



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE- UFCG  
CENTRO DE ENGENHARIA E INFORMÁTICA- CEEI  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA-DEE**

**RAQUEL ALINE ARAÚJO RODRIGUES**

**ELEMENTOS DE PROJETO DE SISTEMAS  
DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS COM ÊNFASE  
EM SISTEMAS CELULARES**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2009**

**RAQUEL ALINE ARAÚJO RODRIGUES**

**ELEMENTOS DE PROJETO DE SISTEMAS  
DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS COM ÊNFASE  
EM SISTEMAS CELULARES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI, Departamento de Engenharia Elétrica – DEE, da Universidade Federal Campina Grande - UFCG, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau em Engenharia Elétrica.

**Orientador:** Prof. Mestre Rômulo Raimundo Maranhão do Valle

**CAMPINA GRANDE – PB  
2009**

**RAQUEL ALINE ARAÚJO RODRIGUES**

**ELEMENTOS DE PROJETO DE SISTEMAS  
DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS COM ÊNFASE  
EM SISTEMAS CELULARES**

Resultado: \_\_\_\_\_

Campina Grande, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2009.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Mestre Rômulo Raimundo Maranhão do Valle  
**Orientador**

---

Prof. Dr. Bruno Barbosa Albert  
**Membro da Banca**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2009**

*À Deus, por ser minha Paz, Luz, Força e Refúgio.  
À minha mãe, Lúcia de Fátima Araújo, por revestir  
a minha vida de amor, carinho e dedicação, me  
incentivando e auxiliando sempre.  
À minha avó, Josefa de Castro Araújo, pelo amor,  
carinho e apoio que nos unem e nos fortalecem.  
A todos os meus familiares que sempre  
contribuíram com amor, alegria e motivação.  
Aos meus amigos, de ontem, de hoje e de amanhã.  
Dedico este modesto e despretensioso trabalho,  
fruto de um carinhoso estímulo.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser minha Paz, Luz, Força e Refúgio.

À minha mãe, Lúcia de Fátima Araújo e minha avó, Josefa de Castro Araújo, que não mediram esforços por minha educação, contribuindo sempre com muito amor e carinho.

Aos meus irmãos e todos os meus familiares pela companhia, carinho e respeito. Aos meus amigos e amigas, colegas de curso ou não, que sofreram junto durante as decepções, vararam noites adentro nas vésperas de provas e comemoraram em grupo as vitórias.

Aos meus bons professores Rômulo R. Maranhão do Valle, Glauco Fontgalland, Damásio Fernandes, Francisco de Assis Tejo, Bruno Barbosa Albert, Talvanes Meneses de Oliveira, pela sincera dedicação à arte de ensinar e pela imensa paciência.

À Savenge, profundos agradecimentos pela oportunidade da participação no mundo do trabalho, em especial, à Saulo Vidal Negreiros de Souza e Severino Bandeira de Souza Filho, pelo apoio, ensinamentos, paciência e sincera orientação à mim dedicados durante todo o estágio.

Enfim, a todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

*“Quem procura ter sabedoria ama a sua vida, e quem age com inteligência encontra a felicidade”.*

(Prov. 19:8)

## RESUMO

Este trabalho monográfico tem como tema “Elementos de projeto de sistemas de comunicações móveis com ênfase em sistemas celulares” e tem como objetivo apresentar o “estado da arte” dos atuais sistemas móveis celulares, dando ênfase aos sistemas GSM (Sistema Global para Comunicação Móvel) bem como os elementos mais importantes do planejamento e implementação de tais sistemas. Hoje, através da elaboração de normas mundiais, tem-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. A rede de telefonia celular é uma rede de telecomunicações projetada para o provisionamento de serviços de telefonia móvel, ou seja, para a comunicação entre uma ou mais estações móveis. O trabalho foi fundamentado em pesquisa descritiva e bibliográfica e procedimentos práticos e metodológicos. Por tudo que se tem hoje conclui-se que a comunicação móvel é uma nova linguagem, motivada pelo desenvolvimento da tecnologia, levando como consequência, a sociedade da informação, que tem ao seu dispor dados e informações, novas formas de comunicação e uma nova configuração na relação tempo-espço.

**Palavras-chave:** Sistemas de Celulares. Comunicação Móvel.

## ABSTRACT

This work has a monographic theme "Elements of design of mobile communication systems with emphasis on cellular systems. Today, through the development of global standards, it has constantly sought to interoperability of mobile communication and the possibility of global communication that allows the transmission of voice, data and multimedia applications. The network is a mobile telecommunications network designed for the provisioning of mobile services, ie for communication between one or more mobile stations. The study was supported by the authors in this area, has methodological procedures, research and descriptive literature, and supported by the authors in this area. With the general goal: preparing a text presenting the "state of the art" of current mobile cellular systems by focusing on the GSM (Global System for Mobile Communication) as well as the most important elements of planning and implementation of such systems. Having had the conclusion that mobile communication is a new language, motivated by the development of technology, has the consequence of the information society, which has at its disposal information and data, new forms of communication and a new configuration in space-time relationship.

**Key-words:** Cellular Systems. Mobile Communication.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ilustra a mudança no conceito de comunicações móveis.....	16
<b>Figura 2:</b> Comunicação entre terminal móvel e base.....	17
<b>Figura 3:</b> Célula omnidirecional.....	27
<b>Figura 4:</b> Célula setorizada.....	27
<b>Figura 5:</b> Antenas direcionais.....	39
<b>Figura 6:</b> Configurações de sistemas de rádio.....	46
<b>Figura 7:</b> Rádio de Microondas 9500 MXC- Alcatel-Lucent.....	48
<b>Figura 8:</b> IDU do rádio de microndas 9500 MXC- Alcatel-Lucent.....	50
<b>Figura 9:</b> Rádio MXC INU Conecta até 3x ODU's em apenas 1 RU.....	50
<b>Figura 10:</b> MUX capacidades.....	50
<b>Figura 11:</b> A capacidade do MXC compartilhada entre E1 e portas Ethernet.....	51
<b>Figura 12:</b> Interface Ethernet Gibabit do rádio MXC- Alcatel-Lucent.....	51
<b>Figura 13:</b> IDU do Rádio A9500 MXC- Alcatel- Lucent.....	52
<b>Figura 14:</b> ODU's do Rádio A9500 MXC- Alcatel- Lucent.....	52
<b>Figura 15:</b> Montagem dos rádios MXC Alcatel-Lucent para a configuração.....	53
<b>Figura 16:</b> Telas com a configuração do IP para conexão com o rádio MXC.....	53
<b>Figura 17:</b> Telas do software de acesso aos rádios MXC- Alcatel- Lucent.....	54
<b>Figura 18:</b> Tela do software de acesso aos rádios MXC- Alcatel- Lucent- informações sobre o rádio.....	55
<b>Figura 19:</b> Tela do software 9500 MXC- CT- informações sobre o IP da INU.....	55
<b>Figura 20:</b> Tela do software 9500 MXC- CT- a opção OSPF no alto da tela deve estar sempre habilitada (Enable OSPF).....	56
<b>Figura 21:</b> RÁDIOS 96XX LSY.....	58

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Ambientes de operação para o IMT-2000 (adaptado de [Sin00]).....	36
<b>Tabela 2:</b> Padrões PDH existentes.....	42

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO 1- PRINCÍPIOS BÁSICOS DOS SISTEMAS CELULARES.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Princípios Básicos dos Sistemas de Comunicação sem Fio.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2 Modos de Transmissão nos Sistemas de Comunicação sem Fio.....</b>	<b>18</b>
<b>1.3 Tecnologias de Acesso Múltiplo.....</b>	<b>19</b>
<b>1.4 Alocação de Frequências no Espectro.....</b>	<b>20</b>
<b>1.5 Onda Eletromagnética.....</b>	<b>20</b>
<b>1.6 Onda Portadora.....</b>	<b>21</b>
<b>1.7 Modulação.....</b>	<b>21</b>
<b>1.7.1 Modulação I/Q.....</b>	<b>23</b>
<b>1.8 Taxa de Transmissão de um Canal de Comunicação e Taxa de Modulação de um Canal de Comunicação.....</b>	<b>24</b>
<b>1.9 Sistema Básico de Radiotransmissão.....</b>	<b>25</b>
<b>1.10 Codificação do Sinal de Voz.....</b>	<b>26</b>
<b>1.11 Célula.....</b>	<b>26</b>
<b>1.12 Capacidade em Sistemas Celulares e o Aumento de Capacidade de Sistema GSM.....</b>	<b>28</b>
<b>1.13 Gerações dos Sistemas Celulares.....</b>	<b>29</b>
 <b>CAPÍTULO 2 - ANTENAS.....</b>	 <b>38</b>
<b>2.1 Sistemas de Antenas.....</b>	<b>39</b>
 <b>CAPÍTULO 3 - PADRÕES DE TRANSMISSÃO DE SINAIS.....</b>	 <b>41</b>
<b>3.1 Análise Comparativa entre as Hierarquias PDH e SDH.....</b>	<b>43</b>
 <b>CAPÍTULO 4 - SISTEMAS RÁDIO ENLACE EM VISADA DIRETA.....</b>	 <b>46</b>
<b>4.1 Rádios de Microondas Alcatel-Lucent.....</b>	<b>46</b>
<b>4.2 Rádios Alcatel-Lucent.....</b>	<b>48</b>
<b>4.2.1 9500 MXC: Microwave Cross-Connect.....</b>	<b>48</b>
<b>4.2.2 Características do MXC.....</b>	<b>49</b>
<b>4.2.3 Configurações do MXC.....</b>	<b>53</b>

<b>4.2.3.1 Configuração do IP para conexão local e remota.....</b>	<b>53</b>
<b>4.2.4 Rádio 9600 LSY- Long Haul Digital Radio Relay System.....</b>	<b>57</b>
<b>CAPÍTULO 5 - INTRODUÇÃO AO SISTEMA GSM.....</b>	<b>59</b>
<b>5.1 Breve Histórico do GSM.....</b>	<b>59</b>
<b>5.2 Arquitetura da Rede GSM.....</b>	<b>60</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>

## INTRODUÇÃO

Este trabalho de conclusão de curso tem como tema “Elementos de projeto de sistemas de comunicações móveis com ênfase em sistemas celulares”. Segundo a Anatel (2002), credita-se a origem das comunicações aos três desenvolvimentos científicos fundamentais que foram: a consolidação em quatro equações, pelo matemático escocês James Clerk Maxwell, em 1873, das leis fundamentais do eletromagnetismo no trabalho intitulado "*A Treatise on Electricity and Magnetism*", a comprovação experimental realizada pelo físico alemão Heinrich Rudolf Hertz, em 1888, da teoria estabelecida anteriormente por Maxwell e a série de experiências realizadas pelo físico italiano Guglielmo Marconi, entre 1894 e 1895, mostrando a viabilidade prática de utilização das ondas eletromagnéticas em comunicações à longa distância.

Durante o século XX, houve uma crescente evolução (lenta nas primeiras décadas) das comunicações móveis. Esta evolução foi marcada por uma série de eventos e alguns deles serão citados a seguir em ordem cronológica, assinalando o período que antecedeu a implantação da Telefonia Móvel Celular.

A experiência pioneira de implantação de um sistema analógico de comunicações móveis foi realizada em 1921 no Departamento de Polícia de Detroit (USA), utilizando a frequência de 2 MHz. Tratava-se de um sistema unidirecional que permitia o envio de mensagens para as viaturas do Departamento e cujo retorno obrigava o uso da rede de telefonia fixa, sendo o precursor do serviço de busca (*paging*).

Em 1928 foi desenvolvido o receptor super-heterodino em que os circuitos sintonizados do receptor funcionassem em uma frequência fixa pré-determinada, chamada de Frequência Intermediária (FI), evitando a alteração da banda passante com a variação de frequência, ou seja eliminando o problema da seletividade variar ao longo da faixa.

Em 1935 foi inventada a modulação em frequência, possibilitando que em 1946, fosse testado o primeiro serviço móvel manual de telefonia pública nos Estados Unidos, operando em 150 MHz, consequência direta do desenvolvimento tecnológico alcançado durante a 2ª Guerra Mundial.

A partir de 1947, foi criado o serviço móvel para auto-estrada, operando em 35 MHz, e os Laboratórios Bell (*Bell Labs USA*) conceberam a estrutura celular.

Em 1956, foi utilizado o serviço móvel em 450 MHz e em 1964 o serviço automático em 150 MHz. denominado IMTS (*Improved Mobile Telephone System*), que, em 1969 foi automatizado em 450 MHz.

Em 1975 foi outorgada pela FCC (*Federal Communication Commission*) nos Estados Unidos, a faixa de 800 MHz para telefonia móvel celular e, somente em 1978, foi instalado, na cidade de Chicago (USA), um sistema experimental com base no padrão analógico AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) desenvolvido nos Laboratórios Bell.

Em 1983, após a decisão da FCC de atribuir uma faixa de frequências em 800 MHz para a telefonia celular, foi possível iniciar testes de campo visando à implantação do novo serviço. No entanto, por problemas de regulamentação, este sistema começou a operar, comercialmente, cinco anos mais tarde. Neste período, a telefonia celular foi introduzida em diversos países, com padrões também analógicos que tiveram o AMPS por referência (WIRELESS, 2001).

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 30KHz. 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, tem-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 (GUIMARÃES, 1998).

A rede de telefonia celular é uma rede de telecomunicações projetada para o provisionamento de serviços de telefonia móvel, ou seja, para a comunicação entre uma ou mais estações móveis (telefone celular no Brasil ou telemóvel em Portugal). Historicamente, em 1990 a cidade do Rio de Janeiro é a primeira no Brasil a operar

comercialmente o serviço de telefonia móvel celular. No caso brasileiro, ocorreram duas fases distintas da expansão do serviço móvel celular: Primeira fase: início dos anos 90 ocorreu à expansão para suprir a demanda reprimida pelos serviços de telefonia fixa. Na segunda fase, a partir do final da década de 90, o crescimento se deu pela forte popularização deste serviço através do modo pré-pago, no qual um assinante não paga pela assinatura básica do serviço e sim pelo tempo de uso na forma de créditos de minutos de conversação.

Os acessos sem fio aos serviços de telecomunicações têm demonstrado um crescimento assustador nos últimos anos. Prevê-se que estes acessos irão exceder os acessos fixos convencionais por volta do ano 2010 [Sin00]. É surpreendente perceber que em apenas 20 anos os acessos sem fio irão alcançar a penetração de mercado atingida em cerca de 100 anos pelos serviços de acesso fixo convencional [IUT00]. Um dos grandes motivadores desse crescimento é a Internet. Antes dos anos 90 predominava a necessidade pelo chamado acesso básico (serviços de voz e, em alguns casos, fax). A partir dos anos 90, a explosão na popularização da Internet está rapidamente mudando esse paradigma. Os usuários necessitarão, nesse novo cenário, não somente dos serviços de voz e fax, mas também *e-mail*, áudio em tempo real, imagens e multimídia, acessíveis com qualidade a qualquer momento e de qualquer parte do mundo.

Este estudo teve como procedimentos metodológicos, a pesquisa descritiva e bibliográfica, tendo como objetivo geral a elaboração de um texto apresentando o “estado da arte” dos atuais sistemas móveis celulares, dando ênfase aos sistemas GSM (Sistema Global para Comunicação Móvel) bem como os elementos mais importantes do planejamento e implementação de tais sistemas.

## CAPÍTULO 1 - PRINCÍPIOS BÁSICOS DOS SISTEMAS CELULARES

Com o avanço da tecnologia, a globalização e a necessidade cada vez maior de comunicação com rapidez e mobilidade, foi necessária a criação de um sistema capaz de transmitir informações entre usuários móveis. Diversos setores da sociedade necessitam desse artifício, desde as forças armadas até as próprias empresas.

