

RÁDIOS DIGITAIS PARA REDES DE ACESSO

*Marcello Praça Gomes da Silva**

INTRODUÇÃO

Chama-se *redes de acesso* àquelas redes de telecomunicações que fazem o acesso direto aos usuários (indústrias, escritórios, residências). Tradicionalmente o acesso vinha sendo feito através de cabos de pares (para comunicação de dados, voz, textos etc.) com o uso de *modems*. Já o acesso às emissoras de TV era feito através de cabos coaxiais ou enlaces rádio na banda de 13GHz.

Com o crescimento das necessidades de comunicação foram desenvolvidas novas técnicas com a incumbência de suportar taxas (ou velocidades) cada vez mais elevadas e possuidoras de alta confiabilidade e disponibilidade.

Um bom exemplo das novas taxas de transmissão se situa na área de comunicação de dados entre computadores. Há alguns anos, uma taxa de 9.600 bits por segundo era considerada elevada. Hoje em dia, a maioria dos usuários de computadores pessoais possuem *modems* de 56 mil bits por segundo.

FACILIDADES

Se uma certa empresa quiser implementar uma rede de computadores interligando seu escritório e sua unidade fabril (ambos localizados na mesma cidade, porém geograficamen-

* Engenheiro de Telecomunicações Sênior da NEXTEL Telecomunicações Ltda. E-mail: marcello.praca@uol.com.br.

te distantes um do outro) ela irá dispor de uma série de opções de meios de transmissão (ou facilidades). Algumas dessas opções são: fibras ópticas, *modems* HDSL, *cable modems*, radioenlaces ou satélites.

As fibras ópticas pertencem à chamada classe dos *meios físicos* ou *meios confinados*. Os meios físicos englobam os cabos de pares, os guias de onda, os cabos coaxiais e multicoaxiais, as linhas abertas (*open wires*) e quaisquer outros condutores elétricos para comunicação.

Os meios físicos necessitam de obras de infra-estrutura ao longo de toda a sua extensão para serem implantados. Isto pode representar um custo muito alto para o orçamento disponível. Além disso, a posição geográfica poderá vir a criar outras dificuldades, tais como: a travessia de vias públicas, o cruzamento de serras ou cordilheiras, largas extensões de terras ou rios. Isso sem falar nas dificuldades com os direitos de passagem junto, por exemplo, às prefeituras.

Se ambas as estações terminais estiverem situadas no mesmo terreno e já forem interligadas por posteação ou dutos, a passagem da nova cabeção poderá ser facilitada. Todavia, isto nem sempre acontece, pois o duto pode estar fisicamente congestionado por um grande número de cabos já existentes. De maneira análoga, a posteação pode não suportar o lançamento de um novo cabo (por menor que ele seja).

A ligação via satélite é custosa e, a princípio, não deveria ser vantajosa utilizá-la para enlaces ponto-a-ponto (a não ser, talvez, que as distâncias envolvidas fossem muito grandes).

O satélite é essencialmente um meio multiponto (ponto-multiponto, multiponto-multiponto ou multiponto-ponto).

Uma solução atraente é a interligação dos dois pontos via um enlace rádio (ou radioenlace) dedicado.

No ambiente urbano os rádios digitais em microondas (DMRs – Digital Microwave Radios) vem sendo amplamente usados na composição das redes de acesso aos usuários (RAUs). As filosofias existentes são o ponto-a-ponto (P-P) e o ponto-multiponto (P-MP).

A ligação ponto-a-ponto ocorre entre duas estações fixas A e B (no entanto pode haver um ou mais pontos de repetição intermediários entre os extremos). Já a ligação ponto-multiponto conecta uma estação A com diversas outras estações (fisicamente ela se parece com uma estrela onde o ponto A é o núcleo ou ponto nodal, ou seja, o centro da estrela). Por outro lado, as estações terminais são as pontas das estrelas.

O rádio ponto-multiponto possui velocidades desde 1.200bps (bits por segundo) até 64kbps (quilobits por segundo), tendo capacidade total de 2 ou 4Mbit/s (opera na faixa de 2GHz). Pode ser considerado como um substituto de modem de dados convencional (utilizados em LPCDs – Linhas Privativas para Comunicação de Dados).

