

OUTROS TRABALHOS EM:  
[www.projetoderedes.com.br](http://www.projetoderedes.com.br)

# *Internet Móvel: Tecnologias, Aplicações e QoS*

Kelvin Lopes Dias & Djamel Fauzi Hadj Sadok  
{kld,jamel}@cin.ufpe.br

Centro de Informática  
Universidade Federal de Pernambuco

## CONTEÚDO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 1 COMUNICAÇÕES MÓVEIS: VISÃO GERAL .....</b>	<b>4</b>
1.1 Um Breve Histórico das Comunicações Móveis .....	4
1.2 Conceitos Básicos em Comunicações Móveis .....	5
1.2.1 Ondas Eletromagnéticas .....	5
1.2.2 Modulação.....	7
1.2.3 Técnicas de Acesso Múltiplo .....	9
1.2.4 Características Físicas do Canal de Comunicação sem Fio .....	11
1.3 Elementos de uma Rede de Comunicação Móvel Celular.....	12
1.4 Sistemas Celulares Analógicos de Primeira Geração.....	13
1.4.1 AMPS ( <i>Advanced Mobile Phone System</i> ) .....	13
1.5 Sistemas Celulares Digitais de Segunda Geração.....	14
1.5.1 TDMA/IS-136.....	14
1.5.2 GSM ( <i>Global System for Mobile Communications</i> ).....	14
1.5.3 CDMA/IS-95 .....	15
<b>CAPÍTULO 2 A CONVERGÊNCIA DA INTERNET COM AS COMUNICAÇÕES MÓVEIS.....</b>	<b>16</b>
2.2 Histórico e Princípios da Internet .....	16
2.3 Os Avanços da QoS em Redes IP .....	17
2.3.1 A arquitetura de Serviços Integrados (IntServ) .....	17
2.3.2 A Arquitetura de Serviços Diferenciados (DiffServ) .....	18
2.4 O IP Móvel .....	18
2.5 QoS em Redes Móveis sem Fio.....	20
2.5.1 Parâmetros de QoS em Redes Móveis sem Fio.....	20
2.5.2 Abordagens para a Provisão de QoS em Redes Móveis sem Fio .....	21
2.6 Evolução dos Sistemas Móveis Celulares .....	22
<b>CAPÍTULO 3 TECNOLOGIAS PARA COMUTAÇÃO DE PACOTES NA INTERNET MÓVEL .....</b>	<b>24</b>
3.1 GPRS ( <i>General Packet Radio Service</i> ) .....	24
3.1.1 Arquitetura de Rede do GPRS.....	24
3.1.2 A Pilha de Protocolos .....	26
3.1.3 A Interface Aérea do GPRS.....	27
3.1.4 Gerenciamento de Sessão e Mobilidade .....	29
3.1.5 Perfil de QoS no GPRS.....	31
3.1.6 Controle de Admissão no GPRS.....	32
3.2 UMTS ( <i>Universal Mobile Telecommunications System</i> ) .....	33
3.2.1 A Arquitetura UMTS.....	33
3.2.2 A Interface Aérea no UMTS.....	34
3.2.3 Arquitetura IP/3G .....	36

3.2.4	QoS em Redes de 3G.....	37
3.2.5	Parâmetros e Atributos de QoS.....	38
3.2.6	Componentes da Arquitetura de QoS para o UMTS.....	39
<b>CAPÍTULO 4 SERVIÇOS E APLICAÇÕES .....</b>		<b>41</b>
4.1	SMS ( <i>Short Message Service</i> ) .....	41
4.1.1	Elementos de Rede e Arquitetura .....	41
4.1.2	Serviços e Aplicações .....	42
4.2	WAP – <i>Wireless Application Protocol</i> .....	42
4.2.1	O Modelo WAP .....	42
4.2.2	WML - <i>Wireless Markup Language</i> .....	44
4.2.3	WMLScript.....	45
4.3	Serviços baseados em Localização.....	45
4.3.1	Tecnologias de Localização.....	45
4.3.2	Categorias de Serviços .....	46
4.3.3	Modelo Lógico para Serviços de Localização.....	46
4.4	VoIPoW – <i>Voice over IP over Wireless</i> .....	47
<b>CONCLUSÃO .....</b>		<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>49</b>

## Introdução

---

Na última década duas tecnologias, a Internet e as comunicações móveis, vêm convergindo para a definição de um novo paradigma, a *Internet Móvel* [1][32]. A Internet Móvel combina a explosão do uso da Internet com a flexibilidade proporcionada pela *mobilidade* dos usuários das telecomunicações móveis.

A possibilidade de acessar informação e serviços a qualquer momento e em qualquer lugar está moldando uma nova sociedade da informação, que vislumbra formas diferenciadas de acesso à Internet através de telefones celulares, PDAs (*Personal Digital Assistants*) e *laptops*[15]. Entretanto, a Internet não foi concebida para lidar com as características inerentes ao ambiente onde vários usuários movimentam-se conectados à rede através de um enlace sem fio com baixa largura de banda. Os protocolos da Internet (TCP/IP – *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) são complexos e não são apropriados para comunicações móveis, introduzem muito *overhead* e exigem que muitas mensagens sejam trocadas entre cliente e servidor para configurar uma conexão.

A infra-estrutura de comunicações móveis está evoluindo com o objetivo de dar suporte a aplicações de usuários com soluções fim a fim baseadas no protocolo IP, capazes de prover qualidade de serviço (QoS - *Quality of Service*) aos seus usuários. Mais capacidade está sendo proporcionada às redes móveis, com mais largura de banda no enlace de rádio e a utilização de comutação por pacotes desde a interface aérea. Este texto introdutório sobre a Internet Móvel objetiva transmitir os conceitos básicos na área, através da apresentação das tecnologias que viabilizam comutação de pacotes em redes móveis sem fio, de alguns serviços e aplicações existentes e futuras para a Internet Móvel, bem como, aspectos de QoS.

Este texto está organizado da seguinte forma. O capítulo 1 apresenta uma introdução às comunicações móveis através de um breve histórico, conceitos básicos e descrição da arquitetura de sistemas celulares. O capítulo 2 explora os aspectos referentes à combinação da Internet com as comunicações móveis. Inicialmente, são descritas as origens da Internet, princípios básicos, a necessidade da introdução de QoS e algumas das propostas da IETF (*Internet Engineering Task Force*) para implementação de QoS na Internet. Em seguida, apresenta-se o padrão IP móvel, proposta da IETF para viabilizar mobilidade de usuários da Internet no nível da camada de rede. As diferenças entre QoS em redes móveis e em redes fixas são discutidas. Finalmente, apresentamos a evolução das redes de comunicações móveis, com os principais padrões que viabilizam a integração das comunicações móveis e a Internet. No capítulo 3, duas tecnologias para comutação de pacotes em redes móveis sem fio, GPRS (*General Packet Radio Service*) e UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), são descritas. Discutimos aspectos conceituais e arquiteturais do GPRS e UMTS, além do suporte em termos de QoS oferecido por estas tecnologias. O capítulo 4 apresenta alguns serviços e aplicações para a Internet Móvel. Finalizamos este texto com algumas conclusões e considerações sobre perspectivas futuras para a Internet Móvel.

# Capítulo 1

## Comunicações Móveis: Visão Geral

---

### 1.1 Um Breve Histórico das Comunicações Móveis

Um sistema de comunicação móvel tem como característica a possibilidade de movimento relativo entre as partes como, por exemplo, a comunicação entre o telefone celular e a estação base na telefonia celular. Sistemas móveis usam a tecnologia sem fio para possibilitar uma comunicação transparente enquanto o usuário se desloca. A seguir, apresentamos uma breve história das comunicações móveis.

O desejo da humanidade em comunicar-se livre de fios ocorre desde os primórdios da civilização. Na Grécia antiga o uso de sinais de fumaça é mencionado como forma de comunicação. No final do século XVIII, Claude Chape inventa a telegrafia óptica (1794), possibilitando a comunicação sem fio para longas distâncias. Em 1820, Hans Christian Oersted descobre experimentalmente que a corrente elétrica produz um campo magnético. As comunicações sem fio tiveram uma contribuição fundamental com Michel Faraday demonstrando a indução eletromagnética em 1831. Em 1864, James C. Maxwell lança os fundamentos teóricos sobre campos magnéticos com suas famosas equações. Em 1876, Alexander Graham Bell inventa o telefone. Finalmente, Heinrich Hertz foi o primeiro a demonstrar, através de um experimento em 1887, as equações de Maxwell sobre ondas eletromagnéticas.

As equações de Maxwell, descrevendo a propagação de ondas eletromagnéticas, e os experimentos de Heinrich Hertz, foram a base para a descoberta da radiotelegrafia por Marconi, o qual conseguiu a primeira patente industrial na área de comunicações sem fio em 1896. Em 1905 ocorreu a primeira transmissão de voz e música em um canal sem fio por Reginald Fessenden, e em 1946 o primeiro sistema de telefonia móvel comercial, operado pela empresa americana Bell, foi implantado em St. Louis, Missouri, nos Estados Unidos. Nos anos 80 as unidades móveis eram instaladas em veículos o que permitia apenas uma comunicação veicular, e não pessoal. A era da comunicação pessoal teve seu início efetivo no início dos anos 90, quando o usuário podia portar o aparelho embora suas dimensões iniciais fossem grandes.

Vários padrões para a telefonia celular foram adotados em diferentes países e ficaram conhecidos como sistemas de 1ª Geração (1G), entre eles podemos citar: o *AMPS* (*Advanced Mobile Telephone System*) nos Estados Unidos, o *TACS* (*Total Access Communications Systems*) no Reino Unido, o *JTACS* (*Japan TACS*) no Japão e o *NMT* (*Nordic Mobile Telephones system*) nos países do norte europeu (Dinamarca, Finlândia, Suécia e Noruega).

Os sistemas de 1G utilizam a transmissão de dados no modo analógico e a técnica de acesso ao meio utilizada é a *FDMA* (*Frequency Division Multiple Access*). Os principais

problemas com esses sistemas eram a baixa qualidade e capacidade dos canais de comunicação e a incompatibilidade entre os diversos sistemas existentes.

Depois da bem sucedida primeira geração de sistemas móveis veio a 2ª Geração (2G) numa tentativa de ampliar a capacidade dos sistemas existentes. O sistema *AMPS* evoluiu para o *D-AMPS* que utilizava *TDMA* (*Time Division Multiple Access*), também conhecido por *IS-54* (*Interim Standard – 54*). Esse sistema não foi bem sucedido, o ganho que ele proporcionava em relação ao *AMPS* era maior para a operadora que para o usuário, e alguns sistemas apresentavam problemas de qualidade de voz. Como uma alternativa ao *IS-54* surgiu nos Estados Unidos o *IS-95*, ainda na primeira metade da década de 90 e utilizava o *CDMA* (*Code Division Multiple Access*) aumentando a capacidade em relação aos sistemas existentes. O *IS-54* foi sucedido pelo *IS-136*, com algumas novas características. Portanto, em meados da década de 90 dois sistemas móveis digitais competiam nas Américas na faixa de 800 MHz.

Na Europa surgiu o *GSM* (*Global System for Mobile Communications*), no início da década de 90 na faixa de 900 MHz, que também usava *TDMA*, porém com características diferentes do *IS-54* e *IS-136* e, portanto, incompatíveis. Esse sistema padronizou as comunicações celulares na Europa, permitindo ao usuário utilizar seu telefone em qualquer país europeu. Ainda podemos destacar como sistema 2G o *PDC* (*Personal Digital Cellular*) desenvolvido no Japão.

Com a 2ª geração de celulares foram introduzidos novos serviços de comunicação de voz, com maior qualidade e capacidade de transmissão, possibilitando atender um maior número de usuários e, também, foram criados serviços de transmissão de dados como o Serviço de Mensagens Curtas (*Short Messages Service – SMS*) para transmissão de pequenos pacotes de dados.

Ainda no início da década de 90 surgiu a idéia da 3ª Geração (3G) dos sistemas celulares como uma proposta para a padronização global das comunicações móveis com a disponibilização de altas taxas de transmissão de dados possibilitando o suporte a aplicações multimídia e acesso à Internet. O *IMT-2000* (*International Mobile Telecommunications 2000*) é a especificação para os sistemas 3G que está sendo desenvolvida pela *ITU* (*International Telecommunication Union*). Estes sistemas proverão serviços de voz, dados, e aplicações multimídia sobre as redes sem fio. A idéia é que o *IMT-2000* especifique uma “família de padrões” que disponibilizarão pelo menos taxas de 2 Mbps em ambientes *indoor*, 384 kbps em ambientes de baixa mobilidade, 144 kbps em ambientes veiculares.

## **1.2 Conceitos Básicos em Comunicações Móveis**

### **1.2.1 Ondas Eletromagnéticas**

A transmissão via rádio requer propagação de ondas eletromagnéticas que são criadas através do movimento de elétrons. Estas ondas seguem uma forma senoidal, como mostrado na Figura 1. As características da onda eletromagnética são: amplitude ( $a$ ), frequência ( $f$ ), fase ( $p$ ) e o comprimento de onda ( $\lambda$ ).

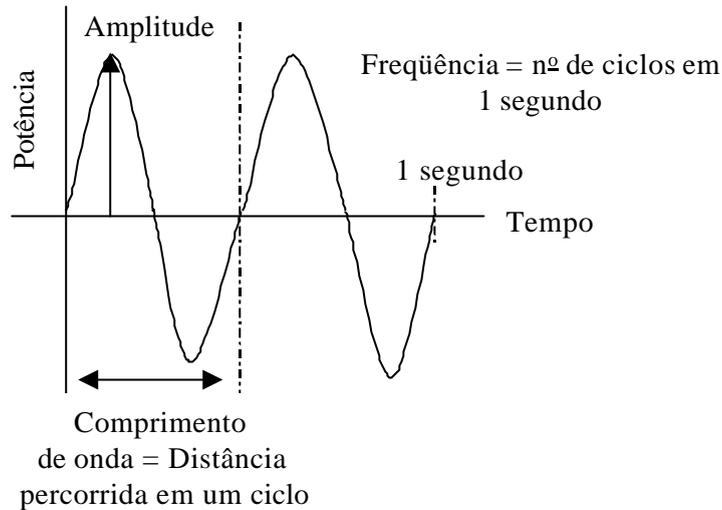


Figura 1. Onda Eletromagnética.

- ✓ Amplitude - é a medida da altura da curva senoidal da onda de rádio. Mede a força do sinal.
- ✓ Frequência - é o número de oscilações por segundo de uma onda eletromagnética, indicando o número de vezes por segundo que a onda se repete. É medida em hertz (Hz) em homenagem a Heinrich Hertz. Um Hertz equivale a um ciclo por segundo. A faixa de frequências possíveis é denominada de espectro de frequências (Veja a Figura 2). As transmissões via rádio são viáveis na faixa entre 30 kHz e, aproximadamente, 300 GHz. As denominações das siglas correspondentes as faixas de frequências do espectro são mostradas na Tabela 1.
- ✓ Comprimento de onda - é a distância percorrida pela onda durante um ciclo completo. Ondas de rádio com altas frequências têm comprimento de onda mais curtos, assim, o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência ( $\lambda = 1/f$ ).

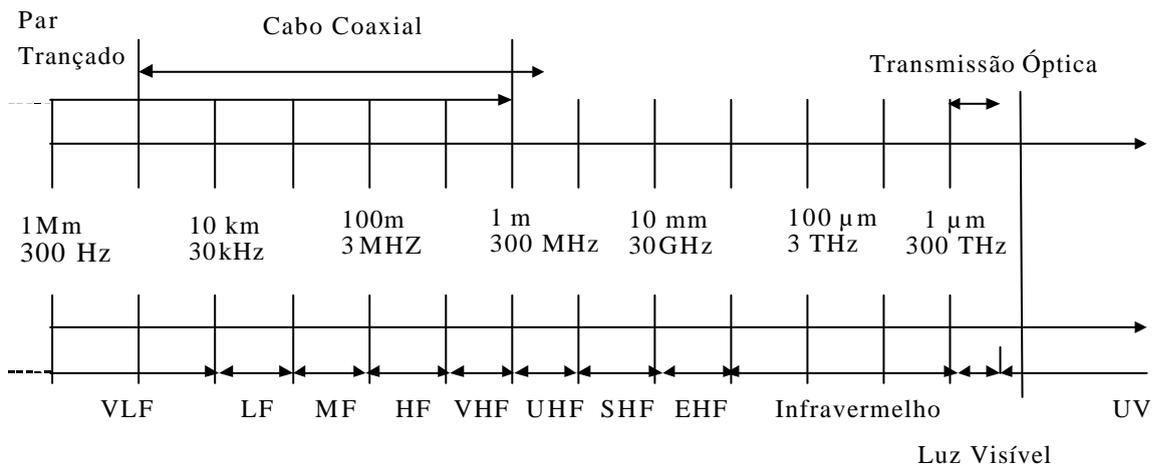


Figura 2. Espectro de frequências.

<b>Sigla</b>	<b>Classificação</b>
ELF	<i>Extremely Low Frequency</i>
VLF	<i>Very Low Frequency</i>
LF	<i>Low Frequency</i>
MF	<i>Medium Frequency</i>
HF	<i>High Frequency</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
SHF	<i>Super High Frequency</i>
EHF	<i>Extremely High Frequency</i>

Tabela 1. Siglas para a Classificação do Espectro de Freqüências.

### 1.2.2 Modulação

Para que dados digitais possam ser transmitidos via certas freqüências, faz-se necessária a modulação do sinal. O processo de variação dos parâmetros do sinal (amplitude, freqüência e fase) é denominado de modulação. Na modulação digital, os bits 0 e 1 são traduzidos em um sinal analógico e podem ser transmitidos por um meio que permite apenas transmissão analógica. A seguir são descritos os três métodos básicos de modulação.

#### Modulação por Amplitude - ASK (*Amplitude Shift Keying*)

A Figura 3 ilustra a modulação por amplitude - ASK (*Amplitude Shift Keying*), o esquema de modulação mais simples. Os dois valores binários, 1 e 0, são representados por duas amplitudes diferentes. Este esquema simples requer uma baixa largura de banda, mas é susceptível à interferência.

