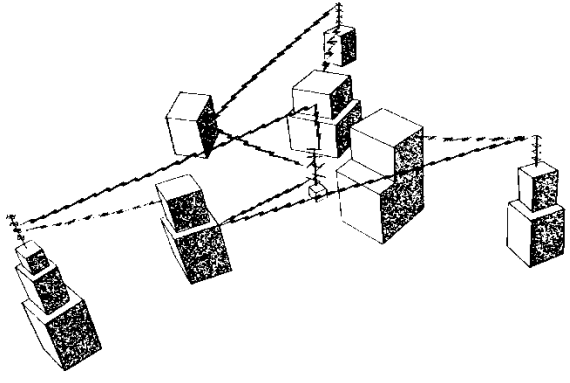
Sistemas de Radiodifusão de Áudio Digital

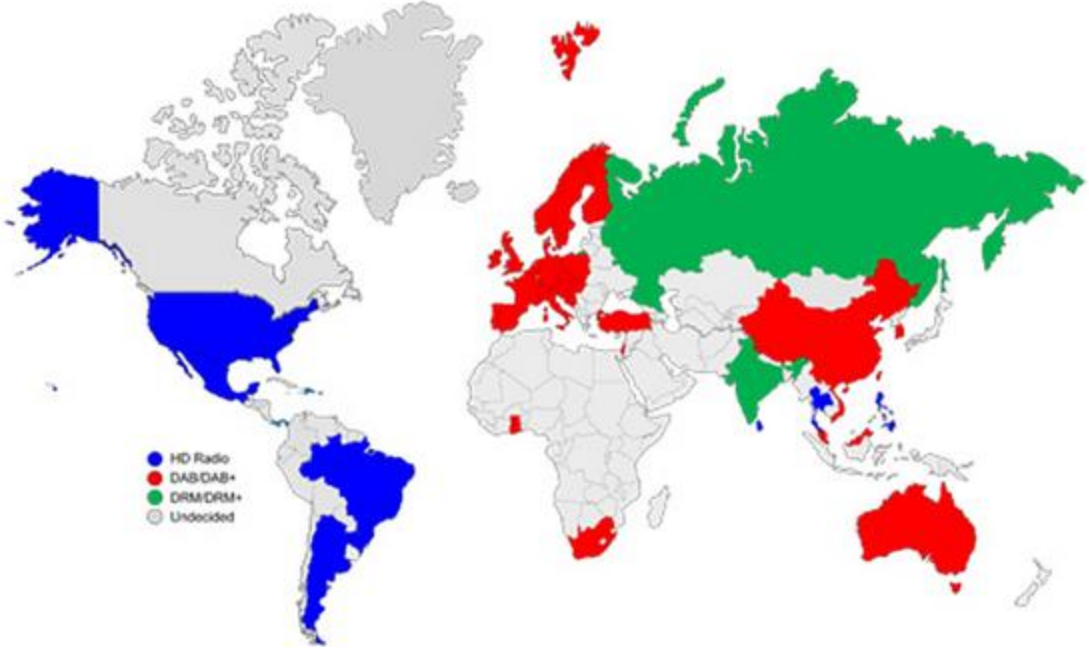
PTC2547 – EPUSP 2016

Guido Stolfi



Sistemas de Radiodifusão de Áudio Digital

- Eureka 147 Digital Audio Broadcasting
- DRM – Digital Radio Mondiale
- IBOC – In Band, On Channel
- Sirius/XMRadio
- ISDB-Tsb – Integrated Services Digital Broadcast



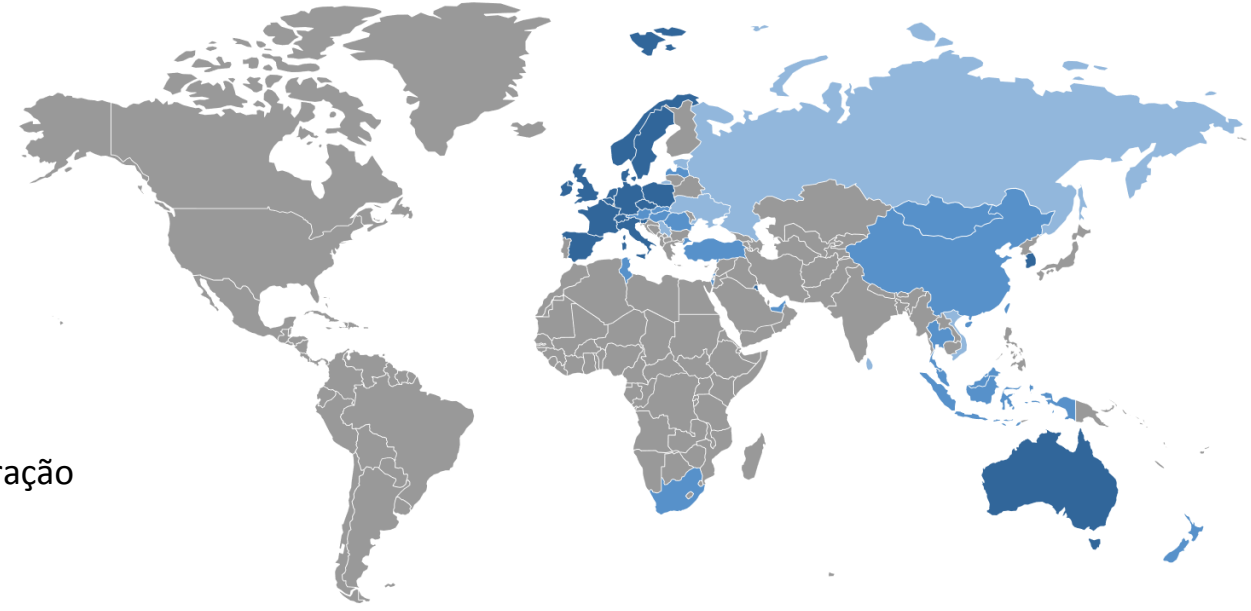
Fonte: Harris Inc.

Sistema Eureka 147 - DAB

Características do Sistema Eureka 147 - DAB

- Proposto pelo ITU/R em 1994
- Consolidado pela EBU em 1997 / 2001
- Consórcio: BBC, Bosch, Deutsche Telecom, Philips, Thomson, etc.
- Áudio de Alta Qualidade (Estéreo – “Qualidade CD”)
- Modulação COFDM
- Ocupação de Banda: 1,54 MHz
- Múltiplos Programas / Serviços por Canal
- 5 a 6 canais de áudio estéreo a ~ 200 kb/s

Abrangência do Sistema DAB



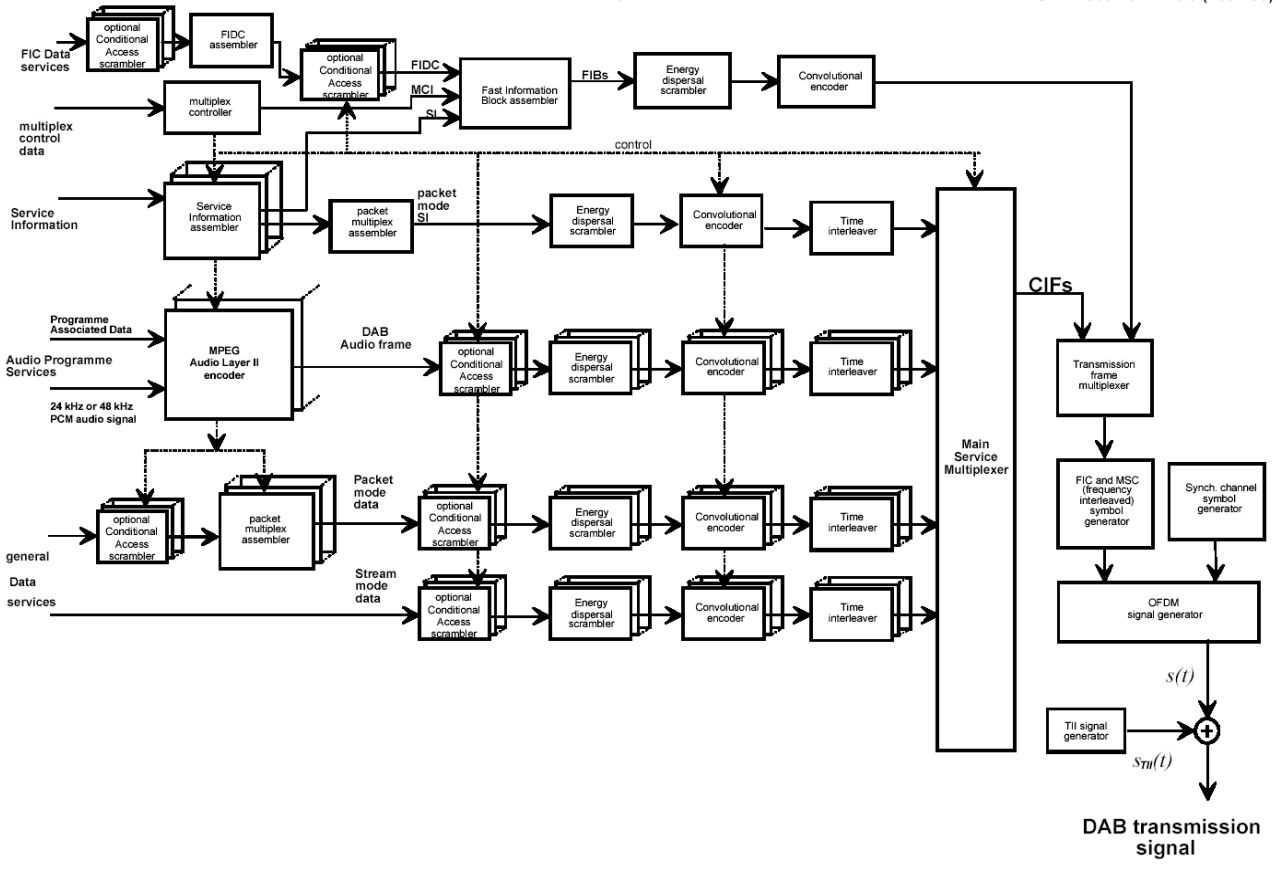
Países em operação regular

Países em operação experimental ou normatização

Países com interesse

- Compressão MPEG-1 Nível II (Musicam)
- Taxa de Amostragem: 48 ou 24 kHz
- Saída: 8 a 384 kb/s
- Mono ou estéreo