As necessidades de cada setor instigam a evolução da tecnologia, cada qual na sua direção. O resultado disso é que avanços em um sentido, estimulados pela necessidade de um setor específico, acabam por auxiliar outros setores. Em outra abordagem, alguns serviços são adaptados para que a implementação existente inicialmente idealizada para outra finalidade - possa oferecê-los (SANTOS, 2008).

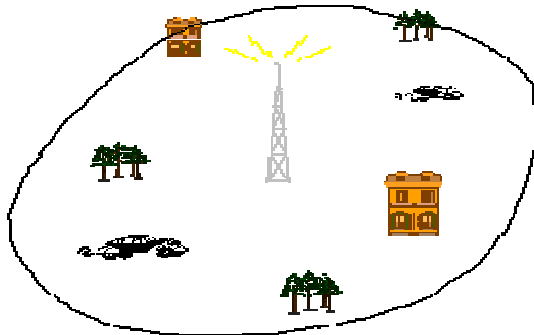
Para que um formato de tecnologia seja amplamente utilizado, é necessário que haja um padrão, maleável o suficiente para que tecnologias mais baratas ou mais eficientes possam ser encaixadas em sua estrutura. Pode-se perceber, portanto, a importância de uma organização dessa tecnologia, no sentido de oferecer o serviço de comunicação móvel à maior parcela possível da sociedade. (SANTOS, 2008).

A idéia do conceito celular constitui-se basicamente na substituição do transmissor único de alta potência (responsável pela cobertura de uma grande área) por vários transmissores de baixa potência, cada um provendo cobertura a uma pequena região (célula) da área total. A cada uma dessas estações base é alocada uma porção do número de canais disponíveis para todo o sistema. A figura 1 mostra um comparativo listando as diferenças básicas entre sistemas móveis convencionais e sistemas celulares.

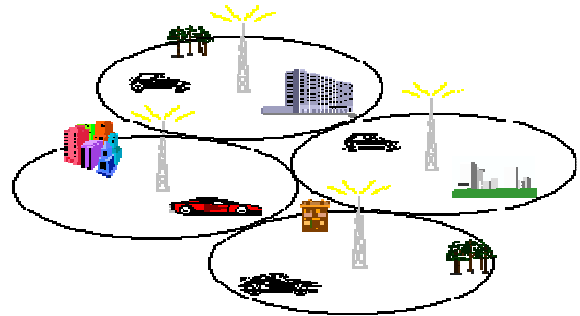
<b>SISTEMAS MÓVEIS CONVENCIONAIS</b>	<b>SISTEMAS CELULARES</b>
- baixa densidade de usuários	- alta densidade de usuários
- não reutilizam frequências	- fazem reuso de frequências
- alta potência de transmissão	- baixa potência de transmissão
- antenas elevadas	- antenas pouco elevadas
- grande área de cobertura	- área de cobertura dividida em células
- sem expansão modular	- expansão modular teoricamente ilimitada



**a - cobertura convencional**



**b - cobertura celular**

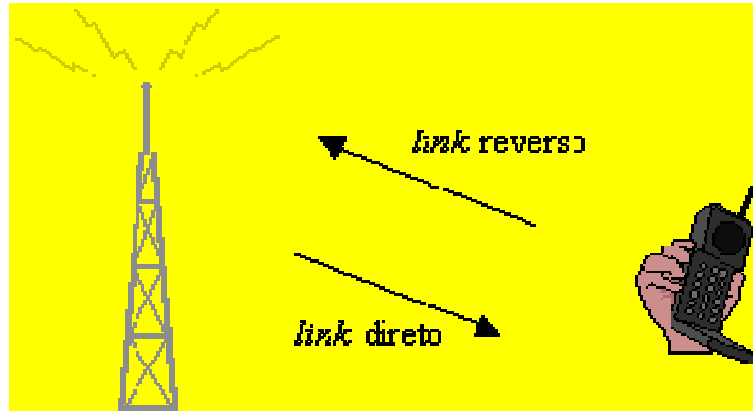


**Figura 1:** Ilustra a mudança no conceito de comunicações móveis

A unidade móvel do assinante constitui-se basicamente em um transceptor portátil de voz / dados, desenvolvido para comunicar-se com os rádios das estações base em qualquer dos canais alocados. Opera em modo *full-duplex*, possuindo um caminho de ida e um de retorno em relação à estação base, que são os *links* reverso (móvel para base) e direto (base para móvel), conforme ilustra a Figura 2. Além da comunicação de voz, a estação móvel também comunica-se com a estação base através de suas funções de controle e sinalização. Alguns exemplos de mensagens de controle trocadas entre móvel e base que segundo Yacoub (1993) são:

- Pedido do móvel para acessar um canal e efetuar uma chamada;
- Registro do móvel na área de serviço atual (outra MSC);
- Mensagem de alocação de canal para o móvel, oriunda da estação base;
- Mensagem de *handoff* oriunda da estação base, para que o móvel sintonize outro canal.

Ressalta-se nesse ponto que o que está sendo chamado de “canal” constitui-se na dupla *link* direto e reverso.



**Figura 2:** Comunicação entre terminal móvel e base  
**Fonte:** Yacoub, 1993.

### 1.1 Princípios Básicos dos Sistemas de Comunicação sem Fio

Os sistemas de comunicação sem fio são formados basicamente por dois usuários: o transmissor e o receptor, dependendo do sentido em que viaja a informação, cada um com os seguintes componentes comenta Svezut (2005):

- Microfone: converte o sinal de voz (de quem quer transmitir a informação) em sinais elétricos;
- Alto-falante: converte o sinal elétrico (vindo de quem transmite a informação) em sinal de voz (para o receptor ouvir a mensagem);
- Transmissor: envia os sinais gerados pelo microfone para o receptor;
- Receptor: recebe e entende os sinais enviados pelo transmissor e os envia ao alto-falante.
- Antena: Converte sinais elétricos em ondas de rádio, para enviar a informação pela atmosfera, ou faz a operação contrária para receber essas informações.

Svezut (2005) aborda que as ondas de rádio são sinais eletromagnéticos responsáveis por transportar conversações, dados, músicas e outros tipos de informações pela atmosfera. Existem vários tipos de sistema que utilizam as ondas de rádio como meio de transporte, tais como:

- Sistemas de radiodifusão AM e FM;
- Televisão;
- Telefonia celular;
- Comunicação via satélite.

## 1.2 Modos de Transmissão nos Sistemas de Comunicação sem Fio

Svezut (2005) cita que os sistemas de comunicação sem fio trocam informações de acordo com o modo de transmissão utilizado. Os modos de transmissão mais usados pelos sistemas de comunicação sem fio são:

Simplex: o modo de transmissão simplex opera com uma única frequência e somente a Estação Rádio Base (ERB) pode transmiti-la. A unidade móvel somente recebe, ou seja, ela não tem a capacidade de transmitir informações. Nesse modo de operação a comunicação ocorre somente em um sentido (ERB -> Unidade Móvel). Como exemplo desse modo de transmissão temos os seguintes serviços: RádioAM; Rádio FM; Televisão convencional.

Semi duplex (half duplex) :o modo de transmissão semi dupplex (half duplex) opera com uma única frequência, suportando uma comunicação bidirecional, porém com a transmissão de informação em um sentido de cada vez (uma pessoa fala e a outra escuta). Esse modo de transmissão usa o conceito aperte para falar (Push To Talk - PTT). Como exemplo temos os seguintes serviços: rádios walkie-talkies, sistema de radiocomunicação da policia e bombeiros.

Duplex completo (full duplex): o modo de transmissão duplex completo (full duplex) opera com uma frequência para a transmissão e outra para recepção, com a comunicação acontecendo nos dois sentidos (bidirecional) simultaneamente. Os sistemas de telefonia móvel celular utilizam o modo de transmissão duplex completo, no qual cada usuário utiliza um canal de transmissão (Tx) e um de recepção (Rx).

De acordo com Svezut (2005) no sistema móvel celular, cada canal de comunicação Tx ou Rx é formado por uma portadora de RF e uma largura de faixa. A portadora de RF representa a frequência (f) alocada ao canal, enquanto a largura de faixa representa o espaço necessário para a transmissão da informação. Os sistemas de telefonia móvel celular operam no modo duplex completo (full duplex) que utiliza dois canais de comunicação para estabelecer uma conversaçao entre

dois usuários. Esses dois canais são implementados pelos enlaces direto (downlink ou forward link) e reverso (uplink ou reverse link).

### 1.3 Tecnologias de Acesso Múltiplo

O acesso múltiplo (*multiple access*) é a capacidade de uma dada tecnologia processar várias chamadas simultâneas em uma mesma faixa de frequência. Nos sistemas celulares vários assinantes compartilham a mesma faixa de frequência, originando e recebendo chamadas.

De acordo com Sverzut (2005) existem três tecnologias de acesso múltiplo que são:

- Acesso múltiplo por divisão de frequência (*Frequency Division Múltipla Access-FDMA*) - A tecnologia é a mais antiga utilizada nos sistemas celulares analógicos. Nessa tecnologia a largura de banda disponível é dividida em canais ou frequências não sobrepostas.
- Acesso múltiplo por divisão de tempo (*Time Division Multiple Access-TDMA*) - A tecnologia é utilizada nos sistemas celulares digitais, também conhecida como de segunda geração (2G). Nessa tecnologia várias conversações são transmitidas simultaneamente no mesmo canal de RF, entretanto cada conversação é transmitida em intervalos de tempos distintos, ou seja, as estações móveis (MS) se revezam, no tempo, na transmissão e recepção sob a mesma frequência compartilhada. Na tecnologia TDMA, cada usuário dispõe de uma faixa de frequência apenas durante um determinado período de tempo denominado janela (slot), que lhe é ciclicamente disponibilizado (SVERZUT, 2005).
- Acesso múltiplo por divisão em código (*Code Division Multiple Access-CDMA*)- A tecnologia de acesso múltiplo por divisão em código (*Code Division Multiple Access - COMA*) é a mais avançada, utilizada no sistemas celulares de segunda (2G) e terceira (3G) gerações. Consiste na transmissão de sinais de modo que todos os usuários utilizem a mesma faixa de frequências durante todo o intervalo de tempo. Na tecnologia CDMA várias conversações são transmitidas simultaneamente no mesmo canal de radiofrequência e no mesmo intervalo de tempo, entretanto cada

conversação recebe um c3digo de identificação que a diferencia das demais (SVERZUT, 2005).

#### 1.4 Alocação de Freqüências no Espectro

Sverzut (2005) aborda que em sistemas de comunicação que usam a atmosfera como meio de transmissão, condições de interferência e propagação dependem fortemente da freqncia de transmissão. Teoricamente, qualquer tipo de modulação (por exemplo, modulação em amplitude, freqncia ou fase) pode ser usado em qualquer freqncia de transmissão. Para evitar o mau uso do espectro de freqncias, normas governamentais, regulamentadas pela Anatel, especificam o tipo de modulação, largura de banda e que tipo de informação pode ser transmitido em determinadas freqncias.

#### 1.5 Onda Eletromagnética

Uma onda eletromagnética é constituída de um campo elétrico (E) e de um campo magnético (H), cujas imensidades variam com o tempo. Os dois vetores, campos elétrico e magnético, são mutuamente ortogonais e perpendiculares  direção de propagação da onda. A oscilação de cada um deles é representada por uma curva, a sen3ide, que apresenta, ciclicamente, os máximos e mínimos. A distância entre dois máximos (ou dois mínimos) consecutivos é o comprimento de onda ( $\lambda$ ). O número de máximos ou de mínimos que, durante certo intervalo de tempo, passa por um ponto  a freqncia da onda. Quando a onda eletromagnética propaga-se no vácuo sua velocidade é a da luz (c), igual a  $3 \times 10^8$  m/s, portanto Sverzut (2005) cita que o comprimento de onda é representado pela seguinte expressão:

$$\lambda = c / f \text{ [m]}$$

Para c em m/s e f em Hz

## 1.6 Onda Portadora

Sverzut (2005) cita que para facilitar a transmissão do sinal pela interface aérea e adequar as frequências aos sistemas de comunicação, utiliza-se a chamada onda portadora, que é um sinal senoidal com três variáveis: amplitude, frequência e fase. Por definição, esse sinal existe ao longo de todo o tempo, ou seja, com “t” variando de  $-\infty$  a  $+\infty$ . O autor supracitado (2005) aborda que a equação de uma onda portadora é dada pela seguinte expressão:  $E(t) = A \sin(2\pi f_c t + \Phi)$ . Sendo:

- $E(t)$ : representa o valor instantâneo da onda no instante t;
- $A$ : a amplitude máxima da onda;
- $f_c$ : a frequência da portadora;
- $\Phi$ : a fase da onda portadora.

As três características comentadas por Sverzut (2005) anteriormente ( $A$ ,  $f$  e  $\Phi$ ) podem variar em função do sinal modulante, do tipo de modulação que está sendo utilizado.

## 1.7 Modulação

Segundo Santos (2008) para enviar um sinal de um ponto a outro é necessária a modulação do sinal. Modular o sinal consiste em agregar um sinal conhecido (onda portadora) ao sinal da informação. O receptor pode, então, analisar a onda recebida, e, como conhece a onda portadora, pode entender a informação como a alteração do sinal recebido em relação à portadora. Esse processo chama-se de modulação.

Sverzut (2005, p. 22) comenta que:

A maioria dos sinais não pode ser enviada diretamente pelos canais de transmissão. Conseqüentemente, uma onda portadora, cujas propriedades são mais convenientes aos meios de transmissão, é modificada para representar a informação a ser transmitida. A modulação é a alteração sistemática de uma onda portadora de acordo com o sinal modulante, e

pode incluir também uma codificação. O modulante é o próprio sinal que se deseja transmitir, mas devido a suas características de baixa frequência, deve ser superposto a uma onda portadora de frequência mais alta, de tal forma que possa se propagar pelos meios físicos de transmissão.

Existem diversos tipos de modulação, pois pode-se alterar diversas características da portadora, separadamente. Pode-se alterar a frequência da portadora de acordo com o sinal, na modulação FM; alterar a amplitude da portadora em relação ao sinal, na modulação AM; alterar a fase da portadora, na modulação PM, entre outros diversos tipos de modulação. Cada tipo de modulação possui suas vantagens e desvantagens, e por isso cada serviço pode ter peculiaridades que façam esse ou aquele tipo de modulação ser mais interessante (SANTOS, 2008).

Sverzut (2005, p. 22) aborda que:

O êxito de um sistema de comunicação depende da modulação, portanto a escolha do tipo de modulação é uma decisão fundamental em projetos de sistemas para transmissão de sinais. Muitas e diferentes técnicas de modulação são utilizadas para satisfazer as especificações e requisitos de um sistema de comunicação. Independente do tipo de modulação utilizado, o processo de modulação deve ser reversível de modo que a mensagem possa ser recuperada no receptor pela operação complementar da demodulação.

Portanto é possível identificar dois tipos básicos de modulação de acordo com o tratamento da portadora pelo sinal modulante:

Aborda Sverzut (2005) que a modulação analógica, é o tipo de modulação no qual a portadora é uma onda cossenoidal, e o sinal modulante é analógico ou contínuo. As técnicas de modulação para sinais analógicos mais utilizadas são: Modulação em amplitude (*Amplitude Modulation* - AM); Modulação em frequência (*Frequency Modulation* - FM); Modulação em fase (*Phase Modulation* - PM).

A modulação digital é o tipo de modulação utilizado em casos cujo interesse é transmitir uma forma de onda ou mensagem, que faz parte de um conjunto finito de valores discretos representando um código (por exemplo, binário). As técnicas de modulação para sinais digitais mais utilizadas são: a modulação por desvio de amplitude (*Amplitude Shift Keying* - ASK); a modulação por desvio de frequência (*Frequency Shift Keying* - FSK) e a modulação por desvio de fase (*Phase Shift Keying* - PSK).

