

# Acesso a satélites


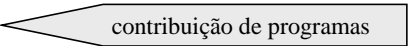
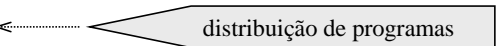
## Acesso simples

**Definição de acesso simples:** uma única estação terrestre transmite através de um transpositor de um satélite

### Características gerais

- baixa complexidade de operação
- ausência de intermodulação entre canais

### Aplicações

- ligações ponto-a-ponto da rede fixa
  - configuração não flexível
  - adequado apenas a sistemas de grande capacidade
- ligações ponto-a-ponto de televisão (e programas de som)
  - ligações permanentes
  - ligações temporárias programadas
- difusão directa de televisão (e programas de som)
  - recepção individual de baixo custo
  - cobertura de um número muito vasto de utilizadores

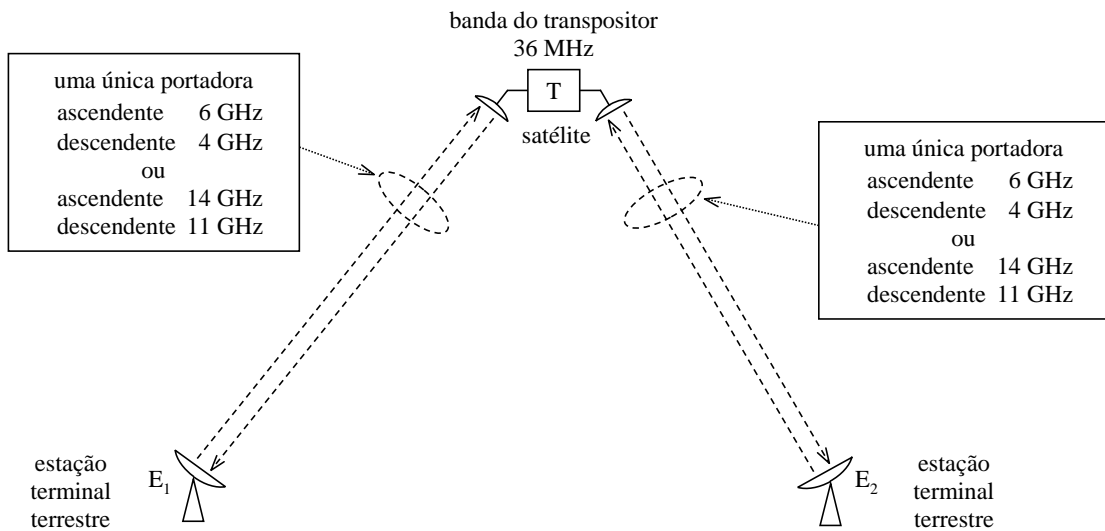
*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

As configurações de acesso simples permitem ligações ponto-a-ponto em tudo semelhantes às disponibilizadas por feixes hertzianos terrestres. Acresce ainda a configuração de difusão directa de televisão, uma das áreas de maior expansão dos sistemas por satélite.

# Acesso a satélites

## Acesso simples



**Configuração típica de uma ligação ponto-a-ponto bidireccional com acesso simples**

*Sistemas de Telecomunicações II*

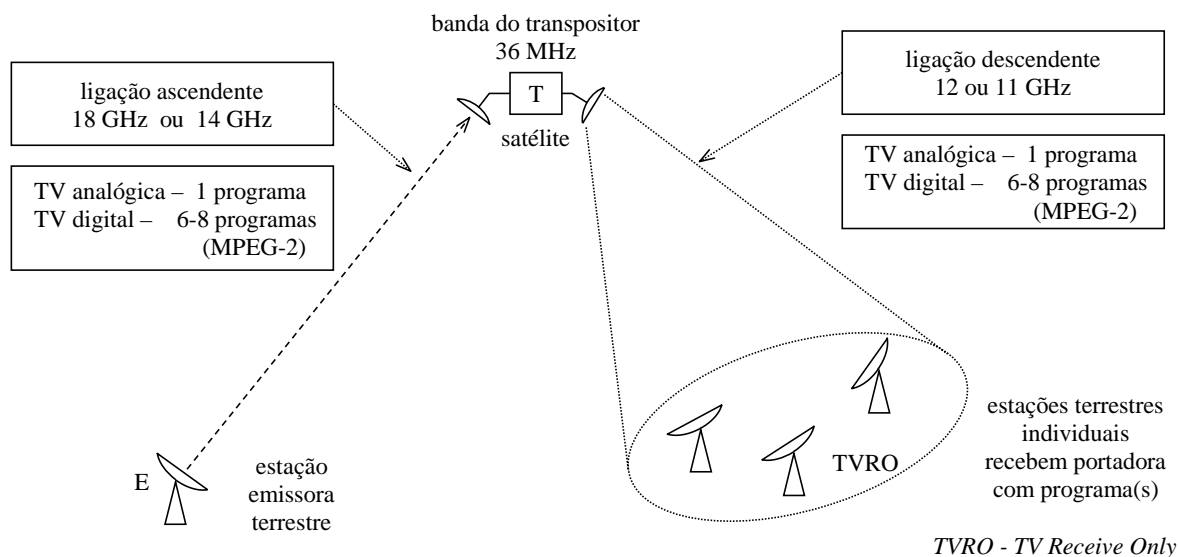
*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Referem-se dois exemplos desta configuração, no contexto de satélites Intelsat:

- sistema analógico FDM/FM (muito usado no passado, actualmente obsoleto)
  - multiplex FDM  $\rightarrow N=972$  canais; banda base [12, 4028] kHz
  - modulação FM  $\rightarrow B=36$  MHz
- sistema digital TDM/PSK
  - multiplex TDM  $\rightarrow R_b = 55$  Mbit/s
  - modulação QPSK  $\rightarrow B=36$  MHz

# Acesso a satélites

## Acesso simples



### Configuração típica de distribuição de televisão

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

A transmissão de televisão analógica permite apenas um programa por canal (SCPC). Para um sinal PAL modulado em FM, a largura de banda típica dos transpositores é de 27 MHz.

No caso de televisão digital, a configuração mais frequente é MCPC.

Exemplo típico de difusão digital de TV, em modo MCPC:

- 8 programas de TV ou 6 programas de TV + 10 programas de áudio
- débito de informação MPEG-2: 38,02 Mbit/s
- débito binário após codificação de blocos Reed-Solomon (16 octetos por pacote MPEG de 188 octetos):  $38,02 \times 204/188 = 41,25$  Mbit/s
- débito binário após codificação convolucional de Viterbi (eficiência 3/4):  $R_b = 41,25/(3/4) = 55$  Mbit/s
- débito de símbolos com modulação QPSK:  $R_s = R_b/2 = 27,5$  Mbaud
- largura de banda mínima do transpositor:  $B_{FI} = 33$  MHz
- largura de banda efectiva do transpositor:  $B = 36$  MHz

# Acesso a satélites

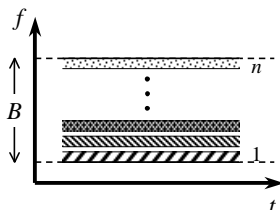
## Acesso múltiplo

**Definição de acesso múltiplo:** várias estações terrestres transmitem através do mesmo transpositor de satélite

### Técnicas de acesso múltiplo

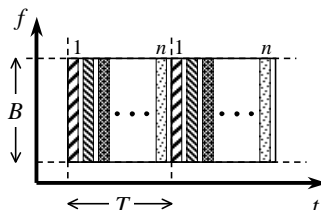
#### **FDMA - Frequency Division Multiple Access**

- estações acedem ao transpositor do satélite ao mesmo tempo
- cada estação transmite na sua própria banda de frequência



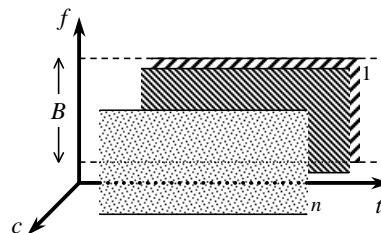
#### **TDMA - Time Division Multiple Access**

- estações transmitem uma de cada vez (sequencialmente)
- cada estação transmite no seu próprio intervalo de tempo



#### **CDMA - Code Division Multiple Access**

- estações transmitem ao mesmo tempo, em banda espalhada
- cada estação transmite com um código próprio



### **Acesso múltiplo de $n$ estações a um transpositor**

( $B$  - largura de banda do transpositor  $T$  - comprimento de trama)

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

A técnica de acesso FDMA usa a dimensão frequência para assegurar a partilha de recursos, enquanto a técnica TDMA utiliza a dimensão tempo. Em CDMA, a separação dos canais é assegurada pela introdução de uma nova dimensão, o código: a transmissão de todas as estações faz-se na mesma banda, ao mesmo tempo, com sinais codificados, de tal forma que apenas o receptor que detém o código igual ao usado na emissão, num certo canal, irá recuperar os respectivos dados.

# Acesso a satélites

## Acesso múltiplo

- Métodos de acesso aos recursos

### Acesso fixo ou pré-determinado (PA, Pre-Assigned)

- estabelece-se antecipadamente um plano de utilização dos recursos
- adequado a situações de grande tráfego aproximadamente constante
- não adaptável a tráfego variável

apenas no caso de  
FDMA ou TDMA

### Acesso por atribuição a pedido (DA, Demand Assigned)

- recursos são atribuídos a pedido com base nas condições de tráfego presentes
- preferível em situações de tráfego reduzido ou esporádico
- várias formas de atribuição de canais

apenas no caso de  
FDMA ou TDMA

- controlo centralizado  
através de sinalização  
por escrutínio (*polling*)

- controlo distribuído  
protocolos Aloha de acesso aleatório

protocolo Aloha mais usado - CSMA/CD  
*Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection*

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Os protocolos de atribuição de canais são variantes de protocolos genericamente utilizados em redes centralizadas ou distribuídas.

Um protocolo *Aloha* de tipo CSMA/CD poderá operar da seguinte forma, fazendo intervir uma estação de controlo que recebe os sinais de um transpositor de satélite, que, por sua vez, os recebe das estações dispersas da rede:

- a transmissão é efectuada em intervalos de tempo pré-definidos (*slotted Aloha*);
- uma estação terrestre só envia pacotes de informação quando detecta um canal livre (a estação de controlo pode fornecer esta indicação continuamente a todas as estações participantes na rede);
- se mais do que um terminal começar a transmitir ao mesmo tempo, existirão colisões;
- as colisões são reconhecidas na estação de controlo e sinalizadas aos terminais;
- estes suspendem a transmissão e tentam de novo após um tempo aleatório.

## Acesso a satélites

### FDMA - *Frequency Division Multiple Access*

banda base analógica ou digital

- Sistemas FDM/FM/FDMA




#### Emissão

- cada estação modula em frequência todo o seu tráfego de saída numa portadora (ou várias)
  - largura de banda do sinal em banda base:  $4 \text{ kHz} \times N$  (número de canais)

#### Recepção

- a estação recebe as portadora de todas as outras estações com quem tem conectividade
  - num sistema de  $n$  estações, são necessários pelo menos  $n-1$  receptores e desmoduladores
- a estação acede apenas à porção da banda-base FDM que lhe diz respeito

#### Plano de frequências

- banda do transpositor 36 MHz  valor muito utilizado em sistemas correntes
- atribuição de banda
  - 1 portadora de 972 canais - banda base de 12 a 4 028 kHz  exemplo de acesso único
  - 12 portadoras de 72 canais - banda base de 12 a 300 kHz  exemplo de acesso múltiplo

#### Método de acesso aos recursos

- acesso fixo, de um modo geral  reconfiguração de recursos complexa

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

A reconfiguração de recursos exigiria a alteração da largura de banda dos canais na emissão e na recepção, o que se tornaria muito complexo. Por esta razão, os sistemas FDM/FM/FDMA, já obsoletos, operavam, de um modo geral, em acesso fixo.

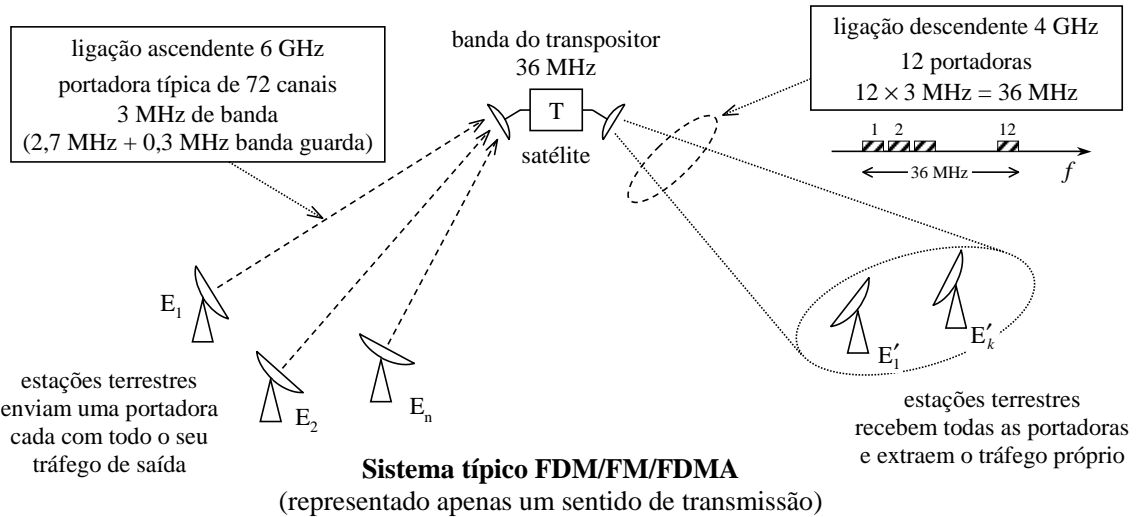
## Acesso a satélites

### FDMA - *Frequency Division Multiple Access*

- Sistemas FDM/FM/FDMA

#### Aplicações

- ligações ponto-a-ponto da rede fixa, de média/grande capacidade



*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Do ponto de vista da interconexão entre estações terrestre, este sistema pode ser visto como uma matriz de comutação de acesso total, isto é, qualquer estação de origem pode enviar qualquer parcela do tráfego total para qualquer estação de destino.

