

2.

O Sistema GSM

2.1.

Um Breve Histórico

A telecomunicação móvel é, certamente, uma das maiores invenções dos últimos tempos. Este meio de comunicação começou a surgir quando as primeiras transmissões utilizando ondas de rádio foram realizadas no século passado para a radiotelegrafia. Desde então esta técnica tem sido aperfeiçoada, sendo inicialmente utilizada para comunicações militares.

A primeira aplicação pública de sistemas de radiocomunicações móveis bidirecionais ocorreu depois da Segunda Guerra Mundial, quando o uso da modulação de frequências e técnicas eletrônicas habilitou a implementação do serviço telefônico em carros. O serviço telefônico móvel nasceu oficialmente em St. Louis (Missouri, EUA) em 1946.

A primeira rede de telefonia móvel foi operada manualmente, isto é, para se realizar uma chamada de um celular para uma rede fixa necessitava-se da intervenção de um operador que conectava a chamada telefônica à rede pública fixa. Os primeiros terminais móveis eram grandes, pesados e extremamente caros e a área de cobertura pequena e restrita. Dispunha-se de um pequeno espectro de rádio para este tipo de serviço e a prioridade na utilização deste era para sistemas militares. Como consequência, a capacidade do sistema saturou rapidamente e a qualidade de serviço decaiu, gerando congestionamento e, às vezes, queda do sistema por completo.

Entre 1950 e 1980 os sistemas de rádio móvel evoluíram, tornando-se automáticos e seus custos caíram em virtude da introdução da tecnologia de semicondutores. A capacidade foi aumentada, mas como ainda continuava sendo um artigo de luxo por ser caro, houve pouca demanda. Durante os anos 70, com a integração em larga escala de dispositivos eletrônicos e o desenvolvimento de

microprocessadores, abriram-se portas para o desenvolvimento de sistemas mais complexos.

A real inovação nos sistemas móveis surgiu com o conceito *celular*, onde uma determinada área geográfica é dividida em vários pedaços, chamados *células*. Nestas *células* são instaladas antenas, omnidirecionais ou setORIZADAS, que transmitem e recebem as frequências de todos os terminais móveis que estiverem compreendidos nesta área. Só que existia o problema do tamanho da área de cobertura, pois o espectro disponível era pequeno e deveria ser dividido entre as *células* existentes no sistema. A solução encontrada foi que, em vez de se tentar aumentar a potência de transmissão destas *células* para se conseguir uma maior área de cobertura, dever-se-ia utilizar o conceito de reuso de frequência, onde a mesma frequência seria utilizada por várias *células* em vários locais diferentes, longe o bastante uma das outras, evitando-se assim o efeito de interferência co-canal e resultando em um enorme ganho na capacidade do sistema.

O conceito celular foi introduzido pela Bell Labs e estudado em vários lugares no mundo durante os anos 70. Nos Estados Unidos, o primeiro sistema celular foi o AMPS (*Advanced Mobile Phone System* - Sistema de Telefonia Móvel Avançado) que se tornou uma realidade em 1979 quando a primeira rede foi aberta em Chicago. Nos países do Norte da Europa as operadoras de telecomunicação junto com alguns fabricantes desenvolveram o sistema NMT (*Nordic Mobile Telephone* – Telefone Móvel Nórdico). O sistema iniciou sua operação na Suécia em setembro de 1981 e brevemente depois na Noruega, na Dinamarca e na Finlândia.

Estas duas tecnologias tornaram-se unanimidade em redes móveis no mundo nos anos 90. Outras tecnologias surgidas neste período ou eram baseadas no AMPS ou no NMT. Um exemplo disto é a tecnologia TACS (*Total Access Communications Systems* – Sistemas de Comunicação de Acesso Total), derivada do AMPS, que começou a operar no Reino Unido a partir de 1985. A tabela 1 apresenta a maioria das redes celulares em operação na Europa no início dos anos 90.

País	Sistema	Frequência de Operação	Início das Operações	Número de Assinantes
Reino Unido	TACS	900 MHz	1985	1.200.000
Escandinávia (Suécia, Noruega, Finlândia, Dinamarca)	NMT	450 MHz	1981	1.300.000
		900 MHz	1986	
França	Radiocom 2000	450 MHz, 900 MHz, 450 MHz	1985	300.000
	NMT		1989	90.000
Itália	RTMS	450 MHz	1985	60.000
	TACS	900 MHz	1990	560.000
Alemanha	C-450	450 MHz	1985	600.000
Suíça	NMT	900 MHz	1987	180.000
Países Baixos	NMT	450 MHz	1985	130.000
		900 MHz	1989	
Áustria	NMT	450 MHz	1984	60.000
	TACS	900 MHz	1990	60.000
Espanha	NMT	450 MHz	1982	60.000
	TACS	900 MHz	1990	60.000

Tabela 1 - Sistemas Celulares Disponíveis até o Ano de 1992 [1]

Todos estes sistemas celulares são baseados na transmissão analógica da voz com modulação em frequência.

