

# SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MÓVEL DE TERCEIRA GERAÇÃO

Dayani Adionel Guimarães  
INATEL  
e-mail: dayani@inatel.br

## RESUMO

Esse *tutorial* apresenta uma visão geral sobre os sistemas de comunicação móvel de terceira geração, denominados simplesmente de 3G. Os atributos almejados pela 3G são citados e são apresentadas as principais características das interfaces de rádio (RTTs) propostas à ITU para o padrão global IMT-2000. São também apresentadas as principais implementações tecnológicas da 3G, a composição final da família de interfaces de rádio do IMT-2000 e o caminho de evolução dos atuais sistemas de segunda geração em direção à 3G. O cenário de padronização do IMT-2000 é abordado, mostrando a inter-relação entre os vários organismos envolvidos, sendo ainda listadas algumas recomendações já disponíveis. Finalmente são feitas algumas indicações de documentos sobre a 3G no Brasil e alguns comentários sobre os sistemas além da 3G.

## ABSTRACT

*This tutorial presents an overview of the third generation (3G) communication systems. The overview includes the main requirements aimed for these systems, the technology that will be used by the 3G, the main characteristics of the Radio Transmission Technologies (RTTs) proposed for evaluation by the ITU for the IMT-2000, an overview of the radio interfaces of the IMT-2000 family of systems and the evolution path from the current second generation systems towards the third generation ones. The tutorial also shows the standardization scenario for the IMT-2000 showing the relationship among the organizations involved and giving a summarized list of the related recommendations already available. Some information about the 3G in Brazil are also presented and some aspects of the systems beyond the 3G are considered.*

## I. INTRODUÇÃO

As Comunicações Móveis [Gui98] têm representado e irão representar importante papel no cenário de

desenvolvimento econômico global. É esperado que os sistemas de terceira geração (aos quais se atribuiu a sigla 3G) colaborem de forma decisiva para reduzir a distância tecnológica que existe entre os países desenvolvidos e aqueles em desenvolvimento – na reunião de aprovação das interfaces de rádio para o sistema 3G IMT-2000 [R6872], realizada em Helsinque, Finlândia, de 20 de outubro a 5 de novembro de 1999, o secretário geral da ITU, Sr. Yoshio Utsumi disse: “*It is particularly important to narrow the telecommunications gap between developing and developed countries, as we move to the 21<sup>st</sup> century where timely access to information will be essential for economic progress*” (é particularmente importante estreitar a distância nas telecomunicações entre os países em desenvolvimento e aqueles desenvolvidos, enquanto nos movemos em direção ao século 21 no qual o acesso à informação na hora certa será essencial para o progresso econômico). Quiçá esse desenvolvimento econômico esteja associado também a um desenvolvimento social que diminua ou outro *gap*: o da desigualdade social...

Os acessos sem fio aos serviços de telecomunicações têm demonstrado um crescimento assustador nos últimos anos. Prevê-se que estes acessos irão exceder os acessos fixos convencionais por volta do ano 2010 [Sin00]. É surpreendente perceber que em apenas 20 anos os acessos sem fio irão alcançar a penetração de mercado atingida em cerca de 100 anos pelos serviços de acesso fixo convencional [ITU00]. Um dos grandes motivadores desse crescimento é a Internet. Antes dos anos 90 predominava a necessidade pelo chamado acesso básico (serviços de voz e, em alguns casos, fax). A partir dos anos 90, a explosão na popularização da Internet está rapidamente mudando esse paradigma. Os usuários necessitarão, nesse novo cenário, não somente dos serviços de voz e fax, mas também *e-mail*, áudio em tempo real, imagens e multimídia, acessíveis com qualidade a qualquer momento e de qualquer parte do mundo. Os serviços variarão desde comércio eletrônico (*e-commerce*), passando pelo acesso a informações pessoais e de negócios até entretenimento, tudo isso podendo ser realizado em movimento!

Esse *tutorial* apresenta-se organizado da seguinte maneira: o item II apresenta a divisão dos sistemas de comunicação móvel nas gerações 1, 2 e 3. O item III mostra a visão do

que se espera da terceira geração e de seus atributos principais. O item IV aborda as principais funções das principais implementações tecnológicas que serão utilizadas na 3G. O item V apresenta uma descrição sucinta sobre as RTTs propostas à ITU para composição da interface de rádio do padrão global IMT-2000 em sua componente terrestre e satélite e o item VI apresenta as interfaces de rádio aprovadas pela ITU que irão compor a família de sistemas IMT-2000. O item VII ilustra como os principais sistemas de segunda geração (TDMA GSM, TDMA IS-136 e CDMA IS-95) sofrerão modificações no sentido de evoluírem em direção à terceira geração, atendendo aos requisitos impostos para o IMT-2000. No item VIII é apresentado o cenário de padronização do IMT-2000; a divisão de responsabilidades dentro da ITU é mostrada e são listadas várias das recomendações sobre o IMT-2000 já disponíveis. Dados sobre o panorama da terceira geração no Brasil são apresentados no item IX e o item X conclui o presente trabalho com alguns comentários sobre a evolução dos sistemas de comunicação móvel além do IMT-2000 e a tecnologia BLUETOOTH, a implementação de FWA via IMT-2000 e a configuração HAPS. No item XI é apresentado um glossário de abreviações contidas no texto e o item XII contém uma extensa lista das referências bibliográficas utilizadas na composição desse *tutorial*.

O principal objetivo desse trabalho foi o de oferecer ao leitor um texto que pudesse agrupar e relacionar os principais temas referentes à terceira geração de sistemas de comunicação móvel de forma que assim se possa ter uma visão, que seja incompleta pela vastidão das informações já disponíveis, mas que seja clara o suficiente e fundamentada em um sólido conjunto de referências bibliográficas de tal sorte que o leitor possa realizar estudos mais aprofundados a partir das referências citadas e consiga entender um pouco mais sobre o futuro das comunicações móveis em todo o mundo. Para que se conheça detalhes técnicos sobre os tópicos aqui abordados recomenda-se que o leitor lance mão das referências bibliográficas citadas ao longo do texto.

## II. GERAÇÕES DOS SISTEMAS CELULARES

Os sistemas de comunicação móvel que utilizam o conceito de cobertura celular, tanto terrestre quanto via satélite, deverão ser a base para o que se espera dos sistemas *wireless* do futuro.

Apesar do grande número de sistemas celulares existentes em todo o mundo eles podem ser agrupados em três grandes famílias:

- Sistemas de 1ª Geração, 1G – sistemas analógicos (exemplo: AMPS, ETACS, NTT, NMT, C450); anos 80.

- Sistemas de 2ª Geração, 2G – sistemas digitais (exemplo: D-AMPS, GSM, DCS-1800, PCS-1900, CDMA IS-95); anos 90.
- Sistemas de 3ª Geração, 3G – sistemas digitais (IMT-2000, UMTS); primeira operação prevista para 2001 (pela NTT DoCoMo, Japão).

Uma síntese sobre vários sistemas celulares e *cordless* de primeira e segunda geração e sistemas de comunicação móvel via satélite pode ser encontrada em [Gui98], bem como uma extensa lista de referências bibliográficas sobre o assunto. Algumas considerações sobre a evolução dos sistemas de comunicação móvel 3G além do IMT-2000 podem ser encontradas em [Sin00] e [Ada00].

É comum ouvirmos também falar de sistemas 2,5G. Esse termo se refere aos sistemas celulares com serviços e taxas adicionais àquelas oferecidas pelos sistemas 2G, porém ainda não caracterizados como 3G. Os PCSs (*Personal Communication Services*) se enquadram nessa categoria, sendo esses serviços oferecidos principalmente através de versões melhoradas dos atuais (2G) sistemas celulares operando nas bandas destinadas aos serviços PCS, bandas essas que diferem de país para país (no Brasil a banda escolhida para os serviços PCS está na faixa de 1,8 GHz)<sup>1</sup>. Pode-se então interpretar PCS como uma extensão dos sistemas celulares 2G, em bandas distintas daquelas utilizadas pelos celulares 2G e oferecendo serviços de maior valor agregado que os sistemas celulares 2G.

Já os sistemas de comunicação móvel via satélite não apresentam claramente um subdivisão em gerações. O que pode ser notado, contudo, é que a operação comercial da maior parte desses sistemas coincidiu e coincide com a segunda geração dos sistemas celulares.

Um cuidado deve ser tomado quando são analisadas iniciativas de certos fabricantes e organismos de padronização em disponibilizar no mercado versões melhoradas dos sistemas 2G, com denominações similares (ou até idênticas) àquelas referentes à terceira geração. Vale ressaltar que, como já citado, a primeira disponibilização de um sistema realmente 3G está prevista para acontecer no Japão, em 2001 (pela NTT DoCoMo), seguida pelos Estados Unidos e Europa, em 2002 [Sin00].

Essa antecipação de alguns serviços previstos aconteceu também com o PCS. Originalmente PCS era a sigla para Serviços de Comunicação Pessoal e não Sistemas de Comunicação Pessoal. O conceito sobre os serviços de comunicação pessoal marcou, no início dos anos 90, um dos primeiros movimentos preocupados com os futuros sistemas de comunicações móveis, tendo sido inclusive um dos impulsionadores das idéias referentes aos sistemas 3G.

<sup>1</sup> Uma das principais diferenças em termos de concepção entre o PCS e os sistemas 3G se refere ao *roaming* global almejado pela 3G e não considerado como elemento chave no PCS. Além dessa diferença podem ser citadas as faixas de frequência distintas e também o fato de PCS ser melhor definido como um serviço e não como um sistema.

A FCC (*Federal Communications Commission*) assim definiu PCS: uma ampla gama de serviços de rádio-comunicação que engloba comunicação móvel e comunicação fixa auxiliar, que fornece serviços para pessoas fora e dentro dos ambientes de trabalho e que pode ser integrada com uma variedade de redes concorrentes [Pan00]. Dessa forma os serviços PCS seriam oferecidos tanto por sistemas macro-celulares (*high tier*), similares ao TDMA IS-136, ao CDMA IS-95 e ao TDMA GSM, quanto por sistemas micro-celulares (*low tier*) similares ao CT2, ao DECT, ao PACS e ao PHS [Gui98], em faixas de frequência diferentes daquelas já alocadas aos sistemas celulares e *cordless* convencionais. A partir daí se intensificaram os esforços de forma que fossem padronizados, desenvolvidos e implementados em todo o mundo sistemas de comunicação móvel para operação nas bandas PCS. Entretanto, o que de fato ocorreu foi a adaptação de sistemas celulares e *cordless* para operação nessas bandas e com serviços adicionais àqueles previstos para os sistemas originais. Houve então a primeira grande antecipação de um sistema e seus serviços através da evolução e adaptação de outros sistemas e serviços. Não é exatamente isso que está acontecendo em relação à 3G?

### III. VISÃO SOBRE A TERCEIRA GERAÇÃO

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

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

O ITU elaborou então um conjunto de requisitos de tal forma que pudessem ser apresentadas propostas para as tecnologias de transmissão via rádio (RTTs, *Radio Transmission Technologies*) candidatas a compor o conjunto de especificações para o futuro padrão mundial de sistema de comunicação móvel 3G [R1225], [ITUlet]. A esse sistema foi inicialmente dado o nome de FPLMTS (*Future Public Land Mobile Telecommunication System*), com o objetivo de atender tanto aos usuários fixos (FWA –

*Fixed Wireless Access*, ou WLL – *Wireless Local Loop*) quanto móveis, em redes públicas e privadas. Posteriormente o nome FPLMTS foi modificado para IMT-2000<sup>2</sup> (*International Mobile Telecommunications – 2000*) [R6872], nome este que é mantido e reconhecido até hoje.

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

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

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

Para permitir cobertura e *roaming* global o IMT-2000 contará com a componente terrestre e a componente via satélite, atendendo aos usuários pico-celulares em interiores (*indoor* ou *in-building*), micro e macro-celulares em exteriores (*outdoor*) e em regiões remotas com cobertura global via satélite. As velocidades de movimentação dos terminais irão de velocidades de pedestres (cerca de 10 km/h) a mais de 250 km/h, com taxas de transmissão de dados dependentes dessas velocidades e que variam de cerca de 144 kbit/s para terminais em alta velocidade em ambientes externos a 2 Mbit/s para terminais em velocidades de pedestres ou fixos em ambientes internos. A Tabela 1 sintetiza alguns dados sobre os ambientes de operação, taxas atingíveis e qualidade de serviço esperada para o IMT-2000.

---

<sup>2</sup> A citada alteração se deve ao fato da sigla IMT-2000 ser mais facilmente pronunciável que FPLMTS. O número 2000 foi adicionado à sigla para indicar que os serviços oferecidos pelo IMT-2000 se iniciariam por volta do ano 2000, em torno da faixa principal de 2000 MHz.

É esperado que os usuários possam receber os serviços oferecidos pelo IMT-2000 independente de sua localização geográfica, com qualidade comparável àquela fornecida pelas redes com fio, sendo essa qualidade influenciada apenas pelos limites impostos por cada ambiente de operação. A esse conceito dá-se o nome de VHE (*Virtual Home Environment*). O VHE está associado ao conceito de serviços UPT (*Universal Personal Telecommunication*) [ITU93] que utilizam as facilidades oferecidas pelas Redes Inteligentes (IN, *Intelligent Network*) [Pan00, p. 4, 235] para oferecer mobilidade pessoal (*Personal Mobility*) aos usuários finais. Por mobilidade pessoal entende-se a entrega de serviços e tarifação baseada em um número pessoal associado a cada usuário, de tal forma que o mesmo perfil de serviços seja oferecido ao usuário independente de sua localização [Pan00, p. 3].

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

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

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

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

O IMT-2000 na verdade será composto por uma família de especificações [Pan00], [Rrspc], conforme abordado no item VI desse texto, especificações estas que atenderão aos requisitos da 3G. Os usuários dessa família de sistemas 3G deverão conviver com terminais multi-modo e multi-banda, capazes de permitir o *roaming* global de forma transparente. Tais terminais, desenvolvidos com modernas técnicas de processamento digital, futuramente deverão ter suas interfaces de rádio configuradas automaticamente (*software radio*), dependendo das características da rede utilizada e das condições do ambiente de propagação a cada momento.

No que diz respeito às faixas de frequência de operação, em fevereiro de 1992 a WARC (*World Administrative Radio Conference*) identificou 230 MHz nas bandas de 1.885 – 2.025 MHz e 2.110 – 2.200 MHz em caráter mundial para uso pelo IMT-2000, incluindo as bandas de 1.980 – 2.010 MHz e 2.170 – 2.200 MHz para a componente satélite.

Japão e Europa basicamente seguiram essa atribuição de frequências para sistemas FDD. Lá, na parte mais baixa do espectro, sistemas como o DECT e o PHS estão em operação. A FCC (*Federal Communication Commission*) dos Estados Unidos alocou uma grande parte do espectro definido pela WARC 1992 para sistemas PCS e muitos dos países das Américas seguiram as recomendações da FCC. Na China grande parte do espectro destinado ao IMT-2000 já está sendo utilizada por sistemas WLL.

