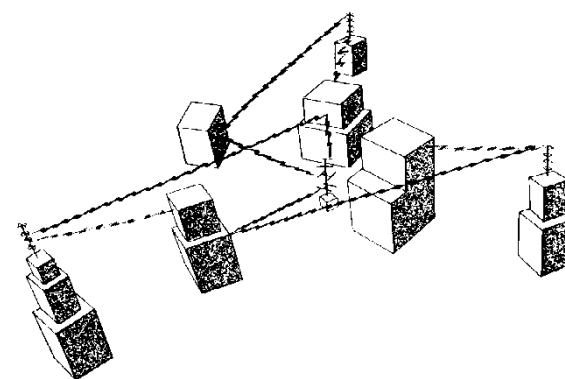


Sistemas de Transmissão para TV Digital

PTC3547

Codificação e Transmissão Multimídia

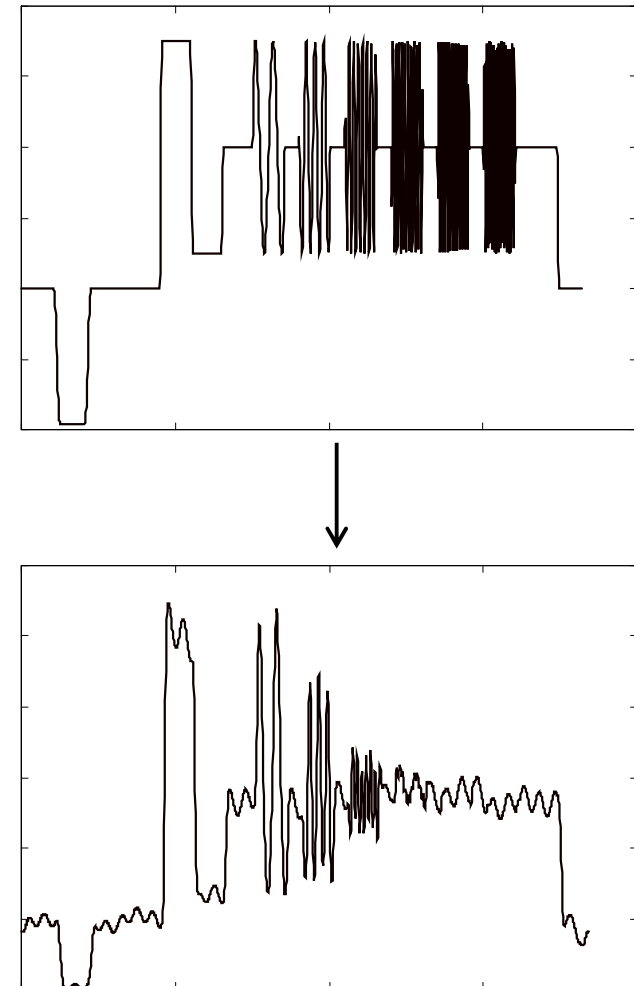
Guido Stolfi – EPUSP - 2025

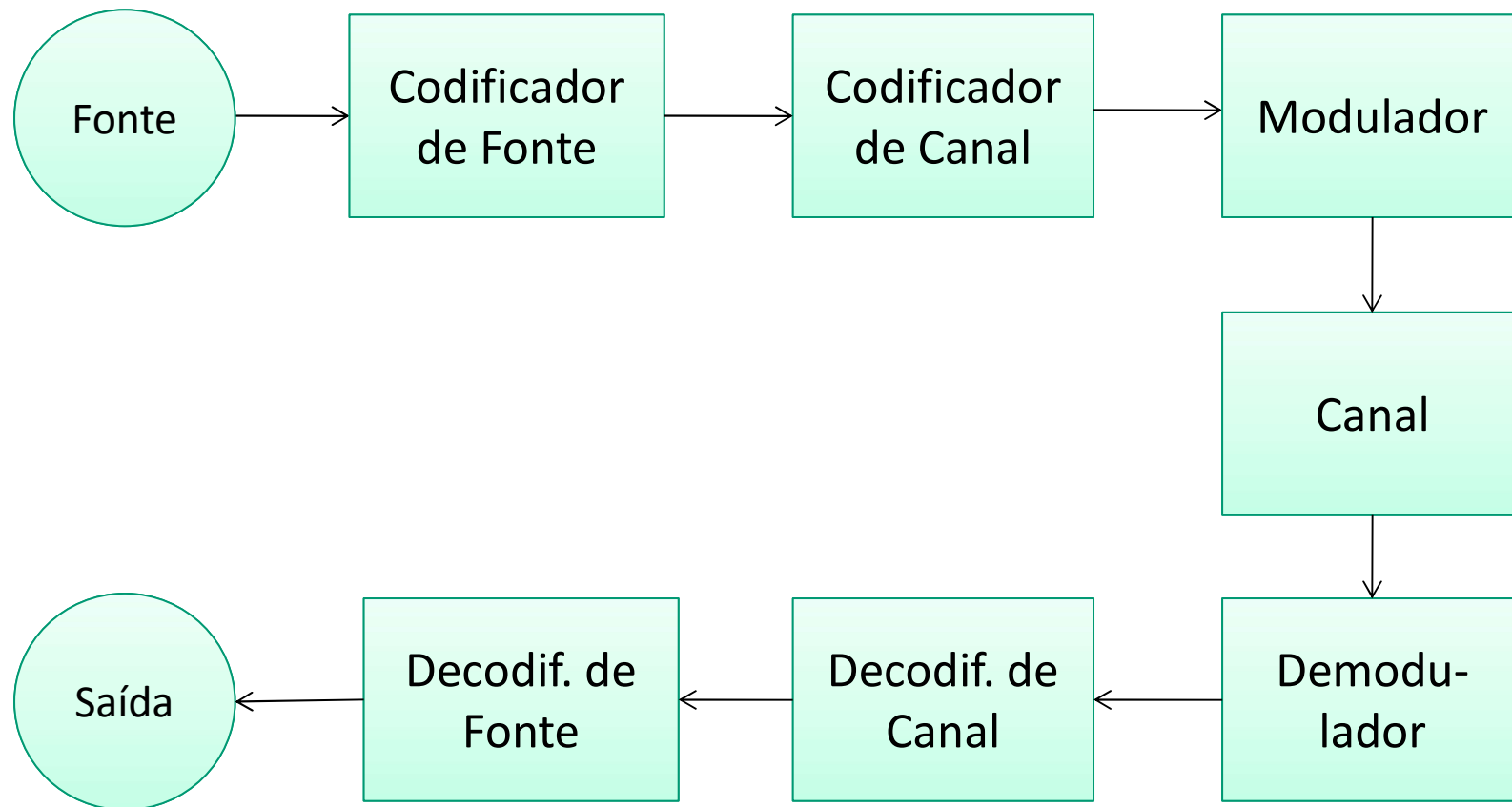


- Vantagens da Comunicação Digital
- Sistema ATSC
- Multi-percurso e Equalização
- Modulação OFDM
- Sistema DVB-T
- Sistema ISDB-T
- Limiar de Operação para Recepção
- Sinal ISDB-T e Constelações
- Comparações entre ATSC, DVB e ISDB-T
- Outros Sistemas de Transmissão
- Processos na Sintonia de um Canal Digital

Degradações causadas pelo Canal de Comunicação:

- Distorção (Não-linearidade)
- Ruído (Aditivo; aleatório e impulsivo)
- Perdas (Atenuação, Limitação de Banda Passante, "Fading")
- Interferências (Aditivas, de origem humana)



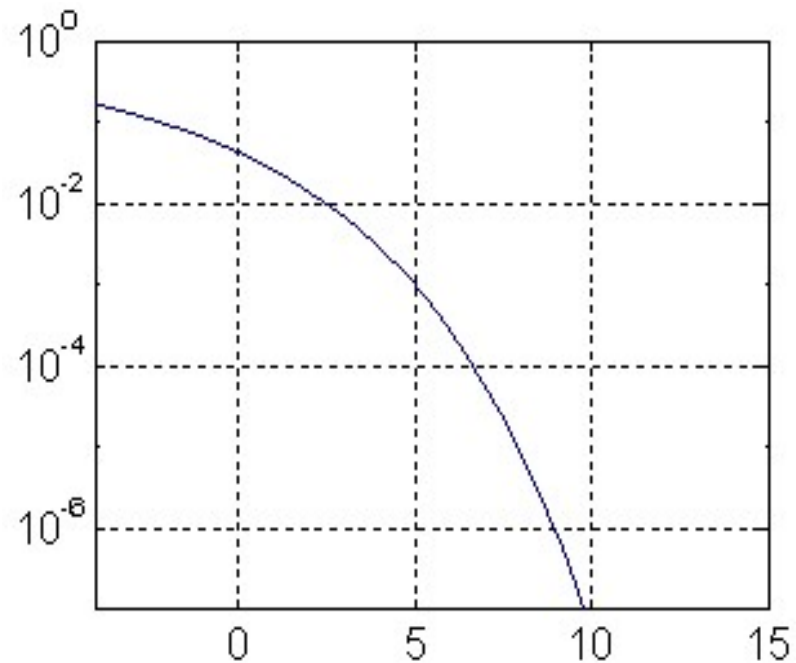


- Codificador de Fonte:
 - Aproveita as características da Fonte para efetuar uma representação eficiente da informação
 - Ex.: MPEG, JPEG, ADPCM, Huffman
- Codificador de Canal:
 - Introduz redundância para possibilitar a sobrevivência da informação após as degradações do canal
 - Ex.: Paridade, códigos de Hamming, Reed-Solomon, intercalamento

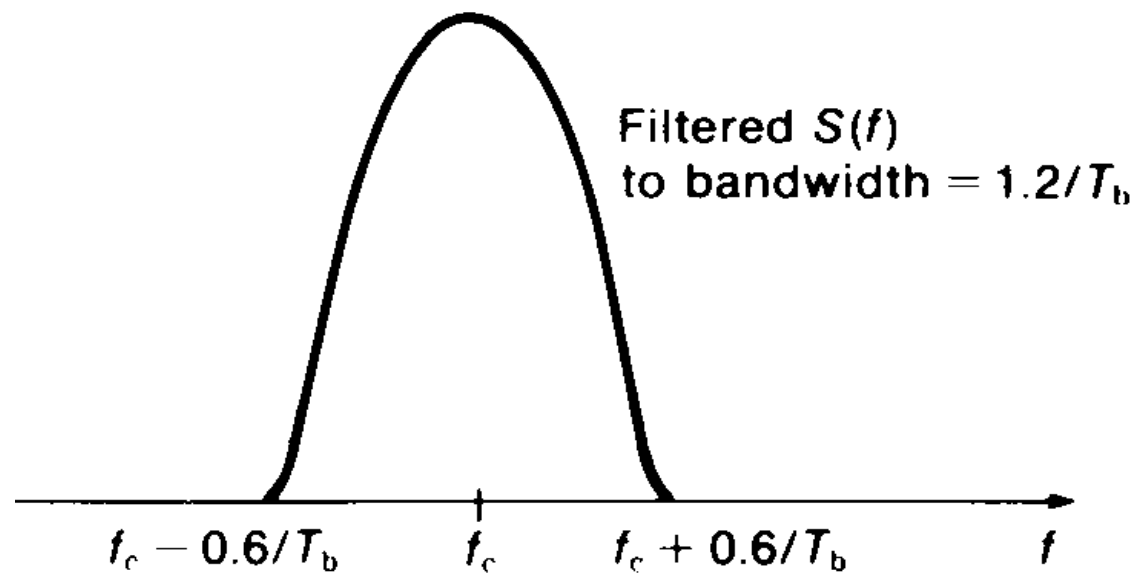
- Converte a informação digital em sinais contínuos (formas de onda)
 - Considera as características do canal (resposta em frequência, potência admissível, atenuação etc.)
 - Não existe “transmissão digital”, mas sim “transmissão analógica de informação digital”

- Modulação Digital: Degradações causam erros de transmissão

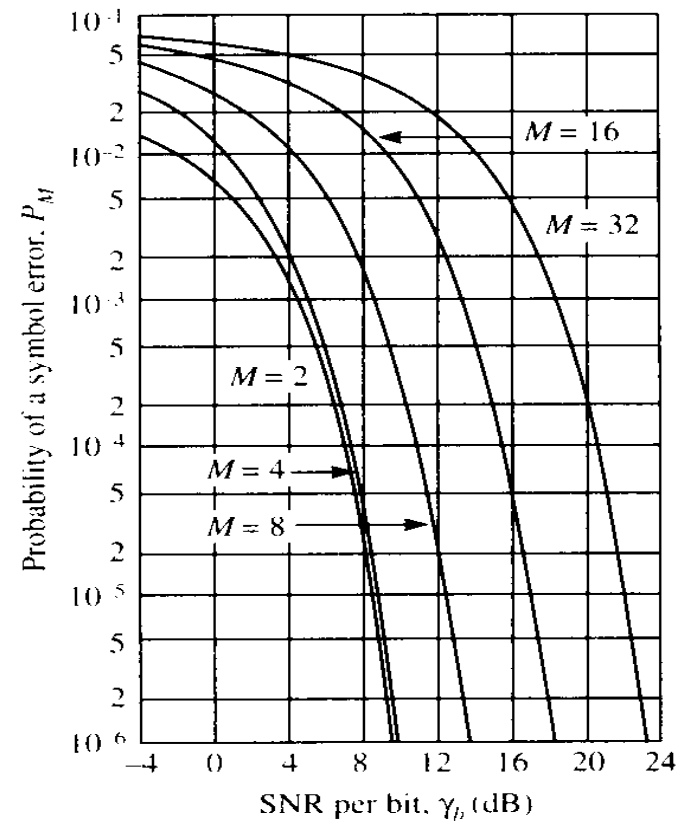
- Ex.: QPSK



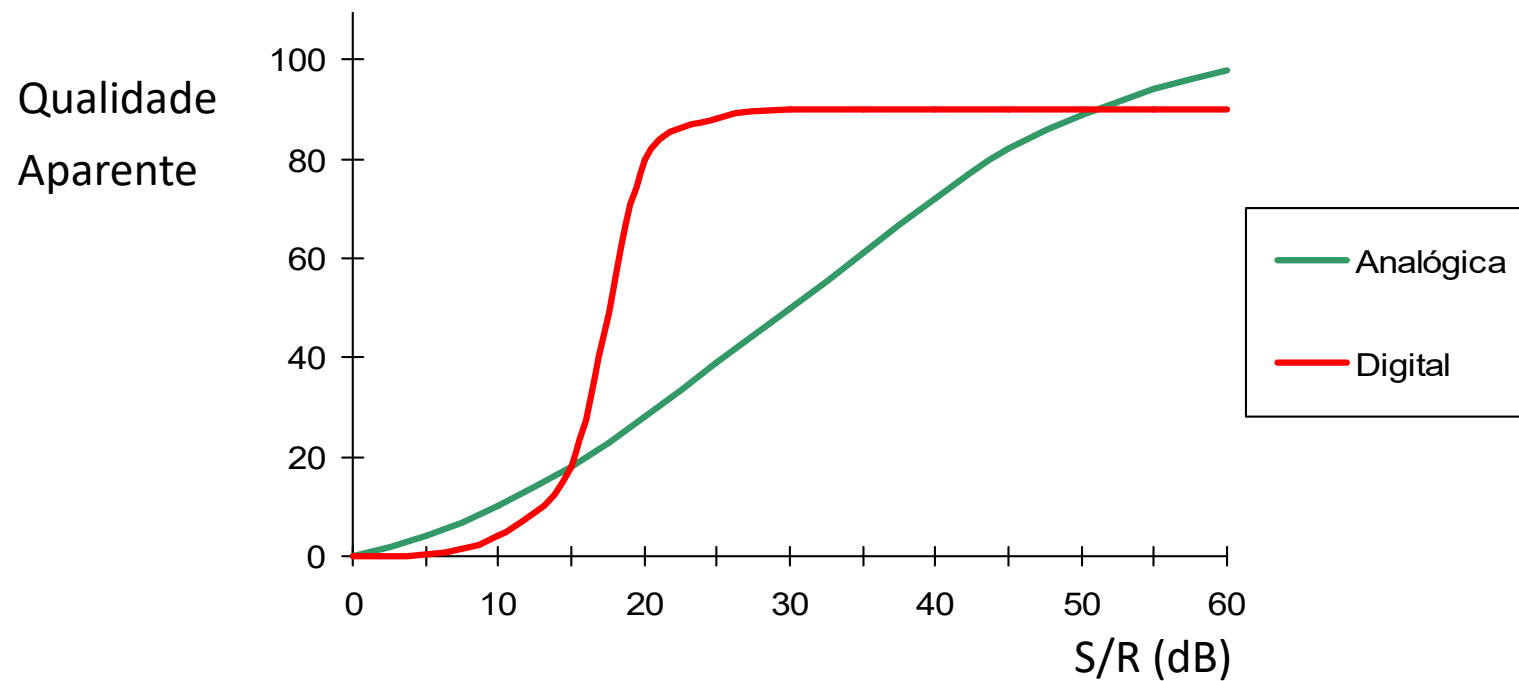
- Ex.: QPSK



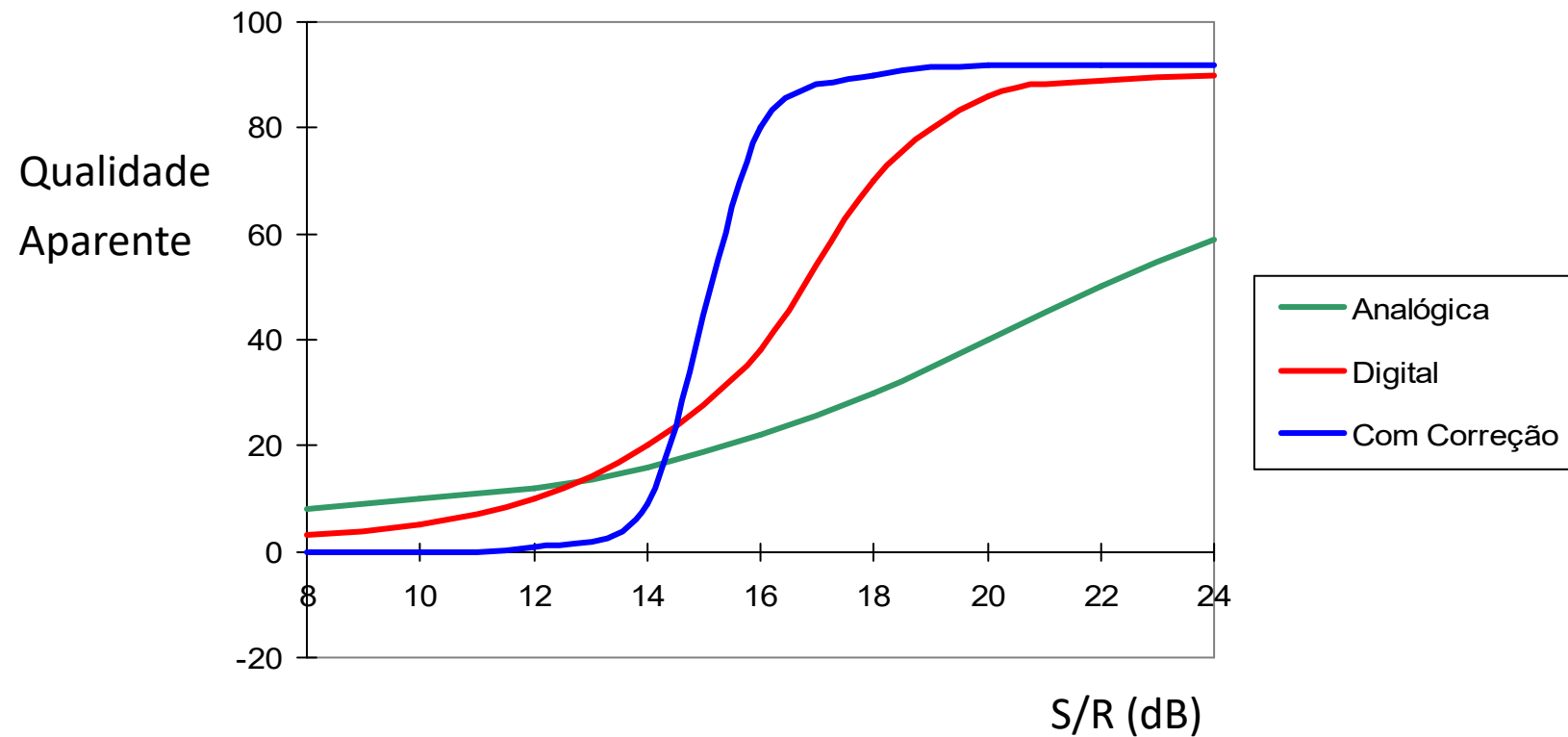
Taxa de Erros para Sistemas M-PSK



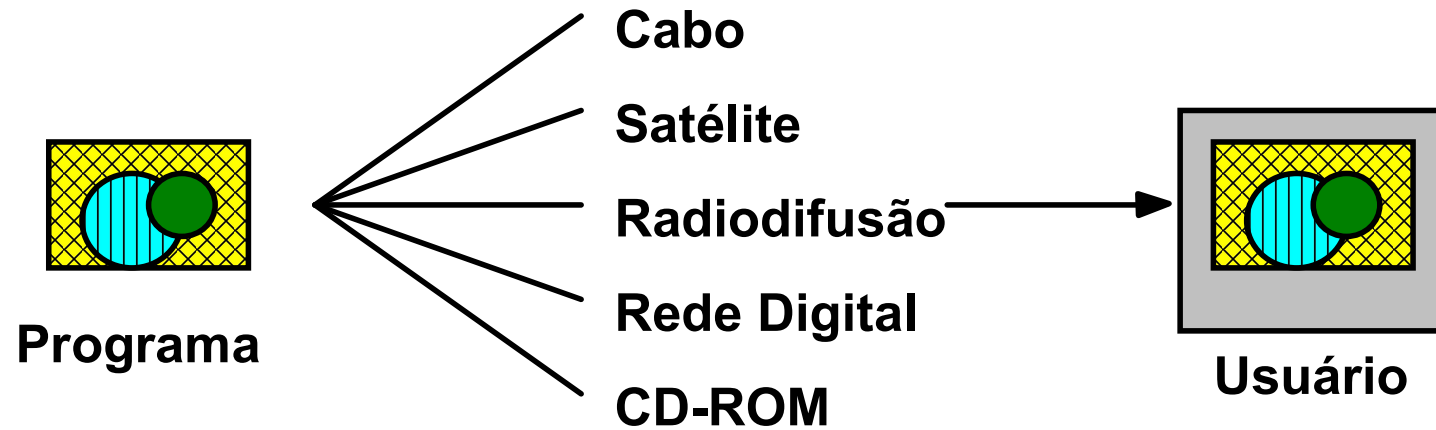
Qualidade de Imagem x Relação S/R



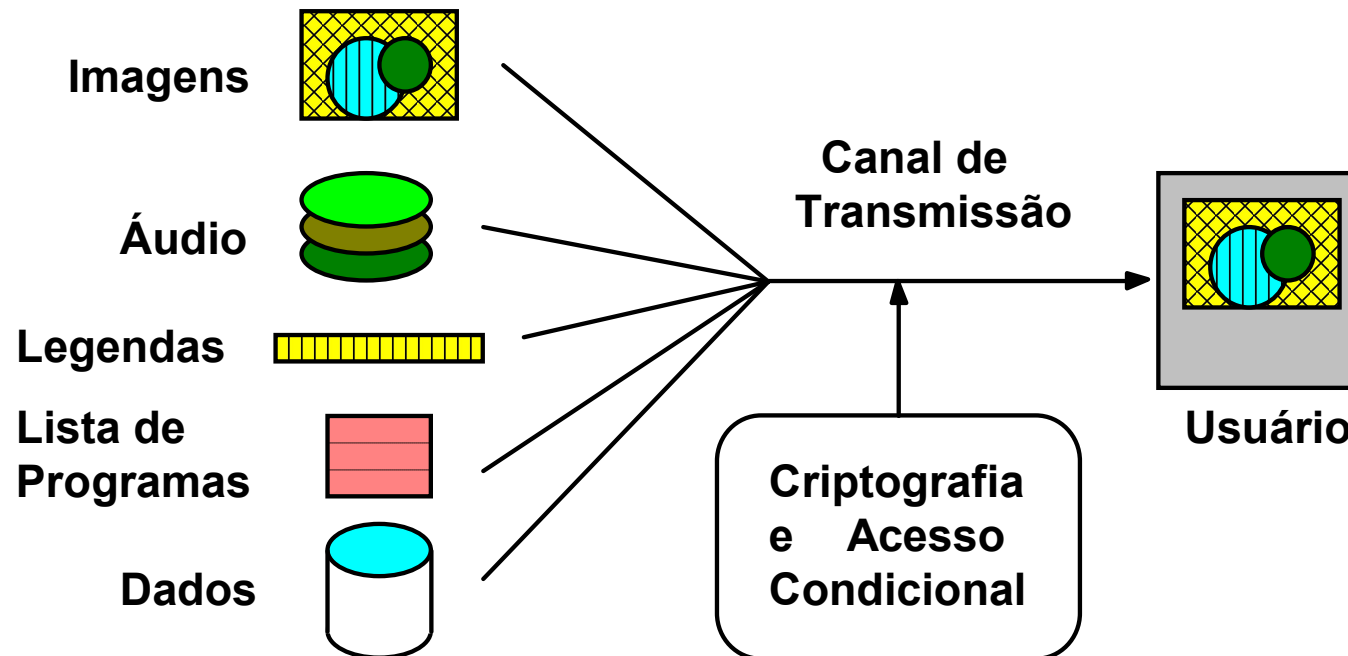
Benefícios da Correção de Erros



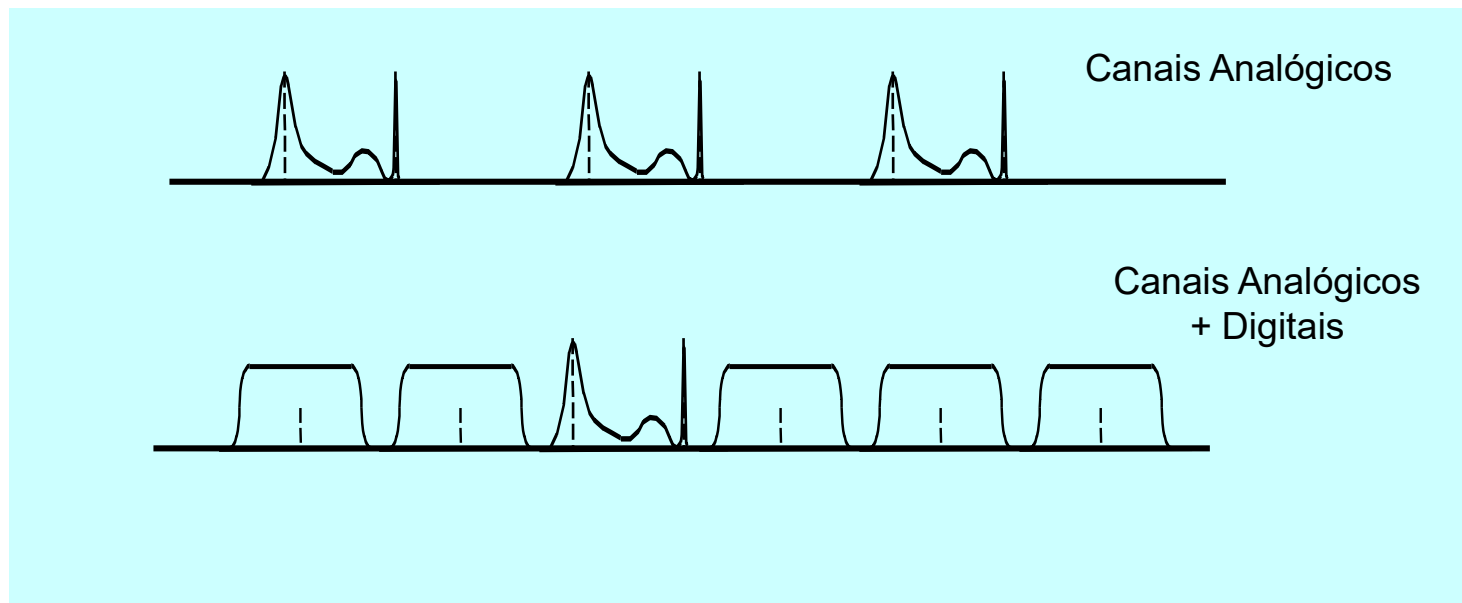
- Compatibilidade de Meios de Transmissão



- Compatibilidade de Serviços

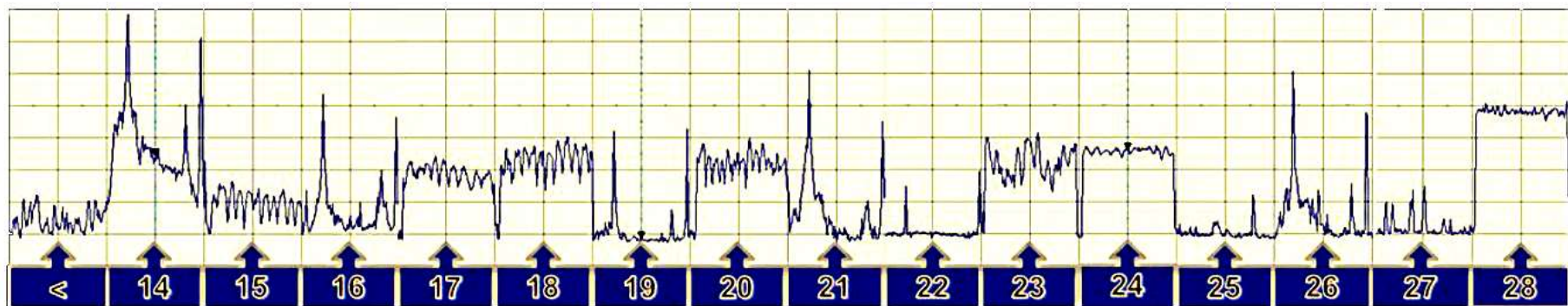


- Melhor aproveitamento do espectro



Espectro de Radiodifusão (Analógica + Digital)