O sistema P-MP se constitui em uma estação nodal, estações terminais (nos clientes) e estações repetidoras (se houver). O alcance máximo entre uma estação terminal e a sua respectiva nodal (ou repetidora) é da ordem de vinte quilômetros.

O sistema P-MP atua de acordo com a filosofia TDM/TDMA (Time Division Multiplexing / Time Division Multiple Access).

Os DMRs são ideais para serem usados em lances curtos e médios, na transmissão de voz, dados e imagens. Existem também versões para transmissão de vídeo analógico e LAN (Redes Locais de Computadores) em 10 ou 16Mbits/s.

As principais frequências usadas no Brasil para o radioacesso são 15, 18, 23 e 38GHz (micro-ondas) além de 900MHz (UHF).

Para clientes de grande porte e com necessidade de velocidades muito elevadas de transmissão pode-se, por exemplo, usar a banda de 8GHz alta (34Mbit/s).

A Tabela 1 mostra a correspondência entre a megabitagem digital PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) e os respectivos canais analógicos FDM.

Nível da hierarquia	Velocidade de Transmissão (kbit/s)	Número de Canais de Voz PCM
zero	64	1
1	2.048	30
2	8.448	120
3	34.368	480
4	139.264	1.920

OBS.: As velocidades dos níveis hierárquicos 1, 2, 3 e 4 são normalmente escritas como 2, 8, 34 e 140Mbit/s.

Tabela 1: Hierarquia PDH ITU-T (antigo ccitt)

Existe também o nível hierárquico 5 que corresponde, aproximadamente, à 565Mbit/s. Esta taxa, no entanto, somente é usada em enlaces com fibras ópticas ou cabos coaxiais de banda ultra-larga (*ultra broadband*) e foi superada pela hierarquia digital síncrona SDH.

VANTAGENS E PRECAUÇÕES COM OS RADIOENLACES

Dentre as vantagens apresentadas podemos destacar:

- Ampla variedade de taxas de transmissão (que vão desde alguns quilobits por segundo até muitos megabits por segundo).
- Facilidade e rapidez de alinhamento e instalação.
- Alta confiabilidade devido ao elevado MTBF do equipamento (Mean Time Between Failures ou Tempo Médio entre Falhas – TMEF).
- Manutenção restrita aos equipamentos dos dois extremos (o meio físico de propagação é a própria atmosfera em vez de um meio físico confinado sujeito a desgastes de todos os tipos). Esta característica, se bem aproveitada, pode colaborar para um baixo MTTR (Mean Time to Repair ou Tempo Médio para Reparação – TMPR).

- Simplicidade de *upgrading* (expansão). Se a taxa de transmissão entre os dois pontos precisar ser aumentada, um novo radioenlace (em paralelo com o primeiro) poderá ser rapidamente implantado.

Em muitos casos, a mudança de megabitagem pode ser feita com a troca de placas de circuito.

- Baixo consumo (baixa wattagem), leveza e pequena ocupação de espaço físico.
- Testes de *loopback* remoto e local (para auxílio à manutenção).
- Elevada eficiência espectral (medida em bps/Hz – bits por segundo por hertz).
- Facilidades de alarmes e supervisão.
- Existência de canal de serviço (SC – *Service Channel*).
- Pouca limitação em distância. Dependendo da quilobitagem, da topografia, da faixa de frequência e dos requisitos de desempenho pretendidos, o radioenlace poderá cobrir dezenas de quilômetros (sem ou com repetição entre as estações terminais).

Obviamente que diversos problemas e obrigações também podem estar presentes, dentre os quais destacam-se:

- Custo total do empreendimento.

A relação custo-benefício é, no entanto, excelente. Usando-se meios físicos confinados (cabos coaxiais e cabos de pares) é bom lembrar que também há necessidade de equipamentos terminais de linha e, em geral, de um número maior de repetidores em função da distância envolvida. Isto sem contar com as obras de infra-estrutura para passagem da cabeceação.

- Necessidade de registro de frequência junto ao órgão competente (ANATEL no Brasil).
- Interferência de outros sistemas rádio (ou de outras fontes).