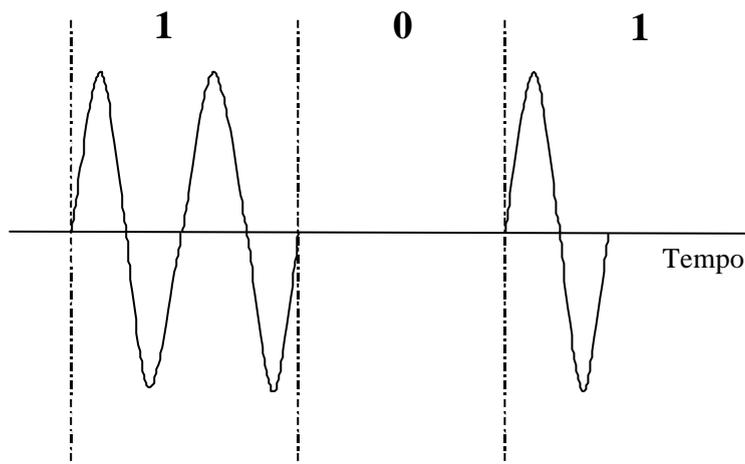


Figura 3. Modulação por Amplitude - ASK.

### Modulação por Frequência - FSK (*Frequency Shift Keying*)

É um esquema de modulação muito utilizado em transmissões sem fio. Na sua forma mais simples chamado de FSK binário (BFSK – *Binary FSK*), atribui uma frequência  $f_1$  ao bit 1 e outra frequência  $f_2$  ao bit 0. Veja a Figura 4.

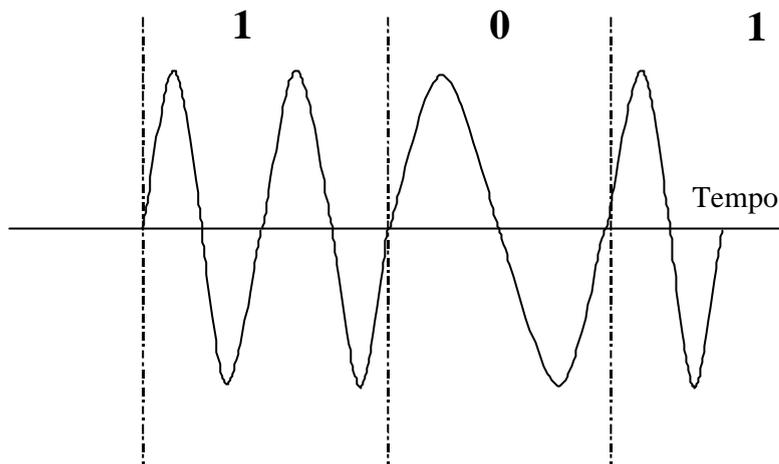


Figura 4. Modulação por Frequência - FSK.

### Modulação por Fase - PSK (*Phase Shift Keying*)

O PSK utiliza deslocamento na fase do sinal para representar os dados. A Figura 5 mostra um deslocamento de fase de  $180^\circ$  ou  $\pi$  quando o bit 0 segue o bit 1 (o mesmo acontecendo na mudança do bit 1 para o bit 0).

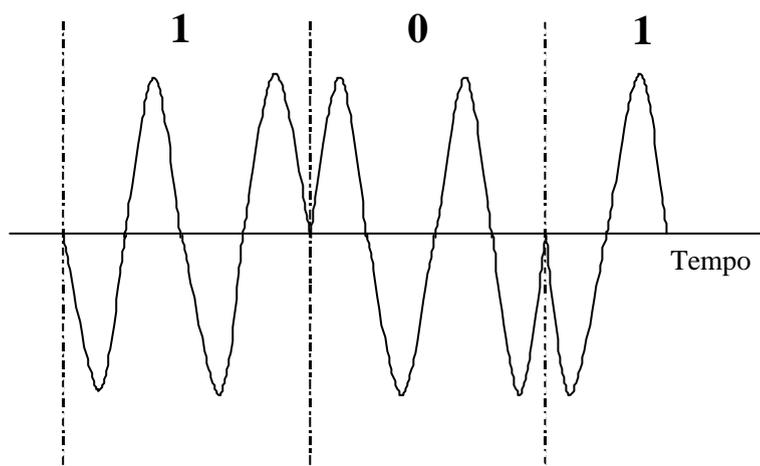


Figura 5. Modulação por Fase - PSK.

### 1.2.3 Técnicas de Acesso Múltiplo

O espectro de frequências, que constitui o meio de transmissão das redes móveis sem fio, precisa ser compartilhado entre os vários usuários do sistema. É sob este espectro que as técnicas de acesso múltiplo ao meio operam garantindo um acesso compartilhado e com equidade para todos os terminais móveis. A seguir, apresentamos as principais técnicas responsáveis pela divisão dos recursos de frequência em vários canais não interferentes possibilitando o acesso múltiplo dos usuários.

#### **FDMA – *Frequency Division Multiple Access***

É uma das principais técnicas de múltiplo acesso utilizada em sistemas de comunicação móvel, FDMA realiza a multiplexação por divisão de frequência. A banda de frequências é dividida em sub-bandas menores que constituem os canais a serem alocados às unidades móveis, como ilustrado na Figura 6. Apesar de sua simplicidade de implementação, FDMA apresenta uma série de desvantagens com relação à utilização dos recursos, uma vez que o usuário detém o canal durante todo o tempo de conexão, mesmo quando este não está falando. Esta é a técnica utilizada pelos sistemas celulares analógicos de primeira geração.

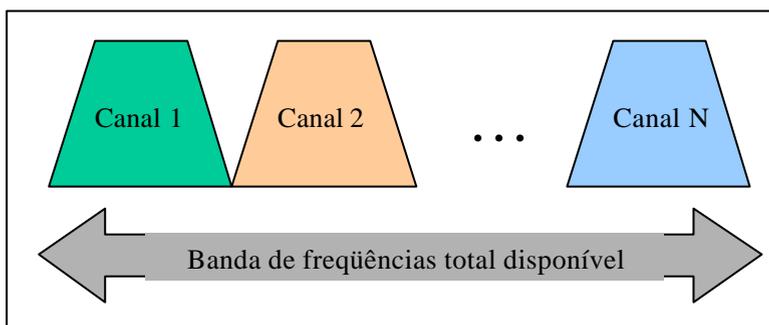


Figura 6. Multiplexação por Divisão de Frequência.

#### **TDMA – *Time Division Multiple Access***

É a técnica usada nos sistemas celulares digitais de segunda geração como o IS-136, o GSM (*Global System for Mobile Communications*) e no padrão japonês PDC (*Personal Digital Cellular*). Nesses sistemas, os usuários dividem uma portadora comum para a comunicação com a estação base, de acordo com uma política de tempo compartilhado. As conexões são multiplexadas no tempo através da definição de vários *time slots* dentro de um quadro (*frame*). No padrão TDMA/IS-136, por exemplo, o canal de 30 kHz é dividido em seis *time slots*, possibilitando que usuários diferentes ocupem o canal ao mesmo tempo[16]. Em sistemas TDMA utilizando a técnica TDD (*Time Division Duplexing*), metade dos *slots* são destinados à transmissão e metade à recepção. No caso do uso da técnica FDD (*Frequency Division Duplexing*), um mesmo *slot* é utilizado na transmissão e recepção, sendo a separação feita na frequência.

A Figura 7 ilustra o esquema TDMA, com o compartilhamento do mesmo canal por seis usuários, cada um ocupando um *time slot* de um quadro TDMA.

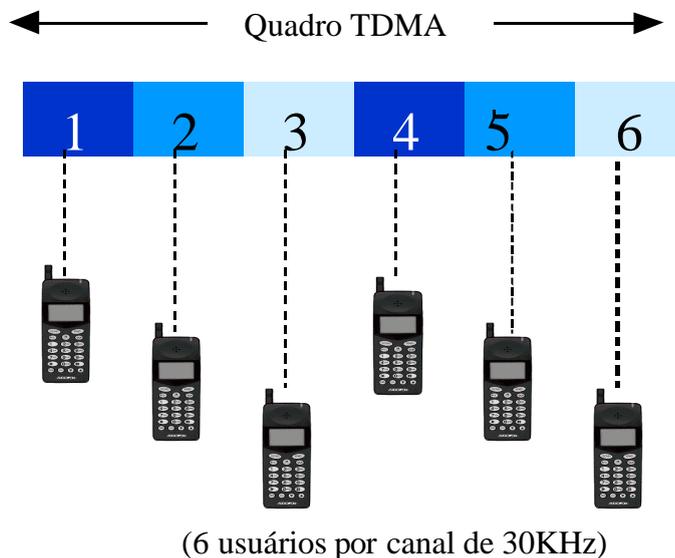


Figura 7. TDMA – *Time Division Multiple Access*.

### CDMA – *Code Division Multiple Access*

Em sistemas *CDMA* os usuários transmitem utilizando toda a banda de frequências simultaneamente. Nesta técnica, o espectro de frequência do sinal de informação é “espalhado” (*spread*) através de códigos não correlacionados com o sinal. Como resultado, a ocupação de banda é bem maior que a requerida. O receptor, através do processo de correlação do sinal recebido com o código referente ao usuário, extrai o sinal desejado. Os sinais dos demais usuários parecerão ruído para o receptor em questão, pois seus códigos não são correlacionados com o sinal desejado. As técnicas mais difundidas para fazer o espalhamento do sinal são: *Direct Sequence (DS)*, *Frequency Hopping (FH)*.

Na técnica *Frequency Hopping*, a frequência da portadora do sinal de dados modulado muda periodicamente. Uma estação *CDMA/FH* transmite em uma frequência por um curto intervalo de tempo, então salta para outra frequência, onde transmite por um intervalo fixo e, então, salta de frequência novamente. Essas mudanças de frequência (*hopping*) são definidas pelo código. O receptor e o transmissor sincronizam o escalonamento de saltos de modo que o receptor possa decifrar o sinal do transmissor.

*Direct Sequence* é a técnica que utiliza códigos pseudo-aleatórios para modular a sequência de informação transmitida. Cada bit do transmissor é substituído por uma sequência de bits que têm a mesma duração de tempo. Por exemplo, se o transmissor desejasse transmitir o bit “1”, ele poderia enviar um sinal correspondente a 1 durante 1 segundo, assim, requerendo uma largura de banda de 1 Hz. Com *CDMA-DS*, o transmissor

pode enviar uma palavra-código (*codeword*) “10110110” durante 1 segundo, requerendo uma banda de 8Hz. Esta substituição de um único bit por uma palavra-código pode ser vista como um espalhamento (técnica *Spread Spectrum*) do único bit em um espectro de frequência maior. Denominamos cada bit em uma palavra-código de *chip* e a medida da taxa de bits da palavra-código em *chips*/segundo.

O conceito de canal de tráfego nos sistemas CDMA é diferente dos sistemas FDMA e TDMA, onde os canais são representados por uma faixa de frequência e por *time slot*, respectivamente. No CDMA todos os usuários transmitem utilizando a mesma banda de frequências, ou seja, todos utilizam o mesmo canal. No entanto, o problema de limitação de recursos continua existindo, uma vez que o número de usuários transmitindo ao mesmo tempo em um sistema CDMA é limitado pelo nível de interferência no sistema.

O funcionamento adequado do sistema exige um bom mecanismo de controle de potência entre as unidades móveis. Como os terminais estão dispersos ao redor da estação base, as transmissões das unidades móveis mais próximas são recebidas com maior potência do que as das unidades mais afastadas. Sem uma política de controle de potência, poderá ocorrer uma interpretação incorreta do sinal resultante impossibilitando a decodificação.

#### **1.2.4 Características Físicas do Canal de Comunicação sem Fio**

As várias características do canal de comunicação sem fio levam muitas vezes a restrições devido a interferências ou ruídos. Isso torna mais problemático o estabelecimento da conexão entre as unidades de um sistema de comunicação móvel, diferente de um sistema fixo onde as conexões são todas feitas através de cabos ou, até mesmo, fibras ópticas.

As propriedades das ondas de rádio são bastante dependentes da frequência. Usando baixas frequências, ondas de rádio podem passar através de obstáculos, enquanto que para frequências mais altas o sinal está mais susceptível à reflexão e às condições de tempo, por exemplo, podendo ser absorvido pela chuva.

Diferentes atrasos na recepção podem ser causados pela propagação por múltiplos percursos (*multipath propagation*). Esses múltiplos percursos são formados pela reflexão, difração ou espalhamento do sinal transmitido em estruturas próximas ao receptor, tais como edifícios, árvores, postes, morros, etc. A soma dos vários sinais dos múltiplos percursos pode resultar em uma interferência construtiva ou destrutiva do sinal recebido.

O espalhamento temporal dos atrasos devido à propagação por múltiplos percursos caracteriza o *Delay Spread*. Sempre que existe espalhamento temporal pode haver a alteração de amplitude das várias componentes do espectro de frequências do sinal transmitido. Essa alteração pode ocorrer de maneira uniforme em toda a faixa de frequências do sinal — configurando o desvanecimento plano — ou poderá afetar somente uma determinada faixa de frequências — configurando o que é conhecido como desvanecimento seletivo.

O movimento relativo entre fonte e receptor ocasiona o efeito *Doppler* que corresponde à percepção de uma frequência diferente da que está sendo transmitida por uma determinada fonte.

Quando grandes obstáculos, como edifícios, morros e similares se situam entre transmissor e receptor surge o efeito denominado **sombreamento** (*shadowing*), efeito esse que pode provocar consideráveis quedas na amplitude da potência recebida e interromper instantaneamente a comunicação.

Decorrente de todas estas restrições físicas apresentadas acima, o ambiente de comunicação móvel apresenta características diferentes em relação a um sistema fixo, como:

- Menor largura de banda
- Freqüentes desconexões (voluntária e involuntária)
- Taxa de erro do canal variável e dependente da localização

### 1.3 Elementos de uma Rede de Comunicação Móvel Celular

A Figura 8 mostra um sistema celular básico com telefones/estações móveis (MS – *Mobile Stations*), estações base (BSs - *Base Stations*), centro de comutação (MSC – *Mobile Switching Center*), HLR (*Home Location Register*) e o VLR (*Visitor Location Register*)[13].

Telefones móveis comunicam-se com a estação base por meio de sinais de rádio. A estação base, que cobre uma determinada área denominada de *célula*, converte estes sinais e os transfere para um MSC via um enlace de comunicação com fio ou sem fio. O MSC coordena e roteia as chamadas para outros telefones móveis ou para telefones fixos conectados à rede pública de telefonia (*PSTN – Public Switched Telephone Network*). O HLR é uma base de dados de uma área de serviço que contém informações sobre as MSs cadastradas naquela área. Nos HLRs são armazenadas informações como: MIN (*Mobile Identification Number*), ESN (*Electronic Serial Number*) e perfil do usuário com dados sobre *billing*, *call forward-to number*, estado (ativo ou inativo) e ponteiro para o último VLR onde a MS se registrou. O VLR funciona em conjunto com o HLR para suportar *roaming* automático. É um repositório local, temporário, com dados da MS que está fora de sua área de serviço.

O conceito introduzido pelos sistemas celulares permite que pequenas áreas de cobertura de rádio tornem-se parte de uma grande sistema através da interconexão destas pequenas áreas por meio do MSC. Com o crescimento da demanda e o reduzido espectro de frequências, as células têm uma tendência a reduzir sua área de cobertura. Neste contexto, surgem os conceitos de *macrocélula*, *microcélula* e *picocélula*. As células reduzem, também, a potência de suas BSs. Um procedimento importante em sistemas

celulares é denominado *handoff* e corresponde à mudança automática de chamada de uma célula para outra à medida que o usuário se desloca.

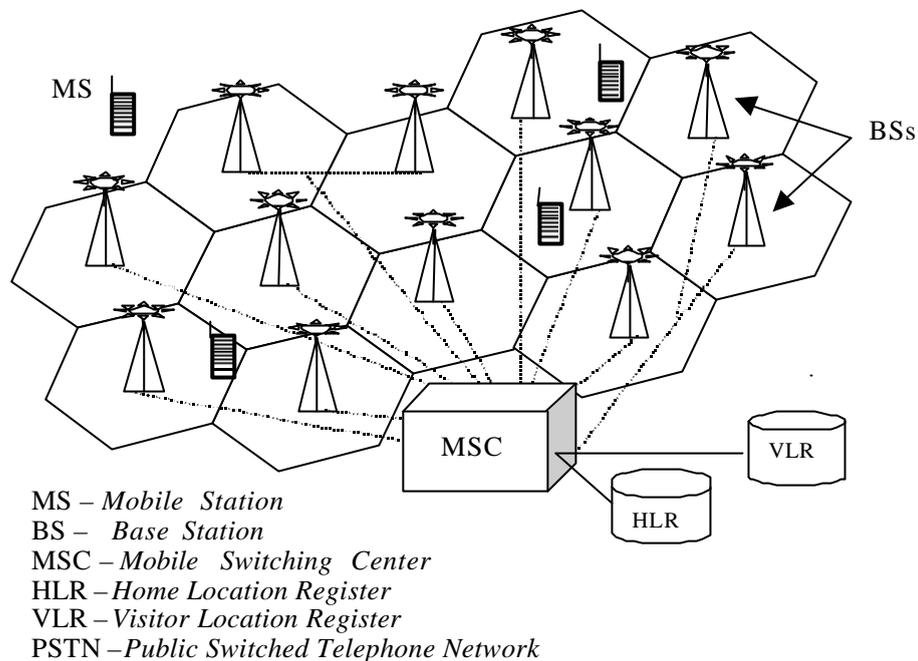


Figura 8. Arquitetura de uma Rede Celular.

#### 1.4 Sistemas Celulares Analógicos de Primeira Geração

Dentre os sistemas analógicos de primeira geração desenvolvidos para prestar serviços de telefonia celular pode-se citar: AMPS (*Advanced Mobile Phone System*), NMT (*Nordic Mobile Telephones*) e NTT (*Nippon Telephone and Telegraph*). As características básicas destes sistemas são: modulação analógica em FM (*Frequency Modulation*), sinalização feita através da técnica de modulação FSK (*Frequency Shift Keying*), técnica de acesso FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) com duplexação FDD (*Frequency Division Duplexing*)<sup>1</sup>, tamanho de célula de 0,5 km a 10 km e potência de transmissão do terminal móvel de 1 a 8 Watts.