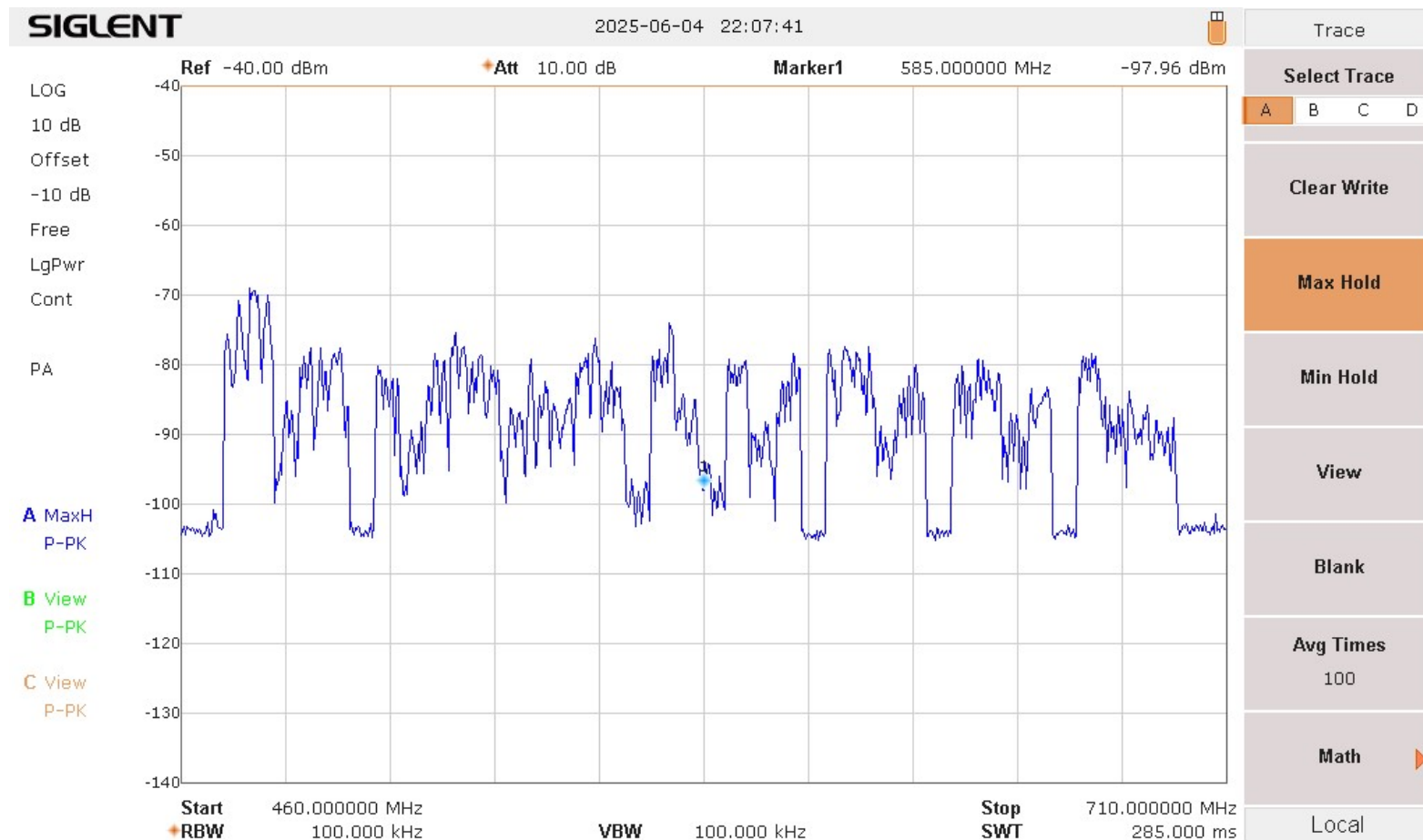
LCS
EPUSP



UHF – Canais 14 a 28 - São Paulo, 2008

Espectro de Radiodifusão (Digital)

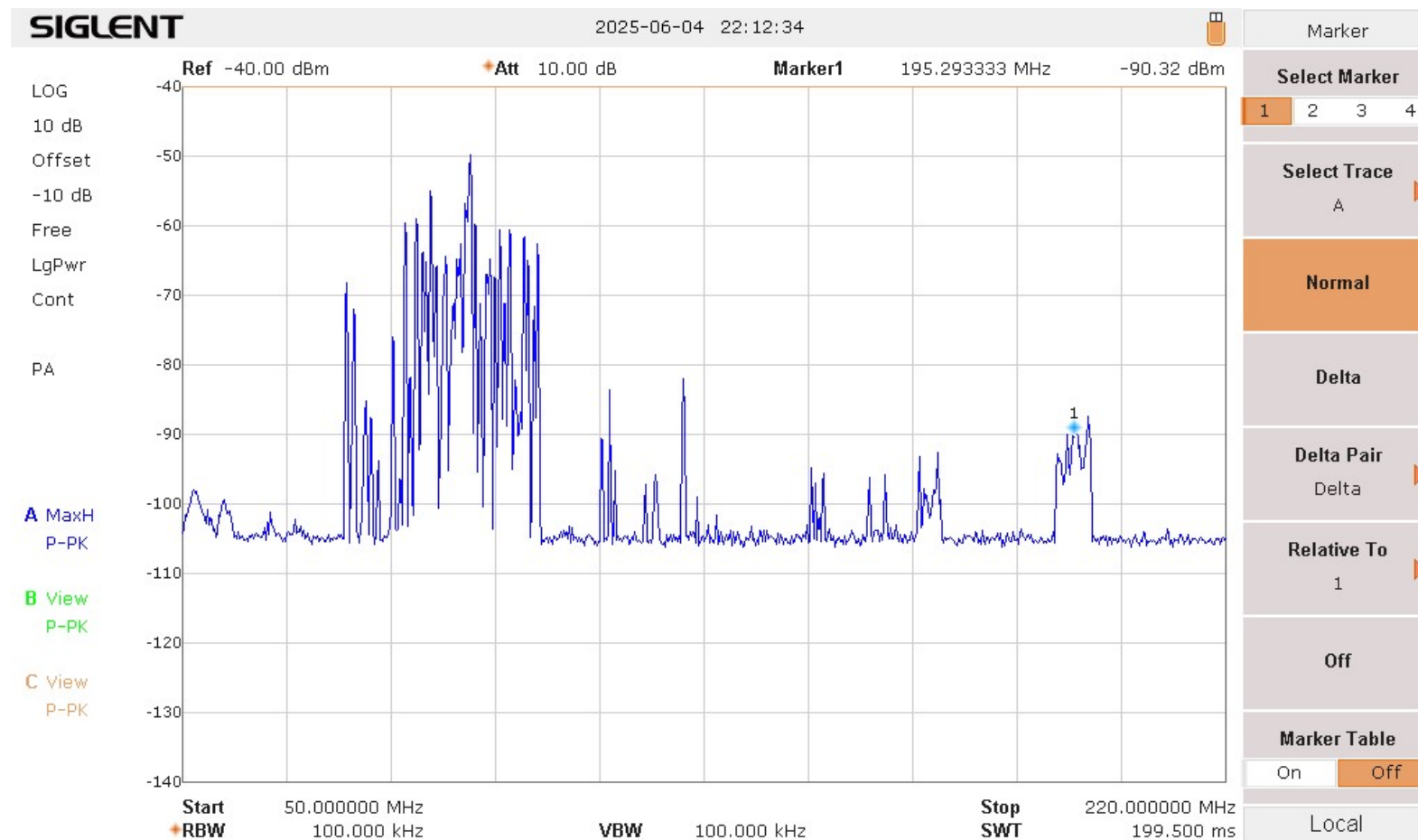
LCS
EPUSP



UHF – Canais 14 a 51 - São Paulo, 2025

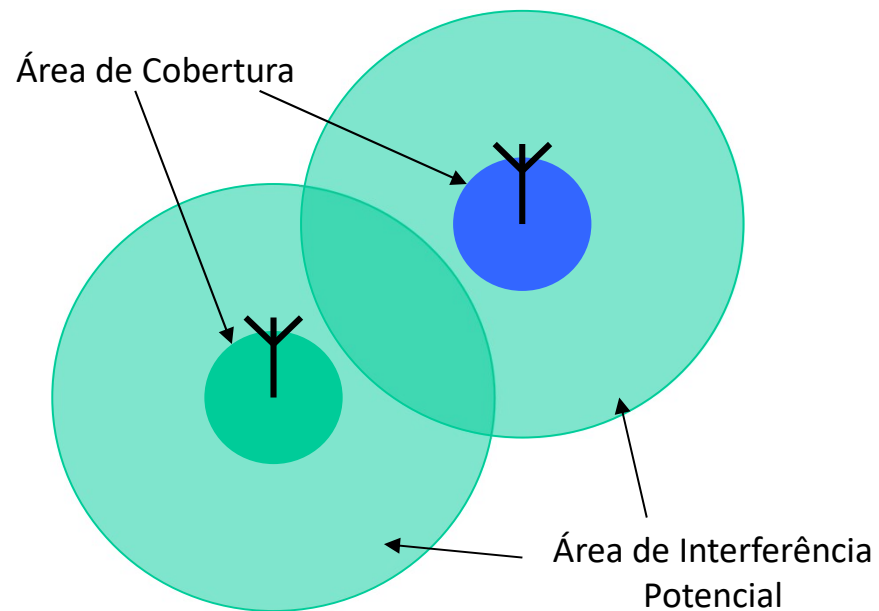
Espectro de Radiodifusão (Analógico Liberado)

LCS
EPUSP

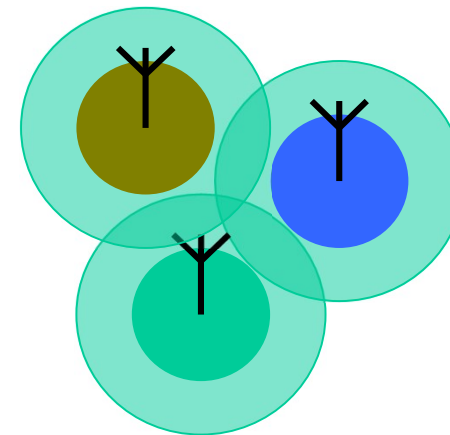


VHF – Canais 2 a 13 + FM - São Paulo, 2025

- Melhor aproveitamento geográfico (mesmo canal)



Transmissão Analógica

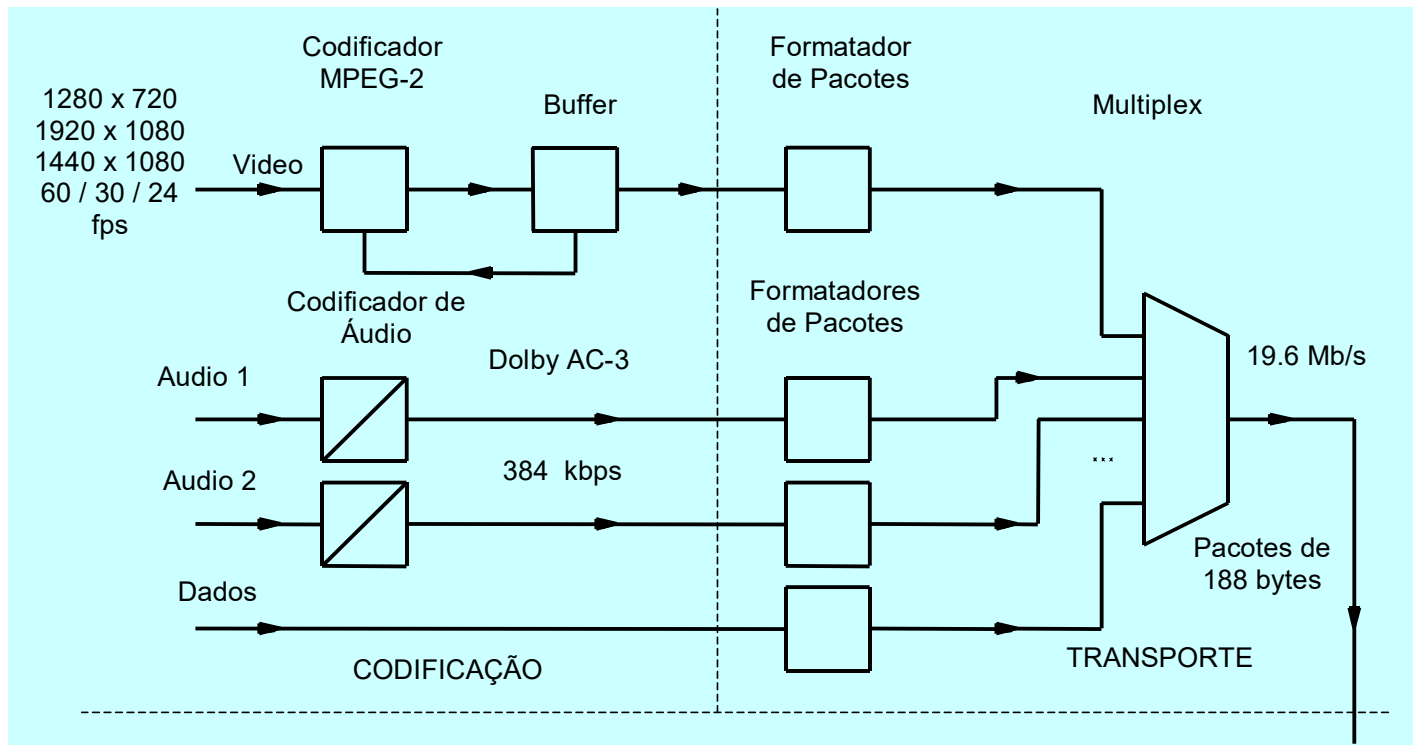


Transmissão Digital

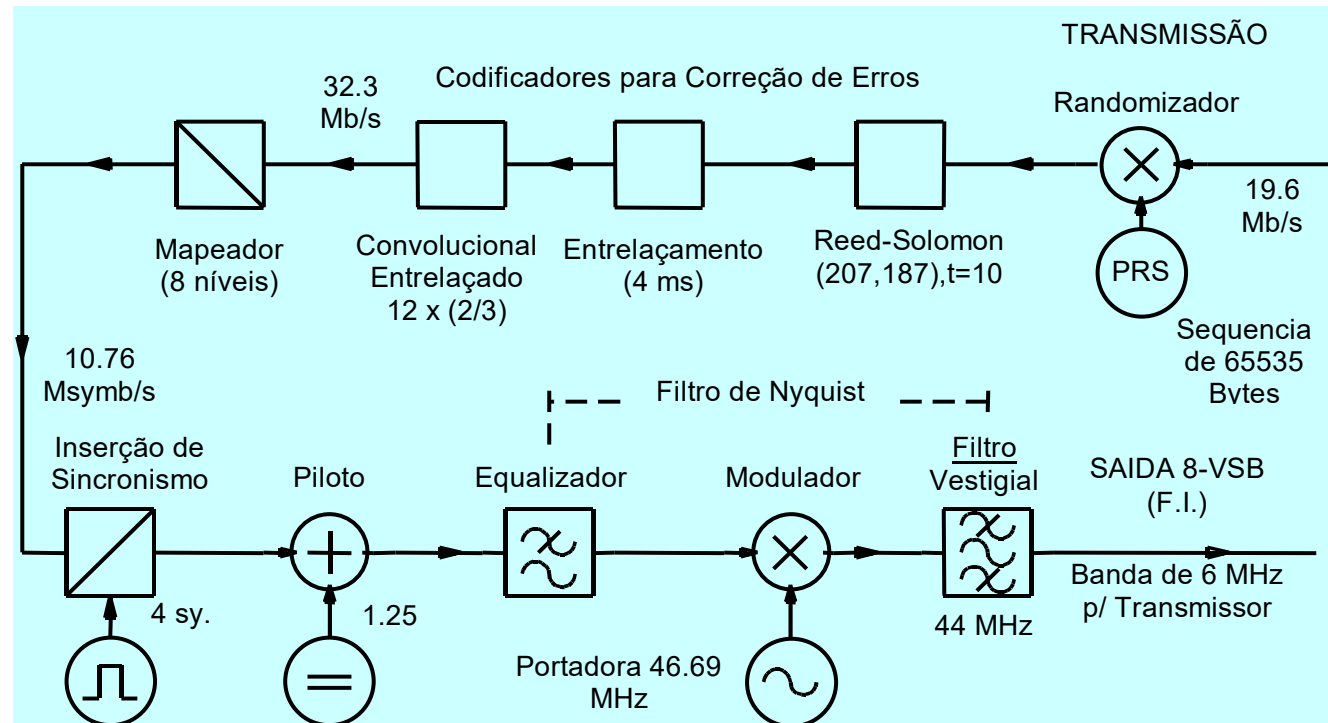
Sistema ATSC – *Advanced Television System Committee*

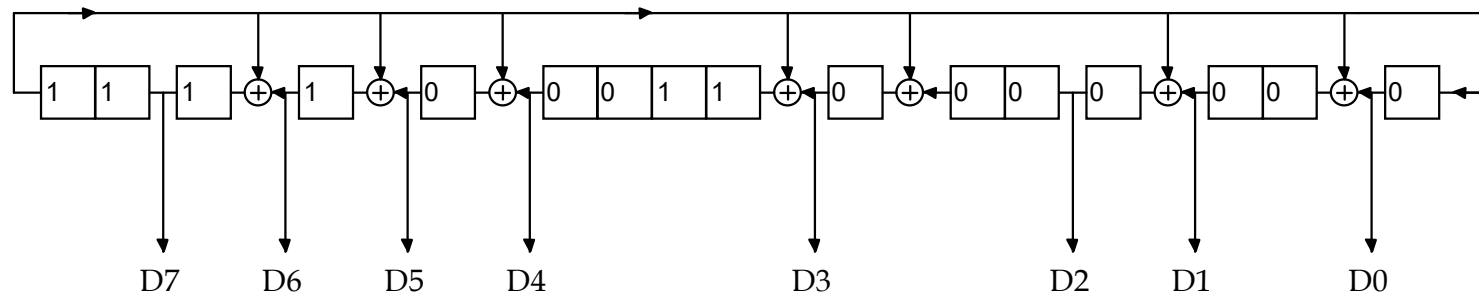
- Aprovado em 1995 para Radiodifusão de HDTV nos EUA
- Compressão de Vídeo: MPEG-2
- Compressão de Áudio: Dolby AC-3
- Transporte: Pacotes MPEG-2
- Modulação: 8-VSB com piloto
- Ocupação de Banda: Canal de 6 MHz

Sistema ATSC – Codificação de Fonte e Transporte



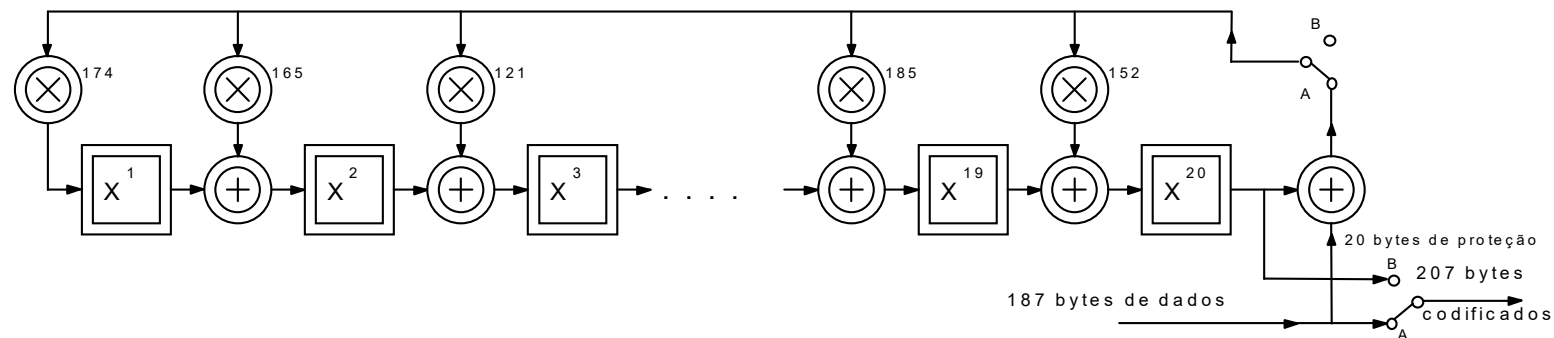
Sistema ATSC – Codificação de Canal e Modulação





$$G(x) = x^{16} + x^{13} + x^{12} + x^{11} + x^7 + x^6 + x^3 + x + 1$$

Codificador Reed-Solomon (207,187), t= 10

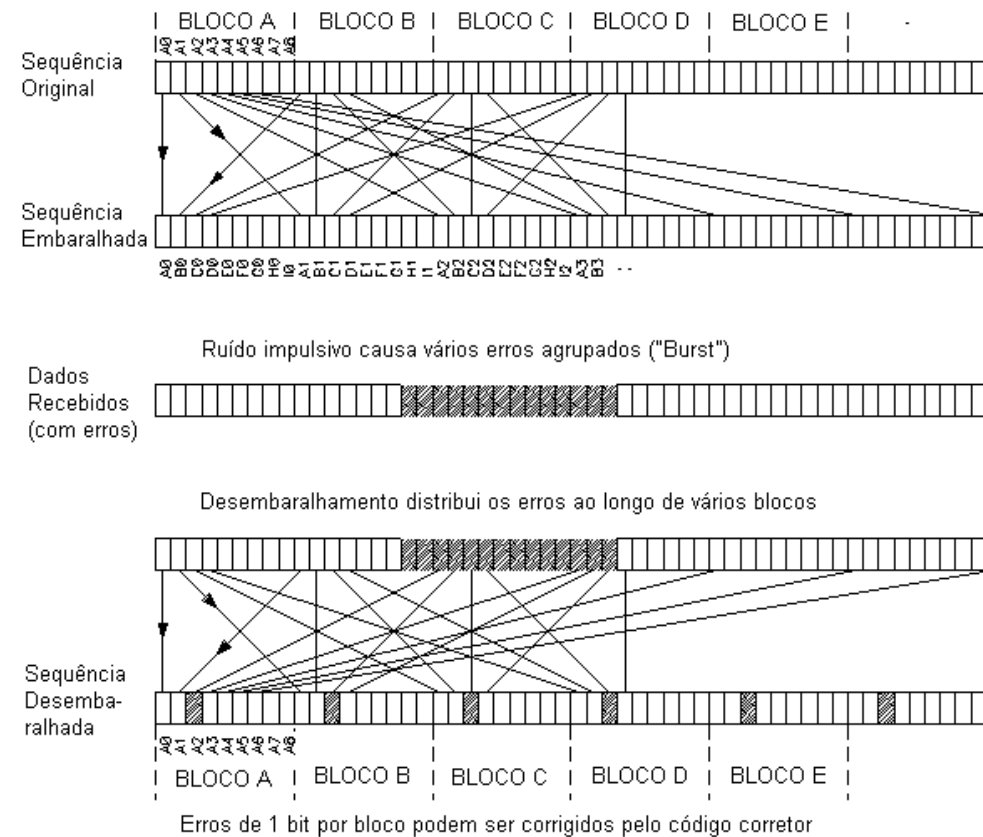


$$\prod_{i=0}^{19} (X + \alpha^i) = X^{20} + 152X^{19} + 185X^{18} + 240X^{17} + 5X^{16} + 111X^{15} + 99X^{14} + 6X^{13} +$$

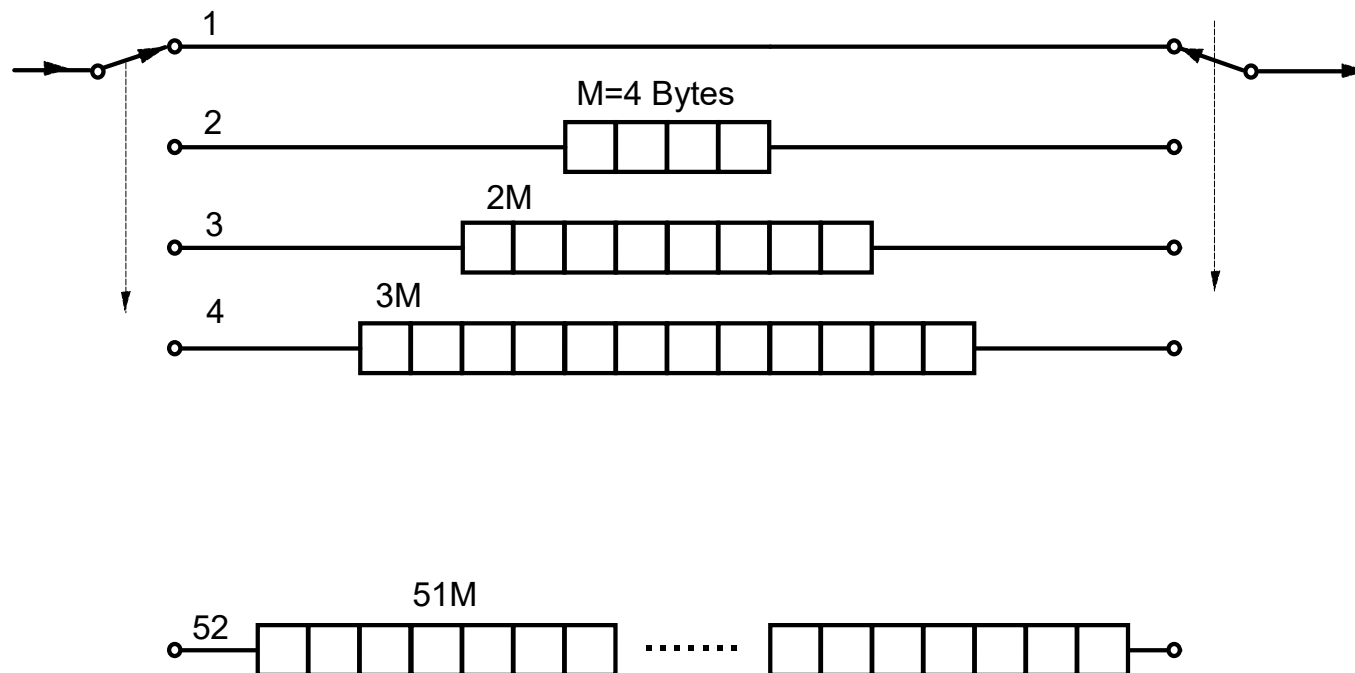
$$+ 220X^{12} + 112X^{11} + 150X^{10} + 69X^9 + 36X^8 + 187X^7 + 22X^6 + 228X^5 +$$

$$+ 198X^4 + 121X^3 + 121X^2 + 165X^1 + 174$$

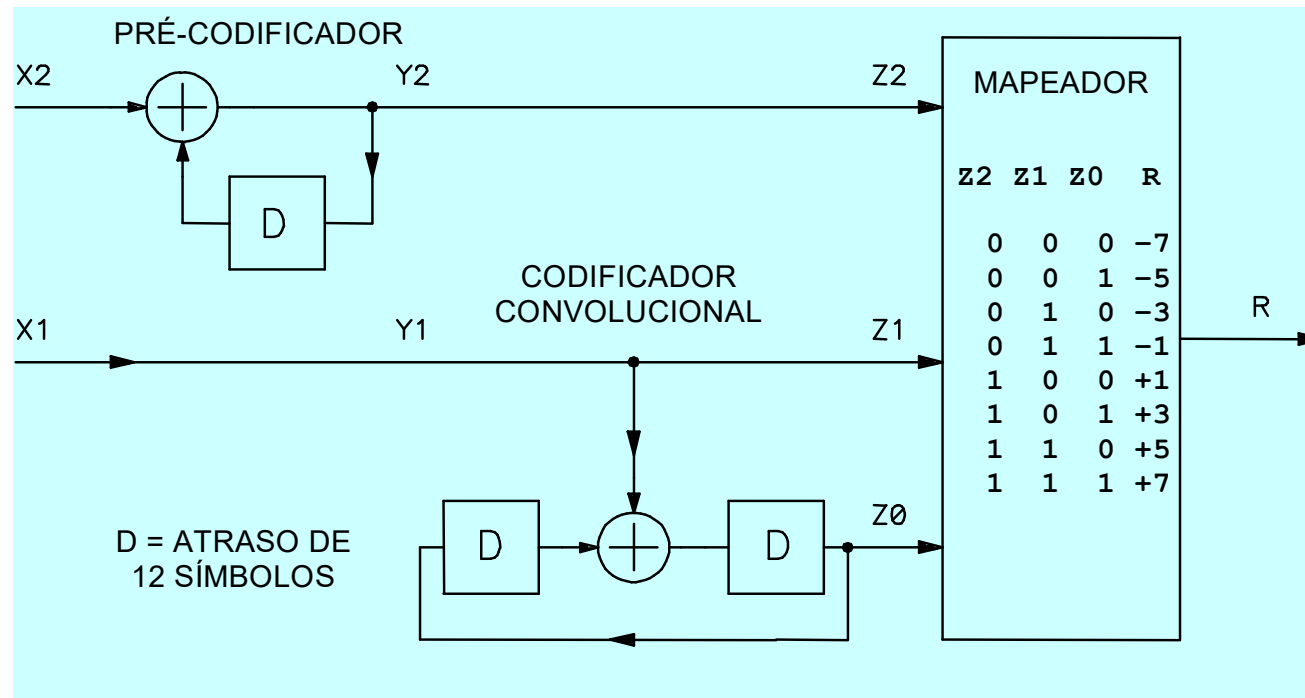
Entrelaçamento (“Interleaving”)



