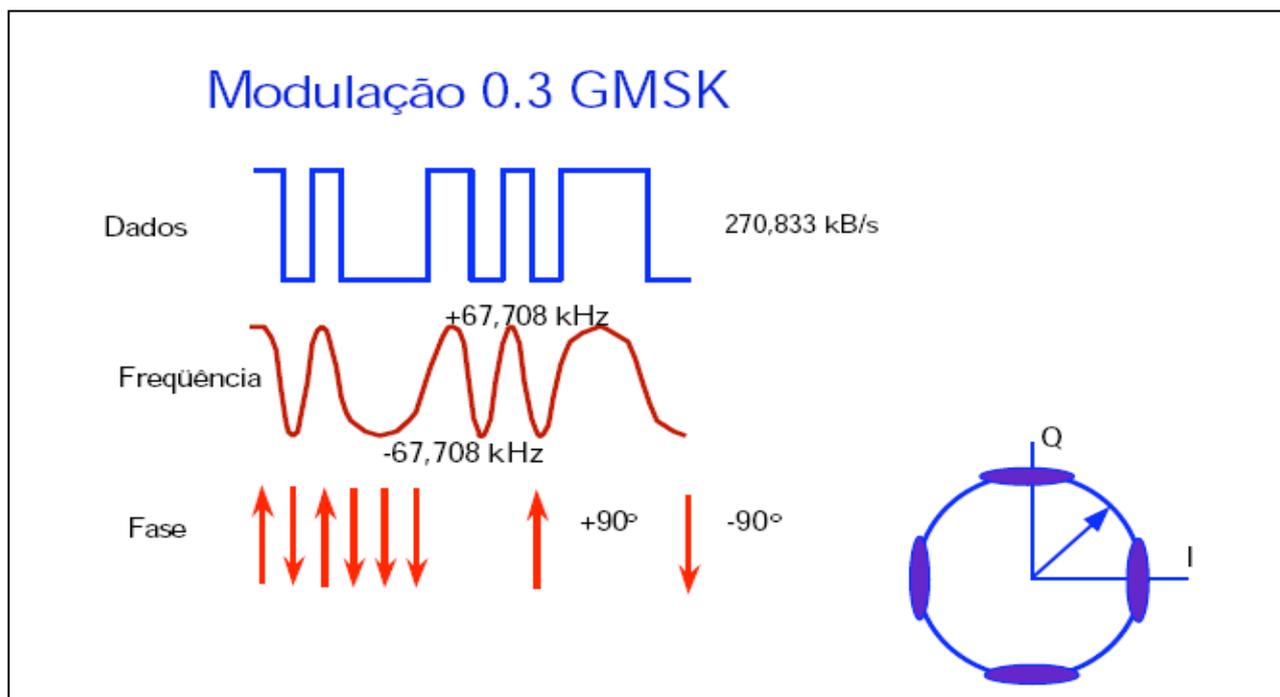


Figura 15. Modulação

Fonte: [http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas\\_telefonia.php](http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas_telefonia.php)

O GSM usa um formato de modulação digital denominado 0.3 GMSK (Chaveamento por Deslocamento Mínimo Gaussiano). O 0.3 indica a relação da largura de banda do filtro gaussiano com a taxa de bit.

O GMSK é um tipo especial de modulação digital FM. Os "1s" e "0s" são representados pelo deslocamento da portadora de RF em mais ou menos 67,708 kHz. As técnicas de modulação que usam duas frequências para representar o "1" e o "0" são denominadas FSK (Chaveamento por Deslocamento de Frequência).

No caso do GSM a taxa de dados de 270,833 kbit/s foi escolhida por ser exatamente quatro vezes o deslocamento de frequência de RF. Isto tem o efeito de minimizar o espectro de modulação e aumentar a eficiência do canal. A modulação FSK na qual a taxa de bit é exatamente quatro vezes o deslocamento de frequência é chamada MSK (Chaveamento por Deslocamento Mínimo). O

espectro de modulação é ainda mais reduzido com o uso de um filtro gaussiano de pré-modulação. Este filtro reduz a velocidade das rápidas transições de frequência que, caso contrário, espalhariam a energia pelos canais adjacentes.

O 0.3 GMSK não é uma modulação em fase. As informações não são transportadas por estados de fase absolutos, como no QPSK, por exemplo. É o deslocamento em frequência, ou alteração do estado de fase, que transporta as informações. Às vezes, entretanto, é útil tentar visualizar o GMSK em um diagrama I/Q. Sem o filtro gaussiano, se um feixe constante de “1s” estiver sendo transmitido, o MSK permanecerá efetivamente 67,708 kHz acima da frequência central da portadora.

Se a frequência central da portadora for tomada como uma referência de fase estacionária, o sinal de + 67,708 kHz causará um aumento estável de fase. A fase irá girar + 360 graus a uma taxa de 67.708 revoluções por segundo. No período de um bit (1/270,833 kHz) a fase será deslocada em um quarto de círculo no diagrama I/Q, ou 90 graus. Os “1s” são vistos como um aumento de fase de 90 graus. Dois “1s” causam um aumento de fase de 180 graus, três “1s”, de 270 graus, e assim por diante. Os “0s” causam a mesma mudança de fase, na direção oposta. A inclusão do filtro gaussiano não afeta esta transição média de 90 graus para “0s” e “1s”.

Como a taxa de bit e o deslocamento em frequência estão relacionados por um fator de 4, a filtragem não afeta as relações de fase médias. Esta filtragem não reduz a taxa de mudança de velocidade de fase (a aceleração da fase). Quando a filtragem gaussiana é aplicada, a fase muda de direção mais lentamente, mas pode atingir velocidades de pico maiores para alcançar a fase. Sem a filtragem gaussiana, a fase muda de direção instantaneamente, mas se desloca a uma velocidade constante.

A trajetória exata da fase é controlada com bastante rigor. Os rádios GSM precisam usar filtros digitais e moduladores I/Q ou FM digitais para gerar com precisão a trajetória correta. A especificação GSM permite não mais de 5 graus rms e 20 graus de desvio de pico da trajetória ideal.

## **6.5. NÍVEIS DE TX**

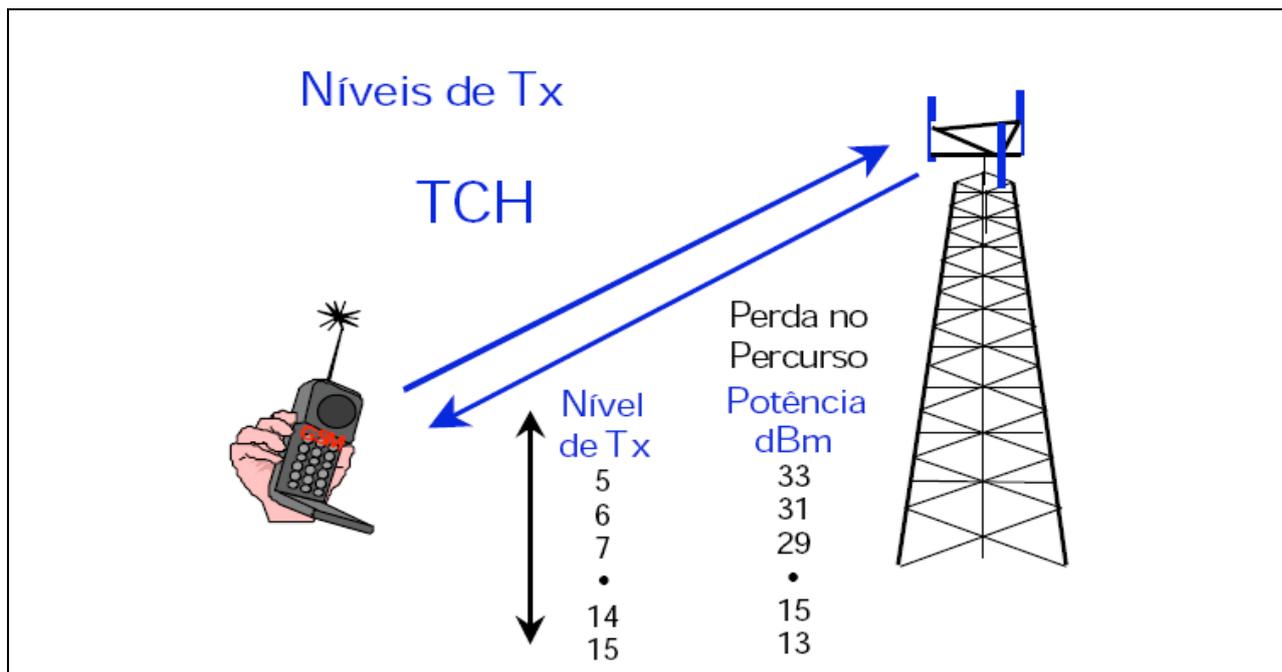


Figura 16. Níveis de Tx

Fonte: [http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas\\_telefonia.php](http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas_telefonia.php)

Conforme a unidade móvel se desloca ao redor da célula, torna-se necessário variar a potência de seu transmissor. Quando ela estiver próxima à estação base, os níveis de potência usados deverão ser baixos para reduzir a interferência em outros usuários. Quando a unidade móvel estiver mais longe da estação base, será necessário elevar os seus níveis de potência, para superar a maior perda no percurso.

Todas as unidades móveis GSM podem controlar a sua potência de saída em incrementos de 2 dB. A estação base envia um comando à unidade móvel para que esta use um determinado Nível de Tx de MS (nível de potência). A unidade móvel do GSM900 tem uma potência máxima de 8 W (a especificação permite uma potência de 20 W, mas até o momento não existem unidades móveis de 20W). As unidades móveis do DCS1800 têm uma potência máxima de 1 W.

Conseqüentemente, é necessário que as células do DCS1800 sejam menores.

## 6.6. AVANÇO DE *TIMING*

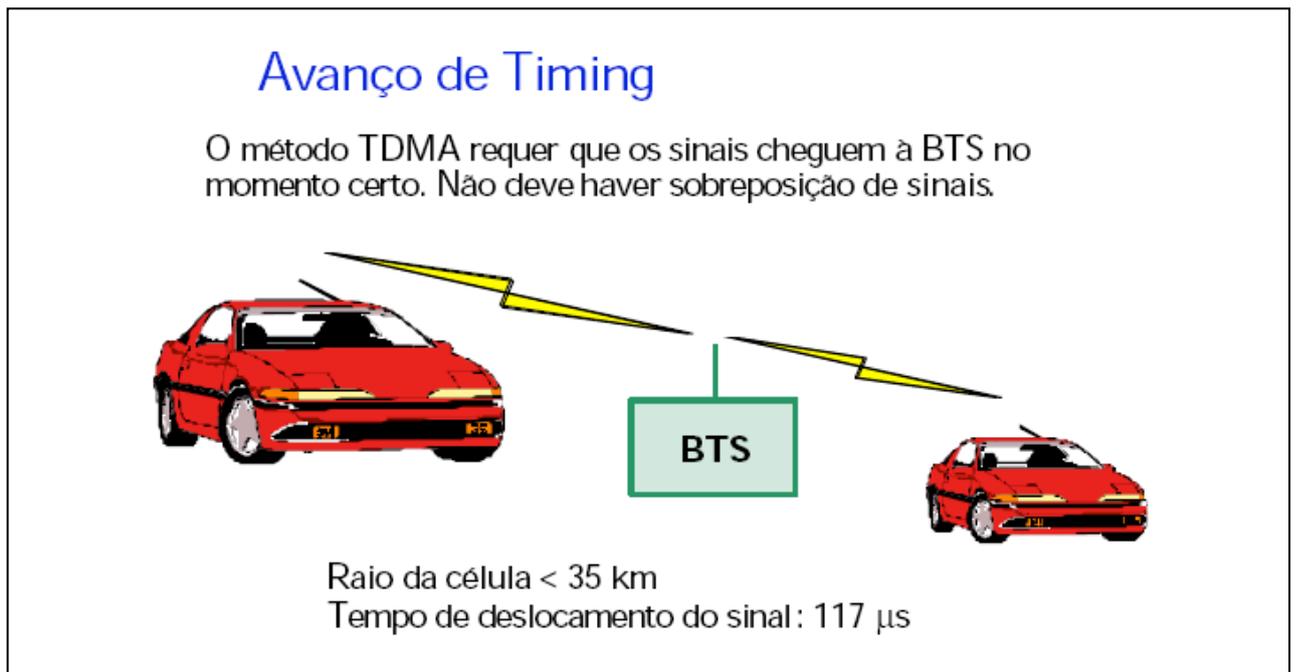


Figura 17. Avanço de timing

Fonte: [http://www.projetederedes.com.br/apostilas/apostilas\\_telefonia.php](http://www.projetederedes.com.br/apostilas/apostilas_telefonia.php)

O Avanço de *Timing* é necessário no GSM porque este usa o TDMA em células de até 35 km de raio. Como um sinal de rádio leva um intervalo de tempo finito para viajar da unidade móvel até a estação base, precisamos ter alguma maneira para garantir que o sinal chegará à estação base no momento correto. Sem o avanço de *timing*, o *burst* transmitido de um usuário na fronteira de uma célula chegaria tarde e seria sobreposto (e corromperia) o sinal proveniente de um usuário bem próximo à estação base (a menos que fosse usado um tempo de guarda entre os *timeslots* maior do que o maior tempo de viagem do sinal).

Antecipando o *timing* das unidades móveis, a transmissão destas chega à estação base no momento correto. Conforme a unidade móvel (MS) se desloca, a Estação Base (BTS) envia um sinal à MS para que esta reduza o seu avanço de *timing* conforme se aproxima do centro da célula e aumente o seu avanço de *timing* conforme se afasta do centro da célula.

As unidades móveis no modo *Idle* (que não estão em chamada, mas que ainda estão “acampadas” na rede) recebem e decodificam o BCH (Canal de Broadcast) da estação base. Um elemento do BCH, o SCH (Canal de Sincronização) permite que a unidade móvel ajuste o seu *timing* interno. Quando a unidade móvel estiver recebendo o SCH, ela não saberá qual a sua distância até a estação base. Uma distância de 30 km fará com que a unidade móvel ajuste um

retardo de 100  $\mu\text{s}$  em seu timing interno com relação à estação base. Quando a unidade móvel enviar o seu primeiro burst de RACH, este partirá com um retardo de 100  $\mu\text{s}$ , após um retardo de trânsito de 100  $\mu\text{s}$ , e chegará 200  $\mu\text{s}$  mais tarde, colidindo com os bursts das unidades móveis mais próximas da estação base. Por este motivo, o RACH e os outros tipos de bursts de acesso são mais curtos do que o normal. A unidade móvel somente envia bursts de comprimento normal uma vez que tenham recebido a informação de avanço de timing da estação base. A unidade móvel de nosso exemplo precisaria avançar o seu timing em 200  $\mu\text{s}$ . Veremos posteriormente como a estação base manda a unidade móvel alterar o seu avanço de timing e potência de transmissão usando o SACCH (Canal Lento de Controle Associado).