##### 1.4.1 AMPS (*Advanced Mobile Phone System*)

O sistema celular AMPS, proposto pela AT&T em 1971, divide a banda de frequências em canais de rádio de 30 kHz. Quando em operação, cada canal de rádio serve a um único usuário (FDMA). Existem dois tipos de canais no sistema AMPS: canais de controle

<sup>1</sup> Permite um canal duplex. As duas direções, do terminal móvel para a estação base e vice-versa, são separadas usando frequências diferentes. As duas frequências são conhecidas como *uplink* (do terminal móvel para a estação base) e *downlink* (da estação base para o terminal móvel).

dedicados e canais de voz . Canais de controle dedicados enviam mensagens de *paging*<sup>2</sup> e coordenam o acesso ao sistema. Os canais de controle utilizam modulação FSK (*Frequency Shift Keying*) que enviam mensagens digitais a uma taxa de 10kbps. Depois que o canal de controle tenha coordenado o acesso, um canal de rádio com modulação FM é atribuído ao telefone móvel para que seja efetuada a transferência do sinal de voz.

## 1.5 Sistemas Celulares Digitais de Segunda Geração

O desenvolvimento de técnicas de codificação de voz digital e o aumento contínuo na densidade dos dispositivos de circuito integrado, tornaram os atuais sistemas digitais de 2G viáveis. A digitalização permite o uso das técnicas TDMA e CDMA como alternativas à técnica FDMA. Dentre os sistemas de comunicação móvel celular digitais pode-se destacar os padrões: GSM (*Global System for Mobile Communications*), TDMA/IS-136 e CDMA/IS-95.

### 1.5.1 TDMA/IS-136

O padrão TDMA/IS-136 combina as tecnologias AMPS e TDMA digital. Em 1990, o primeiro sistema digital TDMA foi introduzido na América do Norte. Hoje, mais de 36 países utilizam esta tecnologia [16].

Uma característica importante no IS-136 é a sua coexistência com sistemas AMPS. Canais de rádio IS-136 mantêm os mesmos 30 kHz de banda como o AMPS, e tanto os serviços do AMPS quanto do IS-136 podem ser oferecidos do mesmo sistema e célula para antigos e novos usuários.

Canais digitais de tráfego TDMA são divididos em quadros com seis *time slots*. Cada canal de comunicação consiste de dois canais de 30 kHz, um canal direto (*forward channel*), da célula para o telefone, e um canal inverso (*reverse channel*), do telefone para a célula. Os *time slots* entre os canais direto e inverso são relacionados de forma que o móvel não transmita e receba simultaneamente.

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

O GSM é um padrão desenvolvido na Europa e que tem o maior número de assinantes e a maior área de cobertura dentre os padrões de segunda geração. Utiliza acesso FDMA/TDMA com canais de 200 kHz e 8 slots temporais por canal (8 usuários por canal). Utiliza uma rede digital de serviços integrados (ISDN – *Integrated Services Digital Network*), com suporte para uma variedade de serviços.

Uma característica primária do sistema GSM, corresponde ao uso de um único tipo de canal de rádio digital. Cada canal de rádio digital GSM de 200 kHz é dividido em um quadro com 8 *time slots*. Todo canal GSM consiste de canais de rádio, um canal direto (*forward*

---

<sup>2</sup> Procedimento realizado para localizar uma estação móvel (telefone celular), com o intuito de entregá-la uma nova chamada.

*channel*), da célula para o telefone, e um canal inverso (*reverse channel*), do telefone para a célula. Os *time slots* entre os canais direto e inverso são relacionados de forma que o móvel não transmita e receba simultaneamente.

Uma grande inovação do sistema GSM é o módulo de identificação do usuário, o SIM (*Subscriber Identification Module*) que contém a identificação completa do usuário, chaves de código de privacidade e outras informações específicas sobre o usuário. O SIM apresenta-se sob a forma de um cartão de crédito ou de um *plug-in* que é conectado ao terminal GSM. Estes cartões podem ser removidos de um telefone GSM e usados em um outro, permitindo que o usuário utilize qualquer telefone GSM. Sem o SIM, o terminal torna-se inoperante.

### **1.5.3 CDMA/IS-95**

O sistema CDMA/IS-95 utiliza tecnologia celular digital *spread spectrum*, que foi comercialmente empregada na Korea em 1995 e nos Estados Unidos em 1996. Este sistema combina um novo canal de rádio digital CDMA e funcionalidades do AMPS. O canal digital CDMA provê tanto funcionalidade para controle quanto para voz, tendo uma banda de 1.23MHz. O CDMA/IS-95 difere dos outros sistemas no sentido em que ele espalha cada sinal com um código pseudo-aleatório único que identifica cada canal de comunicações dentro do canal de RF (*Radio Frequency*). Telefones móveis CDMA/IS-136, selecionam o sinal que estão recebendo através de correlação entre o sinal recebido com a seqüência pseudo-aleatória apropriada.

## Capítulo 2

### A Convergência da Internet com as Comunicações Móveis

---

#### 2.2 Histórico e Princípios da Internet

Os princípios que norteiam a Internet surgiram na década de 60[2]. O primeiro artigo sobre a teoria de comutação por pacote (*packet switching*) de Leonard Kleinrock em 1961, intitulado: "*Information Flow in Large Communication Nets*" [3], foi crucial para a revolução na área das redes de computadores e, especificamente, para o surgimento da Internet. A comutação por pacote consiste em “quebrar” os dados em pacotes ou datagramas que são rotulados para indicar a origem e o destino da informação e o encaminhamento destes pacotes de um computador a outro, até que a informação chegue ao seu computador final de destino.

Em 1969, o primeiro experimento utilizando a tecnologia de comutação por pacotes foi realizado no projeto ARPANET da Agência Norte Americana ARPA (*Advanced Project Research Agency*) em uma rede que compreendia quatro nós (UCLA – *University of California*, SRI – *Stanford Research Institute*, UCSB – *University of California at Santa Barbara* e *University of Utah in Salt Lake City*) com enlaces de 50kbps. O protocolo de comunicação inicialmente utilizado entre os *hosts* foi denominado NCP (*Network Control Protocol*). Em 1974, os protocolos TCP (*Transport Control Protocol*) e IP (*Internet Protocol*)[7] foram propostos e implementados com o objetivo de ser um pilha de protocolos de comunicação mais robusta.

Uma das realizações mais notáveis da Internet não é necessariamente o que ela é capaz de fazer hoje, mas o fato de ter assumido as dimensões atuais, comparada aos seus propósitos iniciais. Ela iniciou com objetivos bem modestos, não foi projetada para ser utilizada por milhões de pessoas no mundo inteiro. Com toda certeza, o conjunto de princípios que balizou o seu aparecimento e que hoje suporta a sua evolução é o grande responsável por isso. Na verdade, esses princípios também não são imutáveis. “O princípio da mudança constante talvez seja o único princípio da Internet que deveria sobreviver indefinidamente”[4]. Essa característica permite que grandes transformações se acomodem naturalmente na estrutura da Internet.

A tecnologia da Internet é baseada em um princípio chamado de argumento fim a fim [5], que determina que toda a inteligência deve ser depositada nos sistemas finais e a rede deve executar tarefas muito simples. O argumento fim a fim sugere que as funções localizadas nos níveis inferiores de um sistema podem ser redundantes ou de pouco valor, quando comparadas com o custo de implementá-las nesse nível. Em geral, para serem completa e corretamente implementadas, as funções precisam do conhecimento e ajuda dos níveis superiores, que estão localizadas nos pontos finais de um sistema de comunicação.

## 2.3 Os Avanços da QoS em Redes IP

O protocolo IP oferece um serviço sem conexão baseado em datagramas, que não garante a entrega dos mesmos a tempo, não garante que eles cheguem ao destino na ordem correta e nem mesmo garante que cheguem ao destino. Os roteadores fazem o melhor que podem, se esforçam ao máximo, mas não podem fazer garantias a respeito da entrega dos pacotes. Esse tipo de serviço sem conexão é conhecido como serviço de *melhor esforço* (*Best Effort*). No serviço de melhor esforço, a rede tenta encaminhar todos os pacotes o mais rápido possível, mas não pode fazer qualquer tipo de garantia quantitativa sobre a Qualidade de Serviço (QoS)[8].

De uma maneira geral, QoS especifica o grau de satisfação ou visão do usuário com relação à prestação de um serviço e pode ser definida quantitativamente em termos de parâmetros como, por exemplo, taxa de perda, atraso fim a fim, e *jitter* (variação do atraso). A provisão de QoS é fundamental para os negócios e aplicações de tempo real, tais como: telemedicina, videoconferência e educação à distância. Portanto, uma explosão considerável de atividade de pesquisa vem sendo conduzida no desenvolvimento de protocolos e arquiteturas para suportar tanto o tráfego tradicional, quanto o tráfego multimídia e de tempo real na Internet

Os esforços para viabilizar QoS fim a fim para redes IP proporcionou o desenvolvimento de duas arquiteturas distintas, a arquitetura de serviços integrados (IntServ – *Integrated Services*) e, mais recentemente, a arquitetura de serviços diferenciados (DiffServ – *Differentiated Services*).

### 2.3.1 A arquitetura de Serviços Integrados (IntServ)

A arquitetura IntServ [35] usa um mecanismo explícito para sinalizar requisitos de QoS por fluxo para os elementos da rede (*hosts* e roteadores). A Figura 9 apresenta um modelo simplificado da arquitetura IntServ, que inclui os seguintes componentes:

- Escalonador de pacotes (*Scheduling*): gerencia o encaminhamento dos vários fluxos utilizando alguma disciplina de filas, por exemplo, WFQ (*Weight Fair Queueing*) [37]
- Controle de admissão de recursos: implementa o algoritmo que um roteador usa para determinar se um novo fluxo pode ter seu pedido de QoS atendido sem interferir nas garantias feitas anteriormente para os fluxos existentes no roteador.
- Protocolo de sinalização<sup>3</sup> (RSVP – *Resource ReSerVation Protocol* [38]): usado por uma aplicação para informar à rede seus requisitos de QoS e efetuar a reserva de recursos ao longo do caminho que o pacote irá percorrer.

---

<sup>3</sup> Em princípio, o modelo IntServ pode usar outros protocolos de reserva, mas na prática o RSVP é o padrão de fato.

- Policiamento: verifica se o fluxo está de acordo com a especificações negociadas na fase de estabelecimento da conexão. Fluxos fora do acordo, podem ter seus pacotes descartados para evitar congestionamento.

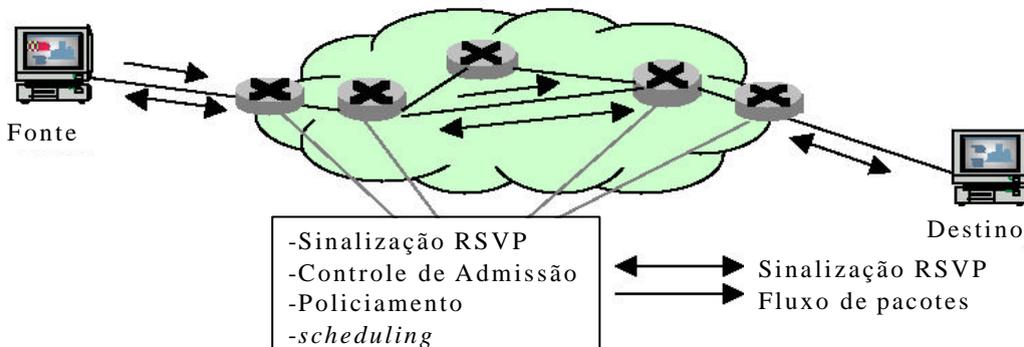


Figura 9. Arquitetura de Serviços Integrados.

### 2.3.2 A Arquitetura de Serviços Diferenciados (DiffServ)

A arquitetura DiffServ [36] foi introduzida como resultado de esforços para evitar os problemas de escalabilidade e complexidade decorrentes da manutenção de informação de estado para cada fluxo e sinalização a cada nó na arquitetura IntServ. A filosofia DiffServ trata o tráfego que passa pelos roteadores DiffServ de forma agregada. A diferenciação de serviço é obtida através do campo DS (*Differentiated Service*) do cabeçalho IP que dita o tratamento que o pacote deve obter em um determinado roteador (PHB – *Per Hop Behavior*). A complexidade é deixada para os roteadores de borda, enquanto que os roteadores do núcleo mantêm-se simples.

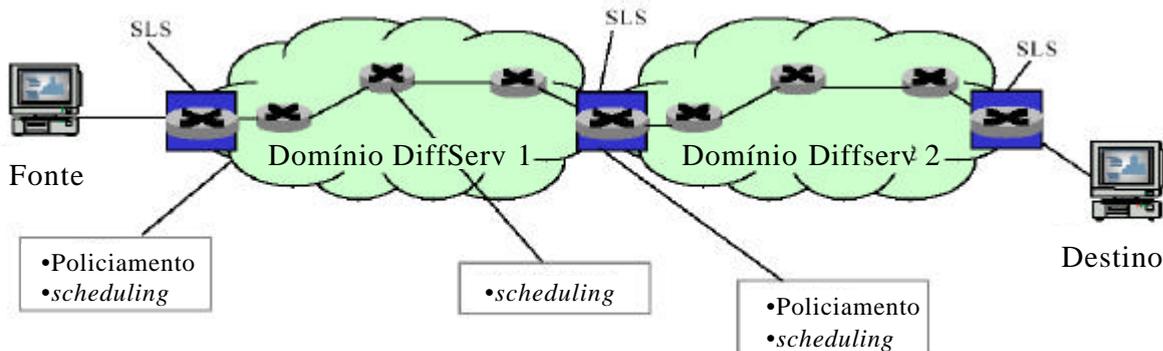


Figura 10. Arquitetura de Serviços Diferenciados.

## 2.4 O IP Móvel

O IP móvel é uma proposta da IETF (*Internet Engineering Task Force*) como solução para prover mobilidade na camada de rede para os usuários móveis da Internet[9]. O IP Móvel permite que os usuários móveis continuem suas comunicações enquanto se

locomovem de um ponto de acesso a outro na Internet. O IP Móvel define duas entidades para prover o suporte à mobilidade: um *home agent* (HA) e um *foreign agent* (FA). O HA é atribuído estaticamente à estação móvel (MS – *Mobile Station*) e baseia-se no endereço IP *home* permanente da estação móvel. O FA é atribuído à estação móvel, baseando-se na localização atual da MS. O FA tem associado consigo um endereço IP chamado *Care-of Address* (CA). Pacotes destinados para a MS são interceptados pelo HA, encapsulados e enviados para o FA usando o CA. O FA desencapsula os pacotes e encaminha-os diretamente para a MS. Portanto, o FA é a entidade IP mais próxima da MS.

A Figura 11 apresenta os elementos envolvidos na operação do IP Móvel, ilustrando o roteamento de datagramas de um *host* IP, destinados a uma estação móvel que moveu-se e não encontra-se na sua HN (*Home Network*). Supõe-se que a estação móvel já tenha feito o registro com a FN (*Foreign Network*), obtido um CA (*Care-of Address*) e tenha enviado este CA para seu *Home Agent*. No passo 1, o *host* IP fixo envia o pacote da forma usual para a HN da estação móvel. O HA intercepta este pacote e, sabendo que a estação móvel não está mais presente em sua HN, envia tal pacote para o CA cedido à estação móvel pela FN (passo 2). No passo 3, o pacote é encaminhado para a estação móvel. Quando a estação móvel envia um pacote (passo 4), utiliza seu próprio endereço IP da HN no campo de fonte do cabeçalho IP e no campo de destino, o endereço do *host* IP. O roteador (no qual o FA está presente) age normalmente e encaminha o pacote da mesma forma que faria com qualquer outra estação pertencente a FN.

Apesar de não ter sido mostrado na Figura 11, após o passo 2, o HA pode informar ao *host* IP fixo como enviar pacotes diretamente para a estação móvel. Assim, caso o *host* IP fixo desejasse enviar mais pacotes, poderia enviá-los diretamente à estação móvel através do FA.

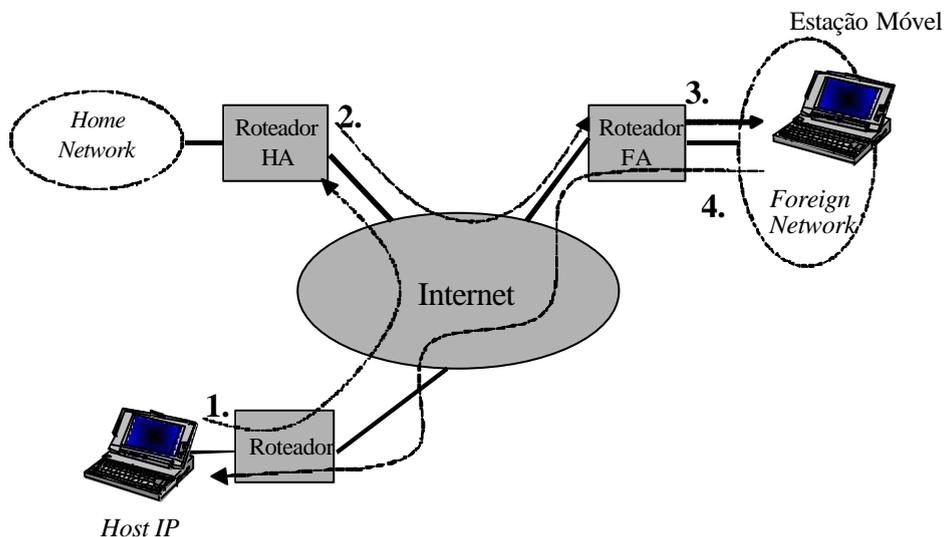


Figura 11. Roteamento no IP Móvel.

## 2.5 QoS em Redes Móveis sem Fio

Uma rede móvel sem fio é definida como um sistema que provê aos usuários móveis um acesso sem fio aos serviços de informação[18]. Diferente das redes fixas, que assumem uma baixa taxa de erro e usuários estacionários, existem alguns fatores que dificultam a provisão de garantias de *QoS* para redes móveis sem fio.