Um bom projeto mantém os níveis de interferência, provenientes de outros sistemas rádio, em valores aceitáveis além de garantir uma margem de desvanecimento (*fading margin*) ampla o suficiente para suportar as demais degradações (multipercursos, atenuação por hidrometeoros e gases atmosféricos etc.). Interferências de outras fontes são, por exemplo, o ruído de ignição, os radares, os *links* de satélites etc.

- Congestionamento espectral (principalmente nas faixas inferiores do espectro, UHF por exemplo). Uma determinada região geográfica onde existam muitos enlaces em 15GHz, por exemplo, poderá sofrer os efeitos do congestionamento espectral (notadamente nos seus pontos nodais).
- Área de cobertura limitada pelas condições topográficas (naturais ou artificiais).

Para *bypassar* um relevo adverso será feito ou um cálculo de altura de torre e antena ou a escolha de um (ou mais) ponto(s) para a colocação de repetidores ativos ou passivos (antenas *back-to-back* ou refletores). Na faixa de 900MHz usa-se apenas repetidores ativos ou passivos (não se usa refletores passivos).

Nas faixas de VHF (Very High Frequency) e UHF (Ultra High Frequency) é possível se estabelecer a comunicação entre dois pontos com o enlace obstruído via mecanismo de propagação por difração. Isto já não é factível no âmbito das microondas em radiovisibilidade.

Se o enlace for obstruído (banda de 900MHz) é necessário que se faça um detalhado teste de propagação e de BER (Bit Error Ratio) ou TEB (Taxa de Erro de Bits) para comprovar ou não a viabilidade da ligação.

INFORMAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DE RADIOENLACES

As equipes que participam de pré-vistorias e vistorias de instalação devem haurir uma grande quantidade de informações *in loco*. Muitas delas, entretanto, não precisam ser enviadas à área de Engenharia de Projetos (pois não são pertinentes ao dimensionamento dos radioenlaces).

As informações a serem fornecidas pelas equipes de instalação e de vistoria à área de projetos são:

a) *Coodenadas Geográficas das Estações (latitude e longitude)*

Os valores podem ser dados em graus decimais ou em graus na base 60 (sexagesimais). Esta última é a forma mais comum (graus, minutos e segundos).

Deve ser incluída, obrigatoriamente, a informação do datum horizontal (Córrego Alegre, Astro Chuá, SAD-69, WGS-72 e WGS-84 são aqueles que devem ser utilizados no Brasil).

As coordenadas geográficas podem ser obtidas via levantamento topográfico tradicional (maior precisão), pelo uso de aparelhos GPS (Global Positioning System) ou através de cartas topográficas (graficamente).

Quando o envio das coordenadas for feito através de fotocópia de carta topográfica deverão ser tomadas as seguintes precauções:

1. A fotocópia deverá conter as escalas N (norte) e E (leste) legíveis.
2. A fotocópia deverá conter a legenda da respectiva carta com as seguintes informações:
 - Nome da referida carta.
 - Datum horizontal (ou planimétrico).
 - Datum vertical (ou altimétrico).
 - Equidistância das curvas de nível (em metros).
 - Meridiano central.
 - Escala da carta.
 - Esquema de articulação da folha.
 - Localização da folha no estado.
3. A carta topográfica deverá ser pelo menos na escala 1:50.000 (um para cinquenta mil) ou de preferência melhor (1:10.000, 1:5.000, 1:2.000). Na falta destas use-se a melhor escala que estiver disponível.

O projetista, de posse da fotocópia, irá obter as coordenadas geográficas (latitude e longitude) a partir das coordenadas planas UTM (Universal Transversal Mercator). Obterá também a altitude aproximada do solo (em metros).