Portanto a modulação digital provê maior capacidade de transporte de informação, compatível com os serviços de dados digitais. A modulação digital suporta segurança no transporte da informação e qualidade de serviço (Quality of Service-QoS).

### 1.7.1 Modulação I/Q

Na modulação I/Q a transmissão de um sinal pela interface aérea, basicamente, deve passar por três etapas principais que são segundo Sverzut (2005): a geração de uma portadora "pura" no transmissor; a modulação da portadora com a informação a ser transmitida (transmissor); e a demodulação da portadora (receptor).

Existe três características de um sinal que podem ser trocadas no tempo: amplitude, frequência e fase.

De acordo com Sverzut (2005) um sinal pode ser modulado em amplitude e fase simultaneamente ou separadamente, o que pode ser difícil para transmiti-lo e extremamente complexo para detectá-lo. Em sistemas práticos o sinal é separado num outro conjunto independente de componentes chamados: *i* (em fase, *In-phase*) e *Q* (quadratura, Quadrature).

Esses componentes são ortogonais e não interferem um com o outro. Sendo assim para visualizar amplitude e fase utiliza-se o diagrama polar, no qual a portadora transforma-se em referência de frequência e fase e o sinal passa a ser interpretado relativamente à portadora. O sinal pode ser expresso na forma polar como uma magnitude e uma fase. A fase é relativa a uma referência de sinal, ou seja, a portadora na maioria dos sistemas de comunicação, enquanto a magnitude é representada por um valor absoluto ou relativo (SVERZUT, 2005).



## 1.8 Taxa de Transmissão de um Canal de Comunicação e Taxa de Modulação de um Canal de Comunicação

Pode ser representada a taxa de transmissão de um canal de comunicação pela relação entre o número de bits transmitido por unidade de tempo, De acordo com Sverzut (2005): Taxa de transmissão ( $T_{TX}$ ) =  $N_{bits} / t$  (bits/s ou bps]

Sendo:

$N_{bits}$  = número de bits transmitido pelo canal de comunicação;  
 $t$  = unidade de tempo normalmente expressa em segundos (s).

Sendo variável em relação ao tempo. Basicamente, há três tipos de taxa: Taxa de bit constante (Constant Bit Rate-CBR), por exemplo, canal de voz digital a 64 Kbits/s; Taxa de bit variável (Variable Bit Rate-VBR), por exemplo, sinal de vídeo digital e Taxa de bit intermitente (Available Bit Rate - VBR), por exemplo, dados trafegando por uma rede ethernet.

Em relação a taxa de modulação de um canal de comunicação Sverzut (2005) aborda que pode ser expressa pela relação entre o número de símbolos que são transmitidos pelo canal por unidade de tempo, conforme descreve a relação a seguir:  $T_{Mod} + T_{TX} / n_{b/s}$

Sendo:

$T_{Mod}$  = Taxa de transmissão de símbolos;  
 $T_{TX}$  = Taxa de transmissão de bits;  
 $n_{b/s}$  = Número de bits transmitido por símbolo.

Segundo Sverzut (2005, p.28):

Os Bits representam os dados antes da codificação do canal. Após a codificação de canal, as informações são denominadas símbolos. Isso se deve aos processos existentes na codificação de canal, os quais inserem informações adicionais nos dados, como, por exemplo, os processos de codificação convolucional e interfevng usados para diminuir as perdas no canal de RF. 2. A taxa de transmissão de símbolos também é conhecida como taxa de baud (baud rate). A taxa de baud não tem o mesmo

significado de taxa de transmissão de bits. Normalmente, estes termos causam uma grande confusão.

Os bits de informação são associados aos símbolos segundo algumas regras. Geralmente, a associação é realizada por níveis discretos de amplitude, frequência ou fase, dependendo do tipo de modulação utilizado. O número de níveis discretos é variável, dado em função da seguinte expressão:  $N_{\text{níveis}} = 2^n$ . Sendo:  $n$  representa o número de bits por símbolo.

Sverzut (2005) comenta que a capacidade máxima de um canal é representada pelo limite teórico máximo de transmissão imposto por suas características físicas, tais como: largura de banda (banda passante) do canal, potência do sinal e potência do ruído. Os primeiros estudos sobre a capacidade do canal foram realizados por Nyquist e Hartley, de forma independente um do outro. Esses pesquisadores estabeleceram uma relação entre a capacidade máxima de um canal e a sua respectiva largura de banda.

Em relação à eficiência espectral das modulações digitais a largura de banda do canal de transmissão depende da taxa de transmissão de símbolos ( $T_{\text{Mod}}$ ) e não da taxa de transmissão de bits ( $T_{\text{tx}}$ ) (SVERZUT, 2005).

## 1.9 Sistema Básico de Radiotransmissão

A transmissão e a recepção de sinais de RF são realizadas pelas seguintes etapas: modulação; demodulação; codificação e decodificação. Utilizando como exemplo a transmissão de sinal de voz, é possível verificar que o sinal é gerado, codificado e então modulado em uma frequência de modulação  $f_c$ . O sinal modulado é transportado pela interface aérea e recebido pelo sistema de recepção do outro usuário, o qual, obrigatoriamente, deve estar sintonizado na mesma frequência  $f_c$ , utilizada pelo modulador. Finalmente, o sinal é demodulado, decodificado e recebido no destino (SVERZUT, 2005).

A transmissão de uma onda eletromagnética pela interface aérea é um processo que envolve perdas (atenuação). Como a intensidade do campo elétrico é inversamente ao quadrado da distância, quanto mais longe estiver o receptor do transmissor maior será a atenuação.

Os sistemas de radiotransmissão admitem a atenuação do sinal, desde que ele chegue em um nível mínimo tal que o receptor consiga “entender” o que o transmissor está querendo transmitir.

Além da perda em função da distância, também estão associados outros fatores como interferência de outras fontes e os ruídos atmosférico e térmico (gerados pelos componentes eletrônicos), os quais contribuem para a atenuação do sinal. O nível de inteligibilidade é o nível mínimo de recepção de um sinal com qualidade. Em outras palavras, esse nível é expresso pela relação sinal/ruído (Signal/Noise - S/N), conforme Sverzut (2005) descreve a expressão seguinte:

$$S/N = 10 \log \frac{P_{\text{sinal}}}{P_{\text{Ruído}}} \text{ [dB]}$$

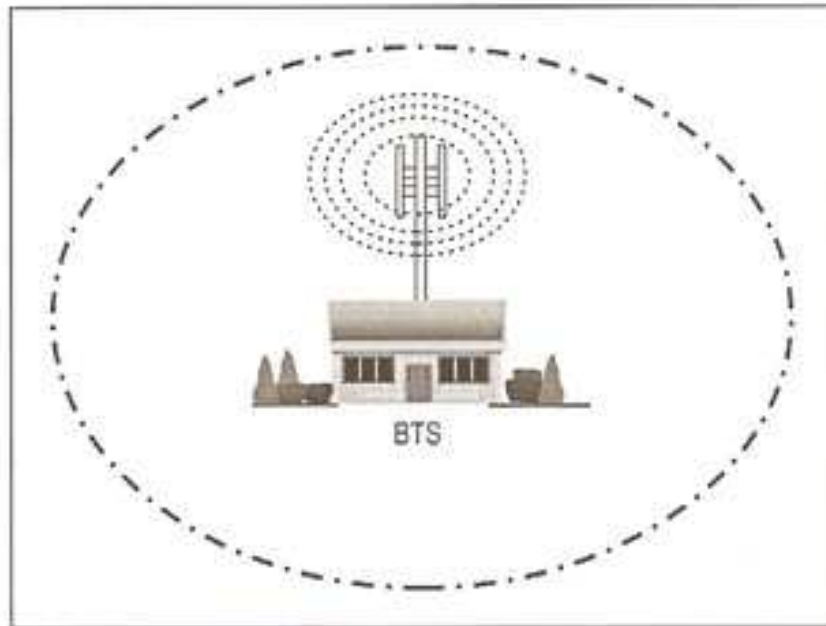
Segundo demonstra a expressão acima, um sinal inteligível é aquele que apresenta um nível de potência maior que o de ruído, permitindo a recepção inteligente, ou seja, com um nível de qualidade que seja interpretado ou reconhecido pelo receptor.

### 1.10 Codificação do Sinal de Voz

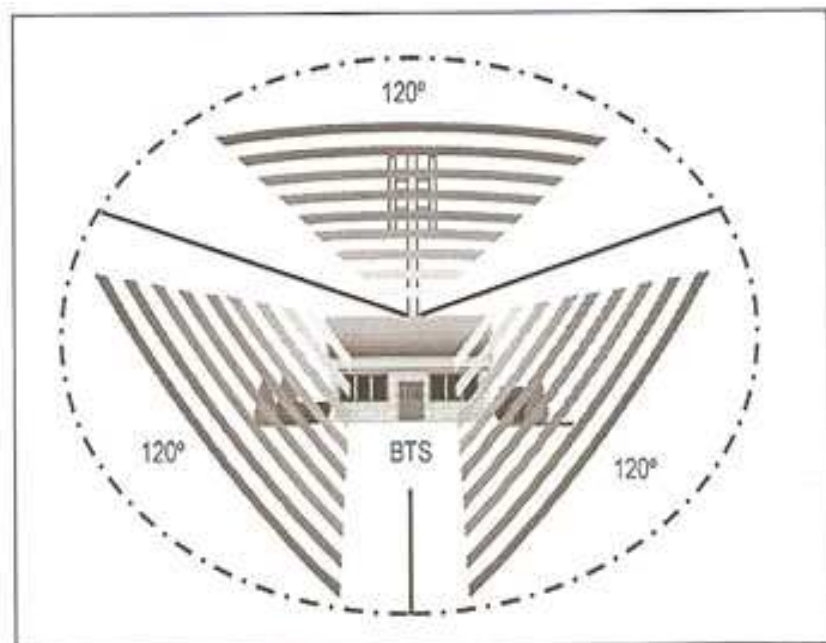
Segundo Sverzut (2005) nos sistemas celulares digitais o sinal de voz deve ser digitalizado antes de ser codificado pelo sistema de transmissão, utilizando uma técnica conhecida como modulação por código de pulsos (*Pulse Code Modulation - PCM*). Convém lembrar que a digitalização é necessária, porque o sinal de voz é analógico e a grande maioria das frequências interpretadas pelo ouvido humano está na faixa de 300 a 3.400 Hz.

### 1.11 Célula

Cada Estação Rádio Base (ERB) atende a certa região, limitada de acordo com as capacidades físicas da Estação. A essa região dá-se o nome de Célula. As células podem ser omnidirecionais ou setorizadas ver figuras 3 e 4 (SANTOS, 2008).



**Figura 3:** Célula omnidirecionais  
**Fonte:** Santos, 2008.



**Figura 4:** Célula setorizadas  
**Fonte:** Santos, 2008.

No primeiro caso, a ERB é equipada de forma a irradiar suas ondas uniformemente em todas as direções. São mais utilizadas em regiões onde há pouca necessidade de tráfego, como regiões rurais. Em compensação, por ser distribuída uniformemente, abrange uma área de cobertura mais extensa, o que significa ter menos ERBs para atender a certa região (SANTOS, 2008).

Nas células setorizadas as antenas da ERB são projetadas para irradiar em direções estabelecidas, chamadas setores. Cada setor geralmente é formado por um ângulo de  $120^\circ$ , o que significa 3 setores por ERB, ou por célula. Essa setorização permite um tráfego mais denso que as células omnidirecionais, apesar de não conseguir cobrir uma região tão extensa (SANTOS, 2008).

O padrão de irradiação de uma célula se aproxima da forma circular, mas com irregularidades. Isso se dá pela formação de áreas de sobreposição (mais de uma célula atuando na região) e áreas de sombra (áreas onde interferências destrutivas causam falta de sinal). Por causa disso, o padrão escolhido para representar uma célula foi o de um hexágono regular. Essa escolha simplifica cálculos essenciais, como a distância mínima entre canais, ou seja, distância mínima entre centros de duas células adjacentes (SANTOS, 2008).

### **1.12 Capacidade em Sistemas Celulares e o Aumento de Capacidade de Sistema GSM**

Com o aumento da demanda por serviços celulares, o número de canais alocados para determinada (ou a várias) célula(s) pode tornar-se insuficiente para suportar o número crescente de usuários, ou seja, para suportar o aumento de tráfego. Em situações como essa, algumas técnicas devem ser utilizadas para prover mais canais por unidade de área de cobertura. Técnicas como divisão celular e setorização são duas das técnicas usadas na prática para aumentar a capacidade dos sistemas

A capacidade de tratamento de tráfego em sistema celulares é um fator que depende de uma série de características, tais como: número de canais físicos disponíveis na célula; setorização e padrão de reuso de frequência.

O cálculo da capacidade em sistemas celulares pode ser obtido levando em consideração os seguintes aspectos: um canal físico pode ser entendido como o canal de usuário, necessário para suportar uma chamada e o número de canais físicos por célula,  $U_{máx}$ , é o número máximo de usuários que pode acessar uma célula em um determinado instante (SVERZUT, 2005).

De acordo com Sverzut (2005) para calcular  $U_{\text{máx}}$ , deve-se assumir que:

- Todo canal físico existente em uma célula será ocupado.
- Um padrão de reuso de frequência será usado no sistema.
- Todos os canais físicos vão operar com o mesmo nível de potência durante o tempo todo.

Deste modo a expressão que determina a capacidade em sistemas celulares é a seguinte:

$$U_{\text{máx}} = B_S \cdot U_c \div S_c \cdot N \cdot F_s$$

Sendo segundo Sverzut (2005):

- $B_s$  = banda de RF total alocada para o sistema;
- $U_c$  = número de usuários por portadora de RF;  
 $S_c$  = espaçamento de frequência mínimo entre portadoras de RF;
- $N$  = padrão de reuso de frequência;
- $F_s$  = fator de setorização.

Em relação ao aumento da capacidade do sistema GSM já implantado Sverzut (2005) aborda que aumentado  $U_{\text{máx}}$  pode-se alterar os parâmetros:

- aumentar  $B_s'$ , adquirindo mais espectro;
- aumentar  $U_c$  ou acomodar mais usuários por canal físico;
- diminuir  $S_c$ , o espaçamento entre portadores ;
- diminuir  $F_s$ , o fator de reuso de frequência.

### 1.13 Gerações dos Sistemas Celulares

Os sistemas de comunicação móvel que utilizam o conceito de cobertura celular, tanto terrestre quanto via satélite, deverão ser a base para o que se espera dos sistemas *wireless* do futuro. De acordo com Guimarães (2009) existe um grande

número de sistemas celulares existentes em todo o mundo. Eles podem ser agrupados em três grandes famílias: Sistemas de 1ª Geração, 1G, Sistemas de 2ª Geração, 2G e Sistemas de 3ª Geração, 3G.

### Sistemas de 1ª Geração, 1G – Os primeiros

Sistemas analógicos (exemplo: AMPS, ETACS, NTT, NMT, C450); anos 80 (GUIMARÃES, 2009). AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*): Tecnologia analógica da primeira geração, desenvolvida pelos Laboratórios Bell da AT&T no início dos anos 80, que só permite transmissão de voz. Opera na faixa dos 800 MHz e, segundo o Relatório Anual de 2006 da Anatel, possui apenas 61.462 acessos, o que equivale a 0,06% do total de acessos de todo o Brasil. De acordo com lei aprovada pela Anatel, as operadoras que trabalham com a tecnologia AMPS no Brasil, tiveram até o dia 31/6/2008, para efetuar a desativação obrigatória das redes AMPS, cujo espectro após isso, será utilizado em outras tecnologias nas mesmas operadoras (tal como extensão de espectro para o 3G HSDPA) (NASCIMENTO, 2000).

