
APLICAÇÕES, SERVIÇOS E ARQUITETURAS DE REDE EM SISTEMAS DE SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS DE COMUNICAÇÃO

Marcio A. Protzek*

José R. Descardecii**

Resumo

Com cerca de 30 anos de história, as comunicações por satélite podem ser consideradas um sistema maduro e estável, mas em franco processo de evolução e estando intimamente relacionadas com a mais alta tecnologia. As características de custo dos recursos por satélite em conjunto com suas propriedades básicas indicam que esse sistema de comunicação é voltado a tipos específicos de serviços, aplicações e configurações de rede. Atualmente, tendo em vista os processos de globalização, nos quais as telecomunicações internacionais têm apresentado um crescimento consistente, a comunicação por satélite surge como alternativa adequada para a formação de redes de área ampla, públicas ou privadas, tanto de forma isolada como em

* DAELN – CEFET/PR
E-mail: mprotzek@cefetpr.br

** DEE – Centro Politécnico – UFPR
E-mail: descar@eletrica.ufpr.br

composição com outros tipos de estruturas de comunicação. O objetivo deste trabalho, estruturado como um tutorial, é apresentar, por meio de situações hipotéticas e de casos já implantados, exemplos de aplicações, serviços e arquiteturas de rede que se utilizam dos recursos dos satélites geostacionários de comunicação, proporcionando, também, uma revisão dos fundamentos da tecnologia.

Abstract

With 30 years of history, the satellite communications can be considered a mature and stable system, but in great process of evolution and close relationship with the high technology. The costs characteristics of satellite resources with its basics properties show that this communication system is adapted to specific types of services, applications and networks configurations. Currently, because of the globalizations process, the telecommunications have been showing a consistent growth and the satellites communications appears as a suitable alternative to build wide area networks (public or private), joined with another kind of communication structure or alone. The objective of this tutorial is to show examples of applications, services and network architectures that use the geostationary satellite communications, also showing some hypothetical and real cases.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de comunicação por satélite podem ser divididos em três tipos de serviços, como sugerido pelo ITU (International Telecommunication Union):

- a) serviços fixos;
- b) serviços de difusão;
- c) serviços móveis.

Os serviços fixos e móveis constituem a maior área dentro do sistema de telecomunicações por satélite.¹ Entre esses serviços, o fixo é a aplicação mais antiga, tendo alcançado grande sucesso internacional, operando com satélites geoestacionários. A área móvel é a que tem apresentado as mais radicais e rápidas mudanças. O sistema de difusão encontrou diversas dificuldades em sua implementação inicial.¹ Esses serviços são providos aos usuários por empresas ou consórcios por meio de diversos tipos de redes de comunicação via satélite.

O objetivo deste artigo é apresentar alguns possíveis serviços, aplicações e configurações de redes que empregam o sistema de comunicação por satélites geoestacionários de comunicação, abordando tanto situações hipotéticas como redes já implantadas. Apresenta, também, uma revisão de diversos conceitos e fundamentos da tecnologia. Para tanto, o artigo foi dividido em nove seções. As seções 2, 3 e 4 estão voltadas para os serviços, conforme a definição do ITU, ou seja, redes VSAT (como exemplo típico de serviço fixo), serviços de difusão e serviço móvel, respectivamente, com os exemplos pertinentes.

As seções seguintes estendem a divisão do ITU, sendo relacionadas ao aspecto de formação de redes com o protocolo IP (*Internet Protocol*) – seção 5, da multimídia – seção 6, enquanto a seção 7 exemplifica um serviço multimídia voltado à medicina. Já a seção 8 é focada em novos serviços, com sugestões de implementações com protocolo ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), e a seção 9 trata das conclusões do artigo.

2 AS REDES VSAT

2.1 Topologia

As redes VSAT, acrônimo de *Very Small Aperture Terminal*, surgiram no início da década de 80, designando estações terrenas de satélite com antenas de abertura reduzida (tipicamente inferiores a 2,4m de diâmetro),^{2,3} operando com a tecnologia

CDMA (*Code Division Multiple Access*) e de forma unidirecional (simplex). Atualmente, operam com transmissão de informação na forma duplex (bidirecional), com tecnologias FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) e TDMA (*Time Division Multiple Access*), além da CDMA,⁴ e são um dos serviços mais típicos da configuração fixa.

A tecnologia VSAT permite o fornecimento de diversos tipos de serviços para os mais diversos segmentos, como agricultura, educação, construção civil, instituições financeiras, governo, transporte, entre outros.⁵ O Quadro 1 traz um resumo com alguns tipos de serviços e aplicações para as redes VSAT.

A arquitetura das redes VSAT pode ser avaliada do ponto de vista da topologia física e lógica.² Normalmente, a estrutura física é caracterizada por uma topologia em estrela, com múltiplas estações remotas de baixo custo conectadas, por meio do sistema de satélite, a uma estação central chamada “Hub”.

A comunicação entre um terminal VSAT remoto e a estação Hub, em que a portadora é chamada de *inbound* ou *inroute*, é realizada por meio de diversas técnicas; a portadora da Hub para as estações remotas é chamada de *outbound* ou *outroute*. A portadora de *outbound* é diferente da portadora de *inbound* em dois aspectos fundamentais, objetivando a manutenção de baixo custo para o demodulador do terminal VSAT:

1. a *outbound* tem uma alta taxa de dados, o que permite que múltiplas estações remotas recebam informações em um mesmo canal *outbound*. A relação da capacidade de canal entre a portadora de *outbound* e a de *inbound* encontra-se, tipicamente, entre 5 para 1 a 20 para 1;³
2. a portadora de *outbound* emprega modulação contínua.

QUADRO 1

Exemplos de serviços e aplicações para redes VSAT

Serviço		Exemplo de aplicações
Distribuição e <i>broadcast</i> de informação	Dados	Bancos de dados, meteorologia, lista de preços, vendas a varejo
	Imagem	Facsimile
	Áudio	Jornais, programas de música, propaganda, controle de tráfego
	Vídeo	Programas de TV: entretenimento, educação etc.
Serviços de monitoração e coleta de informação	Dados	Meteorologia
	Imagem	Topografia
	Vídeo	Imagem com alta compressão
Serviços interativos (topologia em estrela)	Dados	Cartões de crédito, transações financeiras, reservas aéreas
Serviços interativos (topologia ponto-a-ponto)	Dados	Interconexão de redes locais de computadores, conexões entre
	Imagem	CPU's
	Vídeo	Canais de voz de banda estreita, canais de emergência

Na topologia física das redes VSAT convencionais, não é possível a comunicação direta entre estações remotas; para que essa comunicação se realize, é necessário o uso do duplo salto, passando-se pela Hub.⁶ Ou seja, a estação remota transmissora envia a informação para a Hub por meio de sua portadora de *inbound* (primeiro salto); a Hub, por sua vez, roteia essa mesma informação para a estação remota destinatária, por meio da portadora de *outbound* (segundo salto). Nesse caso, o tráfego originado pela estação remota é enviado para a estação Hub, que, por sua vez, envia para a estação remota destinatária. O retardo originado pelo duplo salto é perfeitamente aceitável para a maioria das comunicações de dados, mas pouco adequado para as comunicações de voz.⁶ Caso as estações remotas tenham suficiente potência, e conforme o desenho de rede, estas podem estabelecer a comunicação direta entre si; no entanto, haverá um incremento do custo das comunicações.

A Figura 1 ilustra uma configuração genérica de uma rede VSAT operando na banda Ku. Embora existam diversas redes VSAT operando na banda C, a grande largura de banda disponível na banda Ku é mais aplicável ao tráfego de dados em alta velocidade e à integração de redes de comunicação.²

Os terminais VSAT são caracterizados por serem de baixo custo, por empregarem antenas de baixo diâmetro (geralmente, menor que 2,4m), pela potência de transmissão em torno de 1W,⁴ pela alta facilidade de instalação e manutenção e pela flexibilidade de configuração e alta confiabilidade. Na sua maioria, esses terminais são compostos de dois componentes principais, interligados por um enlace (*interfacility link*).² O primeiro componente fornece todas as funções de processamento necessárias, incluindo as interfaces com o equipamento do usuário e recursos para a rede. Por se localizar dentro do ambiente do usuário, é conhecido como unidade *indoor* (veja a Figura 2). O segundo dispositivo, chamado de unidade *outdoor*, providencia a translação de frequências da portadora entre o segmento espacial e o equipamento de modulação/demodulação da estação remota.

A configuração da estação Hub de uma rede VSAT é similar à dos terminais VSAT, utilizando tanto os equipamentos de rádio como os de banda básica, guardadas as devidas proporções.² No entanto, a Hub possui alta redundância de equipamentos, uma vez que, caso ocorra uma falha da estação principal, a rede inteira será afetada. Para estações Hub que operam na faixa Ku, sua confiabilidade está em torno de 0,999962.⁶ A estação Hub opera com antenas de grande diâmetro, normalmente entre 5m e 9m.

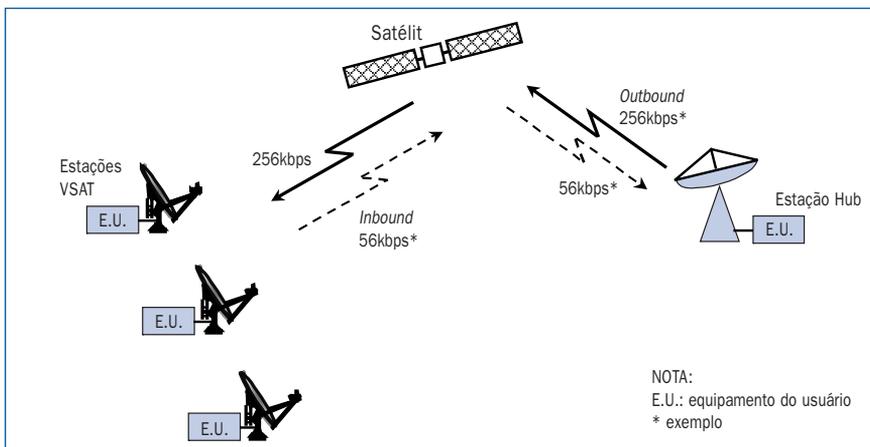


Figura 1 Exemplo de rede VSAT

Nas redes privadas,² a estação Hub é normalmente alocada junto às facilidades de processamento de dados do usuário. Em redes VSAT com estação Hub compartilhada (em que diversos usuários independentes compartilham uma mesma Hub, mas não têm interconectividade entre si), a conexão dos usuários à Hub é feita por meio de enlaces terrestres. A Hub de uma rede VSAT deve, também, fornecer facilidades de gerenciamento para toda a rede, e somente a estação Hub é capaz de monitorar o tráfego da rede.