Diagrama de Blocos do Transmissor DAB

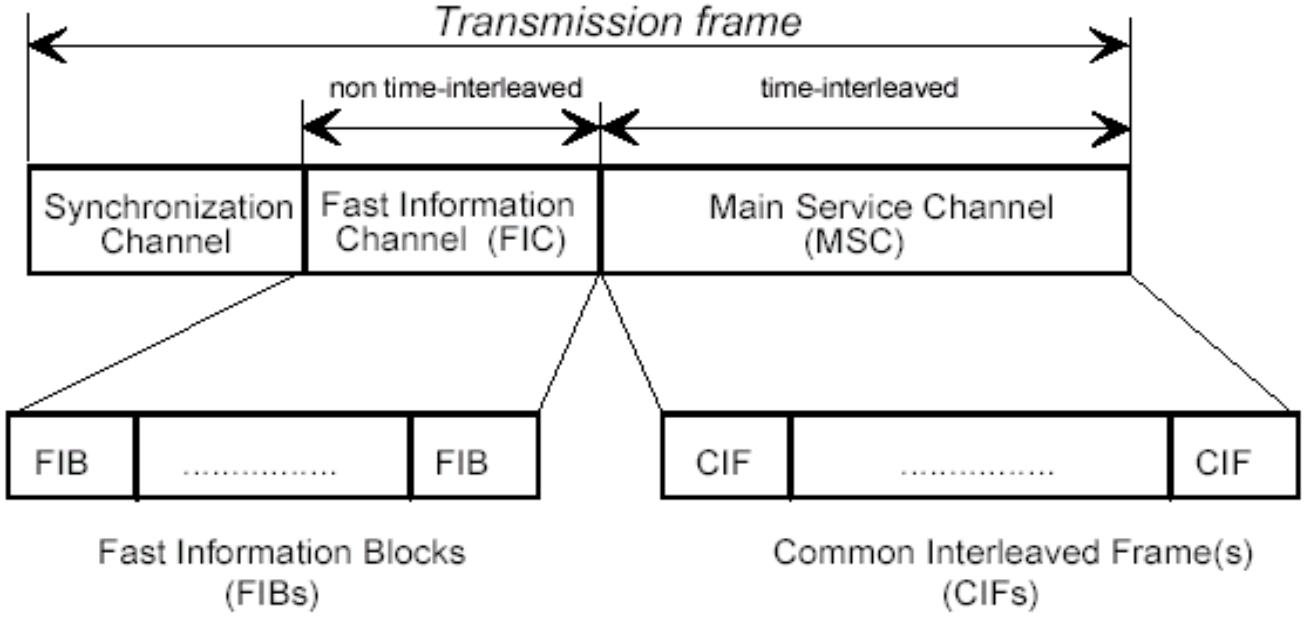


Parâmetros de Transmissão

Modo de Transmissão	I	II	III	IV
Faixa de Frequências	I, II, III	Serviço Local	< 3GHz, cabo	Todas, L
No. de Portadoras	1536	384	192	768
Espaçamento entre Portadoras (kHz)	1.0	4.0	8.0	2.0
Duração do Símbolo (μs)	1246	312	156	623
Intervalo de Guarda (μs)	246	62	31	123
Duração T_F do Quadro de Transmissão (ms)	96	24	24	48

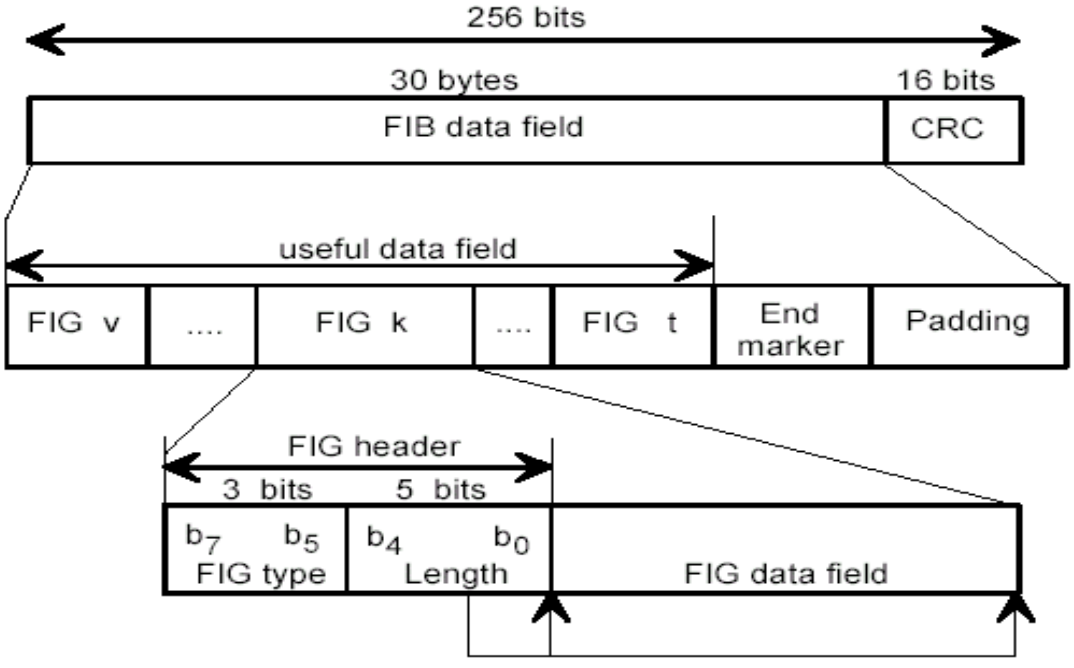
Bandas: I – 47-68 MHz ; II – 87.5-108 MHz ; III – 174-230 MHz ; IV – 230-240 MHz ; L = 1452-1492 MHz (Satélite)

Quadro de Transmissão DAB



FIC : Canal de acesso rápido, sem intercalamento temporal
MSC: Canal principal, com intercalamento

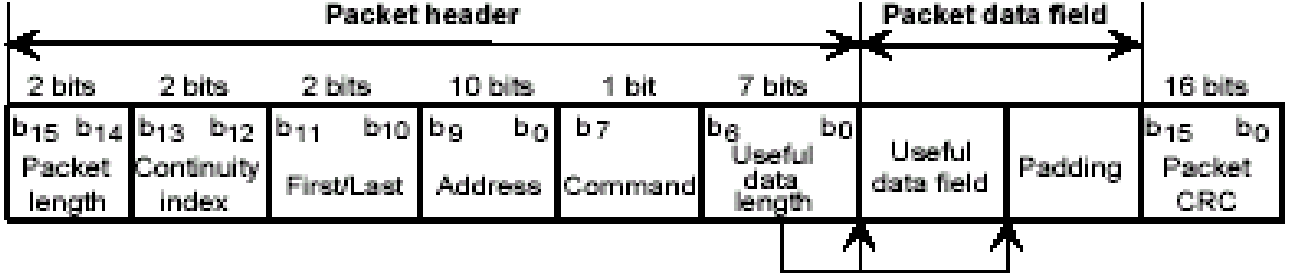
Estrutura do FIB



Uso do FIC

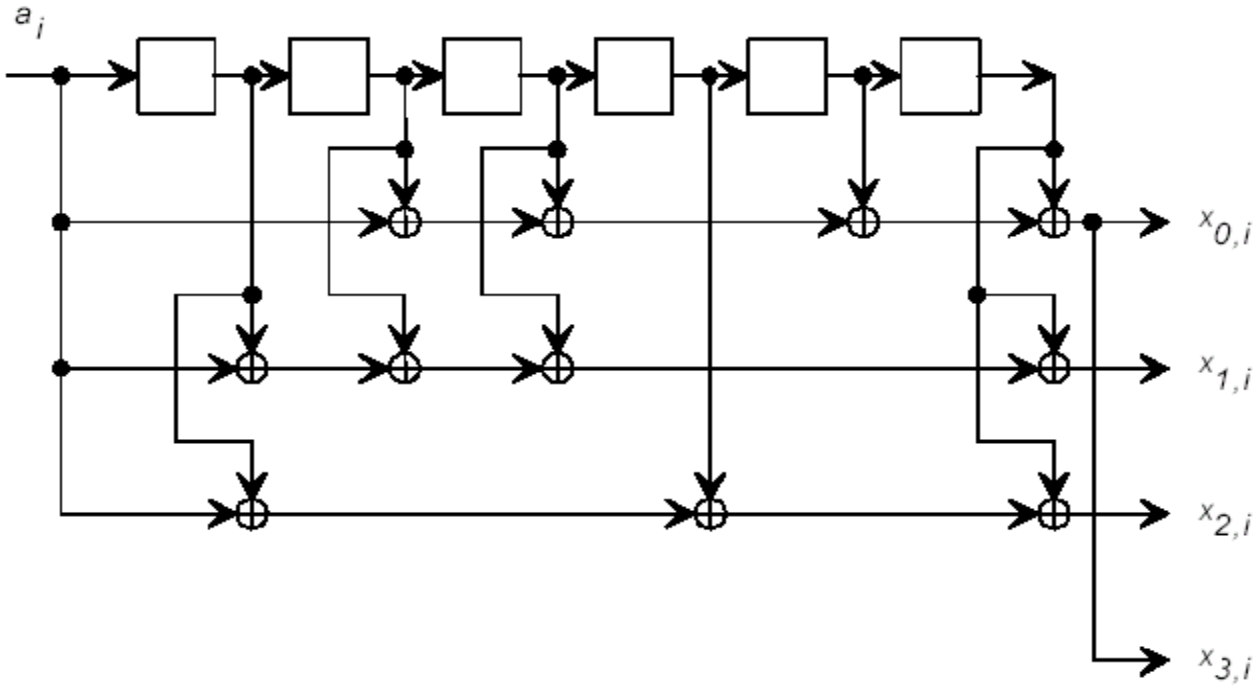
- Enviar Informações da Configuração do Multiplex (MCI)
- Enviar Informações sobre Serviço (SI)
- Enviar Dados Opcionais