### Sistemas de 2ª Geração, 2G

Sistemas digitais (exemplo: D-AMPS, GSM, DCS-1800, PCS-1900, CDMA IS-95); anos 90 (GUIMARÃES, 2009). Segundo Nascimento (2000) a necessidade de sistemas digitais com maior capacidade, levou às tecnologias de segunda geração, que trazem as seguintes vantagens sobre os analógicos: codificação digital de voz mais poderosas, maior eficiência espectral, melhor qualidade de voz, facilidade na comunicação de dados e a criptografia. Nessa geração, começam a se formar dois grandes grupos evolutivos: o CDMA e o GSM.

- TDMA (*Time Division Multiple Access*): Essa tecnologia de sistema de celular digital divide os canais de frequência em até 6 intervalos de tempo diferentes e cada usuário usa um espaço específico, para impedir problemas de interferências. Opera em 850 MHz.
- CDMA (*Code Division Multiple Access*): Sistema digital que permite o acesso de muitos usuários simultaneamente em um único canal de

estação rádio-base aumentando assim a capacidade da rede. Essa tecnologia compete diretamente com a GSM. A grande desvantagem é que os celulares que operam em CDMA são mais suscetíveis a clonagem. A única operadora que adota essa tecnologia no Brasil é a Vivo. Opera nas frequências de 850 e 1900 MHz.

- GSM (*Global System for Mobile Communication*): Desenvolvida na Europa e adotada em boa parte do mundo. Diferencia-se das outras tecnologias pelo uso de cartões de memória ("chips") nos aparelhos, que possibilitam levar as características do assinante para outro aparelho ou rede GSM. O GSM opera nas faixas de 400, 450, 850, 900, 1800 e 1900 MHz.

Guimarães (2009) aborda que iremos também encontrar os sistemas 2,5G. Esse termo se refere aos sistemas celulares com serviços e taxas adicionais às aquelas oferecidas pelos sistemas 2G, porém ainda não caracterizados como 3G. Os PCSs (*Personal Communication Services*) se enquadram nessa categoria, sendo esses serviços oferecidos principalmente através de versões melhoradas dos atuais (2G) sistemas celulares operando nas bandas destinadas aos serviços PCS, bandas essas que diferem de país para país (no Brasil a banda escolhida para os serviços PCS está na faixa de 1,8 GHz). Pode-se então interpretar PCS como uma extensão dos sistemas celulares 2G, em bandas distintas daquelas utilizadas pelos celulares 2G e oferecendo serviços de maior valor agregado que os sistemas celulares 2G. Já os sistemas de comunicação móvel via satélite não apresentam claramente uma subdivisão em gerações. O que pode ser notado, contudo, é que a operação comercial da maior parte desses sistemas coincidiu e coincide com a segunda geração dos sistemas celulares.

### Sistemas de 3ª Geração, 3G

Sistemas digitais (IMT-2000, UMTS); primeira operação prevista para 2001 (pela NTT DoCoMo, Japão). (GUIMARÃES, 1998).

Os sistemas 3G provêm serviços de telefonia e comunicação de dados a velocidades maiores que seus antecessores. O padrão 3G especifica, mais



exatamente, 144 kbps em ambientes móveis, 384 kbps em ambientes de pedestres e 2 Mbps em ambientes fixos (NASCIMENTO, 2000).

- **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunications Service*): É a evolução do GSM mas que ainda se baseia nessa tecnologia, embora o seu acesso por rádio seja diferente. Essa tecnologia usa uma técnica CDMA chamada *Direct Sequence Wideband* (DS-WCDMA), por isso é comum o uso intercalado de UMTS e WCDMA, embora a sigla UMTS se refira ao sistema inteiro. Opera principalmente em 2100MHz mas em algumas regiões opera em 850MHz ou 1900MHz e mais recentemente em 1700MHz. A UMTS é uma tecnologia baseada em IP que suporta voz e dados em pacotes oferecendo taxas máximas de transmissão de dados de até 2 Mbps e velocidades médias de 220-320 kbps quando o usuário está andando ou dirigindo. Tecnologia desenvolvida para prover serviços com altos níveis de consumo de banda, como *streaming*, transferência de grandes arquivos e videoconferências para uma grande variedade de aparelhos como telefones celulares, PDAs e *laptops*. A UMTS é compatível com a EDGE e a GPRS permitindo ao usuário sair de uma área de cobertura UMTS e ser automaticamente transferido para uma rede EDGE ou GPRS, dependendo de fatores como disponibilidade de rede e o consumo de banda do seu aplicativo. Assim, os usuários UMTS são sempre assegurados um nível de serviço de pacotes de dados em casa e em viagem.
- **CDMA 1xEV-DO** (*Evolution, Data-Optimized*): O CDMA 1xEV-DO é a tecnologia 3G do CDMA, que possui alta performance para transmissão de dados com picos de até 2,4 Mbps. Portadoras distintas são necessárias para dados e voz neste sistema. O enlace de subida permanece praticamente inalterado em comparação com o CDMA2000, mas no enlace de descida os usuários são multiplexados em tempo. Essa tecnologia está sendo utilizada no Brasil para telefonia fixa pela Embratel, cujo serviço foi herdado da antiga operadora Vésper, e pela operadora móvel Vivo em algumas cidades. A taxa de transmissão de dados teórica é de 2.4mbps e taxa de transmissão média de 300 a 500 kbit/s. Opera em 800 e 1900MHz (NASCIMENTO, 2000).
- **CDMA 1xEV-DV** (*Evolution, Data and Voice*): É a segunda etapa na evolução do CDMA 1xEV onde uma mesma portadora pode ser utilizada para voz e dados. A primeira, o 1xEV-DO como já vimos, uma portadora de 1,25 MHz é

dedicada apenas para dados. Teoricamente, essa tecnologia utilizando as 2 portadoras, teria uma velocidade máxima de 4.8Mbps. Esta tecnologia foi descontinuada pela Qualcomm, durante o desenvolvimento (NASCIMENTO, 2000).

- HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) / HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*): O HSDPA/HSUPA permite que as pessoas enviem e recebam e-mails com grandes anexos, joguem interativamente em tempo real, recebam e enviem imagens e vídeos de alta resolução, façam download de conteúdos de vídeo e de música ou permaneçam conectados sem fio a seus PCs no escritório – tudo usando o mesmo dispositivo móvel. HSDPA refere-se à velocidade com a qual as pessoas podem receber arquivos de dados, o "downlink". HSUPA refere-se à velocidade com qual as pessoas podem enviar arquivos de dados, o "uplink." Resumindo: o HSDPA seria um "EDGE" do UMTS. E a NTT Docomo está desenvolvendo o "Super 3G" (HSOPA) com velocidades de até 250Mbps. Alguns consideram como 4G, mas o Verdadeiro 4G será em LTE (NASCIMENTO, 2000).

Um cuidado deve ser tomado quando são analisadas iniciativas de certos fabricantes e organismos de padronização em disponibilizar no mercado versões melhoradas dos sistemas 2G, com denominações similares (ou até idênticas) àquelas referentes à terceira geração.

Essa antecipação de alguns serviços previstos aconteceu também com o PCS. Originalmente PCS era a sigla para Serviços de Comunicação Pessoal e não Sistemas de Comunicação Pessoal. O conceito sobre os serviços de comunicação pessoal marcou, no início dos anos 90, um dos primeiros movimentos preocupados com os futuros sistemas de comunicações móveis.

Segundo Guimarães (2009, p. 02):

Segundo a FCC (*Federal Communications Commission*) assim definiu PCS: uma ampla gama de serviços de rádio-comunicação que engloba comunicação móvel e comunicação fixa auxiliar, que fornece serviços para pessoas fora e dentro dos ambientes de trabalho e que pode ser integrada com uma variedade de redes concorrentes [Pan00]. Dessa forma os serviços PCS seriam oferecidos tanto por sistemas macro-celulares (*high tier*), similares ao TDMA IS-136, ao CDMA IS-95 e ao TDMA GSM, quanto por sistemas micro-celulares (*low tier*) similares ao CT2, ao DECT, ao PACS

e ao PHS [Gui98], em faixas de frequência diferentes daquelas já alocadas aos sistemas celulares e *cordless* convencionais. A partir daí se intensificaram os esforços de forma que fossem padronizados, desenvolvidos e implementados em todo o mundo sistemas de comunicação móvel para operação nas bandas PCS.

Portanto o que ocorreu segundo o autor supracitado foi à adaptação de sistemas celulares e *cordless* para operação nessas bandas e com serviços adicionais àqueles previstos para os sistemas originais. Houve então a primeira grande antecipação de um sistema e seus serviços através da evolução e adaptação de outros sistemas e serviços.

A comunicação sem fio permitindo a troca de informações a altas taxas e com alta qualidade entre terminais pequenos e portáteis que podem estar localizados em qualquer parte do mundo representa a fronteira a ser alcançada pelos sistemas de terceira geração [Sin00] – “*a global system to connect anywhere and anytime*” [ITU00] (GUIMARÃES, 2009).

O início dos estudos sobre os sistemas de terceira geração foi marcado por uma indecisão mantida por duas correntes: uma defendia a criação de um único padrão mundial; a outra defendia a evolução das redes e sistemas atuais de forma a atender aos requisitos definidos a partir da visão 3G. Apesar de ambas as alternativas possibilitarem economia de escala de fabricação para os componentes do sistema, a segunda teve maior força, pois também permite que os maciços investimentos já realizados pelas operadoras na implantação das redes e pelos fabricantes em processos de fabricação e etapas de desenvolvimento de produtos em todo o mundo fossem, de certa forma, protegidos.

O ITU elaborou então um conjunto de requisitos de tal forma que pudessem ser apresentadas propostas para as tecnologias de transmissão via rádio (RTTs, *Radio Transmission Technologies*) candidatas a compor o conjunto de especificações para o futuro padrão mundial de sistema de comunicação móvel 3G [R1225], [ITUlet]. A esse sistema foi inicialmente dado o nome de FPLMTS (*Future Public Land Mobile Telecommunication System*), com o objetivo de atender tanto aos usuários fixos (FWA) – quanto móveis, em redes públicas e privadas. Posteriormente o nome FPLMTS foi modificado para IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications – 2000*) [R6872], nome este que é conservado e reconhecido

O real início de operação do IMT-2000 está predominantemente sujeito a considerações de mercado, mas também a considerações técnicas. Esse sistema irá prover acesso, através de um ou mais links de rádio, a uma ampla gama de serviços de telecomunicações suportados por redes fixas como a RTPC a RDSI e a IP e/ou X.25 e serviços específicos a usuários móveis. Deverão existir vários tipos de terminais móveis com capacidade de acesso fixo ou móvel a redes baseadas em satélites e/ou redes terrestres.

De acordo com Guimarães (2009) os principais atributos do IMT-2000 são [Rrkey]:

- Alto grau de aspectos comuns (*high commonality*) de projeto em todo o mundo;
- Compatibilidade de serviços dentro do sistema e com as redes fixas;
- Alta qualidade;
- Terminais de pequeno porte com possibilidade de *roaming* global;
- Capacidade de aplicações multimídia com uma vasta gama de serviços e terminais.

O alto grau de aspectos comuns de um padrão mundial não só possibilitará grande economia de escala, mas facilitará a implementação *do roaming* global e impulsionará o investimento da indústria de Tecnologia da Informação (IT, *Information Technology*) em aplicações tais como serviços de multimídia que farão com que as redes de comunicação móvel possam ser vistas como uma extensão sem fio da Internet [Sin00] (GUIMARÃES, 2009).

Para permitir cobertura e *roagmin* global o IMT-2000 contará com a componente terrestre e a componente via satélite, atendendo aos usuários pico-celulares em interiores (*indoor* ou *in-building*), micro e macro-celulares em exteriores (*outdoor*) e em regiões remotas com cobertura global via satélite. As velocidades de movimentação dos terminais irão de velocidades de pedestres (cerca de 10 km/h) a mais de 250 km/h, com taxas de transmissão de dados dependentes dessas velocidades e que variam de cerca de 144 kbit/s para terminais em alta velocidade em ambientes externos a 2 Mbit/s para terminais em velocidades de pedestres ou fixos em ambientes internos (GUIMARÃES, 2009).

A Tabela 1 sintetiza alguns dados sobre os ambientes de operação, taxas atingíveis e qualidade de serviço esperada para o IMT-2000. É esperado que os usuários possam receber os serviços oferecidos pelo IMT-2000 independente de sua localização geográfica, com qualidade comparável àquela fornecida pelas redes com fio, sendo essa qualidade influenciada apenas pelos limites impostos por cada ambiente de operação (GUIMARÃES, 2009).

A esse conceito dá-se o nome de VHE (Virtual Home Environment). O VHE está associado ao conceito de serviços UPT (Universal Personal Telecommunication) [ITU93] que utilizam as facilidades oferecidas pelas Redes Inteligentes (IN, Intelligent Network) [Pan00, p. 4, 235] para oferecer mobilidade pessoal (Personal Mobility) aos usuários finais. Por mobilidade pessoal entende-se a entrega de serviços e tarifação baseada em um número pessoal associado a cada usuário, de tal forma que o mesmo perfil de serviços seja oferecido ao usuário independente de sua localização [Pan00, p. 3].

Ambiente	Máxima velocidade do terminal	Taxa de pico	BER alvo (tempo real / não tempo real)
Rural <i>outdoor</i>	250 km/h	144 kbit/s, preferencial 384 kbit/s	$10^{-3} - 10^{-7}$ / $10^{-5} - 10^{-8}$
Urbano / suburbano <i>outdoor</i>	150 km/h	384 kbit/s, preferencial 512 kbit/s	$10^{-3} - 10^{-7}$ / $10^{-5} - 10^{-8}$
<i>Indoor / outdoor</i> de curto alcance	10 km/h	2 Mbit/s	$10^{-3} - 10^{-7}$ / $10^{-5} - 10^{-8}$

**Tabela 1:** Ambientes de operação para o IMT-2000 (adaptado de [Sin00])

**Fonte:** Guimarães, 2009.

Espera-se ainda que a natureza predominante do tráfego multimídia que circulará nas futuras redes do sistema IMT-2000 seja assimétrica (como tipicamente ocorre no acesso à Internet) e que o sistema tenha que ser capaz de alocar os recursos de banda aos usuários por demanda (bandwidth-on-demand).

Com o IMT-2000 será percebida grande integração das redes com e sem fio, procurando interoperabilidade suficiente para dar ao sistema a flexibilidade exigida pelo mercado em termos da evolução e adequação dos serviços.

O IMT-2000 na verdade será composto por uma família de especificações [Pan00], [Rrspc], conforme abordado no item VI desse texto, especificações estas que atenderão aos requisitos da 3G. Os usuários dessa família de sistemas 3G

deverão conviver com terminais multi-modo e multi-banda, capazes de permitir o *roaming* global de forma transparente.

## CAPÍTULO 2 - ANTENAS

A antena é o componente elétrico responsável pela transmissão das ondas eletromagnéticas pelo espaço e também pela recepção destas ondas eletromagnéticas. A antena é essencialmente um transdutor que converte corrente alternada em ondas eletromagnéticas. A antena do transmissor e a antena do receptor podem possuir as mesmas características, no entanto elas serão tratadas de forma separadas neste trabalho uma vez que as antenas dos rádios transmissores são mais críticas do ponto de vista **construtivas** (SANTOS, 2008).