O segmento espacial de uma rede VSAT é composto por *transponders* de satélite geostacionário operando tanto na banda C como na Ku. A economia do segmento espacial é muito importante nesse tipo de rede, pois o custo de um *transponder* é alto. As redes VSAT usam técnicas para permitir que um grande número de estações compartilhe o recurso do segmento espacial; esse recurso pode ser composto por apenas uma parcela do *transponder*. Nesse caso, a rede deve ser configurada para somente utilizar a quantidade de banda necessária do *transponder* do satélite.

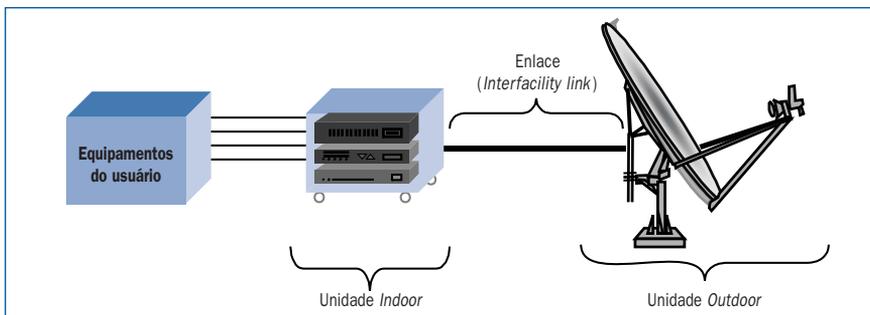


Figura 2 Conceito dos dispositivos da rede VSAT

Enquanto a configuração física das redes VSAT constitui-se da topologia em estrela,² a topologia lógica pode ser configurada para se obter a conectividade total entre as estações, criando-se uma topologia de rede de mescla total (*full mesh*). Nas redes convencionais isso é obtido pelo uso de duplo salto via Hub. Embora a topologia em estrela represente uma séria limitação para o sistema, há duas razões principais para seu uso: em primeiro lugar, as necessidades de potência de transmissão e recepção no sistema VSAT podem ser reduzidas, o que implica a redução do tamanho das estações e a conseqüente redução de custos; em segundo lugar, um dos objetivos da maioria das redes VSAT é estabelecer comunicações entre um grande número de usuários, altamente dispersos, e uma fonte central de informações – dessa forma, a topologia em estrela é mais adequada.⁷ A Figura 3 ilustra a topologia lógica em estrela e a topologia mescla total.

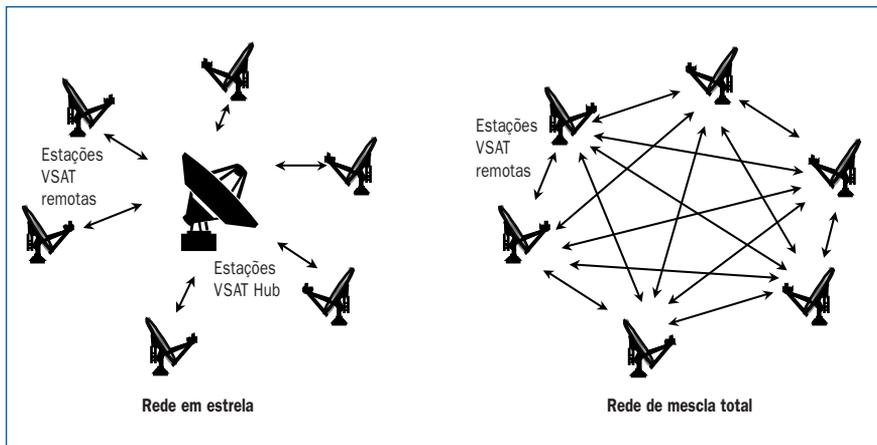


Figura 3 Arquiteturas lógicas VSAT em estrela e mescla total

2.2 Gerenciamento

A estrutura de gerenciamento dentro de uma rede VSAT é muito importante e pode ser o fator decisivo para o sucesso de uma rede VSAT com muitos terminais. Deve ser possível a um usuário do sistema reconfigurar e testar as partes da rede que, logicamente, pertençam ao seu domínio. Essa estrutura² pode ser considerada um conjunto de funções administrativas, operacionais e de planejamento:

- a) funções administrativas: envolvem as funções de configuração, contabilidade, inventário e segurança da rede. Basicamente, as redes VSAT operam com bancos de dados nos quais são armazenadas todas as informações para o correto gerenciamento da rede e que definem as configurações dos equipamentos e das comunicações do sistema;

- b) funções operacionais: são compostas pela monitoração e controle da rede (suporte a alarmes e monitoração de eventos, *logging* e filtragem), coleta e geração de registros (dados relativos ao estado e desempenho da rede) e gerenciamento do acesso a recursos (a capacidade dos recursos);
- c) funções de planejamento: constituem as ações voltadas à otimização da rede conforme o projeto e os perfis de medida de tráfego.

Os protocolos de rede para um sistema VSAT definem os procedimentos para a troca de informações entre as estações VSAT e a Hub. As informações podem ser divididas em duas partes: informações relacionadas com a monitoração/controle da rede e informações dos usuários.

Em geral, as redes VSAT permitem o fornecimento de serviços de comunicação de dados, voz e recepção de vídeo aos usuários. As opções de voz suportadas pelas redes VSAT são tipicamente baseadas em voz digitalmente codificada.² Os serviços de comunicação de dados incluem diversos protocolos de comunicação, como IBM SDLC (*Synchronous Data Link Control*), Bisync 2780 e 3780, Poll/Select (Burroughs) e X.25.³ Os protocolos que usam *polling* (mensagem de questionamento enviada pela estação primária do sistema de processamento), como o Bisync 2780, 3780 e o Poll/Select, possuem o problema do reconhecimento da mensagem (*acknowledgement*). Esses protocolos necessitam de uma confirmação (*poll* de resposta) para cada mensagem transmitida. Se as estações VSATs usassem protocolos do tipo *polling*, uma mensagem de curta duração deveria ocupar o canal do satélite durante cada evento de *polling*. Isso resultaria em um excessivo tempo ocioso. Para

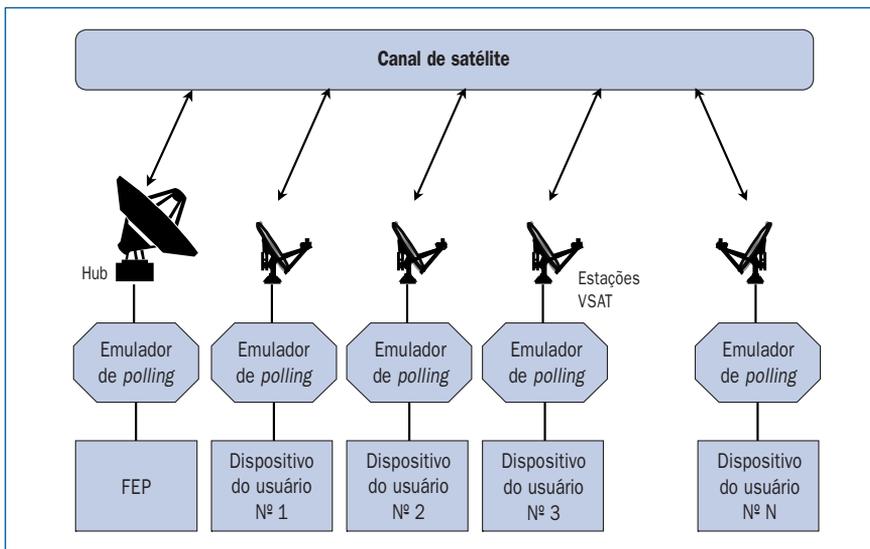


Figura 4 Conceito dos emuladores de *polling* em uma rede VSAT

evitar essa situação, as redes VSAT usam um procedimento conhecido como “emulação de protocolos” para desacoplar o protocolo nativo dos usuários (que emprega o *polling*) e permitir o trânsito de mensagens que não necessitem da confirmação imediata pelo canal do satélite. A Figura 4 ilustra essa situação.

Os emuladores de *polling* “enganam” os dispositivos dos usuários localizados tanto nas estações Hub (em geral FEP – *Front End Processor*) como nas remotas. Quando o processador principal da rede do usuário (FEP) envia um *polling*, o emulador retorna uma mensagem simulando a resposta adequada que seria enviada pelo dispositivo do usuário localizado na estação remota. De forma similar, o dispositivo do usuário localizado na estação remota recebe um *polling* do emulador como se este fosse o FEP da rede. Desse modo, sobre a rede de satélite somente são transmitidas mensagens de dados e de informações críticas de supervisão; nenhuma mensagem de *polling* é transmitida pelo canal do satélite. Os emuladores de *polling* convertem, portanto, os protocolos nativos dos usuários, baseados na estrutura de *polling*, em um protocolo de múltiplo acesso mais eficiente.⁸

Nos casos em que os protocolos de usuários não sejam suportados pela rede VSAT, o sistema fornece conexões digitais semelhantes a enlaces terrestres e que são totalmente transparentes a protocolos.

2.3 Compartilhamento de canais

Os métodos aplicados ao sistema VSAT para o compartilhamento de canais do satélite entre as estações terrenas que operam com a transmissão de pacotes na forma de rajadas podem ser classificados em quatro categorias:²

- a) CDMA;
- b) TDMA *packet reservation* (reserva de pacote) ou *demand assigned* (alocação sob demanda) – DA/TDMA;
- c) TDMA *fixed allocation* (alocação fixa);
- d) TDMA *random access* (acesso aleatório) – RA/TDMA.

No esquema CDMA,³ as estações VSAT compartilham uma mesma portadora *inbound*, cada uma usando uma única seqüência de símbolos de ruído pseudo-randômico para representar cada bit de dados a ser transmitido. Esse esquema necessita de uma grande largura de banda, o que se reflete em uma ineficiência no uso do *transponder*. É, portanto, adequado para aplicações com baixa taxa de dados (menor que 9,6kbps) e aplicações que necessitem do uso do sistema *spread spectrum* (SS/CDMA) para a coordenação de freqüência, devido a restrições quanto à interferência (como, por exemplo, redes VSAT operando na banda C). Em especial para as comunicações por satélite, a técnica SS/CDMA traz outras vantagens: o uso de antenas de baixo diâmetro (cerca de 0,6m para terminais unicamente receptores e

1,2m para terminais bidirecionais), o que diminui os problemas de interferência entre satélites adjacentes ou entre estações terrenas; e um baixo tempo de resposta para os terminais dos usuários, por não haver o problema de colisões entre os pacotes VSAT transmitidos.