## 6.7. BURST DE POTÊNCIA

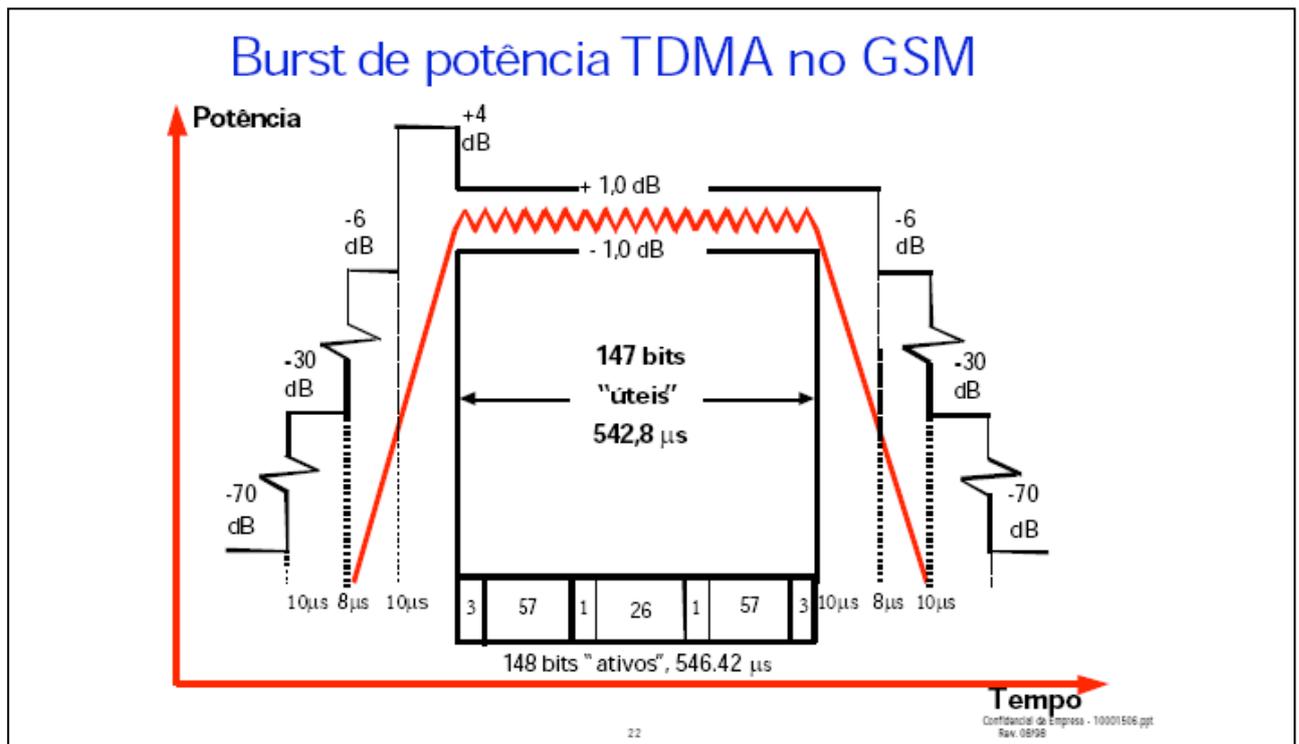


Figura 18. *Burst* de potência

Fonte: [http://www.projetoederedes.com.br/apostilas/apostilas\\_telefonia.php](http://www.projetoederedes.com.br/apostilas/apostilas_telefonia.php)

Como o GSM é um sistema TDMA e há 8 usuários em um par de frequências, o transmissor de cada usuário somente deve ser ativado no momento permitido, sendo desativado no momento apropriado, de forma que este não interfira com os outros usuários nos *timeslots* adjacentes. Devido a esta necessidade, o GSM especificou um envelope de amplitude para o *burst* de RF dos *timeslots*.

Há também uma especificação rigorosa de planicidade para a parte ativa dos bits úteis no *timeslot*. O envelope de amplitude tem uma faixa dinâmica acima de 70 dB mas ainda precisa ter uma planicidade menor que  $\pm 1$  dB por toda a parte ativa do *timeslot*. Tudo isto acontece em um período de 577  $\mu$ s de um *timeslot*.

## 6.8. QUADROS E MULTIQUADROS

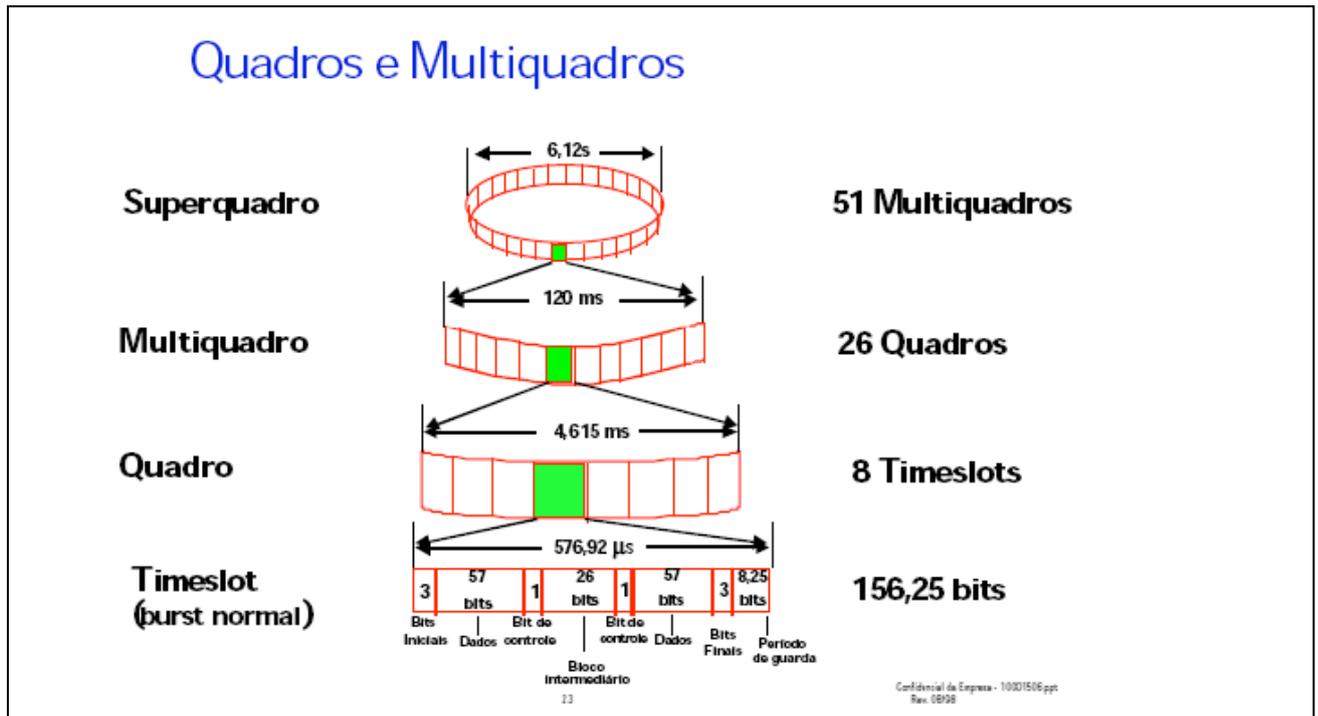


Figura 19. Quadros e multiquadros

Fonte: [http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas\\_telefonia.php](http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas_telefonia.php)

O sistema GSM é um sistema de multiplexação por divisão de tempo. A menor unidade deste sistema é o bit de dados. O período de cada bit de dados é 3,69  $\mu$ s. Um *timeslot*, tem um período equivalente a 156,25 destes bits de dados. Como há 8 usuários em cada frequência, há 8 *timeslots* por quadro. Este padrão é repetido, dando aos usuários outros *timeslots* nos outros quadros. O intervalo do quadro é 4,615 ms. Os quadros são agrupados em estruturas maiores, denominadas multiquadros. Há dois tamanhos de multiquadros, os multiquadros de 26 quadros e os multiquadros de 51 quadros. O TCH usa multiquadros de 26 quadros, enquanto que o BCH usa pares de multiquadros de 51 quadros, um colocado após o outro para formar uma seqüência de 102 quadros. Um superquadro é formado por 51 ou 26 multiquadros e um hiperquadro é formado por superquadros.

Estas estruturas de multiquadros são necessárias para permitir a partição dos canais físicos (um ARFCN e um *timeslot*) em canais lógicos. Um canal lógico é simplesmente um condúite ponto-a-ponto para as informações. A cada multiquadro, um dos *timeslots* de canais físicos TCH é usado para transportar informações de controle. Este canal de controle lógico, que compartilha o mesmo canal físico que o TCH, é denominado SACCH. Há também padrões longos repetidos no BCH. Os intervalos de tempo são reservados para que diferentes tipos de canais lógicos possam coexistir em um mesmo canal físico.

O bloco intermediário (*midamble*) ou seqüência de preparação (*training*), localizado no centro do *burst*, é um padrão conhecido. Este bloco permite que o equalizador na unidade móvel ou estação base analise as características do percurso de RF antes de decodificar outros dados úteis. Os blocos intermediários somente podem carregar alguns poucos padrões, ou códigos “de cores”. Do outro lado do bloco intermediário, há bits de controle, denominados *stealing flags*. Às vezes, é necessário interromper o TCH com informações urgentes de controle em um FACCH (Canal Rápido de Controle Associado). O FACCH é usado para mandar a MS modificar o ARFCN ou TS, por exemplo, resultando em alguma perda de dados do TCH. Os *stealing flags* permitem que saibamos quando o canal é TCH ou FACCH. O restante do *burst* transporta dados (conversa o, por exemplo) e bits iniciais/finais/guarda para preencher os espaços vazios entre os *bursts*.

  fácil se confundir quanto ao número de bits em um *timeslot*. Há 148 ou 147 bits em um *timeslot*? Há 148 bits ATIVOS em um *timeslot*, compreendendo um bloco intermediário, os bits de controle, os dados e os bits iniciais e finais. Há 147 bits ÚTEIS da metade do primeiro bit até a metade do último bit. Na verdade, é perdida a metade de um bit em cada ponta do *burst*.

## **6.9. DOWNLINK E UPLINK**

## Downlink e Uplink

- O uplink é atrasado em 3 timeslots com relação ao downlink
- O uplink e o downlink usam um mesmo número de timeslot
- O uplink e o downlink usam um mesmo Número de Canal (ARFCN)
- O uplink e o downlink usam bandas diferentes (espaçamento de 45 MHz no GSM900)

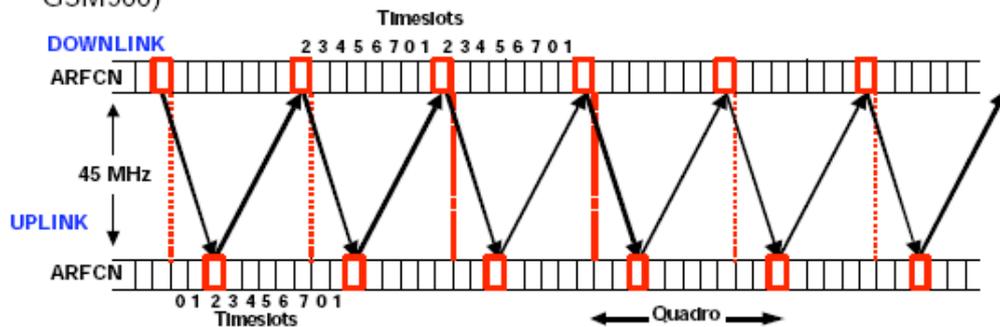


Figura 20. Downlink e Uplink

Fonte: [http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas\\_telefonia.php](http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas_telefonia.php)

Para entender como as informações são transmitidas, vejamos um exemplo. Nós designamos o *timeslot 2* e estamos no modo de tráfego, recebendo e transmitindo informações à estação base. O *downlink*, no qual recebemos informações, está na faixa de frequência de 935 a 960 MHz. O *uplink*, a frequência na qual a unidade móvel transmite informações à estação base, está na faixa de frequência de 890 a 915 MHz. O *uplink* e o *downlink* formam um par de frequências que, no GSM900, estarão sempre separadas por 45 MHz. Podemos ver que há um deslocamento de 3 *timeslots* entre o *downlink* e o *uplink*. Recebendo informações no *timeslot 2* no *downlink*, haverá dois *timeslots* para que a unidade móvel passe para a frequência de *uplink* e esteja pronta para transmitir informações. Em seguida, a unidade precisará estar pronta para receber o próximo *timeslot* de informações, no próximo quadro.