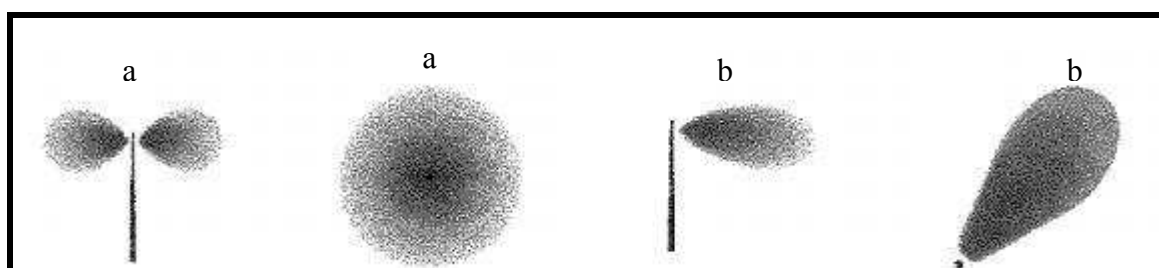
Os tipos de antenas são vários e toda antena desempenha um importante papel na cadeia de transmissão-recepção ou sistemas de telecomunicações. É através delas que ocorre a transferência da energia a partir do transmissor para meio onde se propagará a onda eletromagnética, e, conseqüentemente daquele meio ao receptor. A eficiência de um sistema de telecomunicações é dependente do desempenho dos sistemas irradiantes ou de recepção a ele conectados, por isso se desenvolveram diversos modelos de antenas, dentre estas, podem ser citadas as mais comuns: a monopolo e a dipolo. As antenas direcionais mais conhecidas são: yagi-uda (Chamada somente de yagi) e a parabólica. Também existem as multifrequenciais: antena longa (*Long-wire*) e a log-periódica (SANTOS, 2008).

As antenas acoplam energia eletromagnética de um meio, como por exemplo o espaço, para um outro, que pode ser um fio, cabo e um guia de onda. Em geral, elas podem ser classificadas em dois tipos: omnidirecionais e direcionais. As antenas omnidirecionais têm ganho igual em todas as direções, logo radiam e recebem igualmente em todas as direções (Como mostra a figura 5). Portanto, a radiação destas antenas alcança os usuários desejados com um pequeno percentual da energia total emitida para o ambiente. Esta característica limita a eficiência espectral, subutilizando o reuso da frequência. Temos como exemplo destas antenas, os dipolos.

Consiste em dois condutores, contendo em seu comprimento total o tamanho desejado da onda que se deseja captar (como o dipolo de meia onda, que contém o mesmo tamanho da metade do comprimento da onda). De forma mais simples, uma antena dipolo é uma antena retilínea sem ligação com o potencial de terra, com a extensão de um comprimento de onda em geral. Contudo, não se utilizam dipolos de onda completa por questões práticas, mas sim dipolos de meia onda. Desta forma, se pode considerar um dipolo de meia onda também uma antena retilínea, porém, o comprimento dos condutores é a metade de um comprimento de onda, sua alimentação é pelo centro, onde a impedância de entrada varia de acordo

com sua distância ao solo em comprimento de onda. Pode ser polarizada horizontalmente ou verticalmente, pois a onda eletromagnética é composta de campo elétrico e campo magnético, estes estão ortogonalmente dispostos. Quando se diz polarização de uma onda eletromagnética, seja vertical ou horizontal, o campo magnético e o campo elétrico estão situados a 90 graus com uma variação de fase de 0 grau. A polarização de uma antena dipolo é definida então pelo "*campo elétrico*", ou seja, se o campo elétrico está na horizontal, a polarização do dipolo é horizontal, se o campo elétrico está na vertical, a polarização da antena dipolo é vertical (SANTOS, 2008, p. 52).

Por outro lado, as antenas direcionais concentram seu padrão de radiação numa certa direção, ou seja, tem um maior ganho nesta direção, como mostrado na figura 5b (IEC. 2002). Estas antenas podem ser aplicadas em estações repetidoras de *links* de rádio e também em sistemas setorizados de comunicações celulares.



(a) Visitas lateral (em corte) e superior da antena omnidirecional.

(b) Visitas lateral e superior da antena direcional.

**Figura 5:** Antenas direcionais

**Fonte:** Santos, 2008.

## 2.1 Sistemas de Antenas

Existem basicamente três tipos de sistemas de antenas: os sistemas setorizados, os sistemas de feixe comutável e os sistemas de antenas adaptativos. Os dois últimos são considerados tipos de *Smart Antenas*, ou antenas inteligentes, que são formadas por arranjos controlados por dispositivos de altas taxas de processamento, como os DSPs. *Digital Signal Processors*. Estes processadores, além de terem altas taxas de processamento, são pequenos, adequando-se às necessidades dos atuais telefones celulares. Através destes sistemas é possível adaptar e atualizar o padrão de radiação em tempo real.

- Sistemas Setorizados - Os sistemas setorizados são usados nos sistemas celulares atuais. Nestes, a área total é dividida em células, e estas são



divididas em setores, que são cobertos por antenas direcionais, localizadas na mesma torre, como. (IEC, 2002), sendo que, operacionalmente, cada setor é tratado como uma diferente célula. Estes sistemas aumentam o reuso do canal, pois com eles, a interferência co-canal é reduzida, com isso aumenta-se a capacidade do canal. Quando aumenta-se o número de setores, reduz-se a interferência vista pelo sinal desejado. Porém, com o acréscimo do número de setores aumenta-se também o número de *handoffs* e a eficiência do sistema cai, devido a sobreposição dos padrões de radiação das antenas.

- Sistemas de feixe comutável - Os sistemas de feixe comutável usam um número fixo de feixes para selecionar, dentre estes, o que otimiza a recepção do sinal. Estes sistemas usam redes lineares de RF chamadas FBN, Fixed Beamforming Network, que combinam os M elementos do arranjo para formar M feixes direcionais. As matrizes de formação do feixe, como a But-ler Matrx (HAYASHI et al., 2002).

### CAPÍTULO 3 - PADRÕES DE TRANSMISSÃO DE SINAIS

A capacidade dos meios de comunicação é bastante superior às necessidades de transmissão de cada fonte de informação individual. Entretanto, quando são necessários vários canais para estabelecer a comunicação entre dois pontos, uma economia significativa pode ser conseguida enviando-se todas as informações através de um meio de transmissão único que utilize uma técnica de multiplexação dos sinais.

De acordo com Portillo (2008) a multiplexação é a transmissão de vários sinais usando uma única linha de comunicação ou canal, e pode se dar no domínio do tempo (TDM), do espaço (SDM) ou da frequência (FDM). Um fator imprescindível para que a comunicação seja possível é que os sinais sejam enviados sem nenhum erro e uma hierarquia de multiplexação já que a telefonia possui alguns problemas de sincronismo nos multiplexadores que podem dificultar ou mesmo inviabilizar a transmissão das informações.

A solução encontrada para solucionar os problemas de transporte nas redes de telefonia, ou seja, a falta de sincronismo dos sinais de entrada do multiplexador, foi usar a multiplexação plesiócrona. A palavra plesiócrona vem do grego: PLESÍOS (QUASE) + KRONOS (TEMPO). Uma tradução para plesiócrona poderia ser quase síncrona. A multiplexação plesiócrona é realizada por multiplexador plesiócrono. No PDH cada canal multiplexado opera de forma plesiócrona, ou seja, com um relógio que não é sincronizado com os relógios dos outros canais apesar de ser nominalmente idêntico. Como na hierarquia do sistema telefônico existem vários níveis de multiplexação, todo o conjunto de multiplexadores plesiócronicos recebe o nome de hierarquia digital plesiócrona, abreviado para PDH (do inglês *Plesiochronous Digital Hierarchy*) (PORTILLO, 2008).

As redes digitais que utilizam a Hierarquia Digital Plesiócrona surgiram na área de telecomunicações para atender os sistemas de telefonia onde sinais de alto nível são obtidos de múltiplos sinais de baixo nível adicionados a "bits de enchimento" visando compatibilizar as diferentes velocidades de transmissão. O PDH constitui-se na hierarquia digital mais simples de ser implementada, existindo dois padrões principais para sua implementação, o europeu e o americano/japonês,

ambos formados pela multiplexação síncrona de uma seqüência de 32 canais de 64Kbps, diferindo-se apenas pelo número de canais segundo Portillo (2008):

- Padrão europeu – 32 canais de 64Kbps e 2048Kbps de velocidade primária;
- Padrão americano – 24 canais de 64Kbps e 2048Kbps de velocidade primária.

Para ambos, há a necessidade da correta sincronização dos extremos da rede para a correta multiplexação / demultiplexação dos sinais, de forma a garantir a integridade da informação transmitida.

Nas tabelas seguintes estão representadas as velocidades empregadas nos sistemas de transmissão dos EUA e Japão e aquelas normalizadas pelo ITU-T (International Telecommunication Union), através da recomendação G.702 para a Europa:

PDH nos EUA e Japão		
Níveis de sinais digitais	Taxas de dados brutos (Kbits/s)	Número de canais (dados)
DS-0	64	1
DS-1	1544	24
DS-1C	3152	48
DS-2	6312	96
DS-3	44378	672

PDH ITU-T - G.702		
Níveis de sinais digitais	Taxas de dados brutos (Kbits/s)	Número de canais (dados + sinalização)
1	2048	32
2	8448	128
3	34368	512
4	139264	2048

**Tabela 2:** Padrões PDH existentes

**Fonte:** Portillo, 2008.

As características dos níveis de multiplexação PDH nos sistemas de transmissão europeu, americano e japonês mostram que em cada nível de multiplexação é levado em conta o fato de que os relógios dos tributários, além de serem distintos, não são exatamente iguais, mas quase iguais, dentro de uma certa tolerância, e por isso são chamados sinais plesíocronos.

Aos relógios de cada tributário deste sistema é permitida uma pequena variação. O multiplexador amostra cada tributário a uma taxa máxima de relógio permitida, e, quando não há nenhum bit no registrador de entrada, porque os bits vêm a uma taxa um pouco menor, é adicionado um bit de enchimento, conhecido como "*stuff bit*", no fluxo de bits agregado. É claro que existe um mecanismo que sinalizará ao demultiplexador que foi feito um "enchimento" e que este bit deverá ser retirado do fluxo na recepção.

### 3.1 Análise Comparativa entre as Hierarquias PDH e SDH

De acordo com a União Internacional de Telecomunicações (ITU-T) usualmente aplicáveis a sistemas de transmissão digitais PDH são apresentadas a seguir:

- G.702 – Especifica as velocidades nas hierarquias digitais.
- G.703 – Especifica as características físicas e elétricas das interfaces hierárquicas digitais.
- G.704 – Especifica as estruturas dos quadros e a filosofia de manutenção de redes.

Os padrões SDH definem as taxas de transmissão, a formatação dos sinais, as estruturas de multiplex e o mapeamento dos tributários para a interface nodal da rede (NNI) que é a interface padrão internacional para a hierarquia digital síncrona. (PORTILLO, 2008).

As normas do ITU-T aplicáveis a sistemas de transmissão digitais SDH são:

- G.707 – Especifica os níveis hierárquicos.
- G.708 – Especifica as interfaces entre a rede de transmissão e o nó da rede.
- G.709 – Especifica em detalhes a estrutura do multiplex e as informações do cabeçalho.
- G.781 – Estruturas das recomendações de equipamento de multiplexação para a hierarquia SDH.

- G.782 – Tipos e características gerais do equipamento de multiplexação para a hierarquia SDH.
- G.783 – Características dos blocos funcionais do equipamento de multiplexação para a hierarquia SDH.
- G.784 – Gerência da hierarquia SDH.
- G.803 – Arquiteturas de redes de transporte baseada na hierarquia SDH.
- G.81s – Características de relógio escravos para operação em equipamentos SDH.
- G.831 – Capacidade de gerência de redes de transporte baseada na hierarquia SDH.
- G.957 – Interfaces ópticas para equipamento e sistemas relacionados com SDH.
- G.958 – Sistemas de linha digitais baseadas na SDH para uso em cabos de fibra ópticas.
- G.sna.2 – Capacidade de desempenho e gerenciamento das redes de transmissão baseadas na SDH.
- G.773 – Protocolos da interface Q.
- G.774 – Modelo de informação para gerência da SDH.
- G.750 e 751 – Rádio síncrono. (PORTILLO, 2008).

De acordo com Portillo (2008) o resumo das características da SDH são:

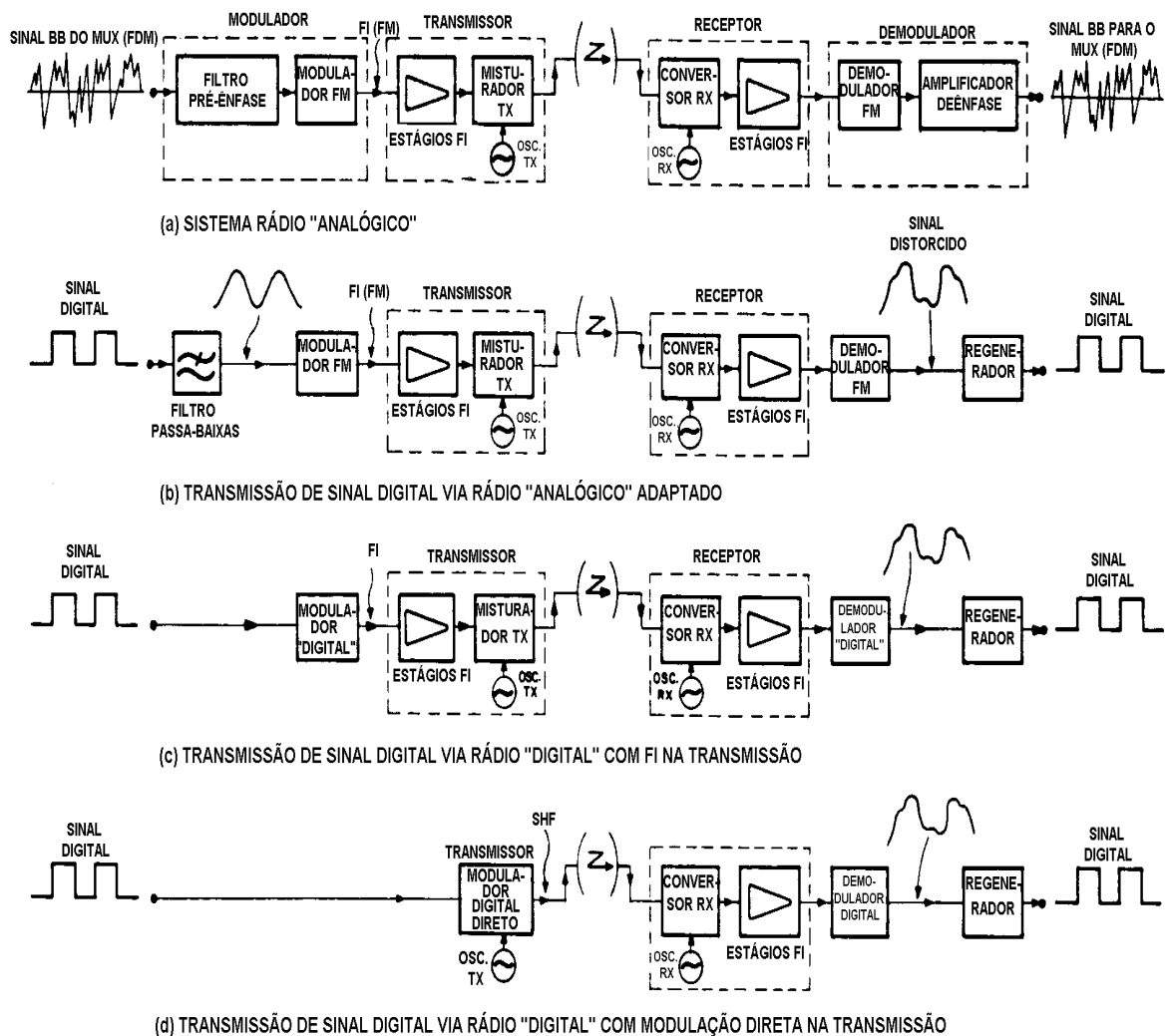
- Tratamento em nível de byte.
- Duração do quadro uniforme de 125 ms.
- Utilização de ponteiros para: identificar os quadros dos tributários e adaptação de velocidade (justificação).
- Canais de serviço e supervisão de grande capacidade, integrados no cabeçalho. Esta estrutura permite a implementação de uma gerência de rede (TMN).
- Padronização mundial que permite compatibilizar as três hierarquias existentes.
- Existe capacidade de transmissão suficiente em cada estágio de multiplexação para as futuras necessidades de operação e manutenção da rede.