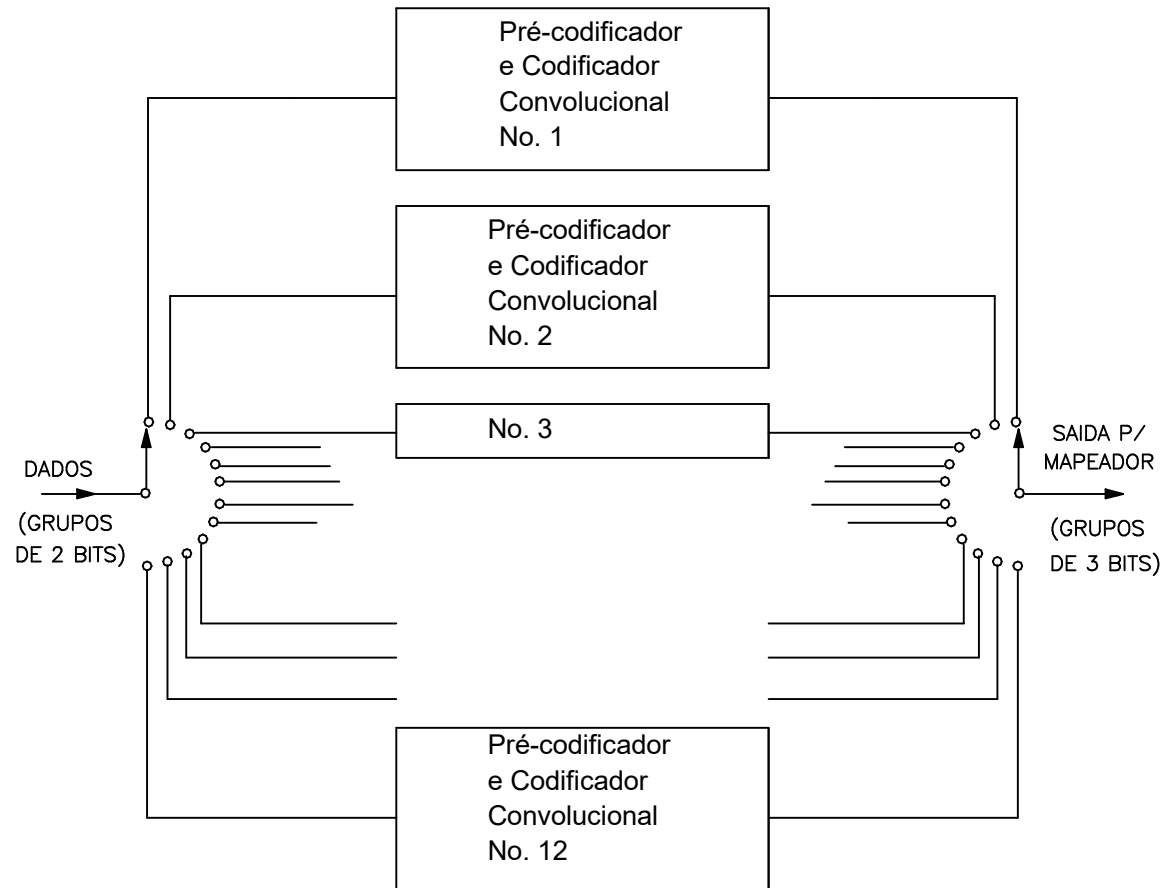
Entrelaçador Convolutivo ATSC



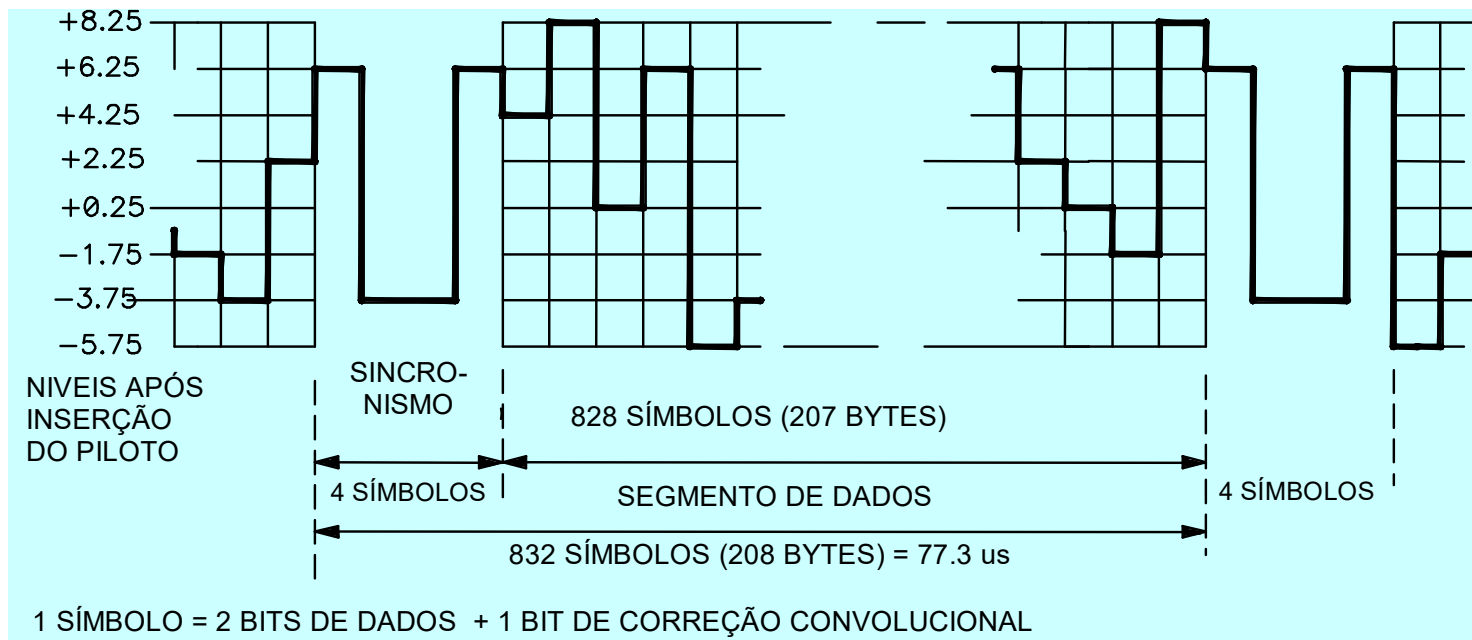
Codificador Convolutacional e Mapeador 8-VSB



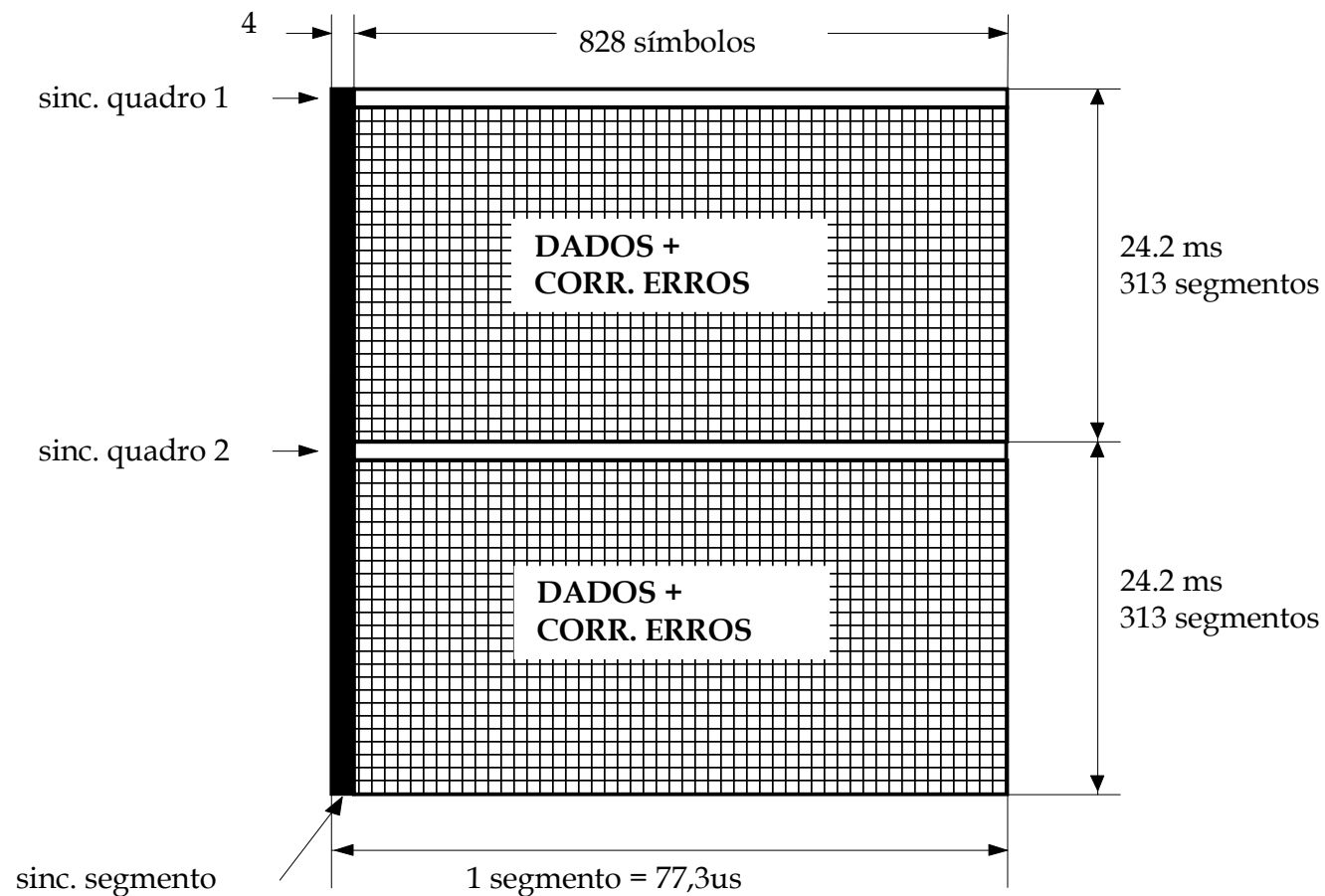
Codificador Convolutacional Entrelaçado



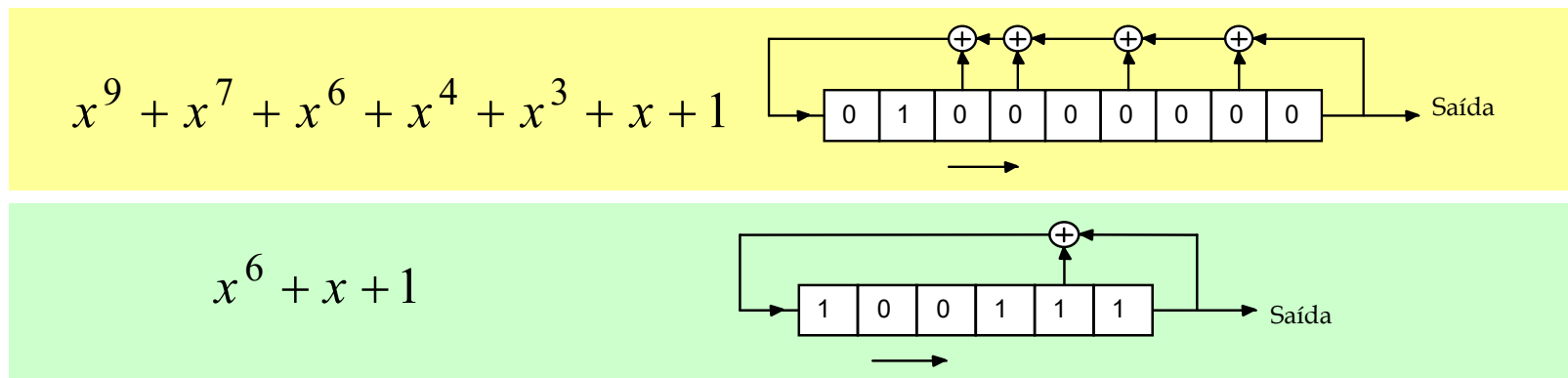
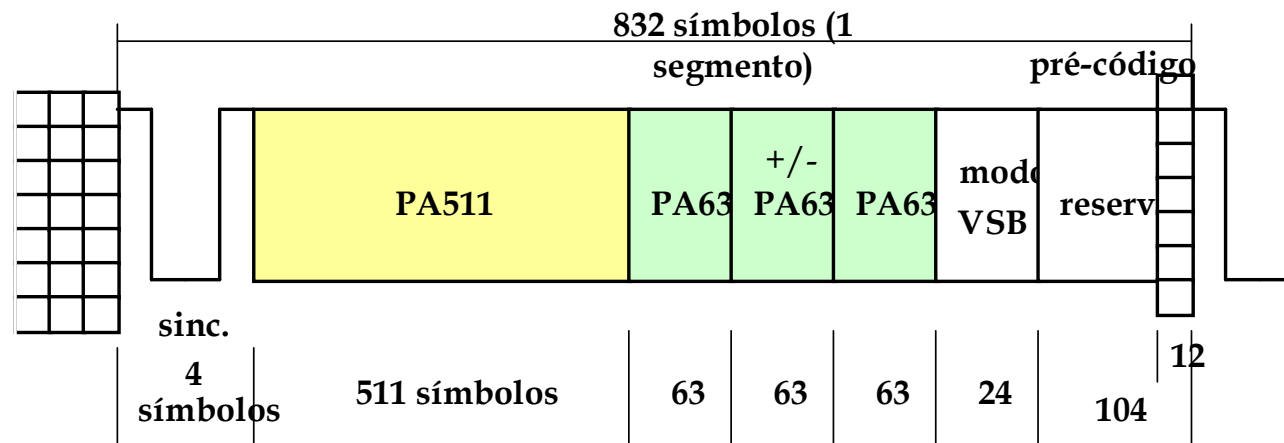
Segmento Multinível com Piloto e Sincronismo



Estrutura de Quadros de Dados ATSC

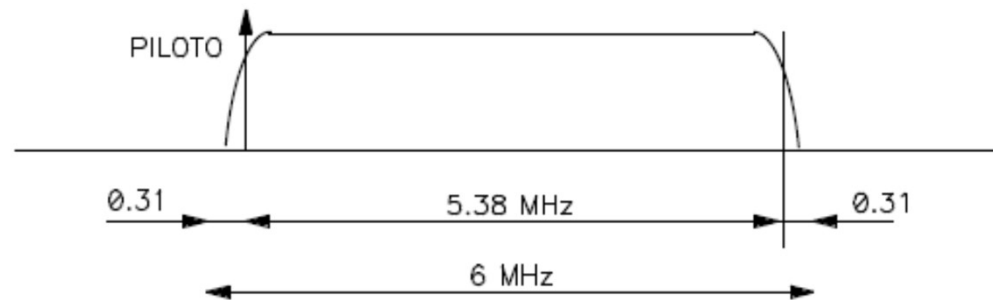


Sincronismo de Quadro ATSC

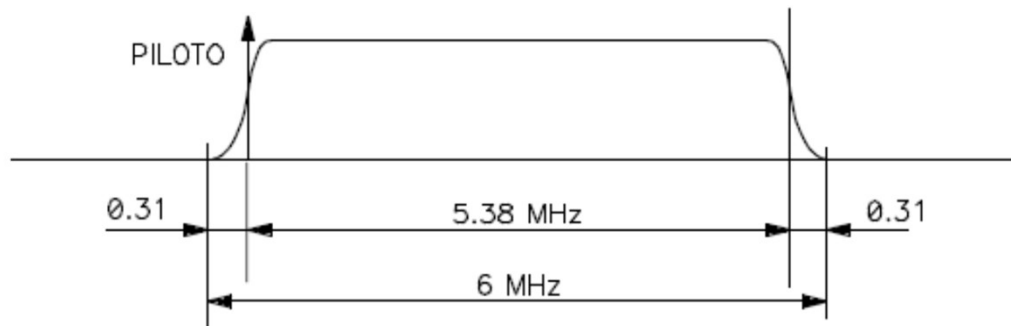


Filtro Vestigial ATSC

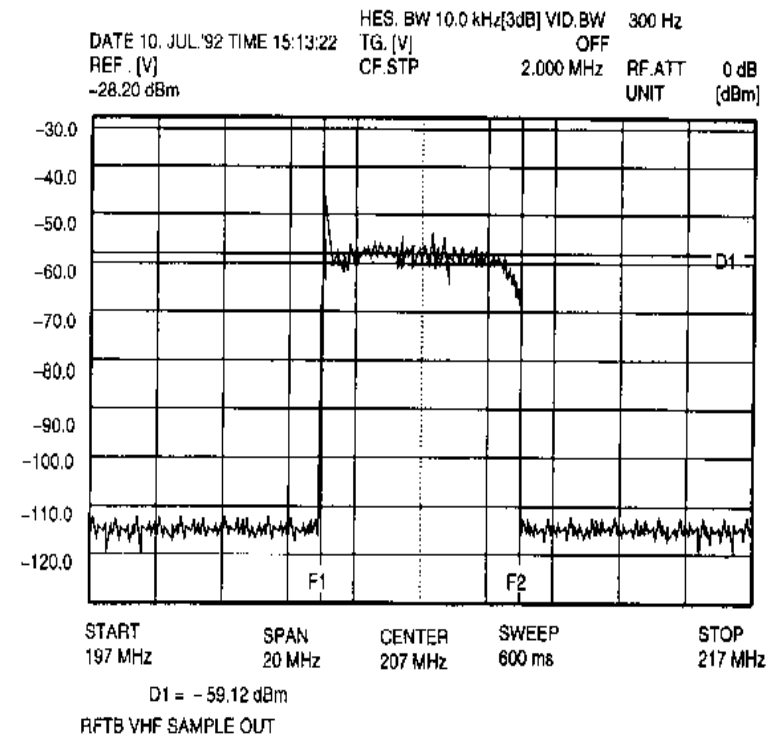
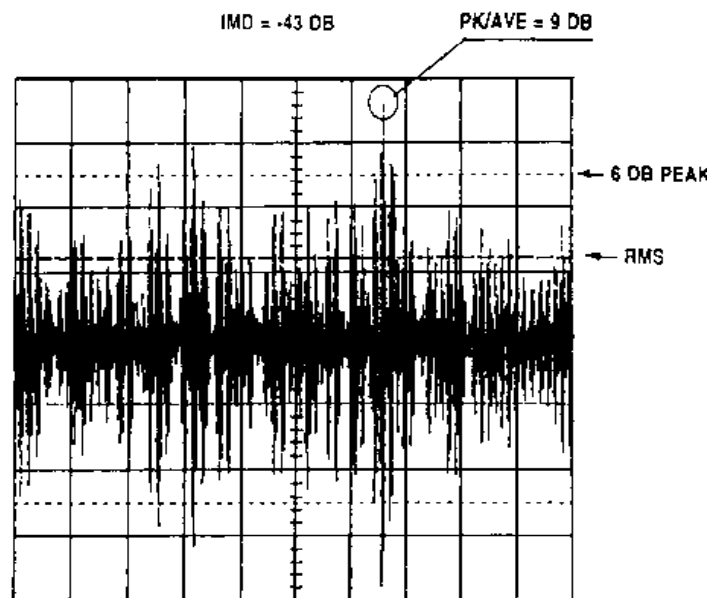
No
Transmissor:



No
Receptor:

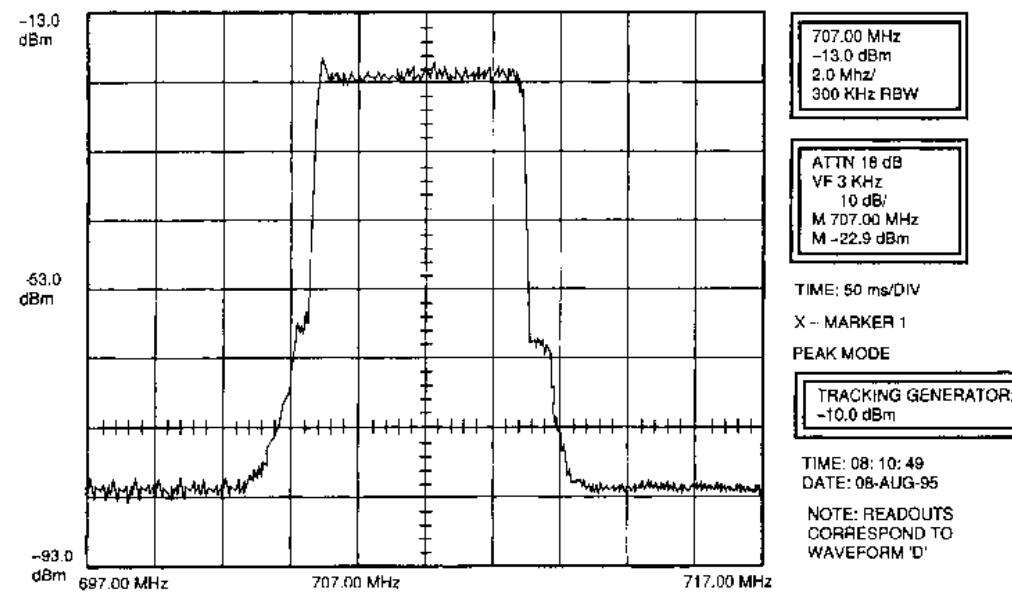


Envoltória e Espectro do 8-VSB



Espectro 8-VSB após Limitação de Picos em +6dB

LCS
EPUSP



Desempenho do Sistema ATSC

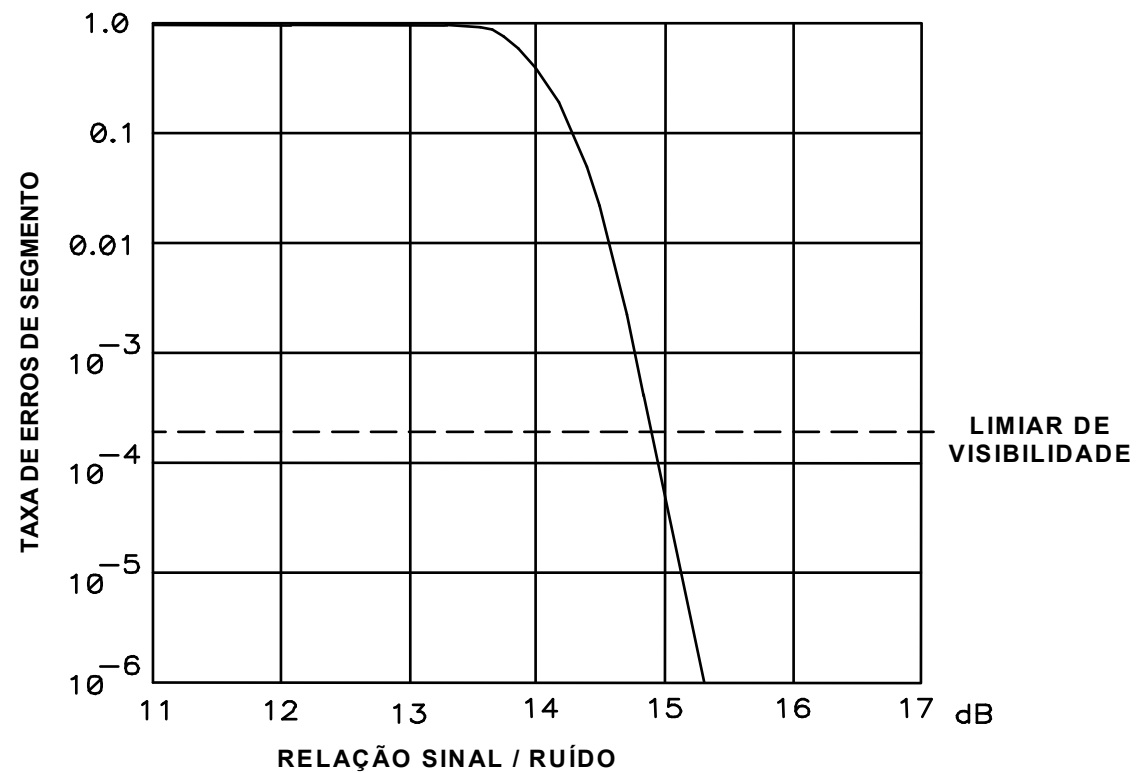
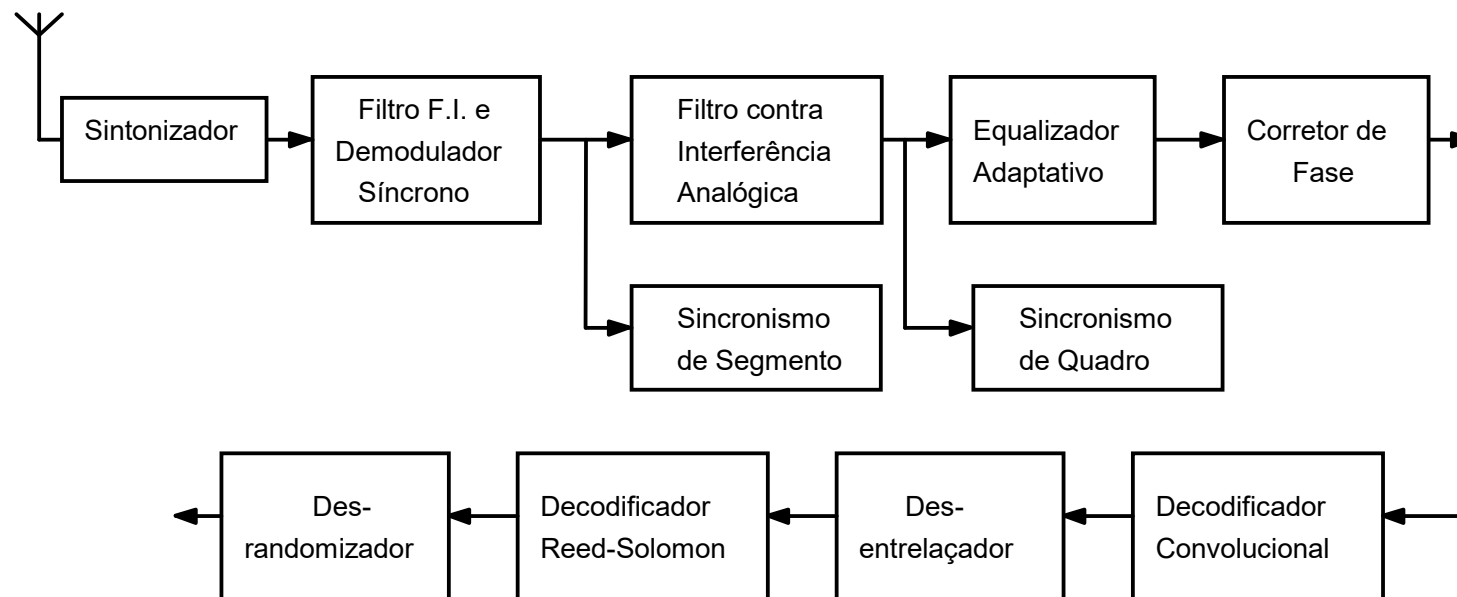
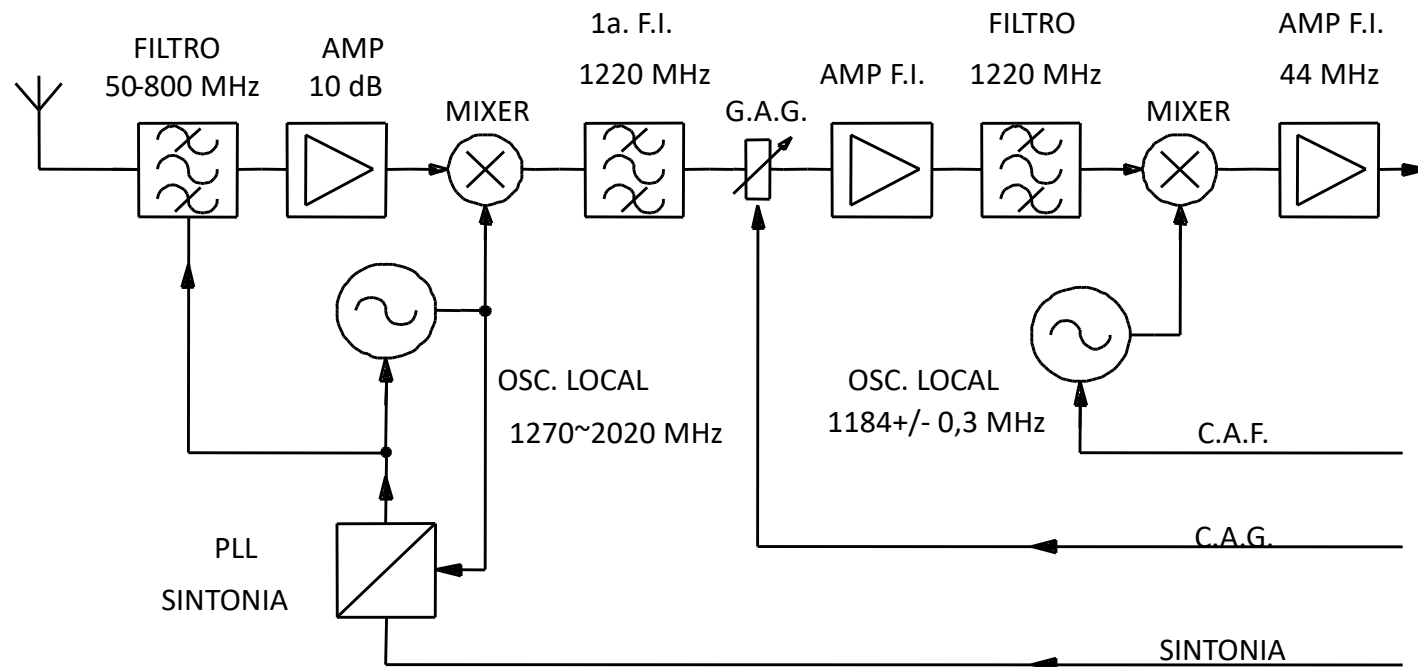