Devido à grande penetração projetada para os serviços PCS e a crescente demanda esperada pelos serviços móveis em todo o mundo, o TG 8/1 (substituído pela WP 8F<sup>3</sup>) da ITU concluiu que seria necessária a atribuição de faixas adicionais para expansão do IMT-2000 para atender a regiões de alta demanda por tráfego. Essa expansão corresponderia a 2 x 31.5 MHz para o ano 2005 e 2 x 67 MHz para 2010. A WARC 2000 definiu essa expansão através das faixas de 806 – 890 MHz, 1.710 – 1.885 MHz e 2.500 – 2.690 MHz para a componente terrestre [Wrc00a], [Wrc00b] e 1.525 – 1.544 MHz, 1.545 – 1.559 MHz, 1.610 – 1.626,5 MHz, 1.626,5 – 1.645,5 MHz, 1.646,5 – 1.660,5 MHz e 2.483,5 – 2.500 MHz para a componente satélite [Wrc00c]. Embora essas faixas adicionais possibilitem a expansão do IMT-2000 no futuro, o problema de coexistência com faixas de operação de outros sistemas de comunicação em várias partes do mundo ainda permanecerá.

Torna-se importante citar que a ANATEL atribuiu as faixas de 1.885 – 1.900 MHz, 1.950 – 1.980 MHz e 2.140 – 2.170 MHz para uso pelo IMT-2000. Essas faixas coincidem com grande parte daquelas atribuídas na WARC de 1992.

Um outro ponto importante a considerar se refere à natureza assimétrica dos dados que predominantemente trafegarão pelas redes 3G, necessitando de maior capacidade no link direto que no link reverso e, por consequência, atribuições assimétricas de banda<sup>4</sup>.

Observando as faixas de frequência escolhidas para o IMT-2000 pode-se notar que elas são significativamente mais

<sup>3</sup> A WP 8F foi criada recentemente, tendo sido anunciada pela ITU por meio da Carta-Circular 8/LCCE/74, de 3 de dezembro de 1999, substituindo o antigo TG 8/1, que foi extinto. Sua missão é conduzir os trabalhos relacionados com o IMT-2000 e sistemas mais avançados.

<sup>4</sup> Vale ressaltar que as técnicas de múltiplo acesso TDMA e CDMA permitem que seja implementada assimetria nas taxas dos links direto e reverso sem a necessidade de destinar faixas assimétricas de frequências. Essa tarefa é um tanto mais complexa no TDMA que no CDMA.

altas que aquelas utilizadas pela maioria dos sistemas de segunda geração (abaixo de 1 GHz). Esse fato antecipa uma dificuldade maior no planejamento e implantação dos sistemas 3G, pois a influência dos obstáculos entre transmissor e receptor torna-se mais significativa e leva à necessidade de utilização de ferramentas de predição de cobertura e análise de interferências mais precisas e bases de dados com maior resolução<sup>5</sup>. E além da limitação por interferências inerente aos sistemas com estrutura celular, principalmente devido ao reuso de frequências, os sistemas 3G terão também maior limitação de potência que os de segunda geração, devido às condições de propagação<sup>6</sup> nessa faixa de frequências serem mais severas que em faixas de frequência mais baixa.

#### IV. A TECNOLOGIA DA 3G

São notáveis as evoluções tecnológicas percebidas nos vários campos da ciência, merecendo destaque aquelas ocorridas com as telecomunicações. Esse item procura apresentar algumas técnicas que, apesar de em vários casos terem sido pesquisadas e desenvolvidas há muito tempo, somente puderam ser implementadas devido aos avanços tecnológicos dos dias atuais. Essas técnicas, novas ou não, viabilizarão a implementação daqueles atributos e características previstas pela visão sobre a terceira geração dos sistemas de comunicação móvel. Outras técnicas aqui não mencionadas, muitas das quais se encontrando ainda em estágio embrionário de pesquisa, associadas àquelas utilizadas na 3G, continuarão a suportar o avanço das telecomunicações além da terceira geração.

O modo de transmissão por comutação de circuitos predominante nas atuais redes celulares dará lugar ao modo de transmissão por comutação de pacotes, modo esse compatível com a rede mundial e seu protocolo IP (*Internet Protocol*). Apenas recordando, em um serviço de transmissão de dados por comutação de circuitos é necessário o estabelecimento de uma conexão antes que os dados sejam transferidos da fonte ao destino. Trata-se portanto de um serviço orientado a conexão. O modo de transmissão de dados por comutação de pacotes se refere ao processo de roteamento e transferência de dados através de pacotes endereçados de tal forma que um canal seja ocupado somente durante a transmissão do pacote. Pacotes consecutivos podem trafegar por caminhos diferentes na rede de acordo com o roteamento imposto a cada pacote.

<sup>5</sup> Para que estruturas como construções e vegetação possam ser levadas em conta na predição de cobertura e análise de interferências para o planejamento de um sistema celular, torna-se necessário que as informações topográficas na forma digital tenham *grids* mais estreitos.

<sup>6</sup> Em [Jac94] pode-se encontrar relevantes e clássicas colaborações ao estudo da propagação em canais de rádio móvel. A ITU também possui importantes recomendações relacionadas à propagação em sistemas de comunicação ponto-a-ponto e ponto-área. Veja também o Apêndice 1 de [R1225]. Lá podem ser encontrados modelos de propagação incluindo modelos para perdas e desvanecimento em vários ambientes.

Nos sistemas 3G deverá também haver um deslocamento da forma de tarifação atual, predominantemente baseada em tempo de conexão, para técnicas de tarifação baseadas no tipo de mídia transportado e/ou no volume de tráfego gerado pelo usuário.

Os protocolos de compatibilização do conteúdo da Internet com os terminais móveis, como o WAP (*Wireless Application Protocol*); o transporte de voz sobre redes IP, VoIP (*Voice over IP*) e o transporte de tráfego IP sobre redes ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), ou sobre redes WATM (*Wireless ATM*) são termos que deverão passar a serem comuns na terceira geração de sistemas de comunicações móveis.

Outras técnicas serão responsáveis por uma interface de rádio capaz de suportar os serviços almejados para os sistemas 3G e além da 3G e, conseqüentemente, as elevadas taxas necessárias. Dentre elas podem ainda ser citadas:

- ❑ Equalização no domínio do tempo e do espaço.
- ❑ Antenas adaptativas.
- ❑ Potentes esquemas de codificação de canal.
- ❑ Alocação de banda por demanda.
- ❑ *Software Radio*.
- ❑ Evolução da tecnologia de semicondutores.

A equalização no domínio do tempo e do espaço (*Space-Time domain Equalization*) combina estruturas de equalização adaptativa temporal como as do tipo Linha de Atrasos com Derivações (TDL, *Tapped Delay Line*) [Pro95], [Hay95] com arranjos espaciais de antenas, tendo como principal objetivo a redução da interferência de multipercursos (*Multipath Interference*) [Tur80] e a interferência intersimbólica [Hay01].

O uso de antenas adaptativas se presta tanto na implementação da equalização no domínio do tempo e do espaço quanto para o cancelamento de interferências. Nessa última função, um arranjo de antenas é controlado de forma adaptativa objetivando maximizar a intensidade de irradiação (ganho) na direção desejada e minimizar esse ganho na direção das fontes de interferência. O padrão de irradiação do arranjo é então dinamicamente conformado de tal sorte que a relação entre a potência de sinal desejado e a potência de sinal interferente seja maximizada. É importante ressaltar que os elementos chave desse processo são o algoritmo de adaptação e a implementação do arranjo. Numa primeira e simplificada análise, quanto mais eficaz o algoritmo, mais complexo e de execução demorada ele se torna; e quanto mais elementos compõem o arranjo de antenas, mais eficaz é o processo de cancelamento de interferências e direcionamento do feixe. Existem várias referências sobre esse assunto já disponíveis, mas em caráter *tutorial* recomenda-se trabalhos clássicos como [God97], [App76] e [Wid67].

Claude E. Shannon [Sha48] demonstrou que, adicionando redundância controlada à informação, poder-se-ia reduzir a quantidade de erros na recepção, produzidos pelo ruído, a um patamar tão pequeno quanto se quisesse, desde que a taxa de transmissão estivesse abaixo da capacidade do canal, essa determinada por um limite conhecido por limite de Shannon [Gal68], [Pro95], [Wic95]. A codificação de canal é justamente o processo através do qual essa redundância é adicionada à informação de modo a permitir a detecção e correção de erros. O termo “redundância controlada” está relacionado à restrição das possíveis seqüências de bits de informação na recepção. Tendo uma seqüência detectada um padrão diferente das possíveis seqüências, o decodificador de canal “procura” dentre elas a seqüência que mais se assemelha à seqüência detectada. Essa semelhança é obtida através da correta utilização de critérios de decisão, sendo que os mais conhecidos são o critério do máximo *a-posteriori* (MAP, *Maximum a-posteriori*) e o de máxima verossimilhança (ML, *Maximum Likelihood*) [Lee94]. Ambos têm como objetivo minimizar o erro de decisão sobre os bits transmitidos.

Hoje existem vários esquemas de codificação de canal que levam um sistema de comunicação a um desempenho muito próximo da capacidade do canal. Dentre eles destacam-se os Códigos Turbo, apresentados pela primeira vez em [Ber93]. Para mais detalhes sobre codificação de canal recomenda-se consultar, dentre outras referências: [Sha48], [Gal68], [Pro95] e [Wic95].

Os vários tipos de mídia que serão suportados pelo IMT-2000 com suas diferentes taxas e qualidades de serviço (QoS, *Quality of Service*) impõem algum tipo de alocação de banda por demanda (exemplo: [Ami94]) e diferentes níveis de proteção da informação, respectivamente. Os diferentes níveis de proteção podem ser atingidos com a mudança do esquema de codificação de canal em função da QoS imposta por cada serviço oferecido. A alocação de banda por demanda permitirá que um usuário ocupe uma largura de faixa equivalente<sup>7</sup> que será função do serviço utilizado a cada instante. Quanto maior a taxa de transmissão necessária para esse serviço, mais banda será disponibilizada. Por exemplo, um usuário que estiver utilizando o sistema apenas para tráfego de voz irá ocupar uma banda significativamente menor que aquele que estiver necessitando do transporte de informações de vídeo conferência. A alocação por demanda de canais código e o uso de fatores de espalhamento espectral variáveis (VSF, *Variable Spreading Factor*) nos sistemas CDMA e a alocação de *slots* temporais por demanda nos sistemas TDMA serão os principais responsáveis por atender a esse tráfego multi-taxas de tal sorte que a utilização dos recursos de rádio seja otimizada e a capacidade do sistema seja maximizada.

<sup>7</sup> O termo largura de faixa equivalente é aqui utilizado para chamar a atenção para o fato de que em um sistema TDMA uma variação equivalente de banda é conseguida às custas da alocação de um número variável de *slots* por quadro a um usuário.

O termo *software-radio* carrega em sua definição uma vasta gama de possibilidades. De maneira geral pode-se entender essa técnica como aquela responsável por uma configuração via *software* de elementos da interface de rádio dos sistemas de comunicação, tais como técnica de múltiplo acesso, modulação e codificação de canal. Essa configuração por *software* permitirá a adaptação da interface às condições do ambiente e ao tipo de informação por ela transportada. As principais vantagens de um *software-radio* incluem (mas não se limitam a) [Cat98]: (1) flexibilidade devido à configuração da interface de rádio por *software* e não por *hardware*; (2) repetibilidade e precisão; (3) invariabilidade com o tempo e condições ambientais; (4) capacidade de implementação de sofisticadas funções a custos relativamente reduzidos e (5) custos de implementação e dimensões cada vez mais reduzidos, conforme permite a evolução da tecnologia de semicondutores marcada pela evolução na escala de integração (VLSI, *Very Large Scale Integration*) e a evolução dos processadores digitais de sinais (DSPs, *Digital Signal Processors*).

O vantagem (5) citada no parágrafo anterior na verdade representa um dos grandes impulsionadores e responsáveis pelos maiores avanços nas comunicações sem fio. O processo de miniaturização, o aumento na densidade de empacotamento, o aumento na capacidade de processamento e a diminuição no consumo de potência são fatores que viabilizarão cada vez mais as implementações tecnológicas que suportarão as contínuas evoluções nos sistemas de comunicação de terceira geração e além da terceira geração.

A evolução tecnológica nos processos de armazenamento de energia tem também grande impacto na evolução dos sistemas de comunicações móveis [Sin00]. Infelizmente essa evolução não tem ocorrido em velocidade compatível com os demais itens desses sistemas: enquanto a velocidade de processamento de CPUs dobra a aproximadamente cada 18 meses, a densidade de energia das baterias levou quase 35 anos para que fosse duplicada – esse fato terá grande impacto nas dimensões e na portabilidade dos futuros terminais. No dias de hoje, as baterias representam quase que metade do volume e do peso dos equipamentos portáteis.

Um outro quesito também importante a se considerar nos sistemas de comunicação é a segurança e o sigilo. O IMT-2000 se valerá de modernas técnicas de criptografia e de autenticação dos usuários de forma a evitar fraudes. Apesar dos processos de criptografia já serem amplamente empregados nos sistemas 2G e a autenticação já ser parte de todo estabelecimento de uma chamada nesses sistemas, pode-se dar destaque a essas implementações no padrão GSM. O SIM (*Subscriber Identity Module*) utilizado no GSM é um cartão que contém a identificação completa do usuário, chaves de código de privacidade e outras informações específicas sobre o usuário e os serviços por

ele contratados. O SIM pode ter a forma de um cartão de crédito ou de um *plug-in* com dimensões aproximadas de 1,5 cm x 1,5 cm que é conectado ao terminal GSM. Sem o SIM o terminal fica inoperante. É possível que os sistemas 3G utilizarão algum tipo de SIM com propósitos de segurança, identificação e armazenamento do perfil de serviços do usuário.

Merecem ainda destaque os esforços de pesquisa e desenvolvimento dos processos de codificação de voz e imagem. Esses processos, baseados nos princípios de codificação de fonte, procuram reduzir o grau de redundância contido nos sinais de voz e imagem e assim representar esses sinais na forma digital a taxas tão pequenas quanto possível, maximizando a eficiência de utilização do espectro nos sistemas de comunicação via rádio. A solução de compromisso entre complexidade, consumo, taxa e inteligibilidade são importantes condições de contorno para a evolução desses processos. Grandes são os avanços alcançados até o momento e, certamente, num futuro não muito distante, outros ainda maiores virão à tona.

O enorme desafio nesse início de século 21 será prover todos esses novos serviços com todas essas tecnologias através de sistemas de comunicação móvel inter-operáveis e com cobertura global.

## V. RTTs PROPOSTAS PARA O IMT-2000

Uma RTT em um sistema de telecomunicações reflete a combinação de tecnologias e conceitos associados a um sub-sistema de transmissão via rádio. Um sistema de telecomunicações é governado por condições ambientais/de mercado e regulatórias; causando impactos nesse ambiente/mercado e permitindo medidas de desempenho e de satisfação dos clientes. Esse sistema é composto basicamente pelas entidades [R1225]: gerenciamento da qualidade, satisfação de clientes, rede de gerenciamento das telecomunicações (TMN), infra-estrutura de rede e tecnologia de transmissão via rádio (RTT). A RTT combina os seguintes elementos:

- ❑ Técnicas de acesso, duplexação e modulação;
- ❑ Codificação de canal e *interleaving*;
- ❑ Parâmetros do canal de RF tais como largura de faixa, alocação e espaçamento de frequências;
- ❑ Estrutura de canal físico e de multiplexação e
- ❑ Estrutura de quadro.