## Acesso a satélites

---

### FDMA - *Frequency Division Multiple Access*

- Sistemas SCPC/FDMA

SCPC/FM/FDMA ou SCPC/PSK/FDMA

#### Emissão e recepção

- cada estação transmite/recebe um canal modulado numa portadora independente
  - canal telefónico analógico comprimido e modulado em FM
  - canal digital com débitos até 64 kbit/s, modulado em PSK
- tráfego é agregado numa estação central
  - assegura a interligação com a rede fixa

evolução de sistemas  
analógicos para digitais

#### Plano de frequências

- largura de banda atribuída por canal entre 22,5 e 45 kHz (64 kbit/s), nos sistemas correntes

#### Método de acesso aos recursos

- acesso fixo (equivalente a linhas alugadas) ou a pedido (tráfego esporádico)
- portadora normalmente activada apenas quando há voz ou dados a transmitir
  - não tem efeito na banda ocupada
  - reduz potência transmitida pelo transpositor
  - reduz interferências

---

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Os sistemas SCPC/FDMA permitem configurações de acesso de muito baixa capacidade, inclusivamente individuais, com estações terrestres de reduzido custo e de pequena potência, especialmente a partir da altura em que se passou a utilizar satélites de órbita LEO ou MEO.

O acesso pode ser fixo ou a pedido, neste último caso correspondendo a atribuir, ou não, a banda de um canal a cada estação terminal.



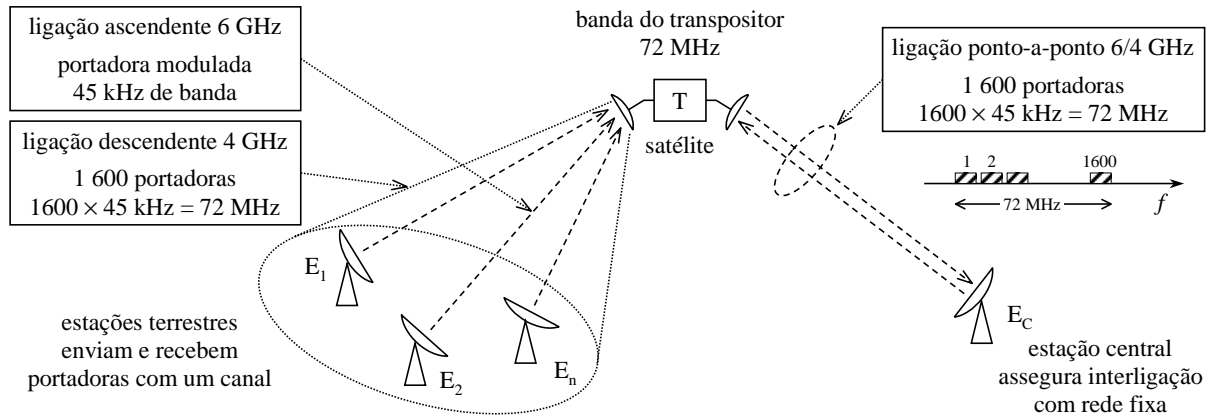
## Acesso a satélites

### FDMA - *Frequency Division Multiple Access*

- Sistemas SCPC/FDMA

#### Aplicações

- ligações ponto-a-ponto do serviço fixo, de muito pequena capacidade



**Sistema típico SCPC/FDMA para pequenas estações terrestres**

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Nesta configuração, o acesso das estações terrestres ao satélite faz-se em SCPC, nos sistemas mais recentes com portadoras com modulação digital.

A ligação estação central-satélite pode fazer-se do mesmo modo, isto é, em SCPC (como mostra a figura), ou, em alternativa, usando uma única portadora modulada com um sinal TDM, competindo então às estações terrestres identificar neste sinal TDM o canal que lhes diz respeito.

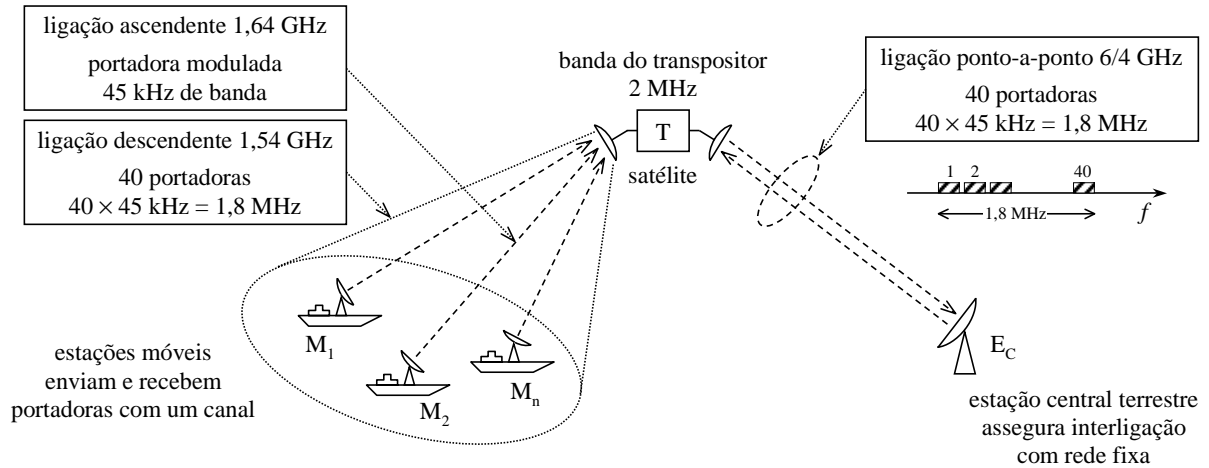
## Acesso a satélites

### FDMA - *Frequency Division Multiple Access*

- Sistemas SCPC/FDMA

#### Aplicações

- comunicações móveis de voz/dados



**Sistema típico SCPC/FDMA para serviço móvel marítimo**

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Esta configuração é idêntica à anterior.

## Acesso a satélites

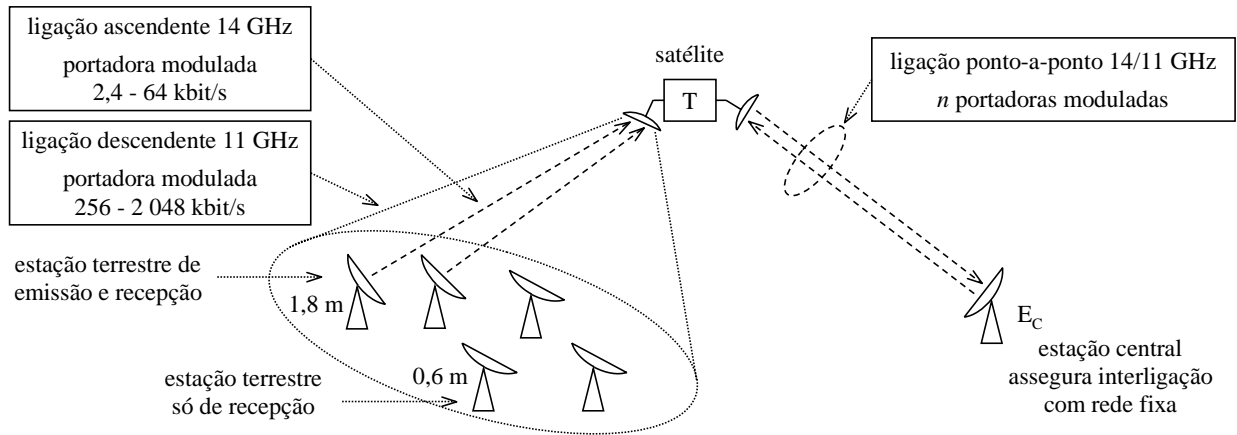
### FDMA - *Frequency Division Multiple Access*

- Sistemas SCPC/FDMA

#### Aplicações

- comunicações empresariais de voz/dados/tele-serviços RDIS

com terminais VSAT  
*Very Small Aperture Terminal*



**Sistema típico SCPC/FDMA com terminais VSAT**

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

A designação VSAT exprime a possibilidade de se utilizarem antenas de pequenas dimensões para permitir o acesso de terminais a redes de comunicação em aplicações empresariais.

Em certos cenários, as estações terrestres apenas precisam de receber sinais difundidos pelo satélite, usando-se neste caso antenas de menores dimensões do que no caso de estações de emissão-recepção.

## Acesso a satélites

---

### FDMA - *Frequency Division Multiple Access*

- Sistemas TDM/PSK/FDMA

designação Intelsat:  
IDR - *Intermediate Data Rate carrier*

#### Emissão e Recepção

- portadoras com modulação digital de sinais em banda base TDM com débitos até 45 Mbit/s
- interconexão entre estações idêntica a FDM/FM/FDMA

#### Plano de frequências

- banda do transpositor 36 MHz ou superior
- atribuição de banda
  - canais com bandas compatíveis com os débitos suportados

#### Método de acesso aos recursos

- acesso fixo, de um modo geral

reduz-se a complexidade com  
prejuízo da eficiência

#### Aplicações

- evolução de sistemas analógicos FDM/FM/FDMA sistemas digitais TDM/FDMA
  - ligações ponto-a-ponto do serviço fixo, de pequena/média capacidade
- novos serviços digitais
  - ligações Internet

---

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

A configuração TDM/PSK/FDMA tem vindo a ser utilizada em ligações ponto-a-ponto do serviço fixo, de média capacidade, permitindo custos mais baixos do que os sistemas TDMA.

O acesso fixo é uma solução adequada a aplicações em que a capacidade é atribuída de forma semi-permanente.

Neste sistema, por se basear em FDMA, não se faz normalmente a atribuição dinâmica de capacidade, pois iria exigir ajustes da largura de banda, o que se tornaria complexo. Note-se que esta complexidade não existe no caso já referido de SCPC/FDMA, em que é relativamente simples efectuar uma atribuição dinâmica de recursos, sem haver ajustes na largura de banda dos canais (a banda de um canal é unicamente atribuída ou não).

## Acesso a satélites

### TDMA - *Time Division Multiple Access*

banda base digital:  
é necessário memorizar dados

#### • Sistemas TDMA

##### Emissão

- cada estação acede ao transpositor em exclusivo num intervalo de tempo, na sua vez
- transmite uma "rajada" de bits modulando a sua portadora
- a sequência das transmissões de todas as estações constitui uma trama

##### Recepção

- a estação recupera a portadora e relógio de cada rajada da trama
- identifica a origem de cada uma das rajadas
- selecciona os sinais em banda base que lhe dizem respeito

##### Plano temporal

- cada estação utiliza um ou vários intervalos de tempo
- o número ou a duração dos intervalos é ajustável de acordo com a capacidade requerida

##### Método de acesso e partilha dos recursos

- acesso fixo (PA-TDMA) ← método mais simples
- acesso a pedido (DA-TDMA)
- interpolação de voz (DSI, *Digital Speech Interpolation*) } métodos que permitem maior eficiência

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Em TDMA, a possibilidade de ajustar dinamicamente o número e duração dos intervalos de tempo das rajadas de cada estação permite a implementação de técnicas de acesso a pedido. Nestas técnicas, há uma estação de controlo que assume um papel central, autorizando os pedidos e coordenando globalmente a atribuição de intervalos de tempo às estações que participam no sistema.

Além disso, a utilização obrigatória de técnicas digitais em TDMA, nomeadamente em serviços de comunicações de voz, permite a aplicação de uma outra técnica através da qual, nos períodos de pausas de conversação, os canais de satélite são libertados para serem utilizados por outras comunicações. Esta técnica, denominada DSI, *Digital Speech Interpolation* (interpolação de voz), pressupõe o estabelecimento de um período de tempo a partir do qual se considera que não há actividade no canal se o nível de sinal estiver sempre abaixo de um dado limiar (de desactivação); e o estabelecimento de um outro período de tempo (curto) a partir do qual se considera que há actividade no canal se o nível de sinal estiver sempre acima de um outro limiar (de activação). Neste processo estatístico de tomada e libertação de canais de satélite, há sempre uma certa probabilidade de o número de canais terrestres que requerem activação exceder os canais de satélite disponíveis, o que acarretará cortes mais ou menos longos na conversação entre utilizadores. A técnica DSI permite ganhos típicos entre 2 e 2,5 (relação entre o número de canais de satélite e o número de canais terrestres).