- Acesso direto aos tributários de baixas taxas sem passar pelos estágios intermediários superiores.
- Facilidade para aumentar as taxas de transmissão com a evolução tecnológica (técnicas de multiplexação mais simples e sem necessidade de enchimento).
- Flexibilidade para prover serviços com taxas elevadas, através do conceito de concatenação.
- Compatibilidade transversal (ambiente multifornecedor e padronização total).
- Permite a implantação de arquiteturas mais eficientes e flexíveis com o uso de ADM e cross-connects, reduzindo os custos dos nós da rede através da utilização destes equipamentos.
- Compatibilidade com as técnicas do modo de transferência assíncrona (ATM).

## CAPÍTULO 4 - SISTEMAS RÁDIO ENLACE EM VISADA DIRETA

### 4.1 Rádios de Microondas Alcatel-Lucent

Existem basicamente três configurações para um sistema rádio que serve como meio de transmissão a sinais digitais.



**Figura 6:** Configurações de sistemas de rádio

Na Fig. 6.b é apresentado um sistema rádio "analógico" adaptado para transmissão exclusiva de sinais digitais. No lado de transmissão os circuitos de banda básica (filtro BB, amplificador de BB e pré-ênfase) foram substituídos por um filtro passa-baixas. Este filtro é convenientemente projetado para suavizar as transições bruscas entre os níveis representativos do sinal digital, com a finalidade

de restringir o espectro ocupado pelas bandas laterais geradas quando esse sinal modula em frequência a portadora de FI. Da entrada do oscilador de FM até a saída do demodulador de FM o sistema da Fig 6.b é idêntico ao sistema rádio mostrado na Fig. 6.a. O sinal demodulado se apresenta distorcido e também acompanhado de ruído, devido às perturbações inerentes introduzidas pelo canal rádio. Este sinal é encaminhado a um equipamento denominado regenerador, que tem por finalidade gerar um novo sinal digital, réplica do original, a partir do sinal recebido. A possibilidade de regeneração, consiste numa das principais vantagens dos sistemas de transmissão digital, já que se pode ter a cada lance do sistema o sinal a ser transmitido como réplica do original, não ocorrendo portanto o efeito acumulativo das distorções e ruídos introduzidos pelos diversos lances.

A adaptação dos sistemas rádio analógicos para a transmissão de sinais digitais, embora evite a necessidade de novos investimentos em equipamentos específicos para esta transmissão não se mostra muito eficiente.

Na Fig. 6.c é apresentado um outro tipo de sistema rádio, no qual o sinal digital é encaminhado a um modulador especial para este tipo de sinal modulante que fornece na saída a portadora de FI modulada pelo trem de pulsos.

No lado da recepção o sistema da Fig.6.c apresenta-se alterado em relação ao da Figura 6.a, pela utilização de um demodulador que deve ser compatível com o modulador utilizado. O sistema rádio da Fig. 6.c, que teve o conjunto modulador/demodulador de FM da Fig. 6.a substituído por um novo par modulador/demodulador específico para trabalhar com sinais digitais, é normalmente denominado de "sistema rádio digital".

A Fig. 6.d apresenta o esquema de um sistema rádio totalmente projetado para a transmissão de sinais digitais. Neste caso, denominado usualmente de "sistema rádio digital com modulação direta", a portadora de microondas é diretamente modulada pelo sinal digital, num modulador próprio para esta finalidade. Não existe então, no lado da transmissão, o estágio intermediário de modulação de uma portadora de FI, para posterior conversão à portadora de microondas. No lado da recepção este último sistema é idêntico ao da Fig. 6.c, mantendo-se a conversão para FI, onde se estabelece a seletividade do receptor, seguindo-se um demodulador que deve ser compatível com o modulador direto utilizado.



## 4.2 Rádios Alcatel-Lucent

### 4.2.1 9500 MXC: Microwave Cross-Connect

O rádio de microondas ponto-a-ponto Alcatel-Lucent 9500 MXC faz parte de uma nova geração de rádios digitais, de média e alta capacidade. Possui uma plataforma flexível, que apóia PDH, SDH/SONET e interfaces Ethernet. Soluções de microondas para aplicações de alta capacidade são particularmente importantes com a introdução de UMTS e HSPDA em redes móveis, devido à introdução de UMTS e HSPDA em redes móveis, devido à renovação das redes de televisão com o lançamento da DVB-T e DVB-H, e devido à popularidade das redes de banda larga.

O 9500 MXC possui uma completa e homogênea série a partir de 6 a 38 GHz, assegurando uma máxima performance de transmissão em cada faixa de frequência. SDH com capacidade para até 2xSTM-1/OC-3 endereçável com 1+0, 1+1 ou 2+0. Embora sua rede única gere soluções tanto para pequenas e grandes redes, o seu design compacto permite uma instalação fácil para todas as frequências e capacidades. Utiliza as modulações QPSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM e 128QAM- 256QAM. Pode ser óptico ou elétrico. As arquiteturas indoor e outdoor são compactas como pode ser visto na figura 7.



**Figura 7:** Rádio de Microondas 9500 MXC- Alcatel-Lucent

#### 4.2.2 Características do MXC

Freqüência Gama: 6-38 GHz  
 E1 Capacidade Agilidade: 4 a 75xE1  
 Ethernet Throughput: 8-300 Mbit/s  
 SDH Capacidade: 1 e 2xSTM-1  
 Modulação regimes: 4/16/32/64/128 QAM (SW Selectable)  
 Interfaces: E1  
 Fast Ethernet  
 Gigabit Ethernet STM-1  
 Configurações: Nodal até 6 direções, Unprotected, Protegido, XPIC, Ring  
 Embutido Características: E1Cross Conecte  
 E1 Ring Protecção  
 NxE1 para STM-1 Mux  
 Full Ethernet L2 Gestão  
 Ethernet Totalização longo duas rádio transportadoras (600 Mbit / s)

Super PDH, Ethernet e Rádio SDH em uma única plataforma de hardware Alcatel 9500 MXC introduz a idéia de Alta Capacidade de Rádio SDH. Através de uma única plataforma, os operadores podem dirigir aplicações SDH, PDH e Super High Capacity Ethernet.

O A9500MXC pode operar com qualquer modulação regime: 4/16/32/64/128QAM.

Operador pode sempre escolher o melhor compromisso entre a capacidade, sistema de ganho e regime de modulação.

O MXC INU (*Intelligent Nó Unit*) suporta as seguintes funcionalidades:

- Conecta até 3x ODUs em apenas 1 RU, ou até 6x na ODU expandindo o formato de 2 RUs.
- Todo o tráfego encaminhamento realizado internamente software sob controle.
- Concepção modular com hot-swappable acesso cartões.
- Rede nó funciona como o tráfego adicionar-e-gota, Northsouth agregação de tráfego e de concentração.
- Hardware e caminho com proteção integrada de comutação, incluindo quente de espera, espaço e frequência e diversidade PDH anel protecção comutação.

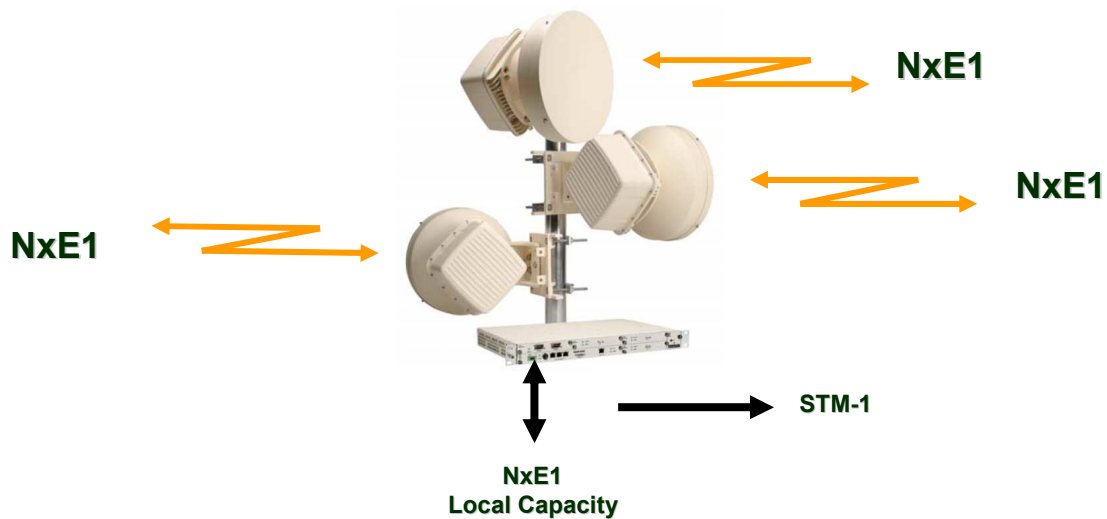


**Figura 8:** IDU do rádio de microndas 9500 MXC- Alcatel-Lucent

### Integrado STM-1 Mux

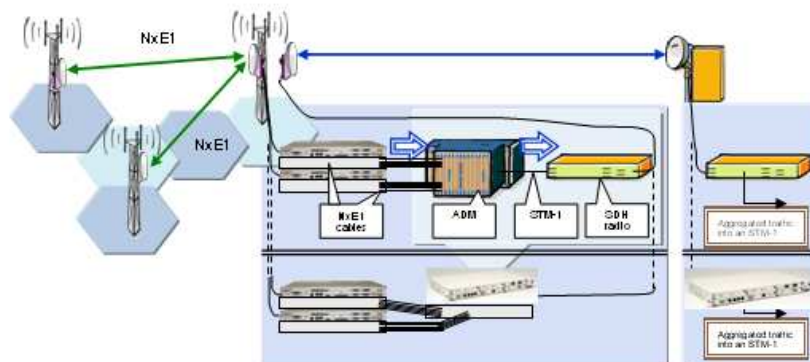
Um plug-in de cartão específico é capaz de mapear rádio e tráfego local em uma única STM-1 stream.

Múltiplas STM-1 MUX cartões também são suportados quando a capacidade é superior a 63xE1



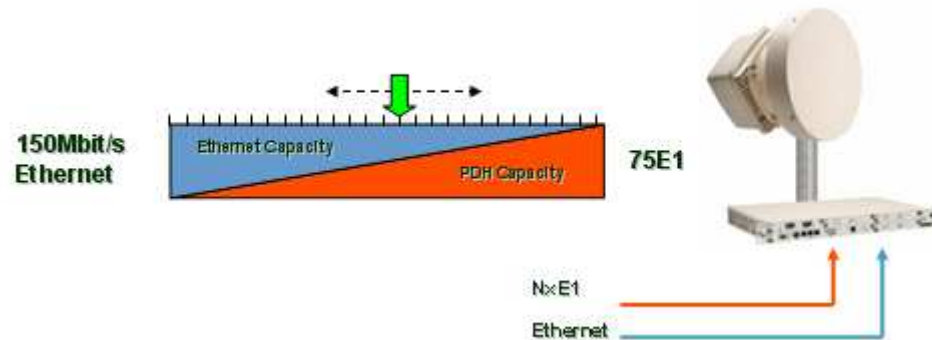
**Figura 9:** Rádio MXC INU Conecta até 3x ODUs em apenas 1 RU

As vantagens de ter o MUX capacidades é a possibilidade de apresentar um único fluxo de tráfego para o usuário.



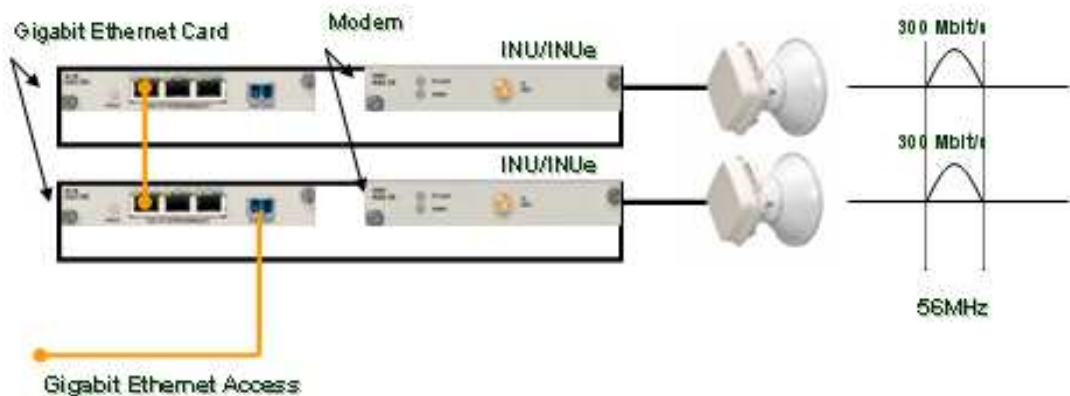
**Figura 10:** MUX capacidades

A capacidade do MXC rádio pode ser compartilhada entre E1 e portas Ethernet. Simplesmente por software, a capacidade disponível pode ser atribuída a partir de PDH para Ethernet em 2Mbit /s.



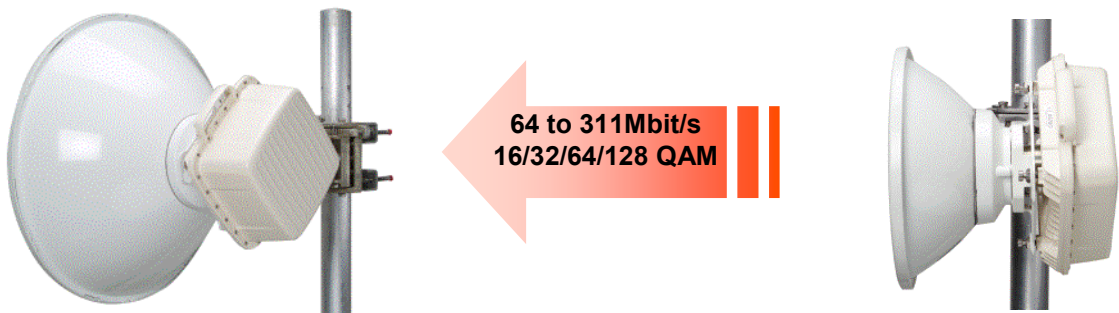
**Figura 11:** A capacidade do MXC compartilhada entre E1 e portas Ethernet

Com interface Ethernet Gigabit, o MXC pode proporcionar uma elevada capacidade de vazão Ethernet; 300Mbit/s durante única transportadora ou 600Mbit/s mais de duas transportadoras com balanceamento de carga de tráfego



**Figura 12:** Interface Ethernet Gibabit do rádio MXC- Alcatel-Lucent

O A9500 MXC, outra geração dos rádios MXC, apoia uma nova geração de ODUs (ODU300 V2 série), apoiar múltiplas modulação regime 4/16/32/64/128 QAM e capacidade de 8Mbit / s (4xE1) até 311 Mbit / s (2xSTM-1).



**Figura 13:** IDU do Rádio A9500 MXC- Alcatel- Lucent

A ODU do rádio A9500 MXC apresenta as seguintes características:

- Capacidade de 8 a 311Mbit / s;
- QPSK, 16, 32, 64 e 128QAM L6, U6, 7, 8, 10, 11, 13, 15, 18, 23, 25, 28, 38GHz;
- Mesma ODU para XPIC operação;
- Acoplador externo para hot standby ou frequência diversidade.