Diagrama de Blocos de um Receptor ATSC

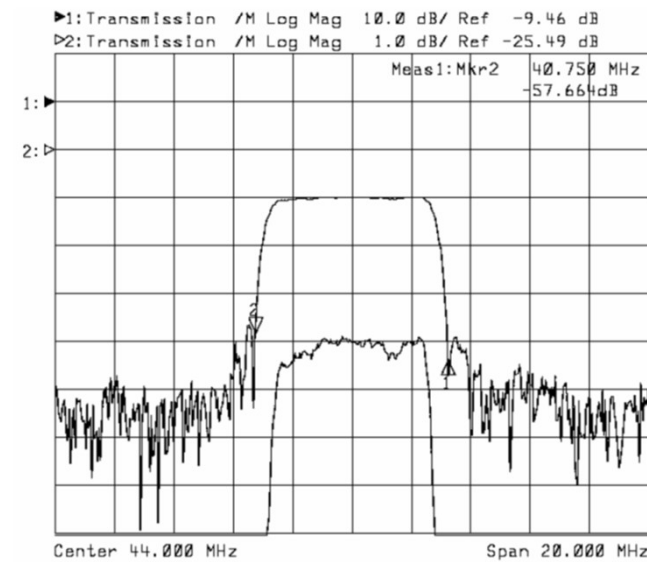
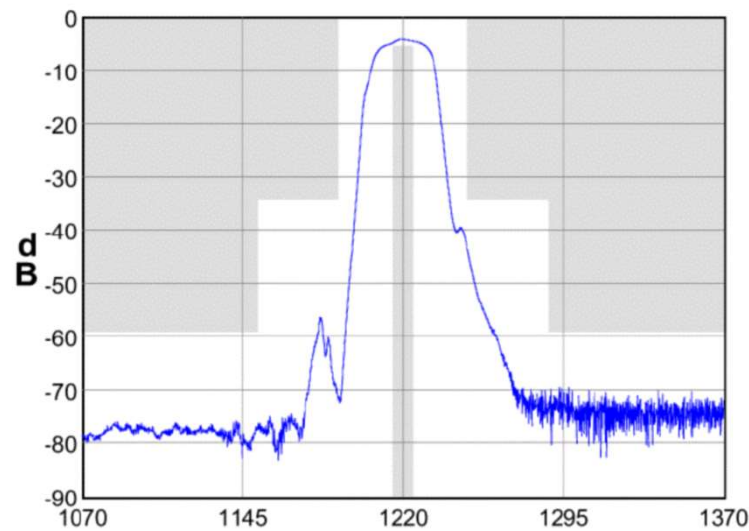


Sintonizador com Conversão Para Cima

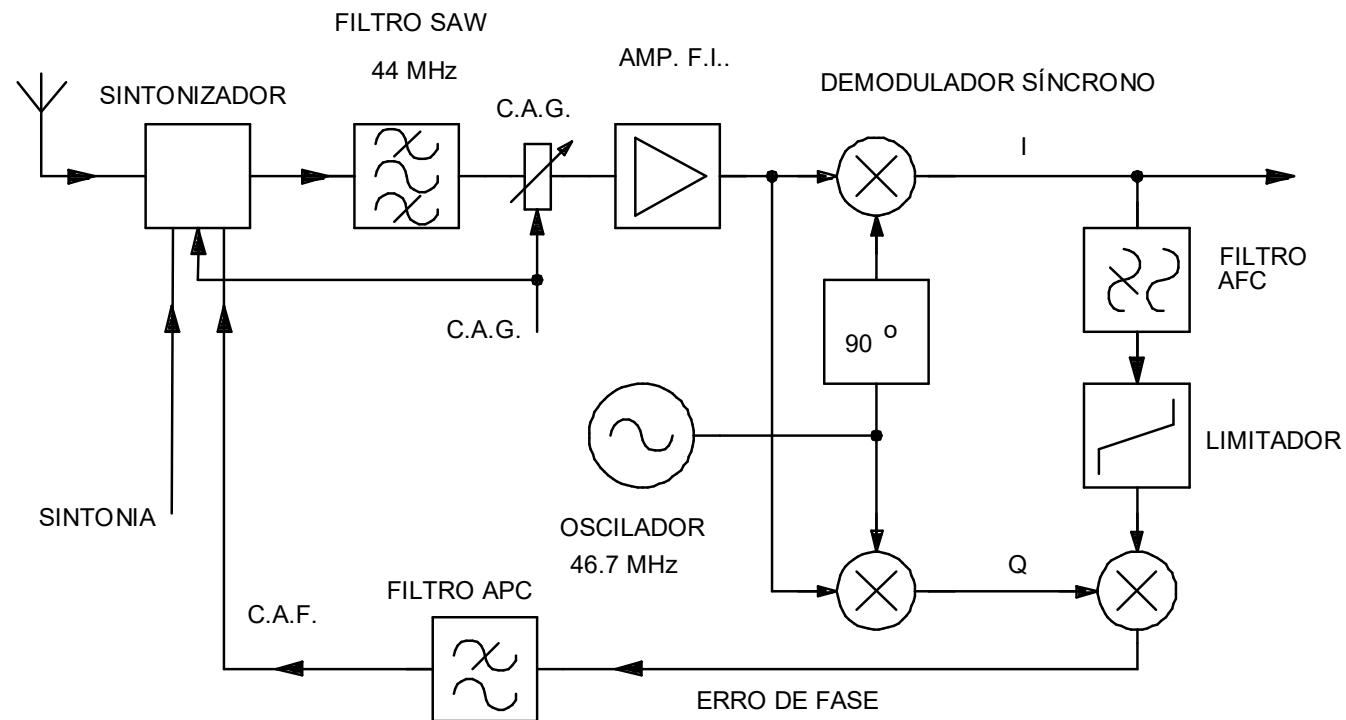


Filtros SAW p/ Dupla Conversão (1220 MHz e 44 MHz)

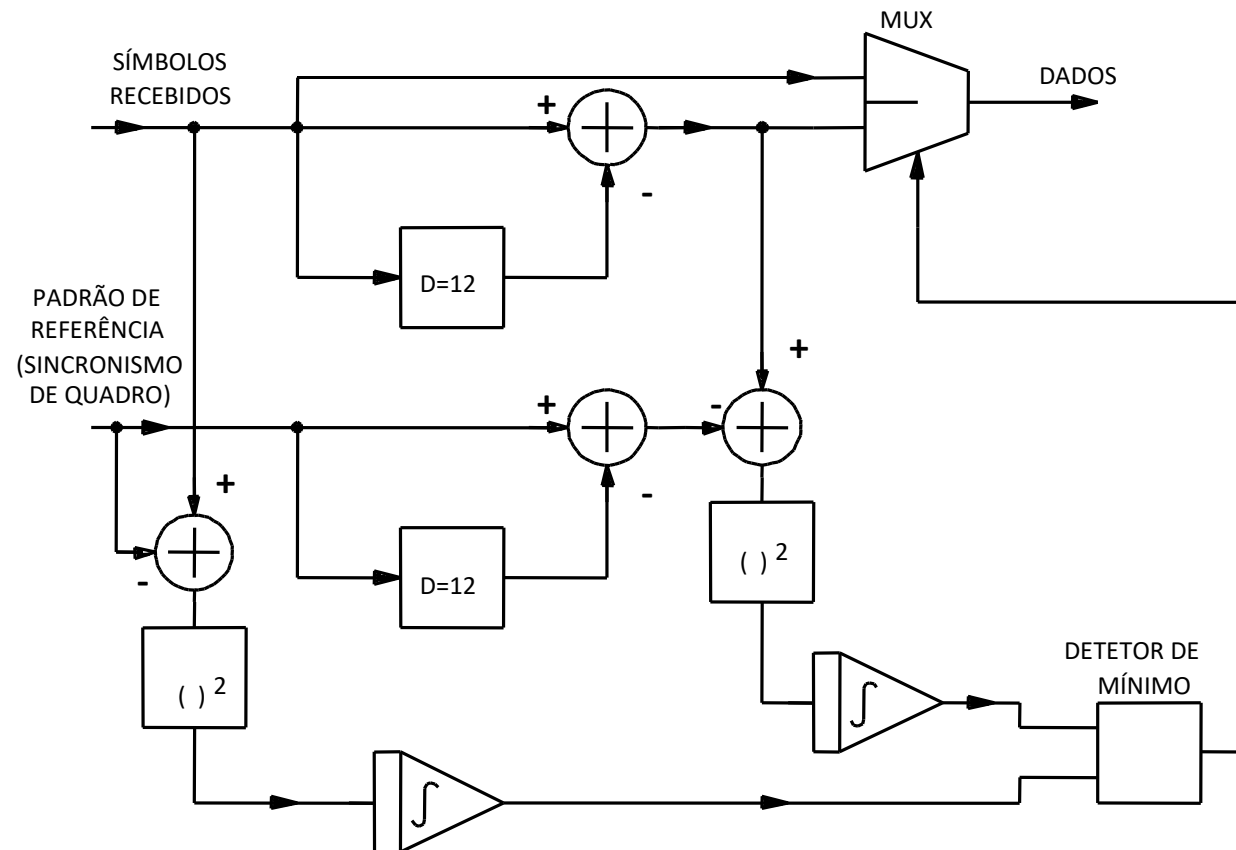
LCS
EPUSP



Filtro de F.I. e Controle Automático de Frequência



Filtro contra Interferência de Sinal de TV Analógica



Filtro contra Interferência de Sinal de TV Analógica

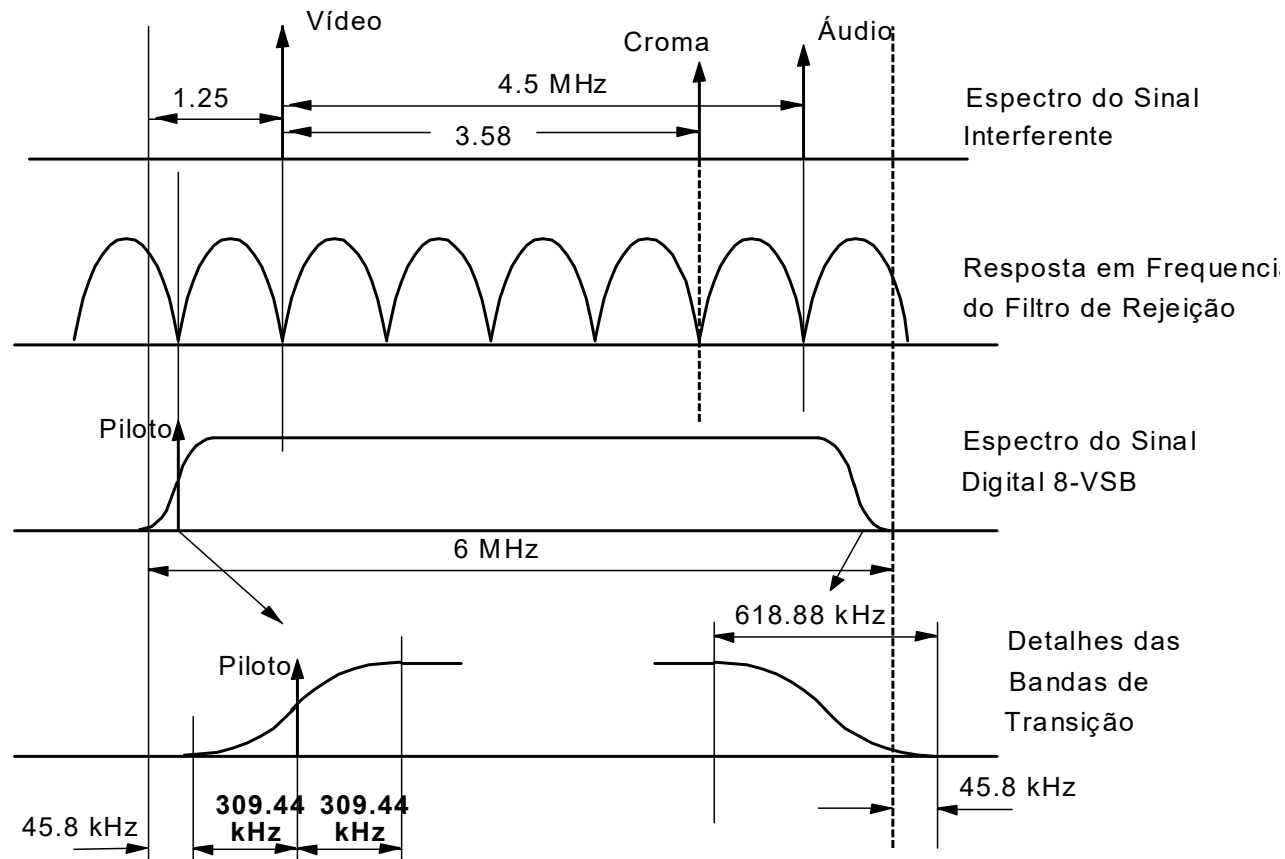
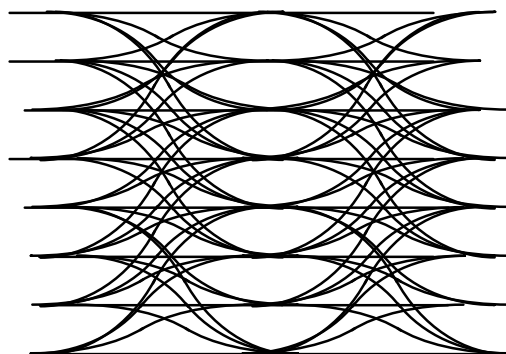
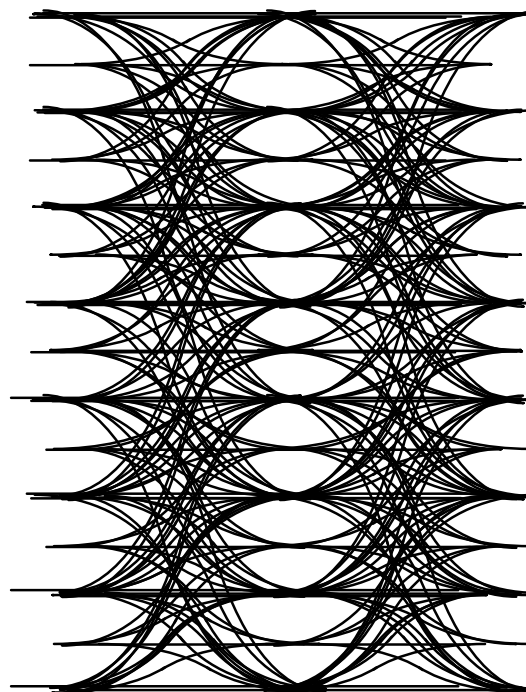


Diagrama de Olho com Filtro contra Interferências

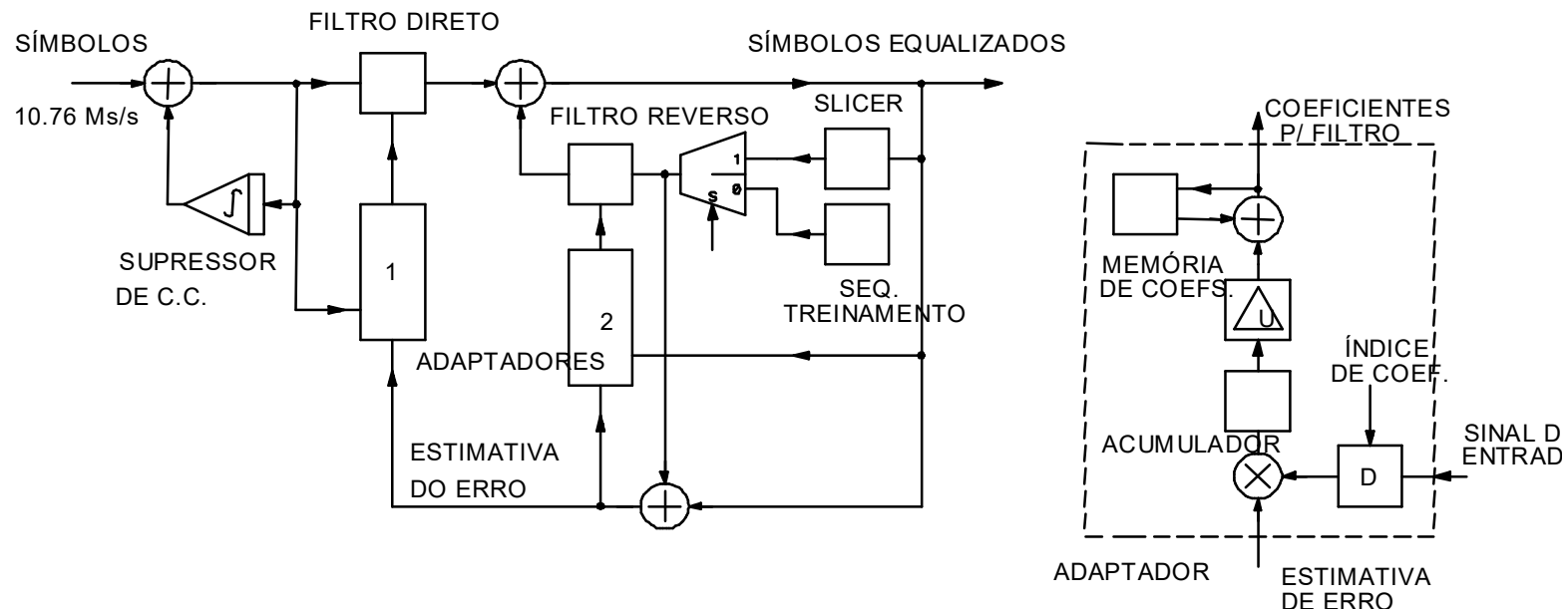
Sinal 8-VSB
sem Filtro de Interferência



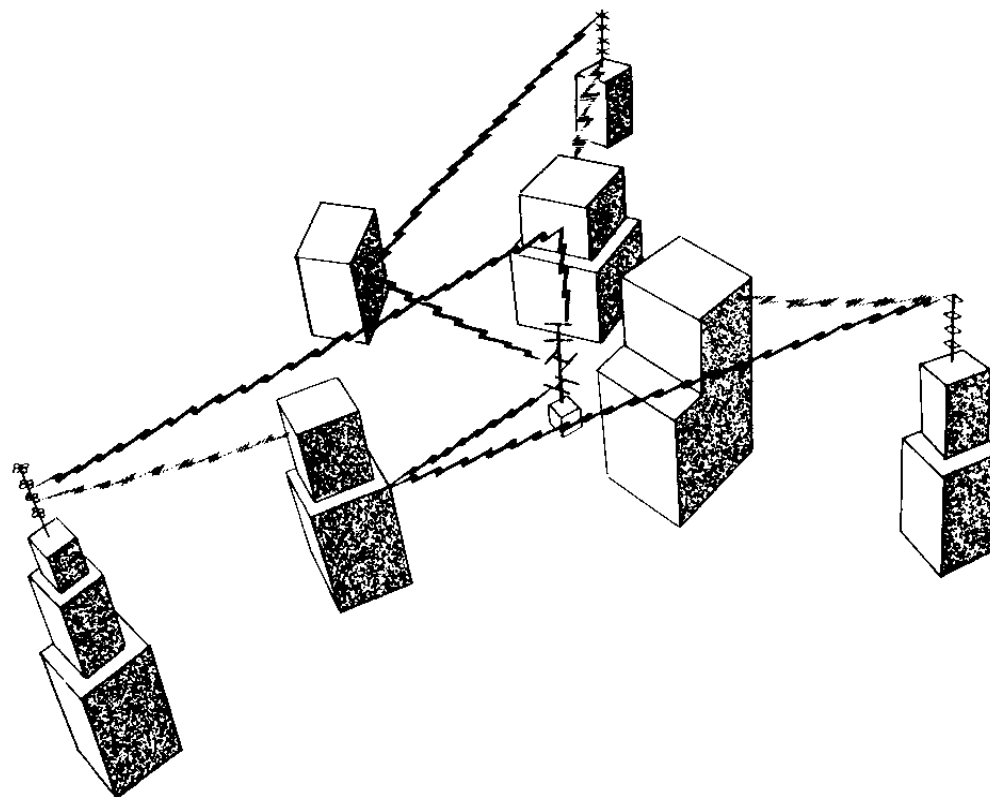
Após Filtro de Interferência
(15 níveis)



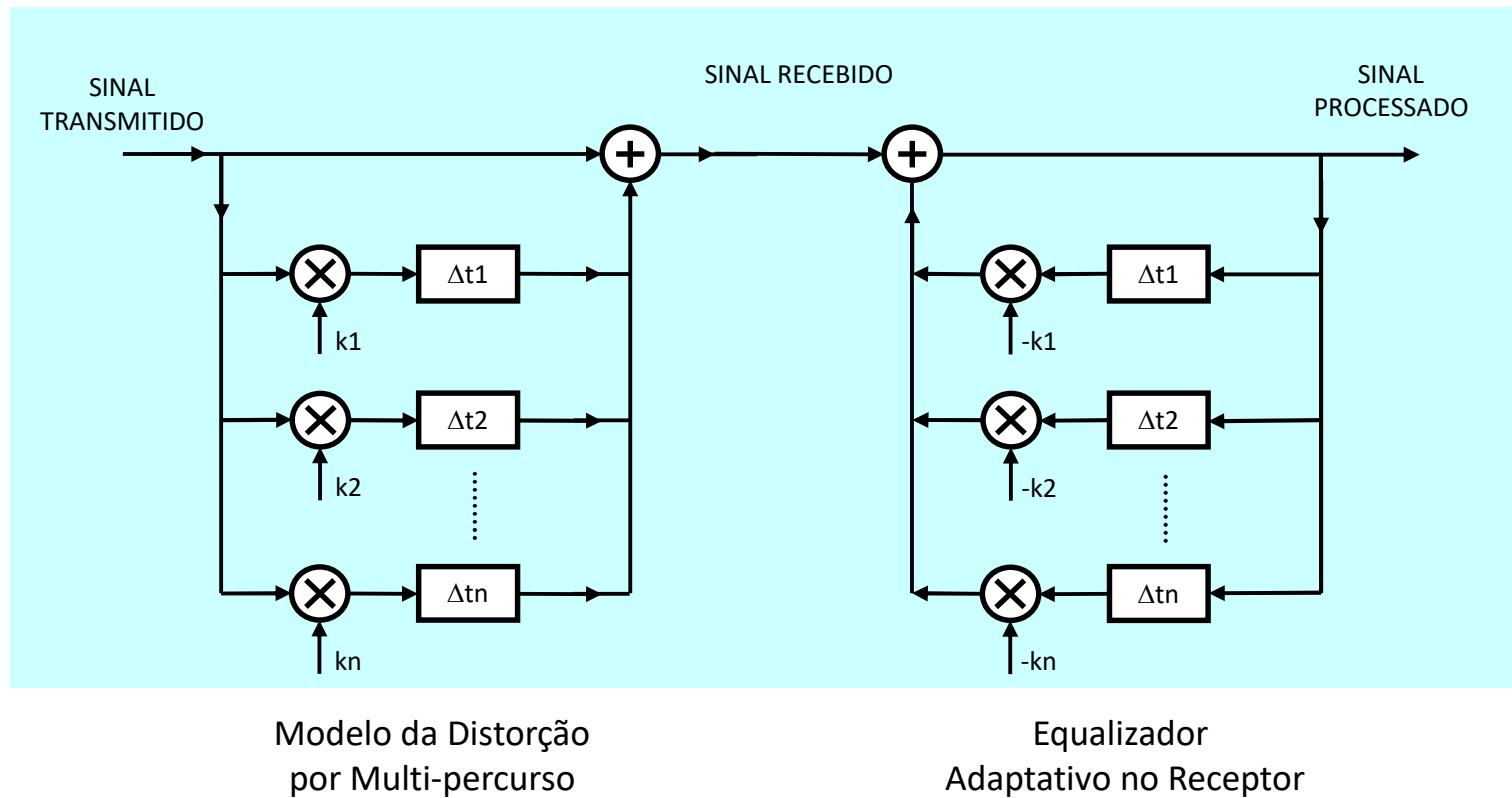
Equalizador Adaptativo de Canal



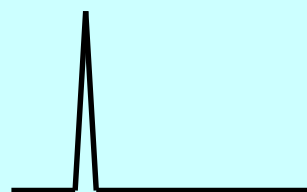
Distorção por Multi-Percurso



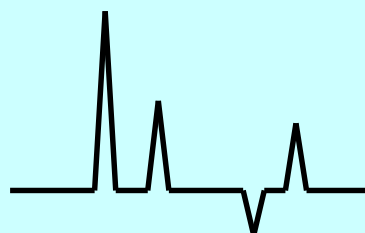
Multi-percurso e Equalização



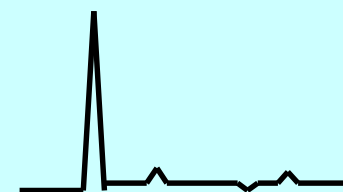
Cancelamento de Eco pelo Equalizador



SINAL
TRANSMITIDO

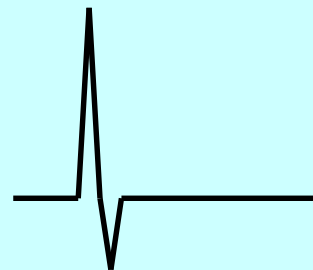


SINAL
RECEBIDO
COM ECOS

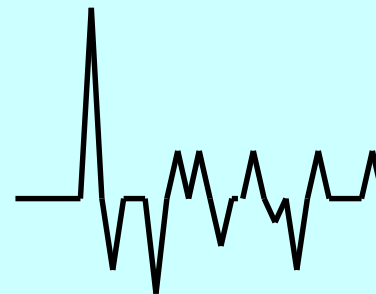


SINAL
PROCESSADO

Multiplicação do Ruído Impulsivo pelo Equalizador



RUÍDO IMPULSIVO
RECEBIDO

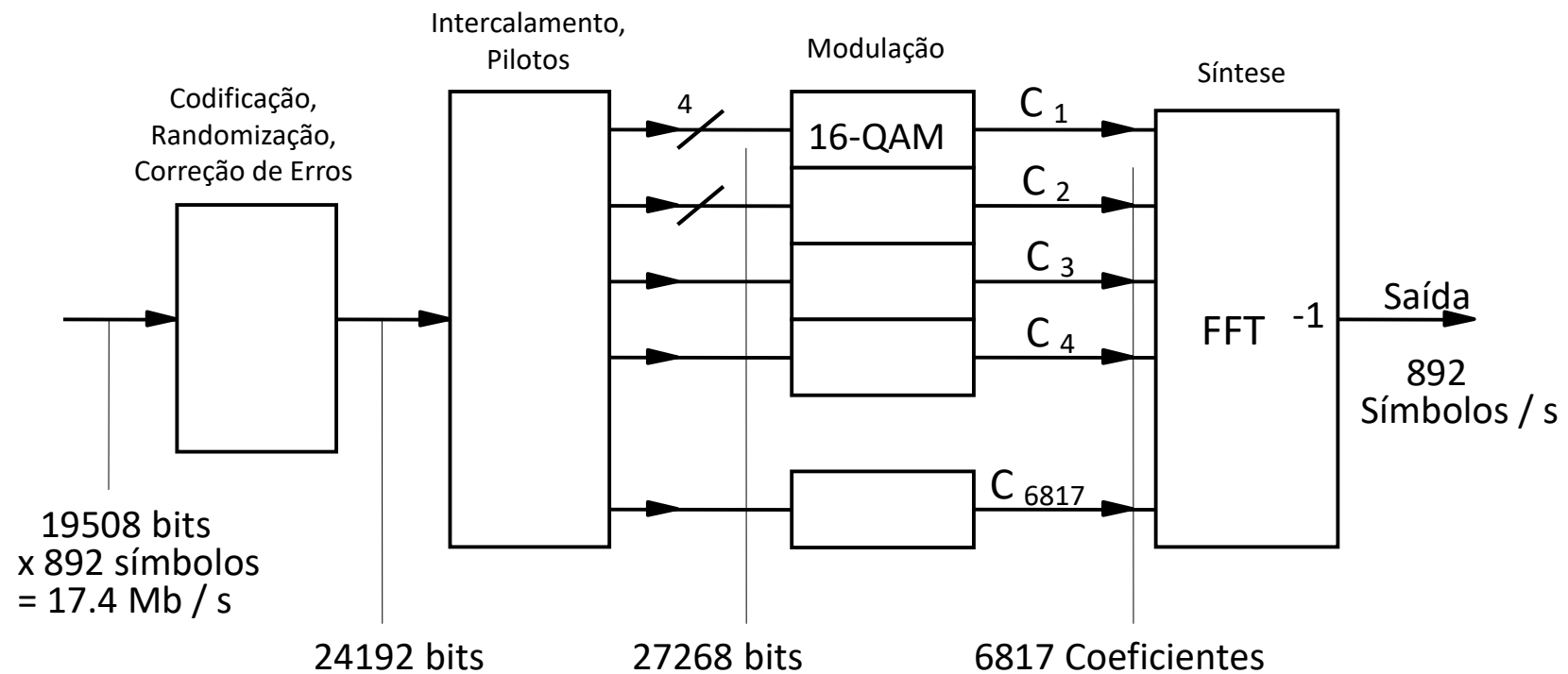


RUÍDO
PROCESSADO

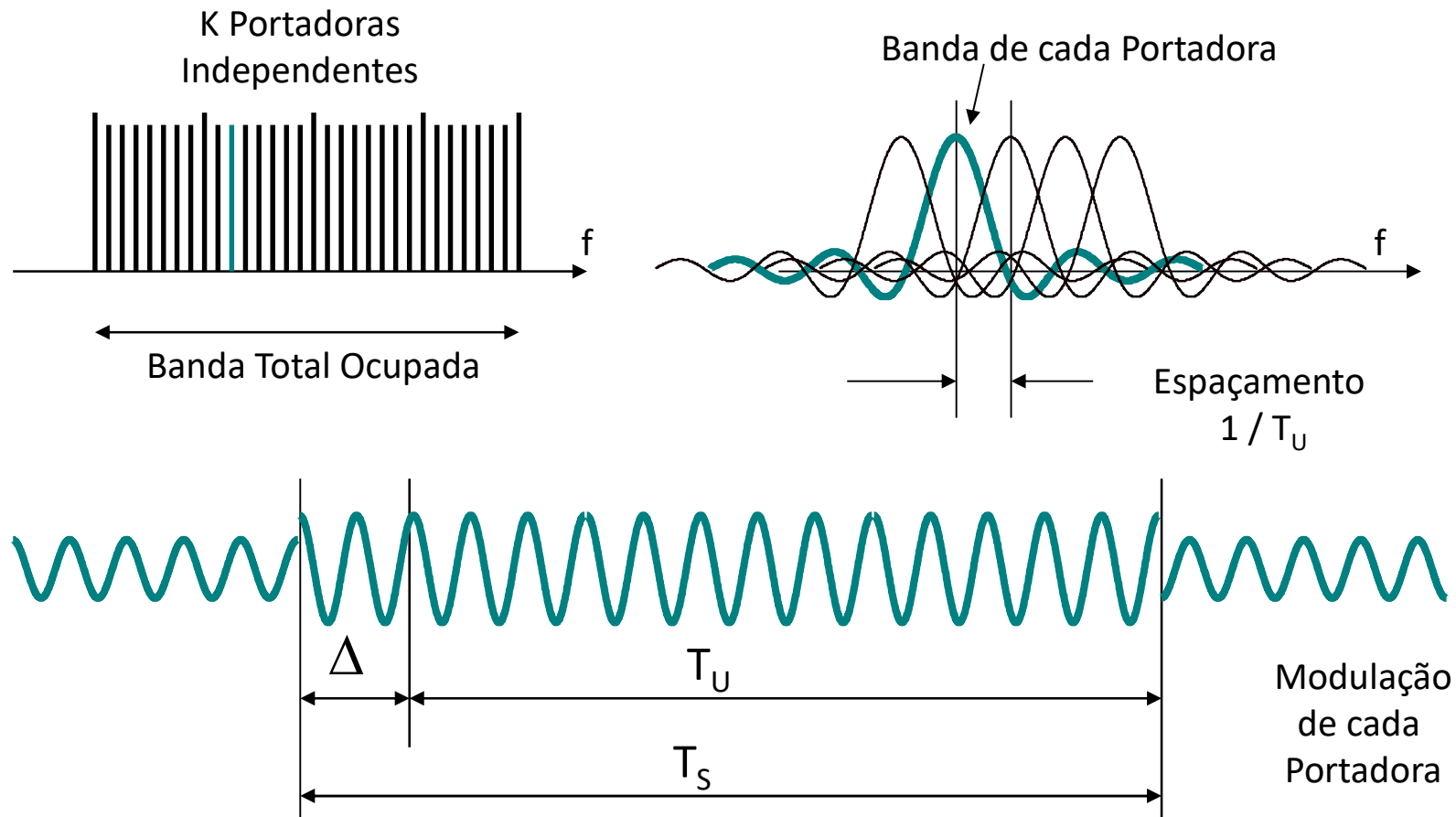
Sistema DVB-T – *Digital Video Broadcasting - Terrestrial*