No sistema de reserva de pacotes TDMA, a estação remota envia uma solicitação para a Hub requisitando um *slot* de dados. A transmissão dos pacotes de dados se dá somente após a alocação de um *slot* de dados feita pela Hub e a consequente recepção da alocação, pela estação remota. Esse sistema tem um inerente retardo de três saltos de satélite para cada transmissão de informação entre a remota e a Hub. Além disso, esse tipo de protocolo de acesso necessita de alta capacidade no segmento espacial para o tráfego *inbound* de alocação de recursos.

A alocação fixa TDMA é especialmente empregada para situações em que o tráfego entre estações seja alto, devido, por exemplo, a concentrações ou multiplexação. Nesses casos, a alocação fixa permite uma utilização eficiente do canal de satélite.

Na categoria de protocolos de acesso randômico TDMA (RA/TDMA), os canais de satélite são acessados pelas estações VSAT de forma aleatória. A retransmissão de um pacote ocorre após determinado tempo, no qual a estação terrena transmissora aguarda pela recepção de um pacote, sinalizando a recepção positiva da mensagem pela estação transmissora. Nessa técnica, há redução do *throughput* do sistema (capacidade de transferência de informação do canal de comunicação), conforme ocorre o aumento do tráfego. Essa degradação surge porque os pacotes que se perderam ou colidiram na transmissão são retransmitidos nos mesmos *slots* de dados usados para novas transmissões. O processo de retransmissão introduz uma significativa complexidade no desenho do sistema. O retardo de retransmissão pode ser eliminado empregando-se uma taxa de erro de bit (BER – *Bit Error Rate*, definida como a razão entre o número de bits errados pelo total de bits transmitidos) melhor que 10^7 ; isso, apesar de criar um cenário livre de colisões, sacrifica, no entanto, o *throughput* do sistema. Em comparação com a CDMA, a técnica RA/TDMA, em geral, é mais adequada para aplicações em que a *inbound* tenha um maior volume de dados, sendo ideal para aplicações de usuários que necessitem de um misto entre processamento interativo e de lote (*batch*).³

Nos sistemas que operam com alocação sob demanda ou acesso randômico, a Hub distribui para todas as estações remotas participantes do sistema um mapa de *slots* que define os *slots* RA/TDMA e DA/TDMA em cada quadro. Todas as estações devem receber esse mapa e somente transmitir dentro dos *slots* permitidos. Dentro da tecnologia RA/TDMA, o esquema mais utilizado é o *Slotted Aloha*,^{3, 7} em que o tempo de um canal TDMA é dividido em uma série contígua de quadros e *slots*. O tamanho dos *slots* e o número de *slots* em um quadro dependerá do tipo de aplicação. O canal *Slotted Aloha* tem duas desvantagens: a complexidade em

potencial de estabelecer o tempo sincronizado de referência para todas as estações e o comprimento do pacote.⁹ A população de uma rede RA/TDMA dependerá da taxa de dados do canal do satélite, da frequência de atividade de tráfego das estações remotas, do tamanho do bloco de tráfego, do retardo de *throughput* e do critério de contenção escolhido.

Efetivamente, hoje os métodos de acesso predominantes nas transmissões VSAT é o TDM, para os dados de *outbound* (Hub para VSATs),⁷ e RA/TDMA ou SS/CDMA (*Spread Spectrum CDMA*), para os dados de *inbound*.³ A taxa de transmissão típica para a portadora de *outbound* encontra-se entre 128kbps e 256kbps, podendo chegar a 512kbps. Para a portadora de *inbound*, a taxa típica no sistema RA/TDMA encontra-se entre 56kbps e 128kbps, transmitindo no formato *burst*. No sistema CDMA, em especial do *Discret Sequence (DS/CDMA)*, a taxa da portadora de *inbound* está entre 1,2kbps e 9,6kbps, podendo, em algumas situações, chegar a 56kbps.

Quando o *throughput* do sistema SS/CDMA é comparado com o do RA/TDMA para uma dada condição em que o desempenho de ambos os sistemas é similar, o *throughput* do RA/TDMA não é muito melhor que o do SS/CDMA.³

Além dos métodos descritos, as redes VSAT também podem operar no modo FDMA, em especial, usando o SCPC (*Single Channel Per Carrier*).⁴ Essas redes não necessitam de uma estação Hub muito grande, e pequenas redes na configuração estrela ou mescla são viáveis. As estações remotas com antenas de pequeno diâmetro são possíveis, pois, como operam com uma largura de banda reduzida, a potência de transmissão necessária é baixa, implicando amplificadores de potência menores. Esse sistema, costuma operar com o sistema de *polling*, para a transmissão de dados, e o sistema DAMA, para aplicações de voz.⁴ No sentido da portadora de *inbound*, o sistema FDMA pode ser combinado com o TDMA, objetivando otimizar os recursos do satélite. Dessa forma, quando há uma grande população de usuários, diversas comunidades de usuários podem ser alocadas sob um mesmo sistema. Em uma mesma comunidade (ou sub-rede), as estações remotas compartilham uma mesma frequência portadora de *inbound*, transmitindo e recebendo informações dentro do sistema TDMA, na forma de rajadas.⁶

Essa situação é ilustrada na Figura 5, em que a parte (a) ilustra a situação da rede e a parte (b) ilustra uma possível composição do *transponder* para essa rede.

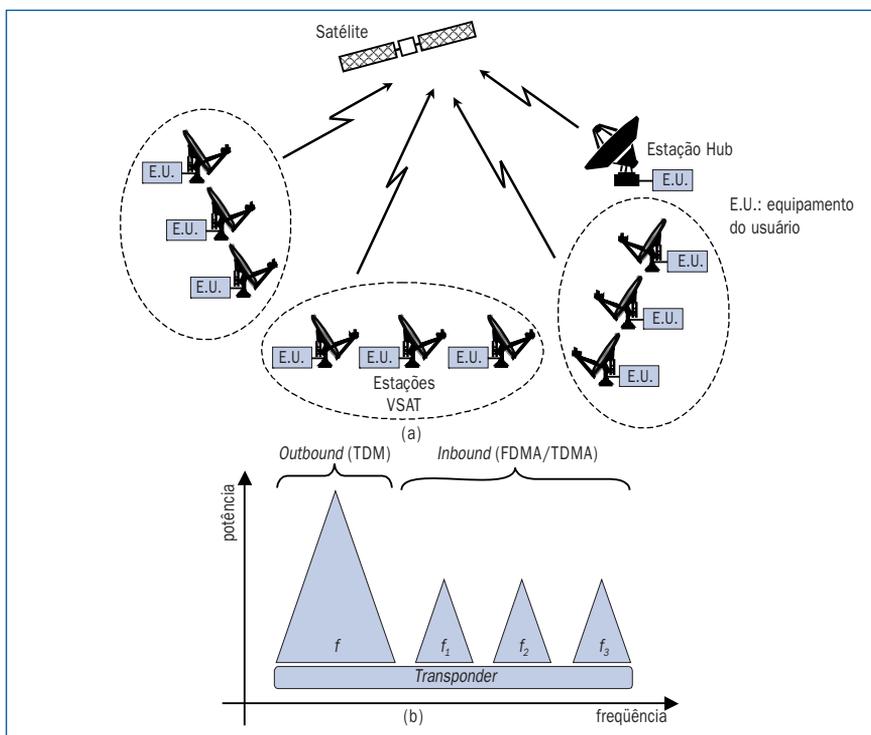


Figura 5 Rede VSAT operando com FDMA e TDMA

Na parte (a) da Figura 5, as frequências f , f_1 , f_2 e f_3 representam frequências diferentes; na parte (b), observa-se o maior nível de potência do sinal da portadora de *outbound* f , uma vez que essa portadora tem de servir a todas as estações remotas, muitas vezes espalhadas por amplas áreas. Além disso, o volume de informação transferido pela portadora de *outbound* é, normalmente, muito superior ao volume de informação originado por uma portadora de *inbound*.

O uso de outras técnicas e tecnologias pode aumentar a eficiência e a flexibilidade das redes VSAT, como, por exemplo, o emprego, no satélite, de antenas com múltiplos feixes de sinal e comutação de bordo, tanto em frequência intermediária como em banda básica, pode evitar a necessidade de duplo salto, aumentar o ganho EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*), elevar a taxa de transmissão e diminuir o diâmetro das antenas, resultando em uma melhor exploração do espectro de frequências e no aumento do desempenho dos enlaces VSAT.¹⁰

A instalação da rede de comunicação da Corporação Chrysler Motor pode ser considerada um exemplo típico para o sistema VSAT bidirecional. A rede VSAT da Chrysler¹¹ interliga fábricas de automóveis com cerca de 6.300 revendas e unidades corporativas na América do Norte, como é ilustrado esquematicamente na Figura 6.

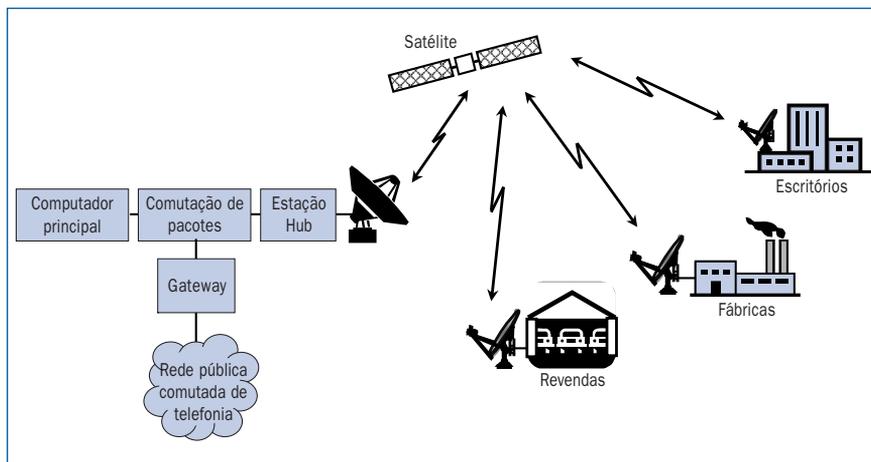


Figura 6 Rede VSAT Chrysler Pentastar Network

O sistema, chamado de Chrysler Pentastar Network, conta com uma estação Hub na sede de Michigan (EUA) e estações remotas nas outras localidades, com capacidade de tráfego de dados de alta velocidade e transmissão de vídeo. O tráfego de dados assíncronos, com origem nas revendas, é roteado por meio do protocolo X.25 para o centro corporativo de processamento de dados; o tráfego das fábricas e escritórios é roteado no formato IBM SNA/SDLC.

O sistema suporta aplicações como assistência mecânica às revendas, sistemas de inventário, serviço de informação (data de entrega de veículos), treinamento, informações promocionais, comunicações corporativas, ordens de vendas etc. Em especial, o sistema de vídeo corporativo via satélite permite, por exemplo, reuniões gerenciais e treinamento técnico.

