

2 Sistemas Via Satélite e VSAT

2.1. Histórico Resumido de Sistemas Via-Satélite

A idéia dos satélites de telecomunicação apareceu pouco depois da segunda guerra mundial pelo então oficial de radar Arthur C. Clarke, mais tarde conhecido por seus livros de ficção científica. A idéia original propunha no seu artigo enviado à revista *Wireless World* a colocação em órbita de três repetidores separados de 120° sob a linha do equador a 36000 km de altitude (geoestacionário). Estes repetidores teriam a finalidade de realizar a comunicação de rádio e televisão a toda parte do globo. Apesar de Clarke ter formalizado a idéia, sugerindo o seu uso na área das comunicações, Newton já havia sugerido em seu livro '*Philosophie naturalis principia mathematica*' o lançamento de um satélite artificial através de um canhão.

Devido à falta de tecnologia para o lançamento de tais equipamentos (através de foguetes), o exército americano fez os primeiros experimentos de propagação de radiocomunicações entre 1951 e 1955 utilizando a lua, um satélite natural, como refletor passivo. Os experimento não obteve sucesso devido a grande distância existente entre a terra e a lua e à falta de tecnologia para operar com sinais de baixíssima amplitude e relação sinal/ruído.

O satélite espacial, Sputnik 1, realizou a primeira experiência de transmissão e recepção de sinais do espaço. O Sputnik 1 enviava para Terra sinais nas frequências de 20 e 40 MHz, o que provava a possibilidade de uma comunicação à longa distância.

Somente no final de 1960, com a troca das baterias por células solares realizou-se uma retransmissão de dados enviados da Terra. O satélite militar Courier 1B podia armazenar e retransmitir até 68000 palavras por minuto.

A partir de 1960, conclui-se que a utilização de satélites artificiais era a melhor opção para as comunicações, sendo abandonado o experimento do satélite

natural (Lua). Pretendia-se que eles fossem como as torres de repetição de microondas existentes no sistema telefônico.

Assim, o primeiro satélite de comunicações foi lançado em 1962, chamado de Telstar 1. Este satélite tinha órbita baixa e foi o primeiro satélite de utilização comercial, patrocinado pela Corporation AT&T (*American Telephone and Telegraph*).

A partir disto, vários outros satélites foram lançados a fim de realizar testes, aperfeiçoamentos e comunicações intercontinentais como forma de atrair atenção e mercado. Dentre eles constam o Telstar 2, Relay 1, Relay 2, Syncom 1 e Syncom 2. O Syncom 3 destaca-se por ter realizado, ao vivo, a retransmissão dos jogos olímpicos de 1964.

Em 1965 é lançado o Intelsat, mais conhecido como Early bird com 240 circuito telefônicos que apesar de ter sido projetado para funcionar 18 meses, permaneceu em operação 4 anos.

Depois de 1965, com o crescente mercado em expansão, verificou-se que os projetos foram ficando cada vez mais especializados e voltados para países específicos. Assim aconteceu com o Canadá através do Anik, Espanha através do Hispasat e os EUA com sua rede de satélites de defesa DSCS (*Defense Satellite Communications System*), FLTSATCOM (*Fleet Satellite Communications System*) e o AFSATCOM (*Air Force Satellite Communication System*). Como não podia deixar de ser, mediante a época da Guerra Fria, a URSS desenvolveu sua série de satélites Molniya que tiveram um impacto econômico, social e político muito grande por unificar a o imenso estado soviético tão diversificado através televisão (primeiro PB e depois colorida) e do telefone.

Ressalta-se que nesta época, década de 70, as antenas de comunicação com os satélites tinham 12 m de diâmetro e requeriam elevada potência. Por este motivo eram realizadas somente em estações que distribuam os dados captados localmente.

No início da década de 80 as antenas ainda possuíam 7 metros e deste então cá o desenvolvimento não parou, tanto no tamanho quanto nas formas de transmissão/recepção, além da compactação dos dados visando à economia de banda (onde se lê banda pode ser lido meio circulante - dinheiro).

A expansão das telecomunicações no Brasil começou com a família de satélites Brasilsat, atualmente formada pelo A2 - de primeira geração - e pelos B1, B2 e B3 - de segunda geração, lançados pela Embratel a partir de 1985.