É escusado dizer que a legibilidade de toda a fotocópia deve ser a melhor possível para se evitar erros de interpretação.

b) *Altitudes das Estações em relação ao Nível Médio do Mar (NMM ou MSL – Mean Sea Level)*

Em geral as altitudes são dadas em metros. Podem ser tiradas de cartas topográficas, serem obtidas via levantamento topográfico tradicional ou por meio de aparelhos portatéis GPS (deve se evitar esta última forma). A referência altimétrica mais comum nas cartas topográficas brasileiras costuma ser o *datum* vertical denominado *Marégrafo de Imbituba* (no estado de Santa Catarina).

c) *Alturas das Antenas em Relação ao Solo*

São medidas a partir do *port* das antenas (quaisquer que sejam os tipos – parabólicas, Yagis, helicoidais, cornetas). Em geral as alturas são dadas em metros. Sempre que possível o técnico deverá medir a altura com uma trena ou outro método confiável (evitando se basear em informações de terceiros).

d) *Tipo e Comprimento da Cabeção de Radiofrequência*

Esta informação somente é pertinente para as bandas de 900MHz e 2GHz. O comprimento do cabo de RF deve ser dado com a maior exatidão possível. O trajeto do cabo deve ser cuidadosamente estudado para se evitar percursos perigosos, demasiadamente longos, curvas por demais acentuadas etc.

e) *Tipo do Acesso (faixa Pretendida, Taxa de Transmissão, Modelo do Equipamento Rádio, Número e Características dos Circuitos de Dados)*

f) *Informações de Radiovisada*

Se é livre ou obstruída, tipo da obstrução (se houver). Devem ser dadas todas as radiovisadas que forem livres (ou seja, para todas as estações da prestadora de serviços).

g) *Endereços Completos das estações*

Rua, estrada ou avenida, CEP (de 8 algarismos), estado, município, distrito e bairro.

h) *Contacto (Nome, Telefone, Celular, Fax, Telex, Pager, E-Mail)*

Sempre que possível indicar um mínimo de duas pessoas de contacto (a principal e outra secundária).

PROJETO

Após terminado o dimensionamento do enlace rádio a área de projetos deverá enviar uma correspondência para a área de instalação com todas as informações pertinentes. Estas informações são:

a) *Comprimento do Lance (em quilômetros)*

Calculado a partir das coordenadas geográficas das estações, medido em campo (com telurômetro ou distanciômetro por exemplo) ou tirado de carta topográfica.

b) Potências de Transmissão (em dBm)

Valor existente na porta de saída do equipamento rádio (não considera a perda no cabo de RF e nem em atenuadores externos).

Muito embora a potência de transmissão pudesse ser fornecida em watts (unidade linear) isto não é uma prática muito comum.

c) Tipo das Antenas (modelo e diâmetro se for o caso)

No caso de antenas parabólicas o item diâmetro é pertinente. Para antenas Yagi-Uda ele não tem significado.

d) Atenuadores Fixos de RF (valores em dB)

Normalmente não se usa atenuadores variáveis ou ajustáveis.

e) Polarização da Antena (vertical ou horizontal)**f) Atenuações nos Cabos de RF**

Este item só é pertinente para as bandas de 900MHz (P-P) e 2GHz (P-MP). Deve ser explicitado qual o tipo de coaxial que se está usando (RGC 213, LCF 7/8" etc.).

g) Frequências de Transmissão (em MHz ou GHz)

Obviamente que se fornecemos as frequências de transmissão das estações A e B não será preciso fornecer as suas respectivas frequências de recepção.

h) Níveis de Potência Recebida (em dBm)

SISTEMAS RÁDIO PARA ACESSO EM 15, 18 E 23GHz

As distâncias máximas, para um único lance, ficam em torno de 25 quilômetros (15GHz), 20 quilômetros (18GHz) e 10 quilômetros (23GHz).

Existe um variado leque de velocidades (taxas de transmissão), a saber: 2, 2x2 e 4x2Mbit/s. Uma taxa de 4x2Mbit/s (= 8Mbit/s) indica que existem quatro portas de banda básica digital (cada uma carreando 2Mbit/s). Raciocínio idêntico é feito para uma taxa de 2x2Mbit/s (duas portas de banda básica digital cada uma carreando 2Mbit/s). No estágio multiplexador estes tributários (dois ou quatro a depender do caso) serão devidamente multiplexados para dar origem ao agregado de 4 ou 8Mbit/s.

Se for necessário uma elevada megabitagem existem rádios com taxas de 34 e 140Mbit/s (hierarquia plesiócrona PDH) e 155Mbit/s (hierarquia síncrona SDH).

