



**UNIVERSIDADE CATÓLICA DO SALVADOR**  
**ALUNA: ANGELA PEIXOTO SANTANA**  
**CURSO: BACHARELADO EM INFORMÁTICA**  
**PROFESSOR: MARCO ANTONIO CAMARA**

# GSM

***SALVADOR, Outubro de 2003***



**UNIVERSIDADE CATÓLICA DO SALVADOR**  
**ALUNA: ANGELA PEIXOTO SANTANA**  
**CURSO: BACHARELADO EM INFORMÁTICA**  
**PROFESSOR: MARCO ANTONIO CAMARA**

# GSM

*Este Trabalho refere-se à disciplina  
de Redes de Computadores e  
Teleprocessamento, ministrada pelo  
professor Marco Antonio Câmara.*

**SALVADOR, Outubro de 2003**

## RESUMO

*Este trabalho tem como objetivo apresentar a tecnologia Global System for Mobile Communications – (GSM) descrevendo o sua arquitetura e funcionamento. Bem como as outras tecnologias existentes no Brasil a Time Division Multiple Access – (TDMA) e a Code Division Multiple Access – (CDMA) estas apresentando apenas enfoque interessantes*

## **INTRODUÇÃO**

Com o significativo aumento do uso de Telefones Celulares e avanço de tecnologias para as mais diversas aplicações, aumenta o interesse pela avaliação de sua disponibilidade e confiabilidade.

O primeiro sistema de comunicação móvel foi o MTS (Mobile Telephone Service), implantado pela Bell Telephone Company em 1946. Este sistema era composto de um único ponto centralizado (estação base), que quer dizer que toda região a ser coberta tinha uma única célula, com um transmissor de potência elevada e poucos canais de conversação.

Com este sistema existia uma série de limitações, porque cada usuário tinha um determinado canal de RF (Rádio Frequência) fixo, o qual era compartilhado com outros usuários, e quando um usuário estiver usando um canal, os outros estarão indisponíveis de utilizá-lo.

A solução para esta limitação foi a divisão da área a ser coberta em pequenas células, cada uma com sua estação base, canais de RF diferentes, onde todos os canais de radio base estão disponíveis para o usuário.

O sistema rádio celular é um dos maiores avanços em sistemas de comunicações móveis, e a cada dia este sistema vem se tornando uma peça importante para todos os setores.

## SISTEMA DE TELEFONIA CELULAR

Telefonia celular é o nome dado para caracterizar comunicações móveis através de sistemas celulares que tenham interconexão com a Rede Telefônica fixa.

Com a telefonia celular o terminal telefônico fixo que possui um número associado ao local onde está o telefone passou a ter como alternativa um pequeno aparelho portátil que pode receber ou fazer chamadas em movimento e de praticamente qualquer lugar onde esteja.

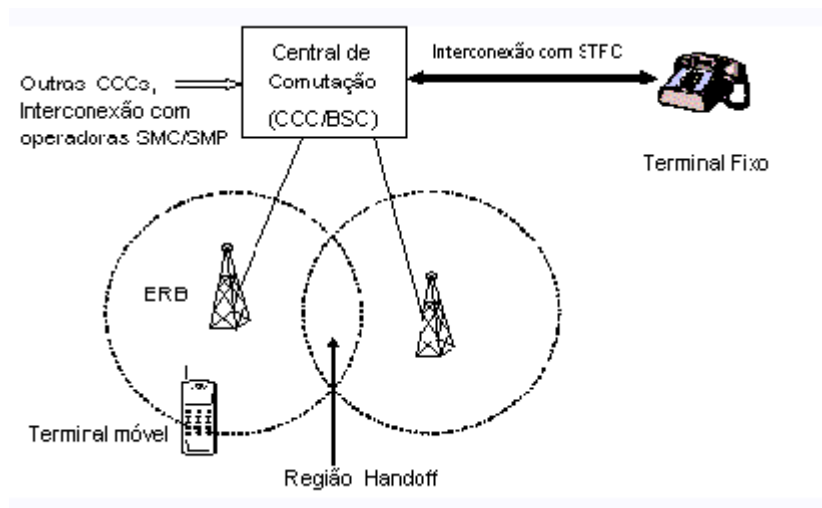


Figura 1 - interconexão com o serviço telefônico fixo comutado

Esta mobilidade é conseguida pela utilização de comunicação wireless (sem fio) entre o terminal e uma Estação Rádio Base (ERB) conectada a uma Central de Comutação e Controle (CCC) que tem interconexão com o serviço telefônico fixo comutado (STFC) e a outras CCC's, permitindo chamadas entre os terminais celulares e deles com os telefones fixos comuns.

O terminal móvel se comunica com a ERB mais próxima. A área de cobertura referente a uma ERB é chamada de célula. Ao se locomover o terminal móvel muda de célula e tem sua comunicação transferida de uma ERB para outra. A mudança de ERB durante uma chamada é denominada "handoff".

De acordo com o plano de serviço do assinante é definida uma área de mobilidade que pode estar restrita a um conjunto de ERBs cobrindo um município ou corresponder a área de cobertura de várias CCCs e suas ERBs. Quando o terminal está fora de sua Área de Mobilidade ele está em roaming, ou seja, ele é um assinante visitante no sistema celular daquela região.

É possível a um terminal operar em um sistema celular em outra região do país ou do mundo desde que o terminal seja compatível com as características técnicas da operadora visitada e exista um acordo de roaming desta com a operadora do assinante.

As principais características técnicas para permitir o roaming são frequência de operação e padrão de tecnologia do terminal.

## FREQUÊNCIAS

Um sistema celular que utiliza apenas uma ERB em uma cidade com a Banda de frequências alocada usualmente para este tipo de serviço poderia atender a menos de 500 usuários em comunicação simultânea.

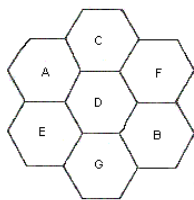


Figura 2 – Hexagonos de uma célula

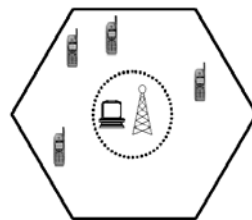


Figura 3 – Composição de uma célula

Como as frequências do espectro eletromagnético são um recurso escasso, devido a sua utilização por um grande número de aplicações, a ampliação da capacidade dos sistemas celulares foi possível com a divisão da banda disponível em grupos de frequências que são reutilizados em células não adjacentes.

As células são divididas como áreas de serviços individuais, onde cada uma delas possui um grupo de canais designados de acordo com o espectro disponível. Cada célula tem sua estação base, permitindo assim o uso de transmissores de baixa potência.

A primeira impressão, quando falamos em célula, é que sua estrutura é circular, porque em

condições ideais de propagação e utilizando uma antena que propaga em várias direções, a zona de cobertura é uniforme. Porém, quando existem muitas células, o modelo de irradiação circular tem alguns problemas, por exemplo áreas de superposição e de sombra. Então, essas células são representadas por hexágonos, porque suas formas possibilitam ser colocadas lado a lado, sem aqueles problemas colocados anteriormente.

Então, para se montar um sistema de telefonia móvel, subdivide-se uma área geográfica em células hexagonais, cada uma dispendo de uma estação de rádio e antenas direcionais para supervisão e controle das rádios-frequências e interligação com o sistema telefônico convencional.