Estrutura do Pacote MSC



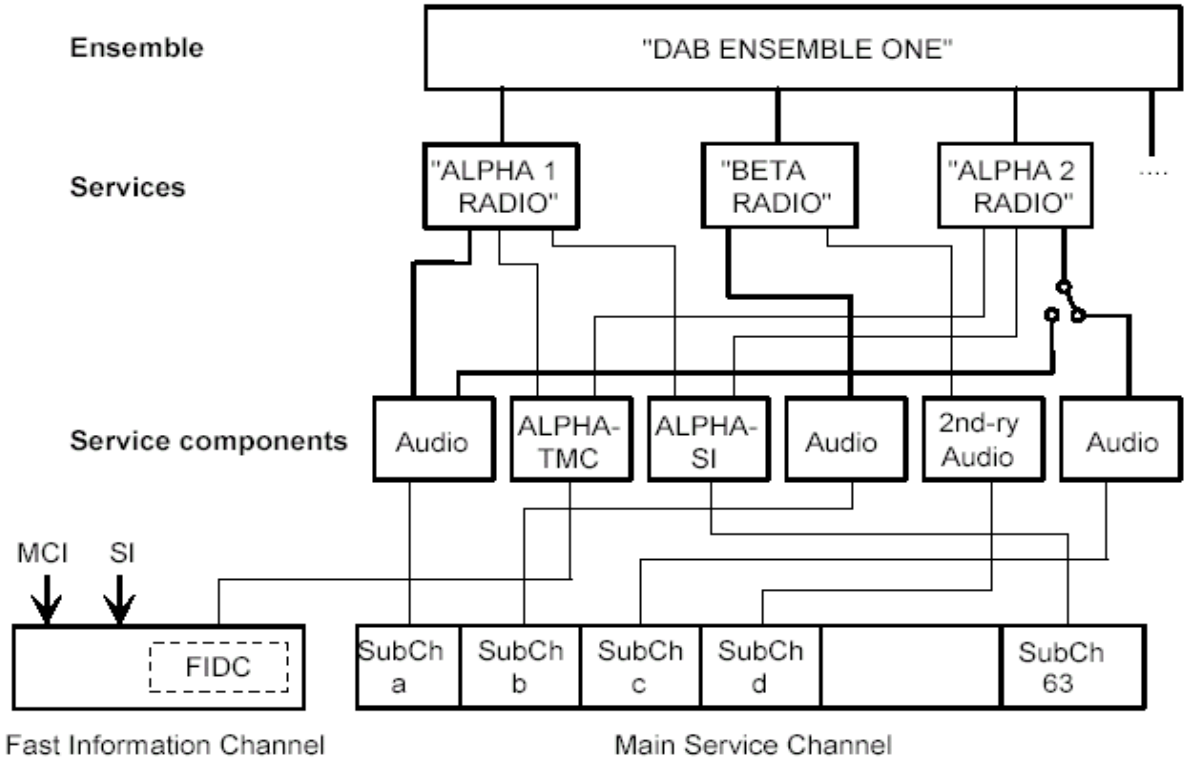
Comprimento do Pacote: 24, 48, 72 ou 96 Bytes

Codificador Convolucional Puncionado DAB



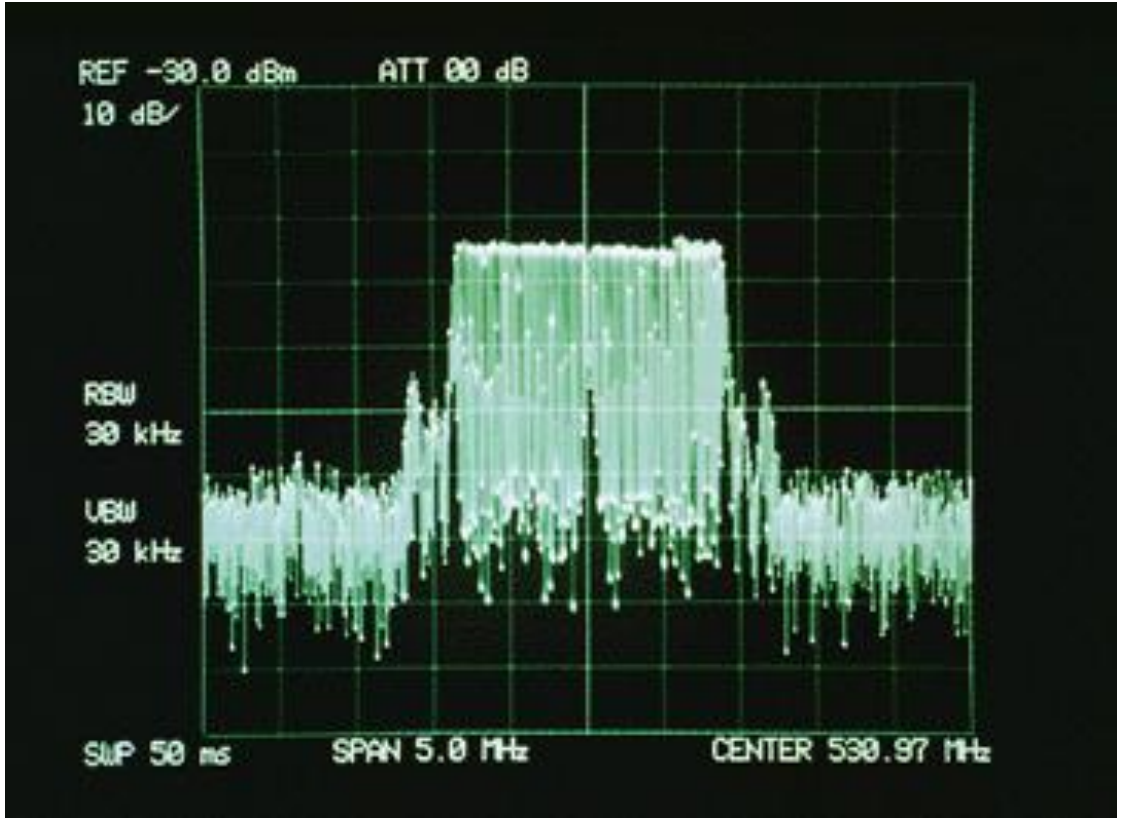
Taxas permitidas: 8/9 até 8/32 (1/4)

Estrutura de Serviços DAB (ex.)



TMC = Traffic Message Channel

Ocupação Espectral do DAB



DAB na Banda “L”

- Conhecido como DMB – Digital Multimedia Broadcasting
- Transmissão via satélite geoestacionário
- Faixa de frequências de 1.452 a 1.492 GHz (40 MHz) reservada para Radiodifusão Digital na Região II
- Faixa livre de interferências permite planejamento “a partir do zero”
- Faixa de frequências não disponível nos EUA (reservada para uso militar)

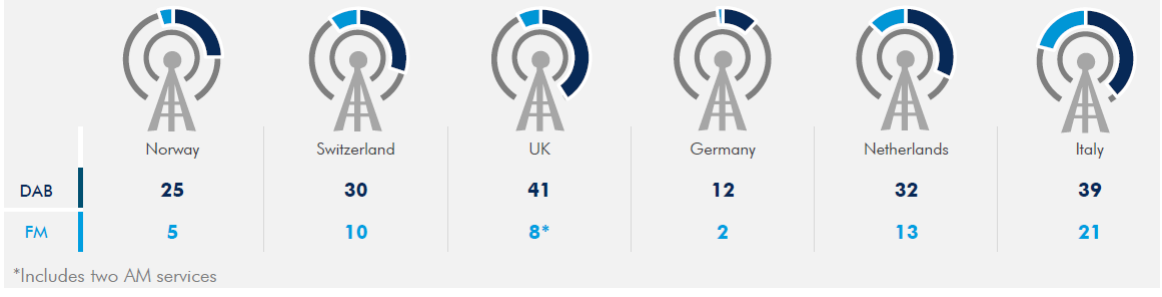
DAB na Grã-Bretanha

- Banda reservada para DAB:
  - 217.5 a 230 MHz (7 canais de 1.54 MHz)

- BBC utiliza rede SFN (Single Frequency Network) em um canal, com 20+ estações, cobrindo 65% da população.