Equipamentos móveis foram desenvolvidos rapidamente durante os anos 80. No início da década somente equipamentos veiculares podiam ser desenvolvidos e instalados. Em meados dos anos 80 o equipamento portátil surgiu, mas era grande e possuía pequena autonomia (poucas horas). Em 1990 apareceram os primeiros terminais móveis pequenos, que pesavam menos de 400 gramas e cabiam em um bolso. Em paralelo com a redução do tamanho dos terminais móveis, o preço do serviço celular caiu drasticamente, tornando a tecnologia acessível a um maior número de pessoas.

Apesar da implantação com sucesso do sistema NMT na Europa, vários países europeus perceberam as limitações existentes no sistema analógico. Entre as limitações vistas em [1] e [3], podem se destacar quatro como sendo as principais: em primeiro, a grande demanda pelo uso da tecnologia celular apresentou um crescimento vertiginoso que o sistema analógico não conseguiria atender. Em segundo, o sistema analógico é muito suscetível às interferências entre os próprios terminais e as causadas pelo multipercurso do sinal, degradando a qualidade do sistema. Em terceiro, os diferentes sistemas em operação não ofereciam nenhuma compatibilidade entre si, fazendo com que usuários móveis da rede NMT não conseguissem acessar a rede do TACS e vice-versa. Em quarto, em virtude da distribuição de espectro ser severamente limitada pelos órgãos federais, era preciso que surgissem novas tecnologias que fizessem uma utilização mais eficiente do espectro disponível. Estas circunstâncias, aliadas ao alto custo de desenvolvimento e implementação de uma tecnologia específica a ser utilizada em um único país, fizeram com que os países europeus se reunissem e desenvolvessem em conjunto uma nova tecnologia que suprisse os pontos deficitários do sistema AMPS e que possuísse interconectividade entre as redes em qualquer país dentro da Europa.

O principal pré-requisito para que um sistema de rádio seja utilizado em comum é o uso de uma frequência de rádio igual em todos os países a adotá-lo. Para isto a Europa reservou duas bandas de 25 MHz cada na faixa de 900 MHz para comunicações móveis, removendo assim uma grande barreira que impedia o uso de um sistema padrão por todos os países do continente.

Em 1982 a CEPT (*Conférence Européenne des Administrations des Postes et Télécommunications* – Conferência Européia de Administração dos Correios e Telecomunicações), entidade européia responsável pela padronização de novas tecnologias, criou um grupo que possuía a tarefa de especificar um novo sistema de radiocomunicação para a Europa, na faixa de 900 MHz. O grupo, denominado GSM (*Groupe Spécial Mobile* – Grupo Especial Móvel) realizou a sua primeira reunião em dezembro de 1982 em Estocolmo, sob a liderança de Thomas Haug, da Suécia. Faziam parte deste grupo 31 pessoas de 11 países europeus. Em 1990, a pedido do Reino Unido, a especificação de uma nova versão para o GSM na faixa de 1800 MHz foi adicionada ao escopo do grupo de padronização, com a alocação de duas bandas de 75 MHz cada. Esta variação, agora referenciada como

DCS1800 (*Digital Cellular System 1800* – Sistema Celular Digital 1800) era apontada como uma nova tecnologia que alcançaria capacidades mais altas em áreas urbanas, ficando conhecida como PCN (*Personal Communications Network* – Redes de Comunicação Pessoal).

A elaboração do Padrão GSM levou quase uma década, como descrito na tabela 2.

Ano	Realizações
1982	O grupo GSM foi criado dentro do CEPT.
1986	Um Núcleo Permanente foi criado.
1987	As principais técnicas de transmissão rádio foram criadas, baseadas na evolução de protótipos criados em 1986.
1989	O GSM tornou-se membro do Comitê Técnico da ETSI (<i>European Telecommunications Standards Institute</i> – Instituto de Padronização das Telecomunicações Européias).
1990	A fase 1 das especificações do GSM900 ¹ (traçadas entre 1987 e 1990) ficam prontas.
1991	Os primeiros sistemas são testados na Telecom91.
1992	Início das operações comerciais pelas operadoras usando o GSM900.

Tabela 2 - Marcos do Projeto GSM [1]

2.2. Organização dos Trabalhos de Padronização

Os dois primeiros anos do início da padronização foram dedicados a discussões dos princípios fundamentais do novo sistema. Em 1984 foram criados pela CEPT três grupos de trabalho independentes dentro do GSM, onde cada um era responsável pela padronização de uma parte do sistema. O WP1 era responsável pela definição dos serviços; o WP2 pela especificação das

¹ O Termo “GSM900” será usado de agora em diante para referenciar o padrão GSM na faixa de 900 MHz, para diferencia-lo do Padrão DCS1800. Quando a distinção não for necessária, somente será usado o termo “GSM”, referindo-se aos dois padrões citados acima.

transmissões rádio; e o WP3 pela definição da arquitetura da rede, pela especificação dos protocolos de sinalização e pelas interfaces abertas entre as entidades de rede. Posteriormente surgiu um quarto grupo de trabalho, que era responsável pela implementação dos serviços de dados.