Os satélites tiveram participação essencial na interligação de todo o território nacional, levando a televisão, a telefonia e a comunicação de dados aos quatro cantos do país, possibilitando a expansão da Internet e colocando ao alcance de todos um universo de serviços. Além disso, os satélites são responsáveis por interligações entre continentes, independentemente da distância.

Na década de 90, o sistema VSAT (Very Small Aperture Terminal) surgiu e se firmou no espaço como mais um meio físico para o uso das comunicações. Utiliza uma menor banda nos transponders, antenas menores e, em consequência, mais potência no enlace de subida e de descida.

A utilização deles é feita em regiões remotas, onde a infra-estrutura local (cabos metálicos, enlaces de microondas ou fibra ótica) é pouco desenvolvida. Um bom exemplo para estes casos são os telefones rurais e telefones/fax para o ramo marítimo. Apesar disto, observa-se um aspecto importante em sua utilização. Os EUA possuem a metade de todos os terminais VSAT existentes em todo o mundo relativamente bem distribuídos pelo seu território apesar de possuírem uma das mais avançadas redes de comunicação terrestre. A este fato atribui-se a uma recente tarefa desta tecnologia, que é a de transpassar redes terrestres com tráfego saturado que muitas vezes limitam redes de maior velocidade.

2.2. Configuração Básica de um Sistema de Via-Satélite

A Figura 2.1 ilustra a configuração básica com dois tipos de estações terrenas utilizadas em Sistemas VSAT, descritos a seguir.

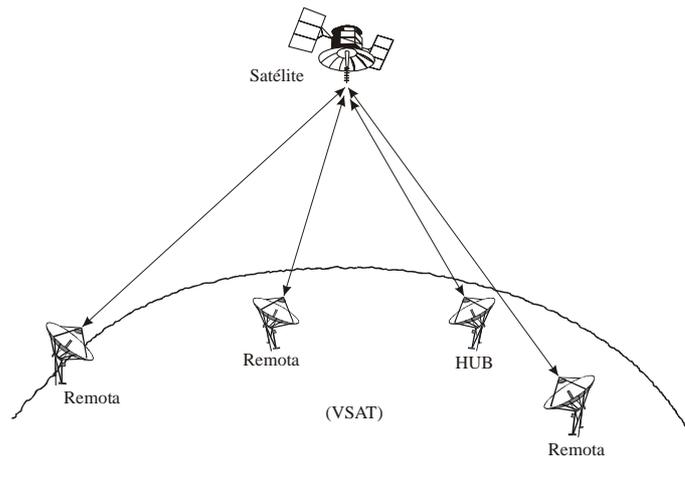


Figura 2.1: Configuração básica de um sistema de comunicação via-satélite

2.3. Estações Terrenas

O segmento terrestre compreende estações terrenas destinadas exclusivamente à manutenção e operação do satélite e outras para o fim principal do sistema que é o serviço de comunicação entre usuários, geralmente classificadas e designadas conforme a relação abaixo:

- **ET** (Estação Terrena de Comunicação): destinadas exclusivamente aos serviços de telefonia, comunicações de dados, transmissão e recepção de TV, etc. Constituem os principais objetivos do sistema, sendo geralmente classificada como:
 - a) **HUB** ou **MASTER**: estação central coletora e/ou distribuidora de informações de uma determinada rede de estações remotas
 - b) **REMOTA**: estação terminal de usuário, classificada em:
 - **TVRO**: para recepções de TV exclusivamente
 - **VSAT**: estação transmissora e/ou receptora para telefonia, dados e TV, equipada com antena de pequena abertura.

2.4. Tipos de Satélites

Existem duas zonas de elevada densidade de partículas radiativas em órbita da Terra, denominadas de cinturões de Van Hallen [3], e que compreendem as faixas de altitudes de 1500 - 5000 km e 13000-20000 km. A radiação existente nestas zonas deterioraria o equipamento dos satélites sendo, portanto, impróprias para órbitas. Como decorrência destes cinturões as diversas órbitas são classificadas de acordo com :

- LEO (baixa órbita elíptica terrestre): abaixo dos 2000 km;
- MEO (média órbita elíptica terrestre): entre 5000 km e 15000 km;
- HEO (alta órbita elíptica terrestre): a partir de 20000 km (onde se incluem os satélites geoestacionários – GEO).