3 SERVIÇOS DE DIFUSÃO VIA SATÉLITE

Os serviços de difusão via satélite ou BSS (*Broadcasting Satellite Services*) são empregados desde a década de 70 para transmitir programas de televisão usando satélites geoestacionários de alta potência.¹² A transmissão de sinais de televisão para recepção direta em residências com antenas parabólicas de pequeno diâmetro (cerca de um metro, por exemplo),¹³ chamada de serviço DBS – *Direct Broadcast Satellite* (serviço direto de difusão via satélite),¹⁴ é sinônimo desse sistema. O sistema de recepção de programas de TV pode ser classificado em:

- a) serviço de difusão de TV por meio de satélites *broadcasting*;
- b) serviço de recepção de programas de TV por meio de satélites de comunicação.

A transmissão de sinais de TV pode tanto ser realizada por satélites de alta potência como por satélites de média potência, conforme o país que opera o sistema. O propósito dos satélites de *broadcasting* também varia conforme o país: em alguns, os satélites de *broadcasting* são usados para aumentar o número de programas de televisão enquanto, em outros, para expandir as áreas de cobertura dos sinais de TV.

Os sistemas de *broadcasting* de televisão via satélite têm diversas propriedades que podem ser consideradas vantagens em relação à difusão terrestre:¹⁵

- a) grande área de cobertura: facilmente se pode ter uma cobertura nacional, usando uma única frequência de difusão;
- b) alta qualidade de transmissão: não há problemas de pontos “cegos” ou problemas de fantasmas nas imagens;
- c) economia: não há necessidade de estações terrestres de retransmissão;
- d) grande capacidade de transmissão: há grande banda de frequências disponível;
- e) segurança: não há problemas com desastres terrestres.

Como desvantagem, pode ser citada a atenuação por chuvas (conforme a banda de frequências utilizada). O desenvolvimento de tecnologias de compressão digital e transmissão digital de alta velocidade tem possibilitado o desenvolvimento de sistemas de televisão de alta definição (HDTV – *High Definition TV*).¹⁴

Além da necessidade de TWTAs (*Travelling Wave Tubes Amplifiers*) de alta potência, o satélite do sistema DBS emprega antenas com modelagem de feixes. Para operar o amplificador TWTA de alta potência, são necessárias tanto uma grande estrutura de células solares como técnicas de controle térmico. Além disso, são empregados dispositivos para manter alta precisão no apontamento das antenas do satélite, bem como técnicas de controle de atitude para manter a modelagem de feixes sobre as áreas nas quais o serviço deve ser prestado. Para se obter a modelagem de feixe, são usadas cornetas alimentadoras que possibilitam múltiplos feixes de sinal. Para a manutenção da precisão do apontamento, empregam-se mecanismos como o sensor de RF (radiofrequência) ou dispositivos de medida da intensidade do sinal de TV.¹³

Os sinais radiados pelo satélite de comunicação são recebidos na superfície terrestre por antenas individuais. O sinal de RF capturado pela antena é amplificado pelo amplificador de baixo ruído (LNA – *Low Noise Amplifier*) e, então, alimenta o *downconverter*, que converte o sinal para a frequência intermediária, que pode ser amplificada mais facilmente. São empregados dois tipos diferentes de *downconverter*: o chamado bloco *downconverter* (BDC – *Block Downconverter*) tem, em sua saída, todos os canais de TV que compõem o sinal de RF; o segundo tipo tem, em sua saída, somente o canal desejado entre todos os canais de TV que compõem o sinal de RF. Atualmente, emprega-se uma unidade que integra o BDC e um LNA, sendo chamada de LNB (*Low Noise Block Downconverter*, ou bloco *downconverter* de baixo ruído).

A antena e o LNB são montados externamente ao ambiente do usuário. Os sinais de TV são enviados por meio de cabos a uma unidade interna receptora (chamada de *receiver*), que converte o sinal para os sinais de TV e áudio desejados, que então, são enviados ao receptor de televisão.

Um exemplo de um serviço DBS para *broadcasting* de TV e dados para terminais receptores de baixo custo é mostrado na Figura 7, que ilustra o sistema Koreasat.¹⁵ A estrutura é composta por uma estação transmissora (TS – *Transmitter Station*), um sistema de gerenciamento e recursos de assinantes (RSMS – *Resource and Subscriber Management System*) e uma unidade receptora de teste (RTU – *Receiver Test Unit*). A TS recebe e processa o material de programação gerado externamente e transmite essa informação sobre a área de cobertura. O sistema RSMS controla o acesso dos assinantes à programação e coleta informações geradas pelos usuários por meio de acesso via rede pública de telefonia. O dispositivo RTU recebe e processa o sinal, enviando a informação para aparelhos de TV, videocassete ou computador pessoal.

Esse sistema DBS aceita programas de áudio, vídeo e dados de várias fontes e os codifica em um fluxo do formato MPEG-2 (*Motion Picture Expert Group*). As entradas de áudio e vídeo tanto podem ser analógicas como digitais, e as entradas de dados podem ser fluxos assíncronos de até 19,2kbps ou síncronos de até 2Mbps, uni-direcionais (serviços de distribuição de bancos de dados ou música).

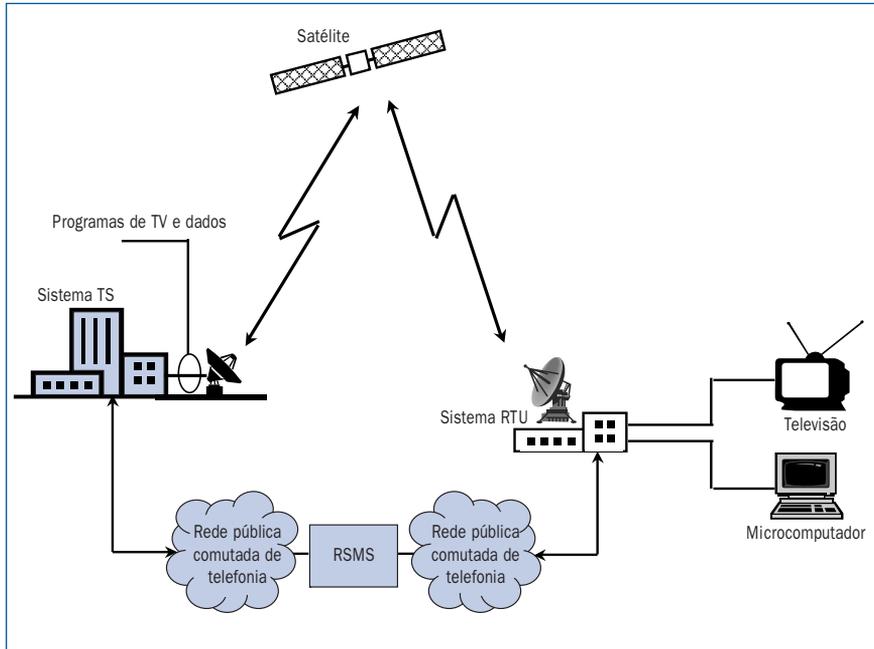


Figura 7 Serviço DBS *broadcasting* de TV e dados Koreasat

Outro sistema, empregado pela Agência Nacional de Desenvolvimento Espacial do Japão e pela empresa NHK,¹⁶ é ilustrado na Figura 8. Nesse caso, sinais de TV com som de alta qualidade codificado no formato PCM (*Pulse Code Modulation*) são distribuídos diretamente sobre toda a área de cobertura. O satélite é do tipo estabilizado em 3 eixos, recebe sinais na faixa de 14GHz e os retransmite na faixa de 12GHz, passando por amplificadores de saída de 100W.

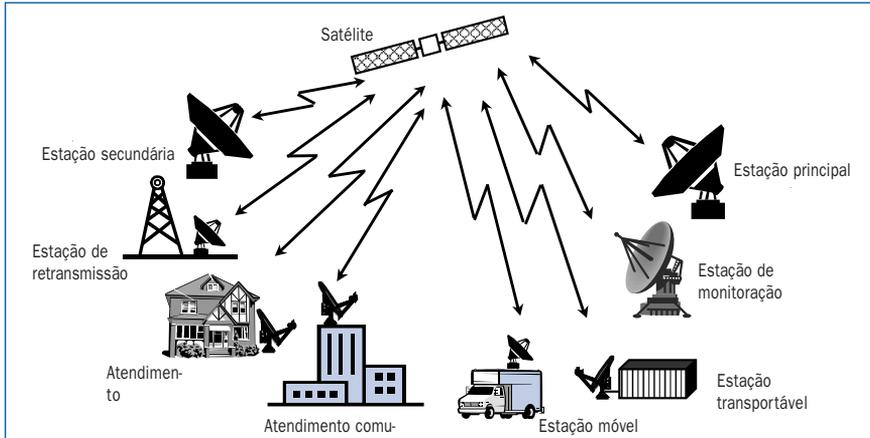


Figura 8 Sistema DBS empregado no Japão

O segmento terrestre consiste em:

- a) estação terrena principal, que possui duas antenas, de 5m e 8m de diâmetro, e exerce as funções de transmissão de programas, monitoração e operação dos *transponders* do satélite;
- b) uma segunda estação terrena, com antena de 4,5m, que exerce a função de reserva da estação principal, além da função de transmissão emergencial de programas;
- c) diversas estações móveis, para cobertura de eventos “ao vivo”, que são montadas em veículos com geradores próprios de energia. Empregam antenas de 2,5m, transmissores na banda de 14GHz com potência entre 180W e 1.200W e antenas e receptores na banda de 12GHz;
- d) estações transportáveis (por helicópteros, por exemplo), com antenas de 2,5m de diâmetro, transmissores de 14GHz com potência entre 180W e 500W, receptores na faixa de 12GHz e geradores próprios de energia;
- e) estações de monitoração para o sinal DBS e medidas de pluviosidade, que transmitem as informações na forma de dados para a estação principal, por meio de linhas telefônicas;
- f) estações de retransmissão, que recebem a programação via satélite e a retransmite por meio de sistemas VHF terrestres convencionais;
- g) receptores residenciais (antenas e conversores) de baixo custo.

4 SERVIÇO MÓVEL VIA SATÉLITE

O desenvolvimento da microeletrônica de baixo custo, da comutação e do processamento de voz, em conjunto com o aumento da potência dos satélites, as melhorias da eficiência das antenas em relação ao seu tamanho e os aperfeiçoamentos dos receptores de baixo ruído, tem permitido o fornecimento de serviços móveis via satélite (MSS – *Mobile Satellite Service*).¹⁷ O sistema MSS pode oferecer serviços de voz, dados, posicionamento, *paging*, interconexão com a rede pública comutada de telefonia e redes privadas.