•1+0



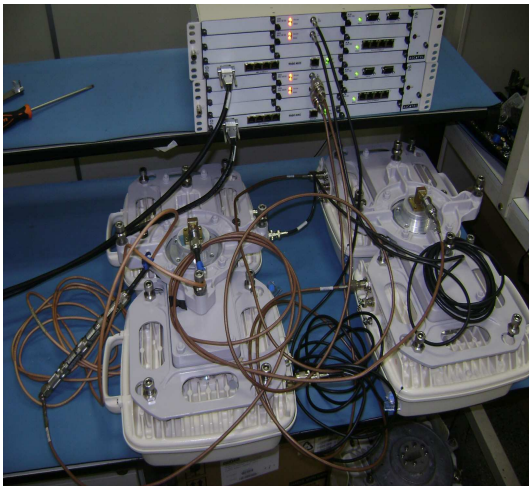
• 1+1 Hot Stand-by ODU



**Figura 14:** ODUs do Rádio A9500 MXC- Alcatel- Lucent

### 4.2.3 Configurações do MXC

Após serem realizadas as devidas conexões entre as IDUs e ODUs, simulando o percurso das ondas eletromagnéticas do site transmissor até o site receptor com a inserção de atenuadores de 40 a 60 dB, como pode ser visualizado nas figuras abaixo, iniciamos os procedimentos de configuração utilizando o software de acesso ao Rádio MXC da Alcatel-Lucent.

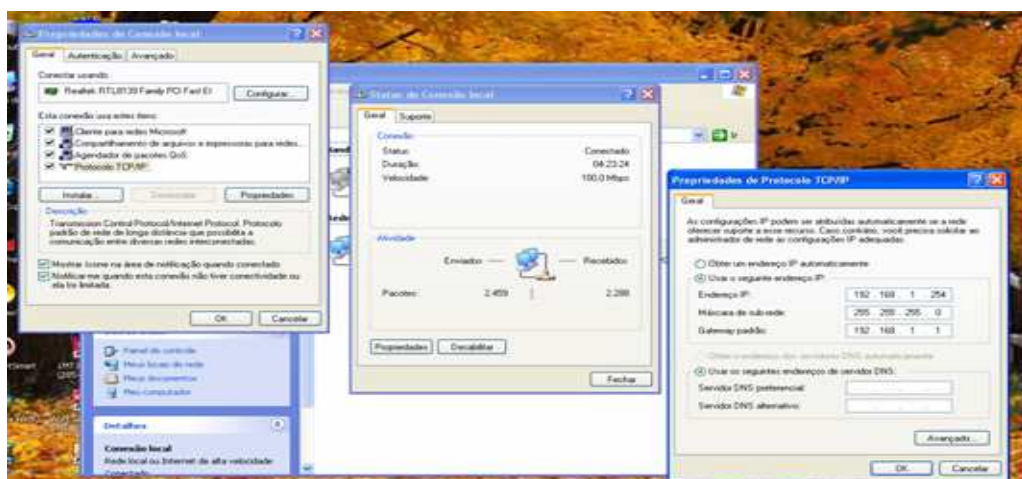


**Figuras 15:** Montagem dos rádios MXC Alcatel-Lucent para a configuração

#### 4.2.3.1 Configuração do IP para conexão local e remota

Para conectar-se ao rádio remoto deve-se habilitar no TCP/IP, propriedades de conexão local o Gateway padrão o IP do lado do rádio que esta sendo acessado:

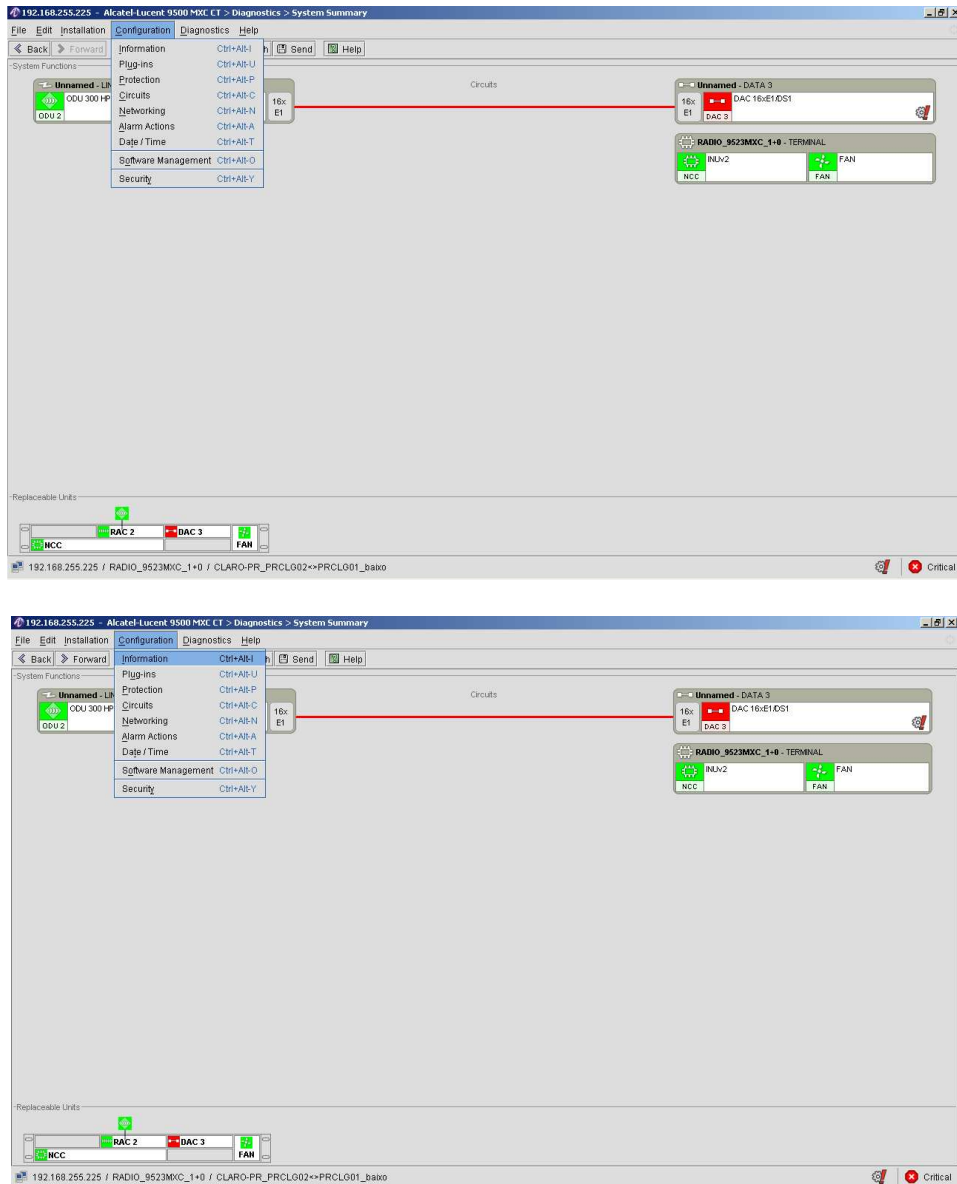
Ex: o radio a ser acessado é do lado de (baixa) e seu IP é: 192.168.1.1  
outro lado (alta): 192.168.2.1



**Figura 16:** Telas com a configuração do IP para conexão com o rádio MXC

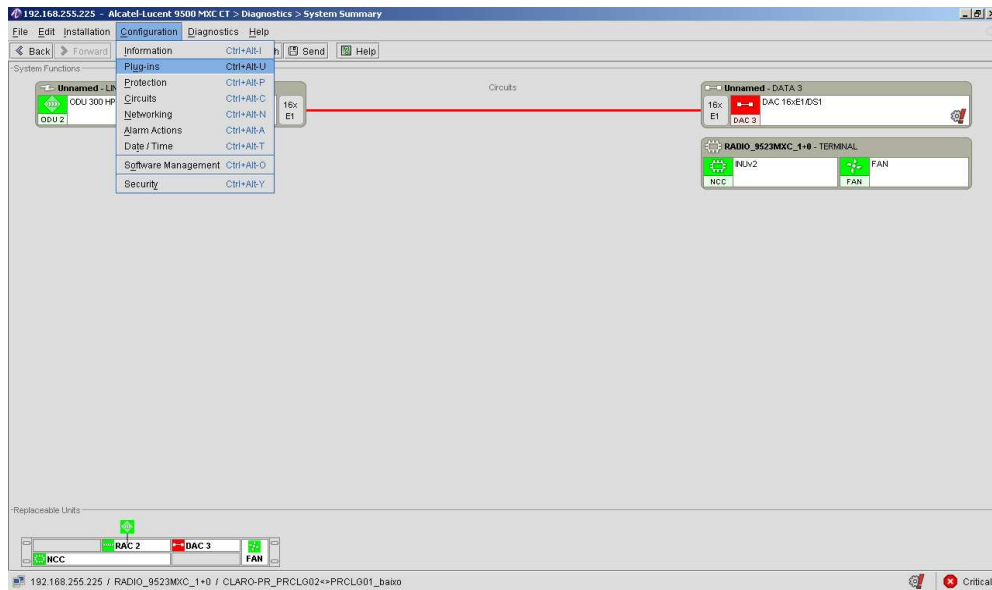


Os equipamentos já vem configurados, prontos para instalar e fazer o alinhamento, as telas a seguir são para conhecimento e eventual necessidade de mudança de configuração, exemplo freqüência, potência, nome do rádio modelo, nome da estação local e remota e se a mesma é a estação de alta ou de baixa.



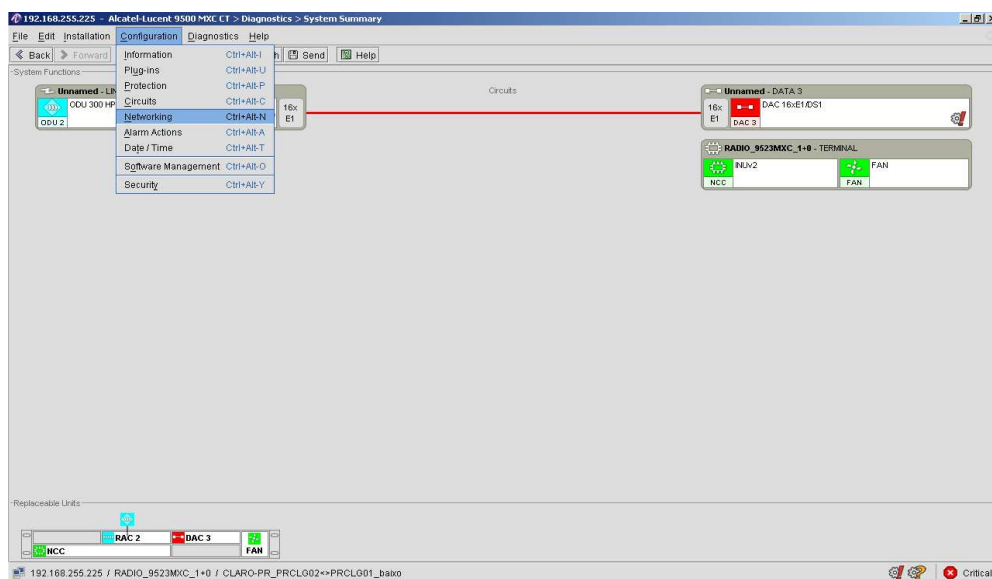
**Figura 17:** Telas do software de acesso aos rádios MXC- Alcatel- Lucent

Na tela a seguir são mostradas as informações sobre freqüência de TX e RX, modulação, potência, quantidade de E-1, etc.



**Figura 18:** tela do software de acesso aos rádios MXC- Alcatel- Lucent- informações sobre o rádio

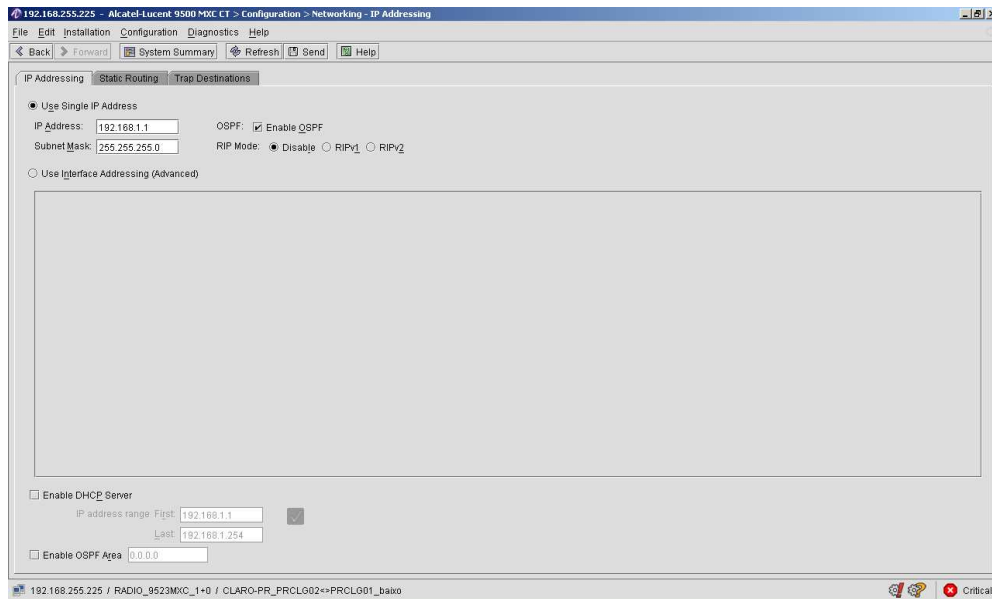
Na tela abaixo é mostrado o IP que foi configurado na INU:



**Figura 19:** Tela do software 9500 MXC- CT- informações sobre o IP da INU

A função OSPF do software permite o acesso a outra estação, caso não esteja marcada, não acessa a outra estação de rádio, conforme podemos observar na tela a seguir.

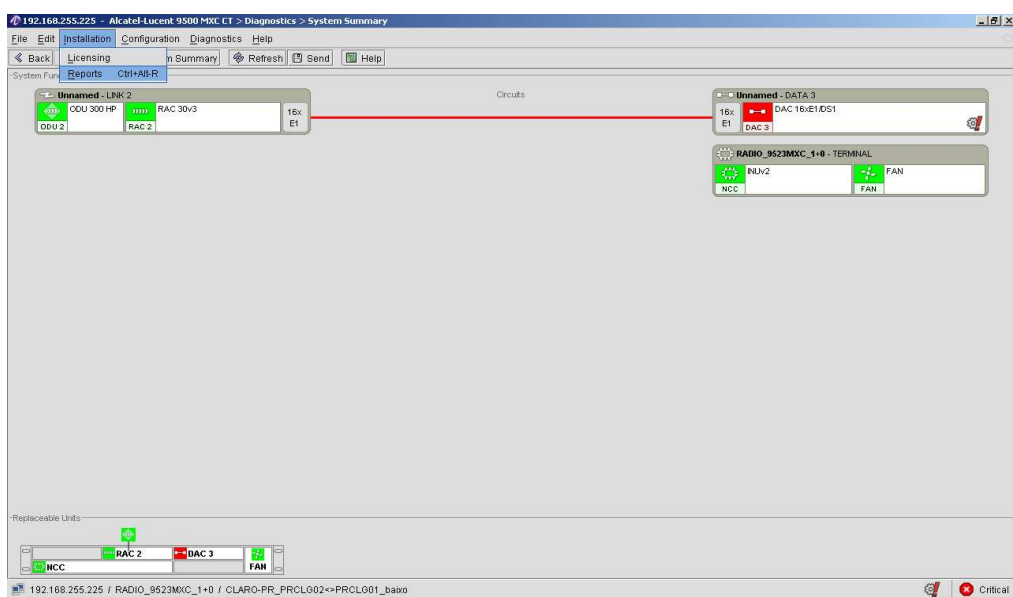




**Figura 20:** tela do software 9500 MXC- CT- a opção OSPF no alto da tela deve estar sempre habilitada (Enable OSPF)

A função performance é a principal para o alinhamento das estações do enlace, com isso, verificando o valor solicitado no projeto, devemos analisar o nível RSL (dBm) e conferir se o valor calculado não está ultrapassando 2 dBm. Devemos observar também a potência (Detected TX Power (dBm)).