- ✓ Os recursos em redes sem fio são mais escassos que em redes com fio. Enlaces sem fio, em geral, provêm muito menos largura de banda que enlaces com fio.
- ✓ Em redes sem fio, os canais são inerentemente não confiáveis e sujeitos a erros devido a ruído, desvanecimento por múltiplos percursos (*multipath fading*), sombreamento (*shadowing*) e interferências.
- ✓ Usuários tendem a mover-se durante a sessão de comunicação causando *handoffs* entre células adjacentes. A tendência atual em redes celulares em reduzir o tamanho da célula de forma a acomodar mais usuários móveis em uma dada área, tornará ainda mais difícil tratar os problemas relacionados à mobilidade. A mobilidade do usuário proporciona vários novos desafios de projeto que não existem em redes tradicionais.
- ✓ A conexão deve ser roteada novamente para o novo ponto de acesso.
- ✓ Largura de banda deve ser alocada na nova localização, o que pode causar o cancelamento da chamada se a nova localização não possuir largura de banda suficiente.
- ✓ À medida que os usuários móveis movimentam-se, a rede deve rastreá-los e descobrir suas novas localizações a fim de efetuar a entrega de dados.

### 2.5.1 Parâmetros de QoS em Redes Móveis sem Fio

Além dos parâmetros de QoS usados em redes fixas, há outros parâmetros que foram sugeridos para redes sem fio[20]. Em [24][28][22] a probabilidade de cancelamento devido ao *handoff* é usada como parâmetro de QoS. Este parâmetro é definido como a probabilidade de que a chamada seja cancelada durante o *handoff* devido ao fato da nova célula não possuir recursos suficientes para suportar a chamada.

Em [26], Seal e Singh identificam um novo parâmetro de QoS para ambientes móveis denominado *loss profile*. Este parâmetro pode ser usado por aplicações que toleram perda. O *loss profile* é definido como uma descrição, provida pela aplicação, da maneira aceitável na qual dados podem ser descartados no caso de redução de largura de banda na parte correspondente ao enlace sem fio. Este parâmetro especifica a taxa de perda aceitável e o comportamento da perda. Por exemplo, para uma aplicação de vídeo usando compressão JPEG (*Joint Photo Graphic Experts Group*), o *loss profile* poderia descrever a porcentagem de dados que podem ser perdidos e as porções do quadro de vídeo que podem ser descartadas.

Em [27], a probabilidade de comunicação transparente (*probability of seamless communication*) é introduzida. Este parâmetro reflete os níveis aceitáveis de interrupção em um serviço devido ao movimento entre células. Aplicações que não podem tolerar qualquer

interrupção no serviço devem requisitar uma alta probabilidade enquanto outras aplicações podem requisitar uma probabilidade mais baixa.

### 2.5.2 Abordagens para a Provisão de QoS em Redes Móveis sem Fio

O controle de admissão em redes móveis sem fio lida com a decisão de aceitar uma chamada nos sistemas e garantir que, mesmo que o usuário mude de célula, a chamada continue em andamento com alta probabilidade. A seguir apresentamos alguns destes esquemas.

Uma das técnicas iniciais para reduzir o cancelamento de chamadas devido ao *handoff* corresponde ao esquema que usa canal de guarda (*guard channel*) [23]. Este esquema atribui alta prioridade a chamadas de *handoff* sobre novas chamadas através da alocação de um determinado número de canais em cada célula, exclusivamente para chamadas de *handoff*.

Em [24], os autores propõem o conceito de *shadow cluster*, que corresponde a uma coleção de células agrupadas com base na mobilidade do usuário. O *shadow cluster* é usado para admissão de chamada e alocação de recurso. A cada unidade móvel na rede é atribuído um *shadow cluster* com base na sua direção, velocidade e localização atual. A cada célula no *cluster* é atribuída uma probabilidade de ser visitada por um usuário em um determinado momento no futuro. Esta probabilidade é calculada com base na mobilidade do usuário, portanto, células com maior probabilidade de serem visitadas, de acordo com a mobilidade atual do usuário, recebem uma probabilidade mais alta. Esta probabilidade serve como um fator para estimar a largura de banda requerida pela unidade móvel. Portanto, na admissão de uma nova chamada ou chamada de *handoff*, verifica-se a probabilidade de reservar uma fração da largura de banda requerida em cada célula pertencente ao *shadow cluster*. Reservas são feitas apenas durante o tempo no qual estima-se que a unidade chegue na célula.

Esquemas usando alocação de recursos em células adjacentes, juntamente com previsão da mobilidade do usuário, também, podem ser encontrados em [25][21], bem como, propostas de adaptações do protocolo RSVP para tratar terminais móveis, como o *Mobile-RSVP* [17].

Disciplinas de serviços adaptadas para redes de comunicação móveis sem fio vêm sendo desenvolvidas[29][30]. O problema é que nestes ambientes os erros são dependentes da localização. Assim, canais livres de erro podem ter encaminhamento de fluxos com taxas de serviços maiores do que a taxa justa, enquanto fluxos de canais sofrendo com erros recebem uma taxa de serviço menor do que a taxa que deveria ser provida.

## 2.6 Evolução dos Sistemas Móveis Celulares

Os sistemas de terceira geração representam uma mudança de paradigma, proporcionando um sistema avançado de telecomunicações que viabilizará a convergência entre a telefonia celular, Internet e multimídia. A terceira geração tornará serviços de informação disponíveis instantaneamente, por exemplo, um terminal de 3G pode ser utilizado como uma câmera de vídeo da qual o usuário pode enviar cartões eletrônicos e *clips* de vídeo em tempo real.

Para obter êxito, as comunicações móveis de 3G devem prover o mercado de massa com serviços multimídia móveis sem fio de alta qualidade, eficientes e de fácil utilização. De uma maneira geral os sistemas de 3G devem prover:

- Altas taxas de dados, entre 384Kbps em todos os ambientes e até 2 Mbps em ambientes *indoor* e de baixa mobilidade
- Comutação por pacote, tal como o tráfego Internet (IP)
- Qualidade de voz comparável a da qualidade em redes fixas com fio
- Melhor eficiência espectral e maior capacidade que os sistemas atuais de 2G.
- Incorporação transparente dos sistemas celulares de 2G e coexistência e interconexão com serviços móveis de satélites

A Figura 12 mostra a evolução dos principais sistemas celulares em direção à 3G das comunicações móveis. Como uma solução intermediária, as operadoras GSM, bem como, as que utilizam a tecnologia TDMA/IS-136 estão adotando o GPRS[10] como um primeiro passo no processo de migração para a 3G. O GPRS proporciona aos usuários uma taxa de até 160 kbps. O EDGE (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*) é uma nova tecnologia de rádio baseada em TDMA, tanto para sistemas TDMA/IS-136 quanto para GSM [11]. Provê a maioria das características das redes de 3ª geração, podendo ser utilizada nas bandas de frequências já existentes (800, 900, 1800 e 1900MHz). O EDGE alcança taxas de dados de 384 kbps e utiliza um novo esquema de modulação denominado 8PSK (*Eight-Symbol Phase Shift Keying*).

Da mesma forma que GSM e TDMA/IS-136, o CdmaOne<sup>4</sup> será melhorado em termos de capacidade, cobertura, qualidade e taxa de dados. A taxa de dados atual é de 14,4 kbps, mas a introdução do Cdma2000/1X, provê uma taxa de 144 kbps utilizando uma portadora de 1,25MHz. O Cdma2000/3x alcançará as taxas de dados mais altas almejadas para a 3G, utilizando três portadoras de 1,25MHz.

O padrão japonês PDC, atualmente com uma solução para comutação de pacotes, com taxas de dados de até 28,8 kbps, denominado P-PDC (*Packet - PDC*), pretende uma migração direta para o padrão WCDMA.

---

<sup>4</sup> Descreve o sistema completo, incorporando a interface aérea IS-95, o padrão ANSI-41 e outros padrões que completam o sistema.

No processo de harmonização dos padrões para a 3G, o WCDMA[12] é a proposta mais aceita para a convergência das tecnologias GSM, TDMA/IS-136, PDC e CDMA. Na Europa e no Japão, bem como, em outras partes do mundo, um novo espectro está sendo alocado para a 3G. Apesar da convergência das tecnologias, o acesso WCDMA deve coexistir com as atuais redes de 2G, como GSM e TDMA/IS-136, bem como, com as evoluções destas redes (GPRS e EDGE).

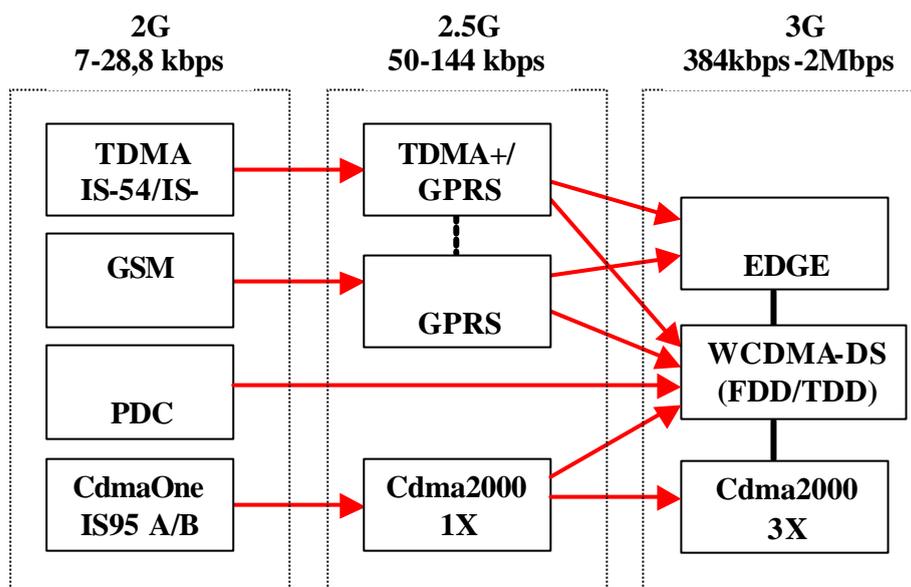


Figura 12. Evolução dos Sistemas Celulares.

Espera-se que as futuras redes de comunicações móveis sejam totalmente baseadas na comutação de pacotes utilizando o protocolo IP[19]. O IP é o protocolo dominante de *internetworking* em operação atualmente. A escolha lógica de um protocolo de rede para redes de dados sem fio também é o IP por várias razões. Primeiro, utilizando uma rede baseada no IP, aplicações desenvolvidas para redes de dados convencionais (com fio) podem operar em redes de dados sem fio. Segundo, para reduzir custos, as redes resultantes da integração de ambas (com fio e sem fio) podem ser construídas e gerenciadas. Terceiro, avanços na tecnologia, tais como, telefonia IP e QoS podem ser aplicadas diretamente às redes sem fio. Dessa forma, as redes sem fio baseadas no IP proporcionarão tanto serviços de voz quanto de dados, permitindo assim, que estes serviços sejam difundidos na vasta base de usuários de celulares.

## Capítulo 3

### Tecnologias para Comutação de Pacotes na Internet Móvel

---

#### 3.1 GPRS (*General Packet Radio Service*)

O GPRS é um padrão do ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) para a comutação de pacotes em sistemas GSM[10]. O GPRS também foi aceito pela TIA (*Telecommunication Industry Association*) como o padrão de comutação de pacotes para o sistema TDMA/IS-136. Adicionando as funcionalidades do GPRS, as operadoras podem proporcionar aos seus assinantes acesso com utilização eficiente de recursos a redes IP externas a taxas de dados de até 160 kbps[6].

Na interface aérea os recursos são alocados apenas temporariamente a cada pacote, ao contrário, por exemplo, do esquema adotado pelo GSM que usa comutação por circuito onde *time slots* são atribuídos a um usuário por toda a duração de uma chamada. No GPRS os recursos de rádio são distribuídos apenas pela duração de um ou alguns pacotes IP. A introdução do GPRS proporciona as seguintes vantagens:

- ✓ Serviço de comutação por circuito e por pacote em uma única rede
- ✓ Uso eficiente dos recursos escassos de rádio
- ✓ Tempos de configuração e acesso rápidos
- ✓ Transporte eficiente de pacotes em redes GSM e TDMA/IS-136
- ✓ Conectividade com redes de dados de pacote externas baseadas em IP e X.25
- ✓ Diferenciação de usuário baseada nos acordos de QoS
- ✓ Tarifação baseada em volume de dados

##### 3.1.1 Arquitetura de Rede do GPRS

Para a introdução do GPRS são necessárias algumas modificações. Alguns dos nós já implementados nos sistemas atuais podem ser compartilhados entre o GPRS e os sistemas GSM e TDMA/IS-136. Apenas dois novos tipos de nós, o SGSN (*Serving GPRS Support Node*) e o GGSN (*Gateway GPRS Support Node*), têm que ser introduzidos. Além disso, esta nova tecnologia requer o desenvolvimento de novos terminais móveis.

A Figura 13 mostra os nós e interfaces definidas para o GPRS. O GGSN é o nó *gateway* entre uma rede de pacotes de dados externa (uma rede IP) e a rede de *backbone* do GPRS. No caso de uma rede IP externa, o GGSN pode ser visto como um roteador IP convencional servindo a todos os endereços IP das estações móveis. Este nó pode incluir *firewalls* e mecanismos de filtragem de pacotes. Além disso, sua tarefa é atribuir o SGSN correto para a estação móvel, dependendo da localização da mesma.

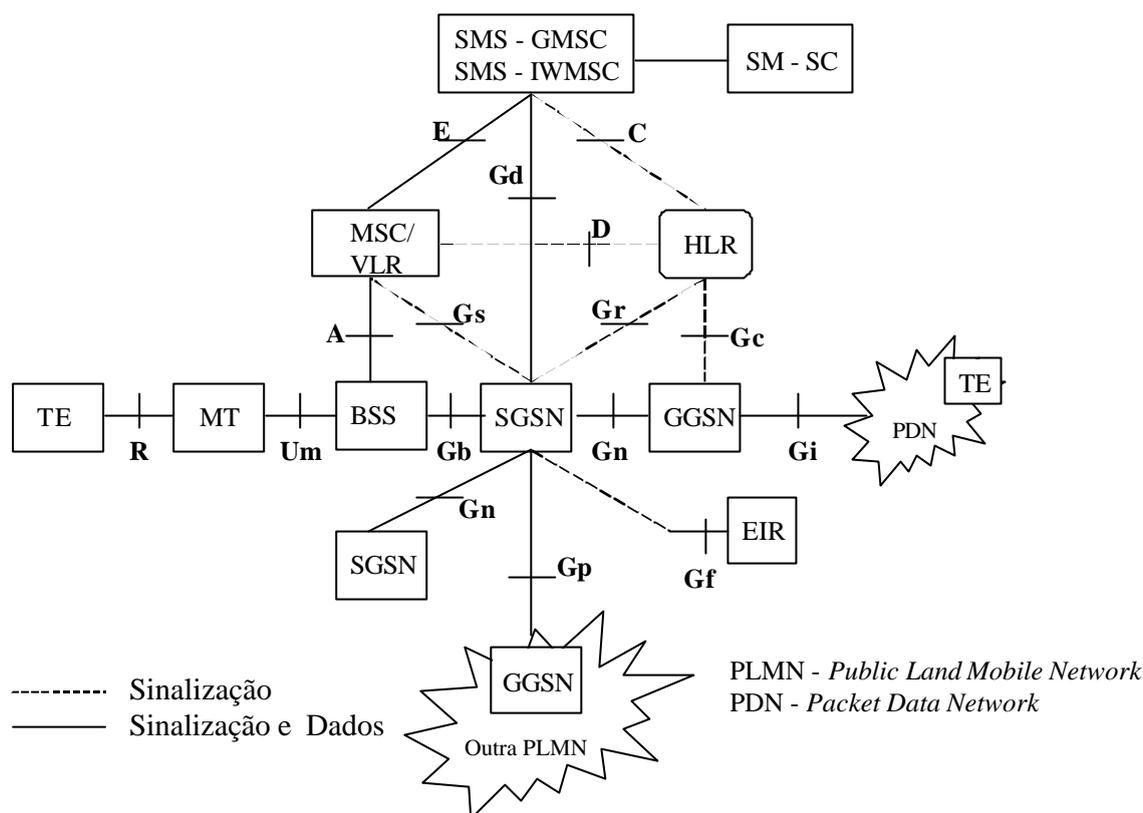


Figura 13. O Modelo de Referência do GPRS.

O SGSN provê a comunicação entre o *backbone* do GPRS e a rede de acesso de rádio, comutando pacotes para o BSS (*Base Station Subsystem*) apropriado. Suas tarefas incluem cifragem e autenticação, gerenciamento de sessão, gerenciamento de mobilidade e gerenciamento do enlace lógico para a MS. Ele também provê uma conexão com os bancos de dados, como o HLR (*Home Location Register*) no MSC (*Mobile Switching Center*).

O BSS consiste de dois nós. O primeiro nó é o controlador de estação base (BSC – *Base Station Controller*), que inclui a unidade de controle de pacote (PCU – *Packet Control Unit*). A BSS suporta todos os protocolos relevantes do GPRS para comunicação sobre a interface aérea. A função da PCU é configurar, supervisionar e desconectar chamadas comutadas por pacote, incluindo suporte para mudança de célula, configuração de recurso de rádio e atribuição de canal. O segundo nó é a estação base transceptora (BTS – *Base Transceiver Station*) que é apenas uma estação de encaminhamento, sem função de protocolo. Realiza a modulação de frequências da portadora e demodulação dos sinais.

O MSC/VLR, HLR e o SMSC são entidades funcionais das redes de telefonia celular (GSM, por exemplo). Para que possam ser utilizados pelo GPRS são melhorados com interfaces adicionais. A MS deve ser equipada com a pilha de protocolos GPRS para que o usuário possa utilizar a rede GPRS.

No padrão GPRS três novos tipos de terminais são definidos:

- ✓ Terminal de Classe A: Suporta tráfego de comutação por pacote e por circuito, simultaneamente
- ✓ Terminal de Classe B: Suporta ou tráfego comutado por pacote ou tráfego comutado por circuito, mas não suporta ambos os tipos de tráfego simultaneamente
- ✓ Terminal de Classe C: Suporta ou tráfego comutado por pacote ou tráfego comutado por circuito

### 3.1.2 A Pilha de Protocolos

A Figura 14 mostra a arquitetura de protocolos para o plano de transmissão do GPRS. Todos os dados dentro do *backbone*, isto é, entre GSNs – *Gateway Support Nodes* (SGSN ou GGSN), são transferidos usando o GTP (*GPRS Tunneling Protocol*) que encapsula as PDUs que passam pelo *backbone* GPRS, adicionando informação de roteamento. Por exemplo, considerando pacotes IP, tão logo estes alcancem um GSN, são encapsulados em um novo pacotes IP. Dessa forma, um novo cabeçalho IP é adicionado e o pacote é roteado de acordo com este novo cabeçalho. O GTP pode usar dois protocolos de transporte diferentes, o TCP para transmissão confiável, por exemplo, de pacotes X.25 ou o UDP para transmissão não confiável de pacotes IP. O protocolo IP é utilizado como protocolo da camada de rede no *backbone* GPRS. Dependendo da arquitetura da operadora, os protocolos Ethernet, ISDN ou ATM podem ser utilizados abaixo do IP.