Alguns dos objetivos comuns a todos os grupos criados eram [2]:

- Permitir *roaming* internacional sob o mesmo número em qualquer parte do mundo que utilizasse o sistema GSM;
- Interoperação eficiente com os sistemas ISDN (*Integrated Services Digital Network* – Rede Digital de Serviços Integrados);
- Qualidade de sinal melhor ou igual aos sistemas existentes;
- Alta capacidade de tráfego;
- Disponibilização de outros tipos de serviços (serviços de dados, teleconferência, *short message* – mensagens curtas, etc);
- Disponibilização de terminais móveis portáteis;
- Alto nível de segurança (prevenção contra fraudes).

Durante o trabalho de especificação do padrão verificou-se a necessidade de dividir a implantação do sistema em duas fases distintas. A primeira fase (*Phase 1*) limitar-se-ia aos serviços mais comuns, isto é, ao serviço de voz e transmissão de dados a pequenas taxas. A segunda (*Phase 2*), a serviços suplementares, como teleconferência, *short message* e identificador de chamadas. As tabelas 3 e 4 fazem um resumo dos serviços disponíveis em cada fase de implantação do sistema GSM.

Categoria de Serviços	Serviços	Detalhamento
Serviços de Telefonia	Telefonia (fala)	Transmissão <i>half rate</i> a 6.5 kbps
	Serviços de <i>short message</i>	Envio de mensagens curtas de até 160 caracteres alfanuméricos
Serviços Complementares	Transferência de dados	Taxas de 2400 a 9600 bps
Serviços Suplementares	Identificador de chamadas	
	Chamada em espera	Informa ao usuário sobre a chegada de uma segunda ligação durante o diálogo de uma primeira.
	<i>call hold</i>	Coloca-se uma chamada ativa em espera enquanto se origina ou recebe outra chamada
	Teleconferência	Estabelecimento de conversações simultâneas.
	Especificação de grupos de usuários	Estabelecimento de grupos com acesso limitado
	Dispositivos de troca	Trocas de informação online
	Restrições determinadas pelo operador	Restrições do operador ao usuário a serviços diferenciados e tipos de chamadas específicas

Tabela 3 - Serviços Determinados para a Fase 2 do GSM [3]

Categoria de Serviços	Serviços	Detalhamento
Serviços de Telefonia	Telefonia (fala)	Transmissão <i>full rate</i> a 13 kbps.
	Chamadas de Emergência	Chamadas a bombeiros e polícia.
Serviços Complementares	Transferência de dados	Taxas de 300 a 9600 bps
Serviços Suplementares	Encaminhamento de chamadas	Exemplo: assinante estiver em uma ligação e outra chamada chegar, sua chamada é redirecionada.
	Bloqueio de chamadas	Exemplo: bloqueio de todas as chamadas, ou somente chamadas internacionais.

Tabela 4 - Serviços Determinados para a Fase 1 do GSM [3]

Dentre todos os serviços propostos para a Fase 2 do GSM somente o serviço de telefonia (fala) a taxas de transmissão *half rate* de 6,5 kbps não foi ainda implementado.

Como mencionado anteriormente, a faixa de frequência escolhida na Europa para operar o GSM foi de 900 MHz e para esta faixa alguns métodos de transmissão foram definidos:

- A separação média das portadoras seria de 200 kHz;
- A transmissão da voz seria digital com uma taxa que não excedesse a 16 kbps (*full rate*). (Utilizou-se 13 kbps como padrão para o *full rate*);
- Utilizar-se-ia o método TDMA (*Time Division Multiple Access* – Acesso Múltiplo por Divisão no Tempo) de acesso à portadora, onde esta multiplexação do tempo seria de ordem 8, ou seja, a portadora TDMA seria dividida em 8 *slots* de tempo (*time-slots*), cada um reservado à transmissão de voz de um assinante;
- Apresentaria capacidade de *slow frequency hopping* (saltos lentos na frequência);

Posteriormente à criação do quarto grupo de trabalho, surgiu a idéia de implantar uma fase 2+ (*Phase 2+*), onde seriam disponibilizados aos usuários os serviços de dados HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) e GPRS (*General Packet Radio Service*).

2.3. Características da Cobertura Celular para o Sistema GSM

A cobertura de uma determinada área geográfica utilizando o conceito de células, agregado ao conceito de reuso de frequências, soluciona um dos maiores problemas existentes nas comunicações móveis: a escassez do espectro disponível. O conceito celular nos permite uma alta densidade de tráfego em uma determinada área, reduzindo custos da infra-estrutura e sua complexidade. Para isto, a região a ser coberta é dividida em áreas menores, chamadas de *clusters*, que por sua vez são subdivididas em unidades ainda menores, denominadas células. Dentro das células são instaladas as estações rádio-base (BTS's), cada uma possuindo a capacidade de cobrir uma pequena zona geográfica. Com o reuso de frequências, uma dada frequência utilizada em uma célula pode ser reutilizada em outras, desde que seja garantida uma distância mínima entre as células que utilizam as mesmas frequências, para que a interferência causada entre ambas permaneça em níveis aceitáveis. Dentro do *cluster*, apresentado pela figura 1, todo o espectro disponível pode ser utilizado, sendo que os canais disponíveis são divididos entre as células de tal maneira que um determinado canal só estará presente em uma única célula do *cluster*.

Para o sistema GSM é utilizado o padrão de células hexagonais com simetria rotacional, pois este padrão assegura uniformidade nos níveis de interferência entre células que utilizam o mesmo conjunto de canais em *clusters* distintos.