O serviço móvel via satélite pode atender a determinados usuários e fornecer certos tipos de serviços que ou não são possíveis ou são muito caros para ser fornecidos pelos serviços terrestres convencionais. Os atributos do MSS¹⁷ têm origem no posicionamento dos satélites geoestacionários que permitem uma cobertura hemisférica. Assim, haverá uma grande probabilidade de que o assinante do sistema esteja sempre sob a área de fornecimento do serviço. Da mesma forma, o usuário pode enviar informações de qualquer localidade para qualquer outra localidade. Com efeito, o sistema MSS permite uma conectividade quase que universal com custos não sensíveis a distâncias, ou seja, uma comunicação de 2km ou de 2.000km de distância teria o mesmo custo para o sistema de satélite geoestacionário.

Outra característica do sistema de satélite geoestacionário, e que surge como uma vantagem sobre os sistemas móveis terrestres convencionais, é o próprio posicionamento das estações espaciais, o que fornece alto ângulo de elevação para as antenas das estações remotas próximas à linha do Equador. Isso faz com que os efeitos de obstrução sejam reduzidos, implicando atenuações na ordem de alguns decibéis, que são causadas, principalmente, por folhagens de árvores. Por outro lado, as obstruções de sinal originadas por edifícios na linha de visada do satélite são difíceis de ser contornadas. Nesse sentido, os sistemas terrestres mostram-se com uma melhor flexibilidade. Assim sendo, o MSS pode operar como um sistema complementar aos sistemas terrestres móveis, fornecendo serviço a populações dispersas em áreas rurais e algumas áreas suburbanas.

Devido a essas considerações, o público-alvo do serviço MSS está tipicamente concentrado em áreas não urbanas; cerca de 35% da população mundial vive nessas áreas.¹⁷ Nessas regiões, o serviço celular terrestre típico é relativamente mais caro devido à baixa densidade de população e ao maior custo de implementação do sistema (necessidade do uso de torres muito altas, por exemplo). Entre os diversos segmentos que podem ser beneficiados pelo sistema MSS, estão os serviços de vendas, construção civil, área médica e segurança pública.

As atividades características que empregam o sistema MSS são:

- a) setor de transportes: usado por frotas de caminhões para, por exemplo, efetuar a monitoração dos veículos, alterar cronogramas dinamicamente, emergências, avaliar o desempenho da frota;
- b) setor petrolífero: desenvolve atividades em áreas muito amplas e no mar, além de efetuar o controle e o monitoramento de instalações operadas remotamente;
- c) segurança pública: atividades de bombeiros, busca e salvamento, guarda florestal, paramédicos etc.;
- d) setor marítimo: com atividades costeiras, em rios e nos oceanos, que são locais de difícil acesso para sistemas de comunicações.

Uma rede para o serviço MSS consiste em estações móveis (carros, aviões, navios, caminhões) e estações terrenas fixas. Para o MSS, a comunicação típica se dá entre estações móveis e fixas. Dessa forma, a rede emprega duas bandas diferentes de frequências:¹⁷ a banda Ka entre as estações terrenas e o satélite, e a banda L para comunicação entre as estações móveis e o satélite. O satélite opera com múltiplos feixes de sinal com roteamento interno.¹⁸ Assim, cada feixe de sinal na banda L é roteado para determinado feixe de sinal na banda Ka e vice-versa. Essa predeterminação pode ser um problema, pois é relativamente difícil determinar com exatidão qual o tráfego de determinado feixe de sinal na banda L, além disso, o tráfego varia com o tempo.

Dois redes básicas¹⁷ podem ser propostas para os sistemas MSS: uma rede para serviço telefônico com interconexão à rede pública comutada de telefonia (RPCT), o que permite que um usuário faça uma chamada telefônica para qualquer telefone fixo no mundo, e uma rede para serviço móvel privativo, em que o usuário somente pode estabelecer chamadas para a estação central. Esses sistemas, no entanto, podem ser combinados.

Um exemplo de uma rede para o serviço telefônico é mostrado na Figura 9, consistindo em satélite geostacionário com comutador de bordo, em estações móveis operando na

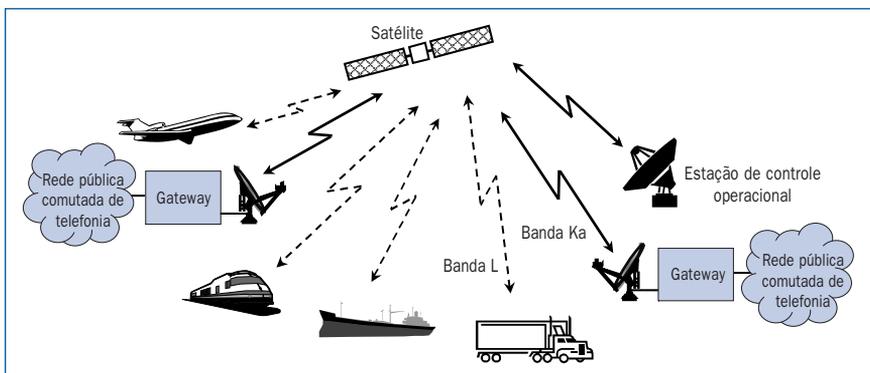


Figura 9 Sistema MSS do tipo rede telefônica

banda L, em um centro de operações para controle da rede e em centrais de interconexão com a rede pública comutada de telefonia (*gateways*), ambos operando na banda Ka.

A comunicação entre os terminais móveis e um telefone fixo é estabelecida via centrais de interconexão, também chamadas de NCC (*Network Communications Controller* – controlador das comunicações da rede). Esse dispositivo opera em tempo real e é responsável por controlar todos os aspectos de estabelecimento, manutenção e encerramento das chamadas telefônicas. Uma vez estabelecida a conexão, o canal pode ser usado para uma conversa de voz, *paging*, transmissão de dados dentro da banda, fax etc.¹⁸ A estação do centro de operações, também chamada de NOC (*Network Operations Center* – centro de operações da rede), não opera, normalmente, em tempo real e fornece todos os recursos de gerenciamento da rede, incluindo a manutenção dos bancos de dados usados no sistema. Em geral, usa-se, para um enlace de voz, uma banda de 5kHz.¹⁹ As estações terrenas empregam antenas de 3,3m de diâmetro e satélite com antenas de 5m de diâmetro.¹⁷ Usa-se, também, o sistema de ativação das portadoras por meio da voz, como uma forma de economizar a potência no satélite. Os satélites são geralmente maiores que aqueles usados para o serviço de comunicação fixa, uma vez que os terminais móveis têm uma pequena abertura e, portanto, o satélite deve compensar esse fato por meio da radiação de maior potência para a banda L. A potência típica para um satélite desse gênero está em torno de 3.000W.^{17,19} A potência média de transmissão dos terminais móveis está em torno de 0,5W.¹⁸ A Figura 10 ilustra um arranjo para um sistema móvel privado.

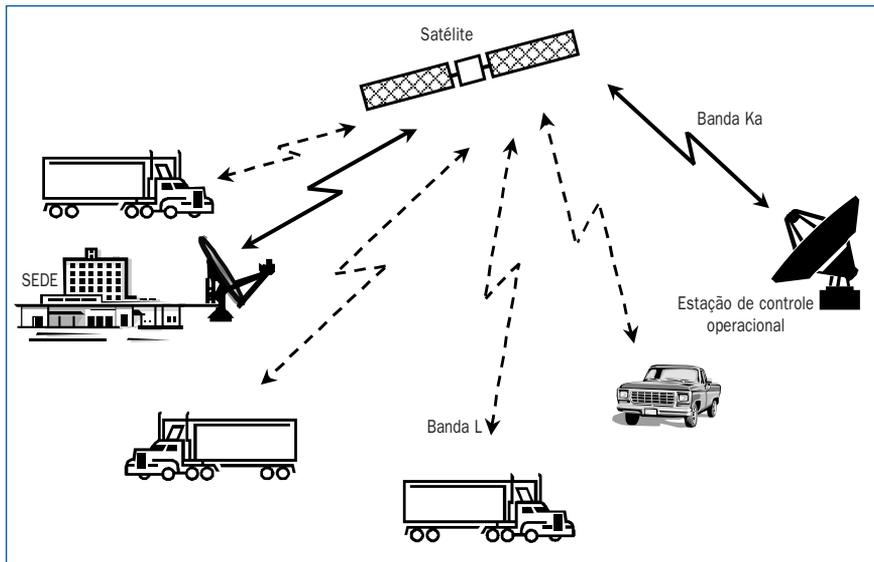


Figura 10 Sistema MSS do tipo rede privada

No caso da Figura 10, há uma estação terrena localizada no ambiente do usuário e que é o dispositivo centralizador das informações. A comunicação sempre se dá entre as estações móveis e essa estação.

A geometria de um satélite de múltiplos feixes operando nesse sistema é análoga à geometria do sistema celular terrestre, e cada feixe de sinal é similar a uma célula. Em geral, cada célula tem uma certa quantidade de canais estabelecidos, e o usuário móvel monitora constantemente esses canais, escolhendo aquele de maior potência para estabelecer uma chamada. Para isso, o usuário móvel toma posse de um canal disponível e envia uma identificação única, incluindo o número de destino, para o satélite. O estabelecimento da chamada se dá por meio de canais de *paging*, e a taxa de dados necessária para esse canal deve estar em torno de 2kbps. Dessa forma, cerca de 58 usuários podem usar esse canal em um segundo, caso fosse usada uma seqüência de 34 bits de identificação e número de destino. Assumindo que haja 200 canais por feixe de sinal e que o satélite opere com 61 feixes, então 12.200 usuários móveis poderiam estar ativos em um mesmo instante. Como a informação de *paging* deve ser transmitida para todos os usuários, então 0,5% do total de usuários poderia estabelecer chamadas por meio de *paging* em um segundo.¹⁹

5 SERVIÇOS IP SOBRE PLATAFORMAS DE SATÉLITE²⁰

A grande procura por acessos para a conectividade à Internet e o desenvolvimento de receptores DVB (*Digital Video Broadcasting* – difusão de vídeo digital) de baixo custo têm reforçado o interesse pelo fornecimento de serviços de dados via satélite. Com isso, estudos e testes têm sido desenvolvidos no sentido de verificar as formas para o provimento de serviços baseados no protocolo IP (por exemplo, usando-se o protocolo ATM – *Asynchronous Transfer Mode*, modo de transferência assíncrono) e, também, em relação ao tipo de arquitetura de rede adequada (por exemplo, enlaces bidirecionais de satélite ou enlaces unidirecionais de satélite mais retorno terrestre).

Uma das conclusões dos testes foi de que a maioria das aplicações não foi severamente afetada pela latência dos enlaces de satélite. Somente as aplicações de videoconferência, que não tiveram os padrões de conversão previamente ajustados ao retardo do enlace, apresentaram uma maior quantidade de problemas.