## 6.10. CANAL DE TRÁFEGO

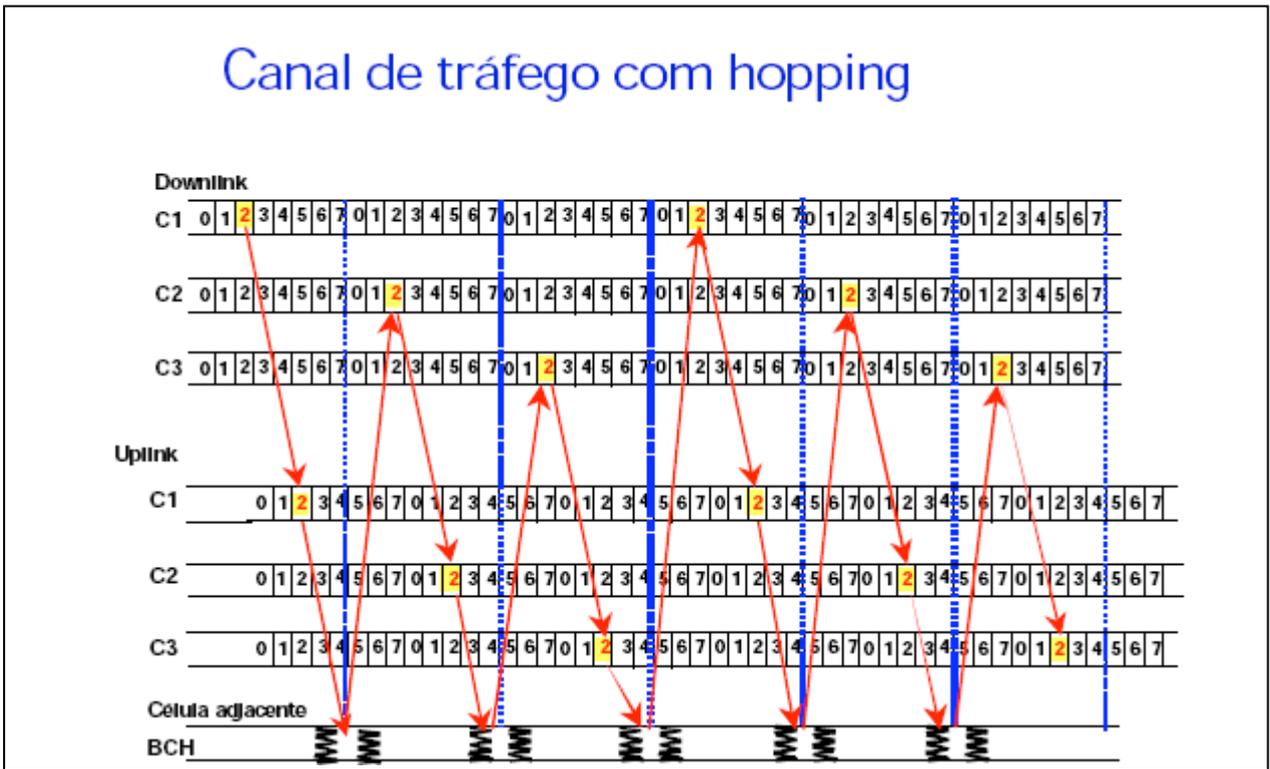


Figura 21. Canal de tráfego

Fonte: [http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas\\_telefonia.php](http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas_telefonia.php)

Todas as unidades móveis têm capacidade de *hopping*. Entretanto, nem todas as células são células com *hopping*. Somente as células que têm problemas de *multipath* serão configuradas como células com *hopping*. Neste exemplo, há três pares de frequência usados no *hopping*. A unidade móvel ainda precisa localizar e medir o canal de *broadcast* (BCH) das células adjacentes. No primeiro quadro, a unidade móvel recebe informações no *downlink* do canal 1, passa para o *uplink* do canal 1 (a 45 MHz), transmite as suas informações e, finalmente, monitora uma das células adjacentes para medir o nível desta. A unidade móvel deve passar para o *downlink* do canal 2 e receber informações no *timeslot* 2, deslocar-se por 45 MHz e transmitir no *uplink* do canal 2. Em seguida, monitora o canal de *broadcast* de outra célula e mede o nível deste canal. Este processo é executado repetidamente por toda a seqüência de frequências atribuídas à célula.

## 6.11. CODIFICAÇÃO DE VOZ

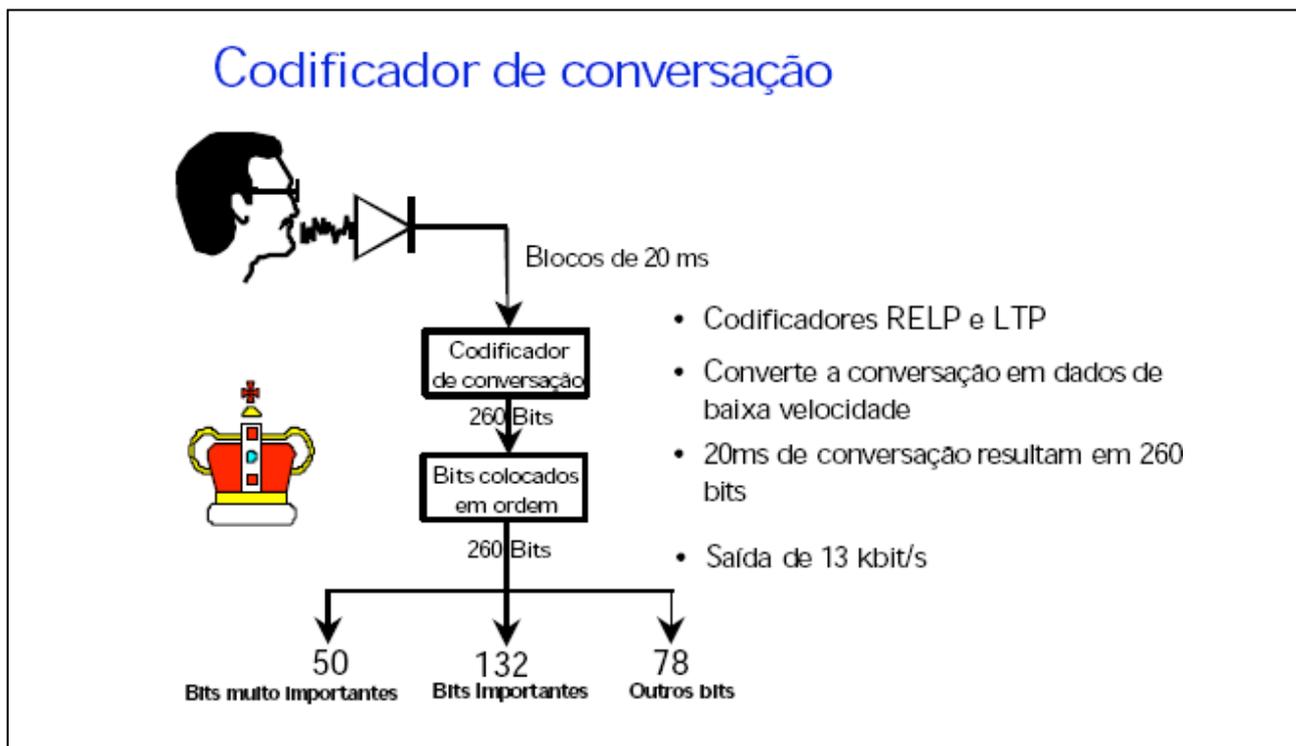


Figura 22. Codificador

Fonte: [http://www.projetoederedes.com.br/apostilas/apostilas\\_telefonia.php](http://www.projetoederedes.com.br/apostilas/apostilas_telefonia.php)

A maior parte dos sistemas modernos de comunicações digitais usa algum tipo de compressão de voz. O GSM não é exceção. Este sistema usa um codificador de voz para definir um modelo de geração de tons e ruídos na garganta humana e a filtragem acústica feita pela boca e língua. Estas características são usadas para produzir coeficientes, que são enviados pelo TCH. O codificador de conversação é baseado em um codificador preditivo linear com excitação residual (RELP); este codificador é aperfeiçoado com a inclusão de um dispositivo preditivo de longo prazo (LTP). O LTP melhora a qualidade da conversação removendo a estrutura dos sons das vogais antes de codificar os dados residuais. A saída do codificador fornece 260 bits para cada bloco de conversação de 20 ms. Isto resulta em uma taxa de 13 kbits/s. Os bits da saída são ordenados, conforme a sua importância, em grupos de 182 e 78 bits. Os 182 bits mais importantes são subdivididos, com a separação dos 50 bits muito importantes.

A taxa de dados de 13 kbits/s é consideravelmente menor que a digitalização direta da conversação, como a feita no PCM. No futuro, codificadores de voz mais avançados reduzirão esta taxa a até 6,5 kbits/s (codificação em meia taxa).

## 6.12 CORREÇÃO DE ERROS

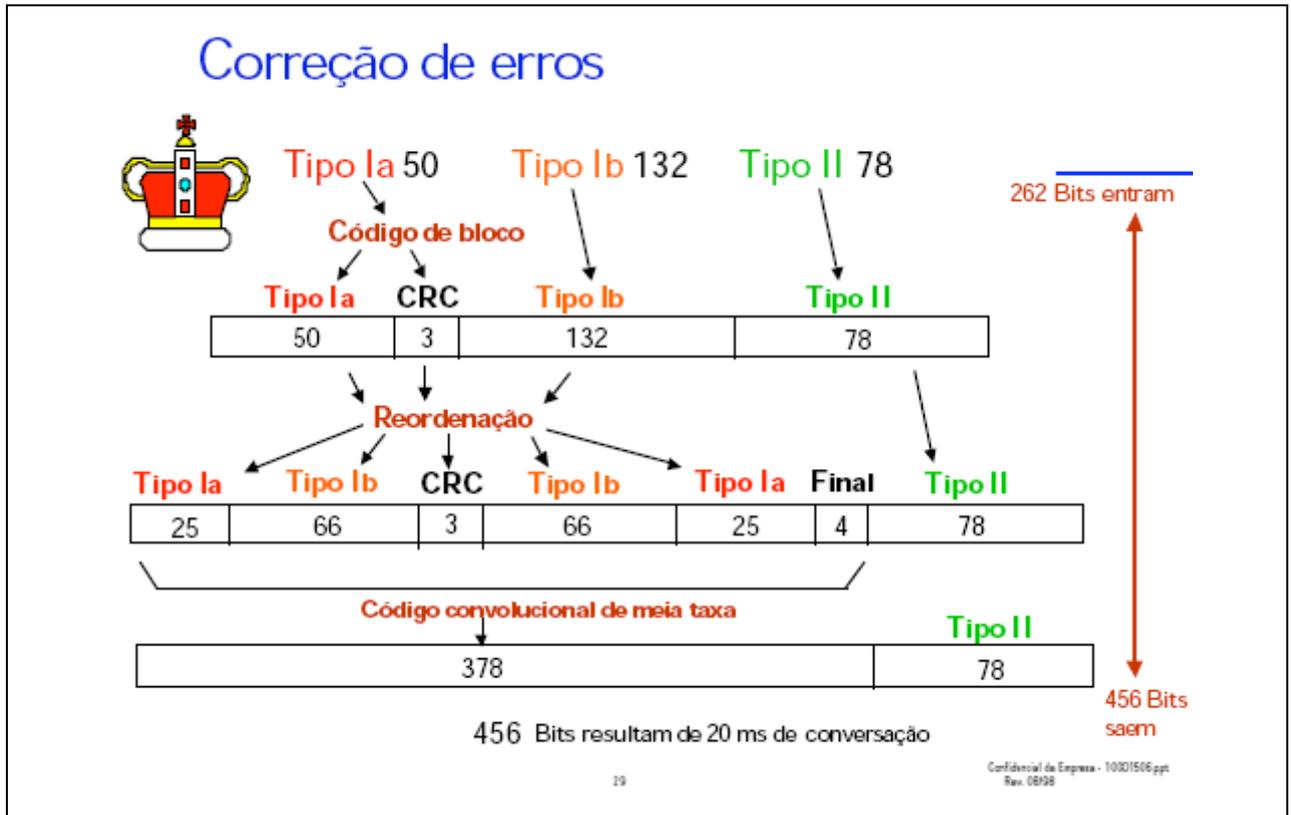


Figura 23. Correção de erros

Fonte: [http://www.projetoederedes.com.br/apostilas/apostilas\\_telefonia.php](http://www.projetoederedes.com.br/apostilas/apostilas_telefonia.php)

A natureza da interface aérea GSM resulta na introdução de alguns erros de bit.

Os bits são manipulados de forma que haja uma maior probabilidade de que os erros ocorram onde prejudiquem menos. A qualidade do som é mais afetada pelos bits de coeficientes mais significativos do que pelos bits menos significativos. Os bits de menor importância, ou bits de tipo II, não têm correção ou detecção de erros. Os bits mais importantes, de tipo Ia, têm detecção de erro, com a inclusão de bits de CRC. No tipo Ia e o tipo de importância média Ib, há a inclusão de bits de correção de erro convolucional.

Às vezes, é interessante pensar nos bits do GSM como passageiros de uma aeronave! Há três classes, Ia, Ib e II. Os bits mais importantes têm tratamento de primeira classe; eles estão rodeados por muita correção de erro e, no caso dos bits Ia, também pela detecção de erros. Estes bits extras ocupam espaço nos *bursts* do TCH. A segunda classe, os bits de tipo II, ocupam o menor espaço no TCH, assim como os passageiros de primeira e segunda classes na aeronave. Para minimizar os efeitos de uma perda de todo um quadro, os bits são reordenados antes da codificação convolucional de correção de erros.

## 7. SISTEMA CDMA

Acesso Múltiplo por divisão de Código (CDMA) [17] é o nome de uma tecnologia usada para comunicação sem fio em que o transporte das informações ocorre por meio de ondas de rádio. O CDMA foi desenvolvido primeiro nos sistemas militares de telecomunicações via rádio. Ele gasta pouca energia; usa as frequências disponíveis de forma muito eficiente, simplifica o planejamento, pois todas as máquinas transmitem e recebem na mesma frequência; usa exclusivo sistema de códigos que permitem receber o sinal desejado mesmo em condições adversas.

É muito difícil interferir numa transmissão via rádio que use CDMA, e também, rastrear e ouvir clandestinamente esta transmissão.

Em 1989, os militares americanos liberaram a tecnologia CDMA para aplicações comerciais, Lucent, Motorola, Nec, Samsung e muitas outras vêm investindo nesta tecnologia. Hoje ela está sendo usada comercialmente em vários países.

O CDMA difere tanto dos sistemas convencionais, que se torna difícil estabelecer comparações. No celular analógico AMPS, por exemplo, cada telefone usa um par de frequências de rádio (canal) quando se quer falar, sendo um par para transmitir informações e outro para recebê-las.

Cada assinante utiliza um só canal. Esses canais são semelhantes aos de TV: cada um deles está numa frequência específica, exclusiva, e não se mistura com os outros. Para ver uma emissora é preciso sintonizar seu canal (suas frequências).

No sistema CDMA, todos os assinantes transmitem e recebem informações usando o mesmo canal, ao mesmo tempo. A cada assinante é atribuído um código exclusivo. Para receber as informações de um assinante específico, só conhecendo seu código. Seria como se todas as emissoras de TV fossem transmitidas no mesmo canal, ao mesmo tempo. A imagem recebida ficaria uma bagunça completa. Contudo, se antes da transmissão fosse associado um código a cada emissora, bastaria informar ao aparelho de TV o código desejado, e a imagem da TV ficaria nítida.

Imagine duas pessoas conversando numa sala. É mais ou menos assim que o sistema analógico AMPS funciona. Imagine agora que em numa sala muitas pessoas estão falando ao

mesmo tempo, mas você consegue entender uma pessoa por vez. Isto é porque o cérebro pode separar as características de uma voz e diferenciá-la das outras que estão falando. À medida que a festa fica maior, cada pessoa tem que falar mais alto, e o tamanho da sua zona da conversa fica menor. Isto ficaria ainda mais dramático se cada conversa fosse num idioma diferente. Com o CDMA é semelhante, mas o reconhecimento baseia-se no código. A interferência é a soma de todos os demais usuários da mesma frequência CDMA, tanto dentro como fora das células domiciliares e com as versões retardadas destes sinais. Ainda é preciso incluir o ruído térmico habitual e os distúrbios atmosféricos. É mais ou menos assim que o CDMA funciona.