A razão de reuso de canal, descrito em [6], é um parâmetro que determina a interferência co-canal e ao mesmo tempo limita a capacidade de tráfego do sistema. É expresso por:

$$q = \frac{D}{Rc} = \sqrt{3N} \quad (1)$$

onde:

D = distância entre dois *clusters*;

Rc = raio da célula;

N = número de células do *cluster*.

Para a simulação do sistema GSM proposto utilizou-se dois fatores de reuso distintos: o fator de reuso 7 e o fator de reuso 4, como demonstrado pela figura 1 e 2, respectivamente.

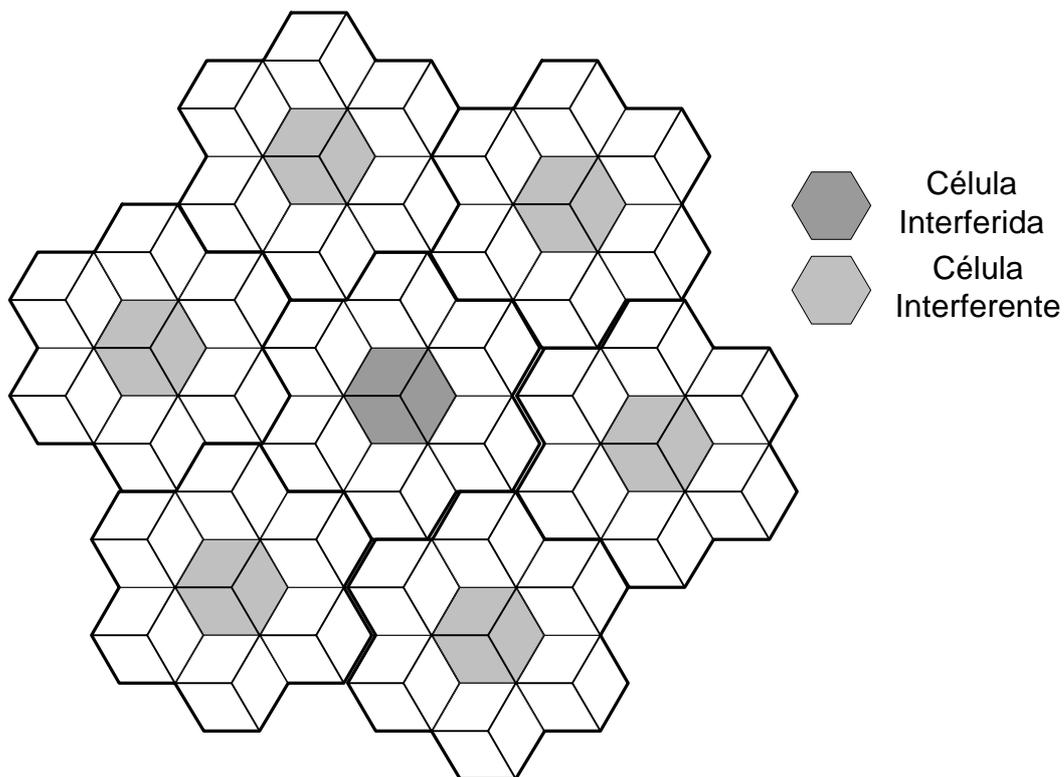


Figura 1 - Configuração Celular com Fator de Reuso 7, Setorização Tripla e Interferência Co-Canal

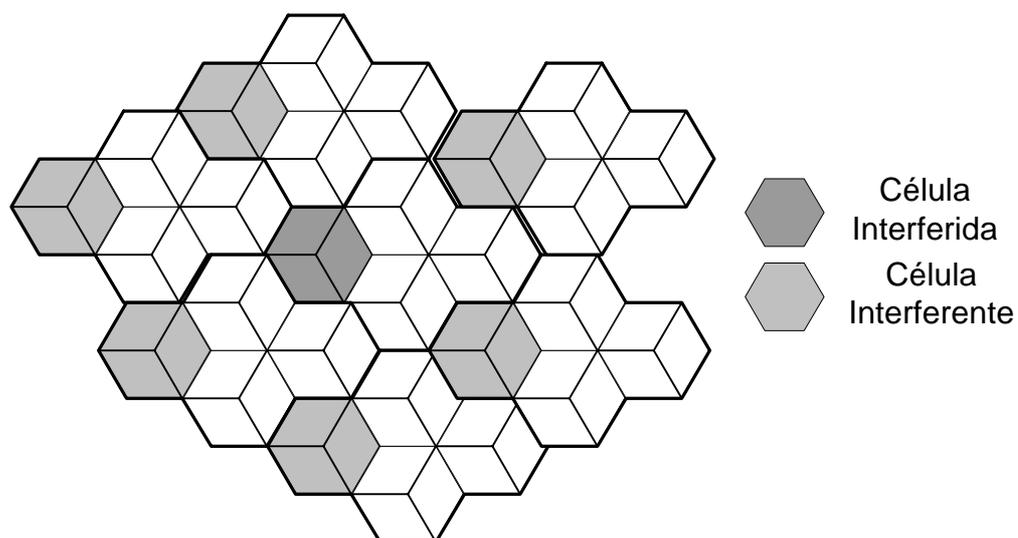


Figura 2 - Configuração Celular com Fator de Reuso 4, Setorização Tripla e Interferência Co-Canal

A setorização é uma técnica que consiste em dividir a célula em setores, cada um servido por um conjunto diferente de canais e iluminado por uma antena direcional. Possui o benefício de reduzir a interferência, mas em contra-partida reduz a capacidade de tráfego no *cluster*. Na prática utilizam-se divisões em três ou seis setores. Para o simulador foi proposto somente a utilização de células com três setores, como demonstrado nas figuras 1 e 2.