A vida útil de um satélite depende de sua característica orbital. Abaixo dos 200 km não é tecnicamente possível a manutenção de um satélite, devido ao seu baixo tempo de vida por deterioração e aquecimento. A necessidade de motores e combustível nos satélites para correção de órbita limita ainda o seu tempo de vida. O tempo de vida médio dos satélites LEO e MEO são da ordem dos 7-10 anos, sendo dos GEO da ordem dos 15-20 anos.

Os satélites também são classificados quanto à sua cobertura na superfície da Terra. Dependendo da abrangência geográfica de seu(s) feixe(s) são classificados em REGIONAIS ou INTERNACIONAIS ou GLOBAIS. Satélites regionais possuem feixes cuja cobertura é restrita a alguns países ou menores. Satélites internacionais ou globais possuem feixes de cobertura mundial, geralmente através de redes.

2.5. Tipos de Serviços

Os diversos tipos de serviços de Telecomunicações via satélite são agrupados de acordo com:

- Serviço Fixo Via Satélite ou FSS (Fixed Satellite Service)
- Serviço Móvel Via Satélite ou MSS (Mobile Satellite Service)

O Serviço Fixo caracteriza-se por estações terrenas de posição fixa e especificada, podendo utilizar satélites GSO ou móvel.

No Serviço Móvel uma ou ambas estações terrenas não tem posição especificada, podendo ser móvel ou transportável.

2.6. Sistemas Não Geoestacionários

Os sistemas não geoestacionários utilizam satélites de órbitas baixas LEO, satélites em órbitas médias MEO ou satélites de órbitas altamente elípticas HEO. Podem ter períodos orbitais - de revolução em torno da Terra - tão pequenas quanto 100 minutos. Dada a sua proximidade, oferecem a vantagem imediata de não necessitarem de emissores muito potentes. A Figura 2.2 ilustra um caso de órbita não geoestacionária circular e inclinada.

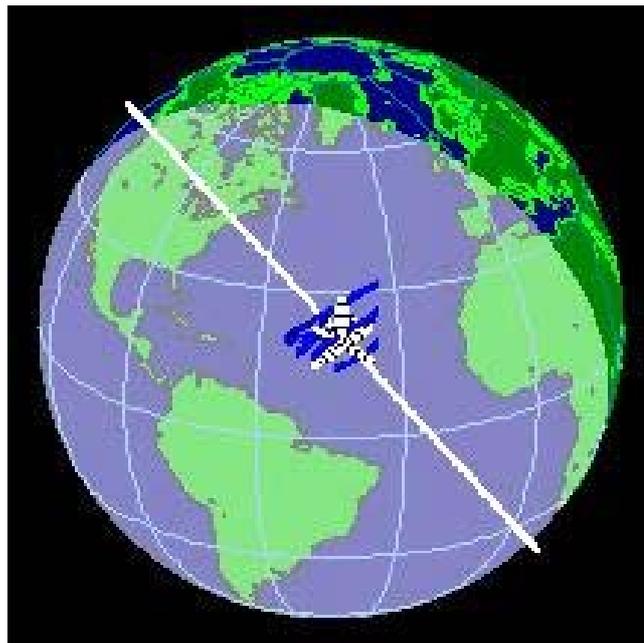


Figura 2.2: Órbita de um satélite não geoestacionário

2.7. Sistemas Geoestacionários

Outra concepção da cobertura por satélite é a que emprega sistemas geoestacionários (GEO) [3]. Trata-se, basicamente, de um artefato espacial colocado em tal ponto no espaço que adquire sincronia com o próprio movimento

terrestre, cobrindo, por conseguinte, permanentemente, uma mesma zona do globo. Para um usuário no solo, um satélite geoestacionário manterá sempre a mesma posição relativa no céu.

Isto se deve ao fato da órbita geoestacionária ser circular no plano do equador (não inclinada) e o satélite girar no sentido da rotação da Terra com altitude em torno de 36000 Km.