Outros detalhes sobre essas definições podem ser obtidos na Rec. ITU-R M.1225 [R1225].

Muitas diferentes propostas de RTTs foram submetidas à ITU. O UWCC (*Universal Wireless Communication Consortium*) e outras organizações ligadas à evolução do

padrão DECT, e da tecnologia TDMA de um modo geral, submeteram planos de tal forma que as RTTs fossem baseadas em múltiplo acesso TDMA. Todas as outras propostas para a componente terrestre do IMT-2000 foram baseadas em CDMA faixa larga, sendo as principais o cdma2000 e o W-CDMA. Membros do ETSI e aqueles ligados à evolução do padrão GSM, incluindo fornecedores de infra-estrutura como Nokia e Ericsson, optaram pelo W-CDMA. A comunidade Americana defensora do CDMA, encabeçada pelo CDG (*CDMA Development Group*) e incluindo fornecedores de infra-estrutura como a Qualcomm e Lucent Technologies, optaram pelo cdma2000.

Como já mencionado, para cobertura global o IMT-2000 contará com as componentes terrestre e satélite. As componentes terrestre e satélite são complementares, com a componente terrestre oferecendo cobertura em áreas com densidade populacional considerada adequada em termos econômicos (tipicamente áreas de grande densidade populacional) e a componente satélite oferecendo cobertura nas outras áreas do globo (áreas com baixa densidade populacional e/ou pontos de difícil acesso).

## RTTs DA COMPONENTE TERRESTRE

A componente terrestre do IMT-2000 deverá possuir, basicamente, a configuração típica dos sistemas celulares atuais em uma arquitetura também típica contendo os principais elementos:

- ❑ Estação de rádio base (BS, *Base Station*) (em certos casos com funções distribuídas entre um controlador de estações base (BSC, *Base Station Controller*) e uma estação transceptora (BTS, *Base Transceiver Station*), como nos sistemas GSM);
- ❑ Central de comutação e controle (MSC, *Mobile Switching Center*);
- ❑ Registro de localização de visitantes (VLR, *Visitor Location Register*);
- ❑ Registro de localização de residentes (HLR, *Home Location Register*);
- ❑ Centro de autenticação (AuC, *Authentication Center*); etc..

As MSCs deverão possuir interfaces para conexão com a PSTN, com a RDSI e outras redes de dados e com uma rede de sinalização (exemplo ANSI-41 e/ou GSM MAP evoluídas). Pontos dessa rede de comunicação móvel terrestre deverão servir como pontes (*gateways*) com a rede satélite do IMT-2000, possibilitando cobertura e *roaming* global.

Os parágrafos a seguir descrevem sucintamente as principais características das RTTs propostas à ITU para

componente terrestre do IMT-2000. Detalhes sobre cada uma delas podem ser obtidos em [ITU99a].

**RTT DECT** – O padrão DECT (*Digital Enhanced Cordless Telephony*) é um dos mais bem aceitos no mercado mundial. Trata-se não simplesmente de um sistema *cordless* convencional, mas de uma técnica de acesso com suporte para conexão do usuário a vários tipos de redes (GSM, RTPC, RDSI, X.25, AMPS, NMT, TACS, LAN e MAN conforme IEEE 802). Dessa forma o DECT difere de um sistema de comunicação móvel típico, para o qual as especificações abrangem toda a rede. No DECT as redes pública e local não fazem parte do escopo dessas especificações. Somente a interface de rádio, aplicações e os protocolos de interconexão são objetos de especificação do padrão. A RTT DECT foi proposta pelo ETSI para operação em ambientes interiores, exteriores pedestres até 500 m e exteriores WLL até 10 km.

**RTT UWC-136** – Trata-se de uma interface de rádio para a componente terrestre do IMT-2000 proposta pelo sub-comitê técnico TR45.3 da TIA (USA) e baseada em múltiplo acesso TDMA. Essa RTT corresponde a uma evolução do padrão EIA/TIA/136 de segunda geração. Dentre as implementações tecnológicas dessa proposta destacam-se: alocação de banda por demanda, códigos Turbo, diversidade na transmissão, antenas adaptativas na estação base e na estação móvel, saltos em frequência e temporais (*frequency and time hopping*), codificação de canal no domínio do tempo e do espaço (*space-time coding*) e supressão de interferências. Além de canais de 30 kHz, o UWC-136 suportará canais de 200 kHz (*outdoor*, veicular) e 1,6 MHz (*indoor*).

**RTT WIMS W-CDMA** – A RTT para a componente terrestre do IMT-2000 WIMS W-CDMA (*Wireless Multimedia & Messaging Service W-CDMA*) foi proposta pelo comitê TR46.1 da TIA com o propósito de harmonização com as propostas do ETSI e ARIB, com bandas de 5, 10 e 20 MHz. A técnica de múltiplo acesso utilizada é o WCDMA [Mil00] com espalhamento por seqüência direta (DS-SS) no link direto e reverso para o WIMS FDD e WCDMA no link direto e S-TDMA (*Statistical Time-Division Multiplexing*) no link reverso para o WIMS TDD. O WIMS não prevê a utilização de grande parte das tecnologias previstas para as outras RTTs, apenas podendo ser destacadas: antenas adaptativas e alocação dinâmica de *slots*.

**RTT TD-SS-CDMA** – Proposta pela CATT (*China Academy of Telecommunication Technology*), essa RTT para a componente terrestre do IMT-2000 corresponde a uma combinação de múltiplo acesso TDMA e CDMA Síncrono (SS-CDMA). A banda mínima para operação do sistema é de 1,4 MHz, sendo que a banda total necessária depende do planejamento e desdobramento do sistema e das exigências dos usuários. Técnicas como antenas inteligentes, códigos Turbo, diversidade temporal e

em frequência, *software radio* e o próprio CDMA Síncrono são destaques dessa proposta.

**RTT W-CDMA** – Proposta pela ARIB (Japão) para compor a parte terrestre do IMT-2000, essa RTT é baseada em múltiplo acesso WCDMA síncrono ou assíncrono, com bandas suportadas de 1,25; 5; 10 e 20 MHz e operação TDD ou FDD. Dentre as implementações tecnológicas de destaque na RTT W-CDMA podem ser citadas: diversidade no link direto, técnicas de localização de terminais (*positioning function*)<sup>8</sup>, cancelamento de interferências, antenas adaptativas, VSF e multi-códigos de espalhamento (*multi-code*)<sup>9</sup> e codificação de canal Turbo.

**RTT W-CDMA II** – Essa proposta de interface de rádio para a componente terrestre do IMT-2000, baseada na técnica WCDMA assíncrona, foi feita pela TTA da Korea do Sul e denominada por essa proponente de Global CDMA II. Segundo a TTA a operação assíncrona aliviaria as dificuldades de operação e desdobramento do sistema. Dentre as principais implementações tecnológicas da proposta destacam-se: fatores de espalhamento variáveis (VSF) em bandas de 1,25; 5; 10 e 20 MHz, transmissão de dados por comutação de circuitos e de pacotes nas taxas exigidas pela ITU, cancelamento de interferências, codificação de canal múltipla.

**RTT UTRA** – A RTT UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access*), bastante similar à RTT W-CDMA da ARIB Japonesa, foi proposta pelo SMG/SMG2 do ETSI para a componente terrestre do IMT-2000 e corresponde à iniciativa Européia para a formulação da interface aérea do sistema de terceira geração UMTS. Essa RTT é baseada em múltiplo acesso WCDMA e W-C/TDMA (ambos com espalhamento por seqüência direta, DS-SS) e possui uma subdivisão de acordo com o modo de duplexação proposto: UTRA TDD (múltiplo acesso W-C/TDMA) e UTRA FDD (múltiplo acesso WCDMA). A banda mínima para operação TDD é de 1 x 5 MHz e para operação FDD é de 2 x 5 MHz. As bandas de canal podem ser de 5, 10 ou 20 MHz, dependendo da taxa de dados requerida. As implementações tecnológicas de destaque são: codificação de canal Turbo, antenas adaptativas, diversidade na transmissão, detecção multi-usuários (*multi-user detection*), códigos de espalhamento múltiplos (*multi-code*) e espalhamento fixo ou código de espalhamento único e VSF, técnicas de localização de terminais (*position location*). Outras informações detalhadas sobre as RTTs UTRA FDD e UTRA TDD podem ser encontradas em [Pra00].

<sup>8</sup> O Capítulo 9 de [Pra00] apresenta alguns detalhes sobre as técnicas de determinação das coordenadas de uma estação móvel (*mobile station positioning*).

<sup>9</sup> Na transmissão multi-códigos um link consiste de múltiplos canais físicos dedicados e representados, cada um, por um código de espalhamento distinto dos demais.

**RTT NA W-CDMA** – Essa RTT foi proposta pelo ETSI, sendo desenvolvida através de uma colaboração entre o T1P1 dos Estados Unidos, a ARIB do Japão e o próprio ETSI Europeu. Trata-se de uma interface baseada na tecnologia WCDMA com espalhamento por seqüência direta (DS-SS-SS) e em consonância com a RTT UTRA de forma que os requisitos definidos para evolução da família dos sistemas PCS-1900 rumo à 3G sejam atendidos. Dentre as implementações tecnológicas de destaque estão previstas a transmissão de dados por comutação de pacotes, antenas adaptativas, diversidade na transmissão, operação TDD e FDD e espalhamento variável (VSF) em bandas de aproximadamente 5, 10 e 20 MHz.

**RTT CDMA2000** – Trata-se de uma interface de rádio para a componente terrestre do IMT-2000 proposta pelo TR45.5 da TTA (USA) e baseada em múltiplo acesso faixa larga WCDMA. Essa RTT corresponde a uma evolução do padrão EIA/TIA/95 de segunda geração<sup>10</sup>. O cdma2000 utiliza CDMA com espalhamento espectral por seqüência direta (DS-SS-SS) e prevê a operação com 1, 3, 6, 9 e 12 portadoras (MC, *Multi Carrier*) em função da taxa de dados necessária, em bandas de 1, 3, 6, 9 e 12 x 1,25 MHz.

**RTT W-CDMA I** – Denominada Global CDMA I (*Multiband Synchronous Direct-Sequence CDMA*), pela proponente TTA da Korea, essa RTT corresponde à componente terrestre do IMT-2000. Essa RTT prevê a operação com estações CDMA síncronas, possuindo opção para operação não síncrona, em bandas de 1,25; 5 e 20 MHz. Dentre as principais implementações tecnológicas da proposta destacam-se: antenas inteligentes, cancelamento de interferências, codificação de canal múltipla e VSF.

## RTTs DA COMPONENTE SATÉLITE

A componente satélite do IMT-2000 será composta por um conjunto de interfaces, conforme prevê a Rec. ITU-R M.[IMT.RSPC] [Rrspc]:

- ❑ Interface do link de serviço (*service link interface*) – entre uma estação móvel terrestre (módulo satélite ou terminal de usuário) e a estação espacial (satélite);
- ❑ Interface do link alimentador (*feeder link interface*) – entre as estações espaciais e estações terrenas. Essa interface está fora do escopo de padronização do IMT-2000 e pode utilizar frequências fora das faixas identificadas para o IMT-2000 pela WARC 92 e WARC 2000;
- ❑ Interface do link inter-satélite (*inter-satellite link interface*) – entre duas estações espaciais. Trata-se

de uma interface opcional (dependente do tipo de sistema). Essa interface também está fora do escopo de padronização do IMT-2000;

- ❑ Interface com a rede principal (*core network interface*) – entre uma estação terrena e a rede principal. Não se trata de uma interface de rádio, mas tem influência direta no projeto e especificação das interfaces de rádio satélite no cenário de compatibilidade global de operação;
- ❑ Interface terminal satélite / terrestre (*satellite / terrestrial terminal interface*) – entre os módulos satélite e terrestre dentro de um terminal de usuário. Também não se trata de uma interface de rádio. É opcional, sendo necessária apenas nos terminais que possuem ambos os módulos para comunicação via rede terrestre e via rede satélite no IMT-2000.

Os parágrafos a seguir descrevem sucintamente as principais características das RTTs propostas à ITU para componente satélite do IMT-2000. Detalhes sobre cada uma delas podem ser obtidos em [ITU99a].

**RTT K SAT-CDMA** – Essa RTT foi proposta pela TTA (Korea) e corresponde à componente satélite do IMT-2000. Os 49 satélites LEO do sistema SAT-CDMA oferecem cobertura praticamente global, com melhores condições em regiões do planeta com maior densidade populacional. Dentre as implementações tecnológicas de destaque no sistema SAT-CDMA destacam-se o uso de diversidade de satélites de ordem 2 com combinação de máxima razão (MRC, *Maximal Ratio Combining*) e com ganhos iguais (EGC, *Equal Gain Combining*) [Jac94] e compensação do efeito *Doppler* através de técnicas de estimação de frequências. Cada satélite do sistema possui arranjos de antenas com 37 feixes e cada feixe transmite 3 portadoras com banda de 10 MHz por portadora.

**RTT SW-CDMA** – Proposta pela ESA (*European Space Agency*), a RTT SW-CDMA corresponde à componente satélite do IMT-2000, com técnica de múltiplo acesso WCDMA no link do terminal móvel para a estação satélite. Essa proposta possui grande similaridade com a RTT UTRA. As taxas de dados suportadas vão até 144 kbit/s e as implementações tecnológicas de destaque dessa interface são: antenas adaptativas no link direto, cancelamento de interferências, codificação de canal dependente da classe do serviço oferecido e VSF. A largura de faixa de cada canal de RF pode ser de 2,5 ou 5 MHz e as órbitas suportadas para os satélites do sistema podem ser LEO, MEO, HEO ou GEO.

**RTT SW-CTDMA** – A RTT SW-CTDMA foi também proposta pela ESA, para a componente satélite do IMT-2000. Trata-se de uma interface híbrida CDMA/TDMA de faixa larga (W-C/TDMA), uma espécie de CDMA de faixa larga janelado (*slotted*). Dentre as implementações tecnológicas de destaque podem ser citadas: duplexação híbrida FDD/TDD, cancelamento de interferências,

<sup>10</sup> O cdmaOne representa uma das iniciativas de evolução do padrão TIA/EIA/95 conforme proposta do cdma2000 [CDG00].

diversidade de satélites, VSF e multiplexação C/TDM (*Code and Time Division Multiplexing*). A máxima taxa de dados suportada pela interface é de 64 kbit/s e são suportadas as órbitas LEO, MEO, HEO e GEO para os satélites.