Características do DAB

- Permite “Qualidade CD”
- Boa robustez contra multi-percurso, ruídos e interferências
- Tempo de aquisição da ordem de 1 segundo
- >50M receptores vendidos até hoje
- 35 países com DAB em operação
- Tecnologia de compressão ultrapassada



	Norway	Switzerland	UK	Germany	Netherlands	Italy
DAB	25	30	41	12	32	39
FM	5	10	8*	2	13	21

*Includes two AM services

Sistema DRM – Digital Radio Mondiale

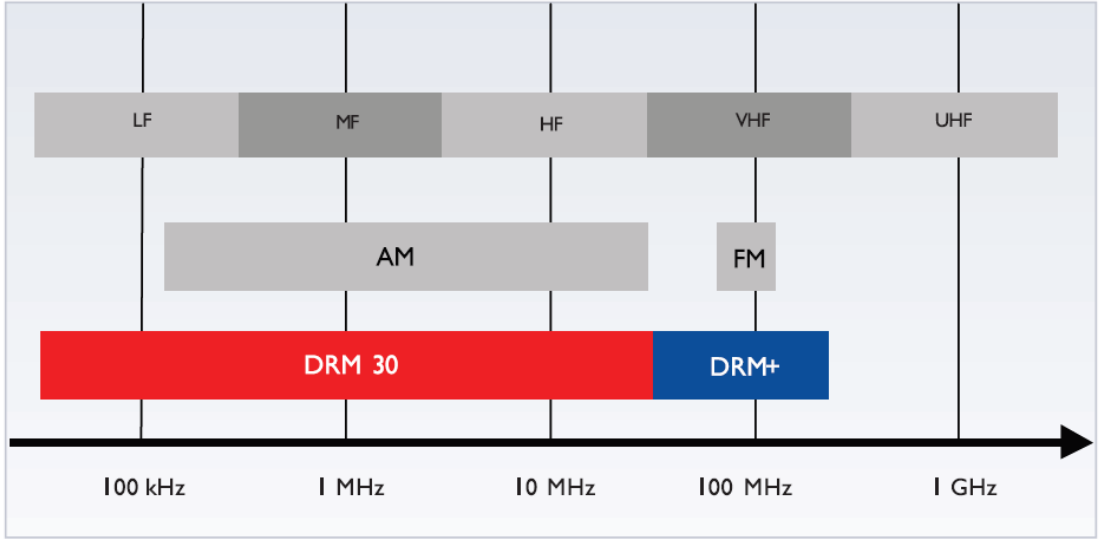
Digital Radio Mondiale

- Consórcio multinacional, sem fins lucrativos
- Participantes: ~ 30 países, ~80 entidades
- Alguns Participantes:
  - Deutsche Welle, NHK, Radiodifusão Portuguesa, BBC, Radio Vaticano...
  - Dolby
    Laboratories, Telefunken, Bosch, JVC, Harris, Hitachi, ITC...
  - Várias Universidades (Hanover, Ulm, China...)
  - ITU, EBU

Características Técnicas do Sistema DRM

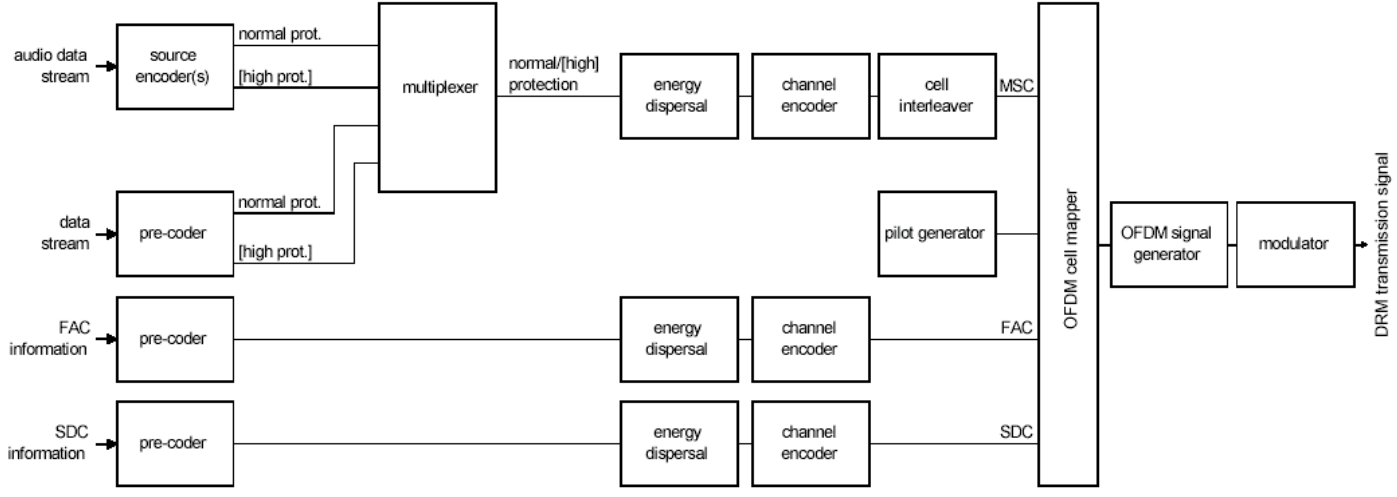
- Adequado para utilização em Ondas Médias e Ondas Curtas (150 kHz a 30 MHz)
- Ocupação de Banda: 5, 10 ou 20 kHz
  - DRM+: 96 kHz
- Processo de Modulação: OFDM
- Taxa de Transmissão: 8 a 72 kb/s
- Qualidade de Áudio: Semelhante à FM.

Características Técnicas do Sistema DRM



- DRM30: para uso nas bandas de AM até 30 MHz
- DRM+: para uso em VHF

Diagrama de Blocos do Modulador DRM



Compressão de Áudio no sistema DRM

- MPEG-4 AAC (*Advanced Audio Coding*) para mono / estéreo
- MPEG-4 CELP (*Code Excited Linear Prediction*) para codificação de voz
- MPEG-4 HVXC (*Harmonic Vector Excitation Coding*) para voz em taxas muito baixas
- SBR (*Spectral Band Replication*) aplicável ao AAC e CELP

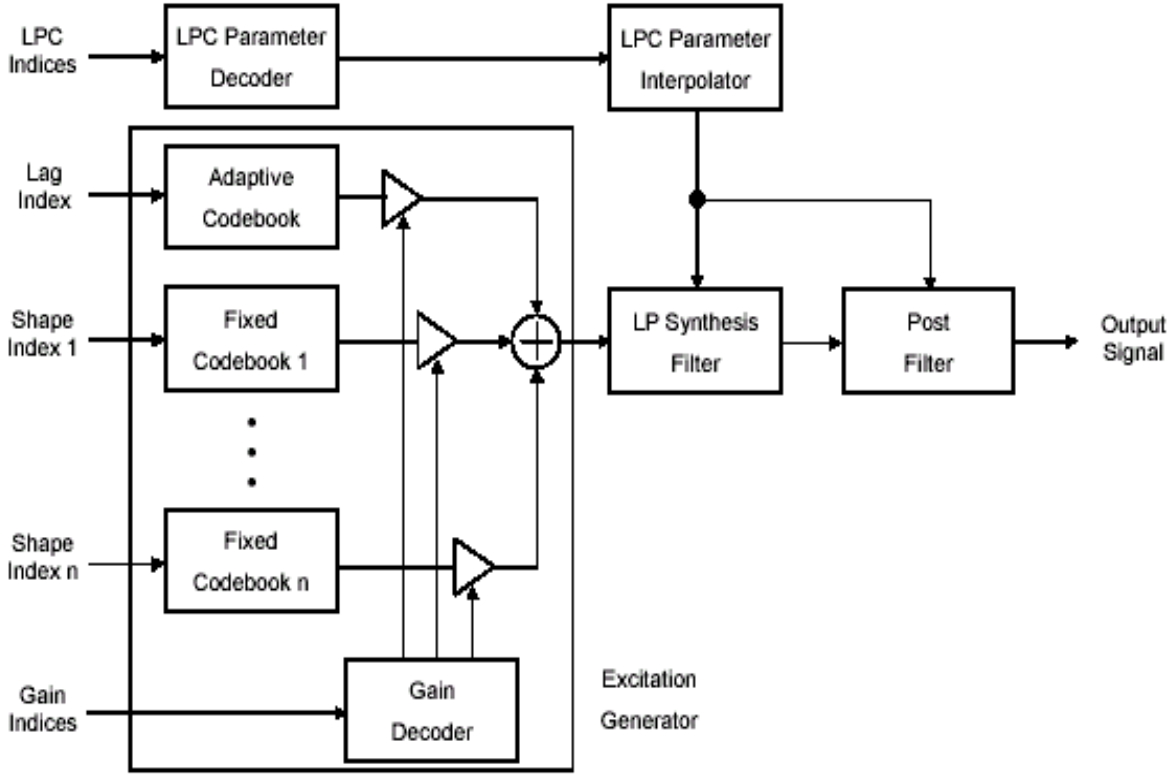
Parâmetros da Compressão MPEG-4 AAC

- Taxa de Amostragem: 12 ou 24 kHz
- Taxa de bits: qualquer (8 a 72 kb/s)
- “Frame” de Áudio: 960 amostras (40 ou 80 ms)
- UEP (*Unequal Error Protection*) aplicável ao fluxo de dados

Parâmetros da Compressão CELP

- Taxa de Amostragem: 8 ou 16 kHz
- Taxa de Bits: 4 a 20 kb/s
- Alta robustez a erros de transmissão na reprodução de voz

Diagrama de Blocos do Decodificador CELP



Compressão HVXC

- Taxa de Amostragem: 8 kHz
- Taxa de Bits: 2 ou 4 kb/s
- Usos: voz acompanhando áudio; várias línguas simultâneas; gravação local de áudio (voz); possibilidade de compressão temporal