2.8. Redes VSAT

Idealizada no fim da década de 80, com o objetivo inicial de integrar unidades separadas por longas distâncias, a rede de comunicações VSAT (Very Small Aperture Terminal) tem sido utilizada comercialmente há 14 anos. Seu nome refere-se a qualquer terminal fixo usado para prover comunicações interativas, ou somente de recepção.

As redes VSAT são constituídas por três componentes fundamentais:

- Estações remotas (terminais VSAT)
- Uma estação master opcional (HUB)
- Satélite de retransmissão.

Como será explicada posteriormente, a HUB gerencia a rede num determinado tipo de topologia e tem o propósito de controlar o acesso pelo provedor de serviço.

Todos os terminais VSAT de um mesmo sistema utilizam o mesmo *transponder* e compartilham a mesma banda.

O sistema VSAT se diferencia dos demais por usar antenas de pequeno diâmetro, menores que 2,5 m para terminais nas estações remotas e ter baixo custo. A Figura 2.3 é ilustrativa das partes que compõem um terminal VSAT.

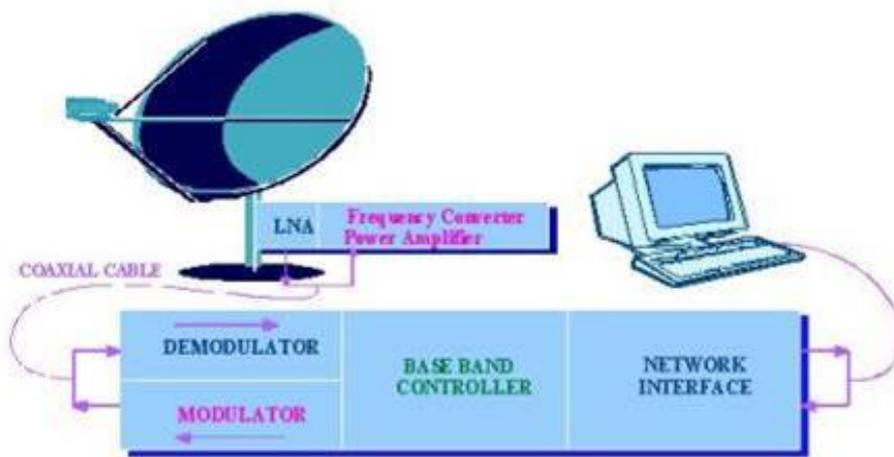


Figura 2.3: Terminal VSAT

Os sinais recebidos do satélite são muito fracos e, conseqüentemente, precisam ser amplificados. Para minimizar a geração de ruídos no processo de recepção, é utilizado um módulo LNA (*Low Noise Amplifier*). A amplificação e conversão para a frequência adequada ao *uplink* são realizadas pelo módulo *Power Amplifier/Frequency Converter*. Além desses dois blocos existe ainda o bloco *Base Band Controller* que limita o *uplink* e o *downlink* além do modulador e demodulador que será visto mais à frente.

Nesta seção serão estudados separadamente os tipos de rede VSAT, seus componentes, suas técnicas de acesso e tipos de modulação utilizados.

Várias topologias de redes, protocolos e interfaces estão disponíveis para serem implementados em aplicações de comunicação VSAT. Como exemplo podemos citar alguns protocolos como ATM, Frame Relay, IP, X25 e o próprio ISDN.

Redes VSATs geralmente utilizam topologia em estrela. Nessa topologia existe uma central (HUB) que atua como os atuais HUB's de redes locais (par trançado), e um primeiro terminal VSAT que deseja transmitir para um segundo executa os seguintes passos:

- 1) Transmissão VSAT₁ para o satélite;
- 2) Transmissão do satélite para o HUB;
- 3) Transmissão do HUB para o satélite;
- 4) Transmissão do satélite VSAT₂;

A Figura 2.4 é ilustrativa do processo descrito acima.