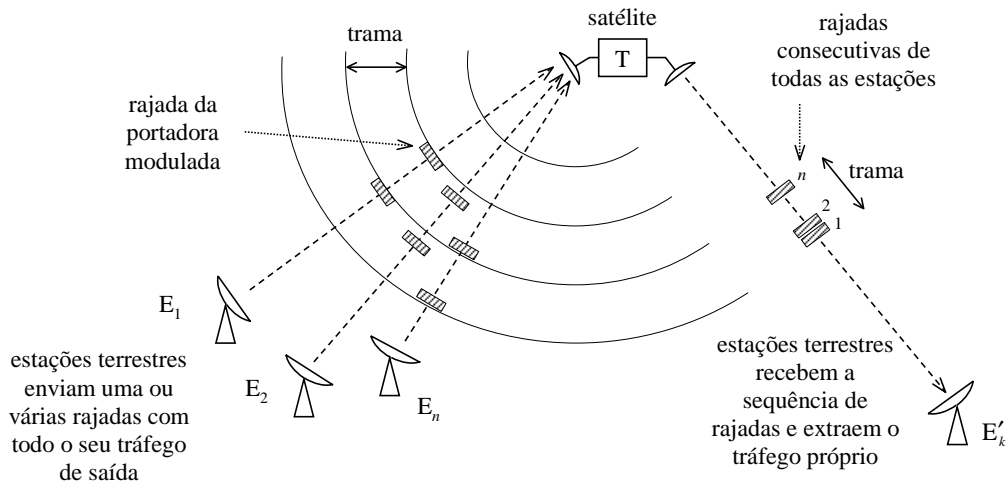
Mais recentemente, a técnica DSI tem vindo a ser utilizada em conjunto com ADPCM a 32 kbit/s ou outras técnicas de compressão, permitindo duplicar, pelo menos, o ganho total. Este sistema é conhecido por DCME (*Digital Circuit Multiplication Equipment*).

## Acesso a satélites

### TDMA - Time Division Multiple Access

- Sistemas TDMA

Operação de um sistema TDMA



**Emissão e recepção num sistema TDMA**  
(representado apenas um sentido de transmissão)

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*



Note-se que, em TDMA, a temporização das emissões de rajadas das estações é definida de modo a que à entrada do transpositor do satélite as rajadas de todas as estações estejam em sequência, sem sobreposição nem intervalos excessivos (apenas um certo tempo de guarda entre rajadas adjacentes). Isto implica que a temporização de uma dada estação resulte não só da posição relativa da sua rajada na sequência de rajadas TDMA, mas também da distância a que a estação se encontra do satélite.

# Acesso a satélites

## TDMA - Time Division Multiple Access

### • Sistemas TDMA

#### Sincronização da transmissão TDMA

- estação de controlo envia rajadas de referência da trama TDMA
- estações participantes sincronizam-se com a estação de referência tendo em conta
  - sequência da estação na trama
  - distância da estação ao satélite
- método de auto-sincronização 
  - aplicável se a estação terrestre "ouve" as suas próprias transmissões
  - a estação envia rajadas de baixa potência (sem interferir com as transmissões em curso)
  - recebe o "eco" do satélite
  - mede a sua temporização relativamente à rajada de referência
  - em operação normal, ajusta continuamente a temporização
- método de sincronização cooperativo 
  - medidas de temporização relativa efectuadas numa estação de controlo
  - valores são transmitidos a todas as outras estações, para ajustarem as suas transmissões
  - estação de controlo pode retirar de serviço as estações que não cumpram os valores

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

O método de auto-sincronização, mais simples mas menos seguro, é utilizado sobretudo em redes com um grande número de estações de pequena dimensão, em que as preocupações de custos são determinantes.

O método de sincronização cooperativa, mais complexo mas mais seguro, é preferido nas aplicações de grande capacidade da rede fixa, nas quais as estações já têm, de qualquer modo, um nível de complexidade elevado.

## Acesso a satélites

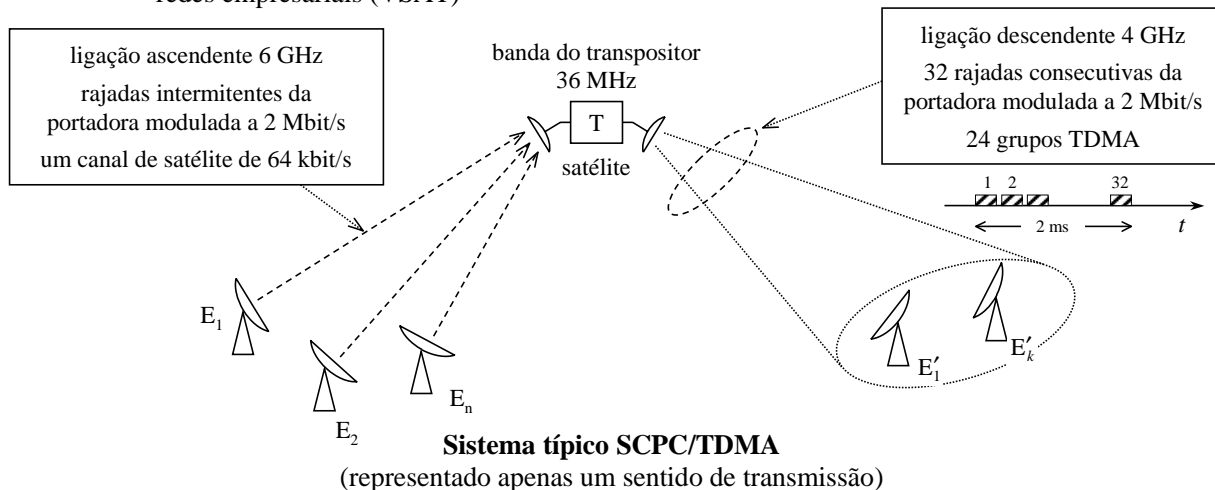
### TDMA - *Time Division Multiple Access*

- Sistemas SCPC/TDMA

SCPC/PSK/TDMA

#### Aplicações

- serviço fixo pequena capacidade
- comunicações móveis
- redes empresariais (VSAT)



*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Neste sistema, opera-se em TDMA em cada uma de 24 sub-bandas em que se divide a banda total do transpositor. Por combinar os métodos FDMA e TDMA, aplica-se frequentemente a designação F-TDMA.

Em cada grupo TDMA, há, no máximo, 32 estações a transmitir, cada uma, um tráfego de 64 kbit/s. A trama TDMA tem um período de 2 ms, o que significa que, em cada rajada, são transmitidos 16 octetos de tráfego de utilizador, a um débito de cerca de 2 Mbit/s.



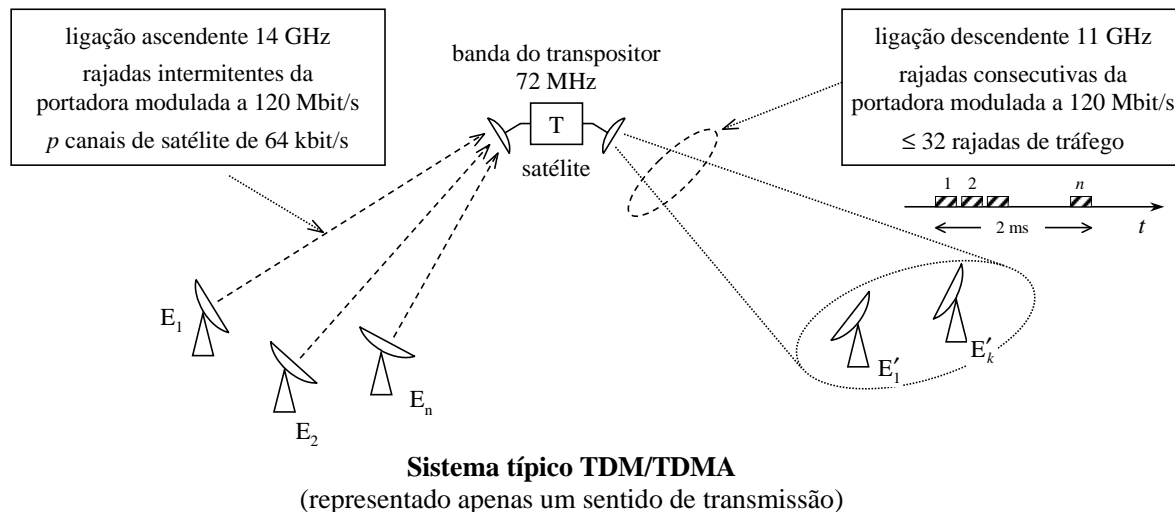
## Acesso a satélites

### TDMA - *Time Division Multiple Access*

- Sistemas TDM/PSK/TDMA

#### Aplicações

- ligações TDM ponto-a-ponto da rede fixa, de grande capacidade



*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

O sistema representado nesta e nas páginas seguintes refere-se a satélites Intelsat, o qual, por sua vez, exibe muitas características comuns a outros sistemas.

Cada estação terrestre suporta um certo número de canais de satélite, embora, como foi discutido anteriormente, possa ser suportado um maior número de conexões de canais terrestres, se forem utilizadas as referidas técnicas de interpolação de voz.

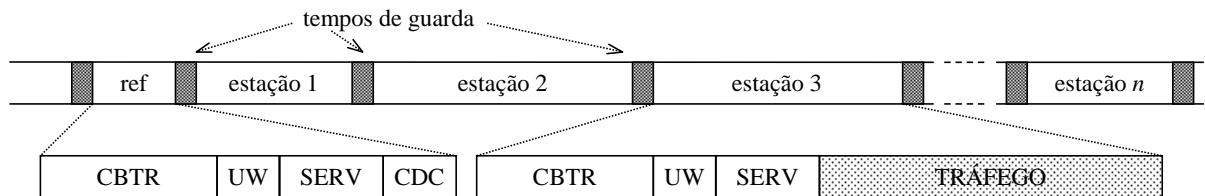
# Acesso a satélites

## TDMA - Time Division Multiple Access

### • Sistemas TDM/PSK/TDMA

#### Estrutura da trama TDMA

- uma rajada de referência (ou duas, transmitidas por duas estações, para redundância)
- sequência de rajadas com tráfego das estações, separadas por tempos de guarda



#### CBTR - *Carrier and Bit Timing Recovery*

- sequência de bits para sincronização da portadora e da recuperação de relógio bit

#### UW - *Unique Word*

- palavra de alinhamento da transmissão série

#### SERV - Serviço

- indicação da estação, comunicações de serviço

#### CDC - *Control and Delay Channel*

- controlo da temporização entre estações

### Estrutura de trama num sistema TDMA

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

A recuperação de sincronismo de portadora e de relógio de bit terá de ser executada em cada rajada, pelo que o próprio sistema transmite uma sequência de símbolos no campo CBTR (*Carrier and Bit Timing Recovery*) para facilitar o processo e torná-lo muito rápido.

A transmissão da sequência UW (*Unique Word*) evita a necessidade de utilizar codificação PSK diferencial, já que a ambiguidade de fase pode ser removida procurando a ocorrência do padrão de bits associado a UW, nas diversas fases possíveis (quatro, no caso de QPSK).

No campo CDC (*Control and Delay Channel*) executa-se o protocolo de sincronização cooperativo entre estações.

## Acesso a satélites

### TDMA - Time Division Multiple Access

- Sistemas TDM/PSK/TDMA

Especificações gerais do sistema TDMA INTELSAT		
Parâmetros	Caracterização	Observações
Modulação	QPSK	máxima eficiência de potência
Débito total	60,416 Mbaud    120,832 Mbit/s	compatível com transpositor de 72 MHz
Codificação	absoluta	codificação diferencial não é necessária ambiguidade de fase resolvida pelo conteúdo de UW
Recuperação de portadora e relógio	48 símbolos não modulados +	corresponde a transmitir uma portadora contínua
	128 símbolos modulados	corresponde a transmitir uma sequência "0011001100..."
Trama	período 2 ms 242 080 bits    121 040 símbolos	compromisso entre atraso e eficiência (exige memorização de 16 octetos a 8 kHz)
	2 rajadas de referência 32 rajadas de tráfego (máximo)	máximo de 32 estações participantes máximo de 16 rajadas de uma única estação
Capacidade das sub-rajadas de tráfego	127 canais satélite 240 canais terrestres	máximo das unidades de canais interpolados
	128 canais satélite    8 192 kbit/s	máximo das unidades de canais não interpolados
Canais de satélite	64 kbit/s    16 octetos p/ rajada	suportam canais terrestres com débitos de 64 kbit/s, múltiplos ou sub-múltiplos deste valor
Eficiência	$\eta = 1 - (2 \times 704 + n \times 688) / 242080$	relação entre o débito útil e o débito total para $n$ estações