## 7.1 A Tecnologia

No sistema AMPS, quando o usuário conversa, ocupa duas posições fixas no espectro de frequências: as portadoras para transmitir e receber informações ou seu canal de voz. No sistema digital TDMA, ele divide o mesmo canal com dois outros assinantes, cada um a seu tempo. Numa ERB (Estação Rádio-Base) CDMA os sinais de 60 assinantes são transmitidos na mesma frequência portadora, todos ao mesmo tempo. É uma portadora mais larga de 1,25 MHz, que ocupa o espectro de seis canais AMPS, nesta ERB, em grupos de sete células.

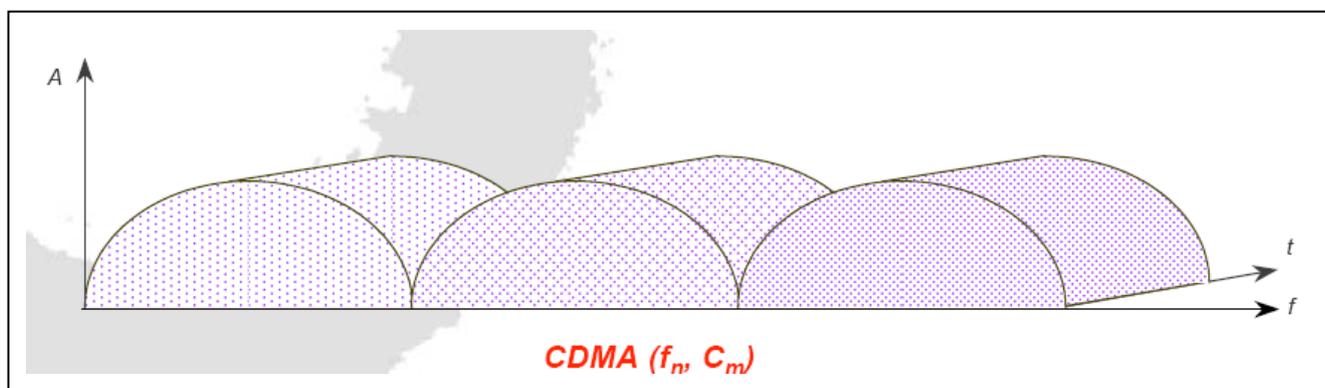


Figura 24. Acesso CDMA  
Fonte: Lucente *technologies*

## 7.2 PROCESSO:

- O sistema CDMA é digital, isto é, a voz dos assinantes é digitalizada (convertida em bits) antes de qualquer coisa. Pelo processo mais comum de conversão PCM (*Pulse Code Modulation*), a digitalização de 1 segundo de conversa resulta em 64.000 bits ou 64 kbps. Por que digitalizar? Porque o CDMA é um equipamento computadorizado; como todo computador, trabalha apenas com zeros e uns. E, além disso, é mais fácil fazer cálculos complexos usando bits do que sinais analógicos;

- No padrão CDMA IS – 95 (*International Standard*), o sinal PCM de 64 kbps é comprimido para um sinal de velocidade menor. Esta compressão é realizada pelo *vocoder* ou codificador de voz. Há vários tipos de *vocoders*, que produzem velocidades diferentes, sendo mais utilizado o 8 kbps EVCR (de ótima qualidade de voz). *Vocoders* são importantes para aproveitar melhor o espectro de frequências: onde caberia só um sinal de 64 kbps cabem vários sinais de 8 kbps;

- A seqüência digital na saída do *vocoder* é transformada em outra seqüência de taxa maior. Isso se consegue somando-se o sinal digital de voz através de um circuito “OU\_EXCLUSIVO” com uma seqüência pseudo-aleatória gerada por meio de um código específico de 128 bits (no caso do IS- 95), ou seja, cada bit de informação será substituído por este código. Ao bit zero atribui-se um código (entre trilhões de combinações) e ao bit 1 atribui-se o código inverso ao do bit zero;

- No receptor, se aparecer o código, recupera-se o bit zero, se aparecer o inverso do código, recupera-se o bit 1. Importante: os 128 bits do código ocuparão o mesmo tempo do bit original, ou seja, a velocidade do código é muito maior. Se o *vocoder* produzir um sinal de 8 kbps, depois de codificado este sinal será de 1,228 Mbps, tornando mais fácil a recuperação posterior do sinal, ainda em condições adversas. Esta técnica de expansão do espectro chama-se, em inglês, *spread spectrum*, ou espalhamento espectral, a essência do CDMA;

- A seqüência resultante do sinal codificado modula uma portadora “fo” produzindo o sinal que é transmitido. No meio de transmissão, este sinal se junta a outros sinais modulados na mesma freqüência, mas que utilizam seqüências pseudo-aleatória que foi utilizada na transmissão. Não haverá então, mistura de canais recebidos, desde que as seqüências de transmissão utilizadas sejam não correlatas;

- O ser humano também consegue identificar códigos extensos mais facilmente. Por exemplo, é mais fácil notar a diferença entre as palavras “consustanciação” e “telecomunicações”, quando gritadas por alguém, do que distinguir as palavras “pé” e “do”;

- Daí porque é mais fácil recuperar uma informação de muitos bits que de um único bit;

- No meio de transmissão, o canal desejado fica mergulhado sob os canais compartilhantes da mesma faixa espectral. Após correlação com a seqüência local correta, o canal desejado agrega-se se tornando estreito e fica muito mais intenso. Com isso ele emerge acima do nível do conjunto de canais compartilhantes, que continuam espalhados. Em seguida, este canal desejado estreito passa por um filtro adequado à sua largura de faixa estreita e a seguir é demodulado.

Quando existe um sinal interferente estreito no meio de transmissão, o correlator espalha esta interferência diluindo a sua energia ao longo da faixa espalhada. Portanto, a interferência se torna ineficaz, com isto, basta ir decodificando os zeros e uns originais, descomprimi-los e, a partir do sinal PCM, recuperar o sinal analógico. Os outros códigos, que não interessam, são simplesmente ignorados. Todas as células (ERB's) trabalham com as mesmas freqüências portadoras, inclusive as adjacentes. Dentro da célula, as portadoras devem estar

transmitindo com a mesma potência, para que não possam ser diferenciadas pela intensidade do sinal. As portadoras das células adjacentes chegam atenuadas e comportam-se como ruído. Como todas as células usam as mesmas frequências, não é necessário fazer planejamento de frequências. Da mesma forma, os sinais vindos das ERB's próximas não serão mais problema.

No AMPS a necessidade de reutilizar frequências (dos canais) impede que os mesmos canais sejam utilizados nas células adjacentes (*cluster*). Como consequência, os 416 canais da banda A, por exemplo, são reduzidos a 59 canais por célula, no caso do cluster de 7 células.

Planejamento *clusters* de 21 células pode-se ter apenas 19 canais por célula, que fica mais vulnerável a congestionamentos por que, uma hora ou outra, poderá haver mais de 19 assinantes querendo falar naquela célula. Estes problemas não ocorrem no CDMA porque todas as células estão transmitindo na mesma frequência, usando toda a capacidade disponível no espectro.

A recepção do sinal original e dos sinais refletidos (fenômeno de propagação por vários caminhos) é algo muito sério nos sistemas AMPS, GSM e TDMA. O sinal original e suas réplicas refletidas têm fase, atenuação e atraso distintos: pode acontecer que um sinal cancele o outro.

Os telefones celulares CDMA podem receber estes vários sinais ao mesmo tempo, compará-los e aproveitar o melhor sinal de cada um deles. Isto se faz usando receptores conhecidos como *Rake*. Três receptores trabalham cada um com uma réplica do sinal. Por meio da comparação entre estas três réplicas, a degradação do sinal é corrigida, resultando num único sinal mais robusto e saudável.

O controle da potência irradiada pelos telefones conforme eles se movimentam, é muito importante para minimizar a interferência sobre às vezes uma ERB ordena 20 comandos por segundo de alteração na potência de transmissão para cada telefone celular. Isto garante que na ERB não chegue nenhum sinal de telefone forte o bastante para se sobrepor aos outros. (Voltando ao exemplo das pessoas falando línguas diferentes numa mesma sala: se uma delas começar a berrar, vai ser difícil distinguir as outras).

Todo o controle de potência do sistema CDMA faz com que tanto telefones quanto ERBs transmitam sempre na menor potência possível, economizando energia. Também o controle de potência de transmissão das ERBs é muito mais acurado. Isto porque todos os telefones celulares

que estão dentro da célula medem as mesmas frequências. E todos eles transmitem suas medidas para a ERB, que tem um panorama completo do sinal na sua região. *Soft handoff* ocorre quando o móvel inicia comunicação com uma nova ERB sem interromper a comunicação com a ERB anterior. Este tipo de *handoff* só pode ocorrer entre canais CDMA que utilizam a mesma frequência, ou seja, o *soft handoff* só ocorre entre canais CDMA de mesma portadora. Durante a conversação, o terminal procura continuamente por outras ERBs. Se for encontrada alguma com potência suficiente, o móvel solicitará o *soft handoff*. Durante algum tempo manterá contato com as duas ERBs. O enlace com a primeira ERB só será interrompido quando o nível do sinal cair de um certo limiar.

Durante o *soft handoff* o móvel estabelece comunicação com duas ou mais ERBs (ou setores se for o caso) simultaneamente. Ou seja, ele utiliza canais de tráfego direto e reverso para trocar dados (voz e sinais de controle) com todas as ERBs participantes. As ERBs envolvidas enviam seus frames para a CCC, que escolhe o melhor deles. Da mesma forma, o móvel recebe o sinal das ERBs envolvidas (canal direto) e efetua uma correção coerente no seu *rake receiver*. Isto proporciona um ganho de capacidade nos canais direto e reverso, aumentando a qualidade do sinal recebido nos dois extremos (telefone e CCC). Tipicamente o *soft handoff* ocorre na região de fronteira entre as células, onde o enlace está mais fragilizado. Uma vez que não há interrupção no enlace, o *soft handoff* é imperceptível ao usuário.

Nos sistemas AMPS e TDMA, há troca de canais (ou de frequências portadoras) quando o usuário sai de uma célula e entra em outra, o que pode ocasionar um pequeno clique. Também pode ocorrer que a ERB de destino não tenha canais disponíveis, resultando em brusca queda de qualidade ou na queda da ligação. Violar o sigilo de uma conversa CDMA não é fácil, ao menos por enquanto, pois o sistema é muito complexo.

Não há, ainda, a venda no mercado de equipamentos especiais para escuta telefônica ou para a construção de clones. Para o padrão AMPS, há sites na Internet que explicam como construir cópias ilegais, cujos equipamentos necessários são vendidos em lojas de dispositivos eletrônicos.

## **8. SISTEMA DE TERCEIRA GERAÇÃO**

### **8.1. CDMA 1xRTT**

O CDMA 1x RTT [24] é a primeira fase do CDMA 2000 e tem as principais características:

- ocupa o mesmo espectro do CDMA 1x;
- adiciona capacidade ao espectro já existente ( $>$  Erlang/Hz);
- a capacidade voz será o dobro da capacidade do CDMA 1x;
- não há necessidade de aquisição de espectros adicionais, com uma migração suave, sem rupturas tecnológicas;
- poderá operar nas faixas de 450, 700, 800, 850, 1900 MHz;
- terminais tri-mode já estão disponíveis comercialmente: AMPS-2G-3G;

## 8.2. EV-DO

Os sistemas celulares de Terceira Geração (3G) [17] tem sido exaustivamente discutidos e longamente esperados pelos que trabalham no meio e também pelo público em geral. É sabido que a queda da economia mundial teve um impacto significativo no ramo de telecomunicações e atrasou a implantação do 3G em todas as partes. Entretanto, não é tão divulgado que mais de 3.5 milhões de assinantes na Coreia do Sul experimentam hoje serviços multimídia de alta qualidade em seus telefones celulares a velocidades de até 2.4 Mbps. O sucesso de tais serviços 3G, incluindo vídeo *streaming*, vídeo e áudio sob demanda, acesso rápido à Internet e e-mails foi alcançado através da tecnologia CDMA2000 1xEV-DO.

Com inumeráveis aplicações e mais de 40 terminais comerciais 1xEV-DO no mercado, incluindo aparelhos com câmera, PDAs, cartões para laptops e *modems* para acesso fixo, não é surpresa que as operadoras coreanas estejam obtendo um ARPU (Receita Média Por Usuário, sigla em inglês) de dados bem acima das observadas com tecnologias anteriores. O grande portfolio de terminais mostra a maturidade que a tecnologia alcançou e o potencial de mercado previsto pela indústria em geral.

Outras grandes operadoras de CDMA, como *Verizon Wireless* e KDDI, recentemente iniciaram serviços comerciais 1xEV-DO nos EUA e no Japão, respectivamente. Previamente, sistemas 1xEV-DO foram implementados com sucesso para acesso banda-larga sem fio por operadoras fixas como Monet (EUA) e Vésper (Brasil). O último exemplo nos fornece um fato interessante. Durante os primeiros 6 meses após lançamento comercial na cidade de São Paulo, a

rede 1xEV-DO da Vésper entregou mais de 20 Terabytes de dados aos seus assinantes utilizando apenas 30 *cell sites* (ERBs). Esta marca é bastante significativa e inconcebível em qualquer sistema celular há poucos anos atrás.

### 8.2.1. O que é 1xEVDO

Basicamente, 1xEV-DO é um sistema de dados sem fio com alta velocidade e alta capacidade que combina a conveniência da mobilidade com o desempenho de uma rede de dados fixa. É verdadeiramente uma tecnologia 3G uma vez que permite transmissão de dados com taxas acima de 2.4 Mbps e ao mesmo tempo permite serviço de dados multimídia bastante avançados.

Mais do que isso, 1xEV-DO é uma solução com custo muito competitivo já que apenas uma ERB é capaz de entregar mais que 4 Mbps de capacidade usando um canal de 1.25 MHz. Essa eficiência no uso do espectro significa para as operadoras CDMA podem transmitir muito mais dados para seus usuários com um *upgrade* mínimo em sua rede. A combinação de variados serviços de valor agregado com conteúdos multimídia e baixo custo por MByte é a chave para aumentar a demanda e o sucesso dos serviços de dados sem fio.

Com sua alta velocidade e o baixo atraso para se conectar a Internet, 1xEV-DO suporta uma grande variedade de serviços de dados sem fio e sua aplicação atinge diferentes segmentos como corporativo, consumidor e acesso fixo de banda larga.