A interferência co-canal surge em virtude do reuso de frequências dentro dos *clusters* criados. Para uma configuração celular com simetria hexagonal, esta interferência pode ser calculada considerando seis células interferentes a uma distância 'D' da célula interferida, doze células interferentes a uma distância '2D', e assim sucessivamente, para o caso de células omnidirecionais.

Considerando as leis de potência para a perda de propagação com a distância, a relação aproximada entre o sinal desejado (S) e a interferência co-canal (I) para o caso de células omnidirecionais é dada por:

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{6 \left(\frac{D}{Rc} \right)^{-\gamma}} = \frac{q^\gamma}{6} \quad (2)$$

onde:

γ = fator de variação da perda de propagação com a distância, com valor entre 2 e 5.

Com a setorização, a interferência entre as células diminui, pois a antena não mais irradia em todas as direções (omnidirecional). Para o caso da setorização tripla, a interferência fica restrita a um setor de outras duas células do primeiro anel interferente e a relação $\frac{S}{I}$ pode ser reescrita, de forma aproximada, por:

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{2 \left(\frac{D}{Rc} \right)^{-\gamma}} = \frac{q^\gamma}{2} \quad (3)$$

Para o desenvolvimento do simulador levou-se em conta somente o primeiro anel interferente, como demonstrado pela figura 1.

Pode também existir o processo de divisão celular (“*cell splitting*”) para se atender ao aumento de demanda de tráfego numa região específica. A instalação de micro-células aumenta consideravelmente o número de células dentro de um *cluster*, bem como o número de estações rádio-base instaladas e o número de *handovers* realizados, mas a capacidade do sistema também aumenta proporcionalmente. A criação de micro-células no simulador proposto não foi implementada, deixando como trabalho futuro esta implementação e a análise do comportamento do sistema perante a presença de um número maior de células e do aumento da capacidade de tráfego.

O número de estações rádio-base necessárias para a cobertura de uma dada área com uma determinada densidade de tráfego, e subseqüentemente o custo da infra-estrutura, são determinados diretamente pelo fator de reuso e o número de canais de tráfego que podem ser extraídos do espectro disponível pela operadora. Estes dois fatores combinados recebem o nome de eficiência espectral do sistema.

Nem todas as tecnologias celulares existentes permitem o mesmo desempenho. Elas dependem em particular da robustez do esquema contra a interferência na transmissão de rádio, mas também no uso de várias técnicas, como a redução da taxa de transmissão durante os períodos de silêncio da fala. Estas técnicas serão abordadas nos próximos tópicos.

2.4. Arquitetura GSM

A arquitetura da rede GSM sofreu grande influência do sistema ISDN em virtude da exigência de compatibilidade e interoperação determinada pelo CEPT. A figura 3 apresenta os elementos de rede do sistema GSM com as respectivas interfaces de conexão existentes entre si.

O Terminal Móvel (MS - *Mobile Station*) GSM é o responsável pela comunicação entre o usuário e a rede celular. É composto por duas partes: o SIM Card (*Subscriber Identity Module Card* – Cartão Móvel de Identidade do Assinante) e o aparelho propriamente dito.

O SIM Card é um chip de memória com um processador embutido, afixado em um cartão removível, que armazena as principais informações sobre o assinante, incluindo números de identificação (IMSI – *International Mobile Subscriber Identity* – Identidade Internacional do Assinante Móvel e o Ki – *Individual Subscriber Authentication Key* – Chave Individual de Autenticação do Assinante) e detalhes do plano de serviços. Possui a função de identificar o assinante para a rede. Sem o SIM Card o Terminal Móvel fica inoperante, liberando acesso somente a chamadas de emergência. Para a segurança do assinante, o SIM Card possui dois códigos que liberam a utilização do mesmo: o PIN (*Personal Identification Number* – Número de Identificação Pessoal) e o PUK (*Personal Unblocking Key* – Chave de Desbloqueio Pessoal). O PIN é solicitado todas as vezes que o SIM Card for retirado do aparelho ou quando o mesmo é ligado. Caso o código PIN seja digitado incorretamente três vezes, o SIM Card é bloqueado, só sendo liberado pelo PUK.

O Terminal Móvel é composto pelo hardware de transmissão da interface rádio. Nele também ficam armazenados alguns códigos de identificação que são utilizados pela rede, entre eles o IMEI (*International Mobile Equipment Identity* – Identidade Internacional do Equipamento Móvel) e o *Classmark*, que descreve a capacidade do terminal.