O *remote inventory* (RI) é a documentação onde encontramos todas as especificações da configuração do rádio. Com o software 9500 MXC-CT, podemos obter o RI, conforme mostrado na tela abaixo.



**Figura 21:** Tela do software 9500 MXC- CT- obtenção do remote inventory da configuração realizada no rádio MXC.

#### 4.2.4 Rádio 9600 LSY- Long Haul Digital Radio Relay System

A Alcatel-Lucent 9600 LSY longínquos rádio digital links são otimizados para microondas produtos de alta capacidade de longo curso configurações. Complementos naturais para transmissão de fibra óptica, que pode ser utilizado tanto em ambientes PDH e SDH no qual microondas é preferencial.

Eles apóiam uma ampla gama de frequências, a partir de 4 GHz até 13 GHz, incluindo a nova banda de 10 GHz. A Alcatel-Lucent 9600 LSY família é caracterizada por uma completa estrutura com interiores de tamanho compacto. Em particular, os novos 9.600 LSY "Compacto" versão é a Alcatel-Lucent para a resposta da procura do mercado de compactos e de baixo custo de sistemas com um número limitado de canais de rádio. Totalmente integrado com a Alcatel-Lucent plataforma global de gestão da rede, a Alcatel-Lucent 9600 LSY família representa a evolução da anterior série LH 9600. Menor e mais eficiente em termos de potência, ele suporta STM-1/STM-0 tráfego e oferece uma vasta gama de configurações bem como regenerador celular ou multi-serviço nó funções.

##### Benefícios

- Reduzido custo de implantação de rede; rápido retorno investimento.
- Escalabilidade e flexibilidade permitem que torna fácil estender a rede de tráfego de acordo com necessidades.
- Utilização das infra-estruturas existentes e rádio planos.
- Fácil e rápida instalação.
- Poderosa gestão local ou remoto.
- Fácil manutenção e peças sobressalentes minimização, graças à utilização de banda larga rádio peças que podem ser explorados em todo o plano de frequências de cada canal.

##### Recursos

- O "padrão" multicanal versão funções até 7 1 ou 8 0 em um único rack N3 ETSI e apoia ATM / IP e redes LAN / WAN conexões.
- O novo "compacta" versão características 1 0, 2 0 e 1 +1 HST terminais ETSI em uma única plataforma.

- O "padrão" multicanal versão funções até 7 1 ou 8 0 em um único rack N3 ETSI e apoia ATM / IP e redes LAN / WAN conexões.
- O novo "Compacto" versão características 1 0, 2 0 e 1 +1 HST terminais em uma única plataforma ETSI.
- Alta confiabilidade de design altamente integrado; freqüência reutilização opção disponível para todas as bandas.
- Alta eficiência espectro utilizando modulação 128 QAM.
- Conjunto completo das interfaces de utilizador: 155 Mbps eléctrico e de óptica, 140 Mbps, Mbps 3x34, 3x45 Mbps, 63x2 Mbps. 2 Mbps via de tráfego como auxiliar de capacidade de transmissão para cada canal RF.



**Figura 21:** RÁDIOS 96XX LSY

## CAPÍTULO 5 - INTRODUÇÃO AO SISTEMA GSM

O sistema GSM é um sistema celular digital de segunda geração, concebido com o propósito de resolver os problemas de fragmentação dos primeiros sistemas celulares na Europa. O GSM é o primeiro sistema celular no mundo a especificar modulação digital e arquiteturas de serviços de nível de rede. Antes do GSM, os países da Europa utilizavam padrões diferentes dentro do continente e não era possível a um usuário utilizar um único terminal em toda a Europa.

O padrão GSM foi inicialmente desenvolvido para ser um sistema pan-Europeu e prometia uma série de serviços utilizando a rede digital de serviços integrados RDSI (ou ISDN – *Integrated Services Digital Network*) (BRANQUINHO et. al, 2007).

O sucesso do padrão GSM excedeu as expectativas e ele é atualmente o padrão mais popular para sistemas celulares e equipamentos de comunicação pessoal em todo o mundo. Em 1982, foi criado na Europa grupo GSM (*Group Special Mobile*) para desenvolver um padrão digital europeu único. A introdução do GSM se deu inicialmente no mercado Europeu em 1991. Ao final do ano de 1993, vários países não Europeus na América do Sul, Ásia, além da África do Sul e Austrália começaram a operar e adotar o GSM e o padrão tecnicamente equivalente e a partir dele desenvolvido, o DCS 1800. Esse último suporta serviços de comunicação pessoal (PCS – *Personal Communication Services*) nas faixas de rádio de 1.8GHz a 2GHz recentemente criada pelos governos em todo o mundo. Atualmente, GSM é a sigla de *Global System for Mobile Communications*.

### 5.1 Breve Histórico do GSM

De acordo com Branquinho et. al., (2007) GSM, que significa *Global System for Mobile Communications* como já citado anteriormente, é um sistema aberto, não proprietário. Seu grande diferencial é a capacidade de funcionamento em mais de 170 países. Ele consegue atingir áreas que a cobertura terrestre não alcança. O GSM difere da primeira geração de sistemas sem fio no uso de tecnologia digital e métodos de transmissão TDM. A voz é codificada digitalmente via um único codificador, que emula as características da fala humana.

O serviço do GSM envolve alta velocidade, serviços de dados multimídia em sistemas sem fio. A primeira geração de telefones celulares era analógica. No entanto, a geração atual é digital. A transmissão digital tem várias vantagens em relação à analógica para comunicação móvel. Primeiro, a comunicação de voz e dados pode ser integrada em um único sistema. Segundo, quanto mais algoritmos de compactação de voz forem descobertos, menos largura de banda será necessária por canal. Terceiro, os códigos de correção de erros podem ser usados para melhorar a qualidade de transmissão. Por último, os sinais digitais podem ser criptografados para aumentar a segurança (BRANQUINHO et. al, 2007).

Existem diferentes padrões no mundo, como o ISO-54 (norte-americano) e o JDC (japonês). Ambos foram criados para serem compatíveis com o analógico, de forma que cada canal AMPS poderia ser usado para comunicação analógica ou digital. Por outro lado, o sistema digital europeu GSM (*Global System for Mobile Communications*), foi criado desde o início como um sistema totalmente digital, sem qualquer compromisso em relação a retrocompatibilidade.

Outra característica do sistema GSM é que os aparelhos são habilitados com um pequeno cartão chamado SIM. Assim, por exemplo, o proprietário do celular pode viajar a França ou Alemanha sem ter de trocar o número de telefone, levando apenas o cartão. Basta instalá-lo em um aparelho local. A agenda também é mantida (BRANQUINHO et. al., 2007).

## 5.2 Arquitetura da Rede GSM

Segundo Sverzut (2005) a arquitetura do GSM consiste de três subsistemas interconectados que interagem entre eles e com os usuários através de certas interfaces de rede. Os subsistemas são:

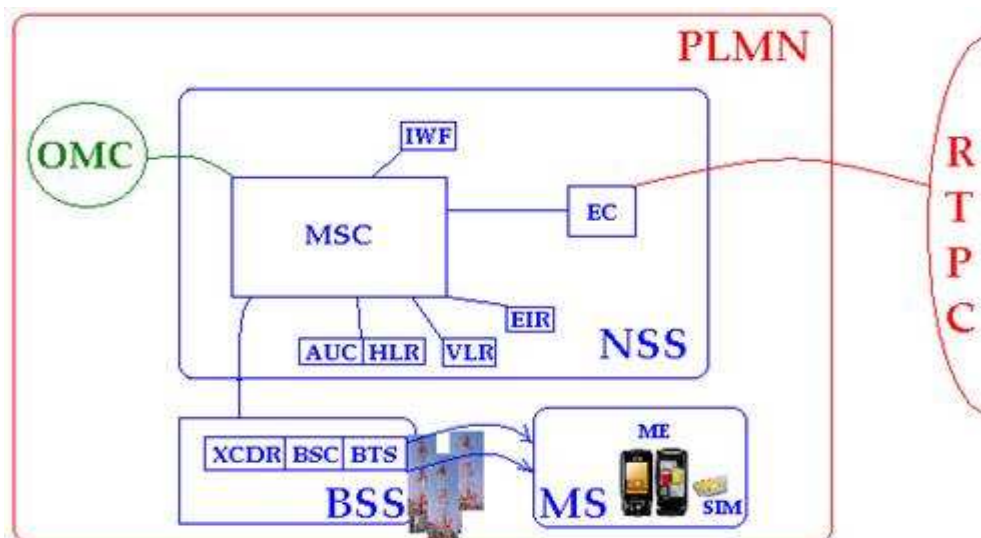
- O subsistema estação rádio base (BSS - Base Station Subsystem);
- O subsistema de rede e comutação (NSS - Network and Switching Subsystem);
- O subsistema de suporte de operação (OSS - Operation Support Subsystem) (BRANQUINHO et. al, 2007).

Segundo Sverzut (2005) a estação móvel também é um subsistema, mas é considerada normalmente como parte do subsistema estação rádio base, por propósitos de arquitetura.

No GSM, equipamentos e serviços são designados para suportar um ou mais desses subsistemas.

O BSS, também conhecido como subsistema rádio, provê e gerencia as transmissões entre estações móveis e a central de comutação, MSC. O BSS também gerencia a interface de rádio entre as estações móveis e todos os subsistemas do GSM. Cada BSS consiste de um conjunto de controladores de estações rádio (BSCs - *Base Station Controlers*) que conectam o terminal móvel ao NSS, via MSCs. O NSS gerencia as funções de comutação do sistema e permite à MSCs comunicar com outras redes, como a rede de telefonia pública comutada PSTN e a ISDN (BRANQUINHO et. al, 2007).

A rede GSM é formada por interfaces abertas e padronizadas, seguindo sua principal intenção, montar uma arquitetura mais abrangente possível. Ela é estruturada para que seja possível a integração entre componentes de diferentes fabricantes, o que aquece a concorrência e diminui o preço para o usuário. Além do fato, é claro, de torná-la extremamente flexível, logo, mais viável. Os componentes dessa arquitetura são divididos em 4 grupos O conjunto desses grupos é chamado rede móvel pública terrestre (*Public Land Mobile Network – PLMN*), e é implementado por uma operadora. Veja a figura abaixo.



**Figura 24:** Rede móvel pública terrestre  
**Fonte:** Branquinho et. al, 2007.

Segundo Sverzut (2005) Arquitetura da rede GSM.:

MS – *Mobile Station* – Estação móvel: formada pelo próprio aparelho celular, computador ou qualquer outro sistema de comunicação de voz ou dados (Equipamento Móvel). Necessita de um cartão SIM, que guarda seu registro na rede.

BSS – *Base Transceiver System* – Sistema de estação base : é capaz de se comunicar com as estações móveis e enviar informações para o sistema de comutação de rede, o NSS.

NSS – *Network Switching System* – Sistema de comutação de rede: processa informações através de interfaces e protocolos e gerencia o banco de dados. Assim, consegue interconectar a rede GSM com a rede pública (RTPC).

OMS – *Operations and Maintenance System* – Sistema de Operação e Manutenção: comanda os grupos de componentes.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo abordou conceitos básicos relacionados às comunicações móveis. Os fundamentos relacionados com os princípios básicos dos sistemas celulares e sua transmissão de informação nos canais de rádio, várias técnicas de acesso em sistemas de comunicação móvel foram também apresentadas. Em caráter informativo foram apresentadas as principais características de alguns dos sistemas de comunicações móveis existentes e emergentes (GSM). Recentemente a única possibilidade de transmissão de dados sobre redes de comunicação móvel era através da conexão de modems de baixa velocidade a terminais telefônicos móveis analógicos. Isso resultava em altíssimas taxas de erro de bit devido às rápidas flutuações do sinal pelo efeito dos multipercursos, aos profundos desvanecimentos ocorridos em momentos de sombreamento e aos freqüentes *handoffs* inerentes ao sistema. Mesmo com a utilização de poderosos codificadores de canal o *throughput* nessa situação ainda era muito reduzido.

Com o advento do GSM, pensava-se que esse problema seria resolvido, mas apesar da evolução tecnológica desse sistema, muitos fatores inviabilizam a transmissão de dados através dele. Dentre esses fatores pode-se citar: o processo de estabelecimento de chamada no GSM é muito longo e chega a ser proibitivo em algumas aplicações computacionais; com um adequado esquema de codificação de canal pode-se transmitir dados já armazenados como arquivos. Por outro lado, ter que pagar uma conexão telefônica para transmitir dados pode ser um tanto ineficiente e caro. No atual momento, as fraudes possíveis em GSM acabam não valendo a pena devido à dificuldade no ataque, já que requerem alto número de equipamentos e a complexidade dos ataques fazem com que nem sempre se usufrua os “benefícios do ataque”. Possivelmente no futuro isso se torne mais simples, porém no atual momento esses ataques são muito caros e impraticáveis em todo o mundo.

Portanto conclui-se que a comunicação móvel é uma nova linguagem, motivada pelo desenvolvimento da tecnologia, tendo como consequência a sociedade da informação, que tem ao seu dispor dados e informações, novas formas de comunicação e uma nova configuração na relação tempo-espço. Percebemos a real importância dos sistemas de comunicação móveis com ênfase em sistemas



celulares e sua grande relevância para a sociedade e a vida corporativa das empresas e indivíduos. Vale ressaltar que nos aspectos gerenciais os sistemas de comunicação sem fio tem sido uma ferramenta estratégica de resultados positivos para as organizações e para as comunicações globais.

## REFERÊNCIAS

ANATEL. **Agencia Nacional de Telecomunicações**. Resolução 303. 02 de julho de 2002.

BRANQUINHO, Dr. Omar; BRAGHETTO, Luis Fernando B; SILVA, Sirlei Cristina da; BRISQUI, Marcelo Lotierso; , Paulo da. **Redes GSM e GPRS**. Pós-graduação em Redes Computadores. Universidade Estadual de Campinas-Unicamp. 2007.

GUIMARÃES, Dayani Adionel. **Introdução às comunicações móveis**. Revista INATEL Telecomunicações, Vol 01. Nº.01, agosto de 1998.

GUIMARÃES, Dayani Adionel **Sistemas de comunicação móvel de terceira geração**. 2009. Disponível em: <[http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/dayani/3g\\_01.html](http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/dayani/3g_01.html)>. Acesso em: 07 jun. 2009.

YACOUB, Michel Daoud. **Foundations of Mobile Radio Engineering**. CRC Press, 1993.

NASCIMENTO, Juarez. **Telecomunicações**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

PINHEIRO, José Maurício Santos. **Redes Digitais Plesiócronicas**. 2009. Disponível em: <[http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo\\_redes\\_digitais\\_plesiocronicas.php](http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_redes_digitais_plesiocronicas.php)>. Acesso em: 07 jun. 2009.

PORTILLO, Julian Alexienco. **SINCRONIZAÇÃO EM REDES DE TELECOMUNICAÇÕES**. 2008. Disponível em: <[http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/julian\\_portillo/sincronizacao\\_03.html](http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/julian_portillo/sincronizacao_03.html)>. Acesso em: 07 jul. 2009.

SANTOS, Ricardo Di Lucia. **Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS**. DRE: 108038139. UFRJ. Disponível em: <[http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2008\\_2/ricardo/4.html](http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/ricardo/4.html)>. Acesso em: 07 jun. 2009.

SANTOS, Roberto Bairros dos. **Antenas**. Disponível em: <<http://www.albtos.com/bairros/pdf/antenas.pdf>. 2008>. Acesso em: 19 jun. 2009.

SVERZUT, José Umberto. **Redes GSM,GPRS,EDGE e UMTS**: Evolução da terceira Geração (3G). 1. ed. São Paulo: Érica, 2005.

WIRELESS COMMUNICATIONS. **Principles and practice**. 2. ed. Published: DEC.31. 2001.