Empresas podem usar o acesso 1xEV-DO para prover conexão VPN para seus funcionários a qualquer hora e em qualquer lugar com quase o mesmo nível de performance encontrado na sua LAN do escritório. A produtividade aumenta já que os funcionários podem checar e-mails remotamente (mesmo contendo grandes anexos), ter acesso a ferramentas de *software* corporativas (sistemas ERP, etc) e uso de soluções verticais como a automação de força de venda reduzindo significativamente o tempo do processo de venda.

Por outro lado, é fora do ambiente de trabalho que o 1xEV-DO possibilita adoção massiva de serviços sem fio de Internet, propiciando aplicações focadas em entretenimento e multimídia. As aplicações como vídeo/áudio *streaming* e *download* a uma velocidade bastante satisfatória,

vídeo sob demanda, jogos *multi-player on-line*, são de fato bastante apelativas para mercado consumidor.

Outro segmento que pode se beneficiar com 1xEV-DO é o mercado de banda larga residencial e de pequenas empresas já que uma rede 1xEV-DO pode ser facilmente instalada, se comparada a uma rede com fio, e pode prover uma performance similar a um serviço cabo/DSL de 128 a 256 kpbs/s.

### 8.2.2. Frequências de 450 MHz, 850 MHz e 1,9 GHz

1xEV-DO está preparado para operar nas faixas de frequência de 450 MHz, 850 MHz e 1,9 GHz facilitando a implementação por operadoras que já tenham licença para essas bandas.

Em comparação, o WCDMA (padrão europeu de 3G, também chamado de UMTS) inicialmente vai permitir *downloads* de no máximo 384 kbps (rel.99), e posteriormente até 2 Mbps usando inteiramente uma banda de 5 MHz (onde seriam possíveis implementar 3 portadoras 1xEV-DO) com a desvantagem adicional de requerer novas licenças do governo no espectro de 2.1 GHz.

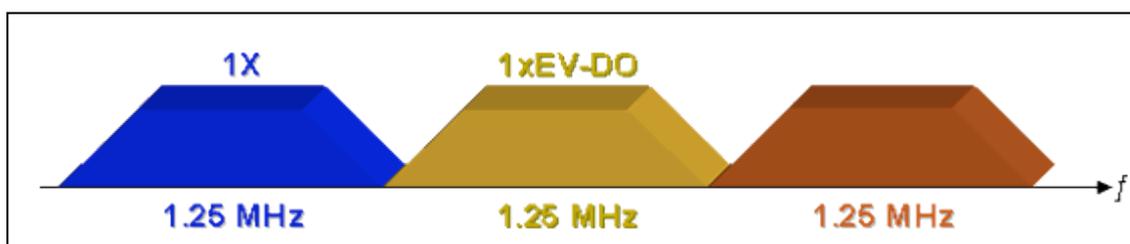


Figura 25. Frequências

Fonte: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcdma>

Não atingindo estes requisitos, a experiência do usuário será degradada, reduzindo a percepção do valor do serviço sem fio e, conseqüentemente, sua satisfação e adoção. Por exemplo, o *download* de um arquivo MP3 de 4MBytes levaria, em média, 25 minutos em GPRS, 8 minutos

em 1xRTT e somente 50 segundos com o 1xEV-DO. Esta tremenda diferença pode ser um fator determinante para usuários decidirem se usam ou não os serviços de dados sem fio.

### **8.2.3. Taxa de transmissão**

De fato, a taxa de transmissão máxima de dados na rede 1xEV-DO é de 2.45 Mbps (real, não apenas teórico), ultrapassando os critérios adotados pela ITU para definir um sistema 3G. Entretanto como em outros sistemas celulares, enquanto o usuário se move na área de cobertura de uma ERB, ele experimentará boas e más condições de sinal, reduzindo a taxa média efetiva para cerca de 700 kbps/s. No *upload* (terminal para ERB), o usuário tem taxas de dados de até 153 kbps/s, enquanto que a média de capacidade do setor da ERB fica em torno de 350 kbps/s. A natureza assimétrica da tecnologia 1xEV-DO está de acordo com os serviços e aplicações disponíveis na Internet hoje. Na realidade, essa característica intencional ajuda a reduzir a complexidade dos dispositivos, equipamentos de rede, tempo para mercado e, sobretudo, os investimentos necessários para implantação de 1xEV-DO. A tecnologia 1xEV-DO evoluirá atendendo os novos serviços, sendo criados na Internet, sempre oferecendo o melhor custo-benefício para o mercado *wireless*.

### **8.2.4. Evolução da Tecnologia**

Apesar do 1xEV-DO ser uma tecnologia madura, novas funcionalidades estão sendo criadas, por *upgrades* de *software* ou adições no padrão, para adaptar às necessidades futuras das operadoras de serviços e aumento de capacidade.

Um ponto importante ao prover um bom desempenho para os usuários é diferenciar suas necessidades de qualidade de serviço (QoS). Alguns usuários estão dispostos a pagar por um tratamento prioritário em seu acesso, criando assim os chamados serviços ouro, prata e bronze. Por outro lado, aplicações têm em geral diferentes necessidades de latência e *jitter* (variação do atraso).

Para suportar diferentes níveis de QoS, novas facilidades estão sendo desenvolvidas como a Inter-User QoS (para diferenciar usuários) e a Intra-Users QoS (para diferenciar aplicações). Novos tipos de pacotes com tamanhos menores estão também sendo introduzidos para minimizar ainda mais a latência dos serviços.

O sucesso coreano de *broadcast* de serviços de vídeo sobre o 1xEV-DO mostra que esta é uma aplicação importante e como é *broadcast* mais de um usuário pode estar acessando o mesmo canal na mesma hora, assim um desenvolvimento interessante está sendo feito para compartilhar um mesmo *slot* 1xEV-DO com mais de um usuário simultaneamente. Este é um método eficiente de distribuição de conteúdo em um ambiente celular. A fim de melhorar a performance de usuário, o enlace reverso terá uma taxa de dados 8 vezes maior, chegando a 1.2 Mbps com a adição de modulação QPSK e ganhos de código mais altos para pacotes grandes. Para esta facilidade, mudanças no padrão se fazem necessárias e a revisão do padrão será a Rev.A. A revisão A também trará um melhor desempenho no *downlink* com taxas de até 3.072 Mbps e uma nova taxa intermediária de 1.5 Mbps (ambos com modulação 16QAM).

Um equalizador também está sendo desenvolvido para aumentar a capacidade do sistema de 20 a 60% em ambientes de baixa mobilidade. Com esta facilidade, mais usuários farão uso da taxas altas de dados.

A capacidade de possibilitar o acesso a duas portadoras CDMA também está sendo estudada para permitir chamadas simultâneas de voz (em 1x) e dados 1xEV-DO no mesmo terminal e também possibilitar acesso a 2 portadoras de 1xEV-DO por um mesmo usuário, efetivamente dobrando a velocidade de *downlink*.

### **8.3. WCDMA**

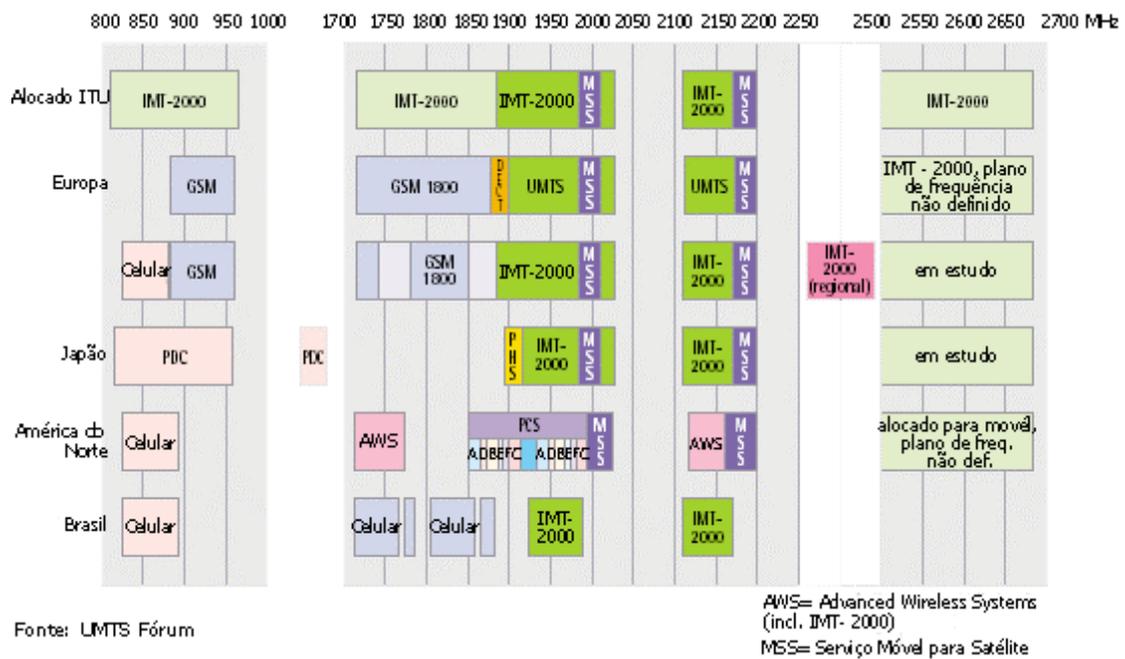
O WCDMA [17] é um padrão de interface rádio, entre o terminal celular e a Estação Rádio Base, desenvolvido para o UMTS e padronizado pela UIT.

O WCDMA tem dois modos de operação:

- *Frequency Division Duplex (FDD)*, no qual os enlaces de subida e descida utilizam canais de 5 MHz diferentes e separados por uma frequência de 190 MHz;



O UMTS assumiu como hipótese de que o novo sistema seria implantado utilizando novas faixas de frequências a serem adquiridas pelas operadoras. Isto possibilitou a adoção do WCDMA com canais de 5 MHz. O IMT-2000 na WRC2000 alocou frequências para os sistemas móveis celulares possibilitando não só a implantação de novos sistemas como um alinhamento global das frequências utilizadas de modo a facilitar a sua implantação nas várias partes do mundo. A figura a



seguir apresenta as frequências alocadas nas principais regiões do mundo.

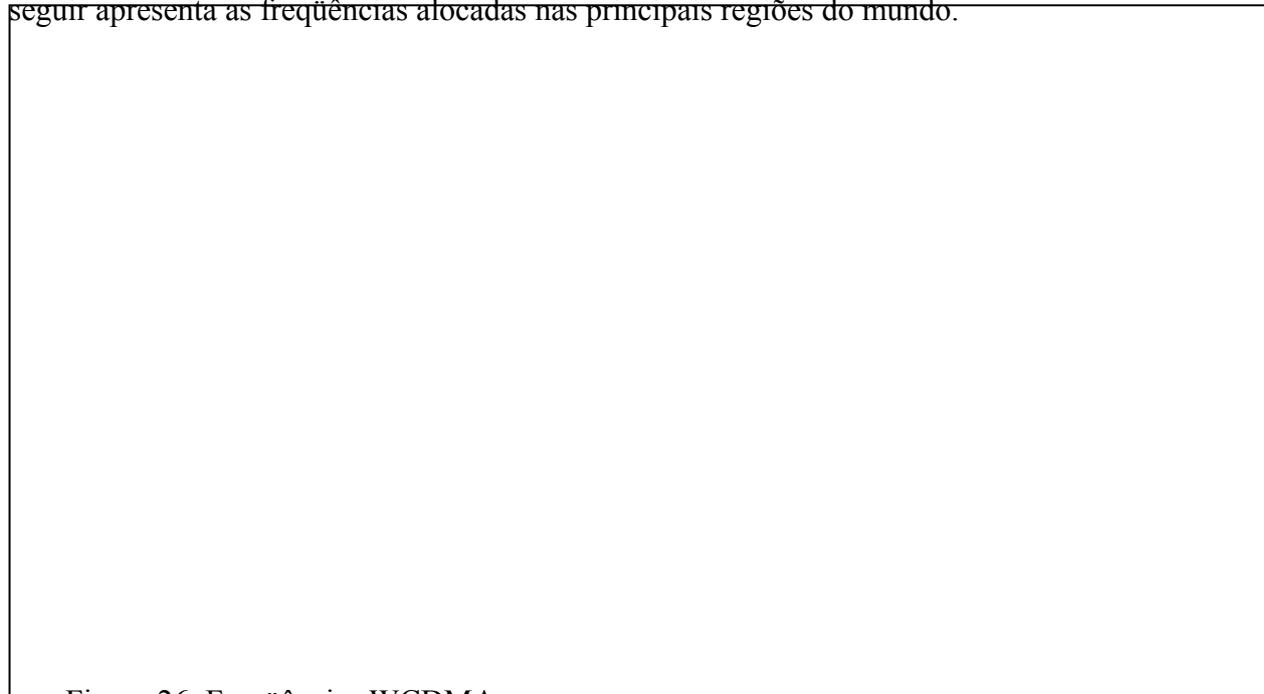


Figura 26. Frequências WCDMA

Fonte: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcdma>

A alocação das frequências de 1,8 GHz para as bandas D e E no Brasil teve como objetivo preservar a faixa de 1,9 GHz para os sistemas de 3ª Geração.

Este novo espectro denominado UMTS foi objeto de leilões, muitas vezes milionários na Europa.

As operadoras de GSM dispõem ainda de estratégias mais graduais de migração para o UMTS, sem aquisição de novo espectro, através da implantação do EDGE.

### **8.2.2. Integração com a rede existente.**

O UMTS deverá ser introduzido gradualmente nas redes das operadoras passando a existir durante um longo tempo a convivência deste sistema com sistemas já existentes, inclusive do usuário devido a uma cobertura inicial menor do UMTS.

O que se nota é a convivência de uma *Core Network* GSM/UMTS com das duas opções de acesso rádio:

- GSM/EDGE através da *GSM EDGE Radio Access Network* (GERAN);
- WCDMA através da *UMTS Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN).

Garantiu-se desta forma uma característica de rádio na integração para UMTS. Assim serviços desenvolvidos para o núcleo do UMTS poderão ser usados por estas interfaces rádio e outras como as de WLAN, a serem incorporadas.

## **9. SISTEMA 4G**

### **9.1. O QUE É?**

No presente a velocidade de transmissão de dados está entre 9,6 Kbits/s para sistema celular 2G e 2,4 Mbits/s para sistema 3G, para os usos atuais essas taxas de transmissão são “lentas”,

especialmente em áreas fechadas ou quando a rede está congestionada. O sistema 4G [24] é planejado para ter uma taxa de até 20 Mbits/s.

## **9.2. QUANDO SERÁ INTRODUZIDO?**

O sistema 4G está planejado para ser introduzido no Japão por volta de 2010.