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

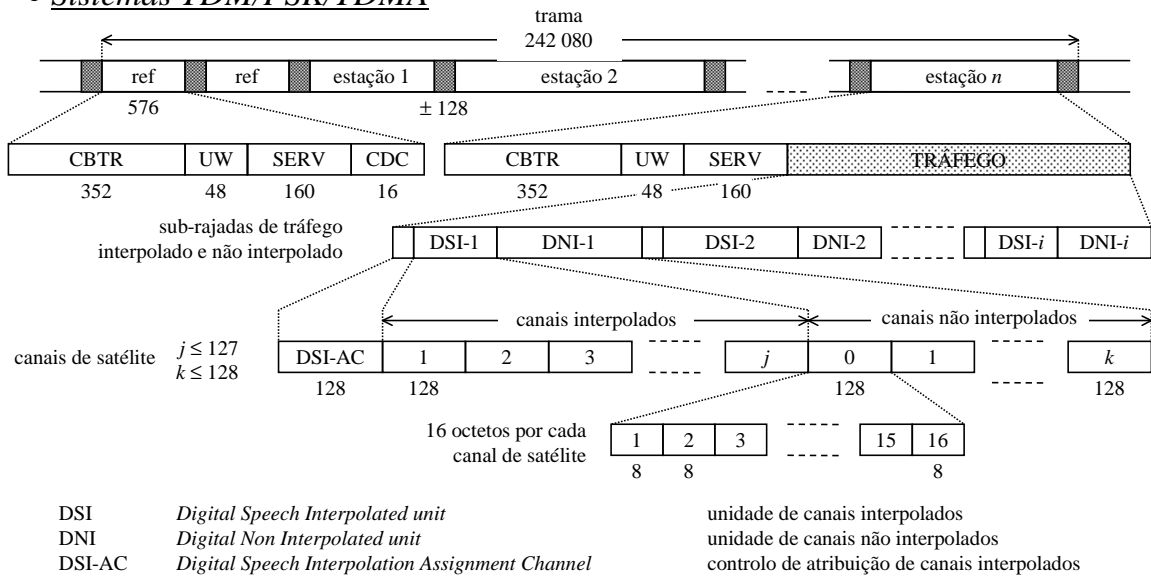
Para a recuperação de portadora e relógio, transmitem-se no campo CBTR, numa primeira fase, símbolos não modulados para facilitar a recuperação de sincronismo da portadora; numa segunda fase, transmite-se uma sequência de símbolos correspondentes à sequência binária "00110011..." de forma a obter, em cada um dos canais em quadratura, uma sequência "0101...", a qual permite recuperar muito facilmente a frequência de relógio de bit.

A eficiência do sistema pode ser calculada a partir da diferença entre a unidade e a fracção de bits/símbolos sem conteúdo de informação: duas rajadas de referência, os preâmbulos das rajadas de tráfego e o equivalente em bits dos respectivos tempos de guarda. A eficiência é tanto maior quanto menor for o número  $n$  de estações → para uma situação típica de 16 estações, o valor calculado é de cerca de 95%.

## Acesso a satélites

### TDMA - Time Division Multiple Access

#### • Sistemas TDM/PSK/TDMA



#### Estrutura e número de bits das tramas TDMA do sistema INTELSAT

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Em cada trama TDMA, o tráfego é constituído por sub-rajadas com interpolação de voz e sub-rajadas sem interpolação, estas últimas necessariamente utilizadas para comunicação de dados sem restrição. Cada sub-rajada poderá estar associada a uma dada estação de destino.

Cada sub-rajada com interpolação de voz dispõem de um canal de controlo (DSI-AC), no qual as estações terminais trocam mensagens de atribuição e libertação de canais de satélite a canais terrestres de comunicação.

Nos intervalos de guarda não há transmissão, exprimindo-se, no entanto, na figura, o número de bits que corresponderiam àquele período.

# Acesso a satélites

---

## CDMA - Code Division Multiple Access

- Sistemas CDMA

### Emissão

- o terminal transmite logo que tenha dados disponíveis
- cada bit é modulado por uma sequência de pseudo-aleatória de bits (código ou chave) atribuída ao terminal (tipicamente constituída por 100 a 10 000 bits)
- o sinal resultante é assim espalhado numa banda muito maior do que a necessária para transmitir o sinal original (*spread spectrum*)

### Recepção

- a mesma sequência é utilizada para reagrupar o sinal recebido e recuperar os dados
- os sinais de outros utilizadores constituem interferências sobre o sinal recebido

### Atribuição de códigos

- cada estação tem um código ortogonal ao das outras estações, para minimizar a interferência

### Método de acesso aos recursos

- acesso fixo
- acesso a pedido

não requer coordenação entre utilizadores, a não ser a atribuição de códigos ortogonais entre si

---

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

A grande vantagem do CDMA é a possibilidade de operar sem necessidade de coordenação entre as estações: não é necessário nenhum método de atribuição de banda ou intervalos de tempo, nem se exige sincronização.

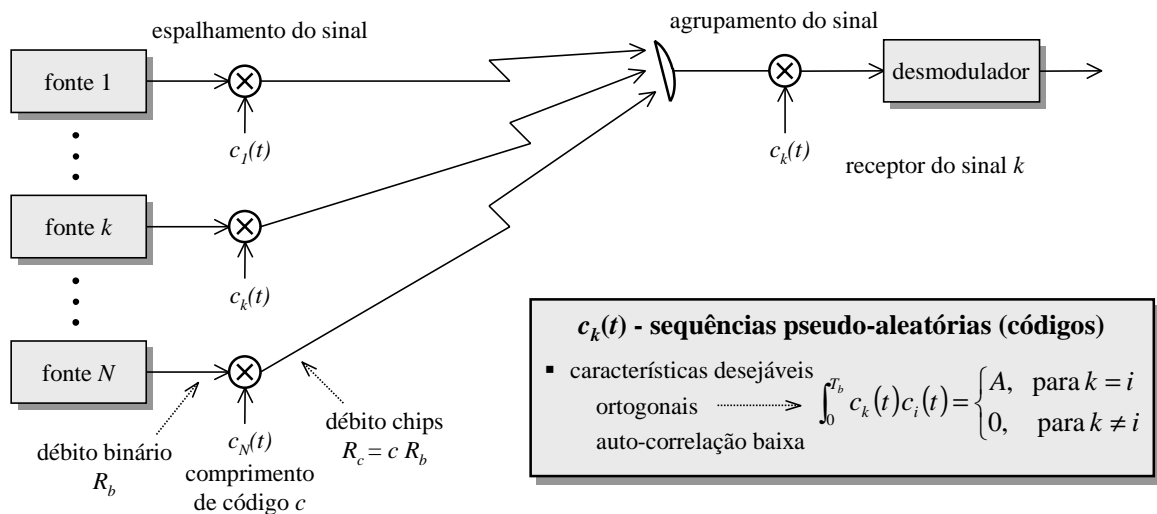
A entrada em modo de transmissão de um novo utilizador apenas aumenta a interferência sobre os outros utilizadores, não existindo, por isso, um limite rígido para a capacidade. Da mesma forma, o sistema aproveita intrinsecamente os períodos de pausa, nos quais, não havendo transmissão, a interferência reduz-se, permitindo a entrada de outros utilizadores: por isso, são dispensáveis os métodos de gestão dinâmica de recursos, como o DSI.

Veremos já de seguida algumas desvantagens.

## CDMA - Code Division Multiple Access

### • Sistemas CDMA

Operação de um sistema CDMA



### Multiplexagem de canais em CDMA

Sistemas de Telecomunicações II

Sistemas de Comunicação por Satélite

Conforme está indicado na figura, após a multiplicação pelo código, o sinal transmitido tem um débito e, conseqüentemente, uma largura de banda, muito maiores do que o original.

Os códigos são sequências pseudo-aleatórias (PRS, *pseudo-random sequence*), também designadas de sequências de pseudo-ruído (PN, *pseudo-noise*).

A ortogonalidade entre os códigos garante que não haverá correlação entre os sinais dos vários canais, constituindo apenas interferência mútua, com as propriedades do ruído branco.

A auto-correlação baixa permite sincronizar a detecção no receptor de um dado canal, que usa o mesmo código empregue no correspondente emissor. Para este efeito, fazem-se deslocamentos chip a chip no receptor até ser obtido um sinal acima de um nível de referência (como a auto-correlação é baixa, enquanto os chips recebidos não estiverem alinhados com o código no receptor, não haverá sinal detectado). Um problema é que, para sequências muito longas, este processo pode ser relativamente demorado.

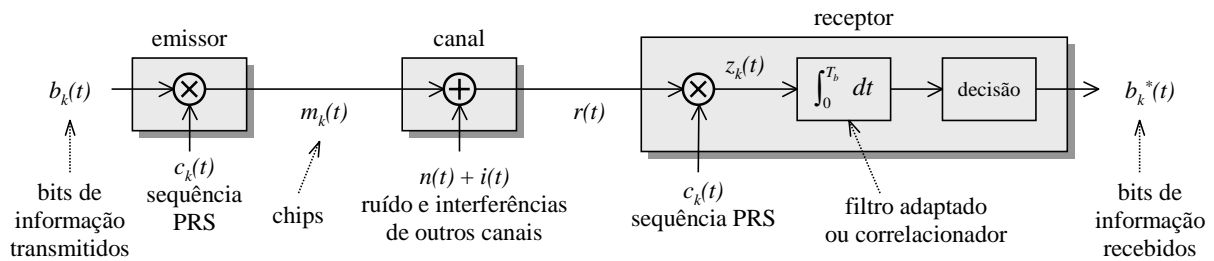
Para lidar com diferentes débitos de fonte, altera-se normalmente o comprimento dos códigos de modo a garantir um débito de chips constante: o processo apresenta, contudo, limitações para débitos mais elevados, podendo optar-se por atribuir múltiplos códigos à mesma fonte, de modo a disponibilizar dois ou mais canais para suportar uma única conexão de alto débito.

# Acesso a satélites

## CDMA - Code Division Multiple Access

### • Sistemas CDMA

Operação de um sistema CDMA



**Modelo de um sistema CDMA em banda base**

$$r(t) = c_k(t)b_k(t) + n(t) + \boxed{i(t)} \xrightarrow{\text{mesma potência na recepção}} i(t) = \sum_{i \neq k} c_i(t)b_i(t)$$
$$z_k(t) = c_k(t)r(t) = c_k^2(t)b_k(t) + c_k(t)[n(t) + i(t)] = b_k(t) + c_k(t)[n(t) + i(t)]$$
$$b_k^*(t) = b_k(t) \quad \leftarrow \text{se não existirem erros}$$

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

A dedução acima demonstra a capacidade de recuperar os dados num sistema CDMA. Na presença de ruído e, em especial, de outros sinais interferentes no mesmo sistema, que ocupam a mesma banda, o filtro adaptado, ao fim do tempo  $T_b$  de bit, apresentará à saída um nível correspondente ao sinal original, mais uma componente aleatória de média nula. A remoção dos termos indesejáveis é possível, precisamente pelo facto de os códigos serem ortogonais. O dispositivo de decisão removerá este termo aleatório, regenerando o sinal original, eventualmente com erros.

Deve notar-se que a situação ideal só ocorrerá se os sinais de todos os canais forem recebidos com a mesma potência. Caso contrário, haverá sinais que dominam no receptor, reduzindo significativamente a capacidade de recepção dos sinais mais débeis.

A condição de potências equivalentes na recepção só pode ser garantida com um sistema relativamente complexo de controlo adaptativo da potência transmitida, o que constitui um inconveniente do CDMA.

Note-se que no sinal  $r(t)$  que chega ao receptor, a potência do sinal desejado pode estar muito abaixo da potência de ruído e interferências. Isto é, em sistemas com espalhamento de banda, o sinal pode estar "escondido" por baixo de outros sinais, o que do ponto de vista de segurança constitui uma vantagem enorme para certas aplicações, nomeadamente militares.

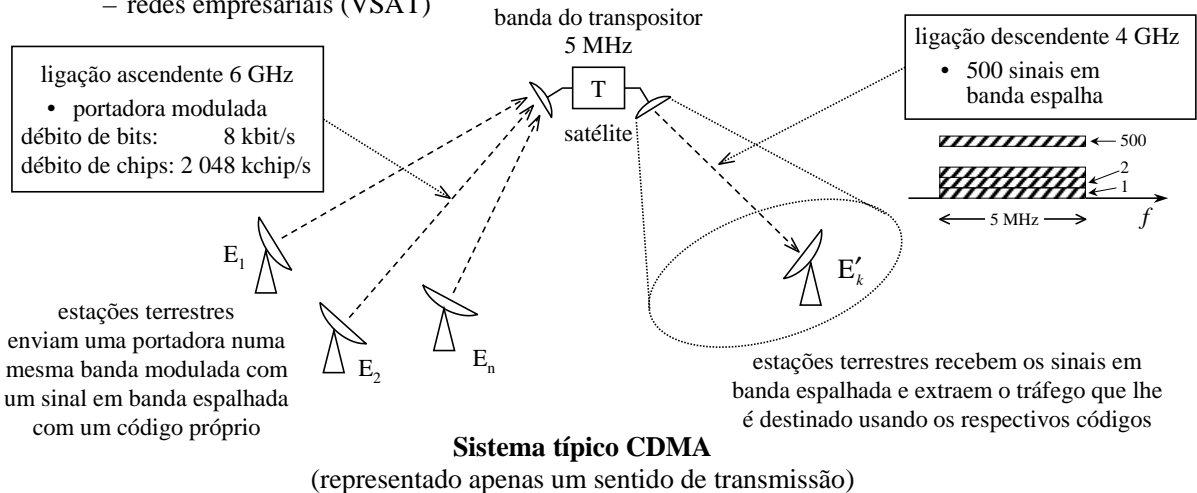
## Acesso a satélites

### CDMA - Code Division Multiple Access

#### • Sistemas CDMA

##### Aplicações

- serviço fixo pequena capacidade
- comunicações móveis
- redes empresariais (VSAT)



*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

A figura ilustra uma aplicação de um sistema CDMA que utiliza códigos de 256 bits. Cada sinal de 64 kbit/s é espalhado numa banda de 5 MHz, sendo reagrupado no receptor com o código respectivo.