O SDNCP (*Subnetwork Dependent Convergence Protocol*) é usado entre um SGSN e a MS, sendo responsável por conduzir unidades de dados de protocolo (PDUs – *Packet Data Units*) da camada de rede (IP/X.25) de uma maneira transparente. Dessa forma, quando da introdução de novos protocolos na camada de rede, serão necessárias mudanças apenas no SDNCP, evitando que sejam feitas mudanças em todas as camadas de protocolos do

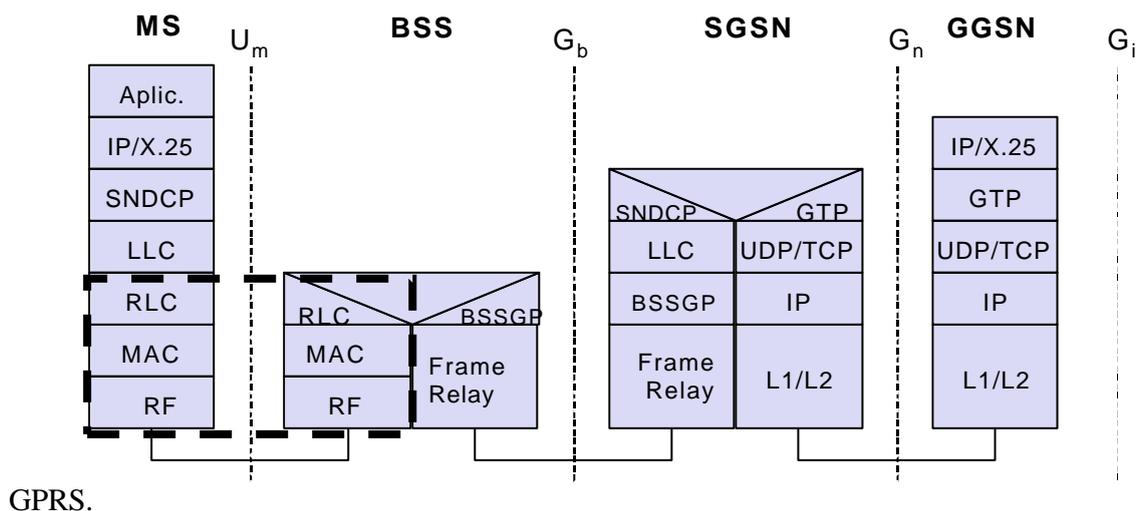


Figura 14. Pilha de Protocolos do GPRS.

O protocolo LLC (*Logical Link Control*) opera através das interfaces Gb e Um provendo um enlace lógico entre a MS e seu SGSN. As funções desta camada compreendem o controle de fluxo, cifragem e controle de seqüência. O LLC é usado pelo SNDSCP para transferência de PDUs da camada de rede, pelo protocolo SMS para transferir mensagens SMS (*Short Message Service*) e pelo gerenciamento do GPRS para transferir dados de controle.

A comunicação via rádio entre uma MS e a rede GPRS, indicada na Figura 14 pela região tracejada, cobre as funcionalidades das camadas de enlace de dados e física. O protocolo da camada RLC/MAC (*Radio Link Control/Medium Access Control*) localiza-se na PCU e provê serviços para a transferência de PDUs LLC usando um meio compartilhado entre várias MSs e a rede. As funções do protocolo RLC/MAC incluem segmentação e remontagem de PDUs LLC. O protocolo MAC realiza os diferentes canais lógicos necessários para o compartilhamento do meio de transmissão comum a várias MSs. Ele permite que uma MS use vários canais físicos (*time slots*) em paralelo, além de multiplexar várias MSs sobre um canal físico. A camada de rádio frequência (RF – *Radio Frequency*) realiza a transmissão e recepção de ondas moduladas nas frequências da portadora e é similar à camada de RF do GSM.

### 3.1.3 A Interface Aérea do GPRS

O GPRS utiliza a mesma estrutura FDMA/TDMA do GSM para formar os canais físicos. O GPRS pode ser usado nas mesmas bandas de frequências usadas pelo GSM (1.800 e 1.900MHz) e ambos compartilham os mesmos canais físicos (*time slots*). Cada *time slot* pode ser atribuído tanto ao GPRS para a transmissão de dados de comutação por pacote, quanto ao GSM tratando chamadas comutadas por circuito. Os canais físicos utilizados pelo GPRS recebem a denominação de PDCH (*Packet Data Channel*).

No GPRS a estrutura básica de transmissão é o *bloco de rádio*, ilustrado na Figura 15. Um bloco de rádio contém 456 bytes, mas devido à técnica de correção de erros (FEC – *Forward Error Correction*), uma quantidade menor de dados úteis (*payload*) é transmitida. A estrutura de um bloco de rádio começa com cabeçalhos MAC e RLC e uma cauda com o BCS (*Block Check Sequence*), usado para detectar erros que não podem ser corrigidos pelo FEC. O cabeçalho MAC consiste dos seguintes campos: USF (*Uplink State Flag*) que indica qual MS pode transmitir na direção *uplink*, T (*Block Type Indicator*) e PC (*Power Control*). A estrutura e, também, o número de bits de carga útil a serem transmitidos dependem do tipo de mensagem e do esquema de codificação (Veja a Tabela 2). Para a transmissão de um bloco de rádio, quatro slots de tempo em quatro quadros TDMA consecutivos são utilizados.

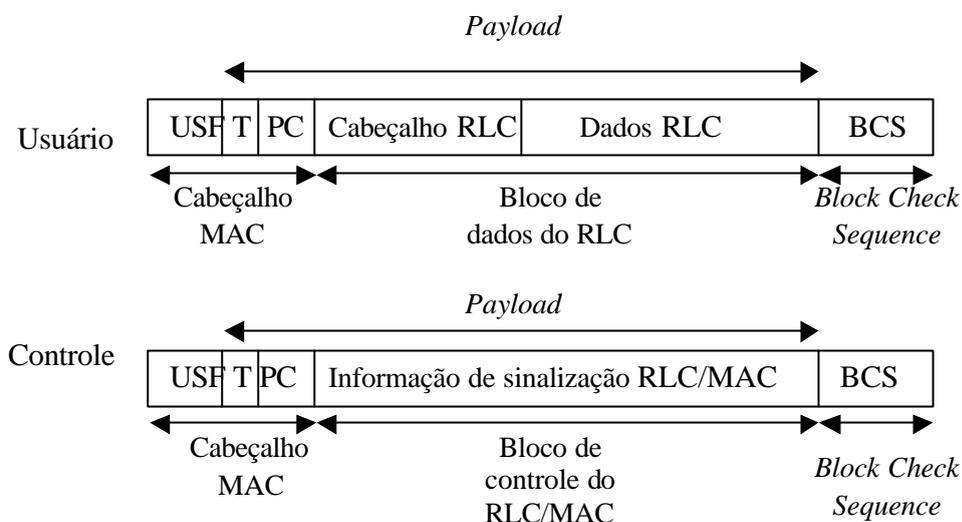


Figura 15. Estrutura do Bloco de Rádio do GPRS.

Esquema	Taxa de codificação (Codificação convolucional)	Bloco de dados do RLC sem cabeçalho RLC (octetos)	Vazão LLC (kbps)
CS-1	1/2	20	8
CS-2	2/3	30	12
CS-3	3/4	36	14.4
CS-4	1	50	20

Tabela 2. Esquemas de codificação do GPRS.

### Canais Lógicos

A seguir apresentamos o conjunto de canais lógicos definidos para o GPRS e suas respectivas funções.

- ✓ PRACH (*Packet Random Access Channel*) – Canal comum utilizado pela MS para iniciar a transferência no *uplink*.
- ✓ PPCH (*Packet Paging Channel*) - Usado pela BSC para efetuar o *paging* em uma MS antes da transmissão no *downlink*.
- ✓ PAGCH (*Packet Access Grant Channel*) - Atribuições de recursos nas direções de *uplink* e *downlink* são enviados por este canal
- ✓ PBCCH (*Packet Broadcast Control Channel*) - Usado pela BSC para transmitir a mesma informação para todos os terminais em uma mesma célula.
- ✓ PDTCH (*Packet Data Transfer Channel*) - Pacotes de dados do usuário são enviados por este canal. Uma MS pode usar um ou vários PDTCHs.

- ✓ PACCH (*Packet Associated Control Channel*) - Este canal lida com informação de canal relacionada a uma dada MS e seus PDCTHs, por exemplo, reconhecimentos RLC.

### 3.1.4 Gerenciamento de Sessão e Mobilidade

Para que os usuários GPRS possam conectar-se às redes de dados externas, devem executar os procedimentos *attach* e *PDP (Packet Data Protocol) context activation*. O procedimento GPRS *attach* permite que o usuário seja conhecido pela rede. Uma vez executado este procedimento, a rede conhecerá sua localização e as características do terminal. A Figura 16 apresenta os passos na execução do procedimento GPRS *attach*, descritos a seguir.

1. O terminal móvel requisita a conexão com a rede. O pedido do terminal, enviado ao SGSN, indica capacidade de múltiplos *slots* do terminal, o algoritmo de criptografia que ele suporta e se o terminal solicita uma conexão para um serviço de comutação por pacote ou para um serviço de comutação por circuito ou para ambos.
2. A autenticação é realizada entre o terminal e o HLR.
3. O dado do assinante no HLR é inserido no SGSN e no MSC/VLR.
4. O SGSN informa ao terminal que o procedimento foi finalizado.

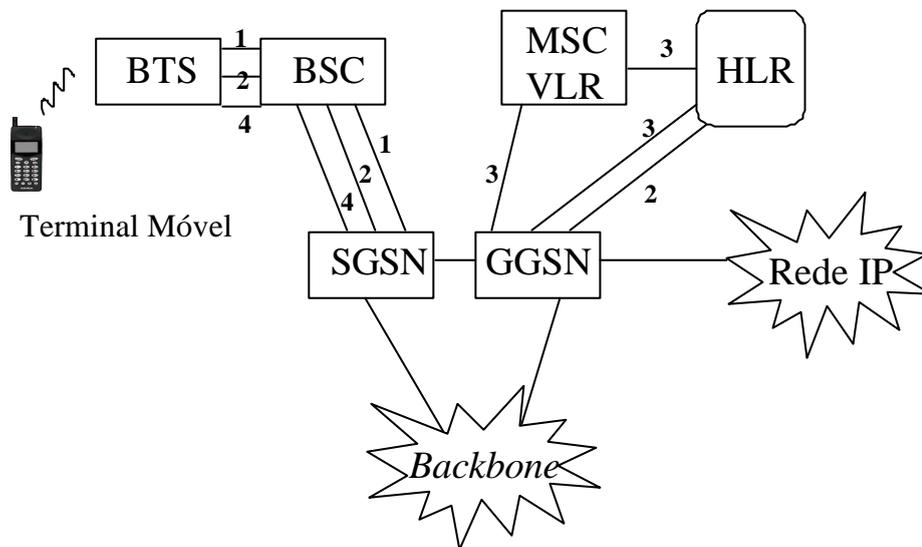


Figura 16. Procedimento *Attach*.

Antes que o terminal móvel possa efetivar a comunicação com a rede de dados externa, o contexto PDP deve ser ativado. O contexto PDP descreve as características da conexão com a rede dados externa, como: tipo de rede, endereço de rede, nome do ponto de acesso (APN–*Acess Point Name*)<sup>5</sup>, QoS, etc. A Figura 17 ilustra este procedimento.

<sup>5</sup> Formado por duas partes: identificador da rede e identificador da operadora.

1. O terminal móvel requisita uma ativação de contexto PDP.
2. O SGSN valida a requisição baseando-se na informação de inscrição recebida do HLR durante o GPRS *attach*.
3. O APN é enviado para o DNS (Domain Name Server) no SGSN para que se encontre o endereço IP do GGSN relevante.
4. Uma conexão lógica é criada entre o SGSN e o GGSN (GTP *tunnel*).
5. O GGSN atribui ao terminal móvel um endereço IP dinâmico da faixa de endereços alocados à PLMN (Public Land Mobile Network) ou a partir de um servidor RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service).

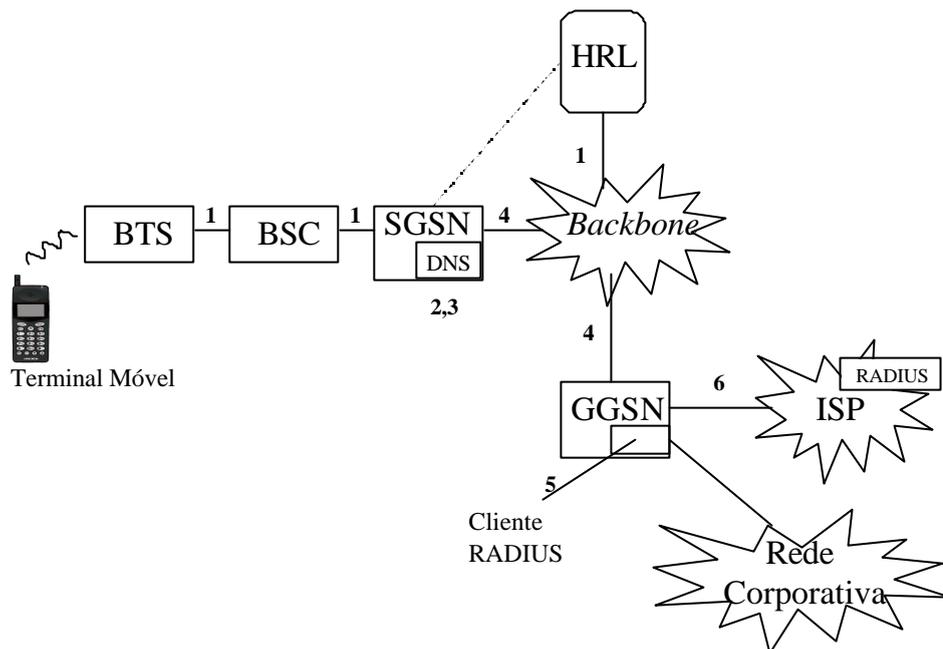


Figura 17. Ativação do Contexto PDP (*Packet Data Protocol*).

Outro procedimento importante para o funcionamento do GPRS é o de localização de área de roteamento (RA – *Routing Area*). Uma RA consiste de grupos de células definidas pela operadora. Quando uma estação móvel muda de RA, o GPRS precisa atualizar esta informação com os *gateways* do GPRS. A MS envia um pedido de atualização de roteamento contendo a identidade da célula e a identidade da RA anterior para o SGSN que está servindo à MS na sua nova RA. Se a RA é servida pelo mesmo SGSN, a informação de localização é atualizada e um reconhecimento é enviado de volta à MS. Caso a RA anterior seja servida por um outro SGSN, o GGSN deve ser informado. É requisitado que o SGSN anterior transmita os pacotes de dados não entregues ao novo SGSN. Além disso, a informação de contexto da MS deve ser removida da memória do SGSN anterior.

### 3.1.5 Perfil de QoS no GPRS

O GPRS associa um conjunto de parâmetros de QoS, denominados de *perfil de QoS*, a cada contexto PDP. O perfil de QoS é considerado como sendo um único parâmetro com múltiplos atributos, definindo a qualidade de serviço esperada em termos de:

- ✓ Classe de Precedência
- ✓ Classe de atraso
- ✓ Classe de confiabilidade
- ✓ Classe de vazão pela taxa de pico
- ✓ Classe de vazão pela taxa média

Vários perfis de QoS são possíveis através da combinação desses atributos. Durante a negociação do perfil de QoS a MS poderá requisitar um valor para cada um dos atributos de QoS. Por exemplo, indicando quais pacotes devem ser descartados na ocorrência de problemas, tais como, congestionamento na rede e limitação dos recursos. Veja a Tabela 3.

Parâmetros	Valores				
Precedência	Alta, Normal, Baixa				
Confiabilidade	Probabilidade de perda de pacotes: e.g., $10^9$ , $10^4$ , $10^2$				
Atraso para pacotes de 128 octetos	Classe	1	2	3	4
	Média (s) 95%	< 0.5	< 5	< 50	<i>Best Effort</i> <i>Best Effort</i>
Taxa máxima de bits	8 kb/s-2 Mbps				
Taxa média de bits	0.22 b/s-111 kbps				

Tabela 3. Perfil de QoS no GPRS.

- **Classe de Precedência**

Durante condições normais de operação a rede GPRS tentará alcançar os compromissos do serviço para todos os perfis de QoS. O serviço de precedência indica a importância relativa em se manter os compromissos do serviço sob condições anormais.

- **Classe de Atraso**

O parâmetro de atraso define valores máximos para o atraso médio devido à transferência dos dados através da rede GPRS. O parâmetro de atraso define o atraso de transferência fim a fim na transmissão de SDUs (*Service Data Units*) através da rede GPRS.

O atraso de transferência inclui o atraso do acesso ao canal de rádio (*uplink*) ou o atraso devido ao escalonamento de canal (*downlink*), o atraso de trânsito do canal de rádio (caminhos *uplink* e/ou *downlink*) e o atraso de trânsito na rede GPRS (múltiplos saltos). O

atraso é medido entre os pontos de referência R ou S (estação móvel) e Gi (estação fixa). Veja a Figura 13.

- **Classe de Confiabilidade**

Indica o uso de retransmissão no níveis RLC, LLC e GTP, em função dos requisitos de perda e entrega em seqüência dos pacotes das aplicações.

- **Classe de Vazão de Pico e Média**

Representam as taxas máxima e média, respectivamente, na qual espera-se que os dados sejam transferidos durante o tempo de vida restante do contexto PDP ativo.