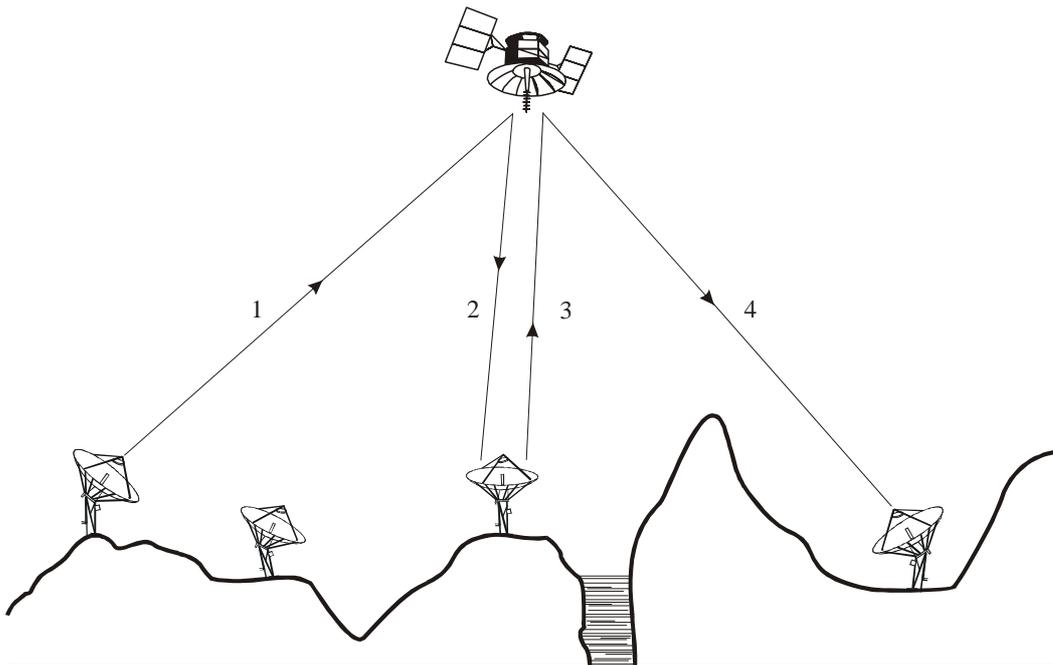


Figura 2.4: Transmissão com topologia em Estrela

O outro tipo de arquitetura, menos usual, é a topologia de *malha* ou *mesh* onde qualquer um dos terminais VSAT se comunica, por intermédio somente do satélite, diretamente com um ou mais terminais. Este tipo de topologia é extremamente útil quando se deseja diminuir o tempo de atraso de uma transmissão, já que há somente um salto entre os dois pontos.

Os satélites utilizados em ambas topologias são do tipo geoestacionários. Assim, como o satélite está a uma altitude de 36.000 km acima do equador, num enlace com dois terminais VSAT juntos e logo abaixo do satélite, o tempo de propagação seria de 240 ms para uma transmissão na topologia em malha. Para um sistema VSAT com HUB (topologia em estrela) este tempo duplicaria devido aos dois saltos. Esta é uma importante característica que dificulta a utilização do VSAT em sistemas que utilizem aplicações que necessitem de tempo real; em contrapartida, o custo de transmissão independe da distância percorrida entre os pontos.

No caso das estações VSATs estarem conectadas à rede de telefonia pública em áreas rurais, a HUB funcionaria como elo para a conexão. Isso acontece da mesma forma quando se deseja oferecer Internet a estações remotas, cada estação recebendo um IP fixo.

2.8.1. Componentes e Bandas de um Sistema VSAT

A Figura 2.5 é ilustrativa dos diversos componentes de um Sistema VSAT.

O mais crítico componente do sistema VSAT é sem dúvida o satélite. Caso haja algum problema nos seus painéis solares ou no controle do seu sistema de geonavegação simplesmente não há comunicação. Os satélites modernos são compostos de 24 transponders ou mais, cada um com largura de faixa de 36 MHz ou mais [1].