Nas faixas de 15, 18 e 23GHz usam-se antenas parabólicas inteiriças com diâmetros de 30, 60, 120 e 180 centímetros com qualidade *standard* (padrão), alta ou ultra-alta performance. Às vezes, é também necessário usar colares (saias ou *necklaces*) e/ou radomes (protetores) de baixas perdas.

O colar reduz o transbordo ou transbordamento (*spillover*) enquanto o radome protege a corneta de alimentação (*feedhorn*) e a superfície refletora contra as intempéries do tempo (ventos fortes, granizo, neve, chuva intensa, formação de gelo). O radome também protege contra dejetos deixados por aves, formação de ninhos e colmeias.

As antenas podem ser montadas em um mastro (*pole-mount*), na parede (*wall-mount*), em tripé (*tripod-mount*) ou diretamente fixadas sob um teto (*ceiling-mount*). Este último caso é usado em frequências muito elevadas (como 50GHz) em virtude do baixo peso total do conjunto.

A conexão da antena com a parte de RF é feita através de um guia de ondas flexível (*flexible waveguide* ou *twist flex*).

Existem três tipos de instalação: *indoor* (ou interna), *outdoor* (ou externa) e *split* (mista ou bipartida).

Na *indoor* o conjunto fica no interior de um cômodo e a antena fica do lado externo (imediatamente do outro lado da parede). Uma variante do tipo *indoor* mantém também a antena do lado interno (por detrás de uma janela envidraçada).

Quando a antena estiver situada atrás de uma janela envidraçada a equipe de projetos deverá ser informada com antecedência. Nesse caso o vidro introduzirá uma atenuação suplementar (a qual irá variar de acordo com a composição do vidro, a sua espessura, a frequência, a distância do vidro até a antena e o ângulo de incidência do feixe). O pior caso será quando o vidro estiver recoberto por uma película refletora metalizada e/ou contiver certos constituintes tais como o chumbo (atenuações superiores a vinte decibéis podem então ocorrer).

No tipo *split* o equipamento é separado em duas partes (daí o nome). A parte externa é composta basicamente pela unidade de radiofrequência (a RFU) e a parte interna é composta pelo *modem* (modulador/demodulador), banda base e multiplex (se houver estágio de multiplexação). A interligação entre as duas partes (interna e externa) é feita através de um multicabo operando em frequência intermediária (FI).

No tipo *outdoor* o equipamento fica acondicionado em um *housing* (ou gabinete) ao relento e liga-se aos equipamentos auxiliares internos via cabos de banda base. O gabinete é do tipo *weather proof* (à prova do tempo meteorológico). A extensão dos cabos de banda base poderá atingir até 300 metros (o que possibilita um grande afastamento do equipamento rádio *outdoor* das suas fontes de dados). Algumas vezes esta distância precisa ser grande por razões de radiovisibilidade entre as estações.

Acima de 10GHz a propagação troposférica (através da troposfera) é afetada significativamente por hidrometeoros. Hidrometeoros é o nome dado à uma série de fenômenos meteorológicos que se precipitam com conteúdo aquoso (como a neve, o granizo, o nevoeiro, as nuvens e a chuva).

Nos países equatoriais e tropicais úmidos (como o Brasil, o Zaire e a Indonésia) o hidrometeoro de maior importância é a chuva (ou precipitação pluviométrica). Já em países com desertos arenosos (como a Arábia Saudita e a Argélia) é sabido que as tempestades de areia se revestem de uma grande importância prática (atenuação suplementar por partículas sólidas).

A propagação troposférica também é afetada pelos gases atmosféricos dependendo da frequência de operação do enlace, da temperatura, da altitude (rarefação do ar) e dos ângulos de elevação. Os gases atmosféricos de maior relevância são o oxigênio e o vapor d'água não condensado (embora existam outros gases de menor importância como o nitrogênio e o dióxido de carbono).

No espectro temos raias de absorção (linhas muito estreitas) onde as atenuações são elevadas. Tais raias estão separadas por intervalos de baixas perdas. O oxigênio (O₂) absorve muito em 60GHz (acima de 10 decibéis por quilômetro) e também em 118,7GHz (acima de 2 decibéis por quilômetro). Abaixo de 10GHz a influência atenuadora do oxigênio é desprezível (são apenas milésimos de decibéis por quilômetro).