### **3.1.6 Controle de Admissão no GPRS**

A rede GPRS realiza o controle de admissão com base no perfil de QoS requisitado na mensagem de ativação do contexto PDP e na disponibilidade de recursos. Os algoritmos usados para o controle de admissão não são especificados, dessa forma, estes algoritmos podem ser específicos para cada operadora ou vendedor. Quando a ativação do contexto PDP é realizada com sucesso, o SGSN faz o mapeamento do perfil de QoS definido para um contexto PDP no nível apropriado de prioridade de rádio do RLC/MAC e indica para a MS que valor de prioridade ela deve usar no acesso *uplink*. Este valor de prioridade, juntamente com a informação do tipo de acesso de *uplink*, se dados ou sinalização, são usados pela MS na requisição de acesso. No próximo passo o BSS determina a precedência de acesso de rádio por meio da informação provida pela MS. Para o provisionamento na rede núcleo do GPRS, o SGSN pode mapear o perfil de QoS no procedimento apropriado de QoS, por exemplo, marcando o campo DS (*Differentiated Services*) com o *code-point* apropriado.

### 3.2 UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*)

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) corresponde à versão Européia do IMT-2000 e utiliza WCDMA como tecnologia de rádio. O WCDMA suporta uma alta taxa de transmissão de dados (384 kbps para um cobertura em longa distância e 2Mbps para cobertura local)[12]. O ETSI/SMG (*European Telecommunications Standards Institute/Special Mobile Group*) está responsável pela padronização do UMTS desde o início de 1990. Em janeiro de 1998, a tecnologia para acesso terrestre via rádio do UMTS (UTRA – *UMTS Terrestrial Radio Access*) foi selecionada.

#### 3.2.1 A Arquitetura UMTS

A arquitetura do UMTS compreende uma rede de núcleo (CN - *Core Network*), conectada à rede de acesso (UTRAN – *UMTS Terrestrial Radio Access Network*) através da interface  $I_{ur}$ . A UTRAN é conectada ao equipamento do usuário (UE – *User Equipment*) com a interface  $U_u$ , como apresentado na Figura 18.

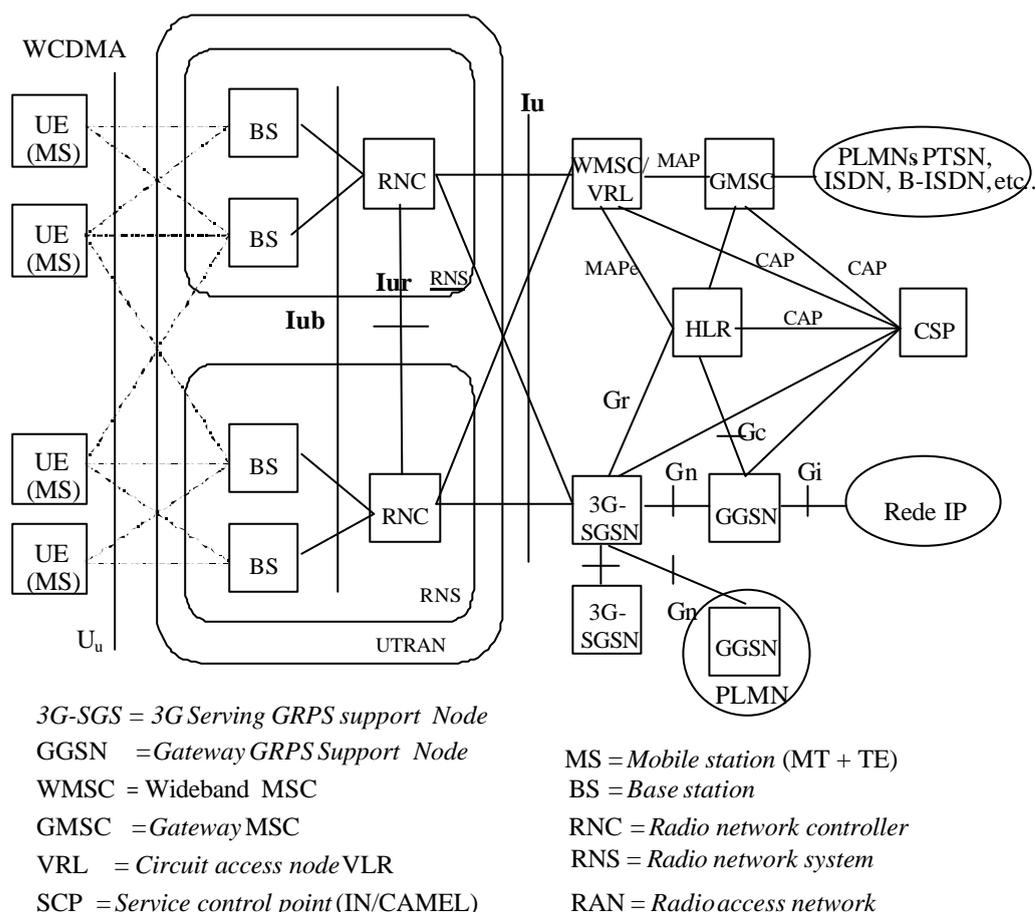


Figura 18. Arquitetura UMTS.

A UTRAN consiste de um conjunto de RNSs (*Radio Network Subsystems*) conectado à CN através da interface  $I_{ur}$ . Um RNS consiste de um RNC (*Radio Network Controller*) e um ou mais nós do tipo  $B$  (equivale à BS -*Base Station* na Figura 18). Um nó  $B$  é conectado a um RNC através da interface  $I_{ub}$ . O RNC é responsável pela decisão de *handoff* que requer sinalização até o UE (*User Equipment*). Na UTRAN, os RNCs dos RNSs podem ser interconectados através da interface  $I_{ur}$ . Cada RNS é responsável pelos recursos do seu conjunto de células e cada nó  $B$  possui uma ou mais células.

### 3.2.2 A Interface Aérea no UMTS

#### Duplexação por Divisão de Frequência – FDD (*Frequency Division Duplexing*)

O modo FDD utiliza o WCDMA com *direct sequence spreading*, com o *uplink* e *downlink* utilizando frequências distintas. A estação móvel faz a transmissão via *uplink* utilizando uma portadora entre 1920 e 1980 MHz, a estação base usa a faixa de 2110 a 2170 MHz para *downlink*. Este modo proporciona aproximadamente 250 canais para o tráfego do usuário. Cada canal físico corresponde a uma frequência da portadora, um certo código de espalhamento (DS – *Direct Sequence*) e uma fase relativa (apenas no *uplink*) e proporciona taxas de dados de 2 Mbps.

O WCDMA no modo FDD suporta vários canais físicos que transmitem os dados nos canais de transporte. Dados do usuário (camada 2 e mais altas) são transportadas no *uplink* DPDCH (*Dedicated Physical Data Channel*). Dados de controle da camada 1 são transportados via *uplink* DPCCCH (*Dedicated Physical Control Channel*). Estes dois canais de *uplink* são transmitidos em paralelo. O PRACH (*Physical Random Access Channel*) conduz dados de controle para efetuar o acesso aleatório. O PRACH utiliza o *Slotted Aloha* com *slots* de 1,25 ms, entretanto, um canal comum de difusão (*broadcast*) sinaliza que *slots* estão disponíveis para o acesso aleatório na célula. Para o *downlink* há apenas um tipo de canal, o *Downlink* DPCH (*Dedicated Physical Channel*) que é usado para multiplexar dados de usuário e dados de controle da camada 1.

A Figura 19 apresenta as estruturas de quadros do UMTS no modo FDD. Um *superframe* com a duração de 720 ms consiste de 72 quadros (*frames*) que contêm, por sua vez, 16 *slots* com duração de 10 ms para cada *slot*. O exemplo ilustra três canais diferentes que podem utilizar um *slot*. Nos canais de controle, o *pilot*, é usado para obter estimativas do canal. O modo FDD do UMTS suporta 4,096 Mchip/s e pode ser estendido para 8,192 e 16,384 Mchip/s em futuras aplicações.

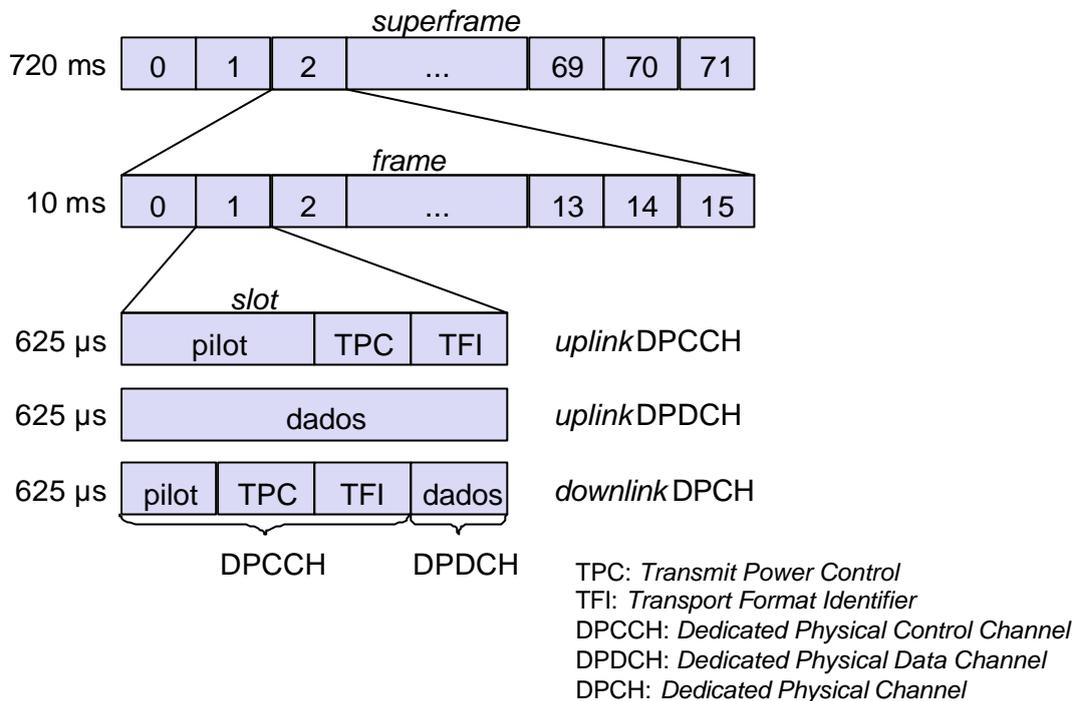


Figura 19. Estruturas do quadros no modo FDD do UMTS.

### Duplexação por Divisão de Tempo (TDD – *Time Division Duplexing*)

Este modo usa *Wideband TDMA/CDMA* para o acesso ao meio e, a mesma frequência é utilizada tanto pelo *uplink* quanto pelo *downlink*. Este modo oferece 2 Mbps para, aproximadamente, 120 canais ortogonais para o tráfego de usuário. Isto significa que este modo utiliza aproximadamente metade da capacidade do modo FDD, entretanto, requerendo apenas metade da largura de banda.

Canais físicos são representados por um *slot* e um código de espalhamento (*direct sequence*). Tipicamente, o sistema pode transmitir oito rajadas de canais diferentes no mesmo *time slot*. A Figura 20 mostra uma estrutura de rajada típica para um *slot* com um campo para dados do usuário, um para estimativa (*midamble*) do canal e um campo GP (*Guard Period*) para evitar interferências entre diferentes slots (23,4 μs). Cada *slot* tem duração de 625 μs e contém 2.560 *chips*. Um quadro é formado por 16 *slots*, cada *slot* com duração de 10 ms.

O esquema de modulação no modo TDD é o QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*). O controle de potência pode ser menor comparado ao do FDD ( são necessários apenas de 100 a 800 ciclos de controle de potência por segundo).

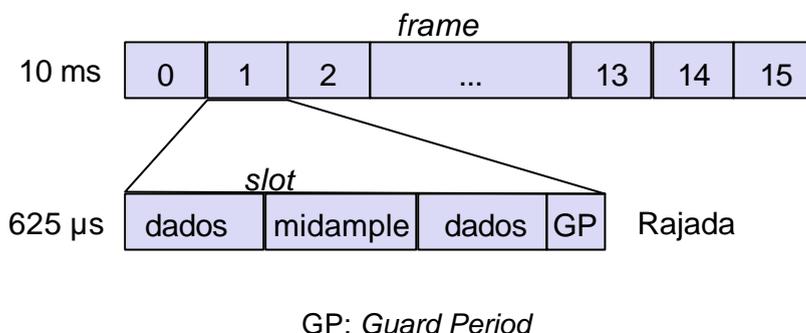


Figura 20. Estrutura de quadro para o modo TDD do UMTS.

### 3.2.3 Arquitetura IP/3G

As redes de 3G serão totalmente baseadas no protocolo IP. Para a integração da redes de 3G com a Internet é necessário um suporte eficiente do IP móvel, proposta da IETF para o suporte de mobilidade na camada de rede. A abordagem do 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) para a integração com o IP Móvel é baseada em nós da rede núcleo (CN – *Core Network*) chamados IGSNs (*Internet GPRS Support Nodes*) para prover a funcionalidade do FA (*Foreign Agent*). Durante o estabelecimento de uma sessão PPP (*Point-to-Point Protocol*), a MS obtém um *care-of address* do IGSN e utiliza este endereço ao invés do seu endereço *home*. Veja a Figura 21.

A MS primeiramente realiza os procedimentos de *IMSI (International Mobile Subscriber Identity) attach* e configuração de contexto PDP que estabelecem uma conexão na camada de enlace para viabilizar o início da utilização dos serviços 3GPP de dados em pacotes. Sobre esta conexão, o IGSN envia uma mensagem (*Agent Advertisement Message*); a MS obtém seu *care-of address* e, então, registra-se com o seu HA. O HA intercepta os datagramas que chegam na rede *home* e efetua o envio para o *care-of address*, que neste caso corresponde ao FA (IGSN). Antes que o IGSN entregue o datagrama à MS, *paging* e outras funções necessárias são realizadas de acordo com os procedimentos gerais do UMTS/GPRS. Durante o processo de *handoff*, a MS pode ir para uma área servida por um IGSN diferente. Ocorrendo o *handoff*, a MS estabelece uma nova conexão na camada de enlace e um novo processo de registro do IP Móvel. Após o registro de seu novo *care-of address* com o HA, este encapsula os datagramas dos *hosts* correspondentes para o novo ISGN, que por sua vez entrega-os à MS.

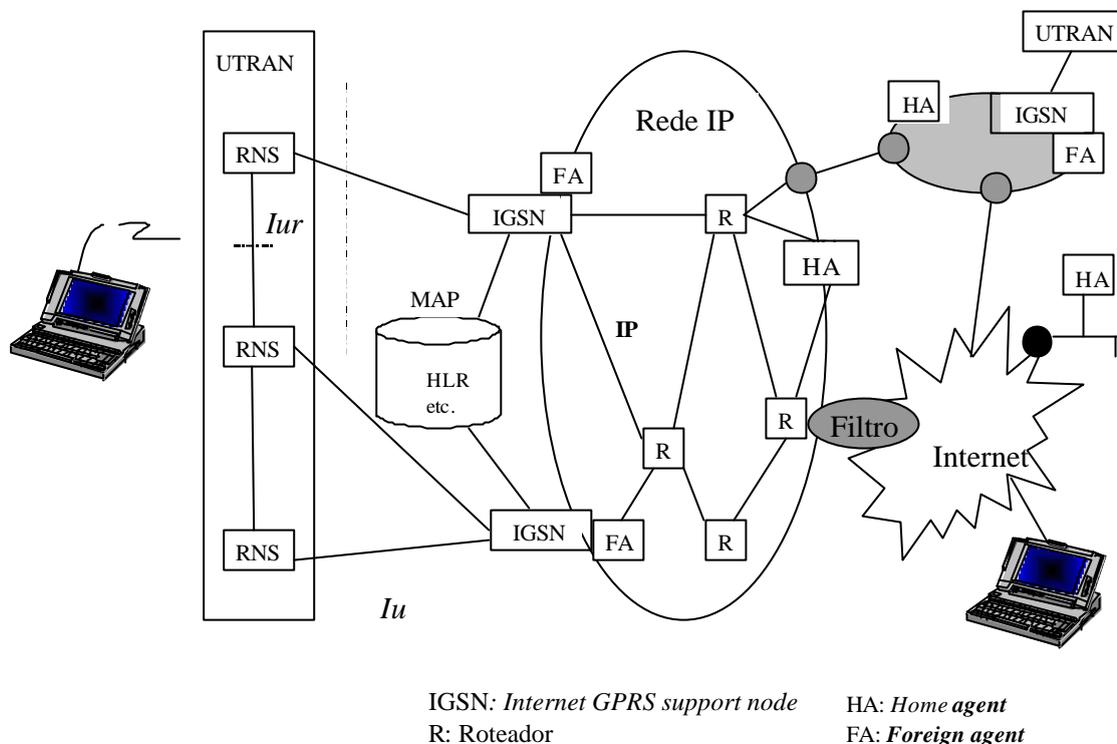


Figura 21. Integração do IP Móvel na proposta do 3GPP.

### 3.2.4 QoS em Redes de 3G

A arquitetura para QoS das redes de 3G é uma evolução da arquitetura de QoS para o GPRS. Nesta arquitetura um *bearer service*<sup>6</sup>, define as características e funcionalidades definidas entre os pontos finais da comunicação com o objetivo de realizar um suporte consistente de QoS para serviços fim a fim. O *end-to-end bearer service* é realizado através de uma arquitetura em camadas, mostrada na Figura 22.

Quando várias redes estão envolvidas, o *end-to-end bearer service* é a composição dos serviços das diferentes redes ao longo do caminho fim a fim. Na arquitetura UMTS, o *end-to-end bearer service* pode ser decomposto em três componentes principais:

- ✓ O TE/MT (*Terminal Equipment/Mobile Terminal*) *local bearer service*, que permite a comunicação entre os diferentes componentes de uma estação móvel. Estes componentes correspondem ao MT, que é responsável pela conexão física com a

<sup>6</sup> Evitamos traduzir este termo para não gerar ambigüidades no texto. Poderíamos traduzir *bearer service* como *serviço básico*.

UTRAN por meio da interface aérea, e um ou mais dispositivos de usuário, tais como, *laptops*, PDAs e telefones móveis tradicionais.

- ✓ O UMTS *bearer service*, que é oferecido pela operadora. Provê QoS dentro da rede UMTS e realiza as funções necessárias para o inter-funcionamento com as redes externas. Este serviço ainda é composto do RAB (*Radio Access Bearer*) *Service* e do CN (*Core Network*) *bearer service*.
- ✓ O *external bearer service*, conecta a CN do UMTS e o nó de destino localizado em uma rede externa. Este serviço pode utilizar o transporte IP ou outras alternativas.