Um dos empreendimentos nesse sentido foi desenvolvido pela operadora de telecomunicações inglesa British Telecom na sua divisão de serviços de difusão em Londres. A operadora tem uma rede ATM terrestre que oferece serviços de transmissão

de vídeo com alta qualidade (de 10Mbps a 155Mbps), interconectando estúdios e residências com uma abrangência de cerca de 30km. O objetivo da rede de satélite é estender esse serviço para localidades fora da área de Londres, fornecendo, inicialmente, a entrega de vídeo em tempo real no formato MPEG por meio de uma estação Hub.

O tráfego é tipicamente assimétrico, ou seja, a portadora de *outbound* (Hub/estações remotas) necessita de alta taxa de transmissão (8Mbps) e opera com protocolo ATM devido à sua compatibilidade com a rede terrestre. O tráfego reverso (em direção à Hub), composto basicamente de mensagens de solicitação, opera com baixas taxas (cerca de 19,2kbps). Dessa forma, utiliza-se a rede terrestre para o tráfego reverso. A rede é baseada em protocolo IP pela necessidade de suportar aplicações de transmissão de vídeo existentes, permitir o uso de aplicações baseadas em Web, expansão futura, entre outras.

A Figura 11 ilustra a arquitetura de rede empregada. Nesse exemplo, dois roteadores (na estação Hub e em uma remota) configurados para operar com protocolo IP (*Internet Protocol*) são conectados por meio de um enlace assimétrico operando com protocolo ATM no sentido de *outbound* e via uma linha telefônica convencional, no sentido de *inbound*. Outra opção de conexão *inbound* seria o uso de acesso via Internet. Nesse caso, os computadores dos usuários, com cartões DVB e modems discados, estabelecem uma conexão via Internet e fazem as solicitações de arquivos. As informações solicitadas no formato IP-DVB são encapsuladas no formato MPEG, combinadas com outras informações de dados, áudio ou vídeo e transmitidas via satélite.

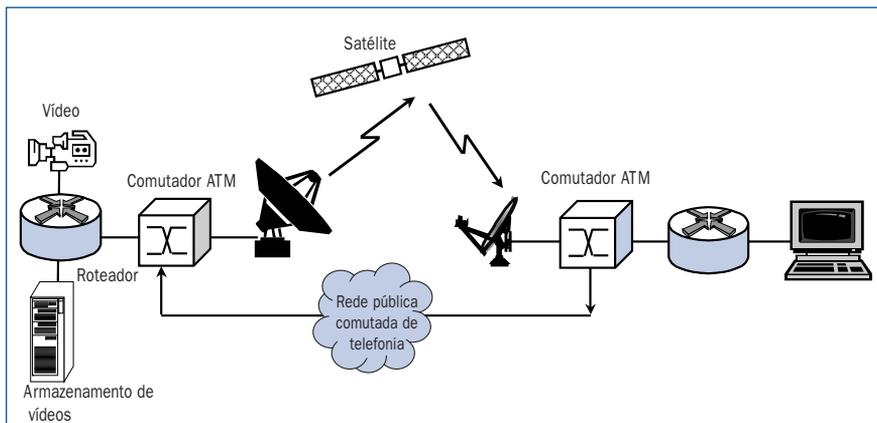


Figura 11 Serviços IP em plataforma de satélite

6 SISTEMA DE SATÉLITE PARA SERVIÇOS MULTIMÍDIA

Os sistemas de satélite têm uma capacidade inerente de fornecer transmissões de banda larga, multiponto e com ampla cobertura, características de serviços de difusão. Essas capacidades podem ser empregadas para o fornecimento de serviços multimídia de voz, vídeo e dados para usuários residenciais e comerciais. As comunicações multimídia se diferenciam das comunicações convencionais, pois:²¹

- a) diversos tipos diferentes de tráfegos (voz, dados, vídeo etc.) podem ser transmitidos sobre um mesmo sistema de comunicação;
- b) a taxa de informação do tráfego varia muito;
- c) há diversos tipos diferentes de conexões (ponto-a-ponto, ponto-multiponto etc.);
- d) o tráfego é tipicamente assimétrico, isto é, a taxa de informação em um sentido de transmissão é diferente da taxa no outro sentido.

Entre os serviços multimídia podem ser citados os de televisão e radiodifusão digital *direct-to-home*, que oferecem aplicações como *pay-per-view*, comércio eletrônico, serviços de entrega *on-line* etc., os serviços de telemedicina e educação a distância, além dos serviços para profissionais que trabalham em casa (*home workers*), que permitem o envio de documentos, fax, desenhos, projetos, entre outros, para diversas localidades.²³

Para tanto, são empregados satélites com capacidade de banda larga, que usam comutação estatística de bordo baseada em pacotes e que tratam o tráfego multimídia (que tem, tipicamente, o formato de rajadas – *bursts*).²² Podem ser utilizados comutadores de bordo que operam com o protocolo ATM e que são constituídos de duas partes: uma com função de multiplexação estatística e outra com função de estabelecer as conexões cruzadas.²¹

Um exemplo de uma rede que fornece esse tipo de serviço, operando na banda Ka ou Ku, é mostrado na Figura 12. Esse exemplo consiste em um satélite de comunicações com múltiplos feixes, estações remotas de usuários e uma estação terrena central. O *downlink* para as estações terrenas de usuários (incluindo a estação de controle) pode ter uma taxa de 156Mbps e múltiplos canais de *uplink* com taxa de 3Mbps cada um. Como a estação de controle deve transmitir as informações solicitadas incluindo vídeo e dados, o diâmetro da antena dessa estação deve ser maior que o das estações remotas e com uma taxa de *uplink* superior a 3Mbps. Como o volume do tráfego multimídia, além de variar muito, tem o formato de rajadas, os sinais podem ser multiplexados de forma eficiente dentro de um canal de 156Mbps.²¹

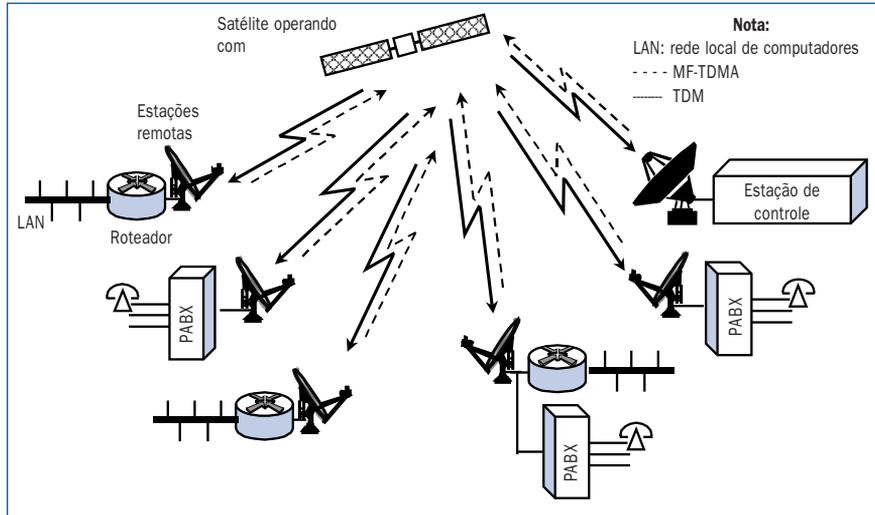


Figura 12 Rede operando com serviços multimídia

Cada feixe de sinal do satélite atende a um determinado número de estações terrenas, e a comutação de bordo fornece a conectividade necessária entre os feixes de sinal. O tráfego multimídia é segmentado em células ATM típicas (53 bytes), e os tráfegos de voz e de vídeo são tratados de forma diferenciada do tráfego de dados, que é mais tolerante a retardos.²² O protocolo ATM é usado nesse sistema porque:²¹

- a) é altamente adequado para o tráfego multimídia;
- b) possui compatibilidade com as redes terrestres multimídia;
- c) as tecnologias ATM desenvolvidas para a rede terrestre podem ser aplicadas à rede de satélite.

Em cada feixe de sinal de *downlink*, o canal *broadcasting* (difusão) é dividido em *time-slots*, cada um acomodando uma célula ATM. O canal de *uplink* é compartilhado pelas estações terrestres por meio do uso de um esquema de múltiplo acesso FDMA/TDMA em que cada feixe de sinal é dividido entre múltiplas portadoras (esse esquema é conhecido como MF-TDMA – *Multifrequency Time Division Multiple Access*). Cada portadora é dividida em *time-slots*, e cada *slot* de tempo/freqüência acomoda uma célula ATM. O MF-TDMA tem sido muito usado devido à sua alta eficiência e a uma complexidade relativamente baixa de implementação.²³ A taxa de transmissão deve ser baixa, objetivando reduzir o tamanho e o custo das estações terrenas (amplificadores de potência), mas com volume suficiente para permitir picos de tráfego, típicos em aplicações multimídia, como a transmissão de vídeo com compressão MPEG-1.²² Como o tráfego multimídia é basicamente do tipo rajada e os pacotes não são gerados continuamente,²¹ pode-se maximizar o uso do segmento espacial empregando-se, com o processo de comutação de bordo, um esquema dinâmico de alocação de

recursos. Um exemplo de uma estratégia de alocação de recursos é o *Leaky Bucket*.²² Nesse sistema, em determinado momento, o satélite recebe as conexões de voz, dados e vídeo de maneira que a taxa de tráfego não ultrapasse a capacidade do *uplink*. O dispositivo de alocação de recursos informa às estações terrenas os valores médios e de pico do tráfego, conforme o tipo (voz, dados e vídeo) gerado por cada uma das estações terrenas. Em seguida, o sistema *Leaky Bucket* aloca determinada quantidade de *slots* de frequência e tempo para cada uma das estações terrenas, proporcional à taxa de tráfego gerada pela estação e que foi lida pelo sistema. Cada uma das estações terrenas envia, então, seu tráfego dentro dos *slots* designados. Baseado no endereço de destino contido no cabeçalho das células, o comutador de bordo transfere o tráfego para o feixe de sinal de *downlink* adequado.

7 EXEMPLO DE SERVIÇO MULTIMÍDIA INTERATIVO APLICADO À MEDICINA²⁴

Um exemplo de um sistema *broadcasting* operando com multimídia interativa é o *Interactive Satellite Multimedia System (ISIS)*,²⁴ que é um projeto de sistema de comunicação por satélite que utiliza o conceito de bandas duais.