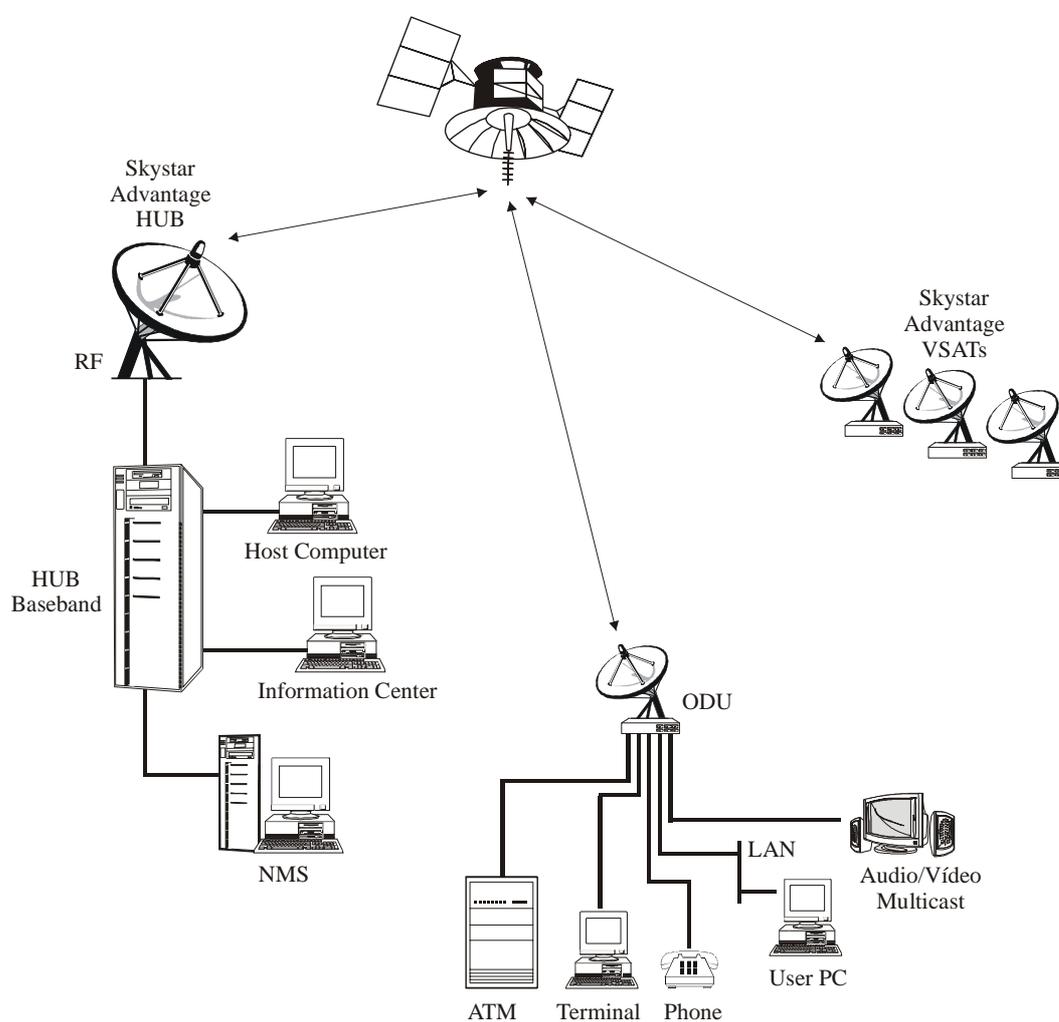


Figura 2.5: Componentes de um sistema VSAT

A primeira banda a ser explorada comercialmente foi a banda C, devido à sua cobertura ser mais ampla. Esta banda apresenta elevada interferência com

outros sistemas terrestres, dificultando principalmente a recepção, já que há compartilhamento com os enlaces de microondas.

A banda Ku, bastante utilizada atualmente, possui uma desvantagem natural devido às altas frequências: chuva. Para minimizar este problema duas técnicas são utilizadas atualmente. A primeira e mais comum é aumento da potência de transmissão tanto do satélite quanto dos terminais durante períodos de chuva mais intensa. A outra, é a utilização de diversidade de sítio que consiste de HUB's adicionais e distanciadas entre si de modo a propiciar percursos alternativos sem chuva intensa no enlace HUB-satélite.