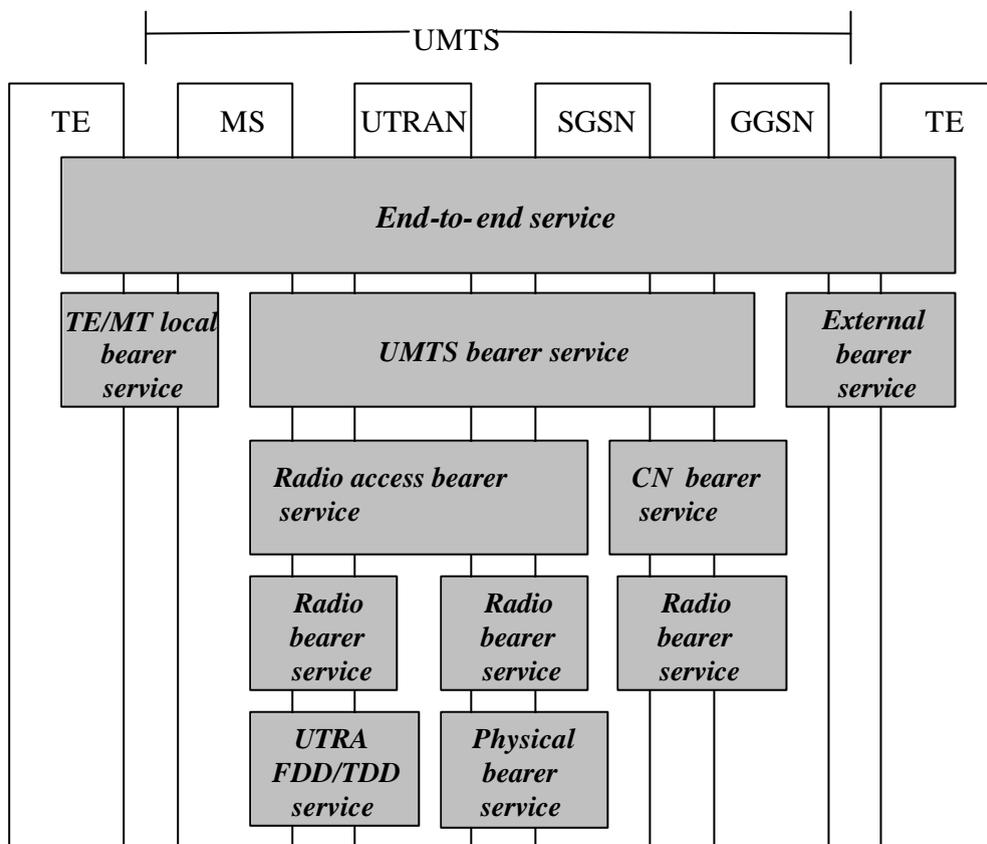


Figura 22. *Bearer Services*.

### 3.2.5 Parâmetros e Atributos de QoS

No UMTS os tipos de tráfegos suportados são divididos em quatro classes. Esta classificação é baseada nos requisitos de atraso, taxa de bit, taxa de erro e prioridade no tratamento do tráfego :

- ✓ Classe conversacional: Aplicações conversacionais de tempo real que têm restrições quanto ao atraso, como aplicações de videotelefonia.
- ✓ Classe *Streaming*: Para as aplicações enquadradas nesta classe, uma certa quantidade de variação no atraso é tolerável. Como exemplo desta classe pode-se citar vídeo de tempo real.
- ✓ Classe Interativa: é aplicável a serviços que requerem uma vazão garantida. Alguns exemplos desta classe, incluem: comércio eletrônico, navegação Web interativa.
- ✓ Classe *background*: É utilizada para o tráfego *best-effort* tradicional, como transferência de arquivos e *e-mail*. Este tráfego tem a menor prioridade dentre todas as classes.

Os parâmetros de QoS aplicáveis a cada classe são apresentados na Tabela 4.

Parâmetros de tráfego	Classe Conversacional	Classe <i>Streaming</i>	Classe Interativa	Classe <i>Background</i>
Taxa máxima de bits	X	X	X	X
Entrega em ordem (s/n)	X	X	X	X
Tamanho máximo de SDU	X	X	X	X
Informação de formato SDU	X	X		
Entrega de SDUs com erro	X	X	X	X
Taxa residual de erro de bit	X	X	X	X
Taxa de erro de SDU	X	X	X	X
Atraso de transferência	X	X		
Taxa garantida de bits	X	X		
Prioridade do tráfego		X		
Prioridade de alocação	X	X	X	X

Tabela 4. Classes de Tráfego e Parâmetros de QoS

### 3.2.6 Componentes da Arquitetura de QoS para o UMTS

Os componentes para provisão de QoS na arquitetura UMTS são apresentados na Figura 23. Um elemento responsável pelo controle de admissão é incluído em todos os nós a fim de determinar se os recursos requisitados pelos *bearer services* estão disponíveis e reservá-los em caso positivo. O *bearer service manager* coordena a sinalização do plano de controle e traduz os atributos de QoS nos atributos suportados por um determinado *bearer service*. O gerente de recurso (GR) é responsável por gerenciar o acesso aos recursos de acordo com o *bearer service* particular.

O condicionador de tráfego (CT) suaviza ou policia o tráfego de forma que este continue com o comportamento que foi especificado e respeite o acordo na manutenção do contrato estabelecido na fase de admissão e alocação de recursos. O classificador de pacotes (CP), por exemplo, pode basear-se em informações do campo DSCP do *DiffServ*, para classificar os pacotes de acordo com as classes de tráfego.

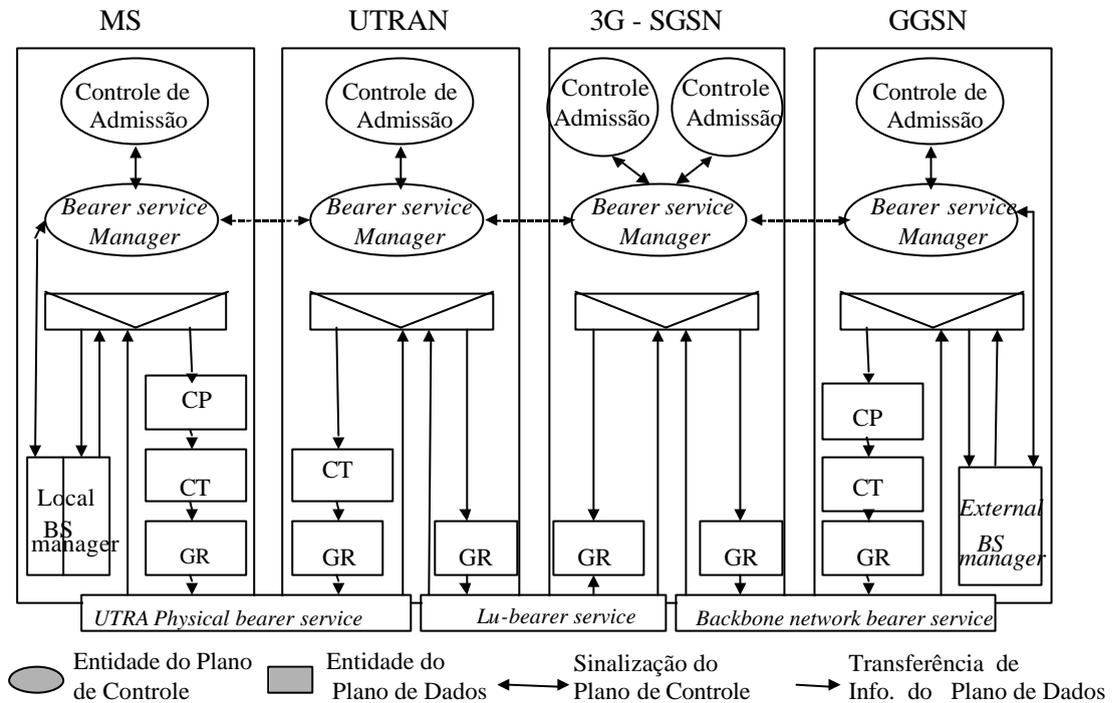


Figura 23. Componentes da arquitetura de QoS.

Para a provisão de QoS na rede núcleo, o UMTS pode basear-se na arquitetura de serviços diferenciados (*DiffServ*), utilizando as interfaces Iu e Gn para proporcionar às classes de tráfego de UMTS o PHB apropriado [39].

## Capítulo 4

### Serviços e Aplicações

---

#### 4.1 SMS (*Short Message Service*)

O SMS surgiu em 1991 na Europa, já incluído no padrão de segunda geração digital GSM. Na América do Norte, O SMS foi disponibilizado inicialmente nas redes digitais sem fio de pioneiros, como: *BellSouth Mobility* e *Nextel*. O SMS permite que o usuário envie e receba mensagens de texto de até 160 *bytes*[31].

O SMS ponto a ponto provê um mecanismo para transmissão de e para terminais móveis sem fio. O serviço utiliza um centro de SMS (SMSC – *Short Message Service Center*) que atua como um sistema *store and forward* para mensagens curtas. A rede sem fio provê o transporte das mensagens entre o SMSC e o terminal móvel. Ao contrário do serviço alfanumérico de *paging*<sup>7</sup>, os elementos do serviço são projetados para prover entrega garantida de mensagens de texto ao destino.

Uma característica importante deste serviço é que ele permite a um terminal móvel receber ou enviar a qualquer momento, independentemente de chamada de voz ou dados em andamento. Além disso, a entrega das mensagens é garantida pela rede. Falhas temporárias são identificadas e a mensagem curta é armazenada na rede até que o destino esteja novamente disponível.

##### 4.1.1 Elementos de Rede e Arquitetura

A estrutura básica da rede SMS é mostrada na Figura 24. A SME (*Short Messaging Entity*) é uma entidade que pode receber ou enviar mensagens curtas, podendo estar localizado na rede fixa, na estação móvel ou em outro centro de serviço. O SMSC é responsável pelo armazenamento e encaminhamento das mensagens curtas entre um SME e a estação móvel. O SMS-GMSC (*SMS Gateway MSC*) é um centro de comutação (MSC – *Mobile Switching Center*) capaz de receber uma mensagem curta de um SMSC, interrogar o HLR (*Home Location Register*) para obter informações de roteamento e entregar ao MSC da estação móvel. O SMS-IWMSC (*SMS Interworking MSC*) é um MSC capaz de receber mensagens curtas da rede móvel e submetê-las ao SMSC apropriado. Ambos, SMS-GMSC e SMS-IWMSC estão, tipicamente, integrados com o SMSC.

---

<sup>7</sup> Sistema unidirecional de mensagens utilizado para enviar avisos.

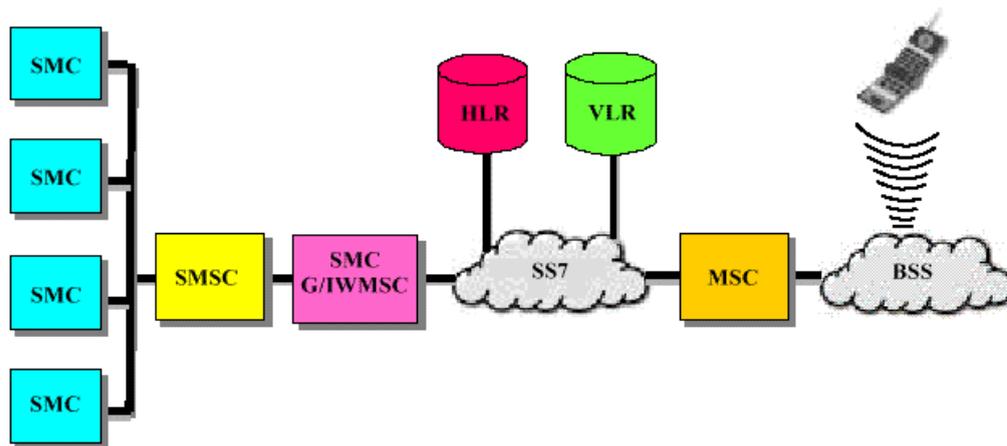


Figura 24. Elementos da Rede para o SMS.

#### 4.1.2 Serviços e Aplicações

O SMS compreende dois serviços ponto a ponto básicos:

- ✓ Mensagem curta originada no móvel (MO/SM – *Mobile Originated/Short Message*)
- ✓ Mensagem curta terminada no móvel (MT/SM – *Mobile Terminated/Short Message*)

Algumas das aplicações para a tecnologia SMS, utilizando MT-SM e MO-SM, são:

- ✓ Serviços de notificação: São atualmente os serviços SMS mais amplamente empregados. Exemplos de serviços de notificação utilizando o SMS incluem os seguintes: notificação de mensagens de voz/fax, que indicam que mensagens do correio de voz estão presentes em uma caixa postal de voz; notificação de *e-mail*, indicando a existência de mensagens na caixa postal de *e-mail*. Além desses, podem ser citados, serviços de calendário/lembretes, que avisam sobre reuniões e compromissos agendados.
- ✓ Serviços de informação: Uma variedade de serviços de informação podem ser providos via SMS, incluindo relatórios do tempo, informação de tráfego, informação de entretenimento e informações financeiras.

## 4.2 WAP – *Wireless Application Protocol*

O WAP é um padrão para aplicações de ambientes sem fio desenvolvido pelo WAP Forum, uma organização fundada em junho de 1997 pela Ericsson, Motorola, Nokia e *Unwired Planet* [33][34]. O objetivo básico do WAP Forum é trazer diversos conteúdos da Internet (páginas Web, *push services*) e outros serviços de dados (*stock quotes*) para os telefones celulares digitais e outros terminais móveis sem fio, como: PDAs (*Personal Digital Assistants*) e *Laptops*.

### 4.2.1 O Modelo WAP

O WAP faz uso do paradigma utilizado na Internet convencional. Para permitir o acesso sem fio ao espaço de informação oferecido pela WWW, o modelo WAP baseia-se em tecnologias bem conhecidas da Internet mas que foram otimizadas de modo a levar em consideração as restrições de um ambiente sem fio. Usando o mesmo modelo de

programação da WWW desenvolvedores podem obter vantagens no uso de ferramentas bem estabelecidas (ferramentas XML, servidores Web, etc.). A Figura 25 apresenta o modelo WAP.

Todo conteúdo é especificado em formatos similares aos formatos padrões da Internet. O conteúdo é transportado usando protocolos padrões no domínio WWW e um protocolo otimizado, similar ao HTTP, no domínio sem fio. Este modelo permite que todos os conteúdos e serviços sejam hospedados em servidores de aplicações tradicionais, que podem incorporar tecnologias testadas (como, CGI, ASP). Todo conteúdo é localizado usando URLs (*Universal Resource Locators*) padrões. Alguns dos padrões WWW são melhorados de modo a refletir as características da rede e dos dispositivos, adicionando suporte a serviços de rede móveis.

A arquitetura WAP herdou o paradigma cliente-servidor utilizado pela Internet. A principal diferença, entretanto, é a presença de um *gateway* WAP que faz a tradução entre HTTP e WAP, como mostrado na Figura 25.

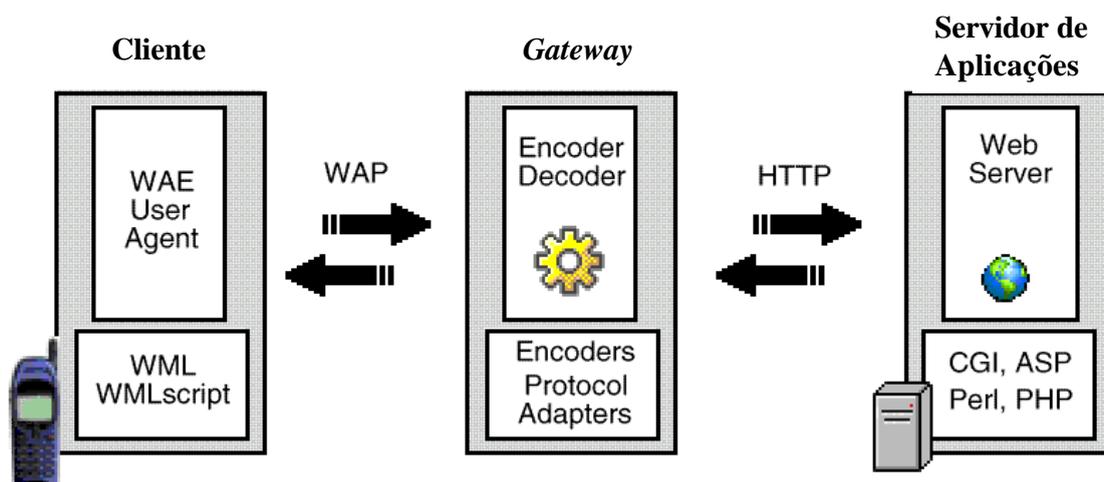


Figura 25. Modelo WAP.

A Figura 26 apresenta a arquitetura WAP com seus protocolos, comparando-a com a arquitetura típica da Internet. A base para a transmissão de dados corresponde a diferentes tecnologias. O WAP não especifica a tecnologia que o suporta, podendo usar tanto os serviços de dados existentes, como integrar serviços mais avançados. Como exemplos pode-se citar: SMS, GSM, CSD, HSCD, GPRS, entre outros.

A próxima camada de mais alto nível é a camada de transporte com o WCP (*Wireless Datagram Protocol*) e WCMP (*Wireless Control Message Protocol*), estes protocolos efetuam os mesmos serviços dos protocolos convencionais da Internet, UDP e ICMP, respectivamente, e são utilizados quando a tecnologia da camada inferior não suporta serviços IP.

A próxima camada provê vários níveis de segurança (para privacidade, integridade de dados e autenticação) utilizando o protocolo WTLS (*Wireless Transport Layer Security*), baseado no TLS, antigo SSL (*Secure Socket Layer*) usado na WWW. Na camada de transação, o WTP (*Wireless Transaction Protocol*) pode estar executando sobre o WDP ou, caso segurança seja requerida, sobre o WTLS, proporcionando requisições confiáveis ou não e transações assíncronas, como, busca de páginas Web.