O objetivo do projeto é o fornecimento de serviços interativos a usuários residenciais com a distribuição convencional de TV. Dessa forma, são possíveis serviços Internet (como *e-mail* e FTP – *File Transfer Protocol*), distribuição controlada de informações (noticiário), transmissão bidirecional de mensagens (*paging*, *e-mail*), aplicações interativas de multimídia (teleeducação, telemedicina).

Em especial, a telemedicina tem por objetivo fornecer serviços médicos a comunidades remotas, empregando redes de comunicação atuais e emergentes. Basicamente, as aplicações de telemedicina envolvem dois ambientes:

- a) acesso a banco de dados de imagens médicas, que permite a consulta a diagnósticos de imagens em arquivos;
- b) consulta remota a especialistas, permitindo transmissão interativa de imagens para a troca de informações e opiniões sobre o estado clínico de pacientes.

Esse sistema utiliza, simultaneamente, terminais que empregam a banda Ku, para a recepção de altos volumes de informação, e a banda Ka, para o enlace de retorno, permitindo um conjunto receptor/transmissor de baixo custo, dimensões reduzidas e fácil transporte e instalação. A banda Ku é usada aproveitando-se do fato de que os terminais instalados nos usuários para a tecnologia de multimídia já empregam essa banda de frequências, o que reduz os custos de desenvolvimento em novas tecnologias. Já a banda Ka

é utilizada devido à larga disponibilidade de banda nessa faixa de frequências, reduzindo a complexidade das pequenas estações de usuários e permitindo um *throughput* maior.

A arquitetura do sistema, mostrada na Figura 13, é composta principalmente de:

- um centro de *broadcasting*: com funções de gerenciamento do sistema e administração da rede (funções de Hub), fornecimento de informações de dados e sinalização, armazenamento de dados, imagens e vídeos (em servidores específicos) no formato MPEG-2. A estrutura de comunicação da banda Ku desse centro controla as transmissões *broadcasting* com *throughput* de 34Mbps com sentido de transmissão do centro de *broadcasting* para as estações remotas. Os dispositivos para banda Ka controlam o canal de retorno (estações remotas/centro de *broadcasting*) com taxas entre 64kbps e 384kbps e possuem tanto informações de sinalização como informações gerais dos usuários;
- estações terrenas de médio porte: instaladas em hospitais e universidades para atendimento coletivo;
- estações remotas de pequeno porte: compostas basicamente de microcomputadores e instaladas em residências, escritórios e consultórios médicos, por exemplo;
- servidores de vídeo: com vídeos no formato MPEG-2, para serem distribuídos na forma de difusão, conforme as solicitações dos usuários;
- aplicações baseadas em IP: permitem o acesso à Internet por meio de servidores especializados nessa função;
- moduladores DVB: recebem as informações dos servidores de vídeo no formato MPEG-2 e as convertem em formatos adequados para serem transmitidos por meio dos enlaces de satélite;
- centro de serviços: é conectado à Web por meio do servidor de Internet.

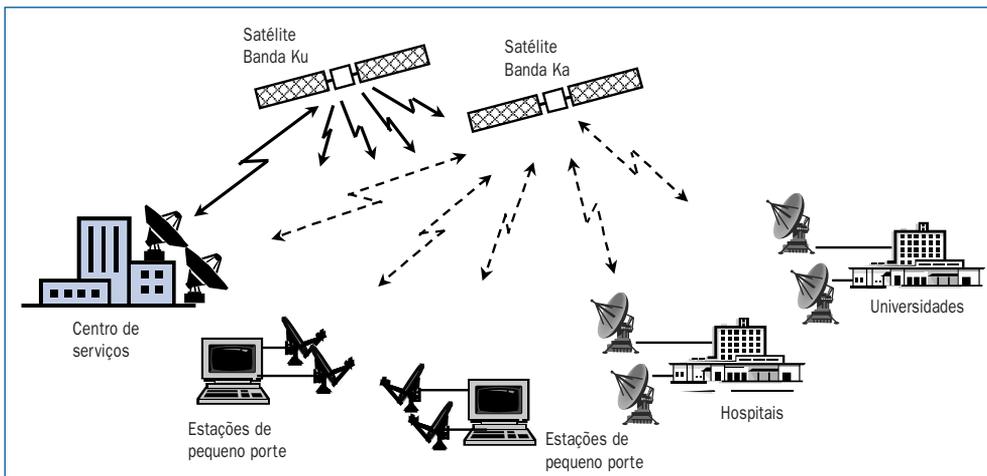


Figura 13 Sistema multimídia *broadcast* com aplicação em medicina

As estações terrenas de médio porte não funcionam como centros de serviço ou controle e possuem capacidade de transmissão em torno de 2Mbps. Os terminais de usuários (microcomputadores) conectados às estações de pequeno porte geram tráfego IP (solicitações de dados) sobre os canais de retorno (banda Ka). Esse tráfego é convertido para o protocolo ATM para ser transmitido pela rede de satélite. As informações enviadas pelos servidores no canal de transmissão do centro de controle para as estações remotas (banda Ku) são recebidas pelas estações dos usuários, que demodulam e demultiplexam os sinais MPEG-2 que contêm as informações solicitadas.

8 EXEMPLO DE NOVAS ARQUITETURAS DE REDES DE SATÉLITES²⁵

Uma nova geração de satélites está sendo desenvolvida, os quais são mais adequados para operação com tráfego Internet (rajadas) e tráfego multimídia. Os enlaces desses satélites são usados tanto para a interconexão de redes como para permitir o acesso de residências e empresas a redes multimídia e Internet. Com isso, as redes de satélite devem suportar tanto os serviços de comutação por circuitos como por pacotes, com alto tráfego por rajadas.

Os maiores desenvolvimentos nas redes de telecomunicações fixas têm ocorrido nas áreas da Internet e do protocolo ATM. Em especial, nos sistemas de satélite, estão ocorrendo diversas padronizações tanto para o protocolo ATM como para o IP. O comitê TR34.1 da Divisão de Comunicações via Satélite da TIA (*Telecommunications Industry Association*) tem trabalhado em um conjunto de especificações para arquiteturas de rede ATM que abrange satélites com comutação de bordo e satélites transparentes, para acesso ou interconexão de redes para uso de terminais móveis ou fixos.

8.1 Redes de satélites transparentes

Nas redes de satélites transparentes, não há processamento do protocolo ATM a bordo das plataformas espaciais. Todo o processamento é feito no segmento terrestre. Por meio de satélites convencionais, essa arquitetura permite uma rápida implementação de recursos ATM em localidades remotas ou a interconexão de redes nas quais o ATM é protocolo nativo. Embora a inexistência do processamento e da comutação de bordo reduza a flexibilidade do sistema, as características inerentes da comunicação por satélite (como ampla cobertura, capacidade de difusão etc.) permitem que essa arquitetura seja um complemento adequado para redes terrestres de alta velocidade.

Essa arquitetura pode ser dividida em três categorias: redes ATM fixas, redes ATM para terminais móveis e redes ATM móveis.

8.1.1 Redes ATM fixas

Nesse caso, o satélite atua como dispositivo de acesso para que terminais de usuários se conectem a redes de alta velocidade ou como dispositivo de interconexão para redes remotas, também de alta velocidade.

No cenário de acesso, as estações terrenas são tipicamente terminais de baixo custo que operam com o protocolo ATM. A conexão da estrutura de satélite à rede terrestre se dá por meio de estações terrenas *gateway* que não processam o protocolo ATM. A arquitetura de rede é caracterizada por muitos terminais de usuário, poucas estações *gateways* e taxa de dados de interfaceamento entre as redes terrestres e satélite de 64kbps a 1,5kbps.

No cenário de interconexão, a rede de satélite encontra-se no limite entre as redes terrestres de banda larga, a conexão se dá a velocidades fixas (tráfego não rajada) de 1,4kbps e 1,2Gbps e a arquitetura se vale do uso de estações terrenas *gateways* (não processam o ATM – todo processamento é feito pelas redes terrestres).

As funções de gerenciamento de banda são centralizadas em uma estação central de controle da rede (NCC – *Network Control Center*), que pode alternar dinamicamente os recursos alocados conforme a demanda, a disponibilidade de capacidade, a qualidade de serviço solicitada e o compartilhamento adequado de banda.

8.1.2 Redes ATM para terminais móveis

Essas redes suportam terminais portáteis de usuários. Essa mobilidade requer que a rede de satélites tenha funções de gerenciamento de localização. Em se fazendo o uso de satélites não geoestacionários (satélites de baixa, LEOs – *Low Earth Orbits*, e média órbitas, MEOs – *Medium Earth Orbits*), a complexidade do sistema aumenta, pois a rede deve suportar funções de comutação, principalmente, quando há troca de satélites sobre uma área de cobertura, o que exige a migração da comunicação de um satélite para outro.

8.1.3 Redes ATM móveis

Nessa arquitetura, a rede de satélite fornece interconexão em alta velocidade entre uma rede móvel e uma rede fixa, ou entre duas redes móveis. As redes móveis são plataformas multiusuários, como aviões, navios e trens, com conexões ATM a redes terrestres. A topologia de rede consiste em comutadores ATM fixos (interface com a rede terrestre), terminais de usuários (conectados aos comutadores) e estações terrestres *gateways* de satélite. A mobilidade da rede indica que a arquitetura deve suportar tanto a transferência como o roteamento das chamadas entre as estruturas móveis

e fixas do sistema, com complexidades adicionais quando empregados satélites em órbitas diferentes da geoestacionária.

A Figura 14 ilustra a arquitetura de rede ATM para satélite transparente, composta pelas três categorias descritas.