Estes terminais são conectados entre si e com a rede de telefonia.

O tamanho da célula hexagonal é definido através da potência dos transmissores do telefone celular e pela atenuação do sinal, sendo que este pode ser escutado na sua célula e nas duas células vizinhas.

Cada célula tem um grupo específico de rádio-frequência. Sabendo que tem um número limitado de rádio-frequência disponível para comunicação, elas são utilizadas mais de uma vez, mesmo que as células vizinhas têm grupos diferentes de rádio-frequência para que não exista interferência entre elas.

Para a garantia de qualidade de sinal e nível de ruído aceitável, são instaladas de três a quatro antenas direcionais em cada célula, dividindo-as em setores.

A passagem de um setor para outro, dentro da mesma célula, fica a cargo dos equipamentos de controle internos à célula. E quando a movimentação é de uma célula para outra o procedimento é diferente. Ao verificar a apresentação de um nível mínimo de recepção do sinal da célula de origem, o terminal de controle comuta o telefone para uma rádio-frequência disponível em uma célula vizinha. A rádio-frequência utilizada na célula de origem é deslocada e torna-se disponível para outra alocação. Muitos sistemas celulares esperam em torno de 100 milisegundos após a liberação da rádio-frequência de origem, antes de alocar nova rádio-frequência na célula vizinha. Este atraso não interfere na comunicação de voz, mas traz problemas na transmissão de dados.

A divisão mais comum é a da banda em 7 grupos de frequências que formam o padrão apresentado na figura. Estas células podem ser por sua vez divididas em 3 setores gerando um padrão de plano de distribuição de frequências com 21 grupos.

No Brasil estas faixas de frequências foram divididas em Bandas.

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

**Tabela 1 - Frequência (MHz)**

As faixas de frequência de 1885 a 1900 MHz, 1950 a 1980 MHz e 2140 a 2170 MHz foram reservadas para implantação de sistemas celulares que sigam as especificações IMT-2000 da UIT.

Cabe finalmente salientar que quanto maior a frequência maior a perda no espaço livre quando a onda se propaga o que implica em células menores. Um sistema celular em 1800 MHz precisará de mais células do que um sistema celular em 800 MHz para obter a mesma performance.

## **PADROES DE TECNOLOGIAS**

### **GSM - Global System for Mobile Communication**

O GSM, originalmente conhecido como Group Special Mobile, é um padrão digital de segunda geração do celular desenvolvido na Europa para substituir os diferentes padrões analógicos utilizados pelos países europeus nas faixas de 800 e 450 MHz.

O GSM utiliza canais de 200 kHz na faixa de 900 MHz e teve desenvolvido, posteriormente, uma versão adaptada para as faixas de 1800 e 1900 MHz.

O GSM é hoje o padrão com o maior número de usuários em todo o mundo (mais de 1 bilhão).

### **TDMA (IS 136) - Time Division Multiple Access**

O TDMA, padronizado pelo IS 54 e, posteriormente, aperfeiçoado pelo IS 136, é um padrão desenvolvido para aumentar a capacidade de sistemas AMPS pelo aumento do número de usuários compartilhando o canal de 30 kHz. A utilização de canais digitais de comunicação entre terminal móvel e ERB permite que até 3 usuários compartilhem um mesmo canal pela utilização de diferentes slots de tempo.

### **CDMA (IS 95) - Code Division Multiple Access**

O CDMA, padronizado pelo IS 95, é um padrão que revolucionou os conceitos empregados na comunicação entre terminal móvel e ERB. No lugar de dividir a banda disponível em canais que seguem um padrão de reuso de frequências o CDMA consegue atingir uma grande capacidade de usuários pela utilização de spread spectrum em uma banda de 1,25 MHz onde para cada comunicação utiliza um código de espalhamento espectral do sinal diferente. O número de usuários em uma célula é limitado pelo nível de interferência presente que é administrado através de controle de potência e outras técnicas. O objetivo é diminuir a interferência em células adjacentes que utilizam a mesma banda de frequências mas códigos diferentes.

## **GSM** - (Global System for Mobile Communications)

### *Histórico*

Na década de 80, sistemas de telefones celulares analógicos, foram desenvolvidos na Europa, especialmente na Escandinávia, Reino Unido, França e Alemanha. Foram desenvolvidos diversos sistemas, o que levou a incompatibilidades entre eles, devido a forma de envio de dados, protocolos e frequência de comunicação. Em 1982 foi realizada a "Conference of European Posts and Telegraphs (CEPT)" onde se formou um grupo denominado "Group Special Mobile (GSM)", com o objetivo de estudar e desenvolver um sistema móvel que obedecesse alguns padrões :

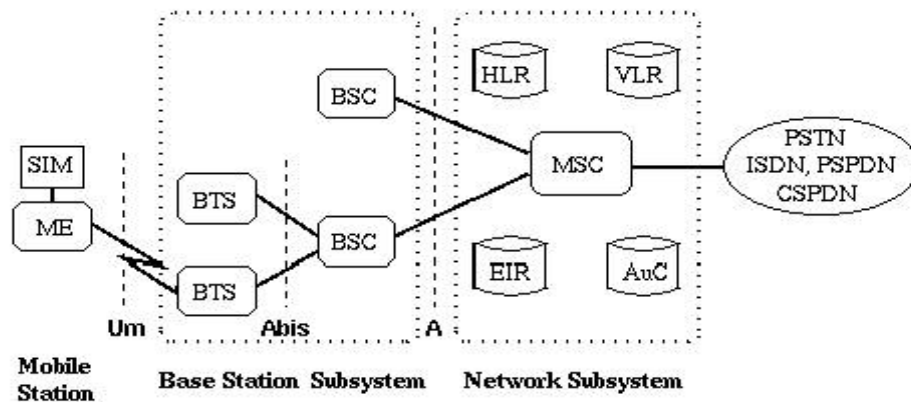
- Boa qualidade de voz
- Eficiência espectral
- Terminais pequenos e baixos custos
- Suporte para "roaming" internacional
- Capacidade para suportar "handheld" terminais
- Suportar uma larga área de novos serviços e utilidades
- Compatibilidade ISDN

Em 1989 a responsabilidade passou para o "European Telecommunication Standards Institute (ETSI)" onde em 1990 foram publicadas as especificações do GSM. Tal padrão generalizou-se então pelo resto do mundo.

### **DESCRIÇÃO DO SISTEMA**

Uma rede GSM é composta por várias entidades com funções e interfaces específicas. A rede GSM pode ser dividida em três partes: a estação móvel, a estação de subsistema base, e o subsistema da demonstrado na figura seguinte.





SIM Subscriber Identity Module	BSC Base Station Controller	MSC Mobile services Switching Center
ME Mobile Equipment	HLR Home Location Register	EIR Equipment Identity Register
BTS Base Transceiver Station	VLR Visitor Location Register	AuC Authentication Center

Figura 4 - Sistema GSM

## A Estação Móvel

Equipamento móvel (terminal) e um cartão inteligente designado de SIM. O cartão providencia mobilidade pessoal, de tal forma que o assinante consegue ter acesso aos serviços subscritos independentemente do terminal utilizado, isto é, ao inserir o cartão SIM num terminal diferente, o assinante pode usufruir dos serviços a partir desse terminal. O cartão SIM tem uma identificação única mundial (IMSI), assim como o terminal (IMEI). Estes códigos são independentes permitindo uma maior mobilidade e uma segurança pessoal contra o uso não autorizado.