**RTT ICO** – O sistema ICO, proposto pela empresa ICO Global Communications (Reino Unido) tem o propósito de oferecer aos usuários em qualquer ponto da terra acesso aos serviços de telecomunicações. A RTT ICO integra uma componente satélite com redes terrestres, possuindo, dentre outros tipos, terminais portáteis. O sistema roteia o tráfego de redes terrestres através de estações terrenas, chamadas SANs (*Satellite Access Nodes*), as quais selecionam o satélite por onde a chamada será encaminhada. Essas SANs atuam como a interface primária entre os satélites e as redes terrestres. O tráfego de um terminal de usuário é roteado através da constelação de satélites ICO para a rede terrestre fixa ou móvel apropriada ou para outro terminal móvel ICO. Os satélites do sistema ICO são conectados à rede terrestre chamada ICONET, rede esta que interconecta 12 SANs localizadas em todo o mundo. Cada SAN consiste de estações terrenas com múltiplas antenas para comunicação com os satélites, equipamentos de comutação e bases de dados. Previa-se que a maioria dos terminais de usuário do sistema ICO seria portátil, com operação dual (satélite e terrestre). Esses terminais, além de outros atributos, suportariam transmissão de dados, serviços de mensagens, fax e o uso de cartões inteligentes (*smartcards*). A tecnologia utilizada no sistema ICO permitiria também que os terminais operem em condições de mobilidade veicular, aeronáutica e marítima, assim como terminais fixos (FWA).

**RTT HORIZONS** – A RTT Horizons foi proposta pela Inmarsat e corresponde à componente satélite do IMT-2000. O objetivo principal almejado pela Inmarsat foi o de ter uma RTT independente dos serviços oferecidos e do tipo de tráfego necessário. O sistema Horizons possui uma constelação de 3 satélites geo-estacionários (GEO) para oferecer cobertura global a terminais multimídia, conforme objetivos definidos para o IMT-2000. Os terminais seriam do tipo *laptop* ou *palmtop* conectados a uma pequena unidade de comunicação contendo uma antena direcional. Esses terminais operariam a taxas de dados de até 144 kbit/s para usuários fixos (FWA) e/ou móveis (inclusive em aeronaves). O sistema também suportaria serviços de voz e fax e transmissões de dados a taxas mais elevadas através da agregação de canais rádio e serviços de localização dentro da precisão normal oferecida pelo sistema GPS (em torno de 100 m).

As Tabelas 2 e 3 apresentam um sumário sobre as RTTs propostas à ITU para composição do IMT-2000 [ITU99a].

Um sumário com dados sobre as várias propostas referentes ao IMT-2000 e os organismos envolvidos na Europa, EUA e Ásia pode ser encontrado em [Pan00, p.209].

Proposta	Descrição	Ambiente				Fonte
		Interior	Pedestre	Veicular	Satélite	
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications	DECT				ETSI Project (EP) DECT
UWC-136-R6a UWC-136-R6b	Universal Wireless Communications	UWC-136				USA TIA TR 45.3
WIMS W-CDMA	Wireless Multimedia and Messaging Services Wideband CDMA	WIMS W-CDMA				USA TIA TR 46.1
TD-SCDMA	Time-Division Synchronous CDMA	TD-SCDMA				China Academy of Telecommunication Technology (CATT)
W-CDMA	Wideband CDMA	W-CDMA				Japan ARIB
CDMA-II	Asynchronous DS-SS-CDMA	W-CDMA II				S. Korea TTA
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access	UTRA (W-CDMA & TD-CDMA)				ETSI SMG2

Tabela 2 – RTTs propostas para o IMT-2000.

Proposta	Descrição	Ambiente				Fonte
		Interior	Pedestre	Veicular	Satélite	
NA: W-CDMA	North American: Wideband CDMA	NA: W-CDMA				USA T1P1-ATIS
CDMA 2000	Wideband CDMA (IS-95)	CDMA 2000				USA TIA TR 45.5
CDMA I	Multiband synchronous DS-SS-CDMA	W-CDMA I				S. Korea TTA
SAT-CDMA	49 LEO sats in 7 planes at 2000 km				K-SAT-CDMA	S. Korea TTA
SW-CDMA	Satellite wideband CDMA				SW-CDMA	ESA
SW-CTDMA	Satellite wideband hybrid CDMA/TDMA				SW-CTDMA	ESA
ICO RTT	10 MEO sats in 2 planes at 10390 km				ICO RTT	ICO Global Communications
Horizons	Horizons satellite system				HORIZ ONS	Inmarsat

Tabela 3 – RTTs propostas para o IMT-2000 (continuação).

## VI. AS INTERFACES DE RÁDIO DO IMT-2000

Tanto as especificações das interfaces da componente terrestre quanto da componente satélite do IMT-2000 foram extraídas direta ou indiretamente das propostas de RTTs feitas à ITU (10 propostas para componente terrestre e 5 para a componente satélite), apresentadas no item V desse *tutorial*. Para que o leitor possa obter um conjunto mais extenso de informações sobre cada interface, recomenda-se que sejam somadas às informações contidas nesse item aquelas já citadas no item V, de acordo com as RTTs que serviram de base para as interfaces de rádio definidas e apresentadas a seguir. Outras informações referentes àquelas interfaces que correspondem a evoluções de interfaces de segunda geração podem também ser somadas àquela citadas nesse item. Essas informações estão sintetizadas no item VII.

As interfaces de rádio da componente terrestre são identificadas como:

- IMT-2000 CDMA *Direct Spread* (IMT-DS);
- IMT-2000 CDMA *Multi-Carrier* (IMT-MC);

- ❑ IMT-2000 CDMA *TDD* (IMT-TC);
- ❑ IMT-2000 TDMA *Single-Carrier* (IMT-SC) e
- ❑ IMT-2000 FDMA/TDMA (IMT-FT), também conhecido como ITM-2000 TDMA *Multicarrier*.

Estas interfaces estão relacionadas às propostas de RTTs para o IMT-2000 da seguinte forma:

- ❑ UTRA FDD (com tecnologia WCDMA) para o IMT-DS;
- ❑ cdma2000 (com tecnologia WCDMA) para o IMT-MC;
- ❑ UTRA TDD e TD-SCDMA (com tecnologia WCDMA e W-C/TDMA) para o IMT-TC;
- ❑ UWC-136 (com tecnologia TDMA) para o IMT-SC e
- ❑ DECT (com tecnologia TDMA) para o IMT-FT.

As interfaces da componente satélite (SRI, *Satellite Radio Interface*) do IMT-2000 são discriminadas por letras de A a F (SRI-A, SRI-B, ..., SRI-F), contendo ainda a descrição da interface principal (CNI, *Core Network Interface*). A SRI-A é também conhecida por SW-CDMA. A SRI-B é conhecida também por W-C/TDMA. A SRI-C tem também o nome de SAT-CDMA. As interfaces SRI-D e SRI-E não possuem outras denominações. A SRI-F tem também a denominação de Satcom2000.

Nos parágrafos seguintes é apresentada uma visão geral sobre alguns aspectos técnicos dessas várias interfaces de rádio que compõem a família de sistemas IMT-2000. Essa abordagem está fundamentada essencialmente na recomendação ITU-R M.[IMT.RSPC] [Rrpsc]. A Rec. ITU-R M.[IMT.RSPC] foi desenvolvida tendo como base os resultados de avaliação e elementos de consenso a partir da Rec. ITU-R M.[IMT.RKEY] [Rrkey], procurando minimizar o número de diferentes interfaces e maximizar seus aspectos comuns e ao mesmo tempo incorporar os melhores atributos de cada proposta em relação ao desempenho do sistema nos vários ambientes de operação considerados (veja item IV).

### **IMT-2000 CDMA DIRECT SPREAD (IMT-DS)**

A interface IMT-DS foi definida a partir da proposta de RTT UTRA FDD para a componente terrestre do IMT-2000, com técnica de múltiplo acesso CDMA faixa larga (WCDMA) e espalhamento por seqüência direta (DS-CDMA).

As especificações dessa interface são desenvolvidas pelo 3GPP, com participação das Organizações para Desenvolvimento de Padrões (SDOs, *Standards Development Organizations*) ARIB, CWTS, ETSI, T1 da TIA e TTC. As especificações da rede são baseadas em um protocolo que corresponde a uma evolução do GSM MAP, incluindo a possibilidade de operação em redes baseadas na evolução do protocolo ANSI-41.

A banda ocupada é de aproximadamente 5 MHz a uma taxa de *chips* de 3,84 Mcps e duração de quadro de 10 ms. Essa interface suporta uma ampla gama de serviços, incluindo aqueles que operam com comutação de circuitos (exemplo: serviços baseados na RTPC e RDSI) e com comutação de pacotes (exemplo: aqueles baseados em redes IP). Diferentes serviços como voz, dados e multimídia podem ser oferecidos a um usuário, multiplexados em uma única portadora. O transporte de dados pode ser efetuado no modo transparente e no modo não transparente<sup>11</sup> e a QoS pode ser ajustada em termos de atraso, taxa de erro de bit ou taxa de erro de quadro.

A referência [Rrpsc] apresenta detalhes sobre essa interface e uma extensa lista de documentos já disponíveis, suas datas de publicação, suas versões, suas localizações em *Web Sites* da Internet (quando pertinente), os órgãos padronizadores e o *status* de cada documento (publicado, aprovado, etc.).

### **IMT-2000 CDMA MULTI-CARRIER (IMT-MC)**

A interface IMT-MC foi definida a partir da proposta de RTT cdma2000 (componentes 1X RTT e 3X RTT) para a parte terrestre do IMT-2000, com técnica de múltiplo acesso CDMA faixa larga (WCDMA) e espalhamento por seqüência direta (DS-CDMA). A duplexação utilizada é FDD, tendo os canais quadros de 5, 10, 20, 40 e 80 ms. As organizações padronizadoras compõem o 3GPP2 (ARIB, CWTS, TIA, TTA e TTC).

Como já mencionado, essa interface corresponde à evolução da família de padrões TIA/EIA-95 e as especificações de rede são baseadas numa evolução do ANSI-41, com compatibilidade necessária para operação em redes baseadas na evolução do atual protocolo GSM MAP.

A interface IMT-MC suportará serviços de voz e dados por comutação de pacotes e de circuitos, simultaneamente ou não, incluindo controle de QoS de acordo com o serviço oferecido.

As larguras de faixa dos canais de RF podem ser de  $N \times 1,25$  MHz, onde  $N$  é função da taxa de espalhamento espectral e também corresponde ao número de portadoras utilizadas. Atualmente  $N = 1$  (1X RTT) e  $N = 3$  (3X RTT) estão especificados, podendo ser posteriormente estendidos para  $N = 6, 9$  e  $12$ . Para as taxas de espalhamento 1 e 3 existem 6 configurações da interface para o link reverso e 9 para o link direto, mantendo a compatibilidade com

<sup>11</sup> Aqui o modo transparente é aquele onde os dados do usuário não sofrem nenhuma proteção adicional pela interface. No modo não transparente é implementada codificação de canal (ou similar) nos dados do usuário.

sistemas TIA/EIA-95-B conforme especificado na norma TIA/EIA/IS-2000-A [TIA00a].

Os diferentes números de portadoras (ou taxas de espalhamento) dependem da taxa de dados requerida. Essa operação com multiplexadoras também facilita a implementação de sistemas IMT-MC em faixas espectrais já ocupadas por sistemas TIA/EIA/95. A essa sobreposição de sistemas é dado o nome de *overlay*.

A referência [Rrpsc] apresenta detalhes sobre essa interface de publicação, suas versões, suas localizações em *Web Sites* e o *status* de cada documento (publicado, aprovado, etc.).

### IMT-2000 CDMA TDD (IMT-TC)

A interface IMT-TC foi definida a partir das propostas de RTTs UTRA TDD e TD-SCDMA para a componente terrestre do IMT-2000, com técnica de múltiplo acesso CDMA faixa, 2epresg, 2eprese CDMA combin, 2epredo com TDMA faixa, 2epre a (WCDMA e W-C/TDMA) e espalhamento por seqüência direta (DS-SS).

As especificações dessa interface são desenvolvidas pelo 3GPP, com participação das organizações ARIB, CWTS, ETSI, TTA e TTC. As especificações da rede

evolução das redes GSM MAP, in, 6.1(c) - 11.2(u) 6.1(i) 0.8(n, 6.1(d) - 5.9(o) - 5.9(a) - 5.9(o) - 5.9(ssib) - 5.9(ilid) - 5.9(ad) - 5.9(e)] TTT 0.0042 T

aspectos comuns e inter-operáveis (*high commonality*) com a RTT UTRA FDD. Na interface IMT-TC, às características da RTT UTRA TDD são somadas as características da proposta TD-SCDMA de formman, 9.2(t) 3.9(er)] TJ0 - 1.1446 TD0.0029 Tc0.0001 Tw[(ta) - 11.1(m) 21.7(b) - 3.1(é) - 11.1(r

Há duas versões de taxas de *chips* nessa interface: no componente UTRA TDD tem-se um espalhamento

espectral é de aprox, 9.8(i) - 7.5(m) 22.6(a) 1.9(da) - 10.2(m) 22.6(e) - 10.2(n, 9.8(t) 4.5(e) 1,6 MH) 3.1(z (@) 9( 1,28 Mcps) 7.4(.)) TTT 0.0028 Tc serviços, in, 9.3(cluin, 9.3(do aqu) 9.3(e) 1.4(les) 6.9( qu) 9.3(e) opera) - 10.7(m) 22.1( ) - 12.1(co) - 14.8(m) 22.1( ) - 12.1(co) - 14.8(m) 10(u) - 2.7(taq modo transparente e no modo não transparente e a QoS pode sersajustada em termos de atraso, taxa de erro de bit ou taxa de erro de quadro.

A referência [Rrpsc] apresenta detalhes sobre essa interface e uma extensisa de documentosa disíveis suas

### INGLE-CARRIER (IMT-SC)

Desenvolvida pelo TR45.3 da TIA com colaboração do UWCC, essa in, 8(ter) - 14.4(f) 9.7(ace é es) 5.6(pecificada a partir evolução do padrão TIA/EIA-136 com o objetivo de mnter alto grau de aspectos comns com o serviço GPRS e atender gradativamente aos requisitos do IMT-2000. A in, 8.6(terf) 10.3(ace ) 12(IMT) - 13.1(-) 10.3(S) - 7.5(C) 6.9( ) 12(as) 6.2(s) [TIA00b].

A estratégia de evolução da tecnologia do padrão 136 em direção à terceira geração consiste em in, 8.3(cre) - 11.7(m) 9(entar kbit/s) e alta m136HS *Outdoor*) e adicionar um comente com canaisz para transmissio de dados as ain, 6.8(d) - 5.2(a ) - 12(m) 19.6(a) - 1.1(i) - 10.5(s) 4.4( ele) - 13.2(v in, 9.2(terf) 10.9(ace ) 12.1(IMT) - 12.5(-) 10.9(S) - 6.9(C) 7.5(, ) 12.1(des

definidas por um conjunto de padrões do ETSI correspondentes ao sistema DECT.

A interface IMT-FT utiliza múltiplo acesso TDMA e duplexação TDD, suportando taxas de 1,152 Mbit/s, 2,304 Mbit/s e 3,456 Mbit/s em conexões simétricas, assimétricas, orientadas ou não a conexão e taxas variáveis até 2,88 Mbit/s por portadora.