Codificador HVXC

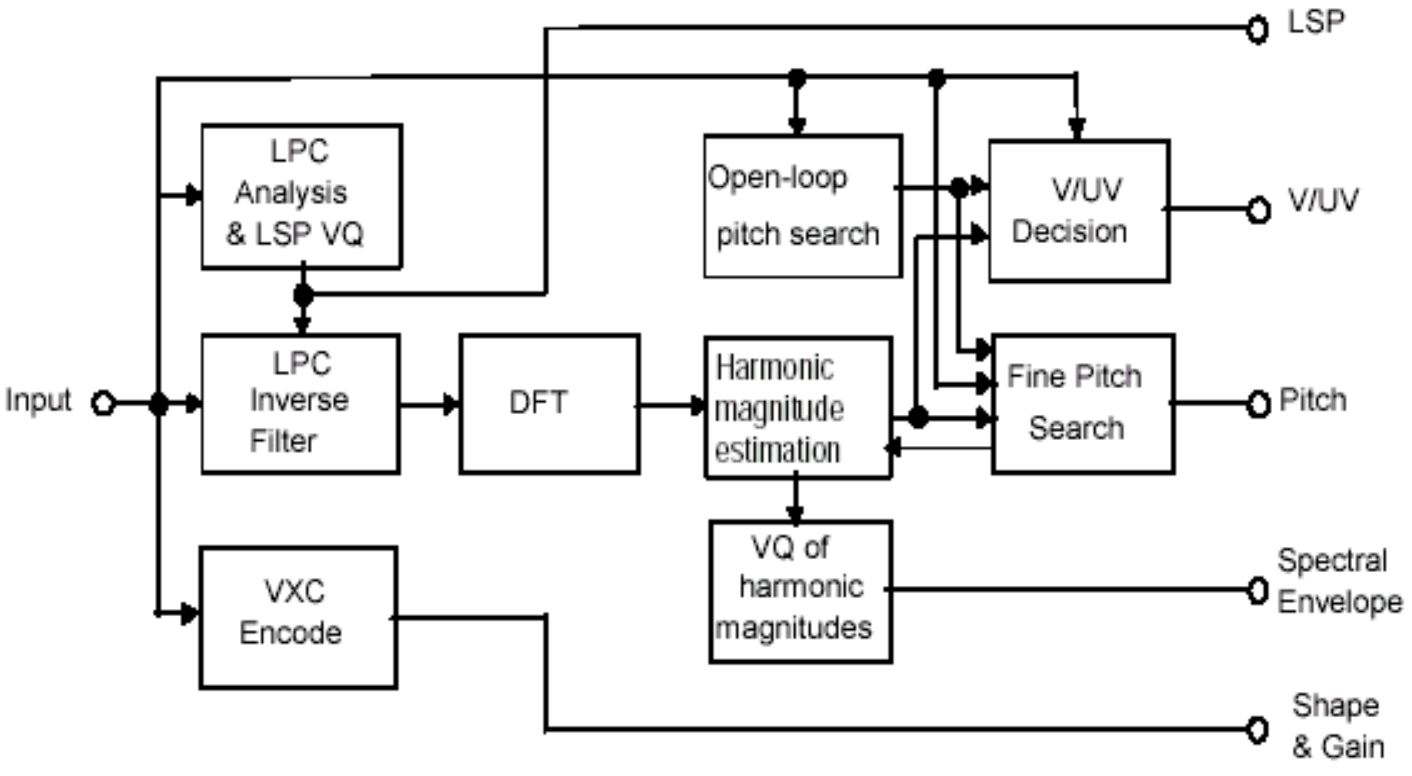
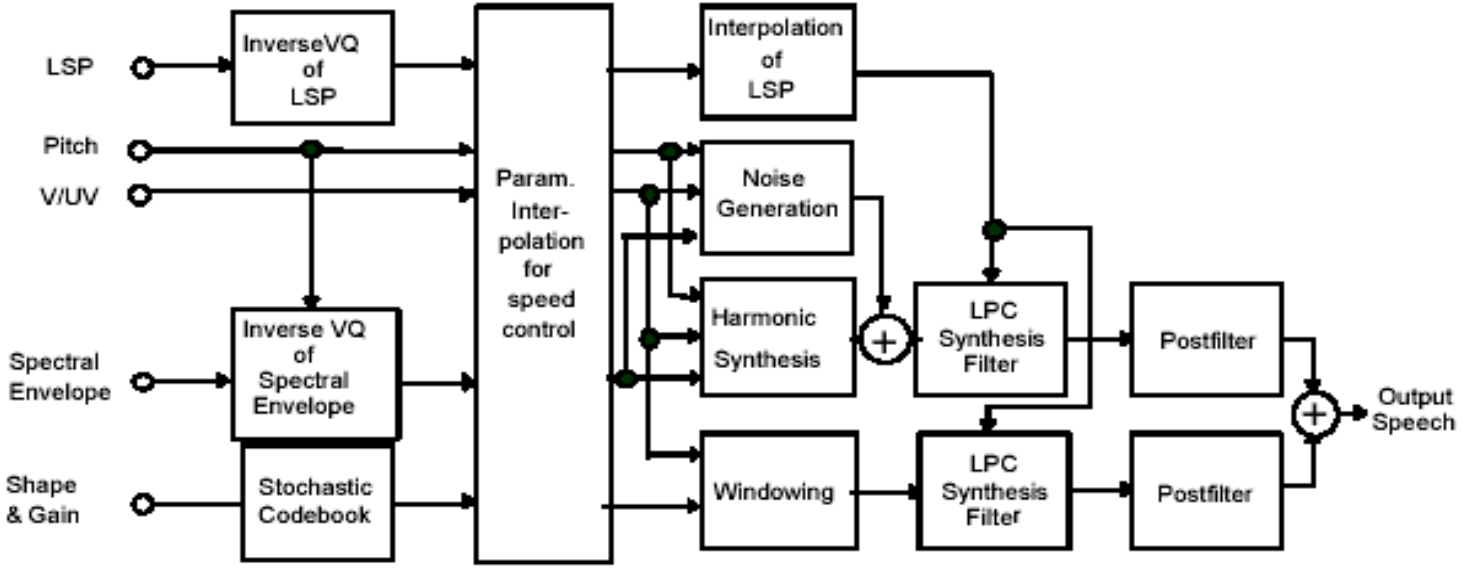
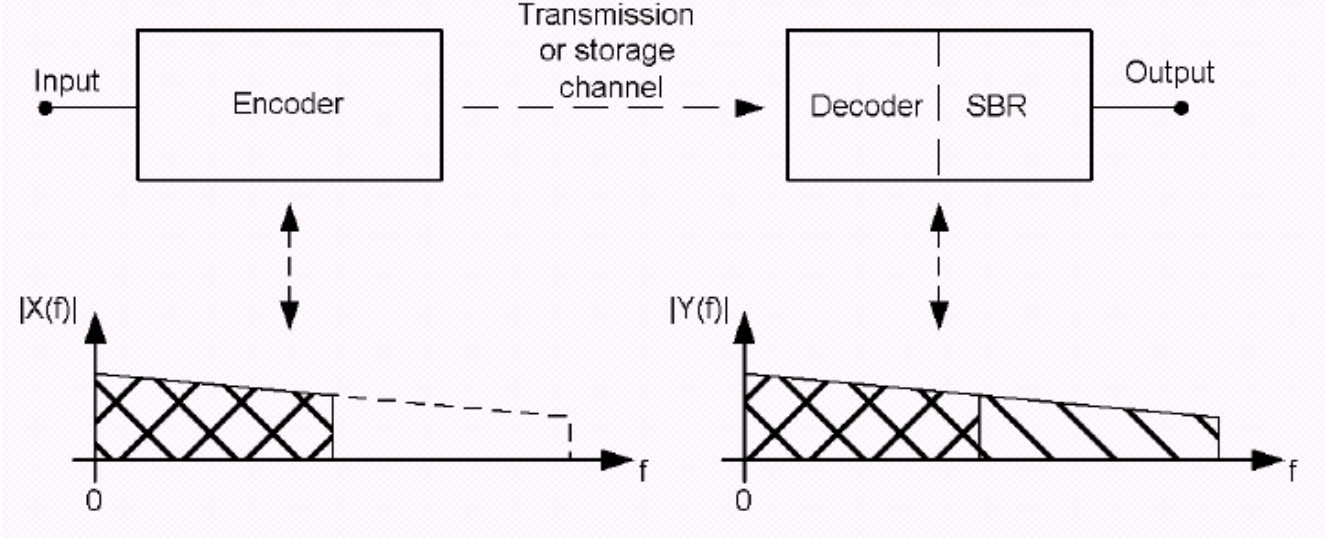


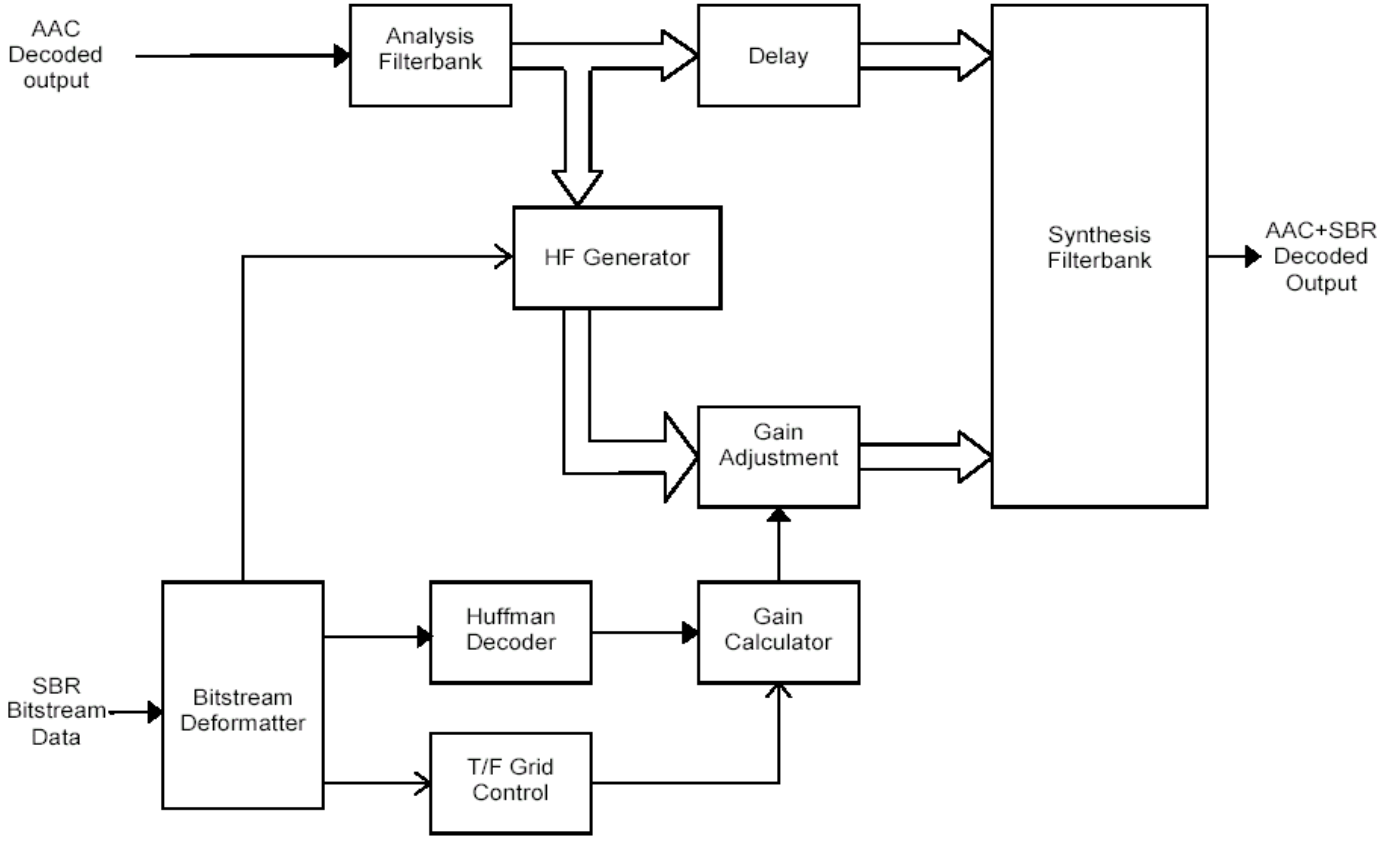
Diagrama de Blocos do Decodificador HVXC