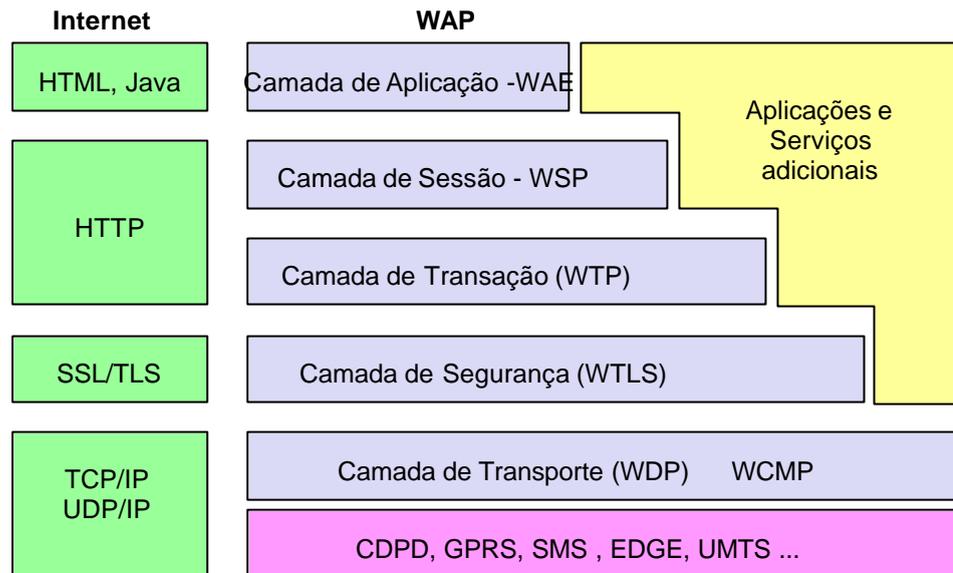


Figura 26. Pilha de Protocolos WAP vs. Pilha Internet.

#### 4.2.2 WML- *Wireless Markup Language*

A WML, linguagem utilizada para viabilizar a navegação, é baseada no HTML (*Hypertext Markup Language*) padrão e é especificada como um tipo de documento XML (*eXtensible Markup Language*). Documentos WML são constituídos de múltiplos *cards*. Estes *cards* podem ser agrupados em um *deck*. Um *deck* WML é similar a uma página HTML, no sentido de que é identificado por uma URL e é a unidade de transmissão de conteúdo. O código abaixo ilustra um *deck* WML.

```
<?xml version="1.0"? >
<!DOCTYPE wml PUBLIC "-//WAPFORUM//DTD WML 1.1//EN"
"http://www.wapforum.org/DTD/wml_1.1.xml">
<wml>
<card id="First_Card" title="First Card">
<p>
Hello World!
</p>
</card>
</wml>
```

### 4.2.3 WMLScript

WML oferece apenas a possibilidade de construção de conteúdos estáticos. *WMLScript* serve como um complemento ao WML, sendo baseada na linguagem *JavaScript*. *WMLScript* oferece as seguintes capacidades não suportadas pelo WML:

- ✓ Checagem da validade da entrada do usuário antes que seja enviada ao servidor, prevenindo, dessa forma, a transmissão de dados inválidos ao servidor.
- ✓ Acesso a facilidades do dispositivo tais como, calendário ou efetuar uma chamada telefônica.
- ✓ Métodos para interação com o usuário sem a ajuda do servidor de conteúdo, tais como, métodos para a apresentação de erros.

### 4.3 Serviços baseados em Localização

Serviços baseados em localização (LCS – *Location Based Services*) compreendem um conjunto de novas aplicações que utilizam a posição geográfica de um dispositivo móvel como, por exemplo, serviços de emergência, localização de restaurantes, o hospital mais próximo entre outras.

Estes serviços têm um grande potencial de sucesso pelo fato de servirem tanto aos usuários, quanto às operadoras de telecomunicações. Para os usuários, LCSs encontram demanda com a provisão de serviços mais personalizados e um aumento na conveniência da comunicação. Para as operadoras de telecomunicações, tais serviços ajudam no corte de

isolados, neste esquema, a rede provê informação complementar através de receptores GPS integrados, promovendo desta forma uma maior precisão na determinação da localização.

#### ✓ Solução Baseadas na Rede

CGI-TA (*Cell Global Identity with Time Advance*) usa a identidade de cada célula para localizar a célula na qual o usuário se encontra mais a informação complementar de TA (*Time Advance*), que corresponde a uma estimativa da distância (medida em incrementos de 550 m) do terminal móvel à estação base. A medida é baseada no atraso de acesso entre o início do *slot* de tempo e a chegada de rajadas do terminal móvel. Esta informação já está presente na rede e a precisão depende do tamanho da célula variando de 10 m (micro células dentro de prédios) até 500m (macro células). Este método funciona com os terminais existentes, além disso, para serviços onde a proximidade é uma informação desejável, como no caso da descoberta de um restaurante mais próximo, é um método barato e útil.

#### 4.3.2 Categorias de Serviços

Os serviços baseados em localização podem ser categorizados por tipo de aplicação. *Serviços de informação* utilizam um banco de informação que efetua a filtragem da informação de acordo com a posição relativa de um usuário e as aplicações que pertencem ao perfil deste usuário. Por exemplo, nesta categoria enquadram-se atrações e eventos que estão acontecendo próximos à localização atual do usuário. *Serviços de rastreamento* podem ser usados em situações de emergência onde há a necessidade de localizar rapidamente pessoas acidentadas ou para rastrear um carro roubado, e assim por diante. Aplicações de *Gerenciamento de Recursos* podem ser usadas para gerenciar frotas de ônibus, táxi ou uma equipe de funcionários de um serviço, por exemplo. *Aplicações de navegação* informam ao assinante qual a melhor forma para sair de um ponto A e alcançar um ponto B.

#### 4.3.3 Modelo Lógico para Serviços de Localização

A arquitetura sendo adotada por muitas operadoras e promovida por muitos vendedores de infra-estrutura provê uma solução elegante. Um componente chamado de centro de localização do móvel (*MLC – Mobile Location Center*) separa a seleção da tecnologia de localização da seleção da aplicação.

No modelo lógico de referência LCS, um cliente LCS solicita informação de localização sobre uma ou mais estações móveis alvo de um servidor LCS suportado por uma PLMN (*Public Land Mobile Network*). O servidor LCS, por sua vez, faz uso de tecnologias de posicionamento para obter a informação de localização e entregar a informação ao cliente LCS.

A solução da Ericsson para LCS [40] utiliza um MPC (*Mobile Positioning Center*) que é o *gateway* entre a rede móvel e as aplicações dependentes da localização, e equivale ao servidor LCS do modelo de referência LCS. O MPC calcula a posição de um terminal móvel com base na informação da rede e entrega-o à aplicação como ilustrado na Figura 27. A solução faz uso do MPP (*Mobile Positioning Protocol*), protocolo utilizado entre a aplicação e o MPS (*Mobile Positioning Server*). Neste exemplo, a aplicação é desenvolvida utilizando o WAP (*Wireless Application Protocol*).

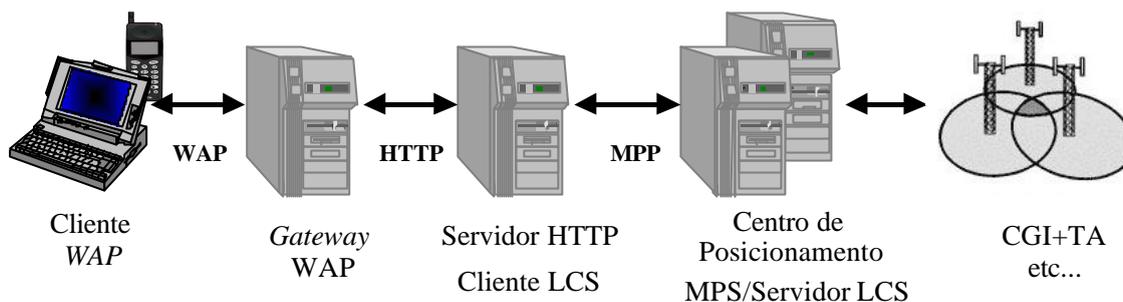


Figura 27. Exemplo de um Modelo para Serviços de Localização.

#### 4.4 VoIPoW – Voice over IP over Wireless

A terceira geração de sistemas celulares irá além dos serviços básicos de telefonia proporcionados pelos sistemas de 2G. Serviços com requisitos de tempo real como os que utilizam voz e vídeo, além de outras aplicações também sensíveis ao atraso como, sistemas de sinalização de tráfego, sensoriamento remoto, serão viáveis para os usuários móveis.

Dentre estas aplicações, a utilização de VoIP (*Voice over IP*) para ambientes sem fio, VoIPoW (*Voice over IP over Wireless*)[14], vem recebendo uma atenção considerável. O principal objetivo deste conceito é viabilizar o serviço de voz para a nova plataforma baseada em comutação de pacotes das redes de terceira geração e, ao mesmo, tempo manter a QoS que os usuários associam com as redes atuais que utilizam comutação por circuito, como o GSM.

O grande desafio para serviços como VoIPoW é alcançar qualidade comparável ao da telefonia básica e utilização eficiente do espectro. A utilização de pacotes IP na interface aérea ocasiona um *overhead* considerável nesta interface, o que vai de encontro ao objetivo da eficiência espectral. Basicamente, para obter uma eficiência espectral comparável a dos serviços de voz das redes celulares de segunda geração, pode-se caracterizar os pacotes de diferentes fluxos em termos de vazão e atraso com o intuito de utilizar um esquema de controle de admissão que acomode múltiplos usuários no espectro disponível. Além disso, métodos da minimização da quantidade de dados, tais como métodos de compressão de sinalização de sessão e compressão dos cabeçalhos RTP(*Real Time Protocol*)/UDP/IP podem permitir um melhor uso dos escassos recursos de rádio. Uma técnica para compressão de cabeçalhos IP é denominada ROCCO (*Robust Checksum-based header compression*) [41] e corresponde a uma proposta do IETF para compressão de cabeçalhos.

## Conclusão

---

A Internet Móvel surge como uma nova revolução na sociedade da informação, permitindo que, cada vez mais, informação e serviços possam estar disponíveis aos usuários sem as barreiras impostas pela necessidade de conexões físicas com a rede e, sobretudo, permitindo acesso às informações a qualquer momento e em qualquer lugar.

Os sistemas de 3G possibilitarão taxas de dados de até 2 Mbps, que são consideravelmente mais altas que as atuais taxas de 9,6 kbps dos sistemas de 2G, como o GSM. Espera-se que os sistemas de 3G sejam totalmente baseadas na comutação de pacotes utilizando o protocolo IP. Esta mudança dos atuais sistemas de 2G, como GSM e TDMA/IS-136, que utilizam comutação por circuitos, para sistemas de 3G (e. g., UMTS ) e 2.5G (e. g., GPRS) que utilizam comutação por pacotes, tem implicações importantes. Sistemas utilizando comutação por pacotes possibilitam ao usuário conexão permanente, removendo problemas de conexões canceladas e a inconveniência e atraso em ter que rediscar repetidamente para realizar uma transação de dados usando WAP, por exemplo. Além disso, os dados podem ser tarifados com base no volume e não mais com base no tempo de conexão, como é feito em redes que utilizam comutação por circuito.

Além das aplicações já existentes, novas aplicações que considerem os aspectos inerentes e as necessidades do usuários móveis podem ser viabilizadas com os sistemas de 3G e tecnologias associadas. Aplicações de comércio eletrônico móvel ou *m-commerce* (*mobile commerce*) têm um potencial muito grande para a Internet Móvel, por exemplo, compra de ingressos para o cinema ou teatro via um telefone celular. Estas aplicações, podem ainda obter benefícios, por exemplo, de serviços baseados em localização (*LCS – LoCation based Services*). As aplicações multimídia poderão ser viabilizadas com as bandas mais largas e com o suporte de QoS que deve fazer parte da arquitetura das redes de terceira geração. Contudo, o sucesso da Internet Móvel dependerá, em grande parte, do fato de haver aplicações e tecnologias que proporcionem conveniência às pessoas, facilitando suas vidas e tarefas diárias.

## Referências Bibliográficas

---

- [1] C. Andersson and P. Svensson. Mobile Internet—An Industry-Wide Paradigm Shift? Ericsson Review No. 04, 1999.
- [2] B. Leiner, V. Cerf, D. Clark, R. Kahn, L. Kleinrock, D. Lynch, J. Postel, L. Roberts, S. Wolff, A Brief History of the Internet, Communications of the ACM, Vol. 40, No. 2, pp. 102-108, February 1997.
- [3] L. Kleinrock. Information Flow in Large Communication Nets, RLE Quarterly Progress Report, July 1961. Disponível em <http://www.cs.ucla.edu/~lk>
- [4] B. Carpinter. Architectural Principles of the Internet. RFC 1958, June 1996.
- [5] J. Saltzer, D. Reed and D. Clark. End-to-End Arguments in System Design. ACM Transactions on Computer Systems, November 1984.
- [6] R. Kalden, I. Meirick and M. Meyer. Wireless Internet Access Based on GPRS. IEEE Personal Communication , April 2000.
- [7] A. S. Tanenbaum. Computer Networks. Prentice Hall, 3rd ed., 1996.
- [8] C. A. Kamienski e D. H. F. Sadok. Qualidade de Serviço na Internet. Mini-curso apresentado no XVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Maio de 2000. Disponível em <http://www.cin.ufpe.br/~cak/publications.html>
- [9] C. E. Perkins. Mobile IP. IEEE Communications Magazine. May, 1997.
- [10] ETSI - GSM 03.60. General Packet Radio Service. Service Description, 1998.
- [11] A. Furuskär, S. Mazur, F. Müller and H. Olofsson. EDGE: Enhanced Data Rates for GSM and TDMA/136 Evolution. IEEE Personal Communications, June 1999.
- [12] T. Ojanperä and R. Prasad. Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications. Artech House Publishers 1998.
- [13] U. Black Second Generation Mobile and Wireless Networks. Prentice Hall, 1999.
- [14] G. Eriksson, B. Olin, K. Svanbro and D. Turina. The Challenges of voice-over-IP-over-wireless. Ericsson Review No. 1, 2000.
- [15] A. Fasbender, F. Reichert, E. Geulen, J. Hjelm and T. Wierleman. Any Network, Any Terminal, Anywhere. IEEE Personal Communications, April 1999.
- [16] L. Harte, A. Smith, C. Jacobs. IS-136 TDMA Technology , Economics and Services. Artech House, 1998.
- [17] B. Badrimath and Talukdar. IPv6 + Mobile-IP + MRSVP = Internet Cellular Phone?. In Proc. of IFIP Int. Workshop on Quality of Service, May, 1997, pp. 49-52.
- [18] D. Goodman. Wireless Personal Communications Systems. Addison-Wesley, 1997.
- [19] B. Sarikaya. Packet Mode in Wireless Networks: Overview of Transition to Third Generation. IEEE Personal Communications. September 2000.
- [20] D. Chalmers and M. Sloman A Survey of Quality of Service in Mobile Computing Environments. IEEE Communications Survey, Vol. 02, No. 02, 1999.
- [21] V. Bharghavan and J. Mysore. Profile Based Next-Cell Prediction in Indoor Wireless LANs. In IEEE Singapore Int. Conference on Networking, 1997.
- [22] S. Choi and K. Shin. Predictive and Adaptive Bandwidth Reservation for Hand-offs in QoS-Sensitive Cellular Networks. In ACM SIGCOMM'98, Vancouver, British Columbia, September 1998.

- [23] D. Hong and S. Rappaport. Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures. IEEE Trans. on Veh. Tech., 35 (3): 77-92, August 1986
- [24] D. Levine, I. Akyildiz, and M. Naghshineh. Resource Estimation and Call Admission Algorithm for Wireless Multimedia using the Shadow Cluster Concept. IEEE/ACM Transactions on Networking, 5 (1): 1-12, February 1997.
- [25] G. Liu and G. Q. Maguire Jr. Efficient Mobility Management Support for Wireless Data Services. In Proceedings of 45<sup>th</sup> IEEE Vehicular Technology Conference (VTC'95), pages 902-906, July 1995
- [26] K. Seal and S. Singh. Loss profiles: A Quality of Service Measure in Mobile Computing. Wireless Networks, 2 (1):45-61, January 1996.
- [27] S. Singh. Quality of Service Guarantees in Mobile Computing. Journal Computer Communications, 19:359-371, 1996
- [28] X. Tian and C. Ji. QoS Provisioning with Distributed Call Admission Control Wireless Networks. In ICC 98, Atlanta, Georgia, June 1998.
- [29] S. Lu, V. Bharghavan and R. Srikant. Fair Scheduling in Wireless Packet Networks. In ACM SIECOMM'97, France, September 1997.
- [30] T. S. Eugene, I. Stoica and H. Zhang. Packet Fair Queueing Algorithms for Wireless Networks with location- dependent Errors. IEEE INFOCOM'98, March 1998.
- [31] G. Peersman, S. Cvetkovic, P. Griffiths and H. Spear. The Global System for Mobile Communications Short Message Service. IEEE Personal Communications , June 2000.
- [32] C. Keramane. Visions and Views: The Wireless World Web. IEEE Multimedia, April/June 2000.
- [33] WAP Forum. Wireless Application Protocol Architecture Specification, <http://www.wapforum.org>
- [34] Marcel Van Der Heijden Understanding Wap : Wireless Applications, Devices, and Services. Artech House 2000.
- [35] R. Braden, D. Clark, S. Shenker. RFC 1633 - Integrated Service in the Internet Architecture: An Overview. IETF 1994.
- [36] S. Blake *et al.*, RFC 2475 - An Architecture for Differentiated Services. IETF 1998.
- [37] H. Zhang. Service Disciplines For Guaranteed Performance Service in Packet-Switching Networks, Proceedings of the IEEE, 83(10), Oct 1995.
- [38] L. Zhang, S. E. Deering, D. Estrin, S. Shenker and D. Zappala. RSVP: A New Resource ReSerVation Protocol. IEEE Network Magazine, vol. 9 n<sup>o</sup> 5, September, 1993.
- [39] R. Koodli and M. Puuskari. Supporting Packet-Data QoS in Next Generation Cellular Networks. IEEE Communications Magazine. February, 2001.
- [40] G. Swedberg. Ericsson's Mobile Location Solution. Ericsson Review, n<sup>o</sup> 04, 1999.
- [41] L-E. Jonsson, M. Degermark, H. Hanm and K. Svandro. Robust Checksum-based header compression. Internet Draft – draft-jonsson-robust-hc-03.txt (*work in progress*). Ericsson Research 2000.