O vapor d'água possui uma linha de absorção de quase 0,2 decibéis por quilômetro em 22,2GHz e de mais de 20 decibéis por quilômetro em 183,3GHz. Acima de 200GHz (ondas submilimétricas) o vapor d'água prepondera (valores de 5 decibéis por quilômetro ou mais).

Normalmente os radioenlaces para acesso funcionam na configuração "1 + 0", ou seja, sem proteção (*unprotected*) embora seja possível a utilização da configuração "1 + 1" (mantendo, todavia, a mesma frequência de operação). Esta última característica é fundamental como fator de economia do espectro de radiofrequência (que é um recurso limitado, caro e amplamente disputado pelos usuários em geral).

SISTEMAS RÁDIO PARA ACESSO EM 900MHz

Os rádios podem ser transparentes aos dados por eles transportados (caso o sejam, eles não realizarão qualquer checagem de conteúdo, erros ou controle da informação original). Mesmo assim, o equipamento deverá fornecer alguns indicativos de anormalidades, tais como: queda do nível de recepção abaixo de um certo limiar (limiar de 10 E-3 ou 10 E-6), falta de dados na porta de entrada de banda base etc.

Para a faixa de 900MHz (UHF) o equipamento transmissor-receptor (transceptor) é comumente chamado modem-rádio e possui dimensões físicas aproximadamente iguais às de um vídeo-casete residencial.

Sua potência máxima de transmissão é de +37dBm (ou 5 watts) e ele trabalha nas bandas de 928 a 929MHz (baixas) e 940 a 941MHz (altas). A potência de transmissão pode ser variada (de +37dBm para menos).

O sistema também permite usar atenuadores de RF (fixos ou variáveis). Esses atenuadores devem ser inseridos entre o cabo coaxial de RF e o rádio (são comuns tanto ao caminho de transmissão quanto ao caminho de recepção).

A potência consumida (wattagem) é 60 watts e o rádio opera no modo *full-duplex* ou *half-duplex* (semi-duplex). Sua alimentação no lado remoto (ou lado do cliente) é AC, 110 ou 220 VAC, 50 ou 60 hertz. Sua alimentação no lado central (lado da prestadora de serviços) é DC.

O equipamento fica totalmente acondicionado em um único módulo e não necessita de modem externo. Além dele, somente é preciso o sistema irradiante.

Genericamente nós podemos dizer que a distância máxima entre duas estações nesta faixa fica em torno de 50 ou 60 quilômetros para um único lance (*single-hop link*).

A faixa de 900MHz transporta duas canalizações: 19,2kbit/s e 64kbit/s. A Tabela 2 mostra os pares de frequência para 19,2kbit/s e a Tabela 3 mostra os pares para 64kbit/s.

Número do Canal de RF	F ida (baixas)	F volta (altas)
21	928,5125	940,5125
22	928,5375	940,5375
23	928,5625	940,5625
24	928,5875	940,5875

Tabela 2: Plano de Frequências (antigo) para 900MHz – 19,2kbit/s

Número do Canal de RF	F ida (baixas)	F volta (altas)
1	928,65	940,65
2	928,75	940,75
3	928,85	940,85
4	928,95	940,95

Tabela 3: Plano de Frequências (antigo) para 900MHz – 64kbit/s

Observe que para 19,2kbit/s a separação entre portadoras é de 25kHz e para 64kbit/s a separação entre portadoras é de 100kHz. Estes valores são tais que não existe interferência de canal adjacente (existe somente a interferência co-canal).

Normalmente se dispõe de dois tipos de antena para sua instalação: parabólica (vazada, tipo grade ou inteiriça) e Yagi-Uda (ou simplesmente Yagi). De acordo com a situação sistêmica encontrada pelo projetista do enlace (infra-estrutura para sustentação da antena, disponibilidade de espaço físico, interferências, obstruções etc.) um dos dois tipos de antena será selecionado.