Como citado no item V, as redes pública e local não fazem parte do escopo das especificações da interface IMT-FT. Somente a interface de rádio, aplicações e os protocolos de interconexão são objetos de especificação. O padrão é transparente ao tipo de serviço oferecido por ser considerado apenas uma tecnologia de acesso.

O espaçamento entre as portadoras do IMT-FT é de 1,728 MHz, com quadros de 10 ms e 12 *slots* duplos, 24 *slots* completos ou 48 *slots* ocupados pela metade na estrutura TDMA. As modulações previstas são a GFSK,  $\pi/2$ -DBPSK,  $\pi/4$ -DQPSK e  $\pi/8$ -D8PSK, dependendo da taxa de dados necessária.

A referência [Rrspc] apresenta detalhes sobre a interface IMT-FT e uma extensa lista de documentos já disponíveis, suas datas de publicação, suas versões, suas localizações em *Web Sites* da Internet (quando pertinente), os órgãos padronizadores e o *status* de cada documento (publicado, aprovado, etc.).

A maior parte das interfaces de rádio da componente terrestre do IMT-2000 são implementadas com tecnologia CDMA. Dentre elas destacam-se as baseadas nas propostas W-CDMA e cdma2000. Estas duas vertentes tendem a ser as mais utilizadas comercialmente para os sistemas 3G [Sin00].

Existem similaridades e diferenças entre o W-CDMA e o cdma2000, mesmo sendo ambos baseados em CDMA faixa larga (WCDMA). As principais similaridades são [Sin00]:

- ❑ Detecção coerente em ambos os links;
- ❑ Controle de potência rápido em ambos os links;
- ❑ Espalhamento CQPSK em ambos os links;
- ❑ VSF para possibilitar maiores taxas;
- ❑ Operação com taxa de dados variável com estimação cega de taxa para serviços de voz;
- ❑ Sequências Walsh ortogonais de comprimento variável para caracterização do link direto;
- ❑ Códigos de embaralhamento não ortogonais baseados em sequências PN no link reverso;
- ❑ Códigos base do tipo convolucional e previsão para uso de códigos Turbo em taxas elevadas; e
- ❑ *Handoff* inter-freqüências (*hard handoff*) assistido pelo terminal móvel (MAHO).

As principais diferenças entre o W-CDMA e o cdma2000 são comentadas a seguir [Sin00]:

- ❑ A taxa de *chips* do W-CDMA (4,096 Mcps) foi selecionada principalmente em consideração à compatibilidade com sistemas GSM e PDC. A taxa de espalhamento do cdma2000 (3,6864 Mcps) é diretamente derivada da taxa de *chips* do IS-95. Enquanto com 4,096 Mcps espera-se atingir maior capacidade em bandas de 5 MHz, a situação se reverte em bandas de 10 e 20 MHz, nas quais a taxa de 3,6864 Mcps permite maior capacidade.
- ❑ A duração de quadro do W-CDMA (10 ms) foi selecionada para reduzir o atraso na transmissão fim-a-fim, mas pode degradar o desempenho do processo de demodulação devido à necessidade de menores intervalos de entrelaçamento temporal (*interleaving*) quando comparada com os quadros de 20 ms do cdma2000. Uma opção de quadros com 20 ms para o W-CDMA resolverá esse problema. Quadros de maior duração também possuem menor porcentagem de *overhead* em termos de bits de cauda dos processos de codificação convolucional e CRC.
- ❑ A operação síncrona do cdma2000 permite maior velocidade no processo de “procura” de estações base pelos terminais móveis (*cell search*) e também leva a uma maior economia de bateria e confiabilidade durante os processos de *soft-handoff*. Contudo, o modo síncrono requer sistemas de base de tempo globais, como o sistema GPS, que podem não estar disponíveis em alguma situação.

## SRI-A (SW-CDMA)

A SRI-A, tendo atualmente suas especificações sob a responsabilidade do ETSI, é baseada numa adaptação do IMT-2000 CDMA *Direct Spread* (UTRA FDD) ao ambiente satélite. Somente a interface do link de serviço é especificada nos documentos da SRI-A (leia sobre as componentes das interfaces satélite no item V).

A SRI-A opera no modo FDD com canais de 2,35 ou 4,7 MHz para cada direção de transmissão, suportando taxas de 1,2 a 144 kbit/s com taxas de erro de  $10^{-3}$  a  $10^{-6}$  e cobertura global. As taxas de erro de bit (baseadas na QoS almejada em cada classe de serviço) são atendidas através da concatenação de códigos corretores.

As especificações da SRI-A não particularizam o uso de nenhum tipo de constelação de satélites. Tanto constelações LEO, quanto MEO, GEO ou HEO são permitidas. Os satélites poderão operar com *transponders* transparentes ou regenerativos.

As transmissões são organizadas em quadros de 10 ms para taxa de *chips* de 3,84 Mcps e 20 ms para 1,92 Mcps, com

modulações QPSK para taxas mais elevadas e BPSK para baixas taxas de dados.

A referência [Rrspc] apresenta mais detalhes sobre essa interface. Em <http://www.3gpp.org/TSG/RAN.html> pode-se encontrar outros documentos afins. As especificações detalhadas da SRI-A estão sendo elaboradas pelo ETSI.

### **SRI-B (W-C/TDMA)**

Também sob responsabilidade do ETSI, a SRI-B é baseada em acesso híbrido CDMA/TDMA de faixa larga (W-O-C/TDM e W-QS-QO-C/TDMA), com canais de 2,35 ou 4,7 MHz em cada direção de transmissão. É definida a operação FDD, mas é possível operação TDD/FDD.

As taxas de dados suportadas vão de 1,2 a 144 kbit/s com taxas de erro de  $10^{-3}$  a  $10^{-6}$  e cobertura global e modulações BPSK, QPSK e  $\pi/4$ -QPSK. Da mesma forma que a SRI-A, as especificações da SRI-B não restringem sua operação a nenhum tipo de constelação de satélites. Os satélites poderão também operar com *transponders* transparentes ou regenerativos.

A referência [Rrspc] apresenta mais detalhes sobre essa interface e em <http://www.3gpp.org/TSG/RAN.html> podem ser encontrados outros documentos afins. As especificações detalhadas da SRI-A estão sendo elaboradas pelo ETSI.

### **SRI-C (SAT-CDMA)**

Baseada na RTT SAT-CDMA, a SRI-C oferece taxas de dados de 2,4 até 144 kbit/s utilizando múltiplo acesso WCDMA a uma taxa de *chips* de 3,84 Mcps. A banda de um canal é de aproximadamente 5 MHz.

A constelação do sistema SAT-CDMA é composta por 48 satélites de órbita baixa (LEO), localizados a 1.600 km da superfície da terra, oferecendo cobertura praticamente global (baixa cobertura em altas latitudes e nula acima de 80 graus). Cada satélite possui 37 feixes fixos com certa sobreposição de cobertura, e atende a uma área com aproximadamente 2.721,4 km de raio.

A modulação utilizada é a QPSK nos dois links e para espalhamento utiliza-se OCQPSK no link reverso e em quadratura para o link direto.

Os demais detalhes sobre as especificações da interface SRI-C podem ser encontrados em [Rrspc]. Outros dados podem ser obtidos da proposta de RTT SAT-CDMA em [ITU99a].

### **SRI-D**

Elaborada a partir da RTT ICO, a interface SRI-D prevê a operação com um sistema satélite específico que consiste de uma constelação de 12 satélites de órbita média (MEO) a 10.390 km de altitude e 12 estações terrenas interconectadas com a rede terrestre, oferecendo cobertura global. Cada satélite possui 163 feixes.

As taxas de dados suportadas vão de 0,3 a 38,4 kbit/s com modulações BPSK, SBPSK, QPSK e GMSK, em canais FDD de 2 x 25 kHz de banda. A técnica de múltiplo acesso é uma combinação de FDMA e TDMA.

Outros detalhes sobre as especificações da interface SRI-D podem ser encontrados em [Rrspc]. Dados adicionais podem ser obtidos da proposta de RTT ICO em [ITU99a].

### **SRI-E**

Baseada na RTT HORIZONS, a SRI-E operará com uma constelação de 3 satélites geo-estacionários (GEO) a 36.000 km de altitude, oferecendo cobertura global e taxas de dados até 144 kbit/s ou mais (432 kbit/s através da agregação de portadoras), principalmente a terminais multimídia. O número de feixes por satélite poderá variar em função das características de cobertura desejadas.

Não há nenhuma restrição quanto a banda de frequências utilizada pela SRI-E, mas recomenda-se que se utilize a faixa de 1 a 3 GHz.

Cada portadora do sistema terá 100 kHz de banda e poderá suportar 16 chamadas de voz simultaneamente ou até 144 kbit/s de dados com taxa variável (para acesso à Internet, por exemplo). A modulação utilizada é a 16QAM, com tecnologia de múltiplo acesso TDMA, duplexação FDD e codificação de canal Turbo.

Mais detalhes sobre as especificações da interface SRI-E podem ser encontrados em [Rrspc]. Outros dados podem ser obtidos da proposta de RTT HORIZONS, em [ITU99a].

### **SRI-F (SATCOM2000)**

A SRI-F é uma interface para um sistema pessoal de comunicação móvel via satélite. A constelação prevista possui 96 satélites de órbita baixa (LEO) a cerca de 854 km de altitude e oferece cobertura global a qualquer instante. Cada satélite possui 288 feixes que podem ser ajustados para maximizar o desempenho do sistema.

Utilizando antenas inteligentes, múltiplo acesso híbrido FDMA/TDMA e FDMA/CDMA, duplexação TDD e FDD, processamento e comutação nos satélites e outras tecnologias, o Satcom2000 poderá oferecer serviços com alocação de banda por demanda de forma síncrona ou assíncrona, assimétrica ou simétrica. Os canais TDMA

possuem banda mínima de 27,17 kHz e os canais CDMA de 1,25 MHz, com as modulações QPSK para o modo FDMA/TDMA e 16QAM e QPSK para o modo FDMA/CDMA. As taxas de dados máximas são 4 kbit/s no modo FDMA/TDMA e 9,6 kbit/s no modo FDMA/CDMA. Taxas de até 144 kbit/s podem ser atingidas no modo FDMA/CDMA através do uso de múltiplos canais código por usuário.

Outros detalhes sobre as especificações da interface SRI-F podem ser encontrados em [Rrscp].

Em várias literaturas, o conjunto de sistemas de comunicação móvel via satélite que complementa e complementar a cobertura dos mais variados sistemas de comunicação móvel terrestre de geração 2G, 2,5G ou 3G são genericamente denominados de GMPCS (*Global Mobile Personal Communications by Satellites*). Sistemas tais como Globalstar, ICO, Teledesic, Horizons, etc. se encaixam nessa família de sistemas GMPCS.

## VII. EVOLUÇÃO DE SISTEMAS 2G PARA 3G

Nesse item são abordados aspectos da evolução dos principais sistemas de segunda geração em direção à 3G. Em [Sin00] pode-se obter informações interessantes sobre aspectos de custos, benefícios e riscos em cada etapa de evolução dos padrões GSM e IS-95. Esses aspectos não serão considerados nesse texto.

### EVOLUÇÃO DO PADRÃO GSM

Na sua primeira “versão 2G” (GSM *phase 1*) o padrão GSM possui como principais características de sua interface de rádio aquelas listadas na Tabela 4. Esse padrão possui uma versão européia em 1.800 MHz chamada DCS1800. Nos Estados Unidos existe também uma versão similar ao GSM para operação na faixa dos sistemas PCS chamada PCS1900.

Parâmetro	Especificações (2G)
Frequência de canal reverso	890-915 MHz
Frequência de canal direto	935-960 MHz
Espaçamento de frequência Tx/Rx	45 MHz
Espaçamento temporal Tx/Rx	3 slots
Taxa de transmissão no canal	270.833333 kbit/s
Período de quadro	4.615 ms
Usuários por quadro ( <i>full rate</i> )	8
Duração de slot	576.9 µs
Modulação	GMSK com $BT = 0.3$
Espaçamento de canal	200 kHz
<i>Interleaving</i> (máximo atraso)	40 ms
Taxa do Codificador de Voz	13 kbit/s

**Tabela 4** – Sumário das especificações da interface de rádio do GSM.

O padrão GSM vem sendo constantemente revisado pelo SMG do ETSI de forma que sejam implementadas novas possibilidades de serviços e taxas de dados mais elevadas como os atuais HSCSD, CAMEL e GPRS, pertencentes à fase 2+ do padrão.

HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*) é um atributo do GSM que permite a co-alocação de múltiplos canais de tráfego (múltiplos *slots*) a um usuário. O objetivo do HSCSD é o de oferecer diferentes serviços a diferentes taxas de dados em uma única estrutura de camada física do sistema. Essa implementação aumenta significativamente a capacidade de tráfego de um canal, podendo suportar taxas de até 57,6 kbit/s. Detalhes sobre o HSCSD podem ser obtidos em [ETSI99d].

CAMEL é a sigla para *Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic*. Trata-se de um atributo de rede (e não um serviço suplementar) que possui mecanismos que permitem às operadoras oferecerem serviços independentes da localização dos usuários. Isso permite que serviços específicos sejam oferecidos mesmo que os usuários estejam em *roaming*. Esse atributo integra a estrutura da rede GSM com o conceito de Rede Inteligente (IN, *Intelligent Network*) e o VHE já citado. Mais detalhes sobre esse atributo podem ser obtidos em [ETSI99e].

GPRS (*General Packet Radio Service*) é um conjunto de serviços previsto por norma para o sistema GSM. Esses serviços permitem aos usuários a transmissão e recepção de dados por comutação de pacotes para, por exemplo, acesso a redes IP e X.25 com taxas de dados de até 115,2 kbit/s. Os vários serviços suportados pelo GPRS e outras informações adicionais podem ser obtidas em [ETSI99a], [ETSI99b], [Cai97] e [ETSI97]. O EGPRS (*Enhanced General Packet Radio Service*) corresponde a uma evolução do GPRS, com inovações tais como: compatibilidade com modulação 8PSK (além da GMSK), novos esquemas de codificação de canal e técnicas de melhoria na qualidade do link de comunicação [Roh00]. Essas inovações permitem taxas mais elevadas que o GPRS convencional, além de permitirem maior flexibilidade no gerenciamento da QoS oferecida.

EDGE<sup>13</sup> (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) representa um conceito inicialmente concebido pelo SMG 2 do ETSI de forma a permitir a transmissão de dados a taxas compatíveis com as propostas de evolução do GSM em direção à terceira geração (IMT-2000 / UMTS). Tanto transmissões no modo de comutação de pacotes quanto comutação de circuitos são consideradas e o EDGE é suficientemente genérico para ser aplicado a outros

<sup>13</sup> No contexto da convergência nos processos de evolução do GSM e do IS-136, a sigla EDGE tem às vezes o significado de *Enhanced Data Rates for Global Evolution* ou ainda *Enhanced Data Rates for GSM/TDMA Evolution*.

sistemas celulares. Prova disso é a adoção do conceito pelo comitê TR45 da TIA (EUA) para dar suporte à evolução do IS-136 rumo à 3G.