## Subsistema Rádio Base

Este subsistema encarrega-se do controle de ligação rádio com a estação móvel. É dividido em duas partes: a estação rádio base de transmissão (BTS) e a estação rádio base de controle (BSC). A comunicação entre estas duas estações é realizada através da interface standard Abis, permitindo (como no resto do sistema) a operação entre componentes realizada por diferentes fornecedores. A BTS aloja os receptores-transmissores rádio que definem a célula e suportam os protocolos de ligação rádio com a estação móvel. Numa grande área urbana a quantidade de BTS's deverá existir em maior número. A BSC gerencia os recursos para uma ou mais BTS's, tais como, configuração dos canais rádio, saltos de frequência e transição entre células (hand-off). A BSC realiza a conexão entre as estações móveis (celulares) e o centro de comutação móvel (MSC).

## O Subsistema Rede

O seu principal componente é o MSC, que se encarrega de fazer a comutação de chamadas entre estações móveis ou entre uma estação móvel e um terminal fixo. Comporta-se como um nó de comutação de PSTN ou ISDN, e adicionalmente providencia toda a funcionalidade necessária para o tratamento de um assinante móvel, realizando o registro, autenticação, atualização da localização, transição entre células (Hand-off) e gerenciando um assinante em roaming. Estes serviços são providenciados em conjunto com várias entidades

funcionais que juntas formam o subsistema rede: MSC, HLR, VLR, EIR, AuC. O HLR, o VLR e o MSC, em conjunto providenciam as capacidades de roaming do GSM.

O HLR (Home Location Register) contém toda a informação administrativa de todo o assinante registrado na correspondente rede de GSM, juntamente com a localização da estação móvel. A localização da estação móvel está geralmente na forma do endereçamento do VLR (Visitor Location Register). As informações fornecidas pelo VLR, são necessárias para controlar a chamada e providenciar os serviços de cada assinante, situada dentro de uma determinada área de controle. Outros dois registos são usados para segurança e autenticação. O EIR é uma base de dados que contém listagens de todos os equipamentos móveis válidos na rede, onde todas as estações móveis são identificadas pelo IMEI. Um IMEI é considerado como inválido se declarado como roubado ou incompatível com a rede. O AuC é uma base de dados protegida que guarda uma cópia do código de cada SIM, que é usado para autenticar e encriptar através do canal de rádio.

### Codificação de canal e voz

A voz em GSM é codificada digitalmente a uma taxa de 13 Kbps (260 bits cada 20 ms). Com a adição posterior de código para a correção de erros, passamos a ter uma taxa de 22.8 Kbps (456 bits cada 20 ms). Estes 456 bits são divididos em 8 blocos de 57 bits, e o resultado é envio de 8 slots de tempo sucessivos, para proteção contra erros de transmissão. Cada envio tem 156.25 bits e contém 2 blocos de 57 bits, e uma sequência de treinamento de 26 bits usada para equalização. Cada envio é transmitida em 0.577 ms para uma taxa total de 270.8 Kbps, e é modulada usando GMSK numa portadora de 200 kHz. O controle de erro e equalização contribuem para a robustez do sinal rádio contra interferência e atenuação na transmissão. A natureza digital do sinal TDMA permite a utilização de vários processos para melhorar a qualidade de transmissão, o tempo de vida útil da bateria, e a eficiência espectral.

### ARQUITETURA

O GSM tem a estrutura básica dos sistemas celulares e oferecem as mesmas funcionalidades básicas dos demais sistemas celulares associadas à mobilidade como roaming e handover entre células.

A arquitetura de referência de um sistema GSM é apresentada na figura a seguir.

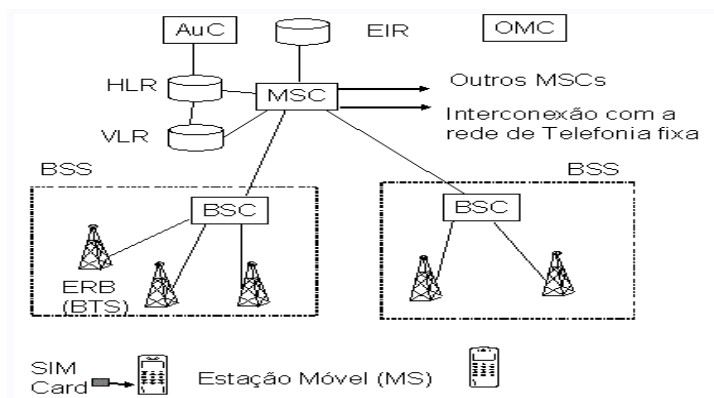


Figura 5 - Arquitetura GSM  
Mobile Station (MS) - Estação Móvel

É o terminal utilizado pelo assinante quando carregado com um cartão inteligente conhecido como SIM Card ou Módulo de Identidade do Assinante (Subscriber Identity Module). Sem o SIM Card a Estação Móvel não está associada a um usuário e não pode fazer nem receber chamadas.

Uma vez contratado o serviço junto a uma operadora o usuário passa a dispor de um SIM card que ao ser inserido em qualquer terminal GSM faz com que este passe a assumir a identidade do proprietário do SIM Card. No Brasil ele tem sido chamado pelas operadoras de OiChip e TIMChip.

O SIM card armazena entre outras informações um número de 15 dígitos que identifica unicamente uma dada Estação Móvel denominado IMSI ou Identidade Internacional do Assinante Móvel (International Mobile Subscriber Identity).

Já o terminal é caracterizado por um número também com 15 dígitos, atribuído pelo fabricante, denominado IMEI ou Identidade Internacional do Equipamento Móvel (International Mobile Station Equipment Identity).

### **Base Station System (BSS)**

É o sistema encarregado da comunicação com as estações móveis em uma determinada área. É formado por várias Base Transceiver Station (BTS) ou ERBs, que constituem uma célula, e um Base Station Controller (BSC), que controla estas BTSs.

### **Mobile-Services Switching Centre (MSC) - Central de Comutação e Controle (CCC)**

É responsável pelas funções de comutação e sinalização para as estações móveis localizadas em uma área geográfica designada como a área do MSC. A diferença principal entre um MSC e uma central de comutação fixa é que a MSC tem que levar em consideração a mobilidade dos assinantes (locais ou visitantes), inclusive o handover da comunicação quando estes assinantes se movem de uma célula para outra. O MSC encarregado de rotear chamadas para outros MSCs é chamado de Gateway MSC.

### **Home Location Register (HLR) - Registro de Assinantes Locais**

É a base de dados que contém informações sobre os assinantes de um sistema celular.

### **Visitor Location Register (VLR)- Registro de Assinantes Visitantes**

É a base de dados que contém a informação sobre os assinantes em visita (roaming) a um sistema celular.

### **Authentication Center (AUC) - Centro de Autenticação**

É responsável pela autenticação dos assinantes no uso do sistema. O Centro de Autenticação está associado a um HLR e armazena uma chave de identidade para cada assinante móvel registrado naquele HLR possibilitando a autenticação do IMSI do assinante. É também responsável por gerar a chave para criptografar a comunicação entre MS e BTS.