- Aprovado para radiodifusão terrestre de TV Digital na Europa em 1997
- Compressão de Vídeo e Áudio: MPEG-2
- Transporte: Pacotes MPEG-2
- Modulação: COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex)
- Ocupação de Banda: Canal de 8 MHz

Modulação COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex)



Espectro do Sinal OFDM



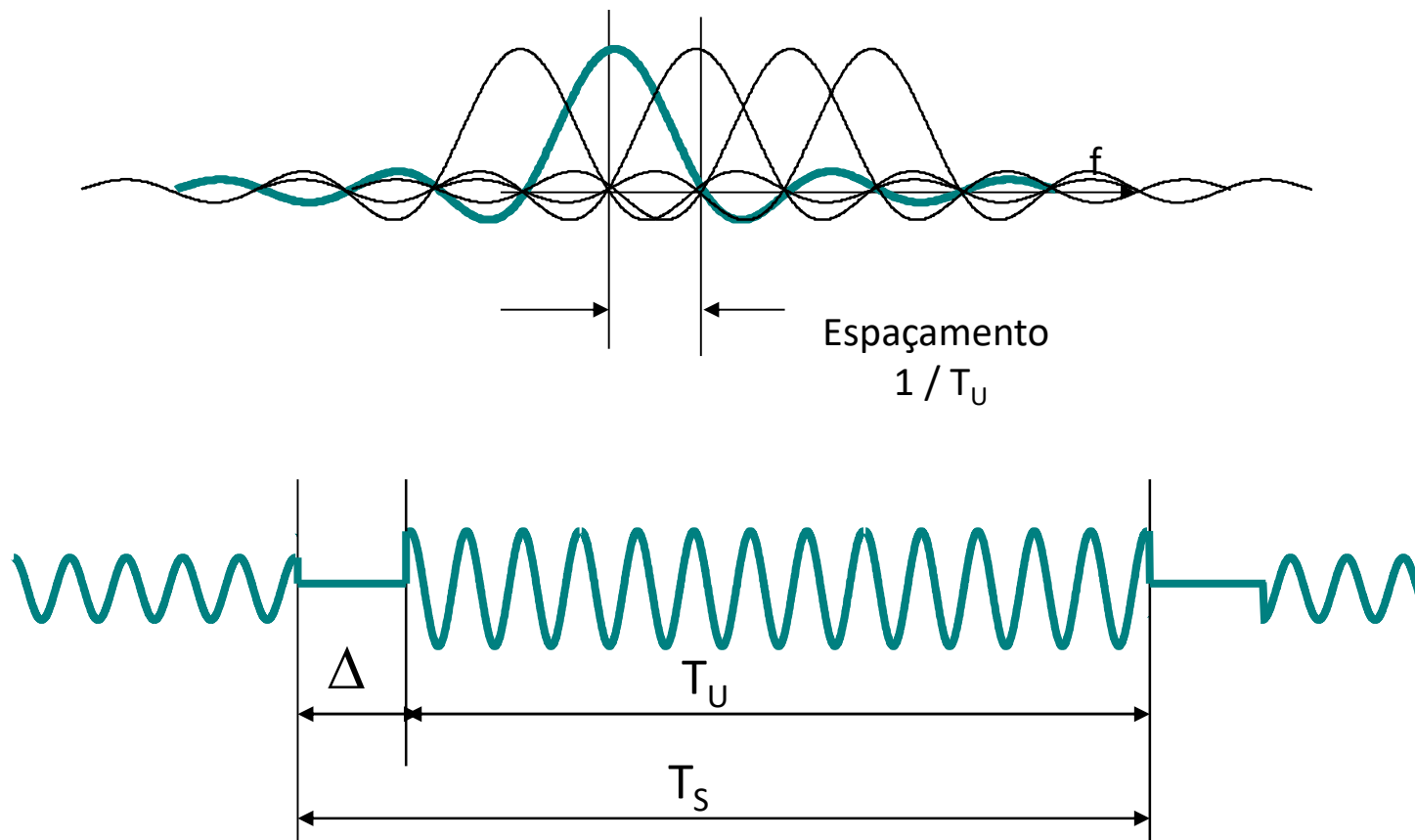
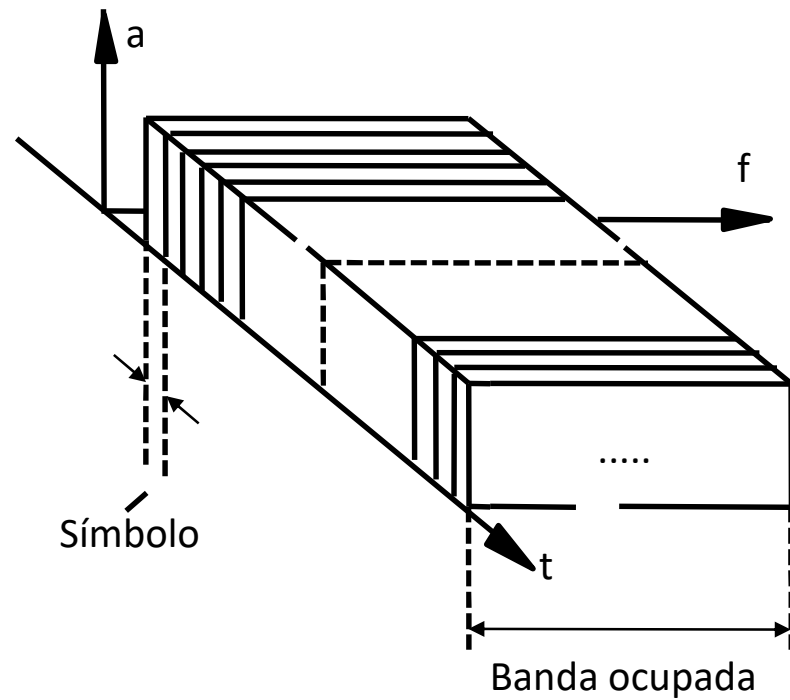
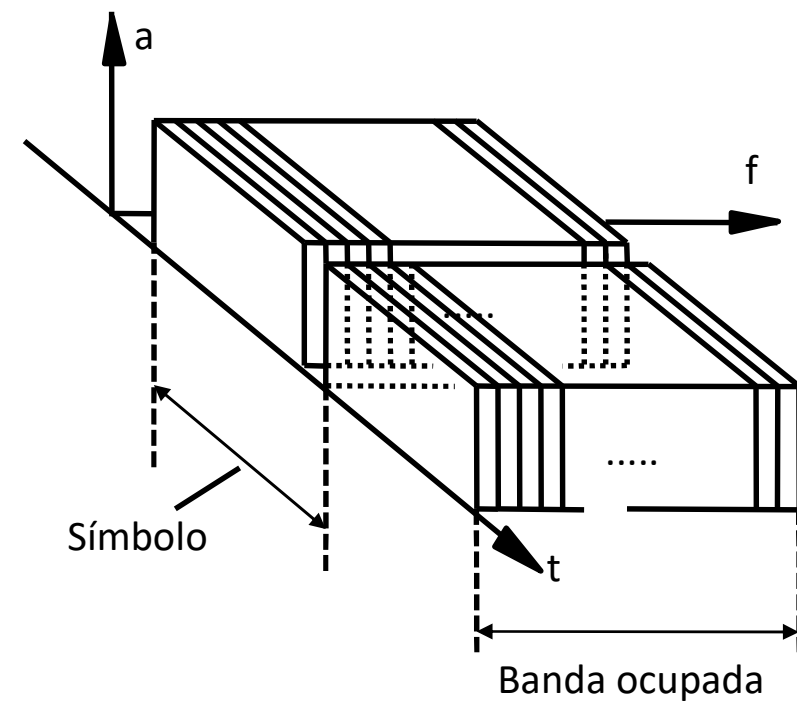


Diagrama Tempo / Frequência

LCS
EPUSP

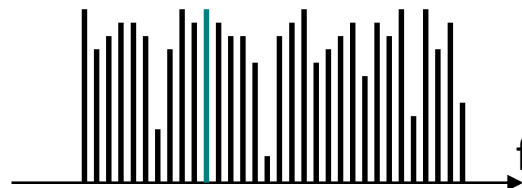
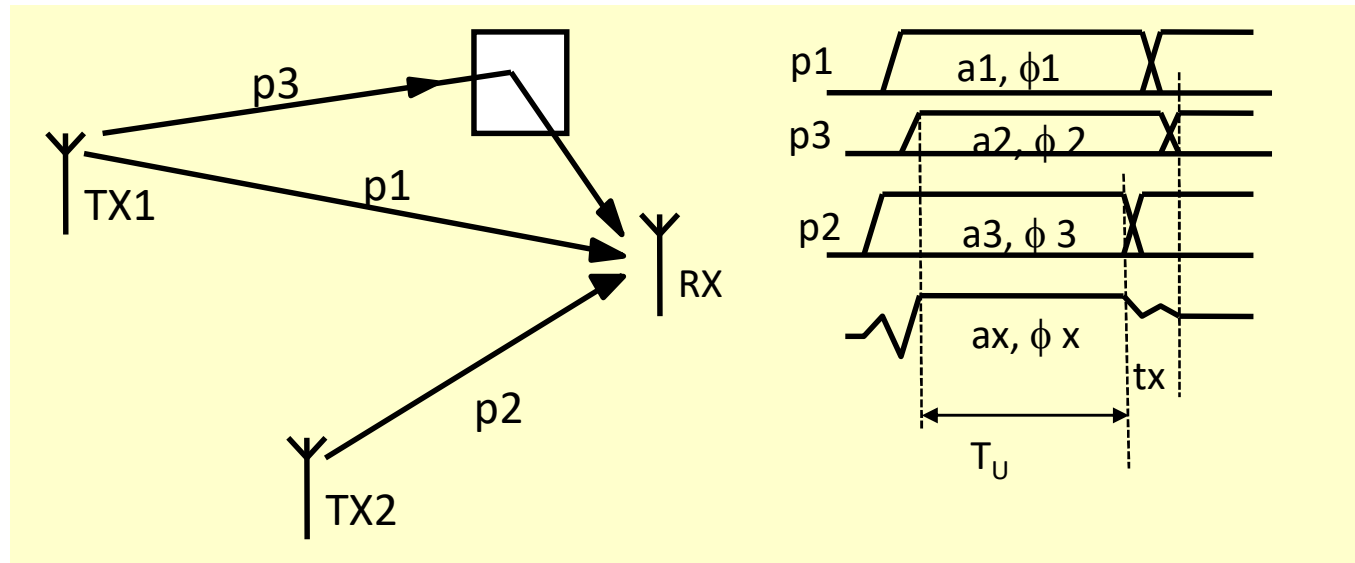


ATSC



OFDM

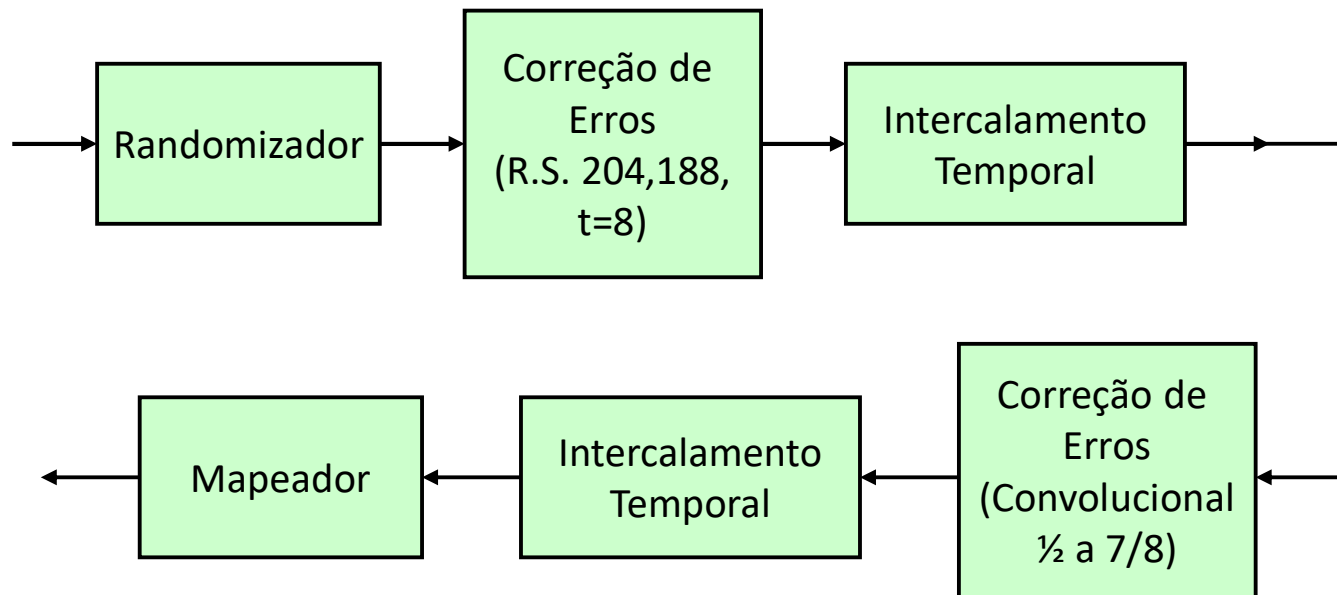
Efeito de Multi-percurso no OFDM

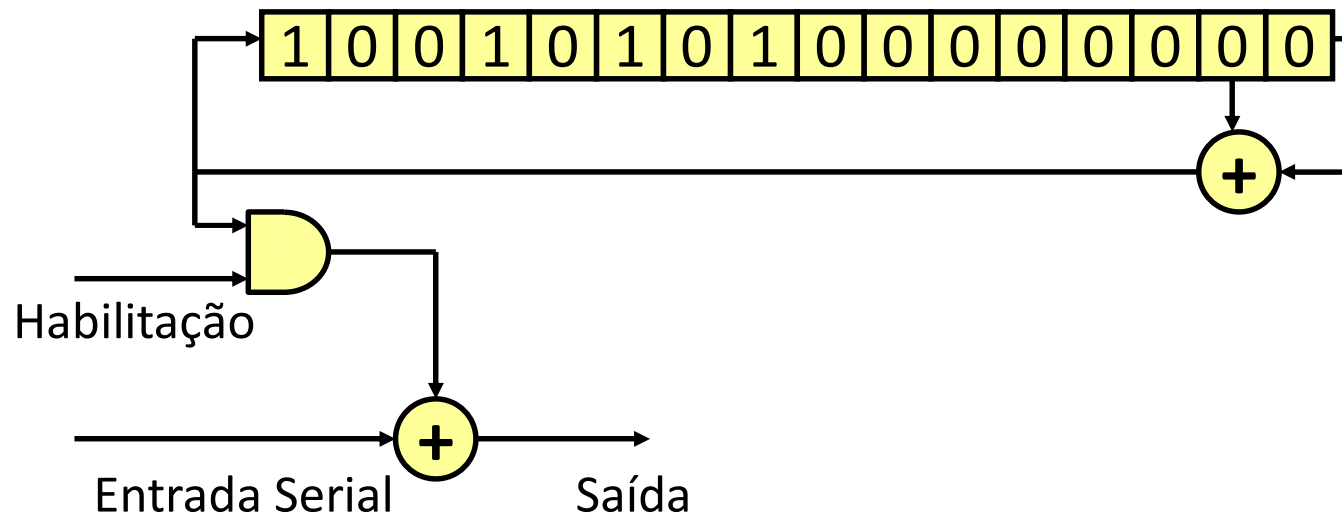


Modos DVB-T

Parâmetro	Modo 2K	Modo 8K
Número de Portadoras (K)	1705	6817
Portadoras Úteis	1512	6048
Portadoras Piloto Contínuas	45	177
Portadoras de Controle (TPS)	17	68
Duração Útil do Símbolo (T_U)	224 μ s (2048T)	896 μ s (8192 T)
Espaçamento entre Portadoras($1/ T_U$)	4464 Hz	1116 Hz
Ocupação de Banda ($K \times 1/ T_U$)	7.611 MHz	7.608 MHz
Intervalo de Guarda (Δ) (8 MHz)	56, 28, 14, 7 μ s	224, 112, 56, 28 μ s
Duração do Símbolo ($\Delta + T_U$)	280 – 231 μ s	1120 – 924 μ s

Largura do Canal	8 MHz	7 MHz	6 MHz
T (μ s)	7/64=0.109375	1/8=0.1250	7/48=0.14583

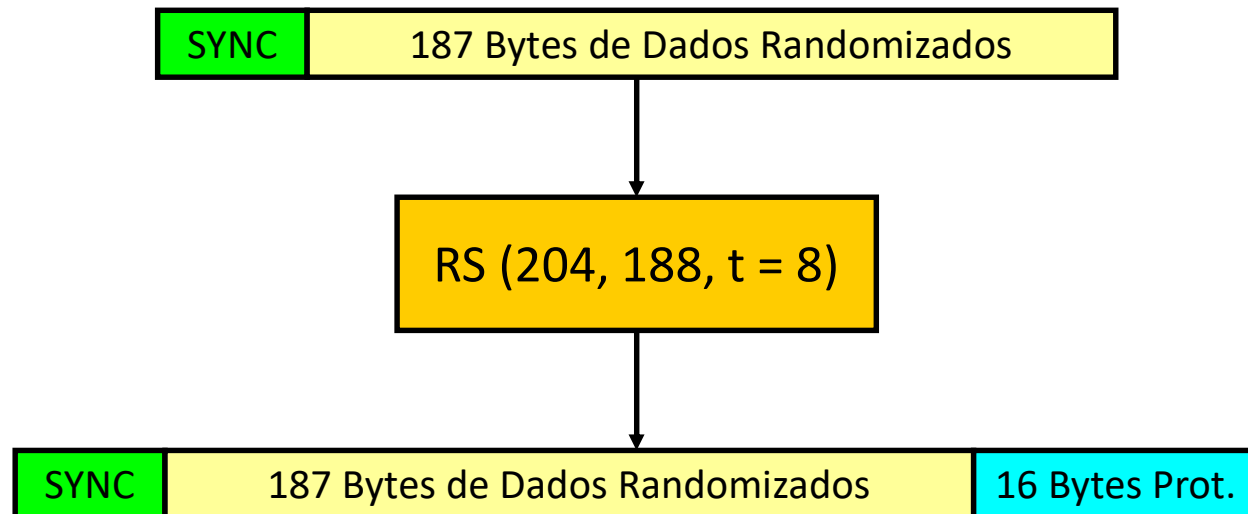




Polinômio Gerador: $X^{15} + X^{14} + 1$

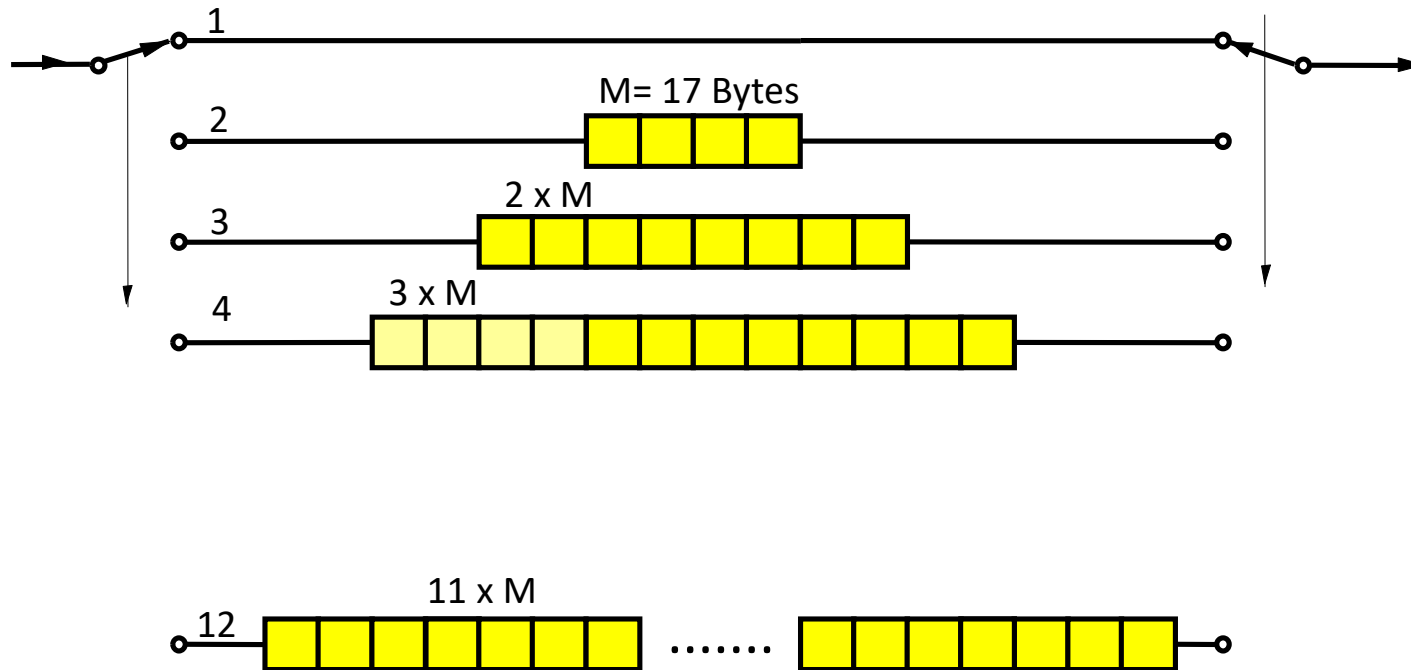
Habilitação: = 0 durante Byte SINC MPEG

Inicialização: cada 8 pacotes MPEG (1504 bits)

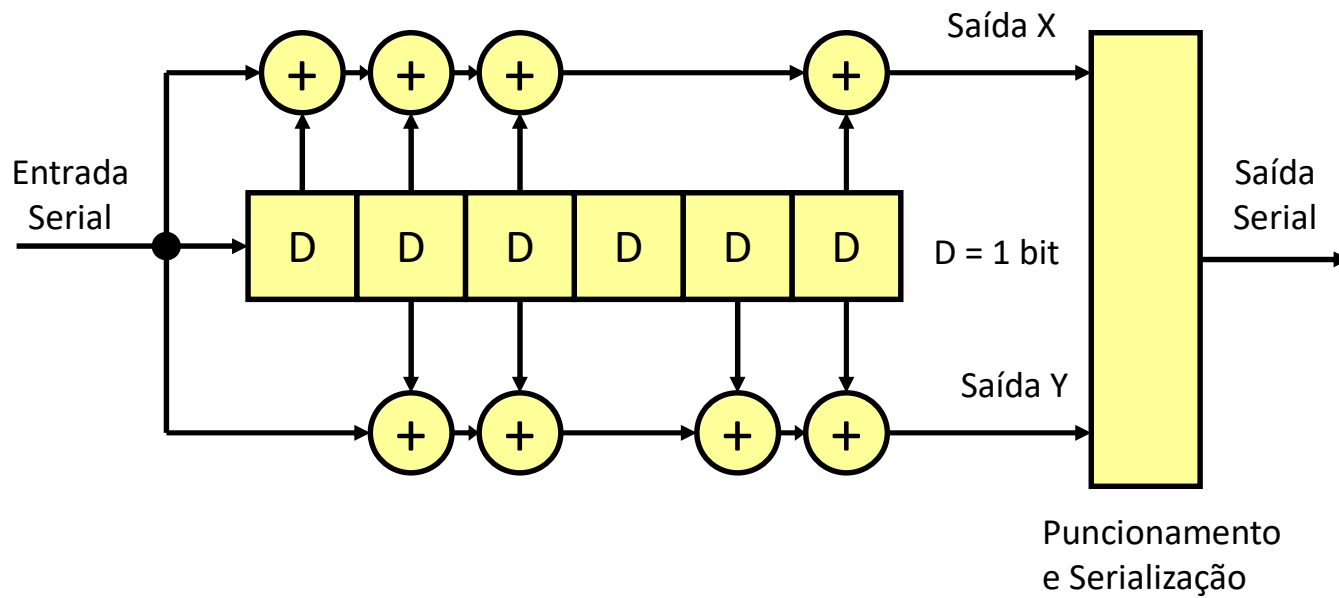


OBS: SYNC é invertido (47h para B8h) cada 8 pacotes.

Intercalador Temporal



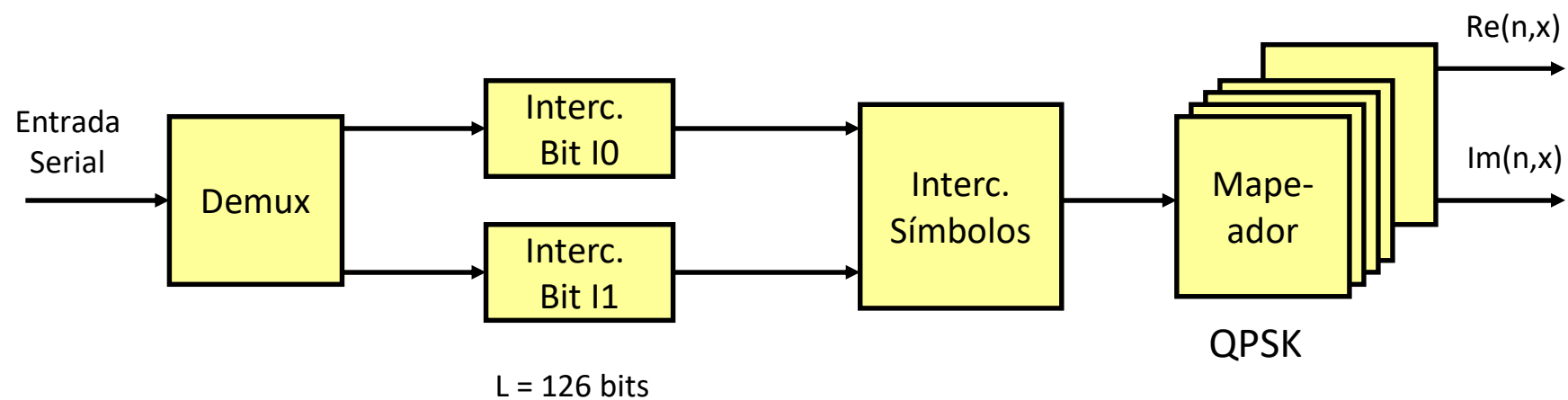
$$12 \times 17 = 204 \text{ bytes}$$



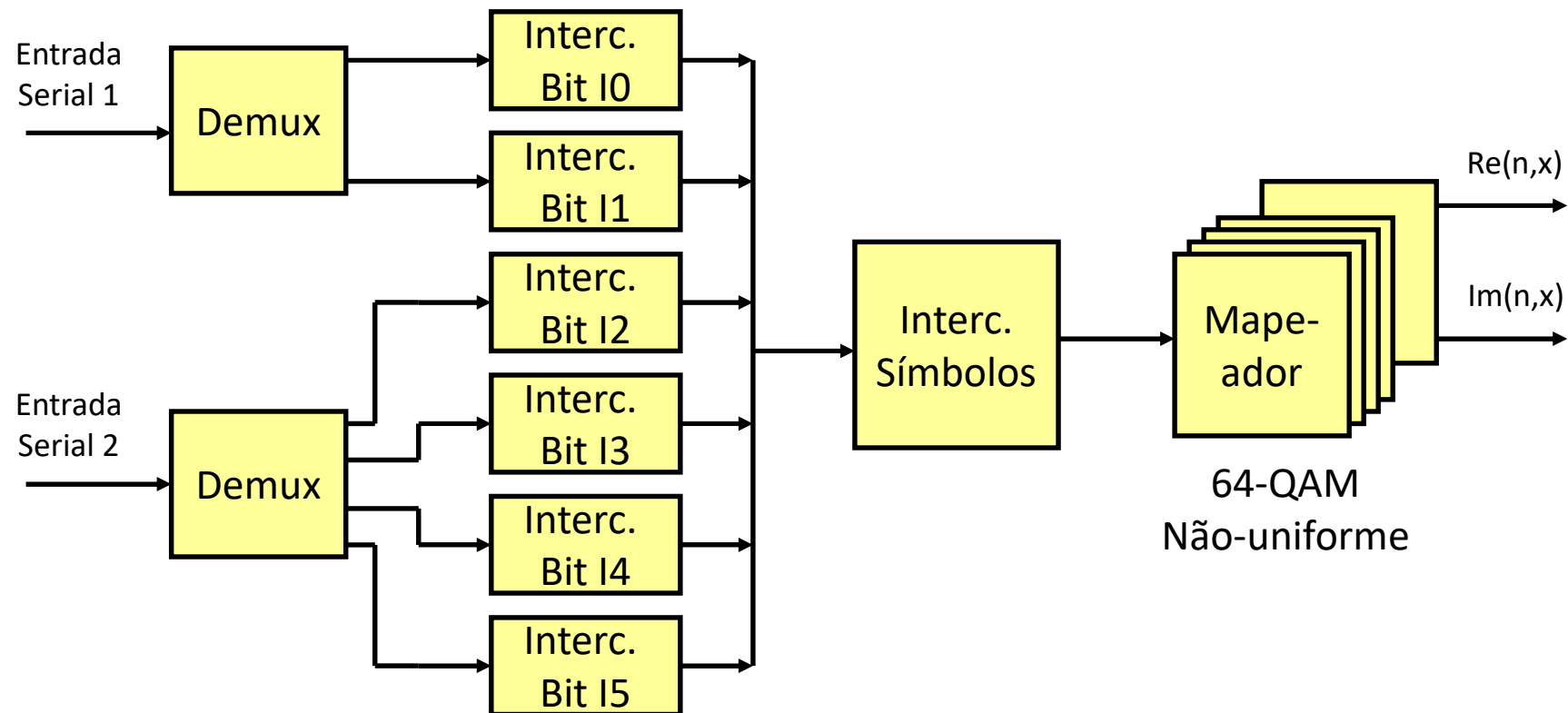
Padrões de Puncionamento dos Códigos Convolucionais

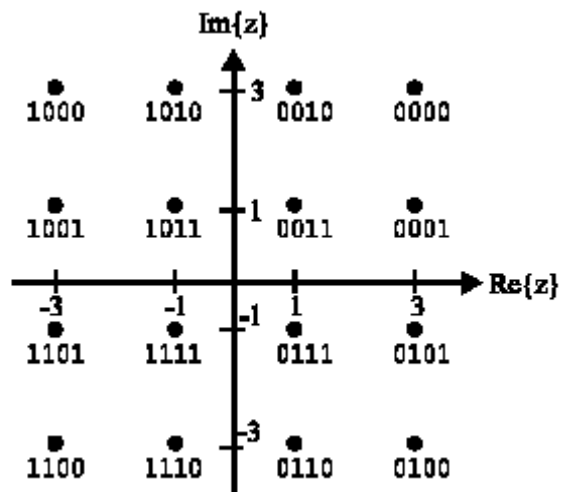
Taxa	Padrão de Puncionamento	Sequência de Bits Transmitidos
1/2	X: 1 Y: 1	X1 Y1 X2 Y2 X3 Y3 ...
2/3	X: 1 0 Y: 1 1	X1 Y1 Y2 X3 Y3 Y4...
3/4	X: 1 0 1 Y: 1 1 0	X1 Y1 Y2 X3 X4 Y4 Y5 X6...
5/6	X: 1 0 1 0 1 Y: 1 1 0 1 0	X1 Y1 Y2 X3 Y4 X5 ...
7/8	X: 1 0 0 0 1 0 1 Y: 1 1 1 1 0 1 0	X1 Y1 Y2 Y3 Y4 X5 Y6 X7 ...