GPRS [ETSI99a], [ETSI99b], [Cai97],  
 1999 014.[(014. U[(014.RA)5615S(P)13(R)1nd)4d9(E)-8f13cOf

No EDGE é prevista a utilização de modulações com maior eficiência espectral, além das atuais GMSK do GSM e  $\pi/4$ -DQPSK do IS-136, em bandas de 200 kHz e 1,6 MHz. Essas modulações são as principais implementações do EDGE que viabilizarão as elevadas taxas de dados esperadas.

A rede de acesso do sistema GSM EDGE tem o nome de GERAN (*GSM/EDGE Radio Access Network*) e sua especificação está alinhada com aquelas do sistemas UMTS.

O UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) representa o último degrau de evolução do GSM rumo à 3G. Como já citado, o UMTS corresponde à iniciativa Européia do IMT-2000 definida pela UTRA (IMT-DS e IMT-TC). Nesse estágio de evolução ter-se-á todas as características da interface de rádio conforme especificadas para o IMT-2000, com compatibilidade com as versões anteriores do padrão. Vale aqui ressaltar que a tecnologia de acesso TDMA do GSM será nessa etapa complementada com acesso CDMA, conforme prevê a RTT UTRA.

A Tabela 5 ilustra o caminho de evolução do GSM em direção à 3G. Comentários são adicionados a cada item de forma a facilitar a visualização das principais implementações em cada etapa dessa evolução.

Sigla	Época	Comentários
GSM ou GSM <i>phase 1</i>	1990	Primeira versão comercial do padrão GSM. Serviços básicos de voz, fax e dados por comutação de circuitos a baixas taxas (9,6 kbit/s).
GSM <i>phase 2</i>	1995	Adição de serviços suplementares via RDSI; melhorias no protocolo MAP para compatibilidade com GSM <i>phase 1</i> e evoluções além do GSM <i>phase 2</i> ; especificação do <i>vocoder half-rate</i> para aumento de eficiência espectral.
GSM <i>phase 2+</i>	1999 até o momento	Várias evoluções (mais de 80 itens) em relação à versão anterior, por exemplo: melhorias na codificação da voz, serviços de chamadas entre grupos fechados, transmissão de dados por comutação de pacotes a taxas mais elevadas, serviços de IN.
	1998 e 1999	GSM-R ou R-GSM – inclusão dos serviços GSM nas bandas destinadas a transporte ferroviário ( <i>Railways bands</i> ) [ETSI99c]
	1999	HSCSD [ETSI99d] e CAMEL [ETSI99e] a 57,6 kbit/s. Possibilidade de alocação de banda por demanda (HSCSD) e atribuição de serviços independentes da localização do usuário (CAMEL).

pedestre e 2 Mbit/s para interiores. O IS-136+ ainda utilizará canais de 30 kHz, mas para proporcionar as altas taxas esperadas o IS-136HS utilizará canais de 200 kHz para ambientes externos (IS-136HS *Outdoor*) e 1,6 MHz para ambientes internos (IS-136HS *Indoor*). Em situações de alta relação portadora-interferência prevê-se que evoluções do IS-136HS *Indoor* possam suportar transmissões de dados a até 4,74 Mbit/s. Para suportar essas altas taxas, o IS-136HS terá as modulações GMSK e 8PSK, seis esquemas de codificação de canal para a modulação 8PSK e 4 para a GMSK, adaptáveis de acordo com a qualidade do link. O IS-136HS *Indoor* terá ainda as modulações BOQAM e QOQAM, também conhecidas como OQPSK ou SQPSK e O16QAM, respectivamente.

Uma cooperação entre o ETSI e o UWCC resultou na proposta de convergência do GSM e do IS-136 na etapa correspondente à implementação do conceito EDGE. Dentre os aspectos comuns resultantes dessa cooperação destacam-se:

- Requisitos da interface de rádio e dos serviços oferecidos pelo IS-136HS/EDGE à taxa de 384 kbit/s;
- Modulação 8PSK para canais de 200 kHz;
- GPRS como arquitetura para transmissão de dados por comutação de pacotes.

A Tabela 6 ilustra as principais alterações sofridas no processo de evolução do padrão IS-136 e a Tabela 7 destaca os aspectos comuns da evolução do IS-136 e GSM [Roh00]. Os dados correspondentes à evolução do IS-136 são identificados na Tabela 7 através da designação UWC-136 (família IS-136, 136+ e 136HS).

IS-136 (IS-54B)	IS-136+	IS-136HS
Canais de 30 kHz	Canais de 30 kHz	Canais de 30 kHz, 200 kHz e 1,6 MHz
Espaçamento da duplexação de 45 e 80 MHz	Espaçamento da duplexação de 45 e 80 MHz	Espaçamento da duplexação de 45 e 80 MHz; opção de TDD no 136HS <i>Indoor</i> .
Taxa de símbolos de 48,6 ksps	Taxa de símbolos de 72,9 ksps	Taxa de símbolos de 270,833 ksps
Tamanho do quadro: 40 ms	Tamanho do quadro: 40 ms	Tamanho do quadro: 4,6 ms
Modulação $\pi/4$ -DQPSK	Adição da modulação 8PSK	Adição das modulações GMSK, BOQAM e QOQAM
6 slots por quadro	6 slots por quadro	8 slots por quadro

Tabela 6 – Parâmetros da evolução do IS-136.

	UWC-136	GSM
Múltiplo Acesso	TDMA	TDMA
Banda de canal	30 / 200 / 1600 kHz	200 kHz
Taxa de símbolos	48,6 / 72,9 / 270,833 / 361,1 / 722,2 ksps; 2,6 e 5,2 Msps	270,833 ksps

Tamanho do quadro	6,667 / 4,6 / 40 ms	4,6 ms
Modulação	$\pi/4$ -DQPSK / 8PSK / GMSK / BOQAM / QOQAM	8PSK <sup>14</sup> (EDGE) / GMSK
Número de slots	6 por 30 kHz / 8 por 200 kHz / 16-64 por 1,6 MHz	8 por 200 kHz
Compatibilidade	AMPS / IS-136 / GSM	GSM

Tabela 7 – Atributos comuns do GSM e UWC-136.

Além das modificações anteriormente citadas, o grupo de estudos TR45.2 da TIA vem realizando atividades no sentido de desenvolver atributos de rede que permitam o oferecimento de serviços pelos sistemas celulares e PCS similares aos que proporcionam o CAMEL do GSM. Aos padrões relacionados a esses atributos dá-se o nome de WIN (*Wireless Intelligent Network*).

## EVOLUÇÃO DO PADRÃO IS-95

Na sua versão 2G/2,5G o padrão de telefonia celular/PCS digital CDMA IS-95 (TIA/EIA/95-B) possui como características básicas:

- Sistema de telefonia celular/PCS CDMA.
- Desenvolvido pela Qualcomm®; aplicação comercial em 1994.
- Sistema *dual-band* (800/1.900 MHz) & *dual-mode* (digital CDMA / analógico AMPS) com acesso CDMA/FDMA e duplexação FDD (45 MHz).
- Largura de faixa de transmissão: 1,25 MHz.
- Utiliza técnica de espalhamento espectral por seqüência direta.
- Link direto: 64 códigos Walsh para ortogonalidade entre os usuários, seqüência longa (comprimento de  $2^{42} - 1$  chips) à taxa de 19.200 bit/s para embaralhamento, espalhamento em quadratura por seqüências piloto de comprimento  $2^{15}$  chips a 1,2288 Mcps.
- Link reverso: códigos Walsh para modulação ortogonal; espalhamento pelo código longo (1.2288Mchips/s) e, em quadratura, pelo código piloto (1,2288 Mcps).
- Codificação convolucional de canal com taxa 1/2 no link direto e 1/3 no link reverso.
- Canal piloto para sincronismo, detecção coerente e medida de intensidade de sinal no terminal móvel (período de transmissão do sinal espalhado sem dados).
- *Soft Capacity, Soft Handoff* [Pan00, p. 81-84]; receptor RAKE.

<sup>14</sup> A modulação citada como 8PSK para o conceito EDGE se refere à modulação  $3\pi/8$ -O8PSK.

- ❑ Taxa de transmissão variável em função da atividade da voz.

A evolução do sistema CDMA IS-95 rumo à 3G parte das versões 2G e 2,5G TIA/EIA/95-A e TIA/EIA/95-B, passando pelas etapas CDMA MC-1X ou CDMA 1XRTT (canais de 1 x 1,25 MHz) e CDMA MC-3X ou CDMA 3XRTT (canais de 3 x 1,25 MHz, com 3 portadoras), até que todas as especificações do cdma2000 sejam alcançadas. Vale lembrar que o cdma2000 corresponde a uma das RTTs propostas para o IMT-2000 e sua implementação na família de sistemas IMT-2000 corresponde ao IMT-MC (IMT-2000 *Multi Carrier*).

As especificações atuais do CDMA são às vezes referenciadas como IS-95C e correspondem à fase 1 de implementação do cdma2000 [TIA00a], também conhecida por CDMA 1XRTT. As atuais implementações do padrão têm como principais características [Pan00]:

- ❑ Melhorias no quesitos capacidade, cobertura e eficiência espectral;
- ❑ Maiores taxas de dados (64 a 144 kbit/s), incluindo transmissão de dados por comutação de pacotes;
- ❑ Maior tempo de duração da bateria no modo *stand-by*;
- ❑ Processos de *handoff* mais eficientes.

As principais alterações de *hardware* de forma a atender as características anteriormente citadas são [Pan00]:

No link direto:

- ❑ Controle de potência mais rápido e preciso;
- ❑ Substituição da modulação BPSK por QPSK, com 128 funções Walsh;
- ❑ Redução no *overhead* por *soft-handoff*<sup>15</sup>.

No link reverso:

- ❑ Redução de retardo no processo de controle de potência;
- ❑ Uso de modulação BPSK com detecção coerente auxiliada por código piloto;
- ❑ Uso de codificação de canal com taxa 1/4 ao invés de 1/2 e 1/3.

A Qualcomm está realizando esforços no sentido de desenvolver uma especificação proprietária que possibilitará também maior capacidade, melhor cobertura e eficiência do sistema CDMA e que será otimizada para altas taxas para serviços que exijam transmissão de dados

<sup>15</sup> Devido à implementação de macro-diversidade, durante um *soft-handoff* CDMA a comunicação com uma nova estação base se inicia antes que termine a comunicação com a estação base antiga. Isso acarreta redução momentânea no número de canais código disponíveis, pois um canal código estará sendo utilizado por um único usuário em mais de uma estação base, ao mesmo tempo.

por comutação de pacotes. Essa iniciativa, que possui o nome de CDMA-HDR ou 95-HDR (HDR, *High Data Rate*) poderá retardar a expansão comercial do cdma2000. Mais detalhes podem ser encontrados em [Pan00, p. 85].

Terminais MC-1X operam em redes 95A a 14,4 kbit/s, em redes 95B a velocidades até 114 kbit/s e operam em redes 1X e 3X a velocidades de até 307 kbit/s. Os terminais MC-3X operam em redes 95A a 14,4 kbit/s, em redes 95B a velocidades até 114 kbit/s, em redes 1X a 307 kbit/s e em redes 3X a velocidades de até 2 Mbit/s, com terminais *single-mode* [CDG00].

Os terminais nas versões 95A operarão normalmente a 14,4 kbit/s nas redes 95A, 95B, MC-1X e MC-3X. Os terminais nas versões 95B operarão a 14,4 kbit/s nas redes 95A e 114 kbit/s nas redes 95B, MC-1X e MC-3X, com terminais *single-mode* [CDG00].

A fase 2 de evolução do IS-95 (MC-3X ou 3XRTT) deverá acontecer por volta do final de 2001 e início de 2002.

## EVOLUÇÃO DAS REDES

As redes 3G, assim como grande parte das interfaces de rádio, sofrerão evoluções a partir das atuais redes 2G/2,5G de forma a proteger o investimento feito pelas operadoras que dessa forma não terão que substituir sua infra-estrutura de rede atual por uma totalmente diferente e em um único passo. Essa evolução também permite que as operadoras ofereçam novos serviços conforme o mercado demandar, minimizando os riscos de altos investimentos sem o devido retorno.

As redes de deverão ser compatíveis com os principais protocolos de sinalização de redes GSM MAP e ANSI-41 evoluídos, assim como com redes IP. O GPRS deverá ser a técnica que dará suporte à transmissão de dados por comutação de pacotes. No que diz respeito aos protocolos GSM MAP e ANSI-41 reside um grande obstáculo a ser transposto: a compatibilização das sinalizações quando se trata da evolução das redes GSM (que utilizam o protocolo GSM MAP) e das redes IS-95 e IS-136 (que utilizam o ANSI-41) de forma a permitir o *roaming* transparente ao usuário, através de algum tipo de “conversor de protocolos”.

A parte principal da rede (*core network*) poderá utilizar quaisquer tecnologias de transporte, mas certamente estas serão baseadas em tecnologias que permitem transmissão de dados por comutação de pacotes como ATM e IP. Deverá existir na rede uma combinação de roteadores IP e nós de comutação ATM interconectados por links ponto-a-ponto e técnicas como o IP sobre ATM que utiliza comutação ATM para multiplexar tráfego IP. Essa

arquitetura IP sobre ATM deverá também suportar tráfego de voz sobre IP.

De forma alternativa poder-se-á ter redes do tipo IP sobre estruturas de transporte do tipo SONET/SDH. Nessa opção a camada ATM é eliminada e links ponto-a-ponto são estabelecidos diretamente entre roteadores IP e anéis SONET/SDH que utilizarão, por exemplo, DWDM (*Dense Wavelength-Division Multiple Access*) como forma de multiplexação.

## VIII. TRABALHOS DE PADRONIZAÇÃO DA 3G

O processo de padronização da próxima geração de sistemas de comunicação móvel teve início com a criação pela ITU do *Interim Working Party 8/13* (IWP 8/13), já em 1985. O grupo de estudos ITU-R-TG 8/1 (*Task Group 1 of Radio Communications Study Group 8*), agindo como “arquiteto” do IMT-2000, elaborou uma série de recomendações cobrindo vários aspectos da interface de rádio e de espectro tanto da componente satélite quanto da componente terrestre do IMT-2000. A Tabela 8 apresenta uma síntese dessas recomendações. Uma extensa lista das recomendações da ITU referentes ao IMT-2000, com comentários, pode ser encontrada ao final da Rec. ITU-R M.1308-1 [R1308] e no item 4 da Rec. ITU-R M.1225 [R1225]. Uma outra lista, ainda mais completa, pode ser encontrada no item 4 da Rec. ITU-R M.[IMT.RSPC] [Rrspc].