### **Equipment Identity Register (EIR) - Registro de Identidade do Equipamento**

É a base de dados que armazena os IMEIs dos terminais móveis de um sistema GSM.

### **Operational and Maintenance Center (OMC) - Centro de Operação e Manutenção**

É a entidade funcional através da qual a operadora monitora e controla o sistema.

## **INTERFACES**

## Canalização

As Bandas do GSM são divididas em canais de RF, onde cada canal consiste de um par de frequências (Transmissão e Recepção) com 200 KHz de banda cada.

Existem, portanto, 124 canais de RF no GSM 900 e 373 canais no DCS 1800. Estes canais receberam uma numeração conhecida como ARFCN (Absolute Rádio Frequency Channel Number).

As frequências portadoras dos canais de RF são moduladas em 0,3GMSK por um sinal digital com taxa de 270,833 kbit/s

## MODULAÇÃO

O GSM utiliza um formato de modulação digital chamado de 0,3GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

O 0,3G descreve a Banda do Filtro Gaussiano de pré-modulação utilizado para reduzir o espectro do sinal modulado.

MSK (Minimum Shift Keying) é um tipo especial de modulação FSK (Frequency Shift Keing) onde 1's e 0's são representados por deslocamentos na frequência da portadora de RF. Quando a taxa de bits do sinal modulante é exatamente quatro vezes o deslocamento da frequência da portadora consegue-se minimizar o espectro e a modulação é chamada de MSK (Minimum Shift Keying).

No caso do GSM, a taxa de dados de 273,833 kbit/s foi escolhida para ser exatamente quatro vezes o deslocamento da frequência de RF (+/- 67,708 KHz).

## Canais Lógicos

No GSM nenhum canal de RF ou time slot está designado a priori para uma tarefa particular. A informação do usuário (voz e dados) e os dados de controle de sinalização são transmitidos em dois tipos básicos de canais lógicos que vão ocupar a estrutura do quadro (frame) TDMA: canal de tráfego (TCH) e canal de controle (CCH).

Estes canais lógicos são mapeados nos canais físicos conforme a figura a seguir.

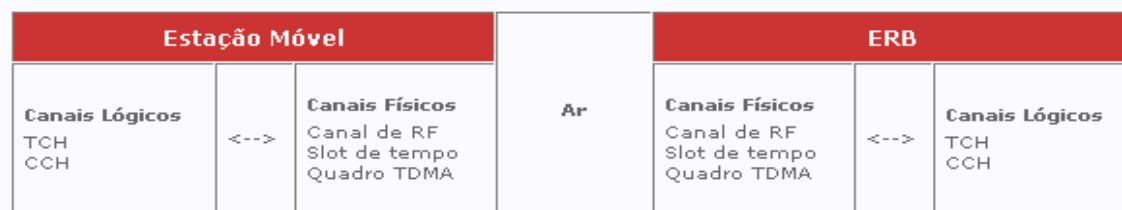


Tabela 2 – Canais Lógicos

Os canais de tráfego suportam duas taxas de informação: Completa (Full) e Meia (Half) possibilitando que um canal de RF tenha de 8 canais (Full rate) a 16 (Half rate). O Half rate é implementado pela ocupação alternada do mesmo slot físico por dois canais lógicos.

As taxas de informação para os canais de tráfego (TCH) são:

	Full rate	Half Rate
Voz	13 kbit/s (22,8 kbit/s bruta)	11,4 kbit/s
Dados	9,6 kbit/s, 4,8 kbit/s e 3,6 kbit/s	4,8 kbit/s e 2,4 kbit/s

### Tabela 3- Taxas de informação para os canais de tráfegos

No GSM é possível encontrar 3 tipos de codificadores de voz (vocoder): o Enhanced Full Rate (EFR) e o Full Rate com taxa de 13 kbit/s, e o Half Rate com taxa de 9,6 kbit/s.

### Capacidade do GSM

A eficiência de utilização do Espectro, ou capacidade de um sistema GSM é maior que a do AMPS e menor que um sistema TDMA (IS-136).

Em uma Banda de 30 KHz o AMPS tem capacidade para uma chamada telefônica e o TDMA três. Já o GSM em 200 KHz tem capacidade para oito chamadas. Em compensação por apresentar menos interferência co-canal os sistemas GSM utilizam um reuso de frequência de 4 por 12 enquanto no AMPS e TDMA o normal é de 7 por 21 o que propicia uma melhor utilização do espectro por parte do GSM.

Se o GSM utilizar um recurso, previsto nas especificações, de saltos de frequência (Frequency Hopping) é possível inclusive à utilização de esquemas de reuso de frequências mais eficientes.

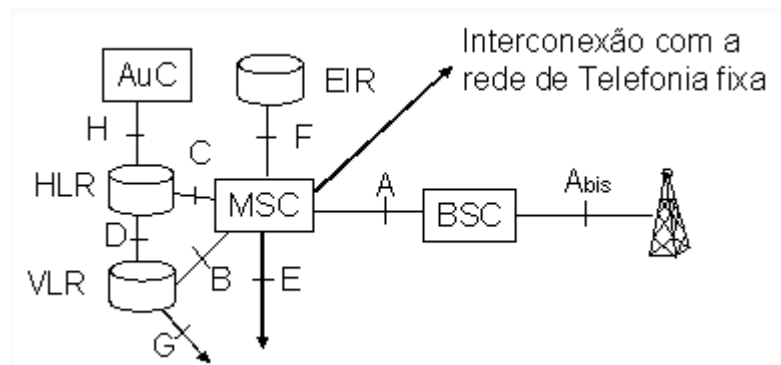


Figura 6 - interfaces da arquitetura do GSM

As interfaces da arquitetura de uma rede GSM, apresentadas na figura e descritas a seguir, foram padronizadas de modo a permitir a interoperabilidade com outras redes, inclusive roaming internacional, e permitir a utilização de diversos fornecedores na sua implantação.

### Interface Abis entre ERB (BTS) e BSC

A interconexão entre BTS e BSC se dá através da interface padronizada Abis (a maioria das interfaces Abis é específica do vendedor). Esta interface suporta dois tipos de links: canais de tráfego a 64 kbit/s levando voz ou dados do usuário e canais de sinalização BSC-BTS a 16 kbit/s. A camada física é baseada na G.703.

### Interface A entre BSC e MSC

Está especificada pelas normas do GSM. A camada física é um 2 Mbit/s padrão CCITT.

### Interfaces C, D, E, F, G

As interfaces C, D, E, F, G formas padronizadas pelo protocolo MAP que por sua vez utiliza os serviços de transação e transferência de mensagens do Sistema de Sinalização número 7 (SS#7).

Em um sistema de telefonia fixa é necessário que exista entre as centrais telefônicas, além dos troncos com os canais de voz, um sistema de sinalização por onde são trocadas mensagens de modo a se estabelecer uma chamada telefônica entre dois assinantes.

O Sistema de Sinalização número 7 é o padrão adotado pela UIT e utiliza um canal dedicado para a comunicação. O SS#7 é um protocolo complexo cuja estrutura é apresentada na figura a seguir.

O SS#7 pode ser dividido em duas partes.