# Acesso a satélites

## Satélites digitais

### Tipos de transpositores

- transpositores de tipo *bent pipe* ("tubo encurvado")
  - funções de amplificação e transposição de frequência
  - utilizados em ligações analógicas (necessariamente) e em ligações digitais
- transpositores digitais
  - processamento de sinais a bordo
  - utilizados em ligações digitais

ruído cumulativo na ligação

diversas optimizações do sistema

### Processamento a bordo

- regeneração e correcção de erros FEC
- reconfiguração de recursos do satélite
- comutação dinâmica de feixes
- multiplexagem de conteúdos no satélite

ganho de alguns dB

flexibilidade de alteração de cobertura e serviços

aumento substancial da capacidade do sistema

melhor exploração de redes de difusão de TV e dados

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

A introdução de satélites regenerativos apresenta um conjunto de vantagens equivalentes às existentes nos feixes hertzianos terrestres, quando os repetidores passam a ser regenerativos.

Há, contudo outros benefícios a ter em conta, nomeadamente em termos de flexibilidade de reconfiguração semi-permanente de recursos de satélite, que requer capacidade de interconexão a bordo:

- nos satélites não regenerativos, a interconexão faz-se no domínio das frequências, em RF ou IF, envolvendo toda a banda dos transpositores, ou em sub-bandas (nunca muito estreitas), recorrendo a baterias de filtros com alguma complexidade;
- nos satélites regenerativos, o processamento digital a bordo baseado em matrizes de comutação temporal permite maior simplicidade e grande flexibilidade, com excelente granularidade, até ao nível do canal de satélite.

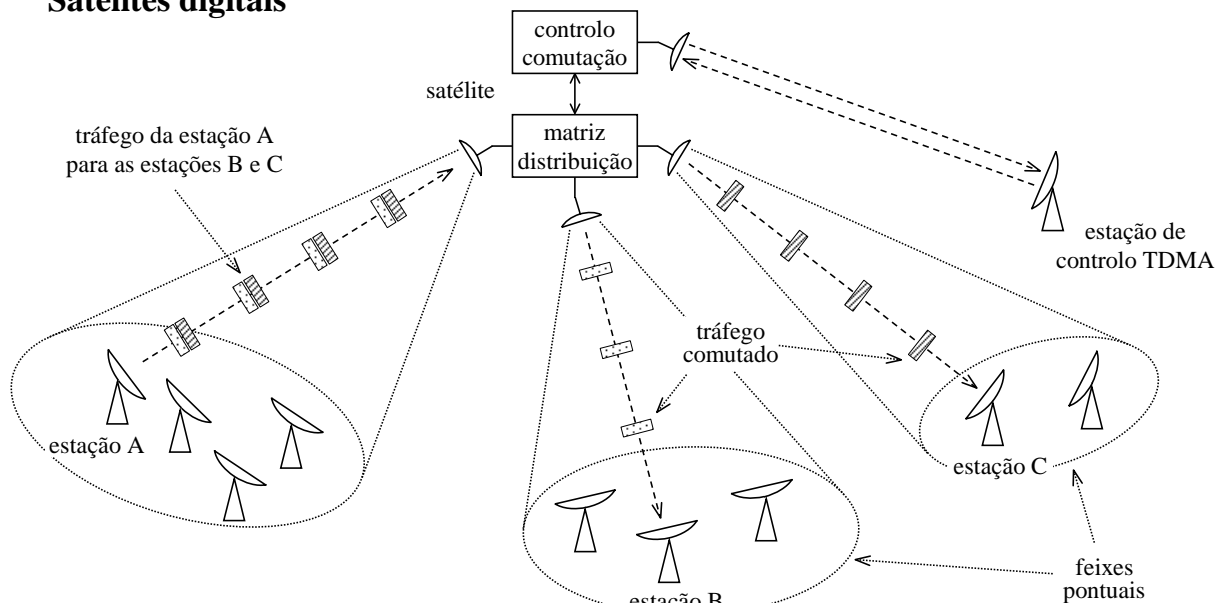
A comutação dinâmica em satélites TDMA é outro avanço significativo, discutido em mais detalhe na página seguinte.

Em geração mais recentes de satélites digitais, tem sido explorada a capacidade de agregar directamente no satélite conteúdos de informação, especialmente programas de televisão em MPEG-2, mas também outros conteúdos, como tráfego Internet:

- nos satélites não regenerativos, os pacotes digitais de programas de televisão são constituídos em cada estação terrestre de emissão → exige meios adicionais de transporte para transferir os programas dos locais de produção de conteúdos para os locais onde se faz a emissão da ligação ascendente;
- nos satélites regenerativos, existe a possibilidade de os programas serem individualmente transmitidos para o satélite directamente a partir do respectivo local de produção, com estações de pequena dimensão, já que as ligações são de débito relativamente baixo (da ordem dos 4-5 Mbit/s) → permite efectuar directamente no satélite a composição dos pacotes digitais.

# Acesso a satélites

## Satélites digitais



**Princípio da comutação de feixes**  
(representado apenas um sentido de transmissão)

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

A comutação dinâmica de feixes é utilizada em satélites TDMA e baseia-se nos seguintes princípios (explicação referida à figura):

- no sistema TDMA convencional, se a estação A pretendesse transmitir para as estações B e C, o feixe descendente teria de ter uma cobertura alargada, que abrangesse simultaneamente as estações B e C;
- em alternativa, neste sistema, o satélite disponibiliza feixes pontuais para cobertura de regiões muito mais limitadas no espaço;
- as rajadas da estação A, que contêm sub-rajadas destinadas às estações B e C (e eventualmente outras), são agora comutadas no satélite, de forma a encaminhar o tráfego para os feixes pontuais respectivos.

As vantagens deste sistema são múltiplas:

- ao utilizar feixes pontuais, o ganho das antenas do satélite é maior, logo aumenta o EIRP e o G/T dos sub-sistemas do satélite, ou em alternativa, permite reduzir as potências de transmissão;
- como os feixes pontuais estão separados geograficamente, aumenta a capacidade global de reutilização de frequências.

Esta separação espacial explora uma nova dimensão no processo de acesso múltiplo. Por isso, esta técnica é muitas vezes designada de acesso múltiplo por divisão de espaço (SDMA, *Space Division Multiple Access*), sendo o equivalente da divisão em células utilizada em redes de comunicação móvel.

### Comparação entre sistemas de acesso

Análise comparativa de FDMA, TDMA e CDMA			
Características	Técnica de acesso múltiplo		
	FDMA	TDMA	CDMA
tecnologia	simples e dominada há largos anos	mais complexa, nomeadamente em termos de controlo global, mas actualmente dominada	a mais complexa de todas
sincronização entre estações	não necessária	crítica para o bom funcionamento do sistema	não necessária
intermodulação entre canais	introduzida pelo transpositor, sobretudo à saída do amplificador de potência	só está presente uma portadora no transpositor: o canal pode ser igualizado	introduzida pelo transpositor, sobretudo à saída do amplificador de potência
eficiência de potência	mais baixa: o transpositor tem de operar abaixo da saturação	elevada: o transpositor pode operar próximo da saturação	mais baixa: o transpositor tem de operar abaixo da saturação
controlo de potência da ligação ascendente	necessária em ligações muito afectadas por interferências por intermodulação	não necessária	necessária em todas as ligações para não privilegiar nenhum canal
memorização de informação	não necessária	necessário armazenar grandes quantidades de informação: aumenta o atraso total	não necessária

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Esta tabela e a seguinte resumem as principais características das técnicas de acesso já analisadas, agora numa perspectiva de comparação em que se destacam vantagens e desvantagens relativas.

Não é possível eleger nenhuma técnica fora do contexto concreto, já que continuam a ter as suas áreas próprias de aplicação, em que as suas vantagens são decisivas e as desvantagens menos relevantes.

## Acesso a satélites

### Comparação entre sistemas de acesso

Análise comparativa de FDMA, TDMA e CDMA			
Características	Técnica de acesso múltiplo		
	FDMA	TDMA	CDMA
capacidade total do sistema	limite rígido imposto pela banda total do sistema	limite rígido imposto pelo débito total do sistema	limitado apenas pela interferência aceitável, mas sem limite rígido de canais ↑
capacidade dos canais de tráfego	permite canais de banda larga, desde que não seja ultrapassada a banda total do sistema ↑	permite canais de débito elevado, desde que não seja ultrapassado o débito total do sistema ↑	difícil suportar canais de débito mais elevado: exige, por exemplo, códigos múltiplos
ajuste dinâmico de tráfego	difícil ajustar dinamicamente o tráfego: exige emissão e recepção com banda variável	fácil ajustar dinamicamente o tráfego: basta atribuir intervalos de tempo de maior ou menor duração ↑	fácil ajustar dinamicamente o tráfego: basta variar o comprimento do código utilizado pelo canal ↑
aproveitamento de pausas de comunicação	difícil gerir a activação / desactivação canais para aproveitar as pausas	utilizadas técnicas de interpolação de voz (DSI , <i>Digital Speech Interpolation</i> ) ↑	aproveitamento intrínseco: basta não transmitir o sinal para reduzir a interferência sobre outros canais ↑
reconfiguração de tráfego no satélite	difícil reconfigurar cobertura e serviços: interconexão complexa no domínio das frequências	fácil reconfigurar cobertura e serviços: interconexão simples no domínio dos tempos ↑	relativamente difícil reconfigurar cobertura e serviços: exige descodificar todos os canais
comutação dinâmica a bordo	praticamente inviável	permite comutação dinâmica do tráfego entre estações: comuta rajadas de tráfego ↑	pouco adaptado a técnicas de comutação a bordo: exige descodificar todos os canais

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

## Acesso a satélites

### Resumo de serviços por satélite *versus* sistemas de acesso

		Sinal analógico transmitido					
		Monocanal telefonia		FDM		TV	
Acesso simples	Serviços			FDM / FM	serviço fixo de grande capacidade	SCPC / FM	contribuição ou distribuição de programas
	Formas de acesso				acesso fixo		acesso fixo
FDMA	Serviços	SCPC / FM / FDMA	serviço fixo de pequena capacidade comunicações móveis	FDM / FM / FDMA	serviço fixo de média ou grande capacidade		
	Acesso		acesso fixo ou a pedido		acesso fixo		
TDMA	Serviços						
	Formas de acesso						
CDMA	Serviços						
	Formas de acesso						

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Esta tabela e a seguinte sintetizam a aplicação dos sistemas de acesso aos diversos tipos de serviço considerados.

Quando se analisa as técnicas de acesso para cada tipo de serviço eliminam-se algumas possibilidades sem interesse prático, continuando a existir casos em que as técnicas de acesso competem entre si, para um dado tipo de serviço.

## Acesso a satélites

### Resumo de serviços por satélite *versus* sistemas de acesso

		Sinal digital transmitido				
		Monocanal telefonia / dados		TDM		TV
Acesso simples	Serviços			TDM / PSK	serviço fixo de grande capacidade	SCPC / PSK ou contribuição ou distribuição de programas
	Formas de acesso				acesso fixo	MCPC / PSK acesso fixo
FDMA	Serviços	SCPC / PSK / FDMA	serviço fixo de pequena capacidade comunicações móveis VSAT	TDM / PSK / FDMA	serviço fixo de média ou grande capacidade	
	Acesso		acesso fixo ou a pedido		acesso fixo	
TDMA	Serviços	SCPC / PSK / TDMA	serviço fixo de pequena capacidade comunicações móveis VSAT	TDM / PSK / TDMA	serviço fixo de média ou grande capacidade	
	Formas de acesso		acesso fixo ou a pedido		acesso fixo ou a pedido	
CDMA	Serviços	SCPC / PSK / CDMA	serviço fixo de pequena capacidade comunicações móveis VSAT			
	Formas de acesso		acesso fixo ou a pedido			

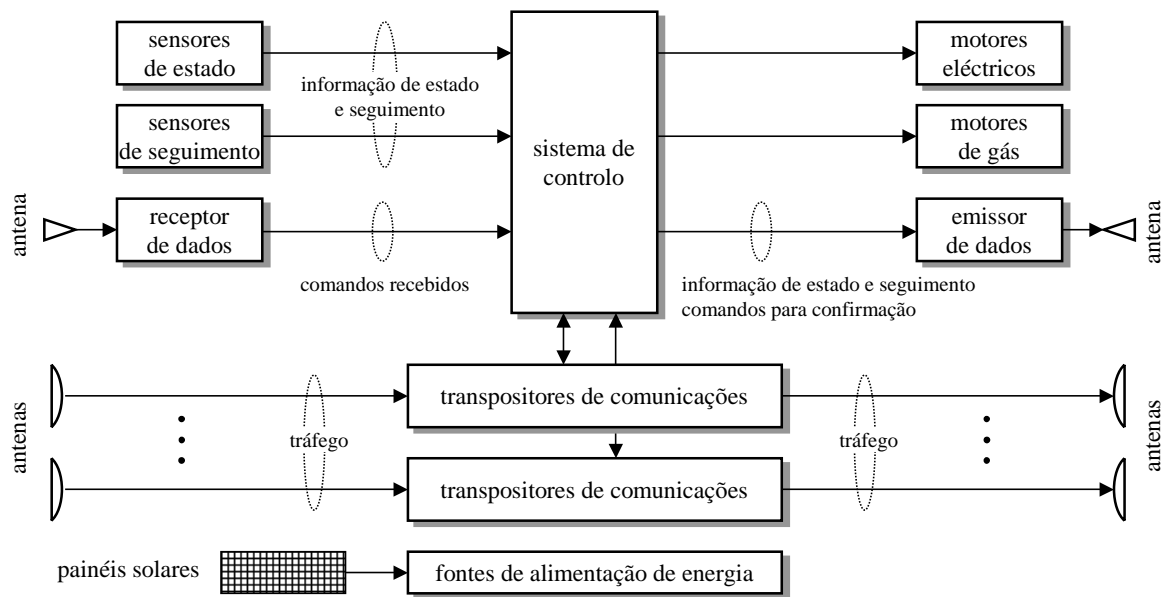
*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

A tendência é, naturalmente, de evolução para os sistemas digitais reflectidos neste quadro.