Conceito do SBR (*Spectral Band Replication*)



Decodificador SBR



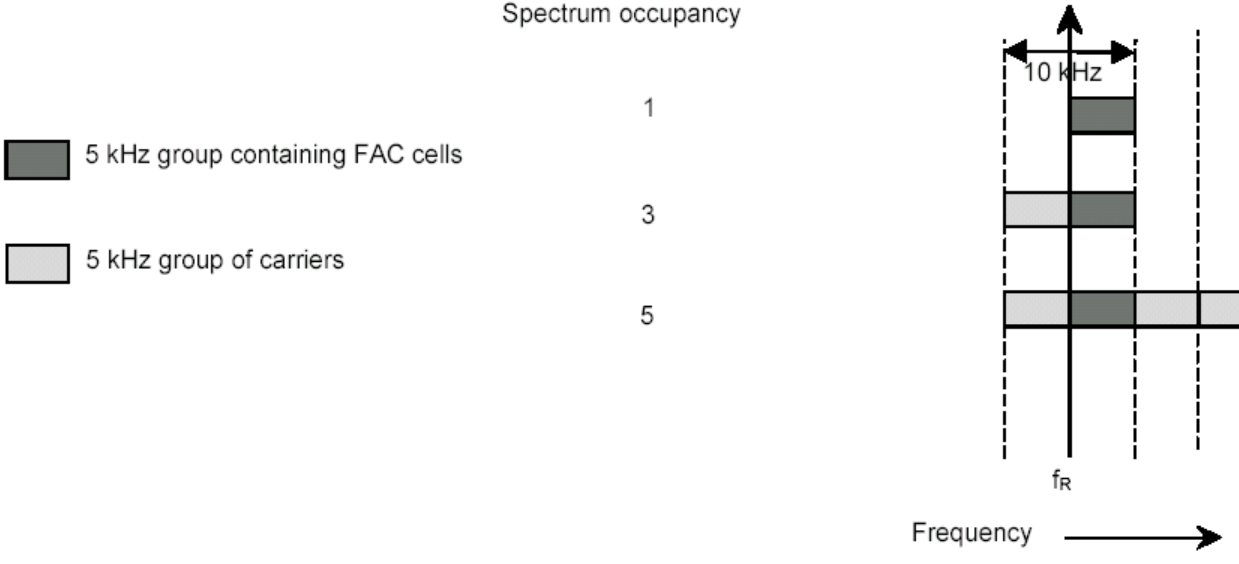
Parâmetros OFDM do sistema DRM

Modo de Robustez	**A**	**B**	**C**	**D**
T_U (ms)	24	21.333	14.666	9.333
T_G (ms)	2.666	5.333	5.333	7.333
T_G / T_U	1/9	1/4	4/11	11/14
$T_S = T_U + T_G$ (ms)	26.666	26.666	20	16.666
Esp. Portadoras (Hz)	41.666	46.875	68.182	107.143

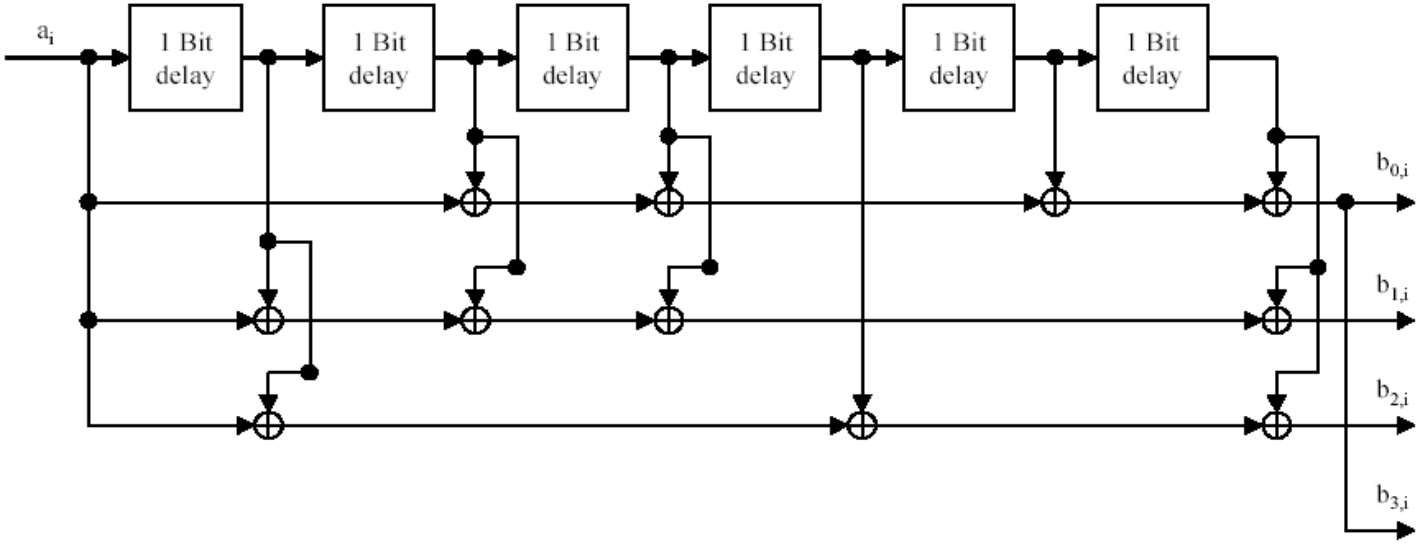
Baseado em clock de 12 kHz (intervalo elementar T = 83.333us)
Quadro de dados: T_F = 400 ms

Modulação das portadoras: 4-QAM, 16-QAM ou 64-QAM

Ocupação Espectral no Sistema DRM



Codificação Convolucional Puncionada



Taxas: de 1 / 4 a 8 / 9

Características do sistema DRM

- Receptores de baixo custo e baixo consumo
- Cobertura Continental ou Mundial
- Utilização das mesmas frequências do AM
- Melhor qualidade de recepção que AM
- Não proporciona “Qualidade CD”
- Possibilidade de “Simulcast” com AM
- Bons resultados nos testes em campo

Sistema IBOC
(*In Band On Channel*)

"HDRadio"

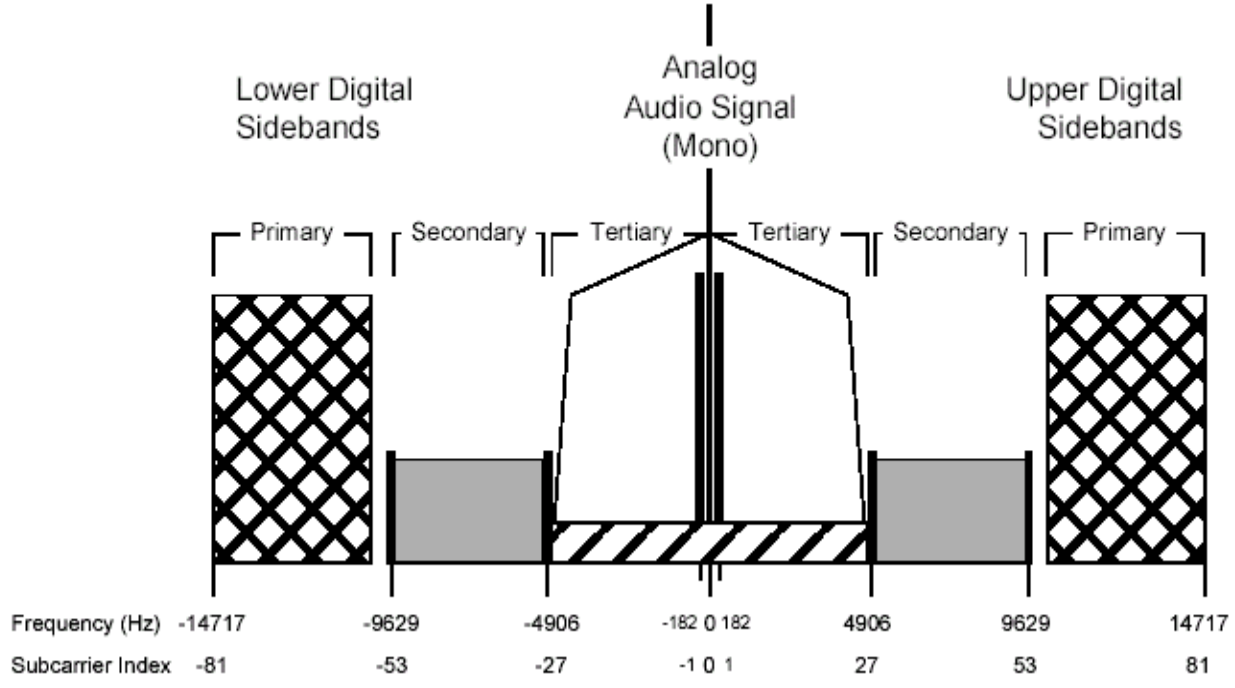
Sistema IBOC (iBiquity)