A interface *Um*, também chamada de *interface aérea*, é responsável pelas trocas entre o terminal móvel e a BSS (*Base Station System* – Sistema da Estação Rádio-Base). É por ela que se trafegam voz e dados transmitidos e recebidos pelo terminal móvel. Esta interface utiliza a técnica de acesso NB-TDMA (*Narrow Band* – Faixa Estreita) com duplexação em frequência (*FDD*) e modulação GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*), com taxa de transmissão de voz de 13 kbps.

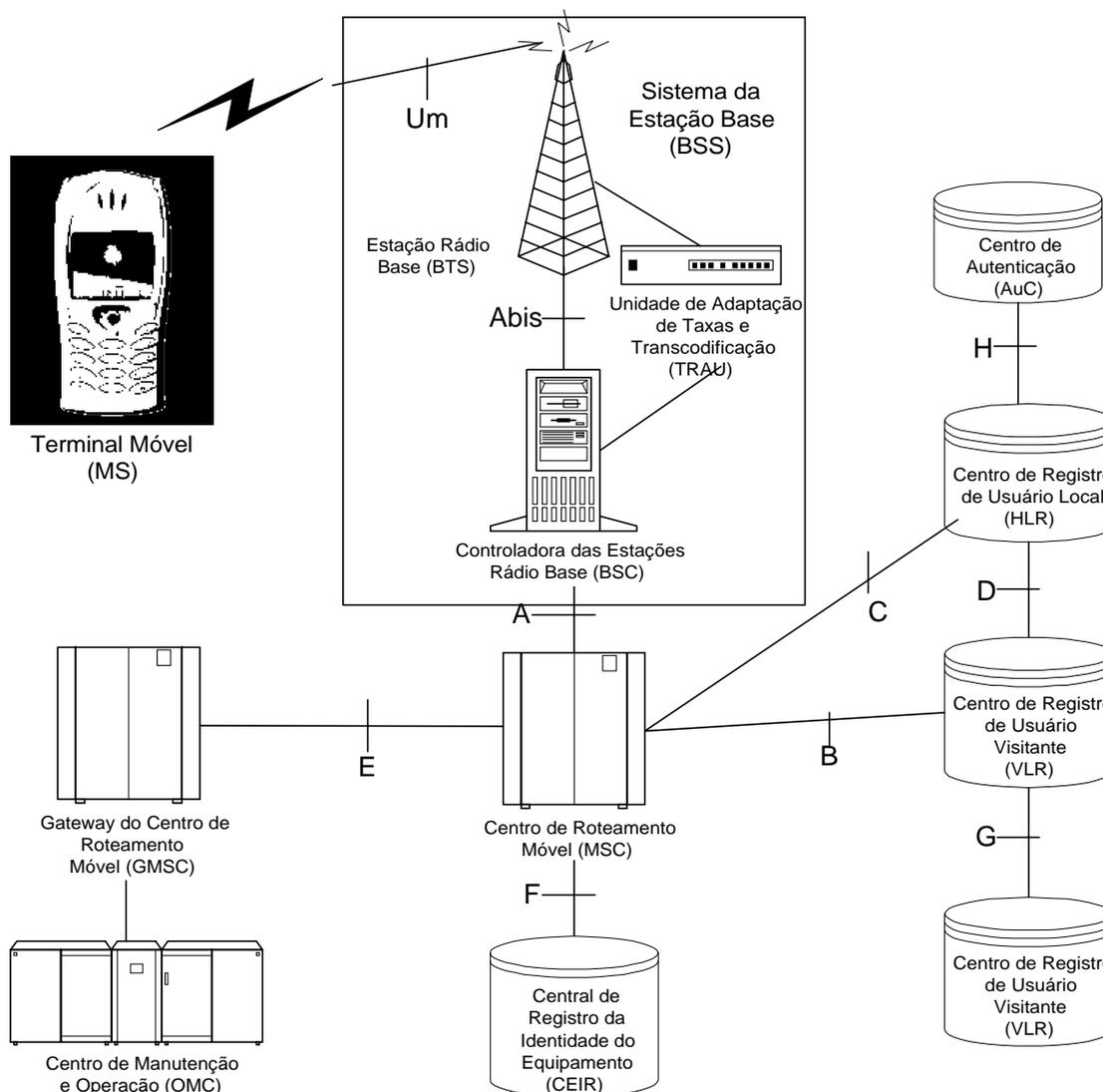


Figura 3 - Arquitetura de Rede GSM

A BSS é composta pela BTS (*Base Transceiver Station* – Estação Rádio Base, também chamada de ERB), pela BSC (*Base Station Controller* – Controladora da Estação Rádio Base) e pelo TRAU (*Transcoder and Rate Adaption Unit* – Unidade de Adaptação de Taxas e Transcodificação). A BTS consiste de dispositivos de transmissão e recepção rádio. O TRAU é uma entidade que tem a função de codificação e decodificação da voz de acordo com a especificação do padrão GSM, e de adaptação das taxas de transferência de dados. A BSC é responsável pela gerência dos recursos de rádio, configuração e alocação dos canais, gerência de *handover* e pelo controle das BTS's, podendo gerenciar várias em conjunto. A interface que conecta as BTS's a BSC é a interface *Abis*, que tem características semelhantes à interface A, descrita posteriormente.