No. da Rec.	Descrição sucinta
M.682-7	Conceitos e objetivos do IMT-2000
M.816-1	Serviços suportados
M.817	Arquitetura de rede
M.818-1	Operação via satélite
M.819-2	O IMT-2000 em países em desenvolvimento
M.1034-1	Requisitos para a interface de rádio do IMT-2000
M.1035	Funcionalidade das interfaces e subsistemas de rádio
M.1036	Operação nas bandas 1.885-2.025 e 2.110-2.200MHz
M.1078	Princípios de segurança
M.1079	Performance para voz e dados na banda de voz
M.1167	Componente satélite do IMT-2000
M.1168	Gerenciamento no IMT-2000
M.1223	Avaliação de mecanismos de segurança
M.1224	Vocabulário de termos sobre o IMT-2000
M.1225	Guia para avaliação das RTTs para o IMT-2000

**Tabela 8** – Recomendações da ITU sobre o IMT-2000 [Sin00].

Enquanto isso, aspectos como serviços, engenharia de teletráfego, codificação de voz, planos de numeração e outros itens de rede estavam sendo considerados por outros grupos de estudo. A Tabela 9 ilustra a divisão de responsabilidades no processo de padronização do IMT-2000.

Órgão	Responsabilidade
ITU	Coordenação global do IMT-2000
ITU-R	Aspectos de rádio
ITU-T	Aspectos de rede
SG 2 (da ITU-T)	Serviços, numeração, etc.
SG 4 (da ITU-T)	Gerenciamento
SG 11 (da ITU-T)	Protocolos de sinalização
SG 7 (da ITU-T)	Segurança
SG 16 (da ITU-T)	Codificação, compressão, multiplexação
TG 8/1 (da ITU-R)	Aspectos sistêmicos e de rádio

**Tabela 9** – Divisão de responsabilidades pela padronização do IMT-2000 [ITU00]

Em 1998 iniciou-se o processo através do qual as propostas para a composição das RTTs para o sistema IMT-2000 poderiam ser enviadas à ITU (TG 8/1) para avaliação.

As iniciativas de padronização em todo o mundo se iniciaram e ainda em 1998 foi criado o 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) a partir do acordo entre seis organismos de padronização, incluindo o ETSI da Europa, ARIB e TTC do Japão, CWTS da China, T1P1 dos Estados Unidos e o TTA da Korea. Ao 3GPP foi dada a responsabilidade pela preparação, aprovação e manutenção das especificações técnicas e relatórios técnicos (*Technical Specifications and Reports*) para um sistema de terceira geração correspondente à evolução da interface de rádio GSM e na infra-estrutura de rede MAP, com tecnologias de acesso baseadas em duplexação TDD e FDD. Todas as atividades de padronização do sistema de terceira geração Europeu UMTS foram transferidas ao 3GPP.

O 3GPP2 foi criado a partir da colaboração dos organismos padronizadores ARIB e TTC (Japão), CWTS (China), TIA TR45 (USA) e TTA (Korea) em prol da evolução do sistema de segunda geração IS-95 em direção à terceira geração. Essa evolução é baseada na interface de rádio cdma2000 do TR45 da TIA e na infra-estrutura de rede ANSI-41.

Vale citar que tanto o 3GPP quanto o 3GPP2 não são organismos de padronização. Eles têm a função de colaborar com e ter influência no processo de padronização do IMT-2000 que é de responsabilidade da ITU. É importante também ressaltar que vários países ou grupos de países e empresas de telecomunicações possuem comitês com assento junto à ITU para a discussão de temas relacionados ao IMT-2000.

No primeiro semestre de 1999 aconteceram várias importantes iniciativas de concordância com o padrão global IMT-2000, iniciativas estas que levaram em conta tanto aspectos políticos quanto comerciais envolvendo os grandes protagonistas das tecnologias TDMA e CDMA. Em março de 1999 destaca-se a compra feita pela Ericsson de toda divisão de infra-estrutura da Qualcomm. Nesse momento ambas concordaram em conceder, uma para a

outra, direitos de propriedade intelectual (IPR, *Intellectual Property Rights*) chaves sobre as tecnologias TDMA e CDMA e também concordaram com as propostas da ITU em relação aos compromissos que deveriam ser atendidos pelas várias propostas de padrões em relação à “família de redes” do IMT-2000.

## IX. A 3G NO BRASIL

Somadas às informações contidas nos itens anteriores e também nos itens seguintes a este, uma extensa coleção de documentos relacionados à terceira geração de sistemas de comunicações móveis pode ser obtida no *site* da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações). Para obter uma lista dessa coleção recomenda-se que o leitor acesse o *site* <http://www.anatel.gov.br/pesquisa/default.asp> e procure pela sigla *IMT*. Dentre os documentos listados por esse processo de busca (com possibilidade para *download*) podem ser encontrados vários relatórios sobre a participação das comissões brasileiras nas reuniões de trabalho da ITU em relação ao IMT-2000, sobre estudos de aspectos mercadológicos e viabilidade técnica de sistemas WLL (ou FWA) via IMT-2000, sobre a escolha da faixa de 1,8 GHz para os serviços PCS e seu impacto na implantação da 3G no Brasil, sobre os trabalhos da CITELE (Comissão Inter-Americana de Telecomunicações) sobre o assunto e sobre questões relacionadas aos sistemas além do IMT-2000, dentre outras informações correlatas. Optou-se por não abordar nesse texto esses assuntos disponibilizados pela ANATEL em seu *site*, sob o risco de resumir por demais os textos e assim possibilitar a perda de informações importantes acerca dos assuntos relacionados à 3G no Brasil.

Vale citar que a ANATEL ainda não possui nenhum posicionamento concluído e publicado sobre a 3G no Brasil.

## X. CONCLUSÃO

Esse item apresenta alguns comentários adicionais acerca dos sistemas 3G. O item termina com algumas observações conclusivas.

### O MERCADO WLL VIA IMT-2000

Um dos grandes mercados para os sistemas de terceira geração é o WLL, principalmente em países em desenvolvimento. Regiões como a Ásia e países como o Brasil e o México são os alvos mais prováveis para esse tipo de aplicação. Os principais atrativos oferecidos neste caso serão a telefonia e serviços RDSI em áreas urbanas, rurais e remotas.

A Rec. ITU-R M.819-2 [R819] aborda a aplicação do IMT-2000 em países em desenvolvimento, com enfoque no que nessa recomendação são denominados de serviços fixos.

A referência [ITU99b] apresenta a resposta brasileira à ITU sobre os aspectos da implantação de FWA via IMT-2000 em países em desenvolvimento.

### HAPS

HAPS (*High Altitude Platform Station*) é uma possível configuração para implementação do IMT-2000 através de uma estação base localizada em algum objeto em uma elevada altitude (20 a 50 km) e em um ponto fixo em relação à terra. A configuração HAPS poderá representar uma forma de oferecer os serviços do IMT-2000 através de uma infra-estrutura mínima capaz de proporcionar grande área de cobertura [Wrc00d].

### BLUETOOTH

Com possibilidade de complementar os serviços oferecidos pela 3G surge a tecnologia *Bluetooth*. *Bluetooth* é o nome dado à interface de rádio para conexão a curtas distâncias (máximo 10 m; potência de 100 mW) entre vários tipos de equipamentos na faixa não licenciada para aplicações científicas, médicas e industriais (ISM, *Industrial, Scientific and Medic*). Em fevereiro de 1998 a Ericsson, a Nokia, a IBM, a Toshiba e a Intel fundaram o *Bluetooth Special Interest Group* (SIG), com a inclusão, em 1999, da Microsoft, Lucent, 3Com e Motorola. Várias outras companhias se juntaram a essa iniciativa de forma a adotar a tecnologia *Bluetooth*.

O principal objetivo da *Bluetooth* é possibilitar a interconexão para troca e atualização de informações entre aparelhos como PDAs (*Personal Digital Assistants*), telefones celulares, máquinas fotográficas, câmeras de vídeo, impressoras, agendas eletrônicas, *palmtops* e *laptops* ou *desktops*. São possíveis transmissões de voz e dados a até 1 Mbit/s, com modulação GFSK.

A tecnologia *Bluetooth* pode então ser vista como complementar e não necessariamente uma componente de um sistema de comunicação móvel.

Mais informações sobre essa tecnologia podem ser encontradas no site oficial <http://www.bluetooth.com>.

### ALÉM DO IMT-2000

Por volta do ano 2010 deverão aparecer os resultados das primeiras iniciativas em prol dos sistemas que poderiam ser classificados como 4G [Sin00], com o principal objetivo de oferecer aos usuários serviços multimídia de

banda larga. Provavelmente as taxas de transmissão chegarão a cerca de 2 Mbit/s em ambiente veicular e a cerca de 10 a 20 Mbit/s em ambientes internos a velocidades de pedestres, em bandas tão largas quanto 100 MHz. A tecnologia que dará suporte a esses futuros sistemas certamente se valerá de muitas das implementações da terceira geração, mas outras inovações deverão vir à tona...

Uma potencial tecnologia de acesso para os sistemas 4G poderá ser uma combinação de OFDM e DS-CDMA (ou *Multicarrier CDMA*), com capacidade de transmissão de dados por comutação de pacotes [Sin00].

As frequências de operação dos sistemas 4G deverão estar situadas acima de 3 GHz, o que tornará ainda mais crítico o planejamento desses sistemas. Além de limitados por interferências, os sistemas 4G serão ainda mais limitados por potência devido às altas frequências utilizadas. As células tenderão a ser, em média, ainda menores que aquelas dos sistemas 3G, e estas estarão concentradas em locais de alta demanda por tráfego. A cobertura global com um único tipo de sistema será mais uma vez um obstáculo intransponível e o que provavelmente teremos são terminais multi-modo, operando em redes 4G e 3G. Nessa situação torna-se imprescindível a colaboração de técnicas de *software radio* que automaticamente comutarão o modo de operação do terminal móvel conforme a rede que o está atendendo a cada instante.

Comentários sobre iniciativas da ITU em estudos relacionados à evolução dos sistemas de comunicação móvel além do IMT-2000 podem ser encontrados em [Wrc00e].

Como já citado, já pode ser obtido um grande volume de informações sobre a terceira geração de sistemas de comunicação móvel. Além das referências citadas nesse texto recomenda-se um conjunto de todas as documentações disponibilizadas pela ITU sobre o IMT-2000 e outros tópicos relacionados às comunicações móveis pessoais, em CD-ROM, e que pode ser adquirido no site: <http://www.itu.int/publications/wnew.htm#IMT-2000>. São recomendados também os seguintes sites:

- ❑ [www.gsmworl.com](http://www.gsmworl.com);
- ❑ [www.mobile3g.com](http://www.mobile3g.com);
- ❑ [www.gsacom.com](http://www.gsacom.com);
- ❑ <http://www.3g.com.br>;
- ❑ <http://es.gsmbox.com>;
- ❑ <http://www.3gmaster.com.br>;
- ❑ <http://www.uwcc.org>.

## COMENTÁRIOS FINAIS

É notável o grau de complexidade a que foram submetidos os sistemas de comunicação móvel em seu curto período de evolução. O avanço tecnológico percebido em tão pouco

tempo, dos primeiros sistemas de primeira geração até a terceira geração, se trazem novos serviços e possibilidades, trazem também uma preocupação: a adequada capacitação de mão de obra. Coincidente com a chamada *era da informação*, o desenvolvimento dos sistemas 3G agora impõe que os profissionais envolvidos estejam atentos e se capacitem incessantemente para poder utilizar todo esse novo aparato. E tal como a tecnologia de hoje, o conhecimento tem validade muito pouco extensa. Para acompanhar a evolução dos sistemas de comunicação móvel é necessário, hoje, um empenho muito maior que o de ontem. Ao Engenheiro ou qualquer Técnico que se dedicar a esses assuntos não resta outra alternativa se não a constante atualização através de estudos contínuos. Ficar parado ou até mesmo não dar a devida atenção significará “perder o bonde” – e corremos o risco, se assim agirmos, de sermos meros implementadores de receitas prontas! O autor espera que esse texto sirva ao menos para que o leitor se atente para o fato aqui citado.

Infelizmente esse *tutorial* não retrata de forma completa e precisa o cenário em torno dos sistemas de terceira geração. A imprecisão dessa informações está associada ao fato de que diversos aspectos e especificações ainda estão em fase de revisão e, portanto, sujeitas a alterações. Há ainda muito por ser feito em relação à segunda e à geração 2,5 (principalmente em países em desenvolvimento). E há que se preparar o terreno para receber a terceira geração. Muitos sistemas ainda serão testados, muitos satélites ainda serão colocados em órbita e torna-se tarefa bastante complexa conhecer, com precisão, o *status* de todo esse processo ao redor do mundo...

Mesmo assim o autor espera ter conseguido oferecer ao leitor, como já citado, “*um texto que pudesse agrupar e relacionar os principais temas referentes à terceira geração de sistemas de comunicação móvel de forma que assim se possa ter uma visão, que seja incompleta pela vastidão das informações já disponíveis, mas que seja clara o suficiente e fundamentada em um sólido conjunto de referências bibliográficas de tal sorte que se possa realizar estudos mais aprofundados a partir das referências citadas e se consiga entender um pouco mais sobre o futuro das comunicações móveis em todo o mundo*”.

... Como disse **Guglielmo Marconi**, em 1932 : *It is dangerous to put limits on wireless*” (é perigoso impor limites à comunicação sem fio)...

## XI. GLOSSÁRIO

3GPP – *Third Generation Partnership Project*.

AMPS – *Advanced Mobile Phone System*.

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações.

ANSI – *American National Standards Institute.*

ARIB – *Association of Radio Industries and Business (Japão)*

ATM – *Asynchronous Transfer Mode.*

AuC – *Authentication Center.*

BOQAM – *Binary Offset QAM (OQPSK).*

BS – *Base Station.*

BSC – *Base Station Controller.*

BTS – *Base Transceiver Station.*

C/TDM – *Code- and Time Division Multiplexing.*

C/TDMA – *Code- and Time Division Multiple Access.*

CAMEL – *Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic.*

CATT – *China Academy of Telecommunication Technology.*

CDG – *CDMA Development Group (EUA).*

CDMA – *Code Division Multiple Access.*

CITEL – *Comissão Inter-Americana de Telecomunicações.*

CNI – *Core Network Interface.*

CQPSK – *Complex QPSK.*

CRC – *Cyclic Redundancy Check.*

CWTS – *China Wireless Telecommunication Standards group.*

D-AMPS – *Digital AMPS.*

DCS – *Digital Cellular System.*

DCS1800 – *Digital Cellular System, 1,800 MHz. Versão Europeia do GSM, operando em 1.800 MHz.*

DECT – *Digital European Cordless Telecommunication.*

DS-CDMA – *Direct Sequence CDMA.*

DWDM – *Dense Wavelength-Division Multiplexing.*

EDGE – *Enhanced Data Rates for Global Evolution (veja nota de rodapé número 13).*

EGC – *Equal Gain Combining.*

EGPRS – *Enhanced General Packet Radio Service.*

ESA – *European Space Agency.*

ETRI – *Electronics and Telecommunications Research Institute.*

ETSI – *European Telecommunication Standards Institute.*

FDD – *Frequency Division Duplexing.*

FDMA – *Frequency Division Multiple Access.*

FPLMTS – *Future Public Land Mobile Telecommunications System.*

FWA – *Fixed Wireless Access (forma de WLL).*

GEO – *Geosynchronous Equatorial (Clarke) Orbit.*

GMPCS – *Global Mobile Personal Communications by Satellites.*

GPRS – *General Packet Radio Service.*

GPS – *Global Positioning System.*

GERAN – *GSM/EDGE Radio Access Network.*

GSM – *Global System for Mobile Communication.*

HEO – *Highly Elliptical Orbit.*

HLR – *Home Location Register.*

HSCSD – *High Speed Circuit Switched Data.*

IEEE 802 – *Veja referência [IEEE90].*

IMT-2000 – *International Mobile Telecommunications-2000.*

IMT-DS – *IMT-2000 Direct Spread.*

IMT-FT – *IMT-2000 Frequency Time.*

IMT-MC – *IMT-2000 Multi-Carrier.*

IMT-SC – *IMT-2000 Single Carrier.*

IMT-TC – *IMT-2000 Time Code.*

IN – *Intelligent Network.*

IP – *Internet Protocol.*

IPR – *Intellectual Property Rights.*

IS – *Interim Standard.*

ISDN – *Integrated Services Digital Network (RDSI).*

ISM – *Industrial, Scientific and Medic.*

IT – *Information Technology.*

ITU – *International Telecommunication Union.*

LAN – *Local Area Network.*

LEO – *Low Earth Orbit.*

MAHO – *Mobile Assisted HandOff.*

MAN – *Metropolitan Area Network.*

MAP – *Mobile Application Protocol.*

MEO – *Medium Earth Orbit.*

MRC – *Maximal Ratio Combining.*

MSC – *Mobile Switching Center.*

MSS – *Mobile Satellite System.*

NMT – *Nordic Mobile Telephone.*

O16QAM – *Offset 16QAM.*

OCQPSK – *Orthogonal Complex QPSK*.