- Formado pela Lucent Digital Radio e pela USA Digital Radio (CBS)
- Sócios: Texas Instruments, Harris, Ford, ABC, Viacom
- Adquirida pela DTS Inc.
- Padrão definido em 2000, único aprovado pela FCC
- Início de transmissões experimentais em 2002 nos EUA
- Utilizável em FM e AM

Características do Sistema IBOC

- Compressão de Áudio: PAC (*Perceptual Audio Coder* – proprietária)
- Modulação: OFDM; Espaçamento das Portadoras: 181.7 Hz
- Modulações: 64-QAM, 16-QAM e QPSK
- Duração dos Símbolos: 5.8 ms

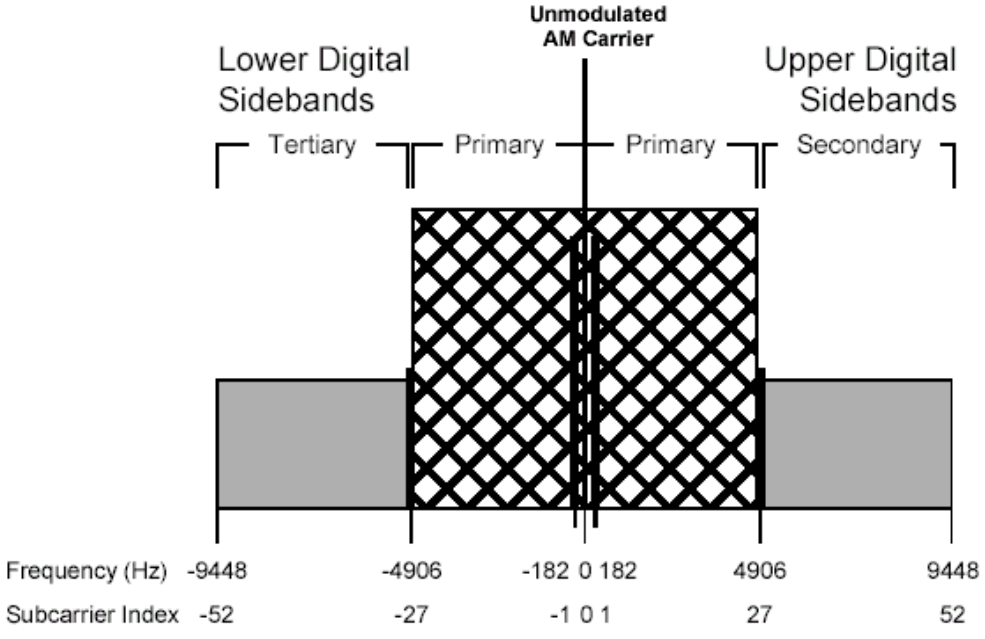
Espectro do Sinal IBOC (Modo Compatível AM)



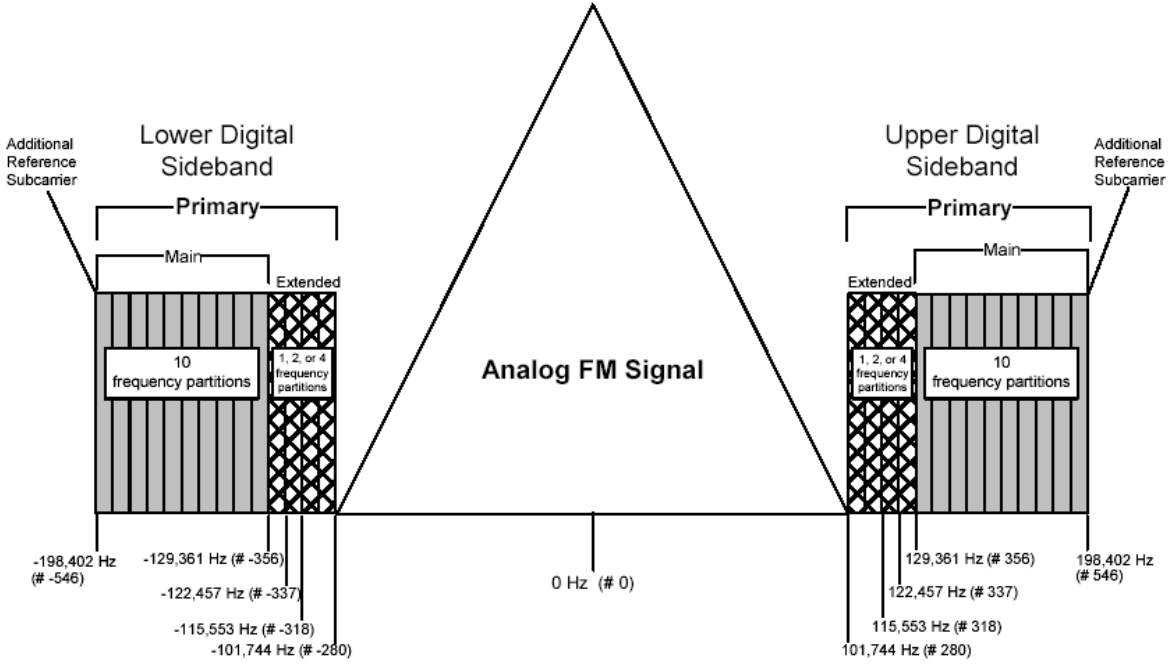
Bandas primárias (64-QAM) independentes

Bandas Secundárias (16-QAM) e Terciárias (QPSK) combinam-se em quadratura com a portadora AM

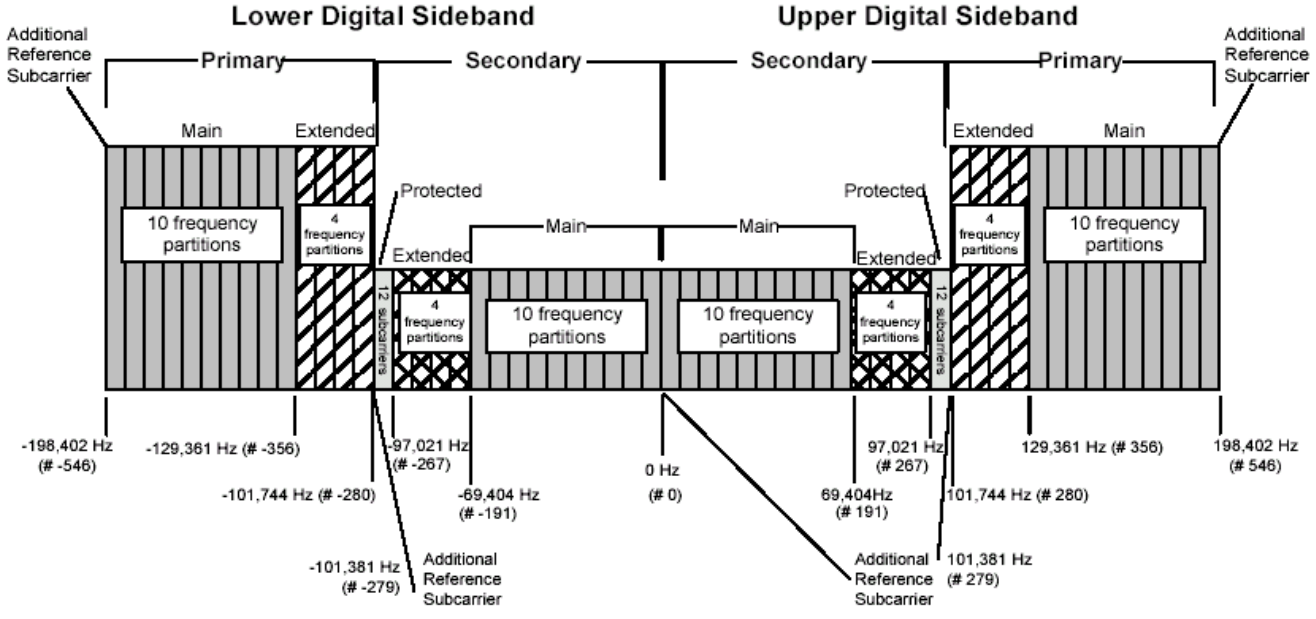
Espectro do Sinal IBOC (Modo Digital AM)



Espectro do Sinal IBOC (Modo Compatível FM)



Espectro do Sinal IBOC (Modo Digital FM)



Características do Sistema IBOC

- Sistema proprietário, não aberto
- Testes indicam que uso em AM é restrito ao período diurno (devido a interferências)
- Atraso de captura de 4 segundos
- Interferências em receptores de baixa qualidade
- Ocupação espectral maior prejudica emissoras de pequeno alcance
- Popular nos EUA na banda de FM