O MSC (*Mobile Services Switching Centre* – Centro de Roteamento de Serviços Móvel) é o responsável pela interface da rede celular com outras redes de telefonia, entre elas a RTPC (Rede Telefônica Pública Comutada). Através dele é que as chamadas são encaminhadas ao seu destino. Ele determina a melhor rota para o envio dos dados ao seu destinatário e aloca este recurso, deixando-o reservado até o término da chamada.

A interface A é a responsável pela ligação entre a BSC e o MSC. Por ela podem trafegar tanto voz/dados como sinalização da rede, conhecida como SS7 (Signalling System Number 7 – Sistema de Sinalização Nº 7) ([4] e [5]). Possui a capacidade de transportar vários canais de tráfego de 2 Mbits cada.

A interface E é a responsável pela conexão entre dois MSC's distintos utilizando enlaces de sinalização SS7 e conexões de tráfego para enviar dados e voz dos usuários através de redes distintas, solicitações de *handover* e estabelecimento e liberação de conexões.

O HLR (*Home Location Register* – Centro de Registro do Usuário Local) tem a função de armazenar a identidade e os dados de todos os assinantes dentro de uma área coberta por um MSC. Os dados armazenados podem ser de dois tipos: permanentes, como o IMSI, chaves Ki, plano de serviços do assinante; e temporários, como o endereço do VLR (*Visitor Location Register* – Centro de Registro do Usuário Visitante), chamadas encaminhadas e parâmetros temporários para autenticação e criptografia.

A interface de conexão do MSC ao HLR é a interface C e por ela só trafega sinalização SS7.

O VLR (*Visitor Location Register* – Centro de Registro do Usuário Visitante) também armazena todos os dados permanentes e temporários dos usuários ativos de um MSC, mesmo que estes sejam usuários locais. Esta duplicação de dados em 2 bancos de dados diferentes tem a função de auxiliar um MSC durante o estabelecimento de uma chamada e no processo de autenticação do usuário. No estabelecimento de uma chamada pelo móvel o MSC consulta o VLR sobre as informações do assinante, em vez de consultar o HLR. A consulta ao HLR só existirá se as informações não estiverem gravadas no VLR, diminuindo assim o fluxo de consulta de dados ao HLR. O VLR também armazena todos os dados dos usuários em *roaming*, informando ao HLR daquele usuário em *roaming* a sua posição temporária.

A interface de conexão entre o HLR e o VLR é feita pela interface *D*, onde só trafega sinalização SS7 com a transferência de informações sobre os usuários da rede.

Existem também a interface *B*, que conecta o MSC ao VLR e a interface *G*, que conecta dois VLR's distintos. Estas também só utilizam enlaces de sinalização SS7.

O AuC (*Authentication Center* – Centro de Autenticação) é um banco de dados de autenticação do assinante. Nele ficam armazenados todos os algoritmos utilizados no processo de validação de um usuário, com seus respectivos valores de entrada e resultados de saída. Também ficam armazenados as chaves de segurança e os algoritmos de criptografia. Alguns destes algoritmos e chaves também estão armazenados no SIM Card do assinante. Durante o processo de autenticação, o HLR solicita ao AuC os parâmetros de entrada e os resultados de saída e compara com os valores recebidos da realização do mesmo cálculo pelo terminal móvel. Se forem iguais, o assinante está autorizado na rede. Caso negativo, o mesmo é bloqueado.

A interface de conexão entre o HLR e o AuC é a interface *H*, que é responsável pela transferência, via enlaces de sinalização SS7, dos parâmetros de autenticação dos usuários móveis.

O CEIR (*Central Equipment Identity Register* – Centro de Registro de Identidade do Equipamento) é um banco de dados que armazena o IMEI de todos os equipamentos GSM produzidos. Este tem a função de dar segurança à rede GSM com relação à utilização dos terminais móveis, pois com o advento do SIM Card, um assinante da rede pode ativar um terminal móvel que não possua as especificações de recomendação mínimas necessárias para funcionamento. Durante o processo de registro ou solicitação de uma chamada, o MSC recebe do terminal móvel o seu IMEI e solicita ao CEIR, através da interface *F*, as características deste, podendo bloqueá-lo ou não, de acordo com as suas especificações técnicas.

O OMC (*Operations and Maintenance Centre* – Centro de Manutenção e Operação) é responsável pela estrutura de gerência da rede. Nele são realizadas as funções de gerenciamento dos equipamentos móveis, dos assinantes e tarifação dos mesmos, bem como a gerência de todos os MSC's da rede.

Para a implementação do simulador proposto iremos nos ater apenas ao desenvolvimento da interface aérea do sistema GSM, deixando a implementação da estrutura física como trabalhos futuros.

2.5. A Interface Aérea (Um)

De todas as interfaces do sistema GSM, a interface aérea é provavelmente a mais importante de todas, por ser responsável pela conexão dos terminais móveis com a rede física e, conseqüentemente, responsável pela transferência de voz e dados do assinante. A padronização desta interface foi uma das mais dispendiosas com relação a tempo, em virtude da compatibilidade que ela deveria oferecer entre os fabricantes de terminais móveis e o sistema, além de garantir o uso máximo do espectro disponível. Esta compatibilidade assegura um dos principais objetivos do sistema, que é prover *roaming* entre quaisquer operadoras que utilizem o GSM como padrão, inclusive disponibilizando ao assinante todos os serviços que este possui em sua área de registro.