## **9.3. TIPOS DE SERVIÇOS**

O sistema 4G tentará acoplar uma capacidade multi – serviço integrando todas as tecnologias móveis que existem ( GSM, GPRS, IMT-2000, Wi-Fi, *Bluetooth*).

Ainda é impossível prever quais serão os tipos de serviços ou as necessidades dos clientes para com o sistema 4G, mas a principal característica será a alta qualidade de transmissão de vídeo.

As principais características do sistema 4G são:

- a capacidade de estar disponível em todo lugar e a qualquer hora, para isso deve-se estabelecer um padrão a nível mundial e também prover serviços a tudo que necessite de comunicação;
- é essencial que o novo sistema tenha uma plataforma multi funcional para que o usuário deixe de usar apenas a conversação e passe a utilizar mais os serviços de transmissão de dados;
- e tudo isso a um baixo custo para que grandes volumes de dados sejam transmitidos através da rede. A expectativa é que o custo esteja entre 1/0 a 1/00 do 3G.

## **10. IMT 2000**

### **10.1. O QUE É?**

IMT 2000 [24] é uma definição coordenada globalmente de assuntos-chaves de conversão como uso de frequências de espectro e técnicas padronizadas.

Opções múltiplas de rádio tem sido incluídas no padrão IMT 2000 para permitir serviços de evolução dos vários sistemas móveis 2G que estão espalhados pelo mundo.

IMT 2000 também é:

- altas taxas de transmissão tanto em ambientes internos quanto externos;
- transmissão de dados simétrica e assimétrica;
- transmissão por circuito e por pacotes como no tráfico IP e vídeo em tempo real;
- qualidade de voz comparável a uma rede cabeada;
- maior capacidade e melhor eficiência espectral;
- muitos serviços simultâneos para os usuários finais e terminais através de serviços multimídias;
- *roaming* internacional, entre diferentes sistemas operacionais;
- um padrão mundial aberto para suprir as necessidades do mercado.

## 10.2. EVOLUÇÃO

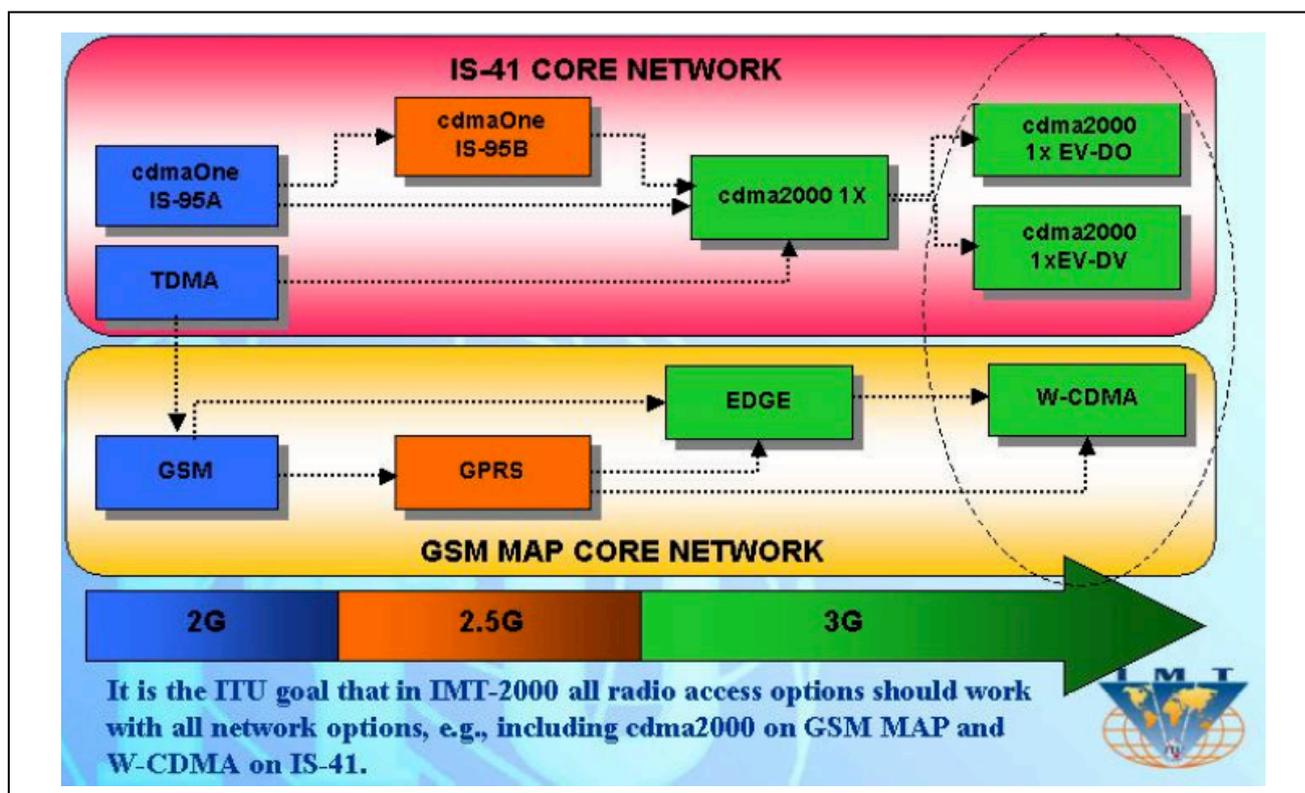


Figura 27. Caminhos da evolução  
Fonte: [www.imt-2000.com](http://www.imt-2000.com)

## 11. SIMULAÇÕES

A capacidade dos sistemas celulares é essencialmente limitada pelas interferências, não só pelo ruído, e para se calcular a capacidade de tráfego é necessário um grande número de operações, e isso justifica o uso de simulações em sistemas celulares.

Abaixo apresentamos algumas simulações de transmissão do sistema CDMA 1x.

### 11.1 CDMA 1x

A Figura 28 mostra a simulação da transmissão de voz de um sistema CDMA 1x para duas taxas de transmissão, e verifica-se que a cobertura é maior para a menor taxa.

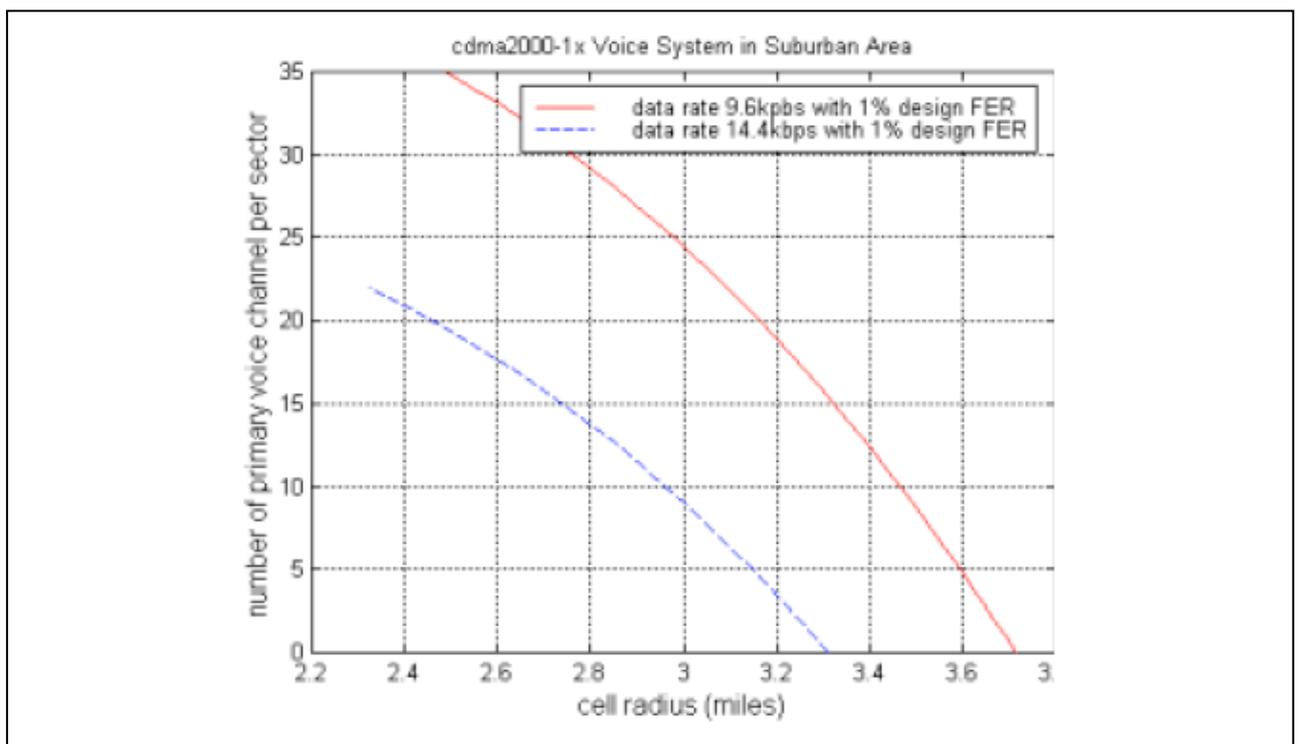


Figura 28. Simulação CDMA 1x  
Fonte: Lucent *technologies*



A Figura 29 mostra a simulação de transmissão com comutação por circuito de um sistema CDMA 1x, onde a taxa de transmissão vai diminuindo com o aumento da distância.

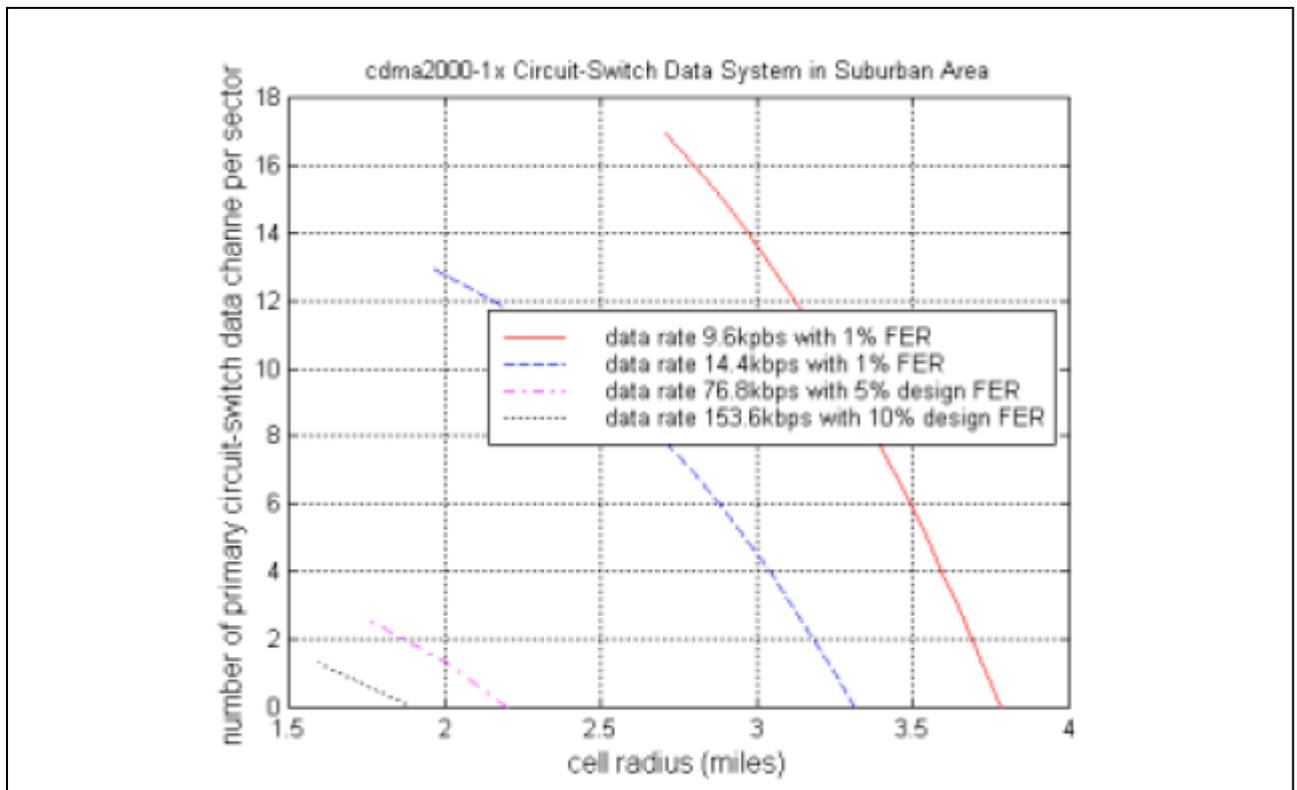


Figura 29. Simulação CDMA 1x por circuito  
Fonte: Lucent *technologies*

A Figura 30 mostra a relação entre a capacidade máxima de transmissão de dados versus a capacidade máxima de tráfego de voz em Erlang por portadora em um setor de um sistema CDMA 1x. A máxima capacidade do tráfego de dados ocorre quando não há tráfego de voz e vice-versa.