**1) User Part**

Que implementa funções dos usuário como a:

**TUP (Telephone User Part)**

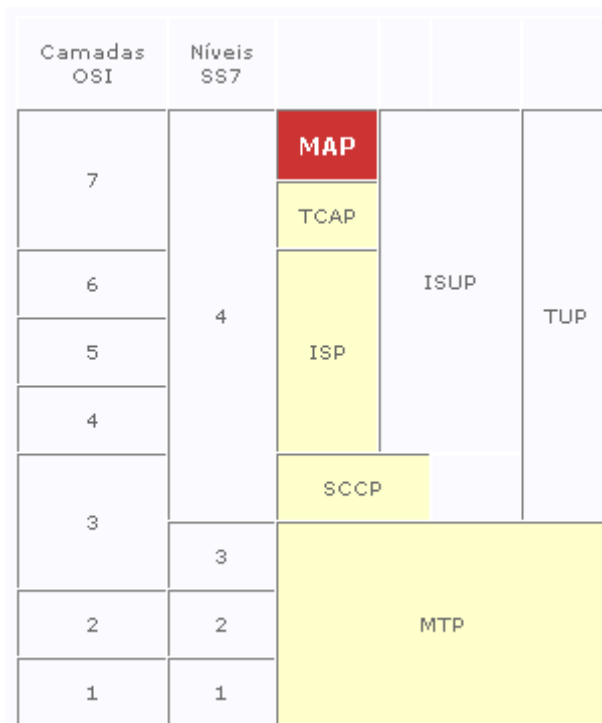
Que compreende todas as mensagens de sinalização necessárias para que uma rede telefônica fixa estabeleça uma chamada.

**ISUP (Integrated services user part)**

Que acrescenta ao TUP a sinalização para redes de dados comutadas a circuito como previsto na ISDN.

**2) MTP (Message Transfer Part)**

Que é responsável pela transferência das mensagens de maneira confiável na rede de sinalização.



Além das aplicações relacionadas ao tráfego telefônico o SS#7 estabeleceu, na parte do usuário, camadas que possibilitam a troca de informações, entre centrais ou bases de dados, não relacionados ao estabelecimento de circuitos telefônicos. Visava-se a implementação de serviços da rede inteligente.

Estas camadas são a: SCCP (signaling Connection Control Part), ISP (Intermediate service Part) e TCAP (Transaction capabilities application part).

A necessidade de sinalização em uma rede celular é muito maior que numa rede fixa devido à mobilidade do usuário. Para suprir estas funções o GSM desenvolveu a camada Mobile Application Part (MAP) que usa como suporte as várias camadas do SS#7 como o TCAP, SCCP e o MTP.

**Interface entre MSC e redes de Telefonia Fixa**

A interconexão entre MSC e redes fixas utiliza o Padrão SS#7 TUP ou ISUP.

## Interfaces B e H

As interfaces B entre MSC e VLR e H entre HLR e AUC não estão padronizadas pois tratam-se normalmente de interfaces internas do MSC/VLR e do HLR/AUC.

## SERVIÇOS

As especificações do GSM procuraram de início reproduzir na rede móvel os serviços que estariam disponíveis na rede fixa através da ISDN (Rede Digital de Serviços Integrados) padronizada pela UIT.

A estrutura flexível dos canais físicos do GSM bem como a utilização do protocolo SS7 facilitou a introdução destes serviços que foram divididos nos grupos apresentados a seguir.

### Bearer Services

Serviços de transporte de dados usados para conectar dois elementos de uma rede como acesso ao X.25 com taxas de dados de 2400 a 9600 bit/s.

### Teleservices

Serviços de comunicação entre dois assinantes como telefonia, serviço de mensagens curtas (SMS) e FAX.

### Serviços Suplementares

As redes GSM suportam dezenas de serviços suplementares, tais como identificação do número chamador, chamada em espera, siga-me e conferência.

A padronização do GSM tem avançado na definição de outros serviços adicionais. O SMS e estes outros serviços são normalmente implementados utilizando-se gateways entre a BSC e o MSC como apresentado na figura a seguir. A comunicação com outros elementos da Rede GSM, tais como MSC, HLR e EIR, é sempre baseada no protocolo MAP com suporte do SS7.

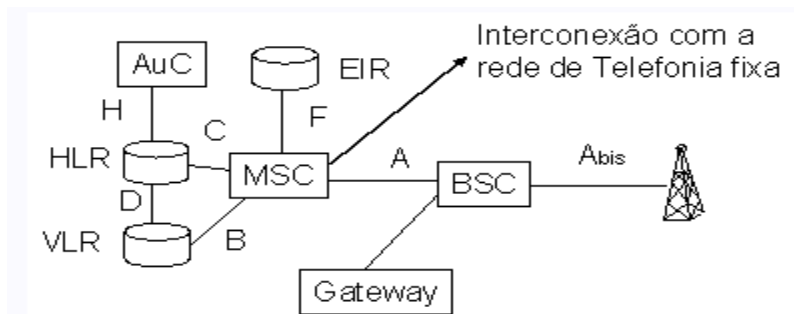


Figura 7 - Serviços suplementares  
**Serviços de Localização**

Os serviços de localização padronizados para o GSM permitem estimar com precisão a localização da estação móvel servindo de base para vários serviços oferecidos ao assinante.

## **GPRS**

O GPRS (General Packet Radio Service) é um serviço para comunicação de dados que permite a estação móvel uma conexão a Internet sem a necessidade de se estabelecer uma chamada telefônica (always on). Este serviço pode utilizar até os 8 time slots de um canal GSM de 200 KHz o que implica em uma taxa que teoricamente poderia chegar a 115 kbit/s.

## **EDGE**

O EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) é um padrão desenvolvido para aumentar a taxa de dados para serviços oferecidos pela rede GSM. Este aumento é obtido pelo uso de um novo tipo de modulação (16QAM) para a portadora dos canais de RF em substituição a usada atualmente GMSK. É possível desta forma oferecer 48 kbit/s por slot de tempo o que possibilitaria o oferecimento de conexões IP de até 384 kbit/s. Esta solução mantém a estrutura básica de canalização do GSM implicando na instalação de transceptores com modulação 16QAM para os canais de RF dedicados a esta aplicação.

## **3G**

A evolução do GSM para serviços de terceira geração com taxas de dados de até 2 Mbit/s vem sendo padronizada pelo 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Esta evolução exigiu a definição de um novo padrão para a interface entre Estação Móvel e ERB com canais de RF de 5 MHz. Este novo padrão (WCDMA) implicará em mudanças na estrutura de canalização do GSM exigindo uma banda adicional de freqüências para implementação do serviço por parte das operadoras, mantendo no entanto a compatibilidade e demais interfaces da arquitetura GSM.

## **TDMA**

No Estados Unidos foi implantado um padrão TDMA (Time Division Multiple Access) com freqüência de 30 KHz da portadora, que é chamado por D-AMPS, que quer dizer AMPS digital.

Esse padrão utiliza um TDMA com 3 usuários por portadora. O quadro tem duração de 20 ms, correspondendo cada janela a 6,67 ms. Esse sistema permite obter um ganho de 3,5 a 6 vezes maior do que a capacidade do AMPS analógico.

No sistema tradicional, a banda total é dividida em canais de freqüência, e esses canais, em um número de slots por tempo.