Intercalador de Bits / Símbolos (QPSK)

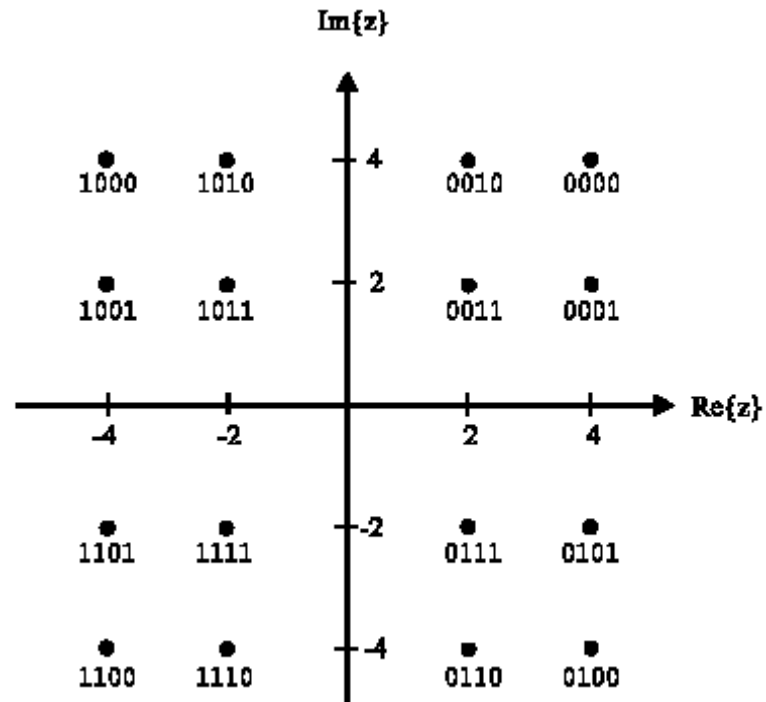


Intercalador (64-QAM Hierárquico)

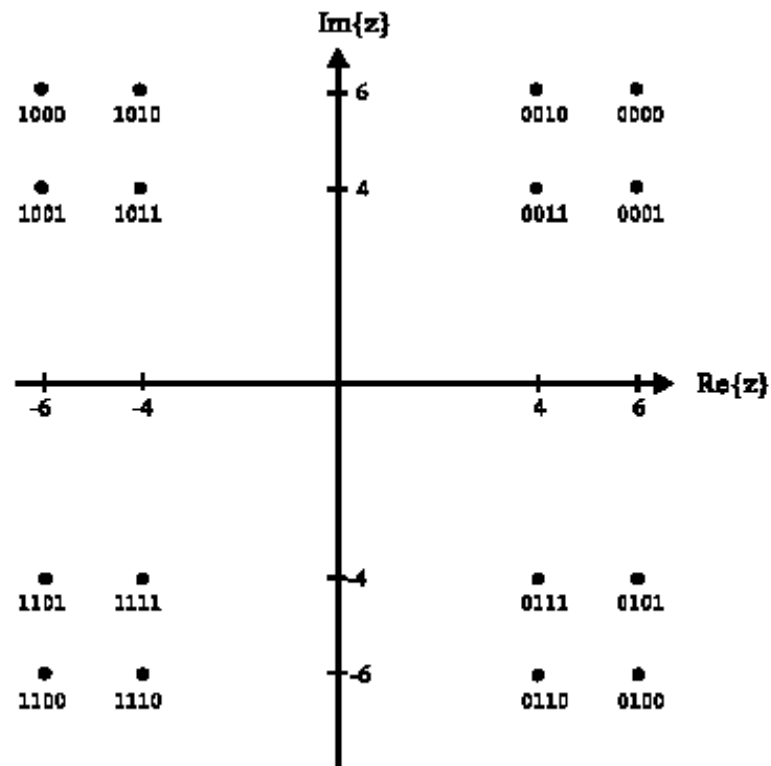




QAM-16

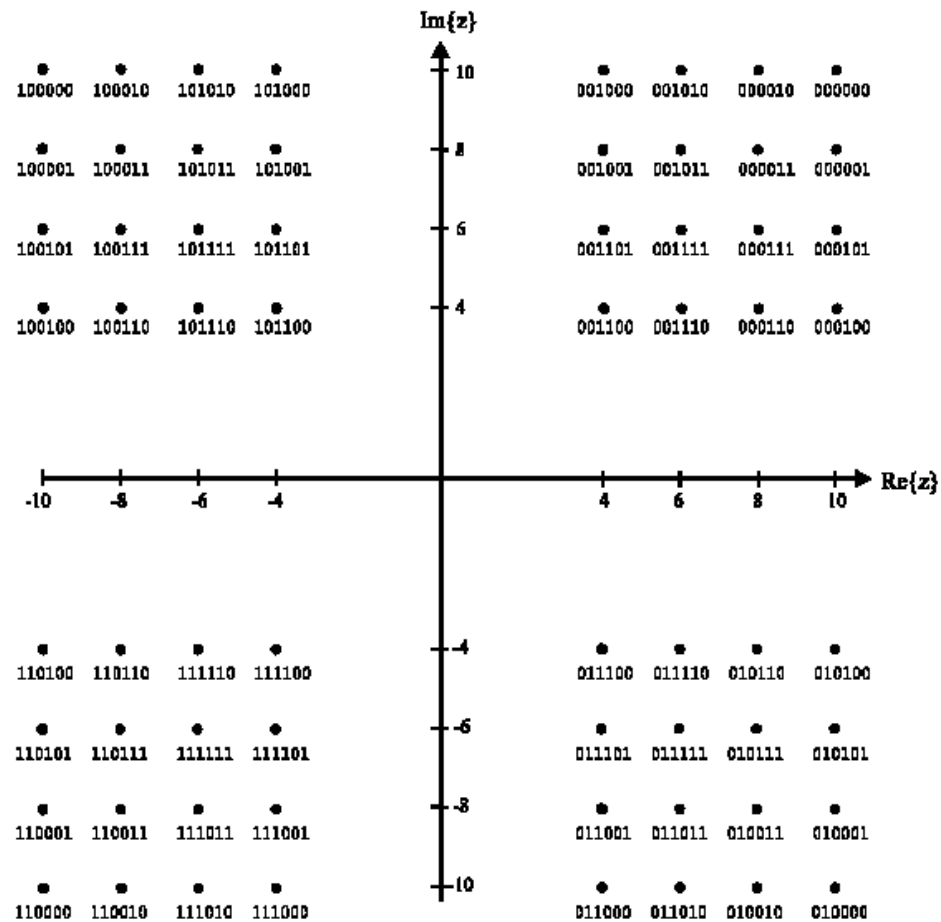


QAM-16 Não Uniforme ($\alpha=2$)

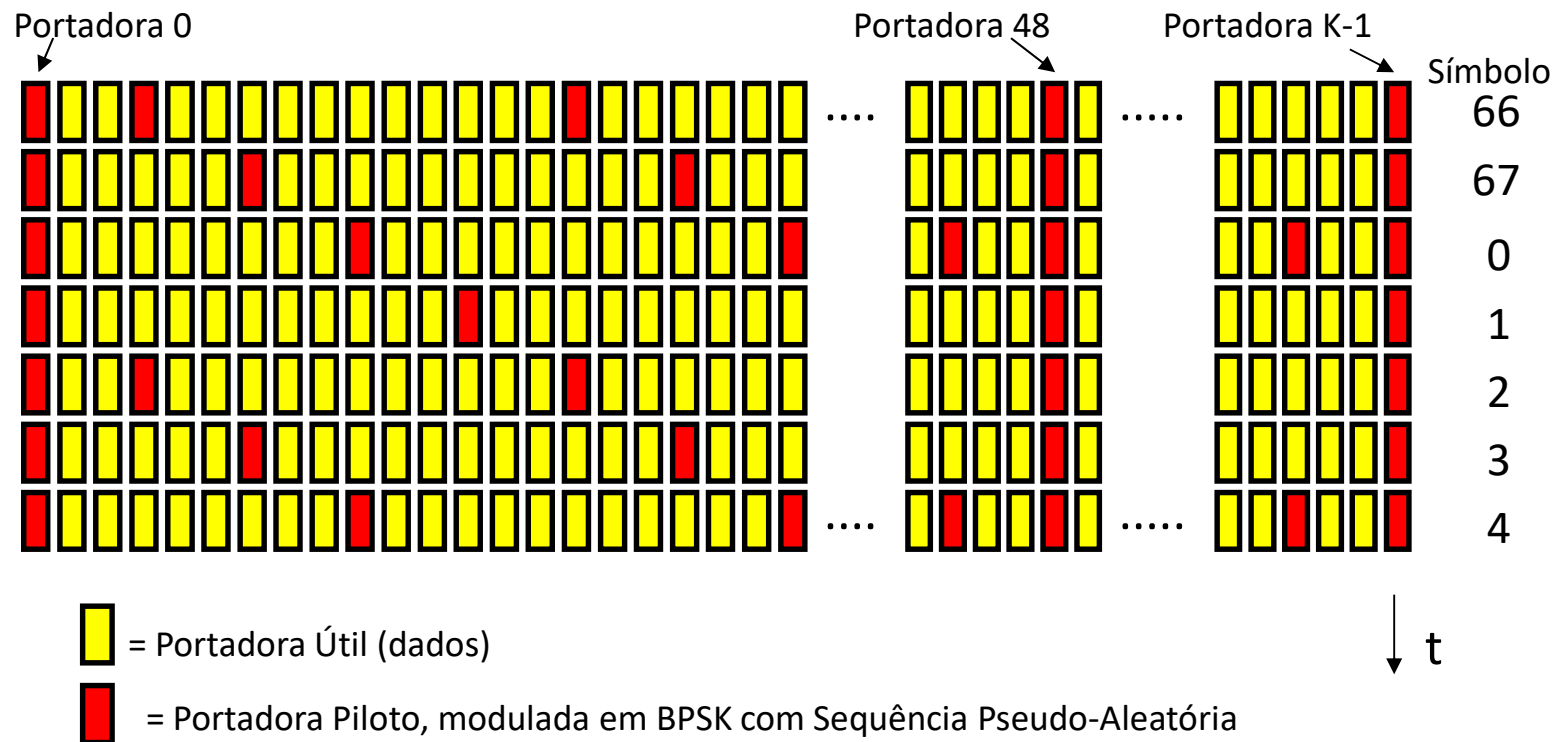


QAM-16 Não Uniforme ($\alpha=4$)

QAM-64
Não Uniforme
($\alpha=4$)



Portadoras Piloto



- Mesma Informação em cada símbolo para todas as portadoras TPS
- 1 bit por símbolo, codificação diferencial
- 68 símbolos consecutivos (1 Frame)
- 17 portadoras (Modo 2k) ou 68 portadoras (8k)

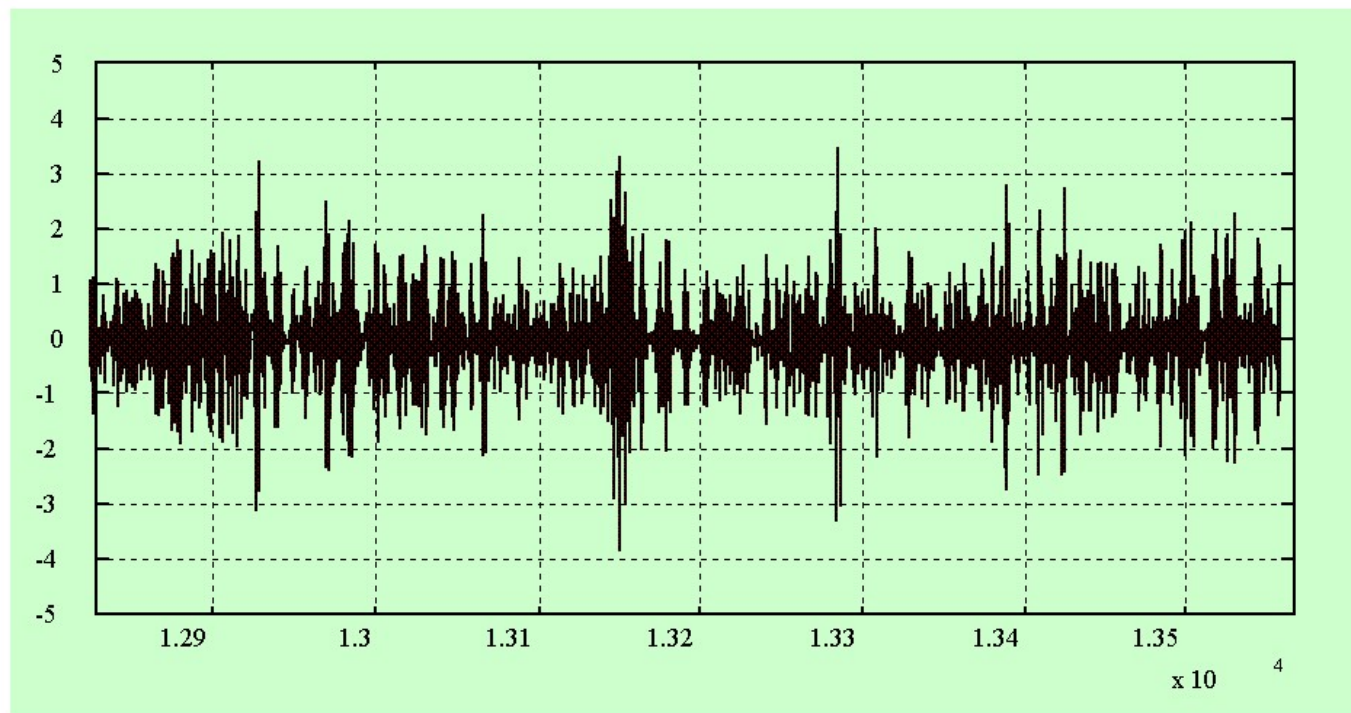
Alocação de Bits nas Portadoras TPS

Bit	Formato	Finalidade
0	-	Inicialização da modulação diferencial
1 a 16	0011010111101110 ou compl.	Sincronismo
17 a 22	010111 ou 011111	Comprimento
23, 24	00, 01, 10, 11	Número do Frame
25, 26	00, 01, 10	Constelação (QPSK, QAM-16, QAM-64)
27 a 29	000 a 011	Hierarquia (sem, $\alpha=1$, $\alpha=2$, $\alpha=4$)
30 a 32	000 a 100	Taxa Cód Convolutacional, Fluxo de Alta Prioridade
33 a 35	000 a 100	Idem, Baixa Prioridade (1/2, 2/3, 3/4 5/6, 7/8)
36, 37	00, 01, 10, 11	Intervalo de Guarda (1/32, 1/16, 1/8, 1/4)
38, 39	00, 01	Modo de Tansmissão (2k, 8k)
40 a 47	n	Identificador de Célula (Opcional)
40 a 53	0000000000000000	Reservados
54 a 67	Código BCH	Correção de Erros

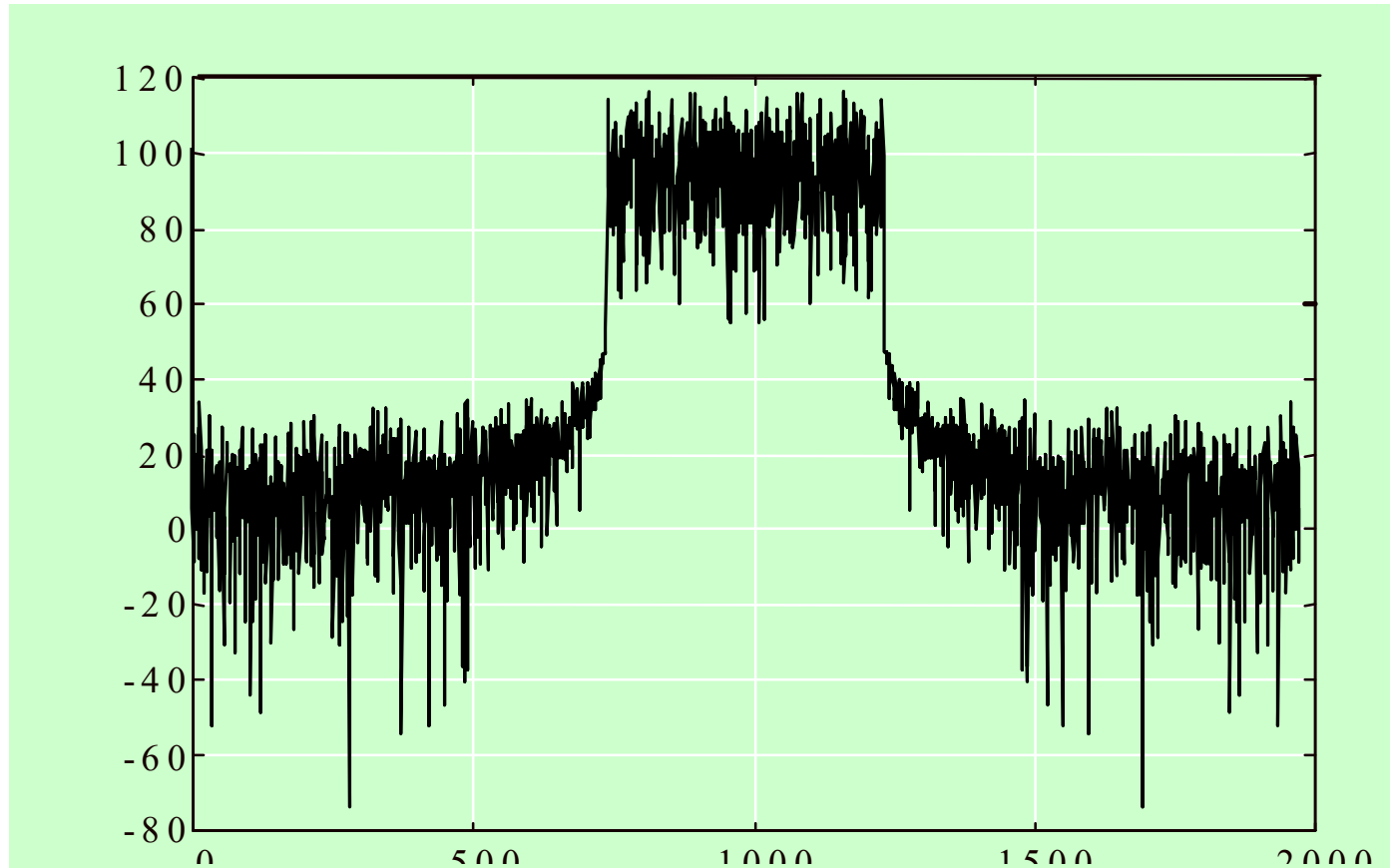
Desempenho do Sistema DVB-T

Modulation	Code rate	Required C/N for BER = 2×10^{-4} after Viterbi QEF after Reed-Solomon			Bitrate (Mbit/s)			
		Gaussian channel	Ricean channel (F ₁)	Rayleigh channel (P ₁)	$\Delta/T_U = 1/4$	$\Delta/T_U = 1/8$	$\Delta/T_U = 1/16$	$\Delta/T_U = 1/32$
QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4	4,98	5,53	5,85	6,03
QPSK	2/3	4,9	5,7	8,4	6,64	7,37	7,81	8,04
QPSK	3/4	5,9	6,8	10,7	7,46	8,29	8,78	9,05
QPSK	5/6	6,9	8,0	13,1	8,29	9,22	9,76	10,05
QPSK	7/8	7,7	8,7	16,3	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	8,8	9,6	11,2	9,95	11,06	11,71	12,06
16-QAM	2/3	11,1	11,6	14,2	13,27	14,75	15,61	16,09
16-QAM	3/4	12,5	13,0	16,7	14,93	16,59	17,56	18,10
16-QAM	5/6	13,5	14,4	19,3	16,59	18,43	19,52	20,11
16-QAM	7/8	13,9	15,0	22,8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,4	14,7	16,0	14,93	16,59	17,56	18,10
64-QAM	2/3	16,5	17,1	19,3	19,91	22,12	23,42	24,13
64-QAM	3/4	18,0	18,6	21,7	22,39	24,88	26,35	27,14
64-QAM	5/6	19,3	20,0	25,3	24,88	27,65	29,27	30,16
64-QAM	7/8	20,1	21,0	27,9	26,13	29,03	30,74	31,67
NOTE:		Figures in italics are approximate values. Quasi Error Free (QEF) means less than one uncorrected error event per hour, corresponding to BER = 10^{-11} at the input of the MPEG-2 demultiplexer.						

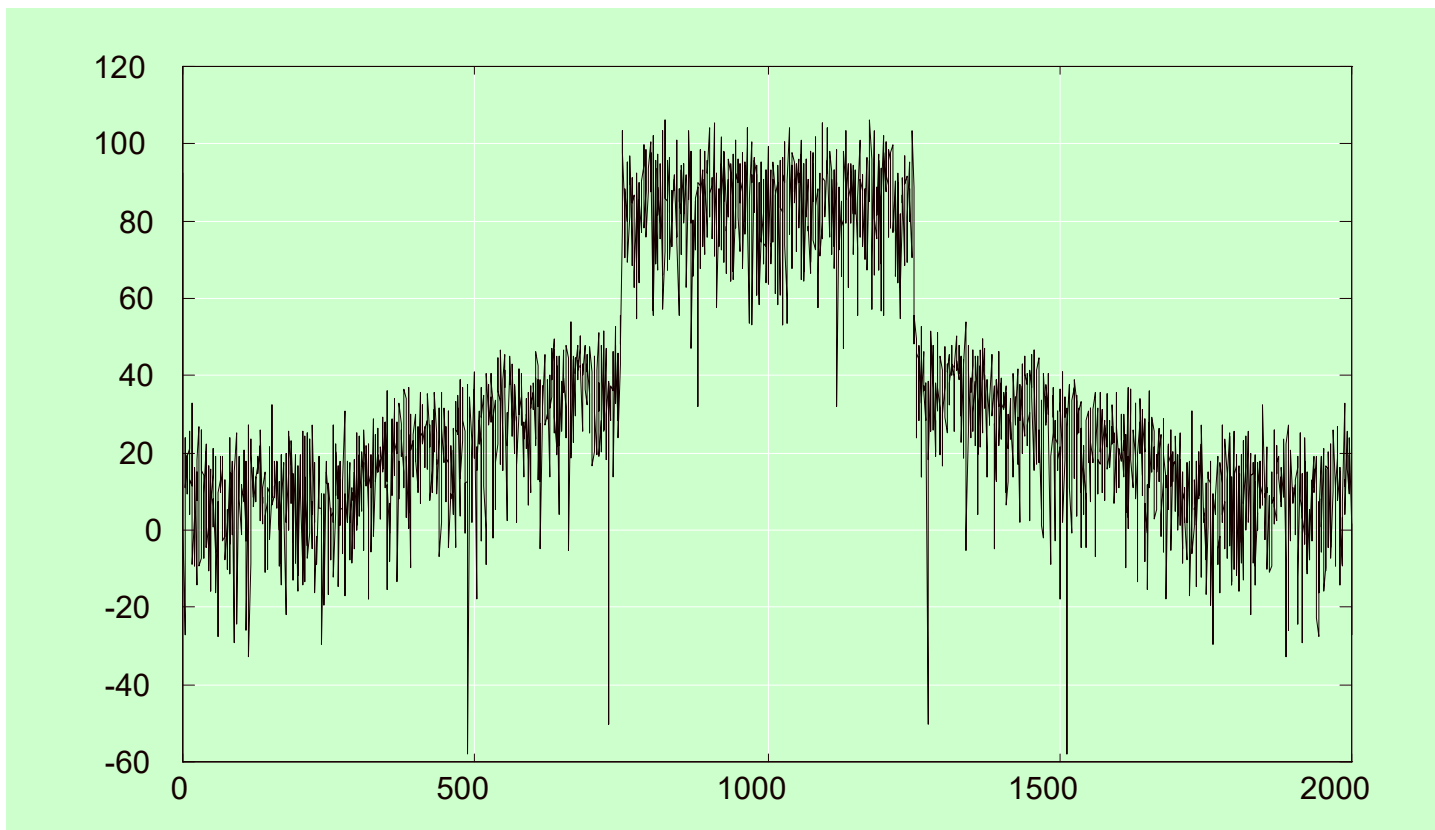
Envoltória de um Sinal OFDM (6000 Portadoras)



Espectro de um Sinal OFDM (6000 Portadoras)



Espectro OFDM com Limitação de Amplitude de Pico em +6 dB



- ATSC: otimizado para taxa de bits x relação S/R do canal, para maximizar cobertura para uma dada potência
- DVB-T: otimizado para operar em condições severas de multi-percurso e permitir SFN (Single Frequency Network)

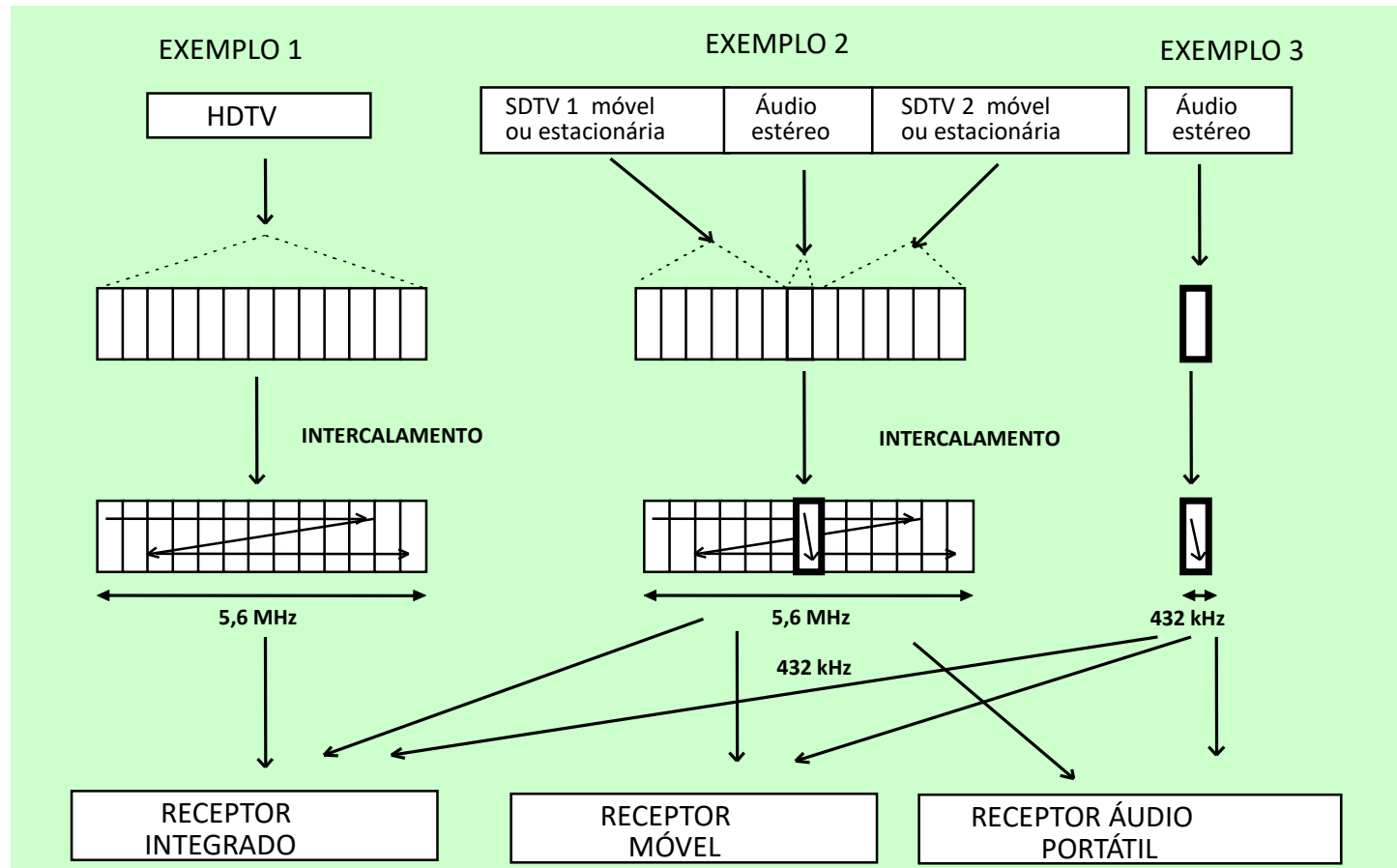
- A Favor:
 - Maior taxa de bits / MHz
 - Robustez a ruído de fase
 - Maior alcance para dada potência de transmissão
 - Bom desempenho com ruído impulsivo
- Contra:
 - Não permite recepção móvel
 - Equalização piora desempenho por S/R
 - Equalização aumenta necessidade de processamento
 - Baixo desempenho com antenas internas