OQPSK – *Offset QPSK (SQPSK)*.

PCS – *Personal Communication Services*.

PCS1900 – *Personal Communication System, 1,900 MHz*.  
Versão Americana do GSM, operando em 1.900 MHz.

PDA – *Personal Digital Assistant*.

PDC – *Personal Digital Communication*.

PHS – *Personal Handyphone System*.

POTS – *Plain Old Telephone Service*.

PSK – *Phase Shift Keying*.

PSTN – *Public Switched Telephone Network (RTPC)*.

QAM – *Quadrature Amplitude Modulation*.

QOQAM – *Quaternary Offset QAM (O16QAM)*.

QoS – *Quality of Service*.

QPSK – *Quaternary PSK*.

RDSI – *Rede Digital de Serviços Integrados (ISDN)*.

RTPC – *Rede de Telefonia Pública Comutada (PSTN)*.

RTT – *Radio Transmission Technology*.

SAN – *Satellite Access Node*.

SBPSK – *Staggered BPSK*.

SDH – *Synchronous Digital Hierarchy*.

SDOs – *Standards Development Organizations*.

SG 11 – *Study Group 11 (ITU-T)*.

SIM – *Subscriber Identity Module*.

SMG – *Special Mobile Group (ETSI)*.

SMG – *Special Mobile Group*.

SONET – *Synchronous Optical Network*.

S-TDMA – *Statistical Time-Division Multiplexing*.

SQPSK – *Staggered QPSK (OQPSK)*.

SRI – *Satellite Radio Interface*.

T1 – *1<sup>st</sup> ANSI Telecommunications Standards Committee*.

T1P1 – *Wireless/Mobile Services and Systems Technical Sub-Committee (Ericsson)*.

TACS – *Total Access Communication System*.

TDD – *Time Division Duplexing*.

TDL – *Tapped Delay Line*.

TDMA – *Time Division Multiple Access*.

TD-SCDMA – *Time Division Synchronous CDMA*.

TG 8/1 – *Task Group 1 of Radio Communications Study Group 8 (ITU-R)*.

TIA – *Telecommunications Industries Association (EUA)*.

TTA – *Telecommunications Technology Association (Korea do Sul)*.

TTC – *Telecommunications Technical Committee (Japão)*.

UMTS – *Universal Mobile Telecommunication System*.

UPT – *Universal Personal Telecommunication*.

UTRA – *UMTS Terrestrial Radio Access*.

UWC – *Universal Wireless Communication*.

UWCC – *Universal Wireless Communication Consortium*.

VHE – *Virtual Home Environment*.

VLR – *Visitor Location Register*.

VSF – *Variable Spreading Factor*.

WARC – *World Administrative Radio Conference*.

WATM – *Wireless Asynchronous Transfer Mode*.

W-C/TDMA – *Wideband hybrid Code-and-Time-Division Multiple Access*.

WCDMA – *Wideband CDMA*.

WCDMA/NA – *Wideband CMDA for North America*.

WDM – *Wavelength-Division Multiplexing*.

WIMS – *Wireless Multimedia & Messaging Service*.

WLL – *Wireless Local Loop*.

W-O-C/TDM – *Hybrid Wide-band Orthogonal C/TDM*.

WP 8F – *Working Party 8F da ITU-R. Antigo TG 8/1*.

W-QS-QO-C/TDMA – *Hybrid Wide-band Quasi-Synchronous Quasi-Orthogonal C/TDMA*.

X.25 – *Veja referência [RX25]*.

## XII. REFERÊNCIAS

- [Ada00] Adachi, Fumiyuki and Kakajima, Nobuo, “**Challenges of Wireless Communications – IMT-2000 and Beyond**“, *IEICE Transactions on Fundamentals*, Vol. E83-A, No. 7, July 2000.
- [Ami94] Amitay, Noach and Sanjiv Nanda. “**Resource Auction Multiple Access (RAMA) for Statistical Multiplexing of Speech in Wireless PCS**” *IEEE Transactions Technology*, Vol. 43, n° 3, August 1994.
- [App76] Applebaum, P. Sidney. “**Adaptive Arrays**”. *IEEE Transactions on Antennas and Propagations*, Vol. 24, n° 5, pp. 585-598, September, 1976.
- [Ber93] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Hitimajshima, “**Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and**

- Decoding: Turbo Codes**” in *Proc. ICC'93*, Geneva, Switzerland, pp. 1064-1070, May. 1993.
- [Cai97]. J. Cai and D. Goodman, “**General Packet Radio Service in GSM**”, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 35, No. 10, October 1997.
- [Cat98] CATT (China Academy of Telecommunication Technology), “**TD-SCDMA Radio Transmission Technology For IMT-2000**”, RTT candidate submission, September, 1998.
- [CDG00] <http://www.cdg.org/>, 2000.
- [ETSI97]. ETSI, GSM 03.64, “**Overall description of the General Packet Radio Service (GPRS) Radio Interface**”, 1997.
- [ETSI99a] ETSI TS 101 113, “**Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Service Description; Stage 1**”, August, 1999.
- [ETSI99b] ETSI EN 301 344 (Draft), “**Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Service Description; Stage 2**”, August, 1999.
- [ETSI99c] ETSI EN 301 419-7 (Draft), “**Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); Attachment Requirement for Global System for Mobile Communications (GSM); Railways Band (R-GSM)**”, September, 1999.
- [ETSI99d] ETSI TS 101 038 “**Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); High Speed Circuit Switched Data (HSCSD) – Stage 2**” (GSM 03.34 version 7.0.0 Release 1998), August, 1999.
- [ETSI99e] ETSI TS 101 285 “**Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); Customised Applications for Mobile Network Enhanced Logic (CAMEL); Service definition - Stage 1**” (GSM 02.78 version 7.0.0 Release 1998), August, 1999.
- [Gal68] R. G. Gallager, “**Information Theory and Reliable Communication**”: John Wiley & Sons, 1968.
- [God97] Godara, C. Lal. “**Applications of Antenna Arrays to Mobile Communications, Part I: Performance Improvement, Feasibility, and System Considerations**”. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 85, n° 7, July 1997.
- [Gui98] Guimarães, D. A., “**Introdução às Comunicações Móveis**”, *Revista INATEL Telecomunicações*, Vol. 01, No. 01, agosto de 1998.
- [Hay01] Haykin, S., “**Communication Systems**”, 4<sup>th</sup> edition: John Wiley and Sons, Inc. New York, 2001.
- [Hay95] Haykin, Simon, “**Adaptive Filter Theory**”, 3<sup>rd</sup> edition, Boston, London: Prentice Hall Incorporated, 1995.
- [IEEE90] Institute of Electrical & Electronics Engineers, Inc., “**IEEE 802 – Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture**”, IEEE Computer Society Document, 1990.
- [ITU00] <http://www.itu.int/imt>, 2000.
- [ITU93] ITU-T RECMN F.850, “**Principles of Universal Personal Telecommunication (UPT) – Operations and Quality of Service**”, 1993.
- [ITU99a] <http://www.itu.int/plweb/cgi/fastweb?getdoc+view1+www+35100+14++W-cdma>, 1999.
- [ITU99b] Federative Republic of Brazil, Document 8-1/B 02-E, Question ITU-R 39/8, “**Responses to Survey Proposal on Fixed Wireless Access within IMT-2000 for Developing Countries**”, 1999.
- [ITUlet] ITU-R, “**Circular Letter: Request for Submission of Candidate Radio Transmission Technologies (RTTs) for the IMT-2000/FPLMTS Radio Interface**”, Circular Letter 8/LCCE/47.
- [Jac94] Jackes, William C. and Cox, Donald C. (editors), “**Microwave Mobile Communications**”, 2<sup>nd</sup> edition, IEEE Press: New Jersey, 1994.
- [Lee94] Lee, E. A. and Messerschmitt, D. G., “**Digital Communication**”, 2<sup>nd</sup> edition: Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [Mil00] Milstein, Laurence B., “**Wideband Code Division Multiple Access**”. Invited Paper, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 18, No. 8, August 2000.
- [Pan00] Pandya, Raj, “**Mobile and Personal Communication Systems and Services**”. New York: IEEE Press, 2000.
- [Pra00] Prasad, Ramjee; Mohr, Werner and Konhäuser, Walter (editors), “**Third Generation Communication Systems**”, Universal Personal Communications series: Boston, London: Artech House Publishers, 2000.
- [Pro95] Proakis, J. G., “**Digital Communications**”, 3<sup>rd</sup> edition: McGraw Hill. New York, 1995.
- [R1034] Rec. ITU-R M.1034-1 “**Requirements for the Radio Interface(s) for International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000)**”, 1997.
- [R1225] Rec. ITU-R M.1225 “**Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies (RTT) for IMT-2000**”, 1997.
- [R1308] Rec. ITU-R M.1308-1 “**Evolution of Land Mobile Systems Towards IMT-2000**”, 1997.
- [R1711] Rec. ITU-T Q.1711, “**Signalling requirements and protocols for IMT-2000, Network functional model for IMT-2000**”, March, 1999.
- [R6872] Rec. ITU-R M.687-2, “**International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000)**”, 1997.

[R819] Rec. ITU-R M.819-2 “**International Mobile Telecommunications – 2000 (IMT-2000) for Developing Countries**”, 1997.

[Roh00] Rohde & Schwarz, “**II Ciclo de Palestras de Atualização Tecnológica – 3ª Geração**”: Maio 2000.

[Rrkey] Radiocommunication Study Group 8, Draft New Recommendation ITU-R [IMT.RKEY] “**Key Characteristics for the IMT-2000 Radio Interfaces**”, May 2000.

[Rrspc] Radiocommunication Study Group 8, Draft New Recommendation ITU-R M.[IMT.RSPC] “**Detailed Specifications of the Radio Interfaces of IMT-2000**”, April, 2000. Atual Recomendação ITU-R M.1457.

[RX25] Rec. ITU-T X.25, “**Interface between Data Terminal Equipment (DTE) and Data Circuit-Terminating Equipment (DCE) for Terminals Operating in the Packet Mode and Connected to Public Data Networks by Dedicated Circuit**”, September 1998.

[Sha45] Shannon, Claude E., “**A mathematical theory of communications**”. *Bell Systems Technical Journal*, vol.27, pp. 379-423 and 623-656, 1948.

[Sin00] Singh, Manjit and Singh, Manoneet, “**3G Wireless With Respect to IMT-2000 and Beyond**”, *ITU documentation on-line* (<http://www.itu.int>), February 2000.

[TIA00a] TIA/EIA/IS-2000-A “**cdma2000 Series**”, March 2000.

[TIA00b] TIA/EIA-136-xxx “**TDMA Third Generation Wireless**”, Universal Wireless Communication 136 (UWC-136), March 2000.

[Tur80] Turim, G. L., “**Introduction to Spread-Spectrum Antimultipath Techniques and Their Application to Urban Digital Radio**”. *Proceedings of the IEEE*, vol. 68, No. 3, pp. 328353, March 1980.

[Wic95] Wicker, Stephen B., “**Error Control Systems for Digital Communication and Storage**”: New Jersey, Prentice Hall, 1995.

[Wid67] Widrow, B. P. E. Mantey, L.J. Griggiths, and B. B. Goode. “**Adaptive Antenna Systems**”. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 55, n° 12, December 1967.

[Wrc00a] The World Radiocommunication Conference, Resolution [COM5/24] (WRC-2000), “**Additional frequency bands identified for IMT-2000**”, Istanbul, Turquia, 2000.

[Wrc00b] The World Radiocommunication Conference, Resolution [COM5/25] (WRC-2000), “**Frequency bands for the terrestrial component of IMT-2000 below 1 GHz**”, Istanbul, Turquia, 2000.

[Wrc00c] The World Radiocommunication Conference, Resolution [COM5/26] (WRC-2000), “**Use of additional frequency bands for the satellite component of IMT-2000**”, Istanbul, Turquia, 2000.

[Wrc00d] The World Radiocommunication Conference, Resolution [COM5/13] (WRC-2000), “**Use of high altitude platform stations providing IMT-2000 in the bands 1,885-1,980 MHz, 2,010-2,025 MHz and 2,110-2,170 MHz in Regions 1 and 3 and 1,885-1,980 MHz and 2,110-2,160 MHz in Region 2**”, Istanbul, Turquia, 2000.

[Wrc00e] The World Radiocommunication Conference, Resolution [GT PLEN-2/3] (WRC-2000), “**Studies to consider requirements for the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000 as defined by ITU-R**”, Istanbul, Turquia, 2000.

## SOBRE O AUTOR

Dayani Adionel Guimarães nasceu em Carrancas, MG, em março de 1969. Em 1987, 1994, e 1998 obteve, respectivamente, os títulos de Técnico em Eletrônica pela Escola Técnica de Eletrônica – ETE “FMC” de Santa Rita do Sapucaí, MG, Engenheiro Eletricista pelo Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL de Santa Rita do Sapucaí, MG e Mestre em Engenharia Elétrica nas áreas de Eletrônica e Comunicações pela Universidade Estadual de Campinas, SP – UNICAMP. Possui também curso de especialização em Administração com ênfase em Gerência de RH pela Faculdade de Administração e Informática – FAI de Santa Rita do Sapucaí, MG. Possui experiência de 5 anos em projetos de sensores e equipamentos para instrumentação industrial e controle e, de 1 ano, como Supervisor de Produção e Supervisor de Engenharia de Produtos na SENSE Sensores e Instrumentos. Tendo sido admitido em janeiro de 1995, hoje é Professor Assistente do INATEL, onde também é responsável pela estrutura que dá suporte às atividades de ensino prático dos departamentos de telecomunicações e eletrônica. Se encontra em fase de elaboração de tese de Doutorado na UNICAMP. Suas pesquisas incluem aspectos gerais das