Em relação à parabólica a antena Yagi-Uda possui menor ganho, seu diagrama de irradiação é de pior qualidade (lóbulo principal mais largo e maiores lóbulos secundários) e a sua relação frente-costas é menor. Todavia, em virtude das dimensões e do peso reduzido, a antena Yagi-Uda possui uma instalação bem mais simples e rápida.

Um exemplo de antena Yagi-Uda usada nesta faixa é a TY-900 (do fabricante norte-americano SCALA). A TY-900 tem um ganho no meio da faixa de 12,2dBi (decibéis em relação ao

irradiador isotrópico). A TY-900 pesa 1,5 quilogramas-força e é montada em um tubo de diâmetro de duas polegadas. Sua capacidade de ajuste em azimute é de 360° ($\pm 180^\circ$) e ela pode variar o ângulo de elevação através do uso de um suporte especial. A VSWR na porta de entrada é tipicamente 1,35 e no máximo é igual à 1,5. A relação frente-costas (FBR – *Front-to-Back Ratio*) é de 20 decibéis (no mínimo).

Um exemplo de antena parabólica vazada (estrutura tipo grade) usada nesta faixa é a PV2-890 (de fabricação nacional). A PV2-890 tem um ganho no meio da faixa de 22,5dBi (aproximadamente 10 decibéis maior do que o ganho da Yagi-Uda TY-900) e é especificada para operar na faixa de 890 a 960MHz. O diâmetro da PV2-890 é de 2 metros e seu peso é 52 quilogramas-força. Como a PV2-890 é uma antena vazada, ela possui uma pequena área de exposição. Isto significa uma baixa carga de vento comparando com outras antenas parabólicas inteiriças de mesmo diâmetro. Deve ser montada em um tubo de diâmetro de quatro polegadas e possui capacidade de ajuste fino em elevação de ± 10 graus. Sua VSWR na porta de entrada vale 1,3.

Além da PV2-890, também é possível se usar antenas parabólicas de diâmetros maiores como a PV4-890 (4 metros).

Os cabos coaxiais de RF levam o sinal de RF desde o *port* de saída do equipamento rádio até o *port* da antena. Na recepção eles se incumbem do inverso.

Os cabos coaxiais de RF mais utilizados neste caso são o RGC 213 e o LCF 7/8". O RGC 213 possui impedância característica de 50ohms e uma atenuação distribuída de 16,48 decibéis por 100 metros (na frequência de 1.000MHz e na temperatura de 20°C). O LCF 7/8" (sete oitavos de polegadas) possui uma atenuação distribuída cerca de 4 vezes menor do que a anterior (= 4,3 decibéis por 100 metros em 1.000MHz a 20°C). Em compensação, o manuseio do LCF 7/8" é mais difícil do que o manuseio do RGC 213 (em razão do maior diâmetro). Isto dificulta sobremaneira a realização de curvas (notadamente as curvas mais fechadas).

O cabo LCF 7/8" é mais indicado quando tivermos lances longos em linha reta (como a descida de torres altas) ou quando for preciso minimizar as atenuações nos cabos de RF. Em geral, quanto maior a secção reta do cabo coaxial menor será a atenuação distribuída do mesmo.

Algumas características adicionais do cabo coaxial RGC 213 estão listadas a seguir:

- Encamisamento, camisa, capa ou jaqueta: polietileno;
- Isolação: PE-expanso;
- Tolerância da impedância característica: ± 3 ohms;
- Fator velocidade: $81 \pm 3\%$;
- Peso distribuído: 135 quilogramas-força por mil metros;
- Atenuação distribuída em 2.100MHz: 25,25 decibéis por 100 metros (valor aplicável ao sistema ponto-multiponto na banda de 2GHz).

Também se usa o RGC 213 para enlaces ponto-multiponto na banda de 2GHz (embora nesta faixa se prefira, geralmente, usar o LCF 7/8" por causa da atenuação distribuída ser muito menor).

A seleção do cabo coaxial envolve critérios como a potência média e a potência de pico, o raio de curvatura, o fator velocidade (ou velocidade de propagação relativa), a frequência máxima de operação do cabo e o peso distribuído (em quilogramas-força por unidade de comprimento). Na

banda de 900MHz (para rádio-acesso) o critério de maior importância costuma ser o da atenuação distribuída.