A tecnologia TDMA é usada em comunicação de telefones celulares digitais para dividir cada canal celular em três slots para aumentar a quantidade de dados transmitidos. TDMA é usado pelo D-AMPS (Digital-American Mobile Phone Service), pelo GSM (Global System for Mobile Communication), e pelo PDC (Personal Digital Cellular).

TDMA foi primeiramente especificado como um padrão no EIA/TIA Interim Standard 54 (IS-54 ou UDSC) que não é completamente digital, em 1988. IS-136, é uma nova versão do IS-54 completamente digital, e é o padrão dos EUA para TDMA.

A conexão pode ser associada a uma estação móvel ou uma base fixa.

TDMA oferece um grande número de vantagens sobre os outros padrões de tecnologia celular. A primeira e a mais importante é a facilidade de adaptar as transmissões de dados com a comunicação de voz. Outra vantagem é a habilidade de introduzir



microcélulas úteis em uma fração progressiva de tempo. Novas microcélulas são necessárias por causa do congestionamento na maioria das grandes cidades dos EUA.

As tecnologias de propagação do espectro podem sofrer com a interferência entre usuários que estão com a mesma frequência de banda e transmitindo ao mesmo tempo, e a tecnologia TDMA (que não é de propagação de espectro), a qual separa usuários por tempo, não terá a experiência de interferência de outras transmissões simultâneas.

A tecnologia TDMA é a melhor, em relação ao custo por utilizar equipamentos do sistema analógico que já estão implantados.

Uma das desvantagens do TDMA é que cada usuário tem um slot de tempo predefinido. Entretanto, usuários mudando de uma célula para outra, não possui ainda um slot de tempo predefinido, e com isso, se todos os slots da célula estiverem ocupados a ligação será desconectada.

Outro problema com o TDMA é a distorção de múltiplos caminhos, ou seja, um canal saindo de uma torre pode percorrer vários caminhos, se um caminho passa, por exemplo, por muitos prédios, antes de chegar ao seu destino, pode sofrer interferência. Para a diminuir a interferência, é colocado um limite de tempo no sistema.

Em contraste com a tecnologia CDMA, o TDMA está em operação comercial provendo uma plataforma digital de crescimento futuro. TDMA como um método de acesso já é um padrão bem estabelecido pelo mundo, comercializado com os sistemas GSM, PDC e D-AMPS.

Hughes Network Systems está promovendo o conceito de E-TDMA, que utiliza uma alocação dinâmica dos slots para evitar gastos dos slots quando um lado da conversa estiver em silêncio. Essa técnica pode quase duplicar a eficiência espectral do TDMA.

## **CDMA**

A tecnologia de espalhamento do espectro manteve-se restrita a aplicações militares durante muito tempo, aproveitando suas características de privacidade (difícil interceptação), e resistência a sinais interferentes.

Em sistemas móveis celulares, essa técnica de acesso da versão CDMA tem base na alta rejeição a sinais interferentes, como as interferências inerentes ao sistema (co-canal e canal adjacente), e como as interferências externas.

O sistema CDMA utiliza uma combinação de divisão de frequência e divisão de código para prover que acesso múltiplo de usuários. A capacidade do CDMA não é ilimitada, porém suas limitações são consideravelmente maiores que do sistema TDMA.

## **HISTÓRICO**

CDMA é um conceito relativamente novo em transmissão sem fio. O CDMA tem avançado sua aceitação internacional entre outros sistemas de telefonia celular porque melhora tudo que é prejudicial das outras tecnologias: interferência, sinais refletidos, baixa potência e planejamento de frequências. Sua grande vantagem: maior capacidade e menor custo. O CDMA tem sido igualmente escolhido pelos vencedores dos canais dos EUA para Personal Communication System (PCS). O TIA aprovou o padrão CDMA IS-95 em julho de 1993.

O uso do CDMA para aplicações civis de telefonia móvel celular é novo, porém isso foi proposto teoricamente no final da década de 40, mas aplicação prática no mercado civil em sistemas móveis celulares só foi acontecer em 1989, quando os militares liberaram a tecnologia CDMA para aplicações comerciais. A tecnologia do espalhamento espectral, a qual é a base da tecnologia CDMA, era usada nas aplicações militares para muitas aplicações, por exemplo, vencer os efeitos de forte interferência internacional (jamming) e

esconder o sinal transmitido de espões. A modulação por espalhamento espectral era usada para cálculos de posição e velocidade (os quais existem satélites militares para isso).

Nas aplicações comerciais, a tecnologia de espalhamento espectral foi definida com CDMA. A primeira empresa a ver as possibilidades dessa tecnologia para a telefonia celular foi a Qualcomm, e em 1990 ela propôs o primeiro sistema celular baseado em espalhamento espectral. Com isso, a Qualcomm é "dona" do CDMA comercial.

## ESPALHAMENTO DO ESPECTRO

A técnica do espalhamento do espectro foi desenvolvida no final da 2ª. guerra devido a necessidades do sigilo nas suas comunicações. Com o espalhamento do espectro pode-se notar uma redução de densidade de energia, melhora do alcance para alta resolução e múltiplo acesso, e isso porque a técnica do espalhamento do espectro utiliza uma largura de faixa muito maior que a necessária para transmitir informação.

Para um sistema ser considerado espalhamento do espectro deve ter alguns requisitos, tais como:

- possuir uma banda muito maior que a necessária para sua transmissão;
- o espalhamento espectral é obtido por código, que deve ser independente da mensagem;
- para o receptor, a recuperação do sinal é obtida com uma réplica sincronizada do sinal de código utilizado para espalhar informação.

Anteriormente a técnica usada nos sistemas do espalhamento do espectro era o TR (referência transmitida), mas tinha algumas desvantagens como:

- como o código era transmitido através do meio, estava disponível para qualquer um;
- facilmente atrapalhado por um jammer (interferência internacional);
- sua performance caía para sinais baixos;

Os sistemas do espalhamento do espectro modernos usam a técnica chamada de SR (referência armazenada), onde o sinal de códigos é gerado de forma independentes no receptor.

## O Spread Spectrum aplicado à Telefonia Celular CDMA

O Sistema CDMA é digital, a voz dos assinantes é digitalizada, pelo processo mais comum de conversação (PCM). Essa técnica consiste em se combinar o sinal de voz com uma taxa superior. Como é usada uma largura de faixa bem maior, o espalhamento da informação tem uma vantagem, que é uma pequena quantidade de energia por banda, que garante uma maior imunidade a interferências. Essa diferença na concentração de energia, permite uma fácil diferenciação, conseqüentemente uma fácil separação, entre os sinais codificados, mesmo que usem a mesma portadora no mesmo tempo.

Sabe-se que a largura de faixa ocupada por um sinal digital é função direta da sua taxa de bits. Quanto maior a taxa, maior a largura de banda necessária, desde que se mantenha o mesmo tipo de modulação.

No padrão CDMA IS-95, o sinal PCM de 64 Kbps é comprimido para um sinal de velocidade menor. Esta compressão é feita por um componente com o nome vocoder (codificação de voz). Vocoder é importante para aproveitar melhor o espectro de frequência, e onde caberia somente um canal de 64 Kbps, cabem sete canais de 8 Kbps.