## Segmento do satélite

### Subsistemas do satélite



**Diagrama-blocos simplificado de um satélite típico de telecomunicações**

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Analisaremos os seguintes subsistemas de um satélite de telecomunicações:

- subsistema de controlo de atitude e órbita;
- subsistema de telemetria, seguimento e comando;
- subsistema de alimentação de energia;
- subsistemas de comunicação.

## Segmento do satélite

### Subsistema de controlo de atitude e órbita

- Atitude do satélite <-----> correcção a menos de  $\pm 0,1^\circ$  em cada eixo

Sistema de estabilização de três eixos

- três discos giratórios, (um por eixo) ou um disco montado em engrenagens giratórias <----->
- um motor de gás por cada eixo (polarizam o momento angular dos discos)

Sistema de estabilização por rotação do corpo do satélite

motores eléctricos  
geram efeito giroscópico

- o corpo do satélite roda em torno do seu eixo <----->
- as antenas e subsistemas de comunicações rodam relativamente ao corpo do satélite por forma a apontarem para a Terra permanentemente
- dois motores de gás permitem correcções nas direcções perpendiculares à do eixo do satélite

- Órbita do satélite <-----> correcção da posição a menos de  $\pm 0,1^\circ$  ( $\pm 75$  km) da situação nominal

- não podem ser usados discos de momento controlados electricamente
- são usados motores de gás para criar acelerações lineares

---

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

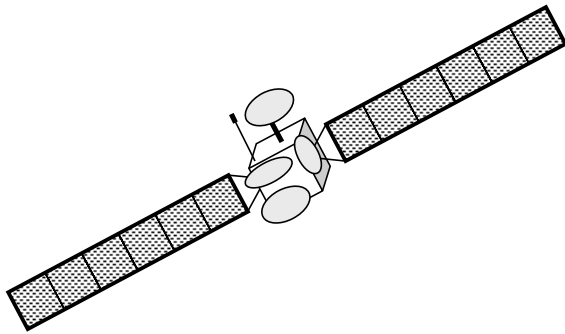
Este subsistema é constituído por motores de gás destinados a mover o satélite para a sua órbita correcta, quando forças externas o desviam da sua posição normal, e motores de gás ou motores eléctricos com efeito giroscópico que controlam a atitude (orientação) do satélite.



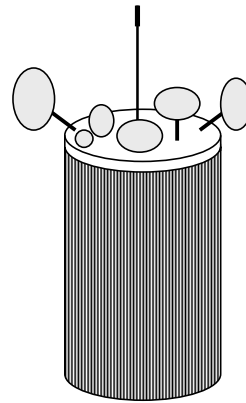
## *Segmento do satélite*

---

### **Subsistema de controlo de atitude e órbita**



**Satélite com estabilização de três eixos**



**Satélite com estabilização por rotação  
do corpo do satélite**

---

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

O tipo de estabilização de um satélite é imediatamente reconhecido pela forma geral do satélite:

- satélite com estabilização de três eixos: corpo de tipo paralelepípedo, antenas nas faces e painéis solares planos e orientáveis (ver sistema de alimentação de energia);
- satélite com estabilização por rotação do corpo do satélite: corpo cilíndrico de grandes dimensões revestido de células solares, com antenas montadas numa plataforma situada numa das bases.

## *Segmento do satélite*

---

### **Telemetria, seguimento e comando** (*TT&C, Telemetry, Tracking and Command*)

- Telemetria

responsável pelo envio de informação de sensores no satélite

Informação de estado

- combustível
- tensão e corrente na fonte
- tensão e corrente em cada parte crítica do subsistema de comunicações
- temperatura

- Seguimento

responsável pela localização precisa do satélite (a menos de 100m)

Informação de seguimento

- medidas no satélite de sensores de aceleração, de velocidade e de pontaria para a Terra
- observação terrestre do efeito Doppler na portadora de TT&C (ver adiante)
- medidas angulares precisas efectuadas em estações terrestres
- radar (o satélite é o alvo que opera como repetidor activo)

---

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Estes sistemas estão parcialmente no satélite e na estação terrestre de controlo.

O sistema de telemetria envia para a estação de controlo informação de vários sensores do satélite, que monitoram o funcionamento dos sistemas mais importantes.

O sistema de seguimento, embora se considere associado ao segmento do satélite, está efectivamente situado na estação terrestre de controlo. Destina-se a obter estimativas dos elementos orbitais do satélite, a partir de diversos tipos de parâmetros medidos no satélite e na Terra. Através destes parâmetros será possível calcular a elevação, azimute e distância do satélite em relação a qualquer estação terrestre. Recolhe ainda informação de sensores de pontaria do satélite para a Terra.

## Segmento do satélite

### Telemetria, seguimento e comando (TT&C, Telemetry, Tracking and Command)

- Comando

responsável pela execução de acções no satélite

#### Acções de comando

- alterações da atitude e órbita
- controlo do subsistema de comunicações (antenas e transpositores)
- controlo das manobras de entrada na órbita nominal

#### Protocolo de comando

- garantia de segurança
- operação típica
  - o comando é convertido numa palavra de código que é enviada para o satélite
  - o satélite verifica a validade da palavra e repete-a para Terra
  - a estação terrestre confirma a palavra e envia um comando de execução

#### Sistema de transmissão da informação de TT&C

- portadora modulada digitalmente em PSK ou FSK
- débito baixo para permitir obter elevado S/N
- bandas utilizadas: UHF, banda S, banda C

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

O sistema de comando processa a informação de telemetria e seguimento e envia comandos para os motores do satélite, de forma a corrigir a posição e atitude do satélite. Controla ainda a pontaria das antenas e a configuração dos transpositores, de acordo com os requisitos de tráfego. A fiabilidade destas operações é assegurada através de um protocolo baseado em confirmações.

A transmissão de dados dos sensores e de comandos entre a estação de controlo e o satélite suporta-se numa ligação independente, com redundância. Na fase de lançamento do satélite, a ligação principal poderá não estar operacional, recorrendo-se então a ligações alternativas em UHF com antenas quase omnidireccionais.

## *Segmento do satélite*

---

### **Alimentação de energia**

Fonte primária de alimentação: painéis solares

- intensidade da radiação: 1,39 kW/m<sup>2</sup>
- eficiência: 10 a 15% (decrece com a idade devido ao bombardeamento de partículas)

Satélite com estabilização por rotação

- corpo cilíndrico revestido de células solares

Satélite com estabilização de três eixos

- painéis planos abertos quando o satélite entra na órbita geoestacionária
- para a mesma potência, os painéis planos requerem 1/3 da área do corpo cilíndrico
- os painéis planos estão sujeitos a maiores temperaturas e bombardeamentos de partículas

Alimentação durante os eclipses

- o satélite transporta baterias de reserva
- alguns subsistemas de comunicação (ex.: TV) são desligados
- se possível, os satélites são normalmente colocados a 20°W da região de cobertura para que o eclipse se dê por volta da 1 hora da madrugada

---

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Todos os componentes do satélite são alimentados por células solares. A maior parte da energia é utilizada pelo subsistema de comunicações, e em especial pelos seus emissores.

## Segmento do satélite

### Subsistema de comunicação

- Transpositores

*transponder*: designação corrente para um repetidor de satélite

- para evitar sinais de banda muito larga recorre-se a vários transpositores (ex.:6, 12, 20, 24)
- cada transpositor tem uma banda reservada no plano de frequências (ex.:36, 40 ou 72 MHz)
- cada transpositor fica associado a uma única ou a um conjunto de estações terrestres
- características mais importantes
  - boa rejeição de frequências fora da banda (outros canais e produtos de intermodulação)
  - boa linearidade da resposta em amplitude e fase
  - baixa distorção harmónica
  - potência de saída significativa

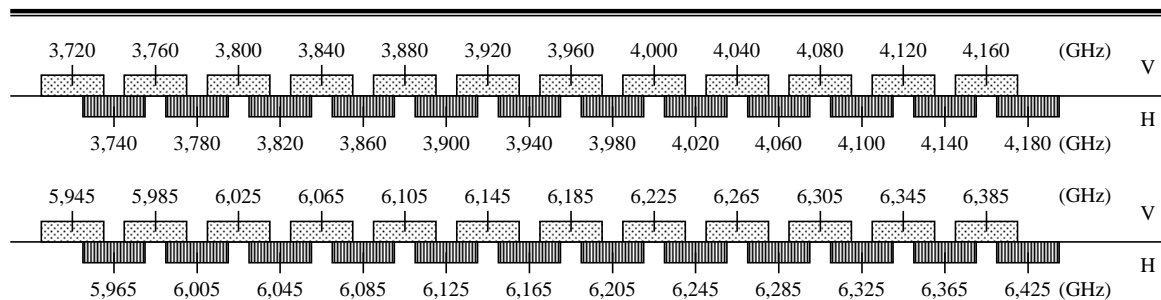
Exemplos de configurações	
<p>Bandas 6 / 4 GHz</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 500 MHz de banda total</li><li>• 12 transpositores por polarização</li><li>• 36 MHz banda / 40 MHz separação</li><li>• reutilização de frequência e polarização</li><li>• conversão de frequência simples</li></ul>	<p>Bandas 14 / 11 GHz</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 260 MHz de banda total</li><li>• 6 transpositores por polarização</li><li>• 36 MHz banda / 40 MHz separação</li><li>• reutilização de frequência e polarização</li><li>• conversão de frequência dupla (14/11GHz)</li></ul>

*Sistemas de Telecomunicações II*

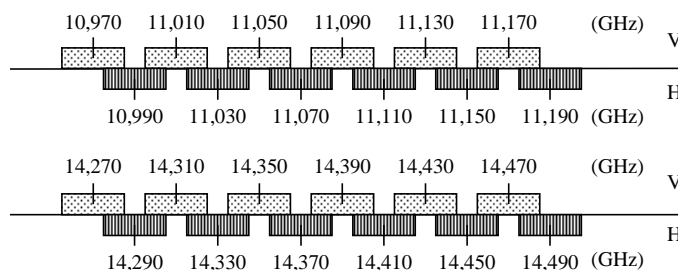
*Sistemas de Comunicação por Satélite*

O sistema de comunicações é a parte fundamental de um satélite de comunicações, e a parte restante do satélite tem como função dar suporte a este sistema. No entanto, o equipamento de comunicações representa apenas uma pequena percentagem do peso e volume do satélite.

## Segmento do satélite



(a) Bandas 6 / 4 GHz



(b) Banda 14 / 11 GHz

### Exemplos de planos de frequências e polarizações

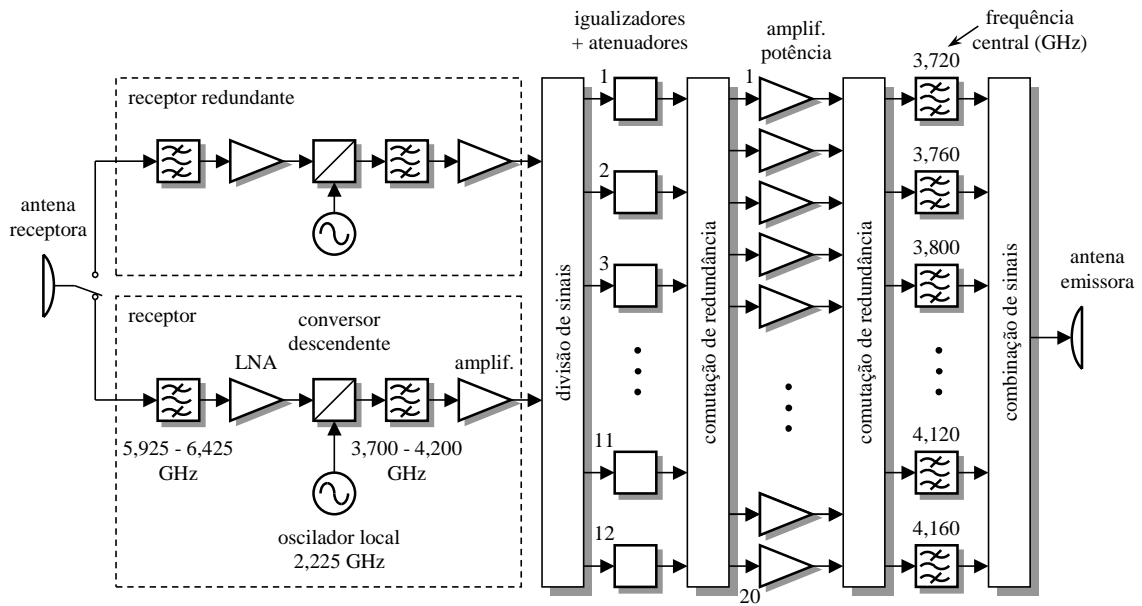
*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

A necessidade de rentabilizar o espectro obriga à reutilização de frequência e polarização. Desta forma, pode duplicar-se o número de transpositores em cada satélite em relação à situação de uma única polarização. O reverso desta otimização é o aumento significativo das interferências, em especial quando, numa dada região, são usadas polarizações ortogonais nas mesmas bandas.