As estações VSAT podem com uma única antena agrupar vários tipos de serviço para a transmissão. Pode ser visto na figura 2.5 que uma única estação pode agrupar serviços como ATM (caixa eletrônico), terminais isolados que são conectados a mainframes, serviço de telefone, rede para computador pessoal ou PC (*personal computer*) e vídeo-conferência (considerando as ressalvas sobre o atraso).

Dois fatores influenciam diretamente os diâmetros das antenas das estações. O primeiro é o feixe emitido pelo satélite que pode ser pontual (*spot*), hemisférico ou global. Quando mais concentrado, teríamos maior densidade de energia para as antenas, necessitando de menores diâmetros. Além disso, como o ganho da antena é dependente da frequência, obviamente teríamos diâmetros maiores para menores frequências. Desta forma, a banda C utiliza antenas maiores que as utilizadas nas bandas Ku e Ka.

Analisando agora o HUB, observa-se que alguns computadores estão ligados fisicamente a esta unidade. O primeiro deles é o anfitrião (*host*), com a função de fornecer a informação necessária às estações ou conectá-las a uma rede externa. O centro de informações (*information center*) é utilizado para guardar as informações dos clientes, podendo ser convertido para uma estação junto ao HUB. E, finalmente, NMS (*Network Management System*) é utilizado pelo gerente da rede. Por meio do NMS podem-se monitorar e controlar o uso do transponder pelas diversas transmissões em termos de potência e faixa ocupada, e o tráfego, além de executar diagnósticos e relatórios estatísticos.

2.8.2. Técnicas e Protocolos de Múltiplo Acesso

O compartilhamento do transponder pelas diversas portadoras que a ele se destinam exige o uso de técnicas e protocolos de múltiplo acesso. Algumas delas são conhecidas como, P-ALOHA (*Pure ALOHA*), S-ALOHA (*Slotted ALOHA*), DAMA (*Consignação por demanda*), TDMA (*múltiplo acesso por divisão em tempo*), FDMA (*múltiplo acesso por divisão em frequência*) e CDMA (*múltiplo acesso por divisão em código*). Códigos corretores como o FEC (*Forward Error Correction*) com redundâncias de 1/2 ou 3/4 e detectores de erros são freqüentemente usados nas técnicas de acesso. A técnica e o protocolo de acesso estão intimamente ligados à aplicação e à topologia utilizadas.

No processo P-ALOHA, quando um dado terminal tem um quadro a ser transmitido, ele o transmite instantaneamente, mesmo se o canal estiver sendo utilizado. O terminal “ouve” o meio e, caso esteja ocupado, respeitando o tempo de atraso inerente, assume que a mensagem foi enviada com sucesso. Caso contrário ele aguarda um tempo aleatório para retransmitir o quadro. Alguns sistemas reconhecem se o quadro foi devidamente transmitido por um *ack* vindo do HUB. Este processo aleatório de transmissão pelas VSATs é ineficiente em termos de taxa de sucesso na transmissão dos pacotes.

O processo Slotted-Aloha é uma versão ligeiramente melhorada do Aloha que tem como objetivo reduzir a taxa de colisões comparativamente com o processo P-ALOHA se sobreponham o máximo possível. O método utilizado foi fazer que as transmissões dos quadros só possam ocorrer em períodos determinados. Assim, um quadro não pode interferir com o outro que já esteja na metade de sua transmissão. Por esta razão, este sistema praticamente dobra a eficiência em relação ao anterior. A sincronização se dá através do relógio do HUB, considerando assim as diferentes distâncias dos terminais.

O TDMA (*Time Division Multiple Access*) se caracteriza pela divisão no tempo do sinal processado pelo *transponder*. O método mais utilizado dentro desta técnica é o TDMA-DA (*Demand Assignment*) onde o HUB fica responsável por alocar o *slot* para a transmissão de cada terminal VSAT de acordo com a transmissão previamente requerida. TDMA é o método mais utilizado nas redes VSAT comerciais.

Na técnica FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) cada terminal VSAT transmite com uma portadora exclusiva. Assim, se obtém para cada *transponder* a divisão em frequência dos canais.