O Sistema CDMA tem três princípios básicos:

- Quanto maior a velocidade do sinal, maior a faixa de frequências necessárias para transformá-lo;

- Na modulação, ou na codificação, quando a faixa original é expandida, mais fácil fica recuperá-lo, mesmo que ele esteja com ruído;

- Códigos extensos podem ser recuperados sem erros;

Depois que o código é aplicado, os sinais expandidos dos assinantes são transmitidos todos em uma mesma frequência, ou seja, são superpostos.

Nos sistemas celulares existem diversos usuários operando ao mesmo tempo. Com isso, há uma superposição de diversos sinais espalhados dentro da mesma banda, e na recepção, a qualidade do desespalhamento relativo a um usuário dependerá da relação de níveis, entre o sinal e a soma dos espalhamentos dos demais usuários.

Para isso, os códigos devem possuir as características de ortogonalidade, isto é, possuírem baixos valores decorrelação cruzada entre os mesmos.

## O Padrão CDMA

O CDMA tornou-se um padrão quando a TIA (Telecommunications Industry Association) em 1993 adotou o IS-95. Existem várias razões para se adotar o IS-95 para aplicações móveis:

- É compatível com o sistema AMPS (Advanced Mobile Phone Service);

- Requer poucas células;

- Inovações tecnológicas para superar a capacidade de problemas com sistemas analógicos.

## Custo e Capacidade

IS-95 foi caro para ser desenvolvido. Era mais complicado tecnicamente, requerendo muitos softwares de desenvolvimento e debugging.

Benefícios do CDMA:

- Aumento de capacidade de 8 a 10 vezes mais do que a tecnologia AMPS, e 4 a 5 vezes mais do que o GSM;

- Provê qualidade na chamada, com som melhor e mais consistente se comparado com o Sistema AMPS;

- O sistema é planejado e todos usuários usam a mesma frequência em todo setor de todas células;

- Privacidade herdada;

- Bandwidth ou demanda;

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O GSM é o padrão de sistema celular com mais usuários no mundo tendo atingido em 2002 segundo o EMC a marca de 792,8 milhões de assinantes ou 69,83% dos assinantes mundiais e está presente em praticamente todos os países. A presença mundial e o volume de assinantes e redes GSM é o grande trunfo deste sistema pois se traduz em facilidades de roaming e custos mais baixos para a rede e terminais.

O GSM foi introduzido no Brasil em 2002 com a licitação pela Anatel das Bandas D e E e está em operação em quase todo o Brasil. Foi adotado também pela maioria das operadoras que estão migrando do TDMA. Consulte o mapa dinâmico das operadoras.

A adoção do GSM pelas operadoras no Brasil tem impacto não apenas na interface rádio, o que exige novos terminais GSM, mas na rede nacional de roaming que é

atualmente baseada no IS-41 para os sistemas AMPS, TDMA e CDMA. A sinalização de roaming do GSM é feita através do protocolo MAP como suporte do SS#7.

## **GLOSÁRIO**

AMPS – advanced Mobile Phone System  
ARFCN - Absolute Rádio Frequency Channel Number  
AUC - Authentication Center  
BSC - Base Station Controller  
BSS - Base Station System  
BTS - Base Transceiver Station  
CCC - Central de Comutação e Controle  
CDMA - Code Division Multiple Access  
CEPT - Conference of European Posts and Telegraphs  
EDGE - Enhanced Data rates for GSM Evolution  
EFR - Enhanced Full Rate  
EIR - Equipment Identity Register  
ERB - Estação Rádio Base  
FSK - Frequency Shift Keing  
GMSK - Gaussian Minimum Shift Keying  
GPRS - General Packet Radio Service  
GSM - Global System for MóBILE  
HLR - Home Location Register  
IDSN - Integrated Services Digital Network  
ISP - Intermediate Service Part  
MAP - Mobile Application Part  
MSC - Mobile-Services Switching Centre  
MTS - Mobile Telephone Service  
OMC - Operational and Maintenance Center  
RF – Radio FrequênciA  
SCCP - Signaling Connection Control Part  
SIM - Subscriber Identity Module  
SMS – Short message service  
TCAP - Transaction capabilities application part.  
TDMA - Time Division Multiple Access  
VLR - Visitor Locantion Registrer

## ANEXO

Segurança em GSM exposta - uma análise

Quarta-Feira, 13 de Novembro de 2002

Por: Wanderley J. Abreu Jr.

Há algumas semanas a primeira operadora de celulares GSM (Global System for Mobiles) entrou em operação em 16 estados brasileiros tendo como um de seus apelos principais ser a solução definitiva em segurança para celulares.

Este artigo objetiva descrever, em pontos, problemas prementes de segurança encontrados nos padrões GSM e GPRS (Global Packet Radio System, seu sucessor da 2,5G). O leitor será encorajado ao longo do artigo a navegar através da Internet a fim de conhecer a realidade sobre alguns pontos do “underground” da tecnologia de segurança em celulares GSM e avaliar, por si, a segurança real a que é submetido.

O sistema GSM traz sem dúvidas muitas vantagens técnicas sobre os sistemas atuais, principalmente para aqueles usuários que desejam fazer uso da transmissão de dados sobre esta banda que, além de grande velocidade de conexão, possui uma confiabilidade superior. O objetivo de nosso artigo é discutir um ponto que tem sido freqüentemente questionado, relacionado à segurança dos aparelhos de celulares do ponto de vista do usuário. O advento desta tecnologia trouxe consigo a expectativa de que o GSM daria fim ao cada vez mais freqüente perigo da clonagem e escuta dos aparelhos. É verdade que esta tecnologia acopla novos mecanismos de segurança, porém, convém ficar alerta, pois já estão sendo disponibilizados mecanismos que permitem alterar configurações dos aparelhos, alguns em benefício do usuário – muito conhecido como movimento pelo “fair use”, mas que também permite a reedição dos mesmos problemas de segurança existentes na tecnologia atual.

Para podermos compreender melhor o que está sendo oferecido e qual o nível de confiabilidade e segurança que haveremos de ter, descrevemos a seguir os conceitos básicos que aperfeiçoam a segurança dos aparelhos GSM e que está baseada na criptografia da sua mensagem (voz ou dados), entre o seu aparelho e a Operadora.

Existem três níveis de segurança compreendendo uma rede GSM. O primeiro tem por objetivo provar que o aparelho tentando se conectar pertence a um usuário válido e devidamente registrado. Um chip, ou SIM (Subscriber Identity Module) Card, contém todas as informações do usuário, contendo uma chave secreta (S/Key) e a Operadora de Celular mantém uma cópia exata dessa chave no Authentication Center (AC).

Durante o processo de autenticação, o AC gera um número aleatório e o envia para o seu aparelho de celular. Ambos, o seu aparelho e o AC da Operadora, usam esse número em conjunção com a chave secreta (S/Key) e, através de um algoritmo criptográfico denominado A3, geram um número X que deverá ser o mesmo calculado pelo AC da Operadora, e neste caso é autenticado.

O número calculado acima é usado em conjunto com número um de pacote, este bastante semelhante ao TDMA (isso mesmo! O mesmo TDMA usado na banda B de telefonia celular aqui no Brasil, o protocolo GSM digital foi baseado nele) e um outro algoritmo criptográfico chamado de A5, para criptografar os dados que são enviados e recebidos durante uma ligação.