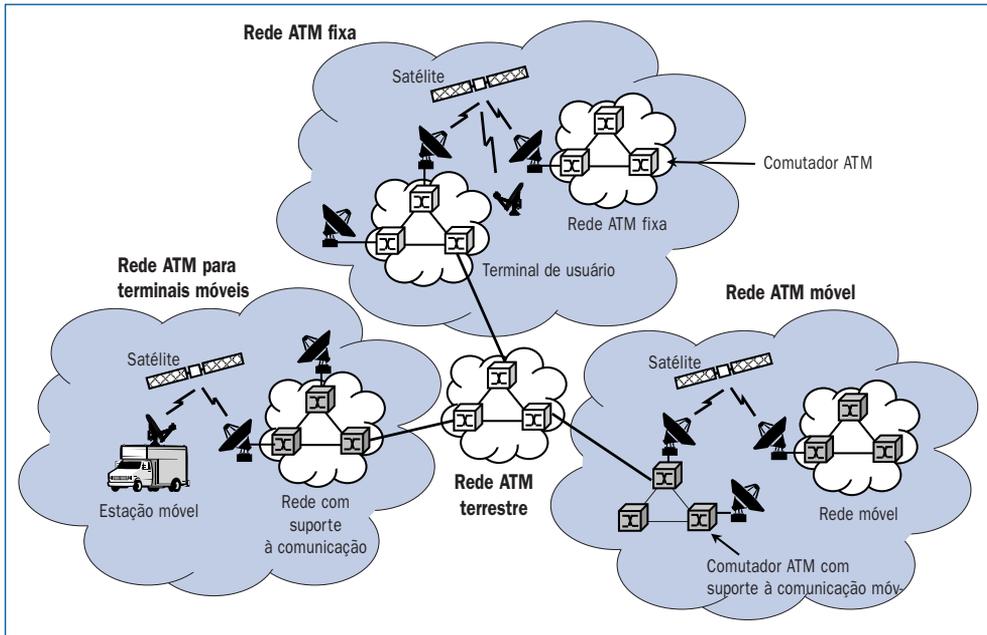


Figura 14 Exemplo de redes de satélites transparentes

8.2 Redes de satélites com processamento de bordo

Nesse tipo de rede ATM, os satélites possuem processamento de bordo, ou seja, o *payload* tem funções de comutador ATM. As funções de controle são distribuídas entre o comutador ATM de bordo e a estação NCC. O comitê TR34.1 propõe a divisão desse tipo de rede em três arquiteturas, conforme o tipo de conectividade que a rede oferece:

- redes de acesso ATM: nas quais enlaces de satélite de baixa velocidade são usados para conexão a redes terrestres ATM;
- redes de interconexão ATM: nas quais o satélite é um nó de rede ATM que interconecta diversas redes ATM terrestres por meio de enlaces de alta velocidade;
- redes de mescla ATM: nas quais diversos satélites formam uma rede ATM espacial e fornecem serviços tanto de redes de acesso como interconexão.

Em paralelo ao desenvolvimento dos padrões do comitê TR34.1, a indústria tem implementado e testado várias soluções para transporte de tráfego ATM sobre satélites de forma eficiente e virtualmente livre de erros.²⁵

Um exemplo dessa implementação (Figura 15) é o sistema desenvolvido pela COMSAT, chamado Linkway 2000, que oferece serviços de acesso e transporte de pacotes IP, ATM, Frame Relay, RDSI (*Rede Digital de Serviços Integrados*) e Sistema de Sinalização nº 7, no modo mescla total, taxa de dados entre 64kbps e 32Mbps, tráfego simétrico ou assimétrico e modulação BPSK ou QPSK.

Essa rede emprega a técnica TDMA multifrequência, objetivando alcançar alta eficiência e flexibilidade no gerenciamento da largura de banda do satélite. De forma diferente dos sistemas VSAT convencionais, essa rede aloca a capacidade do sistema tanto para tráfego comutado por circuito como por pacotes, de maneira dinâmica e adequada para diferentes terminais. A conexão entre terminais de usuários se dá por meio de salto simples e com alocação de banda sob demanda (DAMA – *Demand Assignment Multiple Access*). A estação NCC possui um algoritmo de gerenciamento de banda e de capacidade de alocação, o que assegura uma eficiente distribuição de recursos.

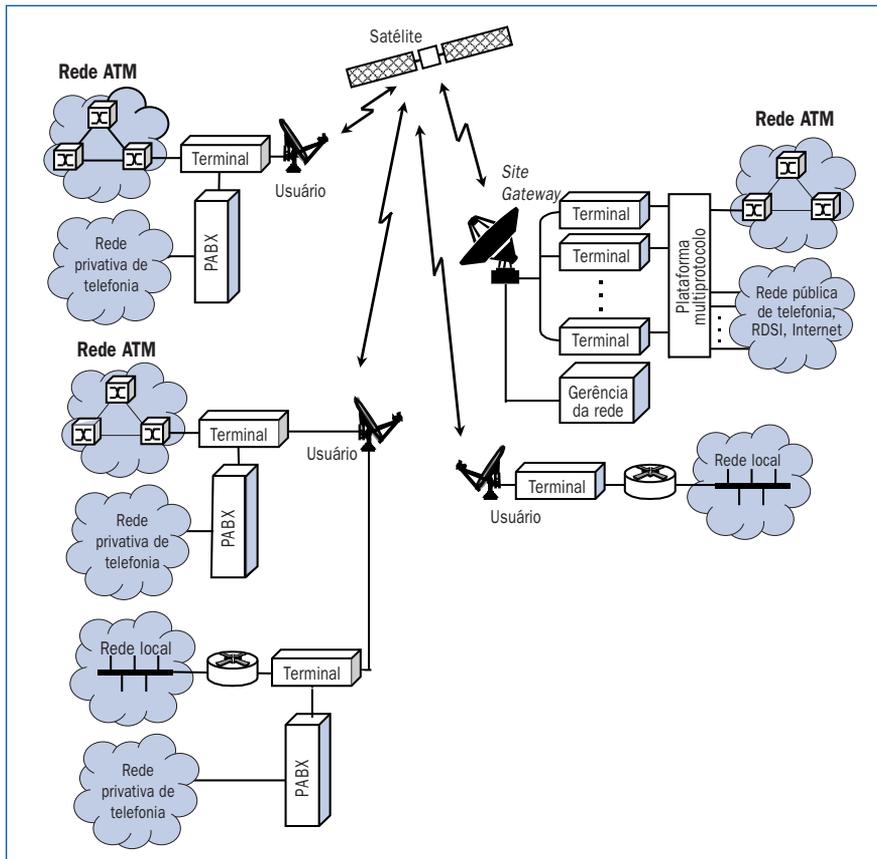


Figura 15 Exemplo de rede de satélite multisserviço com alocação de banda sob demanda

9 CONCLUSÃO

Este tutorial compreendeu uma análise acerca das aplicações, serviços e arquiteturas de rede que se utilizam dos recursos dos sistemas de comunicação por satélite em órbita geoestacionária, apresentando-se alguns casos já implantados.

As características de custo dos recursos por satélite em conjunto com suas propriedades básicas indicam que este sistema de comunicação é voltado a tipos específicos de serviços, aplicações e configurações de rede. A comunicação por satélite é alternativa adequada para a formação de redes de área ampla, públicas ou privadas, tanto de forma isolada ou em composição com outros tipos de estruturas de comunicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. EVANS, B. G. Satellite Telecommunications – an overview. In: *IEE Colloquium on International Transmission System*, p. 2/1-2/4, 1994.
2. CHITRE, D. M.; MCCOSKEY, J. S. VSAT Networks: architectures, protocols, and management. *IEEE Communications Magazine*, v. 26, n. 7, p. 28-38, July 1988.
3. KIM, K. S. Data communications with VSATs – RA/TDMA vs. SS/CDMA. In: *21st Annual Electronics and Aerospace Conference, IEEE EASCON '88, Conference Proceedings*, p. 191-196, 1988.
4. KUMAR, S. et al. A digital SCPC VSAT. In: *Digital Communications Conference Proceedings*, p. 172-199, 1988.
5. MURTHY, K. M. S.; GORDON, K. G. VSAT networking concepts and new applications development. *IEEE Communications Magazine*, v. 27, n. 5, p. 43-49, May 1989.
6. ROY, R. R.; SHAHA, A. Ku-Band Satellite Systems for large scale data communications networks. In: *IEEE Aerospace Applications Conference*, 12 p., Feb. 1989.
7. HADJITHEODOSIOU, M. H.; COAKLEY, F. P.; EVANS, B. G. Next generations multiservice VSAT networks. *Electronics & Communications Engineering Journal*, p. 117-126, June 1997.
8. SAAM, T. J. The economic benefits of VSATs. In: *IEEE International Conference on Communications. Conference Record*, v. 2, p. 370-375, 1990.
9. CHAKRABORTY, D. VSAT communications networks: an overview. *IEEE Communications Magazine*, v. 26, n. 5, p. 10-24, May 1988.

10. NADERI, F. M.; WU, W. W. Advanced satellite concepts for future generation VSAT networks. *IEEE Communications Magazine*, v. 26, n. 9, p. 13-22, sept. 1988.
11. MURTHY, K. M. S. et al. VSAT user network examples. *IEEE Communications Magazine*, v. 27, n. 5, p. 50-57, may 1989 .
12. PFUND, E. T. Direct television broadcasting with a medium-size satellite. In: *21st Annual Electronics and Aerospace Conference, IEEE EASCON'88. Conference Proceedings*, p. 121-129, 1988.
13. KONISHI, Y. Special issue on satellite broadcasting. *IEEE Transactions on Broadcasting*, v. 34, n. 4, p. 421-424, dec. 1988.
14. HEWITT, C. C. Advanced television systems and the home satellite television market. In: *21st Annual Electronics and Aerospace Conference, IEEE EASCON '88. Conference Proceedings*, p. 181-184, 1988.
15. SOHN, W.; KWON, O. H.; CHAE, J. S. Digital DBS system design and implementation for TV and data broadcasting Using Koreasat. *IEEE Transactions on Broadcasting*, v. 44, n. 3, p. 316-323, sept. 1998.
16. MATSUSHITA, M.; YOKOYAMA, S. Experience on operating a DBS system (BS-2) in Japan. *IEEE Transactions on Broadcasting*, v. 34, n. 4, p. 430-434, dec. 1988.
17. KIESLING, J. D. Land mobile satellite systems. In: *Proceedings of the IEEE*, v. 78, n. 7, p. 1.107-1.114, july 1990.
18. JOHANSON, G. A. Ground networks for mobile satellite services. In: *International Conference on Communication Technology Proceedings*, v. 1, p. 293-296, 1996.
19. RUSSO, A. A. Multi-beam GEO satellite concept for the mobile user objective system. *Military Communications Conference Proceedings*, v. 2, p. 1.125-1.130, 1999.
20. HERNANDEZ, G. IP Services over satellite platforms. In: *IEE Colloquium on Multimedia Services and Digital Television by Satellite*, p. 4/1-4/5, 1999.
21. OTSU, T. et al. A study on global multimediasatellite communication system. In: *IEEE Global Telecommunications Conference*, v. 5, p. 2.960-2.965, 1998.
22. HUANG, J.; LE-NGOC, T.; HAYES, J. F. Broadband satcom system for multimedia services. In: *IEEE International Conference on Communications. Conference Record*, v. 2, p. 906-910, 1996.
23. NEALE, J.; GREEN, R.; LANDOVSKIS, J. Interactive channel for multimedia satellite networks. *IEEE Communications Magazine*, v. 39, n. 3, p. 192-198, mar. 2001.
24. PIERUCCI, L.; DEL RE, E. An interactive multimedia satellite telemedicine service. *IEEE Multimedia*, v. 7, n. 2, p. 76-83, apr.-june 2000.
25. CHITRE, P.; YEGENOGLU, F. Next generation satellite networks: architectures and implementations. *IEEE Communications Magazine*, v. 37, n. 3, p. 30-36, mar. 1999.