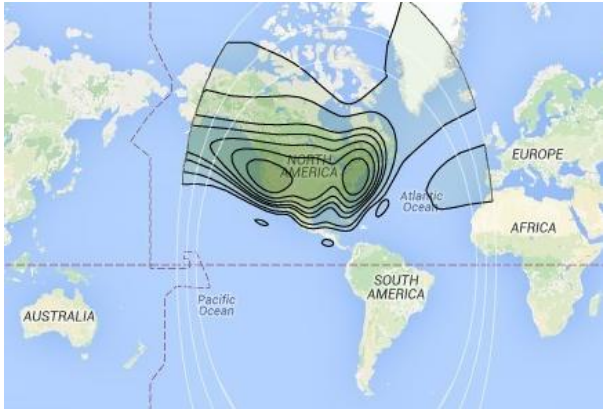
Sirius / XM Radio

Sistema Sirius XM Radio

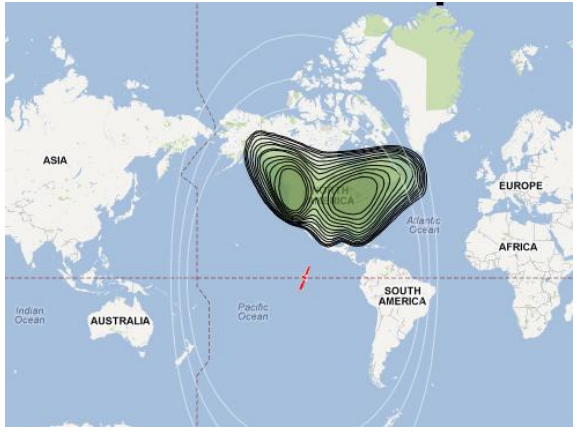
- Início: 2001 (Sirius) e 2002 (XM Radio), fusão em 2008
- Transmissão por Satélite, banda S (2,3 GHz)
- Apenas EUA e Canadá
- Rádio Digital por assinatura (>20M assinantes)
- Retransmissores terrestres em locais com obstrução
- ~175 canais de áudio
- Modulação: QPSK, 7,5 Mbps
- Taxa de bits por canal: 40~64 kbps (música), 24 kbps (voz)
  - Compressão: AAC HE modificado

Sistema Sirius XM Radio

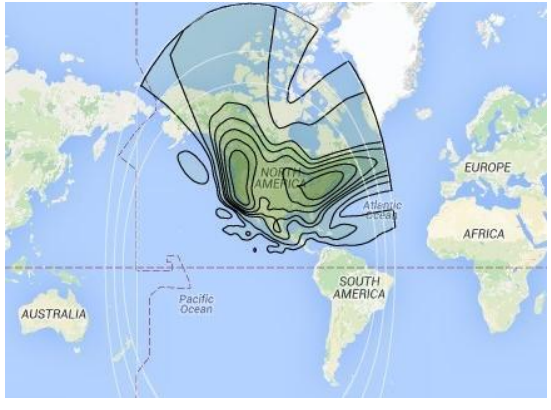
- Órbitas dos satélites:
  - XM3 a XM5, FM6: Geoestacionários



XM3 (85.0W – 2005) e XM 5 (85.2W – 2010)



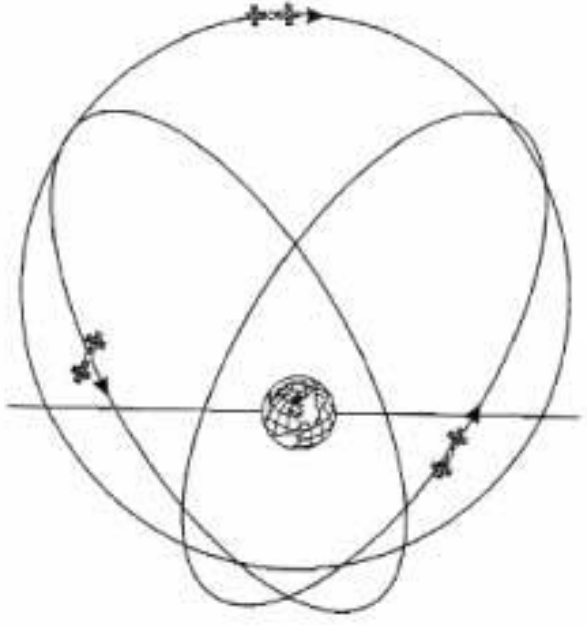
XM4 (115.0W – 2006)

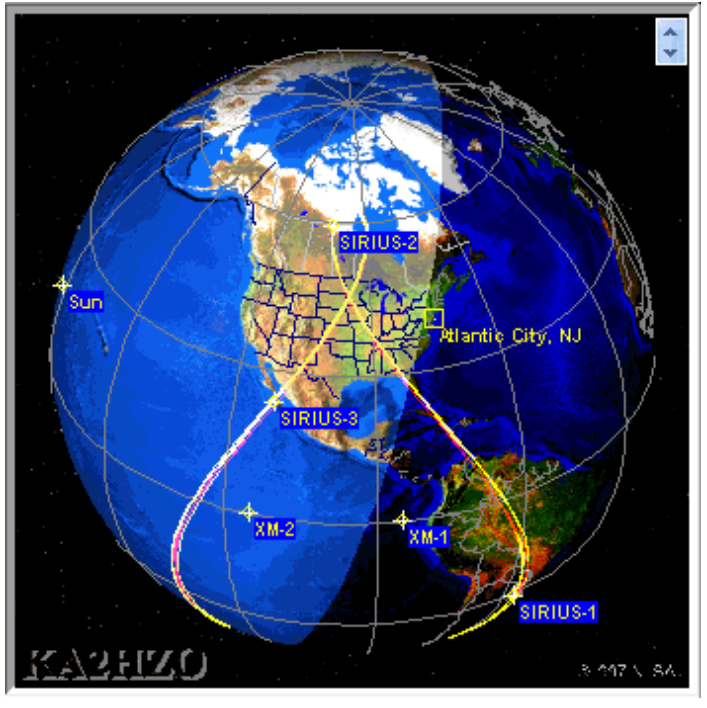


FM6 (116.15W - 2013)

Sistema Sirius XM Radio

- Órbitas dos satélites:
  - Sirius 1, 2 e 3: Geossíncronos





Sistema Sirius XM Radio

- Antenas:

ISDB-Tsb (*Integrated Services Digital Broadcast – Sound Broadcast*)

Digital Broadcasting Experts Group

Sistema ISDB-Tn

- Em implantação no Japão
- Utiliza 1 ou 3 segmentos de um canal ISDB (429 kHz ou 1.3 MHz)
- Pode coexistir com sinais de TV
- Compressão de Áudio: MPEG-2 AAC
- Modulação: OFDM, com portadoras moduladas em DQPSK, QPSK, 16-QAM ou 64-QAM

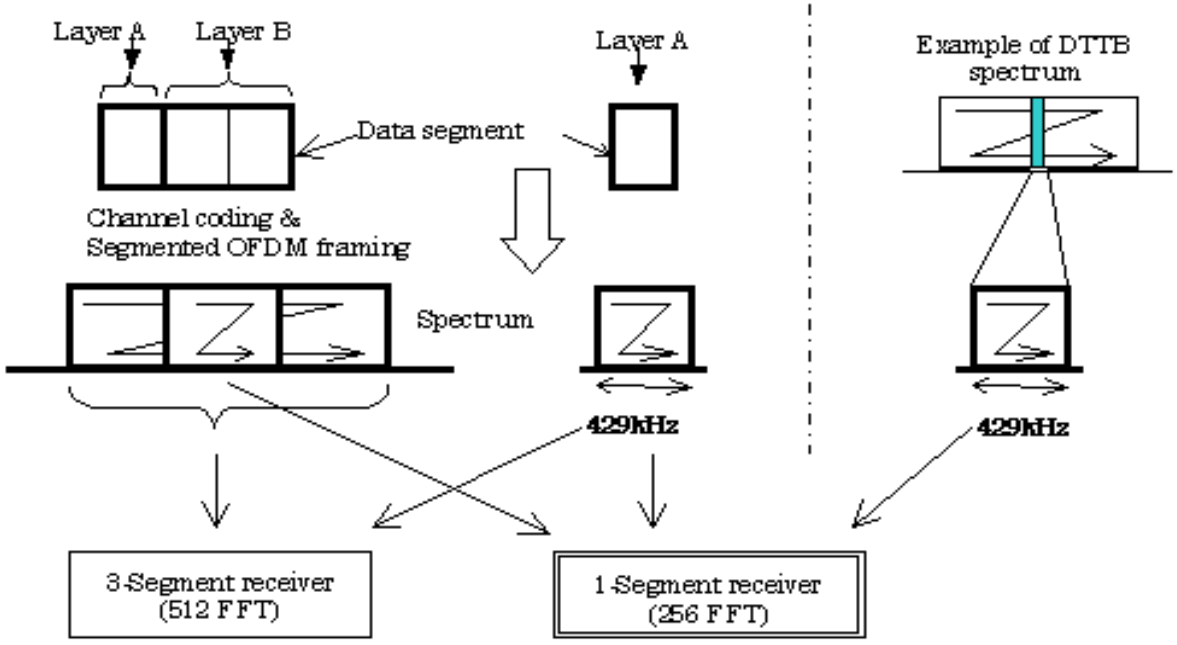


Fig.1 ISDB-T (sound) transmission and partial reception

Características do Sistema ISDB-Tn

Modo de Operação	1	2	3
Banda Ocupada (1 segmento) (kHz)	432.5	430.5	429.5
Banda Ocupada (3 segmentos) (kHz)	1289	1287	1286
Espaçamento entre portadoras (kHz)	3.968	1.984	0.992
Duração efetiva do Símbolo (us)	252	504	1008
Número de Portadoras (1 segmento)	109	217	433
Número de Portadoras (3 segmentos)	325	649	1297

Intervalo de Guarda	1/4, 1/8, 1/16 ou 1/32 do símbolo
Taxa do Código Convolucional	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
Taxas de bits (1 segmento) (kb/s)	280.85 a 1787.3
Taxas de bits (3 segmento) (kb/s)	842 a 5361

E no Brasil?

- Testes com IBOC e DRM entre 2007 e 2008
- SBRD - Sistema Brasileiro de Rádio Digital (Portaria 290/2010 MinCom) para estudar a digitalização
- Resultados insatisfatórios
- Interferência de rádios piratas no FM
- Baixa qualidade de serviço em AM
- Alto custo dos moduladores e da adaptação
- Inexistência de receptores
- Posição atual: migração do AM para o FM...
  - Faixa estendida (76,5 a 87,5 MHz) nos locais congestionados
  - Mais de 80% das emissoras de AM solicitaram migração