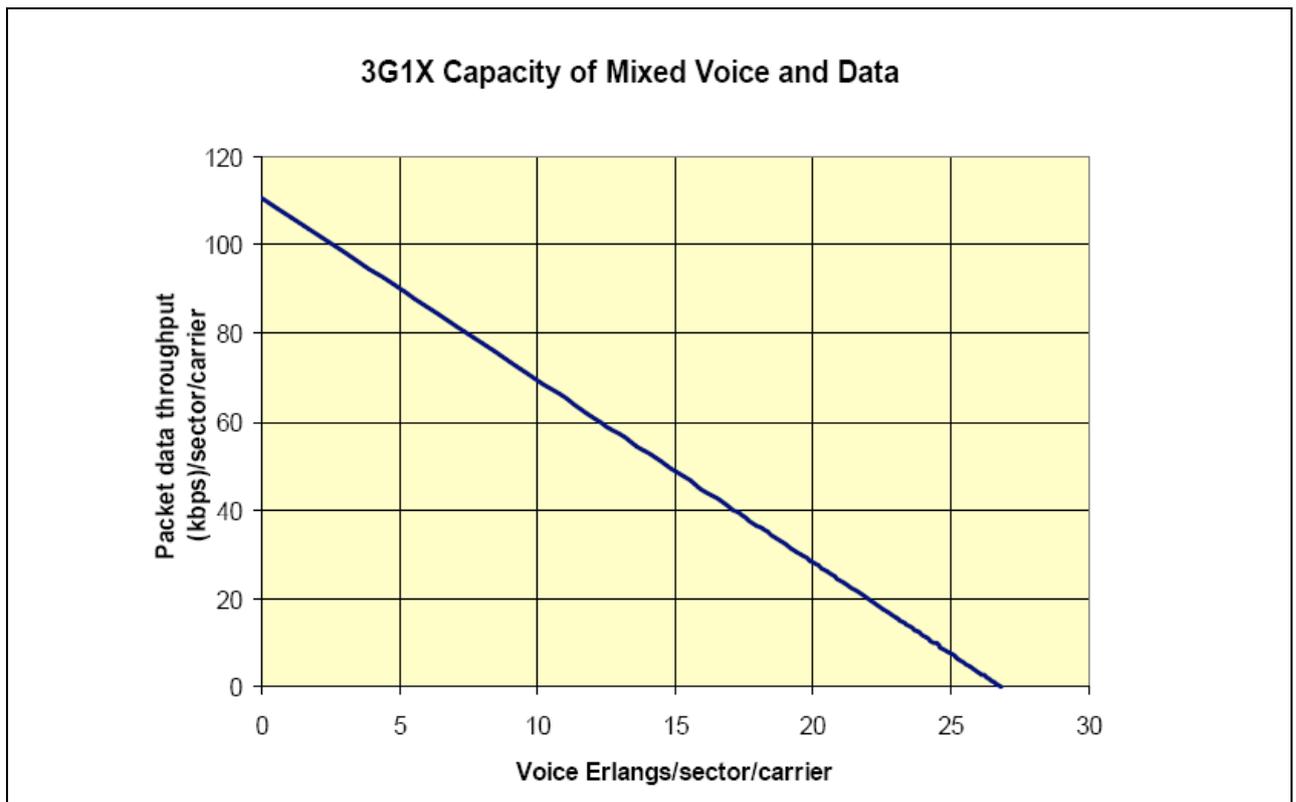


Figura 30. Capacidade CDMA 3G 1x  
Fonte: Lucent *technologies*

## **12. LINK BUDGET**

### **12.1. INTRODUÇÃO**

Link budget é uma ferramenta para análise de todos os ganhos e perdas envolvidas entre a geração, propagação e recepção de um sinal entre a estação rádio base e o terminal móvel. Este processo é muito importante para o correto dimensionamento do sistema celular, pois age como indicador das máximas perdas suportadas pelo link para uma dada taxa de transmissão indicando o tamanho aproximado da célula.

A principal limitação do sistema celular está relacionada com o uplink, isso é bastante plausível, pois a reserva de energia disposta no terminal é infinitamente limitada em relação à energia disposta na estação rádio base. Por isso o primeiro passo é a realização dos cálculos relacionados ao enlace reverso, com os resultados desses cálculos podemos fazer a segunda etapa que é está relacionada com o enlace direto.

Para o bom funcionamento do sistema garantindo uma qualidade aceitável na comunicação, é necessário que ambos os enlaces direto e reverso estejam balanceados, ou seja, ambos deverão ter área de cobertura compatível. Isso evita problemas comuns como o desperdício de potência pela estação rádio base, interferência entre bases, entre outros.

### **12.2 LINKS**

Essa ferramenta se mostra de extrema importância no dimensionamento inicial de um sistema celular. Considerando igualmente todos os fatores externos, a célula poderá oferecer maior cobertura de operação ou suportar maior carga de usuários somente trocando de tecnologia.

Essa ferramenta é extremamente complexa, em um planejamento real são considerados muitos fatores que não foram citados neste trabalho devido a sua complexibilidade. Quando mais complexo for o modelo maior será o número de variáveis envolvidas e maior será a exatidão do resultado do cálculo.

Para os cálculos foram utilizadas as seguintes fórmulas:

Perdas em espaço livre:

$$L = 32,44 + 20\log f \text{ (MHz)} + 20\log d \text{ (km)} \quad [6]$$

Perdas pelo modelo de Hata:

$$L_H = 69,55 + 26,16 \cdot \log\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right) - 13,82 \cdot \log\left(\frac{h_{eff}}{m}\right) - \frac{c(h_R)}{dB} + (44,9 - 6,55 \cdot \log\left(\frac{h_{eff}}{m}\right)) \cdot \log\left(\frac{d}{km}\right)$$

$E_b/N_0$  = valor adotado aleatoriamente.

Abaixo estão alguns cálculos de links para os sistemas CDMA:

- IS 95 enlace reverso

**SISTEMA - IS 95**

Descrição	Espaço Livre	Urbana 8kbps	Suburbana 8kbps	Unidade
Potência de transmissão do móvel	24	24	24	dBm
Ganho da antena do móvel	0	0	0	dB
<b>EIRP do móvel</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>dBm</b>
<b>Ganho da antena da Base</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>dB</b>
Perda em adaptadores	2	2	2	dB
Atenuação do guia de onda	5	5	5	dB/100m
Comprimento do guia de onda	30	30	30	m
Outras Perdas	1	1	1	dB
<b>Perda no guia de onda</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>dB</b>
Densidade de ruído térmico	-174	-174	-174	dBm/Hz
Figura de ruído	5	5	5	dB
Taxa de dados	8.000	8.000	8.000	kbps
Eb/No	5,00	5,00	5,00	
Ganho de processamento	22,04	22,04	22,04	dB
Carga do sistema	50%	50%	50%	%
Margem de interferência	3,01	3,01	3,01	dB
<b>Sensibilidade do receptor da base</b>	<b>-144,00</b>	<b>-144,00</b>	<b>-144,00</b>	<b>dBm</b>
<b>Fading rápido</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>dB</b>
<b>Fading lento</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>dB</b>
<b>Máxima perda permitida</b>	<b>168,25</b>	<b>168,25</b>	<b>168,25</b>	<b>dB</b>

**Enlace Reverso**

Perda de penetração em construção	-	15	15	dB
Perda de propagação do uplink	-	153,25	153,25	dB
Altura da antena da base	-	30	30	m
Altura da antena do móvel	-	1,80	1,80	m
Frequência central da portadora	825	825	825	MHz
Fator de correção de terreno (HATA)	-	0	-9,72	-
Perda de propagação em 1 km (A)	-	124,67	114,95	dB
Inclinação (B)	-	35,22	35,22	dB/Hz
<b>Raio de cobertura</b>	<b>7482,49</b>	<b>6,48</b>	<b>12,23</b>	<b>km</b>

- IS 95 enlace direto

**SISTEMA IS 95**

Descrição	Espaço Livre	Canal de Tráfego Urbana 8kbps	Canal de Tráfego Suburbana 8kbps	Unidade
Potência de transmissão da base	35	35	35	dBm
Ganho da antena da base	16	16	16	dBi
Perda em adaptadores	1	1	1	dB
Atenuação do guia de onda	6	6	6	dB/100m
Comprimento do guia de onda	35	35	35	m
Outras Perdas	1	1	1	dB
<b>Perda no guia de onda</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>dB</b>
<b>EIRP da Base</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>dBm</b>
Ganho da antena do móvel	0	0	0	dBi
Perda no corpo	3	3	3	dB
Densidade de ruído térmico	-166	-166	-166	dBm/Hz
Figura de ruído	8	8	8	dB
Taxa de dados	8.000	8.000	8.000	kbps
Eb/No	5,00	5,00	5,00	-
Ganho de processamento	22,04	22,04	22,04	dB
Carga do sistema	50%	50%	50%	%
Margem de interferência	3,01	3,01	3,01	dB
<b>Sensibilidade do receptor da base</b>	<b>-133,00</b>	<b>-133,00</b>	<b>-133,00</b>	<b>dBm</b>
<b>Fading rápido</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>dB</b>
<b>Fading lento</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>dB</b>
<b>Máxima perda permitida</b>	<b>166,65</b>	<b>166,65</b>	<b>166,65</b>	<b>dB</b>

**Enlace Direto**

Perda de penetração em construção	-	10	10	dB
Perda de propagação do downlink	-	156,65	156,65	dB
Altura da antena da base	-	30	30	m
Altura da antena do móvel	-	1,80	1,80	m
Frequência central da portadora	890	890	890	MHz
Fator de correção de terreno (HATA)	-	0	-9,91	-
Perda de propagação em 1 km (A)	-	125,51	115,60	dB
Inclinação (B)	-	36,60	36,60	dB/Hz
<b>Raio de cobertura</b>	<b>5769,13</b>	<b>7,09</b>	<b>13,23</b>	<b>km</b>

- 1xRTT enlace reverso

#### SISTEMA 1xRTT

Descrição	Espaço Livre	Urbana 8kbps	Suburbana 8kbps	Espaço Livre	Urbana 76,8kbps	Suburbana 76,8kbps	Unidade
Potência de transmissão do móvel	24	24	24	24	24	24	dBm
Ganho da antena do móvel	0	0	0	0	0	0	dBi
<b>EIRP do móvel</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>dBm</b>
<b>Ganho da antena da Base</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>dBi</b>
Perda em adaptadores	2	2	2	2	2	2	dB
Atenuação do guia de onda	5	5	5	5	5	5	dB/100m
Comprimento do guia de onda	30	30	30	30	30	30	m
Outras Perdas	1	1	1	1	1	1	dB
<b>Perda no guia de onda</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>dB</b>
Densidade de ruído térmico	-174	-174	-174	-174	-174	-174	dBm/Hz
Figura de ruído	5	5	5	5	5	5	dB
Taxa de dados	8.000	8.000	8.000	76.800	76.800	76.800	kbps
Eb/No	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
Ganho de processamento	22,04	22,04	22,04	12,22	12,22	12,22	dB
Carga do sistema	50%	50%	50%	50%	50%	50%	%
Margem de interferência	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	dB
<b>Sensibilidade do receptor da base</b>	<b>-144,00</b>	<b>-144,00</b>	<b>-144,00</b>	<b>-124,35</b>	<b>-124,35</b>	<b>-124,35</b>	<b>dBm</b>
<b>Fading rápido</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>dB</b>
<b>Fading lento</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>dB</b>
<b>Máxima perda permitida</b>	<b>168,25</b>	<b>168,25</b>	<b>168,25</b>	<b>148,60</b>	<b>148,60</b>	<b>148,60</b>	<b>dB</b>

#### Enlace Reverso

Perda de penetração em construção	-	15	15	-	15	15	dB
Perda de propagação do uplink	-	153,25	153,25	-	133,60	133,60	dB
Altura da antena da base	-	30	30	-	30	30	m
Altura da antena do móvel	-	1,80	1,80	-	1,80	1,80	m
Frequência central da portadora	825	825	825	825	825	825	MHz
Fator de correção de terreno (HATA)	-	0	-9,72	-	0	-9,72	-
Perda de propagação em 1 km (A)	-	124,67	114,95	-	124,67	114,95	dB
Inclinação (B)	-	35,22	35,22	-	35,22	35,22	dB/Hz
<b>Raio de cobertura</b>	<b>7482,49</b>	<b>6,48</b>	<b>12,23</b>	<b>779,43</b>	<b>1,79</b>	<b>3,39</b>	<b>km</b>

- 1xRTT enlace direto

**SISTEMA 1xRTT**

Descrição	Espaço Livre	Canal de Trafego Urbana 8kbps	Canal de Trafego Suburbana 8kbps	Espaço Livre	Canal de Trafego Urbana 76.8kbps	Canal de Trafego Suburbana 76.8kbps	Unidade
Potência de transmissão da bse	35	35	35	35	35	35	dBm
Ganho da antena da base	16	16	16	16	16	16	dB
Perda em adaptadores	1	1	1	1	1	1	dB
Atenuação do guia de onda	6	6	6	6	6	6	dB/100m
Comprimento do guia de onda	35	35	35	35	35	35	m
Outras Perdas	1	1	1	1	1	1	dB
<b>Perda no guia de onda</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>dB</b>
<b>EIRP da Base</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>dBm</b>
Ganho da antena do móvel	0	0	0	0	0	0	dB
Perda no corpo	3	3	3	3	3	3	dB
Densidade de ruído térmico	-166	-166	-166	-166	-166	-166	dBm/Hz
Figura de ruído	8	8	8	8	8	8	dB
Taxa de dados	8.000	8.000	8.000	76.800	76.800	76.800	kbps
Eb/No	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	-
Ganho de processamento	22,04	22,04	22,04	12,22	12,22	12,22	dB
Carga do sistema	50%	50%	50%	50%	50%	50%	%
Margem de interferência	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	dB
<b>Sensibilidade do receptor da base</b>	<b>-133,00</b>	<b>-133,00</b>	<b>-133,00</b>	<b>-113,35</b>	<b>-113,35</b>	<b>-113,35</b>	<b>dBm</b>
<b>Fading rápido</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>dB</b>
<b>Fading lento</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>dB</b>
<b>Máxima perda permitida</b>	<b>166,65</b>	<b>166,65</b>	<b>166,65</b>	<b>147,00</b>	<b>147,00</b>	<b>147,00</b>	<b>dB</b>
<b>Enlace Direto</b>							
Perda de penetração em construção	-	10	10	-	10	10	dB
Perda de propagação do downlink	-	156,65	156,65	-	137,00	137,00	dB
Altura da antena da base	-	30	30	-	30	30	m
Altura da antena do móvel	-	1,80	1,80	-	1,80	1,80	m
Frequência central da portadora	890	890	890	890	890	890	MHz
Fator de correção de terreno (HATA)	-	0	-9,91	-	0	-9,91	-
Perda de propagação em 1 km (A)	-	125,51	115,60	-	125,51	115,60	dB
Inclinação (B)	-	36,60	36,60	-	36,60	36,60	dB/Hz
<b>Raio de cobertura</b>	<b>5769,13</b>	<b>7,09</b>	<b>13,23</b>	<b>600,95</b>	<b>2,06</b>	<b>3,84</b>	<b>km</b>

- EV-DO enlace reverso

**SISTEMA EV-DO**

Descrição	Espaço Livre	Urbana 8kbps	Suburbana 8kbps	Espaço Livre	Urbana 76,8kbps	Suburbana 76,8kbps	Unidade
Potência de transmissão do móvel	24	24	24	24	24	24	dBm
Ganho da antena do móvel	0	0	0	0	0	0	dBi
<b>EIRP do móvel</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>dBm</b>
<b>Ganho da antena da Base</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>dBi</b>
Perda em adaptadores	2	2	2	2	2	2	dB
Atenuação do guia de onda	5	5	5	5	5	5	dB/100m
Comprimento do guia de onda	30	30	30	30	30	30	m
Outras Perdas	1	1	1	1	1	1	dB
<b>Perda no guia de onda</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>dB</b>
Densidade de ruído térmico	-174	-174	-174	-174	-174	-174	dBm/Hz
Figura de ruído	5	5	5	5	5	5	dB
Taxa de dados	8.000	8.000	8.000	76.800	76.800	76.800	kbps
Eb/No	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
Ganho de processamento	22,04	22,04	22,04	12,22	12,22	12,22	dB
Carga do sistema	50%	50%	50%	50%	50%	50%	%
Margem de interferência	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	dB
<b>Sensibilidade do receptor da base</b>	<b>-144,00</b>	<b>-144,00</b>	<b>-144,00</b>	<b>-124,35</b>	<b>-124,35</b>	<b>-124,35</b>	<b>dBm</b>
<b>Fading rápido</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>dB</b>
<b>Fading lento</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>dB</b>
<b>Máxima perda permitida</b>	<b>168,25</b>	<b>168,25</b>	<b>168,25</b>	<b>148,60</b>	<b>148,60</b>	<b>148,60</b>	<b>dB</b>