- A Favor:
 - Tolerância a multi-percurso
 - Robustez para interferências em frequências fixas
 - Facilidade para uso de retransmissores em zonas de sombra (“gap filler”)
 - Bom desempenho com antenas internas
 - Permite recepção móvel
- Contra:
 - Baixa tolerância a ruído impulsivo
 - Baixa tolerância a ruído de fase em misturadores

- ATSC: ~ 10 M símbolos/seg.
 - ~ 10 MIPS (processamento básico)
 - ~ 10 MIPS adicionais para cada “tap” do EQ
- COFDM: ~ 1 k símbolos/seg.
 - ~ 100 MIPS (FFT de 8196 pontos)
 - Independe de equalização

Sistema ISDB-T – *Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial*

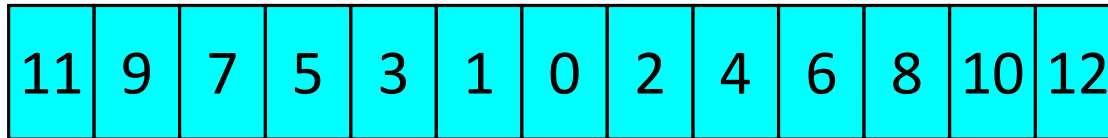
- Aprovado para radiodifusão terrestre de TV Digital no Japão (No ar desde 2004)
- Compressão de Vídeo e Áudio: MPEG-2
- Transporte: Pacotes MPEG-2
- Modulação: OFDM Segmentada
- Entrelaçamento temporal até 380 ms
- Ocupação de Banda: Canal de 6 MHz



Parâmetros do ISDB-T (6 MHz)

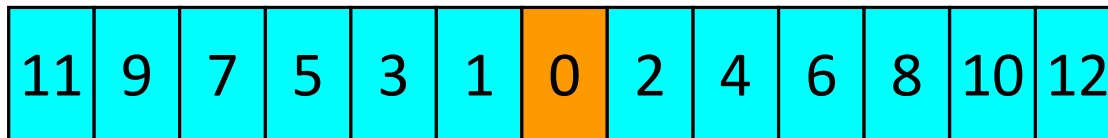
Modo ISDB-T	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Banda do Canal	5575 kHz $(6000/14) \times 13 + \Delta f$	5573 kHz $(6000/14) \times 13 + \Delta f$	5572 kHz $(6000/14) \times 13 + \Delta f$
Espaçamento Portadoras	3.968 kHz 6000/14/108	1.984 kHz 6000/14/216	0.992 kHz 6000/14/432
No. Total de Portadoras	1405 $108 \times 13 + 1$	2809 $216 \times 13 + 1$	5617 $432 \times 13 + 1$
Processo de Modulação	QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK		
Duração do Símbolo	252μs	504μs	1008μs
Banda de Guarda	1/4, 1/8, 1/16, 1/32 da duração do Símbolo		
Código Interno	Código Convolutacional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)		
Código Externo	RS (204,188)		
Intercalamento	0, 0.096, 0.19, 0.38 seg.		
Taxa de Bits	3.651 ~ 23.234Mbit/s		

Exemplos de Alocação de Segmentos



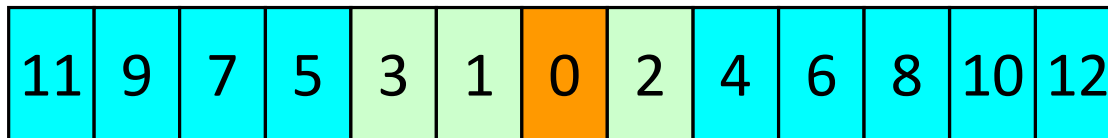
A

13 segmentos para Modulação QAM (Camada A)



A B

12 segmentos QAM (Camada B) e 1 recepção parcial (Camada A)



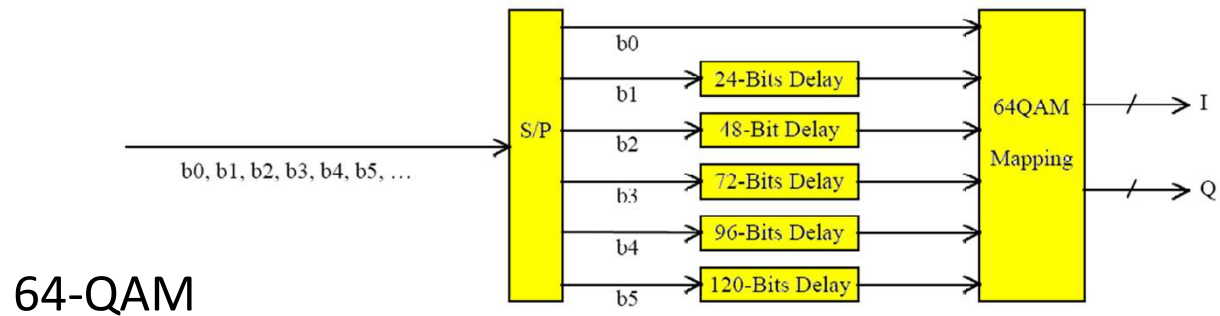
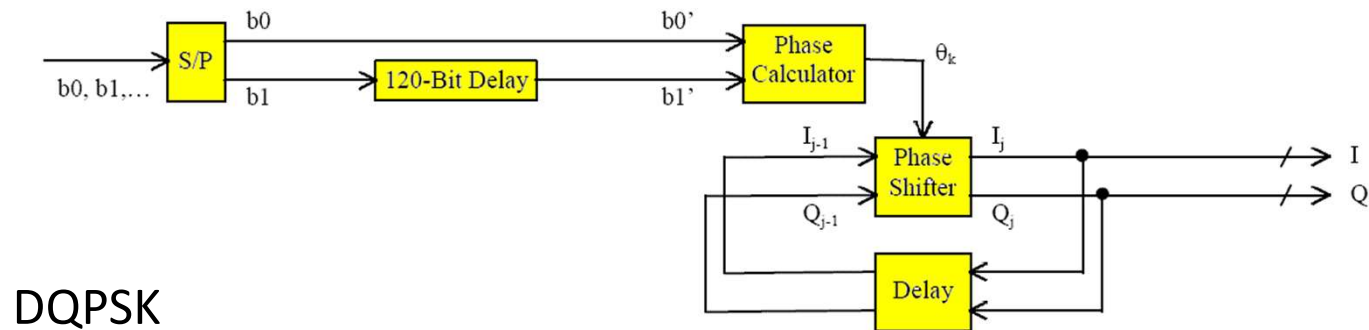
A B C

9 segmentos QAM (Camada C), 1 recepção parcial (Camada A) e 3 com DQPSK (Camada B)

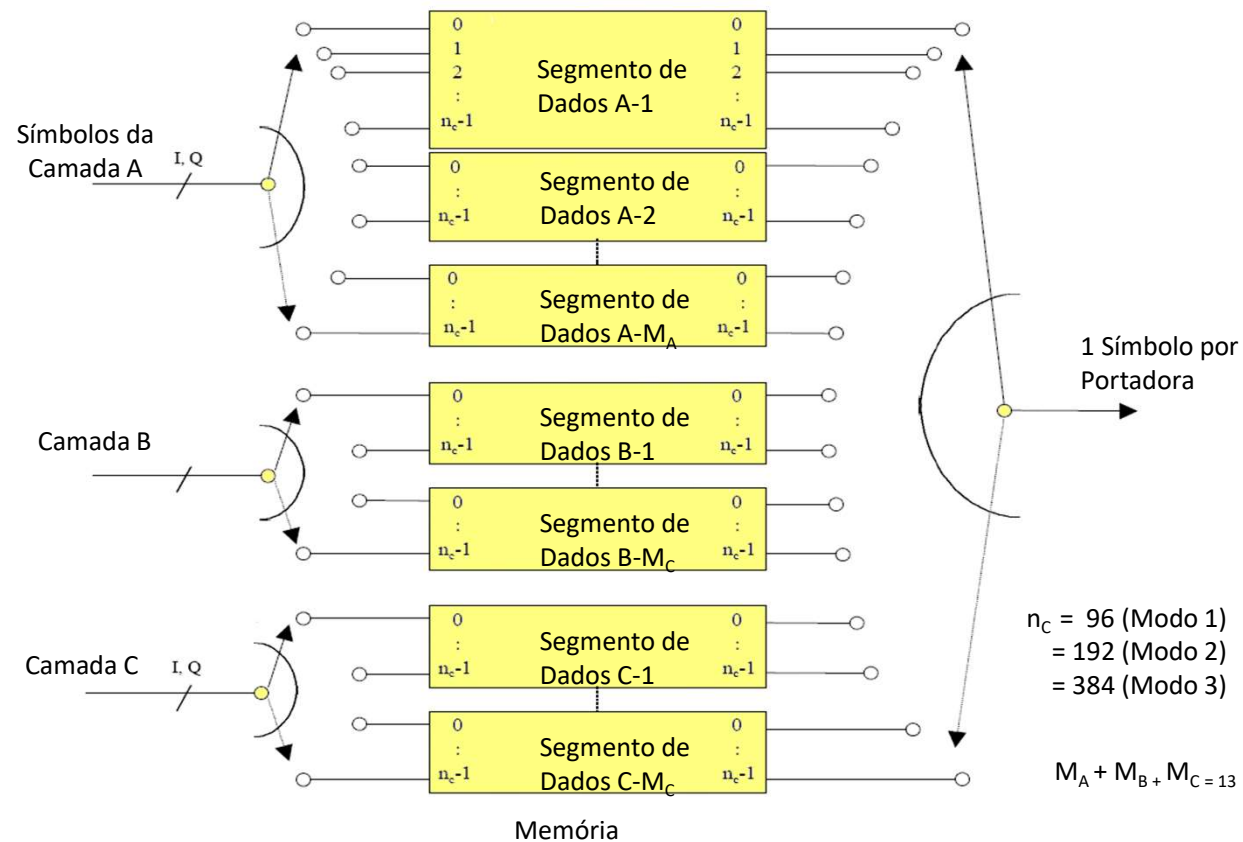
Processamento na Modulação ISDB-T

Código Reed-Solomon RS(204, 188, t=8)	(= DVB-T)
Randomização $g(x) = x^{15} + x^{14} + 1$	
Ajuste de Atraso entre Camadas (A, B, C)	
Intercalamento de Bytes (M = 11 x 17 Bytes)	
Código Convolutacional Puncionado (1/2 a 7/8)	
Intercalamento de Bits	
Mapeador (DQPSK, QPSK, 16- / 64-QAM)	
Síntese do Fluxo de Símbolos	
Intercalamento Temporal Longo	
Intercalamento de Segmentos	
Rotação de Portadoras	
Randomização de Portadoras	
Inserção de Pilotos, AC e TMCC	
Modulação OFDM (2k, 4k ou 8k)	
Inserção de Intervalo de Guarda (1/32 a 1/4)	

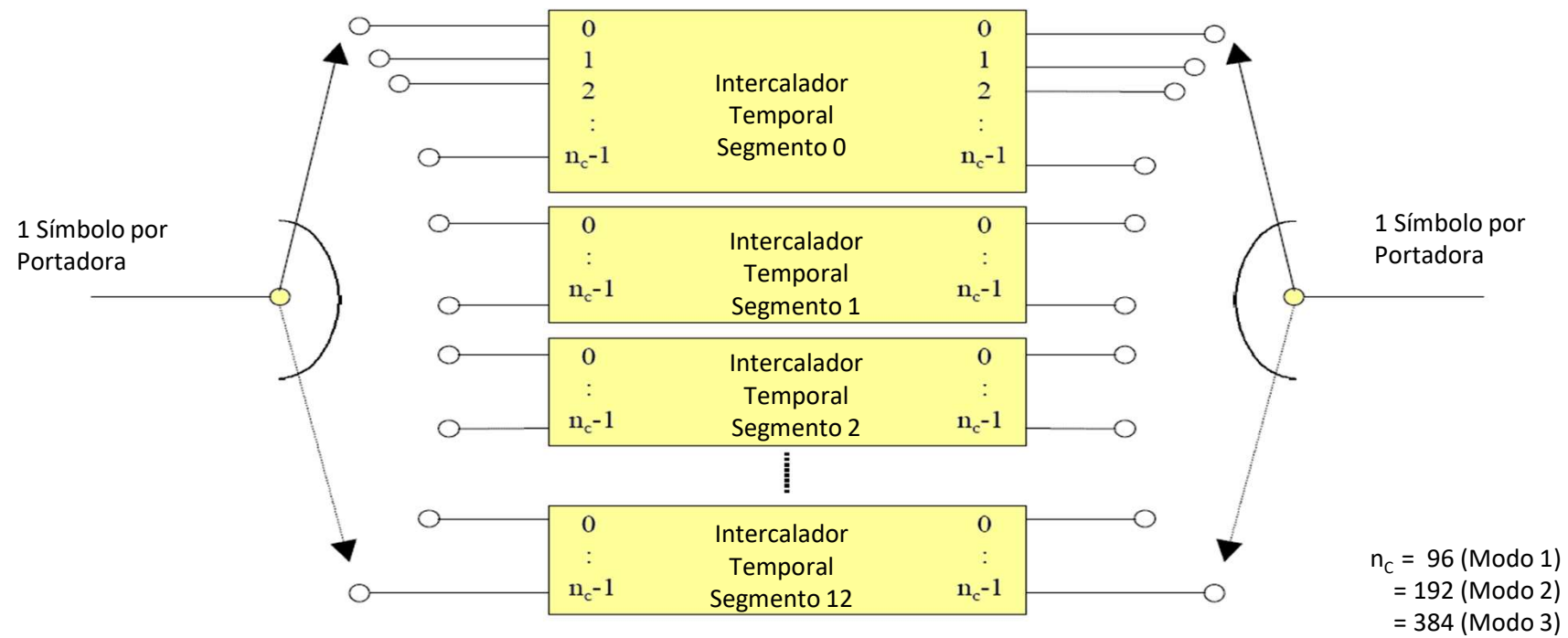
Intercalamento de Bits e Mapeamento



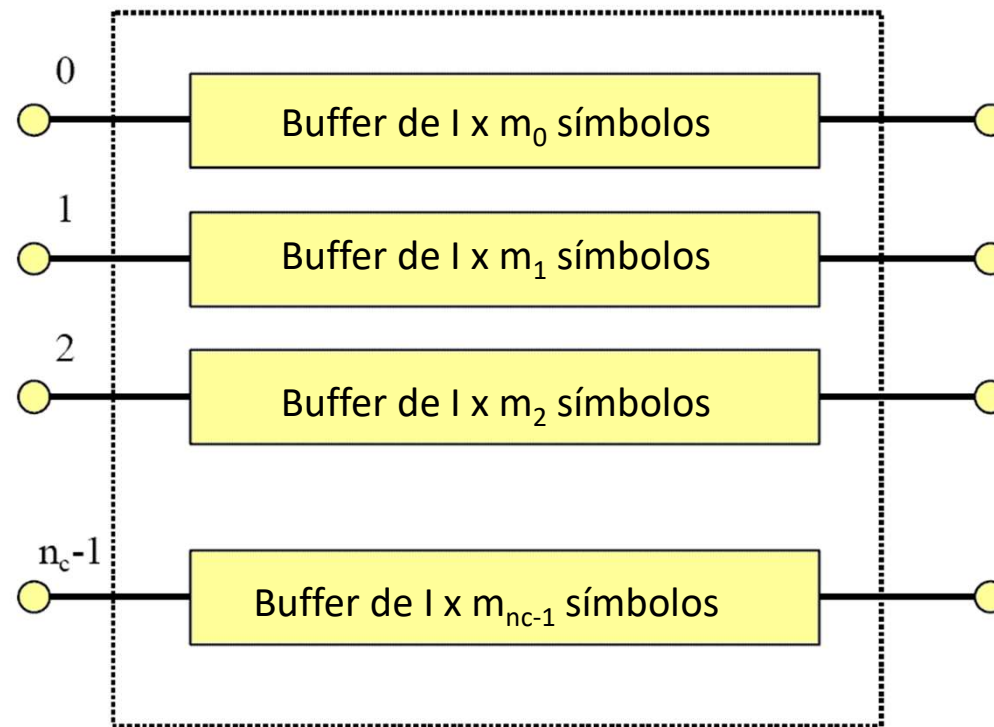
Síntese do Fluxo de Símbolos



Intercalamiento Temporal Longo



Intercalador Temporal de Segmento

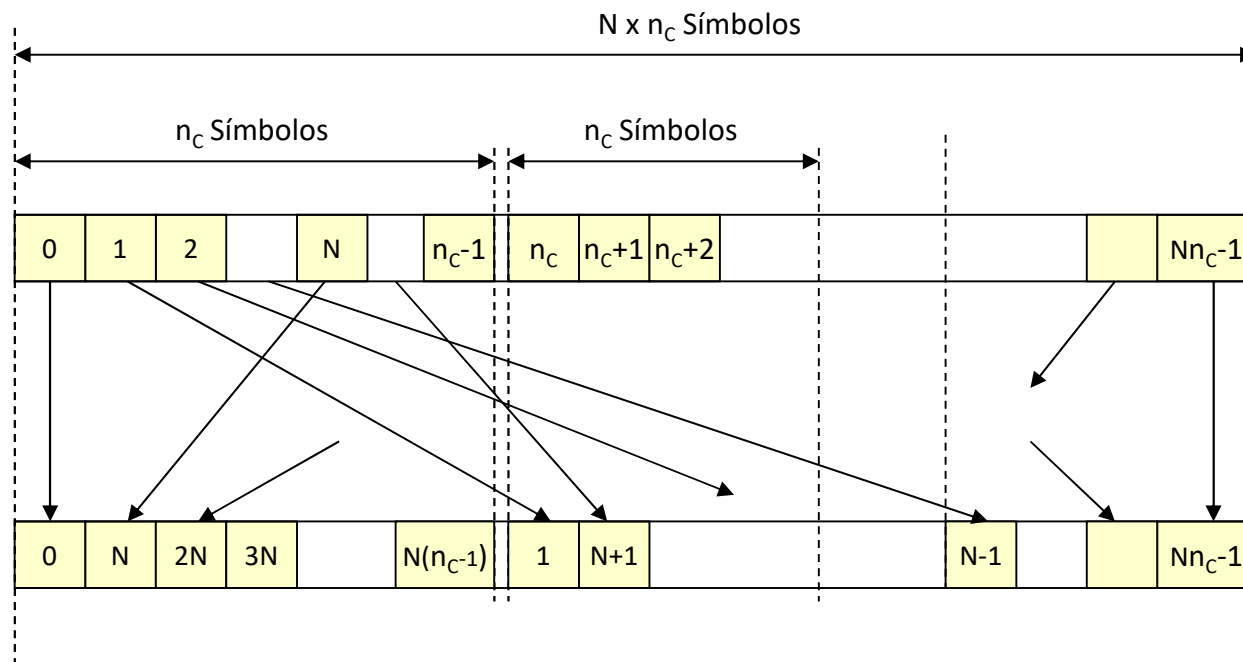


l = Fator Multiplicativo
(Parâmetro de cada Camada)

$$m_k = (k \times 5) \bmod 96$$

$$\begin{aligned} n_c &= 96 \text{ (Modo 1)} \\ &= 192 \text{ (Modo 2)} \\ &= 384 \text{ (Modo 3)} \end{aligned}$$

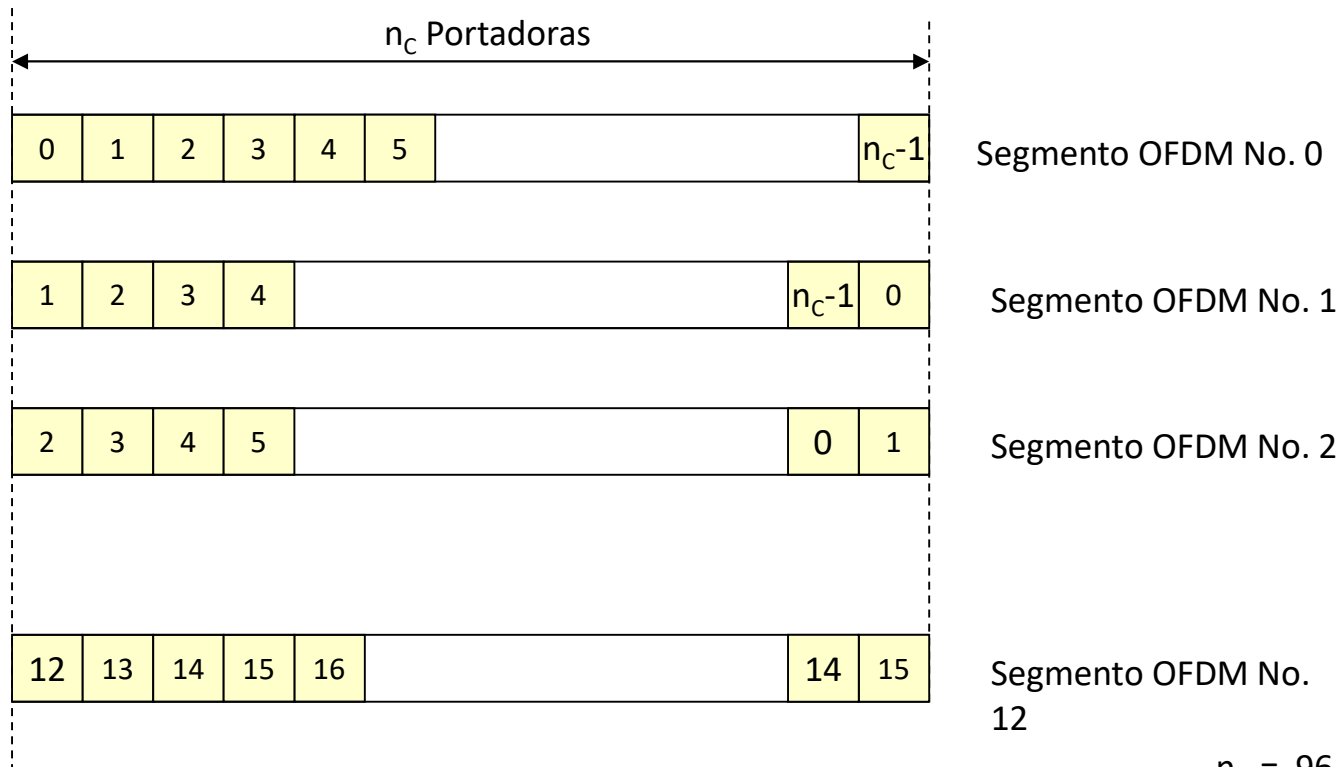
Intercalamento de Segmentos



N = Número de Segmentos Alocados para a Camada

n_c = 96 (Modo 1)
= 192 (Modo 2)
= 384 (Modo 3)

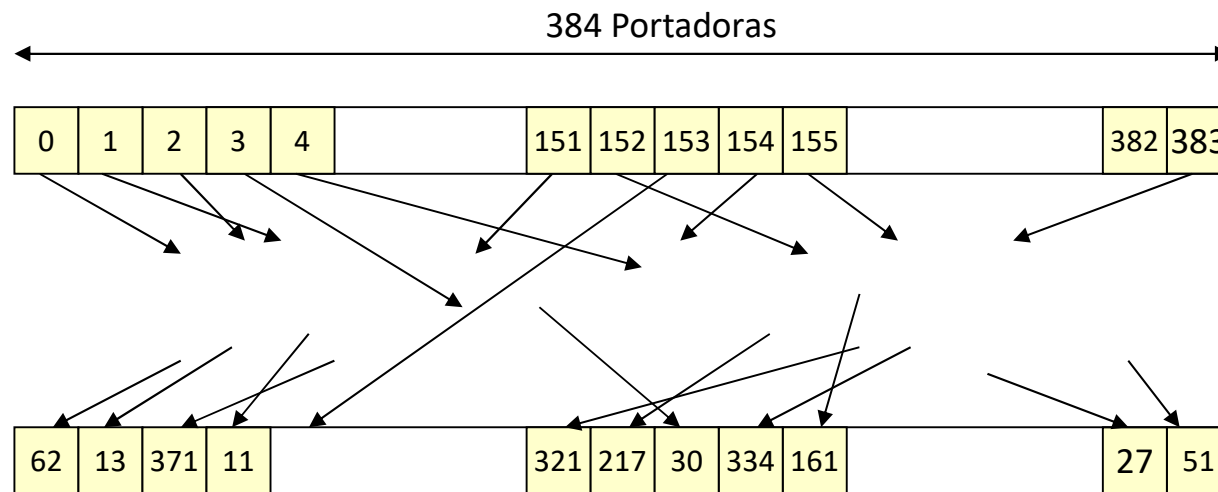
Rotação de Portadoras dentro de um Segmento



Mapeamento estático, igual para todos os símbolos (depende do Modo)

$n_C = 96$ (Modo 1)
 $= 192$ (Modo 2)
 $= 384$ (Modo 3)

Randomização de Portadoras no Segmento



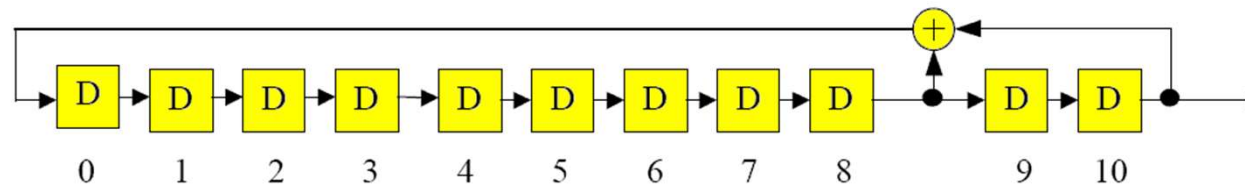
Mapeamento estático, pseudo-aleatório, igual para todos os segmentos (depende do Modo)

LCS
EPUSP

[illegible]

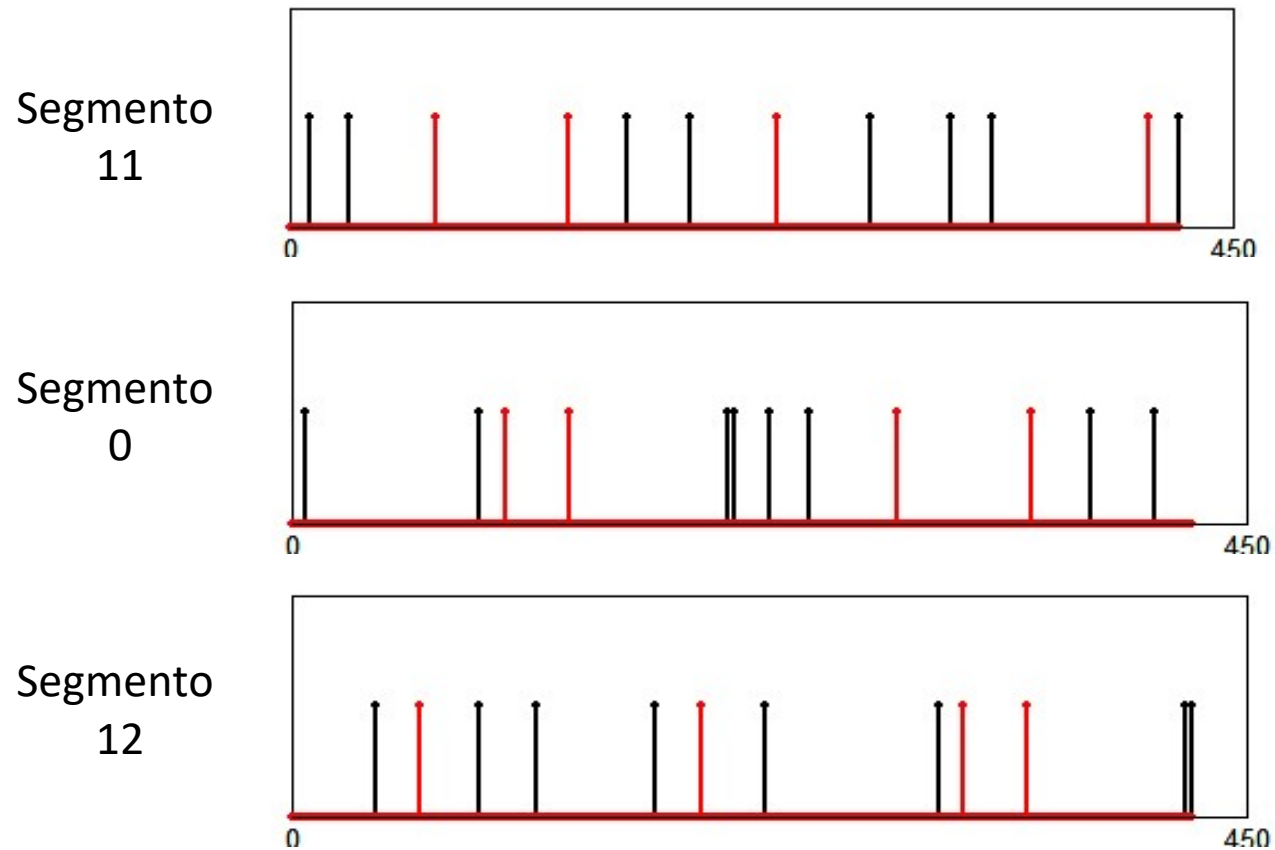
Nc = 108 (Modo 1)
216 (Modo 2)
432 (Modo 3)