Os sistemas correntes adoptam uma grande diversidade de planos de frequência e polarização. Contudo, uma característica muito comum, destinada a reduzir as interferências, consiste em fazer coincidir as frequências de uma dada polarização com as bandas de guarda da polarização ortogonal, como mostram os exemplos acima nas bandas de 6/4 GHz e 14/11 GHz.

## Segmento do satélite



**Diagrama-blocos simplificado do subsistema de comunicação com transpositores de conversão simples**

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Os transpositores de conversão simples são os mais simples, mas têm piores características por efectuarem a maior parte da filtragem, amplificação e igualização à frequência relativamente alta correspondente à emissão.

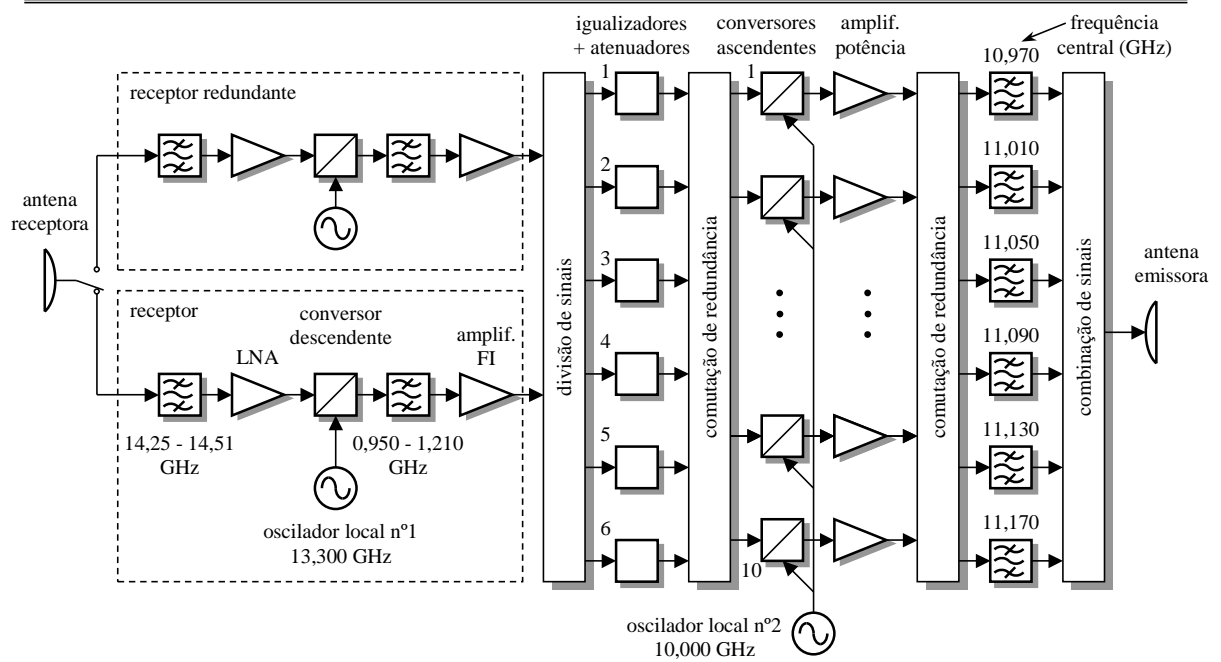
O andar de entrada é um receptor de banda larga com um pré-amplificador de baixo ruído, normalmente com um FET de GaAs. É incluído um receptor de reserva que poderá ser utilizado se o outro ficar inoperacional. O ganho total do receptor, é repartido entre o pré-amplificador e o amplificador após o conversor. Desta forma evitam-se oscilações que poderiam ocorrer se toda a amplificação fosse feita à mesma frequência.

Os atenuadores permitem controlar o ganho total do transpositor e, conseqüentemente, a potência de saída. É através destes elementos que se estabelece a margem de saturação (*backoff*) de cada amplificador de potência.

Os amplificadores de potência poderão ser de estado sólido (SSPA, *Solid State Power Amplifier*) ou tubos de ondas progressivas (TWTA, *Travelling Wave Tube Amplifier*). Os primeiros têm limitações de potência, pelo que nos satélites de grande capacidade e potência o recurso a TWTs é incontornável.

Embora seja necessário algum grau de redundância ao nível dos diversos componentes dos transpositores, os TWTs, em especial, têm tempos médios de vida relativamente baixos, pelo que se torna necessário disponibilizar um número adicional de dispositivos de reserva, os quais, em caso de falha do elemento operacional, poderão entrar em funcionamento através de operações de comutação (no exemplo da figura, a redundância dos amplificadores de potência é do tipo 12+8).

## Segmento do satélite



**Diagrama-blocos simplificado do subsistema de comunicação com transpositores de conversão dupla**

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Os transpositores de conversão dupla optimizam as suas características recorrendo a uma frequência intermédia relativamente mais baixa, assegurando um melhor controlo da filtragem, amplificação e igualização. Neste caso, é necessário utilizar um segundo conversor por transpositor, para elevar a frequência intermédia para a frequência de emissão.



## *Segmento do satélite*

---

### **Subsistemas de comunicação**

- Antenas

#### Monopolos e dipolos

- diagramas de radiação de grande largura de feixe ou mesmo omnidireccionais
- aplicação em feixes de TT&C em UHF

#### Cornetas (*horns*)

- diagramas de radiação com largura de feixe média (tipicamente de 10 a 20°)
- aplicação em feixes de cobertura global e feixes de TT&C

#### Antenas com reflectores

- diagrama de radiação de pequena largura de feixe
- configuração do diagrama de radiação
  - reflector principal iluminado por uma ou mais cornetas alimentadoras
  - fase de alimentação das cornetas permite sintetizar o diagrama para uma dada região
  - a mesma antena pode ser usada para feixes múltiplos (comutados ou não)
- aplicação em feixes de cobertura de zona limitada

---

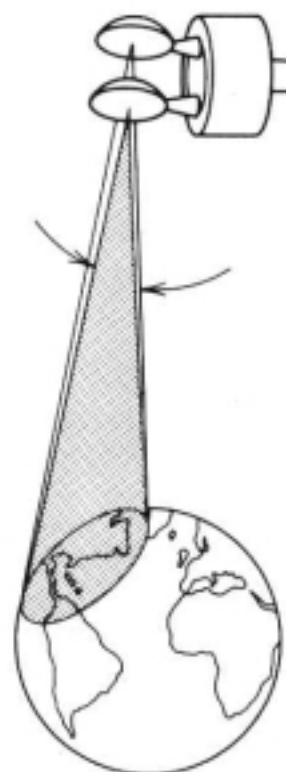
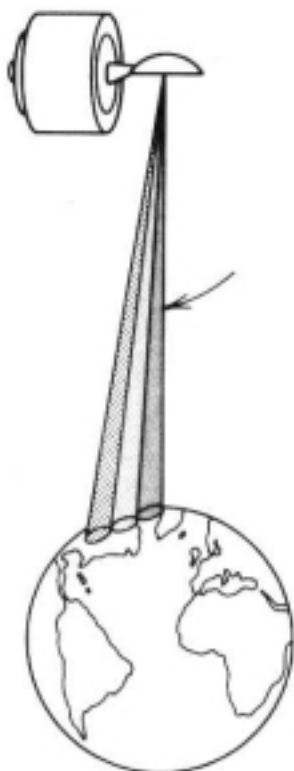
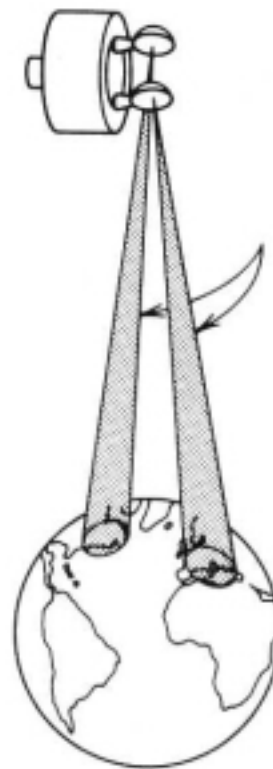
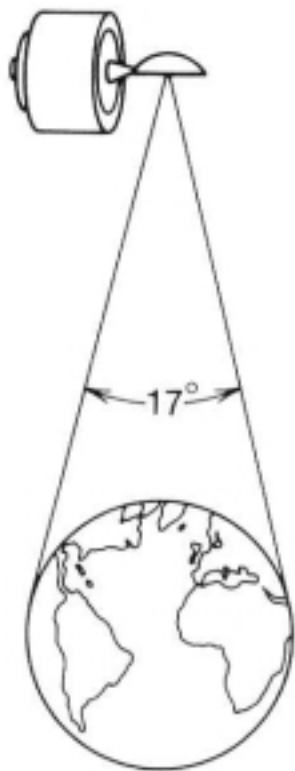
*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

As antenas que suportam os feixes de tráfego poderão ser muito complexas e produzir diagramas de radiação configurados para a cobertura pretendida. Além de aumentar o EIRP, esta solução permite controlar o nível de interferência entre feixes que cobrem zonas contíguas. A opção por feixes comutados, apesar de mais complexa, permite aumentar ainda mais o EIRP e reduzir significativamente as interferências.

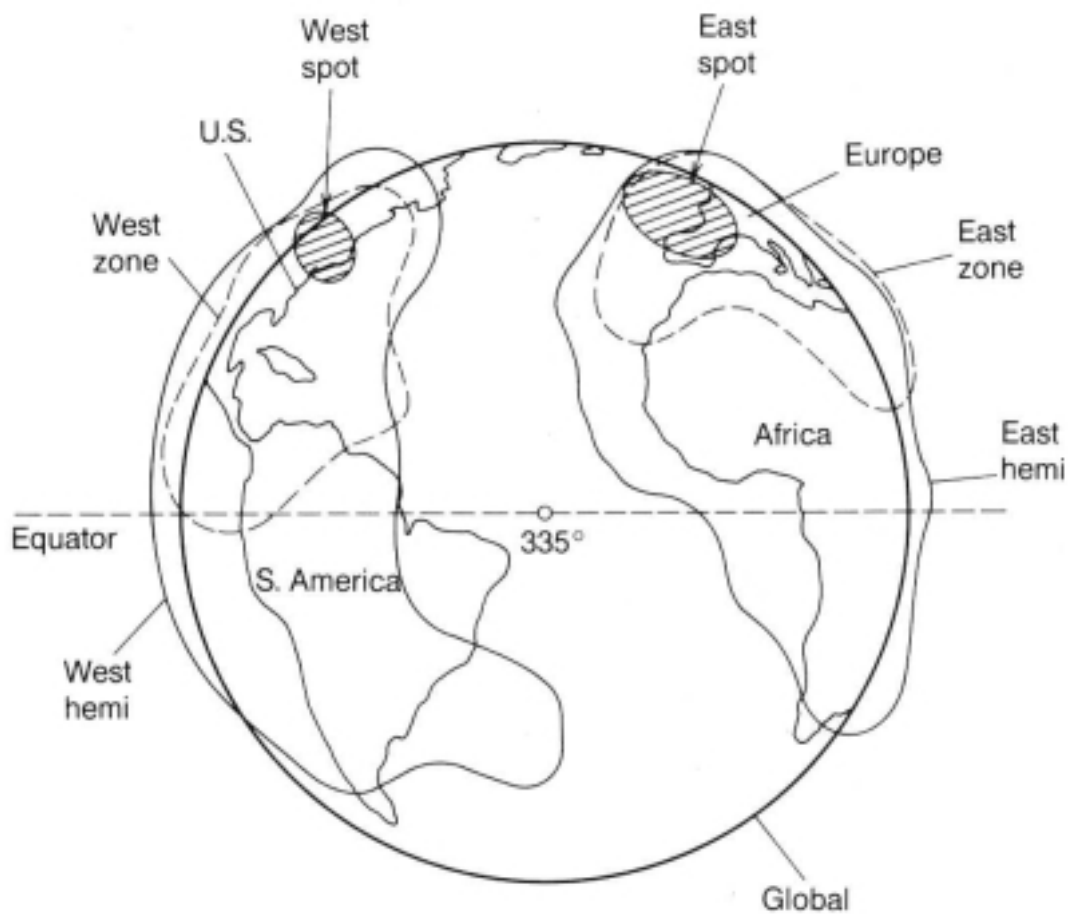
Além de uma adequada separação espacial, as antenas de muitos sistemas têm de operar em dupla polarização com um bom isolamento entre as polarizações ortogonais (pelo menos 25 dB em toda a área de cobertura).