O cabo coaxial possui conector macho (do tipo “N”, por exemplo). O *port* da antena e o *port* do rádio devem possuir conectores fêmea. Se o cabo coaxial tiver conector “N” em ambas as extremidades será preciso que os *ports* da antena e do rádio também tenham conectores do tipo “N”. Caso contrário será obrigatório o uso de quadripólos adaptadores (os chamados adaptadores de RF).

Todavia, o uso de adaptadores degrada o desempenho global do sistema (através do aumento da atenuação total, do possível aumento do vazamento ou escapamento de RF nas interfaces e da introdução de descontinuidades nas interfaces adaptador-cabo e adaptador-antena ou adaptador-rádio).

Por melhor que seja o adaptador nunca haverá uma conexão perfeita (o descasamento de impedâncias sempre existe em qualquer interface de RF). Uma regra básica a ser seguida por todos que trabalham com microondas é:

“Sempre que for possível, evitar o uso de adaptadores.”

Todas as conexões coaxiais externas (ao relento) devem ser protegidas adequadamente da chuva e da umidade (caso a umidade penetre em uma conexão, ocorrerá uma degradação do desempenho do sistema, através do aumento da VSWR na interface). Isto é particularmente importante na conexão do cabo coaxial com a antena (em geral esta é a única conexão que fica exposta ao tempo). Para vedá-la existem selantes que envolvem completamente os conectores. Um dos mais usados para cabos coaxiais de 3/8 de polegada (como o modelo LDF2-50) é o vedador a frio denominado Cold Shrink™ e que é muito empregado em microondas.

TESTES E ENSAIOS (CAMPO/FÁBRICA)

- Perda de retorno nas entradas (IRL – *Input Return Loss*) ou VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) nas entradas;
- Verificação das formas de onda nas saídas de banda básica;
- Aceitação de *jitter* (*jitter* na entrada);
- *Jitter* intrínseco;
- Ganho ou função de transferência de *jitter* (= G_{jt});
- Curvas nível de recepção x BER (*Bit Error Ratio*);
- BER residual (= RBER);
- Potência de transmissão (= P_{Tx});
- Espectro de RF na transmissão;
- Frequência de transmissão (valor e estabilidade);
- Osciladores locais (TX e RX);
- Espúrios em RF;
- Alarmes e pontos de monitoração;

- Canais de serviço e comutação (caso haja);
- Inspeção visual e mecânica geral;
- Teste da pintura (em equipamentos e bastidores).

CS1

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, M. *Enlaces Urbanos em Freqüências Superiores a 10GHz*.
———. *Rain Effects in Tropical and Equatorial Areas – A Review*.
Engenharia de Sistemas Rádio Digital, EQUITEL.
- HARRIS-FARINON, Seminar. *Technical Considerations*. Novembro de 1991.
Planning Guide, Digital Microwave Corporation.
- Seminário *A Evolução da Rede da Embratel sob Enfoque Tecnológico* – Coletânea de artigos técnicos.
Embratel, Rio de Janeiro, 1993.
- SILVA, Marcello Praça Gomes da. “Informação nas Ondas do Rádio”. *Connections – a Revista de Redes*.
Ano II, nº 15, agosto de 1993.
- SILVA, Marcello Praça Gomes da e SILVA, Luiz Augusto Curvello Herdy. *Rádios Digitais para Comunicação de Dados*. Salvador, Anais do INFOBAHIA 93, 1993.
- Últimas Tendências em Planificación y Desarrollo de Tecnologías en Redes de Telecomunicación. Seminário AOTS-NEC, RJ, dezembro de 1991.

NOTICIÁRIO

Recebemos da ABEM o exemplar do primeiro número do *Jornal Informativo da Associação Brasileira de Engenharia Militar*, contendo farto noticiário sobre as atividades da Engenharia Militar.

Agradecendo a remessa, a RMCT deseja ao recém-inaugurado informativo uma longa e profícua existência. Aproveitamos, também, o ensejo para nos colocar à disposição da ABEM para o trabalho comum de apoio cultural ao setor científico-tecnológico das Forças Armadas.