Nas redes VSAT que utilizam a técnica CDMA (*Code Division Multiple Access*), cada terminal recebe um número pseudo-randômico (*PN*), único utilizado para codificar e decodificar suas transmissões. Vários VSAT podem transmitir simultaneamente na mesma frequência, sendo o sinal separado na recepção pelo HUB. A transmissão do HUB também é codificada da mesma forma, porém um único PN é atribuído a ele, o que permite a recepção por todos os terminais.

Com o protocolo DAMA (*Demand Assignment Multiple Access*), se um terminal VSAT deseja realizar uma transmissão, este terminal faz uma requisição de um *slot* no tempo ou frequência para fazê-la. A atribuição do *slot* é feita pelo NMS (*Network Management System*) e este somente é liberado após a conclusão da transmissão. Este protocolo de acesso por demanda é a técnica utilizada para os serviços de telefonia, principalmente, para aumentar a eficiência do uso de um *transponder* evitando períodos de ociosidade comparativamente a um protocolo de consignação fixa.

2.8.3. Modulação

A modulação utilizada em qualquer sistema digital é escolhida levando-se em consideração a robustez a efeitos de ruídos, interferências, condições de propagação e eficiência espectral. Assim acontece com sistemas via-satélite que, em geral, utilizam as modulações PSK (*phase shift keying*) binária e quaternária. Modulações que envolvem a amplitude da portadora, como a QAM (*quadrature amplitude modulation*) e a ASK (*amplitude shift keying*) são em princípio inadequadas, já que o canal via-satélite é extremamente não linear e sua atenuação é variável com tempo. Entretanto, atualmente há sistemas que empregam modulação QAM com 16 níveis, viabilizada pelo uso de códigos corretores de erro bastante robustos. A modulação FSK (*frequency shift keying*) tem sido pouco utilizada pela sua baixa eficiência espectral.

Os diversos tipos de modulação podem ser comparados, em termos de sua robustez ao ruído e interferências, através da relação entre a taxa de bits errados

ou BER (bit error rate) e a correspondente razão energia de bit/densidade espectral de ruído (E_b/N_0), como ilustrado na Figura 2.6.

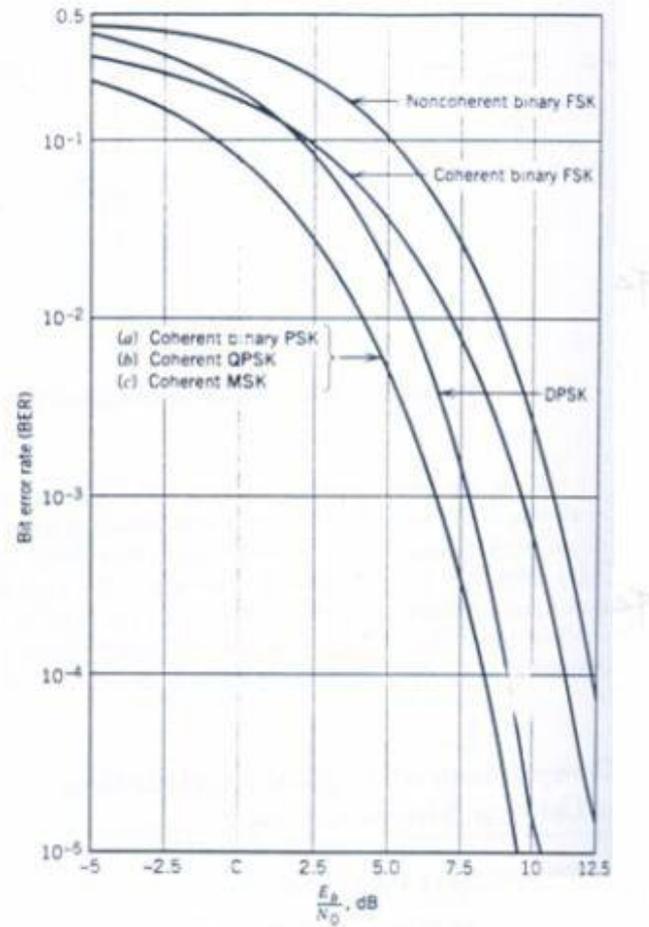


Figura 2.6: BER x E_b/N_0