As antenas de grandes dimensões têm a complicação adicional de terem de ser dobradas na fase de lançamento, e só quando o satélite se encontra na sua posição orbital nominal é que são abertas. Este tipo de requisitos requer, naturalmente, soluções construtivas mais ou menos complexas.

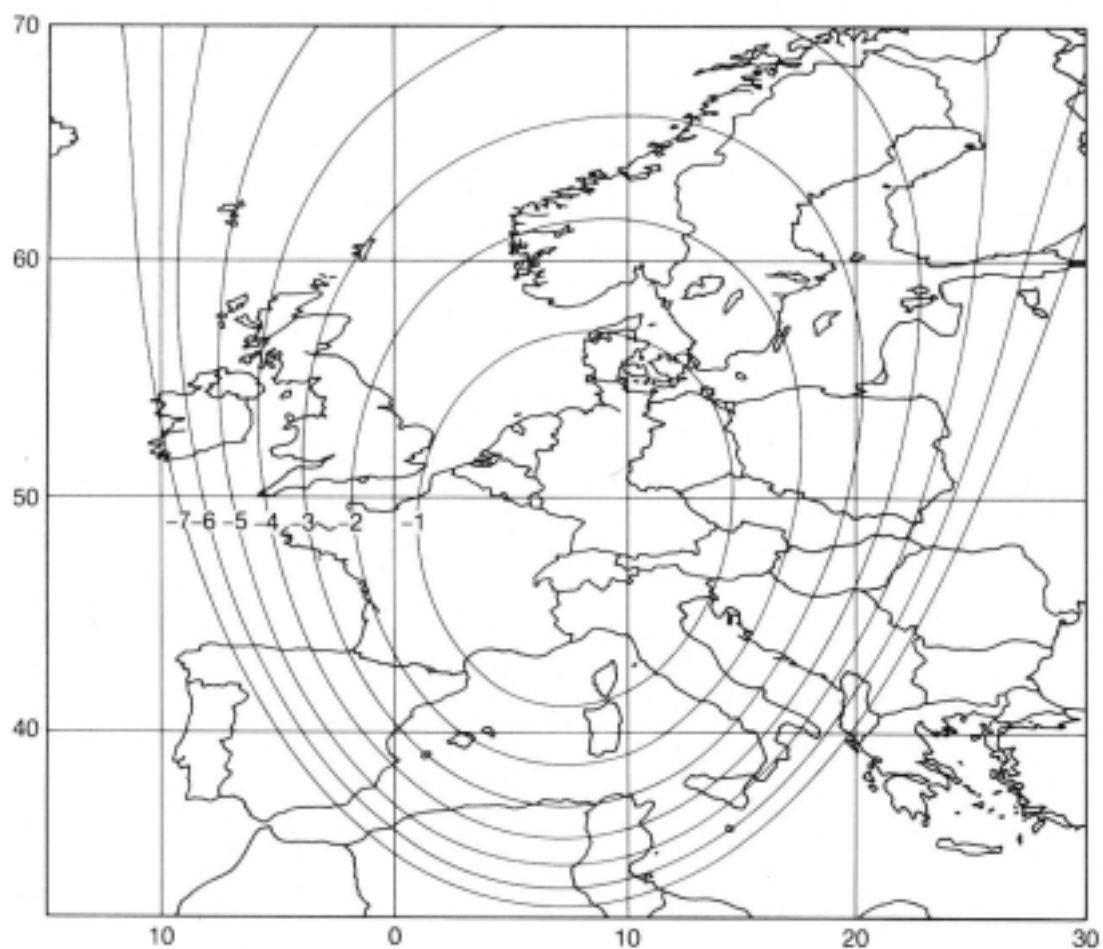


Largura do feixe	Diâmetro de cobertura na Terra
$10^\circ$	6 274 km
$5,7^\circ$	3 576 km
$2,8^\circ$	1 787 km
$1^\circ$	627 km
$0,57^\circ$	358 km

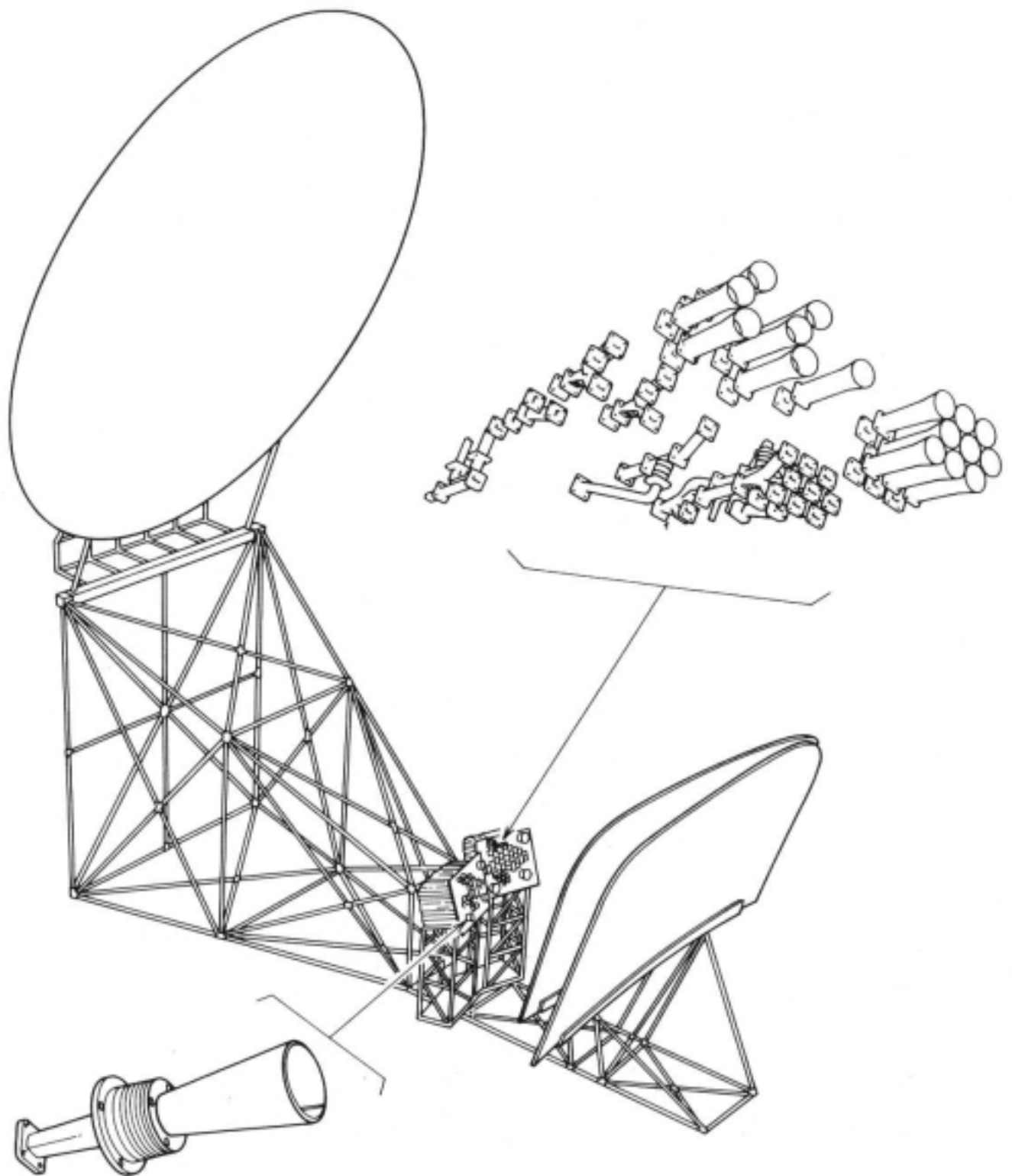
### Tipos de cobertura de antenas de satélite



**Cobertura típica de um satélite INTELSAT sobre o Atlântico**



**Diagrama de contorno de um feixe pontual de um satélite**



**Antena com reflector com cobertura de feixes múltiplos**

## Segmento terrestre

---

### Tipos de estações terrestres

#### Difusão (BSS, *Broadcasting Satellite Service*)

- estação de recepção individual de TV
- estação de recepção colectiva de TV
- estação de recepção comunitária de TV

TVRO - TV Receive Only

#### Comunicações Fixas (FSS, *Fixed Satellite Service*)

- estação de grande capacidade com acesso simples
- estação de pequena / média / grande capacidade com acesso múltiplo (FDMA / TDMA)

#### Comunicações Móveis (MSS, *Mobile Satellite Service*)

- terminais de bolso ou transportáveis para voz / dados
- estações em veículos, barcos e aeronaves para voz / dados

---

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

As estações terrestres diferem muito entre si, em função do tipo de serviço que prestam, desde estações de grandes dimensões, com antenas de 30 m de diâmetro e 250 toneladas de peso, até terminais de bolso de pequenas dimensões e peso.

Para o serviço de difusão directa de TV por satélite, as estações terrestres têm apenas função de recepção, sendo por isso as mais simples de todas. Existem, contudo, algumas diferenças:

- sistema de recepção individual de TV → recepção doméstica
  - cada utilizador recebe os programas em frequência intermédia num receptor de TV por satélite que, por sua vez, disponibiliza ao receptor convencional de TV apenas um programa de um satélite, em cada instante;
- sistema de recepção colectiva de TV → pequeno conjunto de utilizadores (ex.: edifício)
  - se a distribuição dos canais de satélite for em estrela e em frequência intermédia, a partir de um nó de distribuição, a situação é idêntica à anterior para cada utilizador, que deverá possuir um receptor de TV por satélite, mas diferentes utilizadores têm acesso a diferentes programas do mesmo satélite;
  - se a distribuição for em barramento na banda de UHF, os receptores de TV por satélite estão no nó de distribuição e cada utilizador pode aceder a múltiplos programas de vários satélites em simultâneo, directamente a partir do receptor convencional de TV;
- sistema de recepção comunitária de TV → largo número de utilizadores (ex.: *head end* de uma rede de cabo)
  - a distribuição é efectuada em barramento na banda de UHF, tal como na segunda opção do sistema anterior de recepção colectiva de TV.

Nesta disciplina, no âmbito das aulas práticas, são estudadas as estações deste tipo, que operam nas bandas de 10,7 a 12,75 GHz.

Em relação aos outros tipos de estações, não faremos um estudo exaustivo das suas características, mas apenas alguns tipos no âmbito das monografias do ano corrente, podendo ainda ser consultadas monografias de anos anteriores e a bibliografia sugerida.

## *Séries e constelações de satélites*

---

### **Comunicações Fixas (FSS, *Fixed Satellite Service*)**

- Intelsat (INternational TELecommunication SATellite)
- Eutelsat (EUropean TELecommunication SATellite)

### **Difusão (BSS, *Broadcasting Satellite Service*)**

- Astra (Société Européenne des Satellites - SES)
- Eutelsat (EUropean TELecommunication SATellite)
- HISPASAT (Sistema Español de Comunicaciones por Satélite)

### **Comunicações Móveis (MSS, *Mobile Satellite Service*)**

- Inmarsat (INternational MARitime SATellite)
- Iridium
- Globalstar

### **Navegação (localização)**

- GPS (Global Positioning System)
- GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System)
- Galileo

### **Observação da Terra e Atmosfera**

- Meteosat (METEOrological SATellite)
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

---

*Sistemas de Telecomunicações II*

*Sistemas de Comunicação por Satélite*

Algumas organizações operam grande número de satélites, quer em termos de sucessivas gerações com vários satélites da mesma geração, quer em termos de constelações que asseguram cobertura global.

Para os principais operadores de sistemas de satélite acima indicados, poderá ser encontrada informação relevante nas páginas WWW a seguir referenciadas:

– Intelsat	<a href="http://www.intelsat.com">www.intelsat.com</a>	
– Eutelsat	<a href="http://www.eutelsat.com">www.eutelsat.com</a>	
– Astra	<a href="http://www.astra.lu">www.astra.lu</a>	
– HISPASAT	<a href="http://www.hispasat.es">www.hispasat.es</a>	
– Inmarsat	<a href="http://www.inmarsat.com">www.inmarsat.com</a>	
– Iridium	<a href="http://www.iridium.com">www.iridium.com</a>	
– Globalstar	<a href="http://www.globalstar.com">www.globalstar.com</a>	
– Meteosat	<a href="http://www.eumetsat.de/">www.eumetsat.de/</a>	<a href="http://www.esoc.esa.de/external/mso/meteosat.html">www.esoc.esa.de/external/mso/meteosat.html</a>
– NOAA	<a href="http://www.noaa.gov">www.noaa.gov</a>	

Serão apresentadas monografias sobre estes temas, podendo ainda ser consultadas monografias de anos anteriores e a bibliografia sugerida.