Dois principais aspectos da transmissão sobre a interface rádio do GSM são o processamento dos sinais e o acesso múltiplo.

O processamento de sinais faz uso de códigos corretores de erros com *interleaving* (entrelaçamento), assegurando aos canais de tráfego uma resistência a interferências causadas por multipercursos do sinal e desvanecimentos.

O acesso múltiplo é a divisão do espectro de rádio disponível entre várias e simultâneas comunicações, ocorrendo entre diferentes terminais móveis e em diferentes células. Durante a padronização determinou-se que o método de acesso seria o TDMA, mas posteriormente verificou-se que a utilização do método FDMA (*Frequency Division Multiple Access* – Acesso Múltiplo por Divisão em Frequência) em conjunto com o TDMA resultaria em uma melhor utilização do espectro. Optou-se então pela utilização do acesso híbrido FDMA/TDMA com *frequency hopping*.

O FDMA é responsável pela divisão do espectro na frequência, garantindo a largura de banda de 200 kHz por portadora, conforme determinação do padrão GSM. Para cada portadora aplicou-se ainda a divisão no tempo (TDMA),

gerando-se 8 *time-slots* (janelas de tempo), cada um sendo capaz de transmitir dados ou voz de um único usuário, com taxas de 9,6 kbps para dados e 13 kbps para voz.

O conjunto de 8 *time-slots*, com duração de 577 μ s cada, dentro de uma mesma portadora é conhecido como *quadro TDMA*, que possui a duração total de 4,615 ms.

Sabendo-se que cada banda do GSM900 possui 25 MHz com espaçamento de 200 kHz por portadora, 125 portadoras poderiam ser utilizadas em cada direção. No entanto, somente 124 portadoras são utilizadas, deixando uma como banda de guarda. Realizando um cálculo simples, apresentado em (4), verifica-se a existência de 992 canais físicos.

$$124 \text{ portadoras} \times 8 \text{ canais por portadora} = 992 \text{ canais físicos} \quad (4)$$

A faixa de 900 MHz foi subdividida em duas sub-faixas, uma para a transmissão no *uplink* (dos terminais móveis para as estações rádio-base), variando de 890 MHz a 915 MHz, e outra para o *downlink* (das estações rádio-base para os terminais móveis), variando de 935 MHz a 960 MHz.

Para a faixa de 1800 MHz foram reservadas duas bandas de 75 MHz, tendo sido cada qual subdividida em:

- Transmissão no *Uplink*: 1710 MHz a 1785 MHz;
- Transmissão no *Downlink*: 1805 MHz a 1880 MHz.

A eficiência espectral do sistema celular, com relação ao custo de infraestrutura, é outro fator chave, sendo determinada inteiramente pela transmissão sobre a interface rádio. A sua importância foi descrita no item 2.3 e depende do número de chamadas simultâneas adequadas em um espectro de rádio disponível, da resistência da transmissão às interferências e da exploração das técnicas de redução de interferência existentes. A interface aérea do GSM é um excelente exemplo de otimização da eficiência espectral.

Para o sistema em estudo, as principais técnicas que maximizam o uso do espectro disponível são:

- **Controle da Potência:** o controle de potência tem o objetivo de minimizar a potência transmitida pelos terminais móveis e estações

rádio-base, mantendo a qualidade de transmissão acima de um determinado patamar. Isto reduz o nível de interferência co-canal causado nas outras células do sistema, bem como nos terminais móveis.

- ***Frequency Hopping (Saltos na Frequência)***: o *frequency hopping* faz com que o usuário de uma determinada frequência fique “saltando” entre frequências pré-determinadas, evitando assim efeitos de desvanecimento rápido e lento causados por multipercursos do sinal, além de combater a interferência co-canal produzida por um outro terminal móvel que esteja utilizando a mesma frequência em uma outra célula próxima.
- ***Transmissão Descontinuada***: É a interrupção da transmissão quando possível. Esta interrupção permite uma redução de interferência em outras comunicações dentro do sistema. No caso de fala, por exemplo, existem intervalos de tempo em que o usuário fica em silêncio. Nestes intervalos a transmissão pode ser interrompida. Nos terminais móveis existe implementado um mecanismo chamado VAD (*Voice Activity Detection* – Detecção da Atividade de Voz) que detecta a presença da atividade de voz no transmissor, realizando então a função de ativação e desativação da transmissão.
- ***Mobile Station Assisted Handover (MAHO)***: é um tipo de *handover* onde a rede requisita ao terminal móvel que faça medidas dos níveis dos sinais das estações rádio-base próximas e informe o resultado. A rede utiliza estas medidas para determinar quando um *handover* é necessário e qual o canal se deverá utilizar.

Para o simulador proposto foram implementados o Controle de Potência e o *Mobile Assisted Handover (MAHO)*, deixando como sugestões para trabalhos futuros a implementação do *Frequency Hopping* e da Transmissão Descontinuada.