O último nível de segurança utilizado no aparelho de celular é o IMEI (International Mobile Equipment Identity) um número único dado a cada celular no mundo. Uma lista de IMEIs válidos na rede é guardada no Equipment Identity Register (EIR). Obtém-se a partir dele os seguintes status:

Whitelisted (Tudo OK) - O aparelho pode conectar-se à rede.

Greylisted (Atenção) - Sob observação: normalmente este status é dado a celulares sob suspeita de clonagem ou falta de pagamento.

Blacklisted (Não Aprovado) - O terminal foi roubado, ou algum outro problema impede o celular de conectar-se à rede.

Aqui já temos uma brecha, pois o IMEI pode ser mudado com certa facilidade nos aparelhos, tornando possível enganar este sistema no caso de celulares roubados.

Para saber mais sobre o sistema GSM, acesse o site <http://www.howstuffworks.com/question537.htm>.

Já foi provado que é possível clonar celulares GSM. O perigo é justamente este, o de sermos induzidos, através de “caprinescas” e futebolísticas campanhas de marketing, a crer que a segurança deste sistema é infalível.

Um grupo de pesquisadores da Universidade da Califórnia, Berkeley, conseguiu clonar aparelhos GSM com base na engenharia reversa de seu algoritmo (COMP128), derivado de outro algoritmo chamado A5/1. Embora estude-se mudar o padrão de criptografia mundial para o assim chamado A5/3, semelhante ao original (mas sem a vulnerabilidade que leva à possibilidade de quebrá-lo), o bug não foi corrigido no GSM atual. O Brasil ainda usa o COMP128 por questões de compatibilidade com o padrão GSM europeu. <http://www.isaac.cs.berkeley.edu/isaac/gsm.html>

<http://www.isaac.cs.berkeley.edu/isaac/gsm-faq.html>.

A técnica mencionada acima exige essencialmente que haja a possibilidade de se obter o cartão SIM a ser clonado, embora, em tese, possa sê-lo feito também pela transmissão através do ar, mas, neste caso, o custo da aparelhagem é bem superior aos da clonagem de um celular nos padrões mais utilizados no Brasil hoje (TDMA e CDMA). Ficaria em torno de R\$ 30.000,00.

Outro dado ininteressante é que, até o momento da redação desta, o PIN (Personal Identification Number) é igual em todos os celulares da Operadora Oi (primeira operadora GSM brasileira), assim que saem da loja, isto é, 8888. Embora o PIN possa ser alterado, é muito mais fácil ter o acesso primário ao SIM Card e ao celular.

Finalmente, outras técnicas de fraude vêm sendo desenvolvidas e sempre o serão. Um artigo publicado pelo finlandês Jukka Hynninen da Helsinki University of Technology, explica diversas formas de fraude em aparelhos de telefonia móvel e como são perpetradas. Normalmente pensa-se que só há a clonagem, mas existem diversas formas e utilizações variadas e cujo objetivo nem sempre é o de não pagar a conta.

Especificamente sobre o GSM, usa-se a mudança de IMEI para evitar o rastreamento do celular, uma vez que se torna mais difícil rastreá-lo, pois isso causa a impressão de estarem sendo usados diferentes aparelhos. Continuar com a escuta e a localização dos aparelhos ainda é factível, mas isso exigiria uma busca por assinatura de rádio-freqüência, coisa que a polícia brasileira não está tecnicamente preparada para fazer.

Como ex-membro do Ministério Público, fundador da Coordenadoria de Investigações Eletrônicas, pude observar por vezes as técnicas de rastreamento de celular utilizadas pela polícia carioca, e estas certamente não funcionarão no caso de fraudes como as que podem ser perpetradas através de celulares GSM.

Vale a pena conferir o artigo em <http://www.niksula.cs.hut.fi/~jthynnin/mobfra.html>.

Estive na Europa ano passado por conta da HAL2001 (Conferência de segurança que acontece de 4 em 4 anos na Holanda). Nesta ocasião adquiri na Alemanha um celular da e-Plus, operadora alemã que trabalha em GSM.

Pois bem, quando tive a oportunidade de ir à loja da Oi para habilitá-lo aqui no Brasil, constatei que não poderia fazê-lo. Embora o sistema fosse o mesmo, o aparelho de celular foi atrelado à operadora alemã através de uma senha de reconhecimento de SIM Card.

Procurei um pouco pela Mãe das Redes à caça de informações sobre esse procedimento, e descobri que esta é uma prática muito comum em aparelhos GSM e é conhecida como "SIM LOCK".

Não fiquei supreso em descobrir que o mesmo acontece nos celulares vendidos aqui no Brasil pela Oi. Para constatar essa infeliz semelhança entre as empresas européia e brasileira, coloquei o SIM Card alemão no celular brasileiro e a mensagem foi contundente: "Cartão BLOQUEADO". E ficou, como seu similar alemão, pedindo o código para desbloqueio. Interessante dizer que quem comprou o celular Oi e mais tarde quiser mudar para TIM ou outra operadora aqui ou lá fora, não poderá fazê-lo.

Entretanto, descobri que há lojas especializadas em vender "kits" para desbloquear os celulares. Virtualmente todos os modelos podem ser desbloqueados. Estes "kits" permitem mudar as configurações do celular, como ícones, transferir toques personalizados, os quais podem ser baixados pela Internet ou serem adquiridos via SMS e até mesmo alterar o IMEI do aparelho.

<http://www.commshop.co.uk/acatalog/index.html>; site inglês que fornece um KIT de Unlock  
<http://gsmzone.a4.pl/english/index.html>; site com FAQs sobre a tecnologia GSM e seu lado underground.

Embora indubitavelmente a solução GSM seja a mais utilizada em todo mundo, e, comparativamente às outras, possa ser considerada mais segura, está longe ainda da utopia da segurança e inviolabilidade absolutas. Como qualquer tecnologia sensível de comunicação, continuará exigindo atenção redobrada, e não irá resolver o já banalizado problema do tráfico comandado de dentro das cadeias e seqüestros anunciados através de celulares.

Esta ferramenta de comunicação moderna exige também dos seus usuários uma responsabilidade maior em seu uso, como o cartão de crédito ou mesmo a conta de Internet. A tecnologia está aí, pode e deve ser usada sim, mas sempre com conhecimento dos perigos inerentes a ela. A sociedade e os usuários, principalmente, merecem receber todo o conhecimento e alertas necessários à sua própria segurança.



## **Referências**

### **Anatel**

Adaptação dos Instrumentos de Concessão e de Autorização do Serviço Móvel Celular SMC para o Serviço Móvel Pessoal – SMP. Anexo à resolução 318 de 27 de setembro de 2002;

### **3GPP**

Responsável pela padronização da evolução do GSM para 3 G.

### **ETSI**

Desenvolveu as normas para o GSM. É possível fazer download gratuito das normas.

### **GSM World**

Site da associação do GSM

### **Wireless BR**

Seção com vários artigos sobre GSM.

### **Sites:**

<http://www.teleco.com.br>

<http://www.planetacelular.com.br>

[http://infobase.2it.com.br/?sec\\_cod=3&news\\_cod=1](http://infobase.2it.com.br/?sec_cod=3&news_cod=1)

<http://www.terra.com.br/celular/tudosobre4.htm>

<http://www.las.ic.unicamp.br/~edmar/Palestras/UFLA/SistemasMoveis.pdf>