**Enlace Reverso**

Perda de penetração em construção	-	15	15	-	15	15	dB
Perda de propagação do uplink	-	153,25	153,25	-	133,60	133,60	dB
Altura da antena da base	-	30	30	-	30	30	m
Altura da antena do móvel	-	1,80	1,80	-	1,80	1,80	m
Frequência central da portadora	825	825	825	825	825	825	MHz
Fator de correção de terreno (HATA)	-	0	-9,72	-	0	-9,72	-
Perda de propagação em 1 km (A)	-	124,67	114,95	-	124,67	114,95	dB
Inclinação (B)	-	35,22	35,22	-	35,22	35,22	dB/Hz
<b>Raio de cobertura</b>	<b>7482,49</b>	<b>6,48</b>	<b>12,23</b>	<b>779,43</b>	<b>1,79</b>	<b>3,39</b>	<b>km</b>

- EV-DO enlace direto

**SISTAMA EV-DO**

Descrição	Espaço Livre	Canal de	Canal de	Espaço Livre	Canal de	Canal de	Unidade
		Trafego Urbana 8kbps	Trafego Suburbana 8kbps		Trafego Urbana 76.8kbps	Trafego Suburbana 76.8kbps	
Potência de transmissão da bse	35	35	35	35	35	35	dBm
Ganho da antena da base	16	16	16	16	16	16	dB
Perda em adaptadores	1	1	1	1	1	1	dB
Atenuação do guia de onda	6	6	6	6	6	6	dB/100m
Comprimento do guia de onda	35	35	35	35	35	35	m
Outras Perdas	1	1	1	1	1	1	dB
<b>Perda no guia de onda</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>dB</b>
<b>EIRP da Base</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>dBm</b>
Ganho da antena do móvel	0	0	0	0	0	0	dB
Perda no corpo	3	3	3	3	3	3	dB
Densidade de ruído térmico	-166	-166	-166	-166	-166	-166	dBm/Hz
Figura de ruído	8	8	8	8	8	8	dB
Taxa de dados	8.000	8.000	8.000	76.800	76.800	76.800	kbps
Eb/No	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	-
Ganho de processamento	22,04	22,04	22,04	12,22	12,22	12,22	dB
Carga do sistema	50%	50%	50%	50%	50%	50%	%
Margem de interferência	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	dB
<b>Sensibilidade do receptor da base</b>	<b>-133,00</b>	<b>-133,00</b>	<b>-133,00</b>	<b>-113,35</b>	<b>-113,35</b>	<b>-113,35</b>	<b>dBm</b>
<b>Fading rápido</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>dB</b>
<b>Fading lento</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>dB</b>
<b>Máxima perda permitida</b>	<b>166,65</b>	<b>166,65</b>	<b>166,65</b>	<b>147,00</b>	<b>147,00</b>	<b>147,00</b>	<b>dB</b>

<b>Enlace Direto</b>							
Perda de penetração em construção	-	10	10	-	10	10	dB
Perda de propagação do downlink	-	156,65	156,65	-	137,00	137,00	dB
Altura da antena da base	-	30	30	-	30	30	m
Altura da antena do móvel	-	1,80	1,80	-	1,80	1,80	m
Frequência central da portadora	890	890	890	890	890	890	MHz
Fator de correção de terreno (HATA)	-	0	-9,91	-	0	-9,91	-
Perda de propagação em 1 km (A)	-	125,51	115,60	-	125,51	115,60	dB
Inclinação (B)	-	36,60	36,60	-	36,60	36,60	dB/Hz
<b>Raio de cobertura</b>	<b>5769,13</b>	<b>7,09</b>	<b>13,23</b>	<b>600,95</b>	<b>2,06</b>	<b>3,84</b>	<b>km</b>

- WCDMA enlace reverso

SISTEMA WCDMA							
Descrição	Espaço Livre	Urbana 8kbps	Suburbana 8kbps	Espaço Livre	Urbana 76,8kbps	Suburbana 76,8kbps	Unidade
Potência de transmissão do móvel	24	24	24	24	24	24	dBm
Ganho da antena do móvel	0	0	0	0	0	0	dBi
<b>EIRP do móvel</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>dBm</b>
<b>Ganho da antena da Base</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>dBi</b>
Perda em adaptadores	2	2	2	2	2	2	dB
Atenuação do guia de onda	5	5	5	5	5	5	dB/100m
Comprimento do guia de onda	30	30	30	30	30	30	m
Outras Perdas	1	1	1	1	1	1	dB
<b>Perda no guia de onda</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>dB</b>
Densidade de ruído térmico	-174	-174	-174	-174	-174	-174	dBm/Hz
Figura de ruído	5	5	5	5	5	5	dB
Taxa de dados	8.000	8.000	8.000	76.800	76.800	76.800	kbps
Eb/No	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
Ganho de processamento	26,81	26,81	26,81	16,99	16,99	16,99	dB
Carga do sistema	50%	50%	50%	50%	50%	50%	%
Margem de interferência	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	dB
<b>Sensibilidade do receptor da base</b>	<b>-148,77</b>	<b>-148,77</b>	<b>-148,77</b>	<b>-129,13</b>	<b>-129,13</b>	<b>-129,13</b>	<b>dBm</b>
<b>Fading rápido</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>dB</b>
<b>Fading lento</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>dB</b>
<b>Máxima perda permitida</b>	<b>173,02</b>	<b>173,02</b>	<b>173,02</b>	<b>153,38</b>	<b>153,38</b>	<b>153,38</b>	<b>dB</b>
<b>Enlace Reverso</b>							
Perda de penetração em construção	-	15	15	-	15	15	dB
Perda de propagação do uplink	-	158,02	158,02	-	138,38	138,38	dB
Altura da antena da base	-	30	30	-	30	30	m
Altura da antena do móvel	-	1,80	1,80	-	1,80	1,80	m
Frequência central da portadora	1900	1900	1900	1900	1900	1900	MHz
Fator de correção de terreno (HATA)	-	0	-12,11	-	0	-12,11	-
Perda de propagação em 1 km (A)	-	133,99	121,88	-	133,99	121,88	dB
Inclinação (B)	-	35,22	35,22	-	35,22	35,22	dB/Hz
<b>Raio de cobertura</b>	<b>5627,39</b>	<b>4,81</b>	<b>10,62</b>	<b>586,19</b>	<b>1,33</b>	<b>2,94</b>	<b>km</b>

- WCDMA enlace direto

#### SISTEMA WCDMA

Descrição	Espaço Livre	Canal de Trafego Urbana 8kbps	Canal de Trafego Suburbana 8kbps	Espaço Livre	Canal de Trafego Urbana 76.8kbps	Canal de Trafego Suburbana 76.8kbps	Unidade
Potência de transmissão da bse	35	35	35	35	35	35	dBm
Ganho da antena da base	16	16	16	16	16	16	dB
Perda em adaptadores	1	1	1	1	1	1	dB
Atenuação do guia de onda	6	6	6	6	6	6	dB/100m
Comprimento do guia de onda	35	35	35	35	35	35	m
Outras Perdas	1	1	1	1	1	1	dB
<b>Perda no guia de onda</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>dB</b>
<b>EIRP da Base</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>46,9</b>	<b>dBm</b>
Ganho da antena do móvel	0	0	0	0	0	0	dB
Perda no corpo	3	3	3	3	3	3	dB
Densidade de ruído térmico	-166	-166	-166	-166	-166	-166	dBm/Hz
Figura de ruído	8	8	8	8	8	8	dB
Taxa de dados	8.000	8.000	8.000	76.800	76.800	76.800	kbps
Eb/No	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	-
Ganho de processamento	26,81	26,81	26,81	16,99	16,99	16,99	dB
Carga do sistema	50%	50%	50%	50%	50%	50%	%
Margem de interferência	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	dB
<b>Sensibilidade do receptor da base</b>	<b>-137,77</b>	<b>-137,77</b>	<b>-137,77</b>	<b>-118,13</b>	<b>-118,13</b>	<b>-118,13</b>	<b>dBm</b>
<b>Fading rápido</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>dB</b>
<b>Fading lento</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>dB</b>
<b>Máxima perda permitida</b>	<b>171,42</b>	<b>171,42</b>	<b>171,42</b>	<b>151,78</b>	<b>151,78</b>	<b>151,78</b>	<b>dB</b>

Enlace Direto							
Perda de penetração em construção	-	10	10	-	10	10	dB
Perda de propagação do downlink	-	161,42	161,42	-	141,78	141,78	dB
Altura da antena da base	-	30	30	-	30	30	m
Altura da antena do móvel	-	1,80	1,80	-	1,80	1,80	m
Frequência central da portadora	2100	2100	2100	2100	2100	2100	MHz
Fator de correção de terreno (HATA)	-	0	-12,43	-	0	-12,43	-
Perda de propagação em 1 km (A)	-	135,11	122,68	-	135,11	122,68	dB
Inclinação (B)	-	36,60	36,60	-	36,60	36,60	dB/Hz

<b>Raio de cobertura</b>	<b>4234,88</b>	<b>5,23</b>	<b>11,44</b>	<b>441,13</b>	<b>1,52</b>	<b>3,32</b>	<b>km</b>
--------------------------	----------------	-------------	--------------	---------------	-------------	-------------	-----------

Pelas distâncias conseguidas, conclui-se que o modelo de espaço livre não se aplica a comunicação rádio móvel, sendo melhor utilizada em comunicação ponto a ponto, como comunicação de satélites.

### **13. CONCLUSÕES**

Os sistemas de comunicação móvel sofreram, em um período curto de tempo, uma grande evolução tecnológica. Logo, é importante que todos tenham um conhecimento prévio deste conceito e dos tipos de tecnologias usadas na telefonia celular, com o intuito de identificar a tecnologia mais conveniente e apropriada para seu uso pessoal. Sendo esse o objetivo desse trabalho, oferecer a qualquer pessoa um documento que contem informações sobre todos os sistemas de comunicação celular móvel, desde os já ultrapassados, aos que estão em fase de implantação e até aos que ainda estão em fase de teste.

Apesar de os sistemas de terceira geração se encontrarem na fase inicial, é de se esperar que estes consigam oferecer ao usuário serviços com qualidade a altas taxas de transmissão, acrescentando mobilidade a serviços que já são parte integrante do mundo atual dos negócios, como Internet, vídeo conferência e aplicações interativas. O usuário não ficará preocupado em ter uma linha telefônica fixa em um determinado momento para comunicar-se com a Internet, bastando apenas um clique no botão do celular para que esteja conectado a esta, com alta qualidade e velocidade.

### **14. REFERÊNCIAS**

- [1] Abramson, N., “Multiple Access in Wireless Digital Networks”, *Proceedings of the IEEE*, vol. 82, No. 9, pp. 1360-1370, September 1994.
- [2] Emmerson, Bob and Greetham, David, “*Computer Telephony and Wireless Technologies – Future Directions in Communications*”, Computer Technology Research Corp.. South Carolina, 1997.

- [3] Feher, Kamilo, “*Wireless Digital Communications - Modulation & Spread Spectrum Applications*”, Prentice Hall. New Jersey, 1995.
- [4] Gilhousen, K. S., Jacobs, Irwin M., Padovani, Roberto, Viterbi, Andrew J., Weaver, Lindsay A. Jr., Wheatley, Charles E., “On the Capacity of a Cellular CDMA System”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 40, No. 2, pp. 303-312, May 1991.
- [5] Guimarães, D. A., “*Esquemas de Codificação para um Sistema DS-CDMA com Portadoras Ortogonais*”, Dissertação de Mestrado, FEEC – UNICAMP, junho de 1998.
- [6] Haykin, S., “*Communication Systems*”, 3rd edition: John Wiley and Sons, Inc..New York, 1994.
- [7] Honary, Bahram, “*Trellis Decoding of Block Codes*”, Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts, USA, 1997.
- [8] Lee, E. A. and Messerschmitt, D. G., “*Digital Communication*”, 2nd edition: Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [9] Lee, W. C. Y., “*Mobile Cellular Telecommunications – Analog and Digital Systems*”, 2nd edition: McGraw-Hill, USA, 1995.
- [10] Linnartz, J. P., “*Wireless Communication – The Interactive Multi-Media CD-ROM*”: Baltzer Science Publishers. Amsterdam, 1997.
- [11] Papoulis, Athanasios, “*Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*”, 3rd edition, McGraw Hill, USA, 1991
- [12] Pickholtz, R. L., “Spread Spectrum for Mobile Communications”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 40, No. 2, pp. 313-322, May 1991.
- [13] Proakis, J. G., “*Digital Communications*”, 3rd edition: McGraw Hill. New York, 1995.
- [14] Rappaport, T. S., “*Wireless Communications - Principles and Practice*”: IEEE Press, Inc.. New York and Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1996.

- [15] Shannon, Claude E., "A mathematical theory of communications", *Bell Systems Technical Journal*, vol.27, pp. 379-423 and 623-656, 1948.
- [16] [http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas\\_telefonia.php](http://www.projetoderedes.com.br/apostilas/apostilas_telefonia.php) (acessado em 07/09/2005)
- [17] [http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtdma/pagina\\_1.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtdma/pagina_1.asp) (acessado em 07/09/2005)
- [18] Lee, W.C.Y., *Mobile Communications Engineering* (McGraw-Hill , 1982 )
- [19] Yacoub, M.D., *Foundations of Mobile Radio Engineering* ( CRC - 1993 )
- [20] Eisner, R.L.C, *Uma Estratégia de migração de Telefonia Móvel com Tecnologia AMPS para a Tecnologia CDMA* (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - 1997 )
- [21] Kim, Kyoung Il, *Handbook of CDMA System Design, Engineering, and Optimization* (Prentice Hall PRT, 1999)
- [22] [www.lucent.com](http://www.lucent.com) (acessado em 15/11/2005)
- [23] Pereira, V., Sousa, T., *Evolution of Mobile Communications: from 1G to 4G* (Department of Informatics Engineering of the University of Coimbra)
- [24] [www.imt-2000.com](http://www.imt-2000.com) (acessado em 15/11/2005)