Modulação das Portadoras Piloto (DBPSK)



Segmento	Modo 1	Modo 2	Modo 3
11	1111111111	1111111111	1111111111
9	1101100111	0110101111	1101110010
7	0110101111	1101110010	1001010000
5	0100010111	1100100001	0111000100
3	1101110010	1001010000	0010001100
1	0010111101	0000101100	1110011011
0	1100100001	0111000100	0010000101
2	0001000010	0000010010	1110011110
4	1001010000	0010001100	0110101001
6	1111011000	0110011100	1011101001
8	0000101100	1110011011	0110001001
10	1010010011	0010101000	1111010010
12	0111000100	0010000101	0001001110

Inicialização do gerador de sequência máxima



AC
TMCC
(Modo 3,
Modulação
QAM)

Bit	Formato	Finalidade
0	-	Inicialização da modulação diferencial
1 a 16	0011010111101110 ou compl.	Sincronismo
17 a 19	111 ou 000	Descritor do Segmento (Diferencial ou Coerente)
20, 21	00, 01, 10, 11	Descritor do Sistema (11 = ISDB-T)
22 a 25	1111; 1110 a 0000	Contagem Regressiva p/ Próx. Configuração
26	0, 1	Flag para Emergência
27	0, 1	Flag de Recepção Parcial
28 a 40	xxx yyy zzz wwww	Parâmetros para a Camada A (Tabela)
41 a 53	xxx yyy zzz wwww	Parâmetros para a Camada B
54 a 66	xxx yyy zzz wwww	Parâmetros para a Camada C
67 a 106		Idem 27 a 66, para Próxima Configuração
107 a 121	1111111111111111	Reservados p/ Uso Futuro
122 a 203	Código CDSC(184,102)	Bits de Paridade

Parâmetros das Camadas A, B e C

Bit	Formato	Tipo de Modulação da Camada
28 a 30	000	DQPSK
	001	QPSK
	010	16 QAM
	011	64 QAM
	100 - 110	Reservada
	111	Camada não utilizada

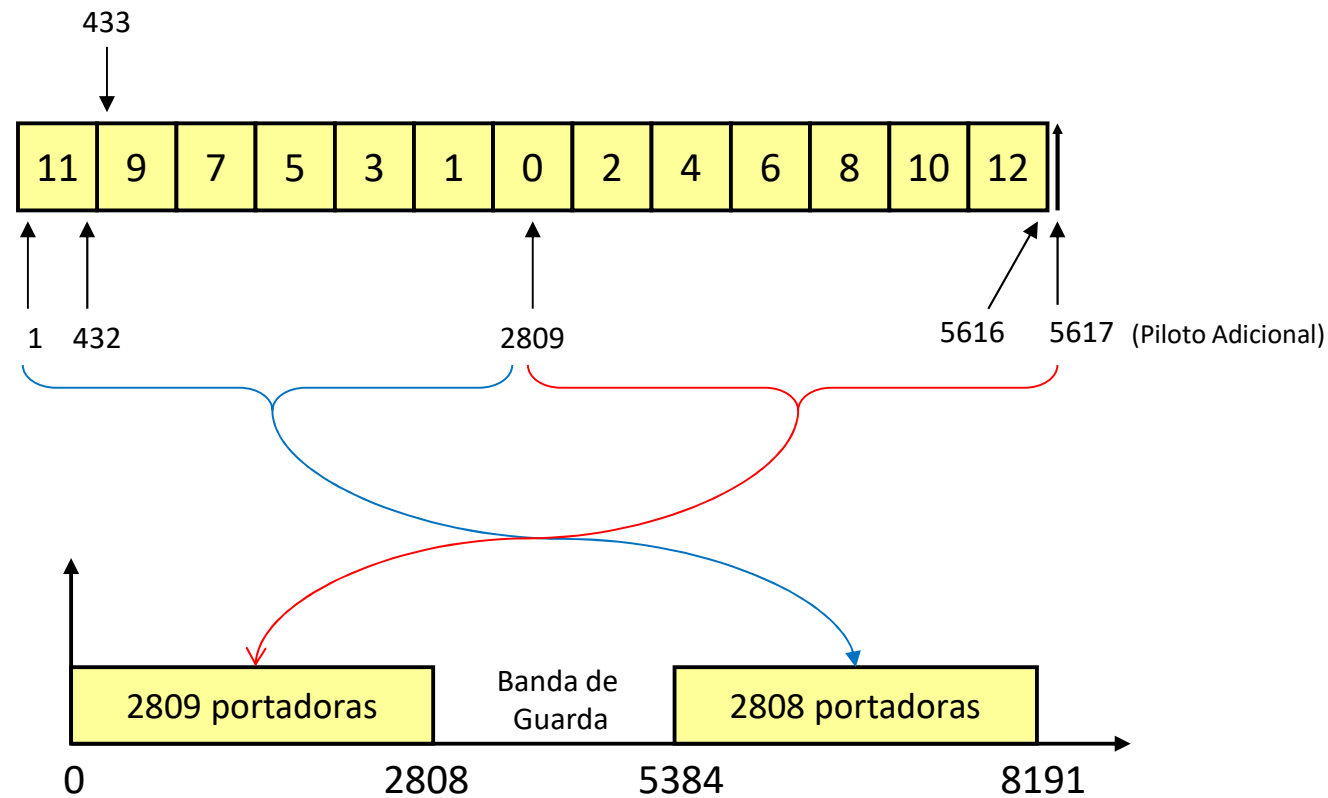
Bit	Formato	Taxa de Codificação Convolutacional da Camada
31 a 33	000	= 1/2
	001	= 2/3
	010	= 3/4
	011	= 5/6
	100	= 7/8
	101 - 110	Reservada
	111	Camada não utilizada

Parâmetros das Camadas A, B e C

Bit	Formato	Comprimento do Intercalamento Temporal
34 a 36	000	0
	001	1
	010	2
	011	4
	100	8
	101	Reservado
	110 - 111	Camada não utilizada

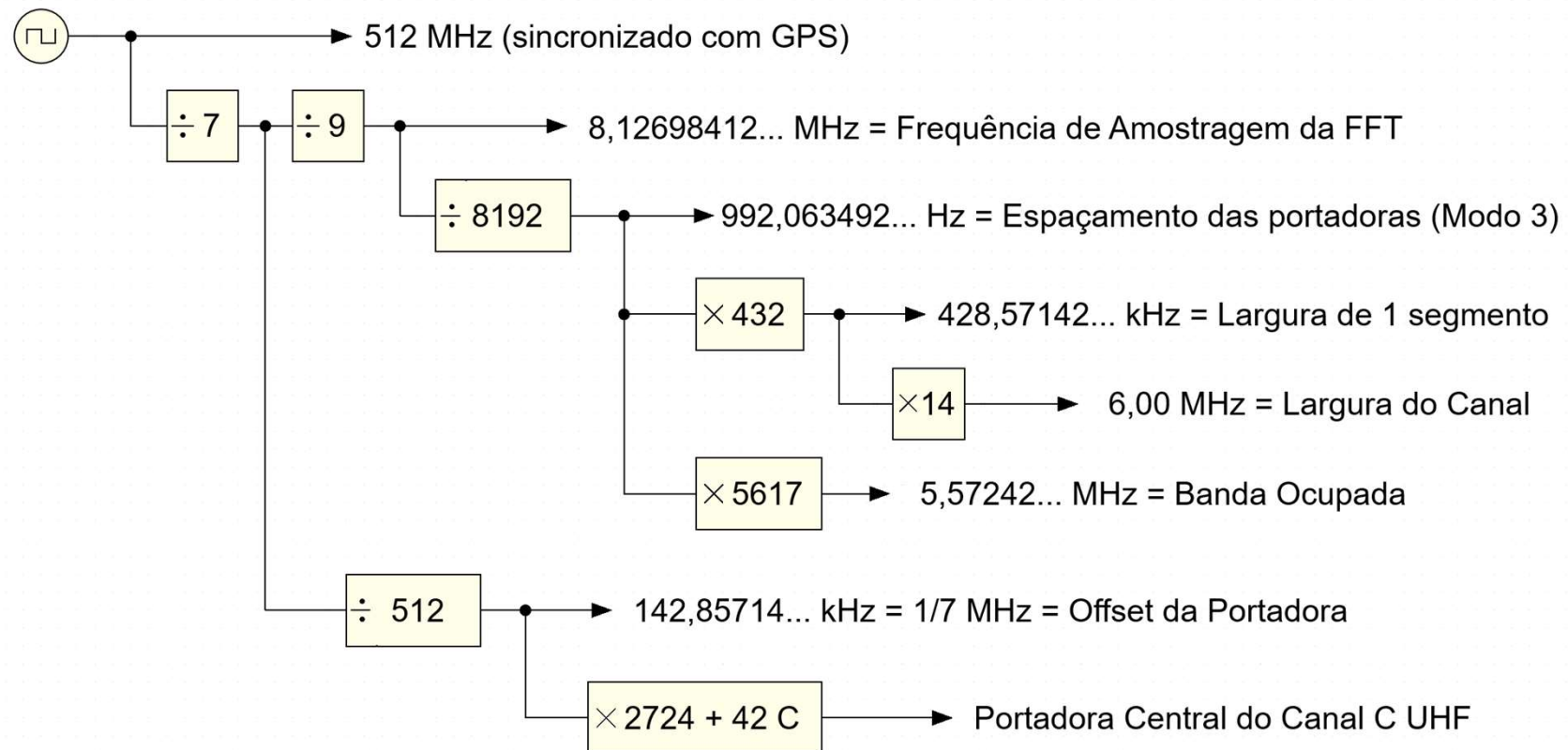
Bit	Formato	Número de Segmentos Utilizados na Camada
37 a 40	0000	Reservado
	0001 a 1101	1 a 13 Segmentos
	1110	Reservado
	1111	Camada não utilizada

Mapeamento dos Segmentos (Modo 3)

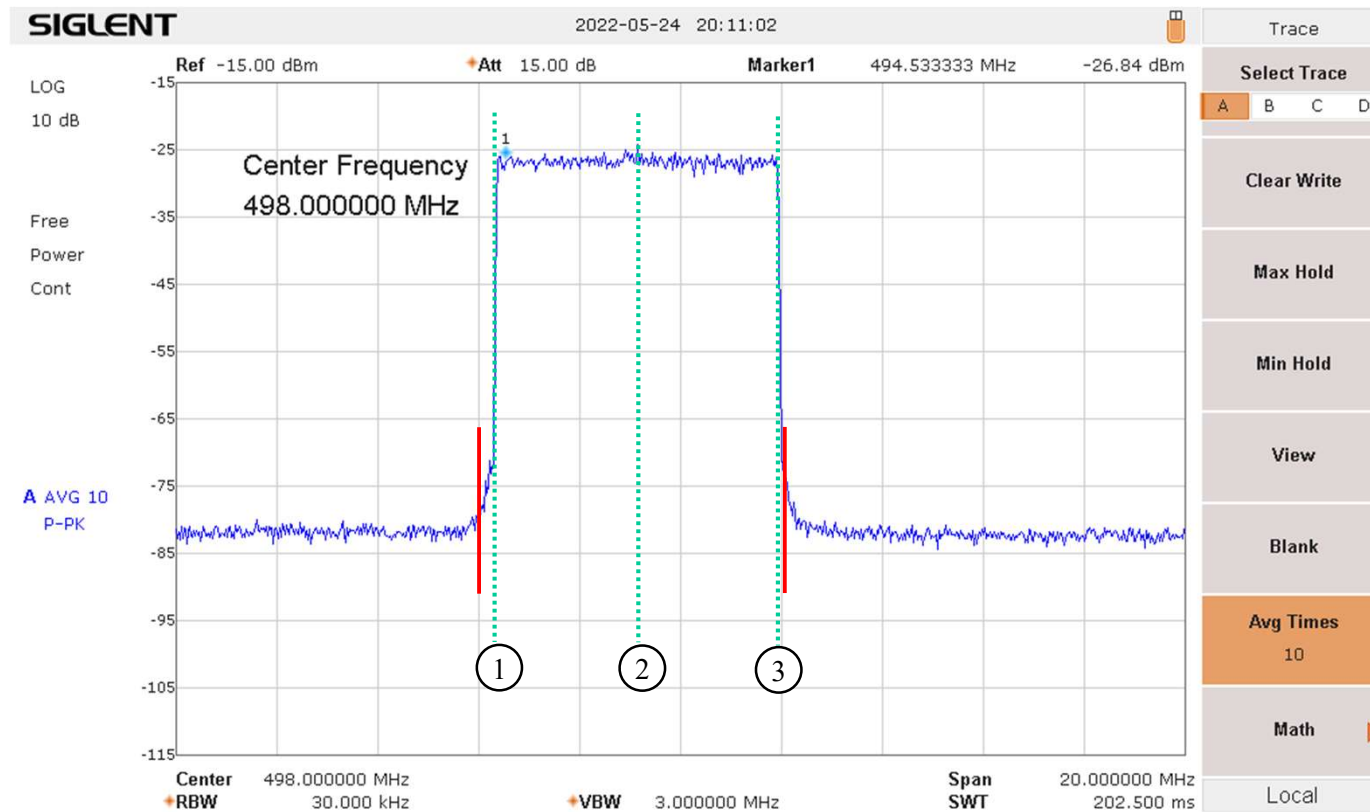


Mapeamento das Portadoras na IFFT (8192 pontos)

Numerologia do ISDB-T



Espectro de um Canal ISDB-T: Canal 18 UHF



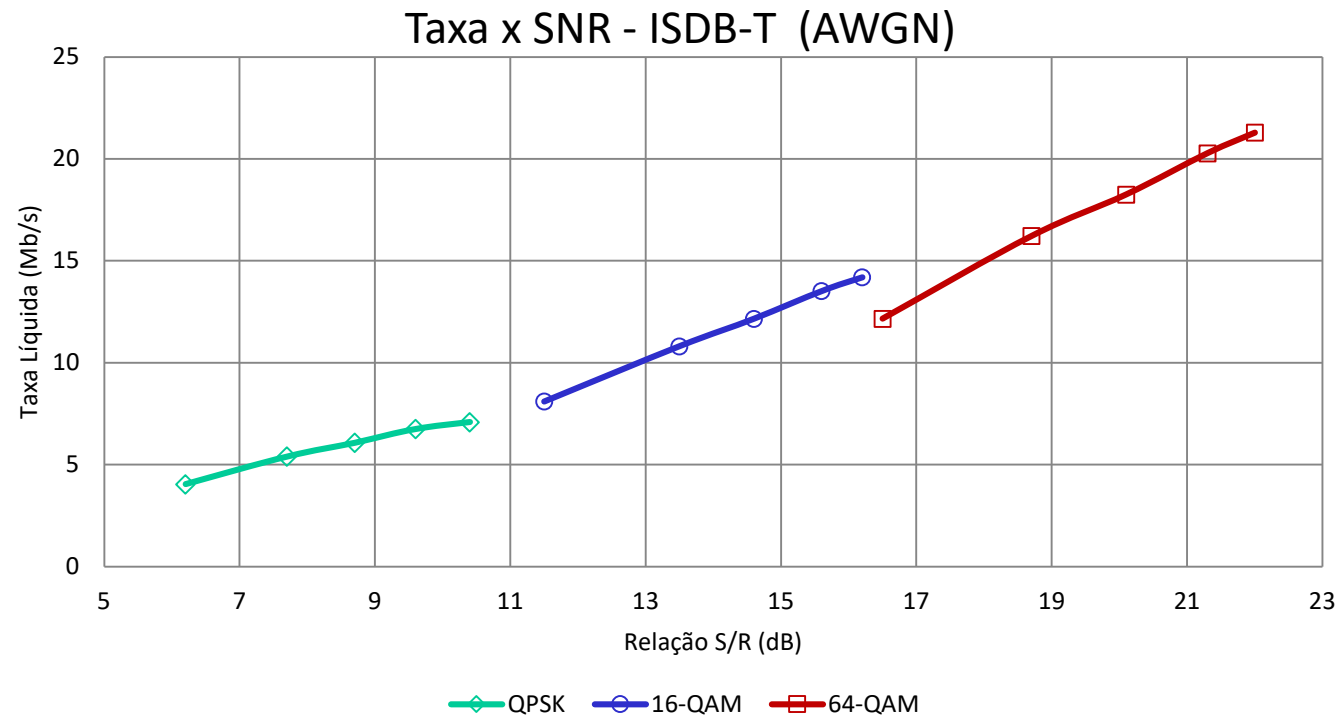
- 1- Frequência Inferior: 494,356647
- 2- Frequência Central: 497,142857... MHz
- 3- Frequência Superior: 499,929067 MHz

Limites do Canal: 494 ~ 500 MHz

Taxas de Bits ISDB-T (13 Segmentos)

Modulação	Código Convolutacional	Pacotes MPEG-2 por Frame	Taxa de Bits x Intervalo de Guarda (Mb/s)			
			1 / 4	1 / 8	1 / 16	1 / 32
DQPSK	1/2	156 / 312 / 624	3.651	4.056	4.295	4.425
	2/3	208 / 216 / 832	4.868	5.409	5.727	5.900
	3/4	234 / 468 / 936	5.476	6.085	6.443	6.638
QPSK	5/6	260 / 520 / 1040	6.085	6.761	7.159	7.376
	7/8	273 / 546 / 1092	6.389	7.099	7.517	7.744
16QAM	1/2	312 / 624 / 1248	7.302	8.113	8.590	8.851
	2/3	416 / 832 / 1664	9.736	10.818	11.454	11.801
	3/4	468 / 936 / 1872	10.953	12.170	12.886	13.276
	5/6	520 / 1040 / 2080	12.170	13.522	14.318	14.752
	7/8	546 / 1092 / 2184	12.779	14.198	15.034	15.489
64QAM	1/2	468 / 936 / 1872	10.953	12.170	12.886	13.276
	2/3	624 / 1248 / 2496	14.604	16.227	17.181	17.702
	3/4	702 / 1404 / 2808	16.430	18.255	19.329	19.915
	5/6	780 / 1560 / 3120	18.255	20.284	21.477	22.128
	7/8	819 / 1638 / 3276	19.168	21.298	22.551	23.234

Portadoras Auxiliares (AC)	Segmentos	Portadoras (Modo 1/2/3)	Taxa de Bits x Intervalo de Guarda (kb/s)			
			1 / 4	1 / 8	1 / 16	1 / 32
	1	(2 / 4 / 8)	6.31	7.02	7.43	7.65
	13	(26 / 52 / 104)	82.13	91.26	96.62	99.55



1- Potência do Ruído Térmico no Receptor:

$$N = k T_s B \quad (\text{watts})$$

onde:

k = Constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K)

T_s = temperatura do receptor (K)

B = largura de banda do receptor.

Para $B = 6$ MHz e $T_s = 290$ K:

$$N_T = 1.38 \times 10^{-23} \times 290 \times 6 \times 10^6 = 24 \times 10^{-15} \text{ W} = -106.2 \text{ dBm}$$

2- Potência Mínima Necessária na Entrada:

$$P_{MR} = N_T + C/N + NF \quad (\text{dBm})$$

onde:

N_T = Ruído térmico na entrada

C/N = Limiar de recepção característico da modulação

NF = Figura de Ruído do receptor

Para ISDB-T, 64-QAM, 7/8, $NF = 7$ dB:

$$P_{MR} = -106.2 \text{ dBm} + 22 \text{ dB} + 7 \text{ dB} = -77,2 \text{ dBm} \quad (38 \mu\text{V em } 75 \Omega)$$

3- Potência Mínima na Antena:

$$P_{MA} = P_{MR} + D + L - G_R \quad (\text{dBm})$$

onde:

P_{MR} = Potência mínima na entrada do receptor

D = Degradação por interferências e outras fontes de ruído

L = Atenuação da linha de transmissão

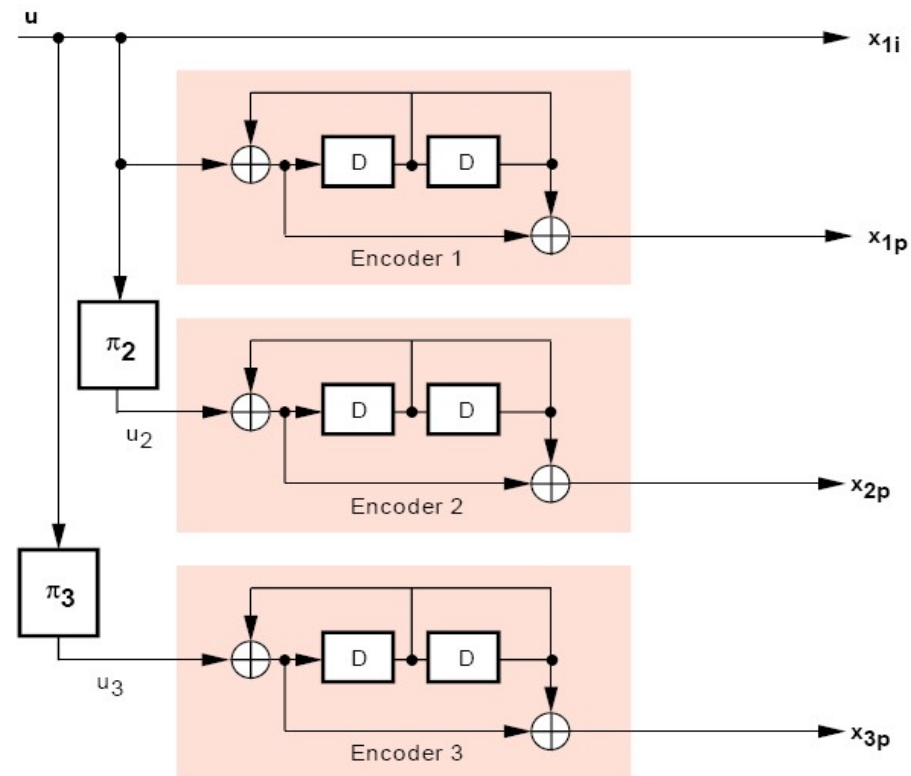
G_R = Ganho relativo da antena

Limiar de Operação do Receptor

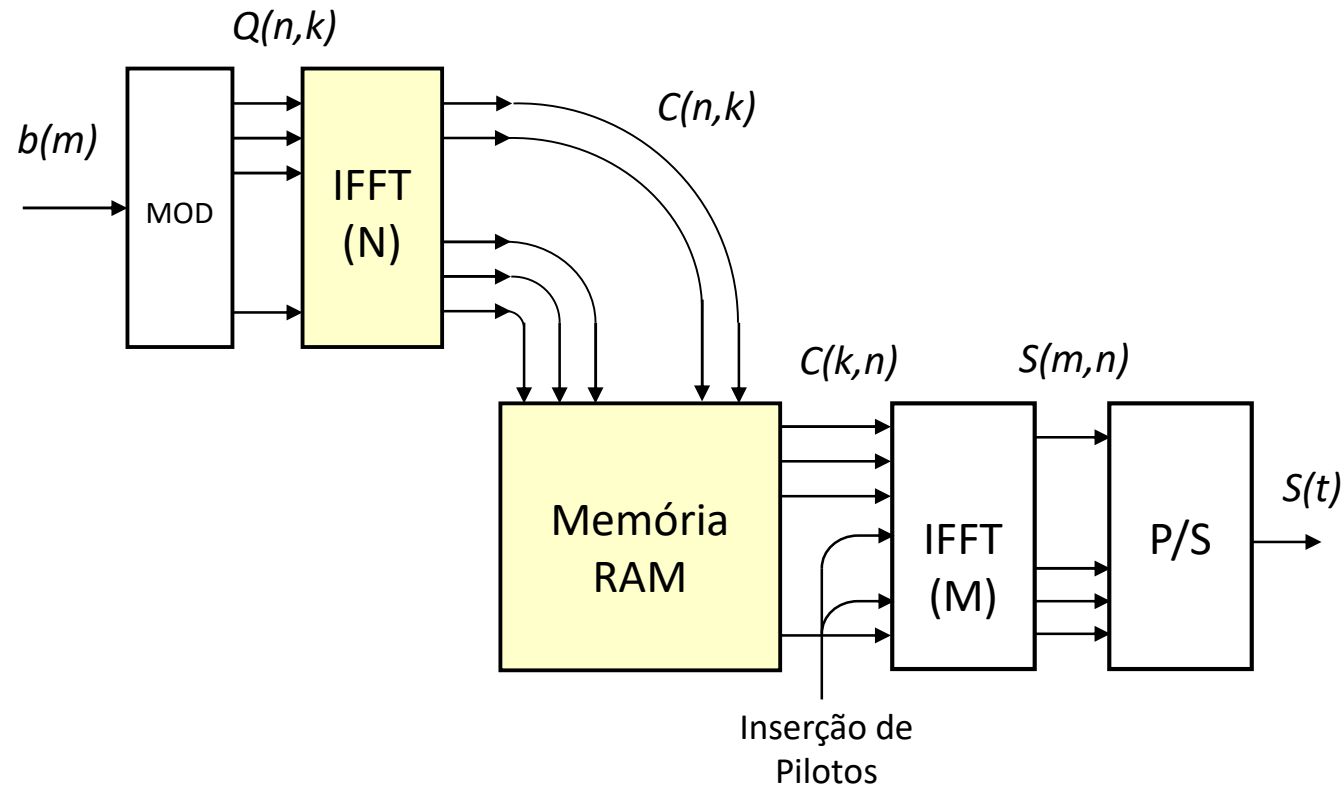
Parâmetro	VHF baixo	VHF alto	UHF
Ganho da Antena de recepção (G_R , dB)	4	6	10
Perda no Cabo de Antena (L, dB)	1	2	4
Figura de Ruído do receptor (NF, dB)	10	10	7
Potência Limiar na Antena (P_{MA} , dBm) :			
Sistema ATSC ($C/N = 15.2$ dB)	– 84.0	– 85.0	– 90.0
Sistema DVB-T (6 MHz, $C/N = 18.0$ dB)	– 81.2	– 82.2	– 87.2
Sistema ISDB-T (6 MHz, $C/N = 18.7$ dB)	– 80.5	– 81.5	– 86.5

- Codificação “Turbo”
- Intercalamento temporal baseado em Transformada de Fourier
- ISDB-T com Compressão H.264

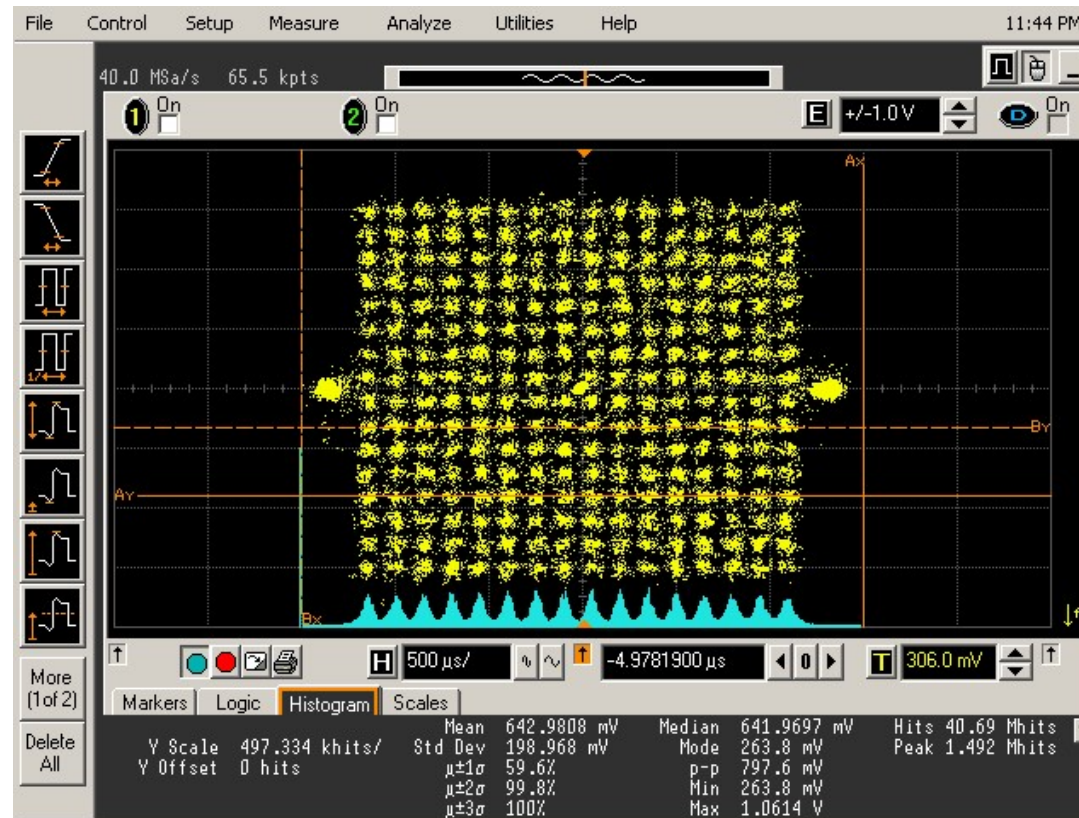
Aperfeiçoamentos Possíveis: Codificação “Turbo”



Intercalamento Temporal por Transformada de Fourier



Constelação 256-QAM (Experimental)

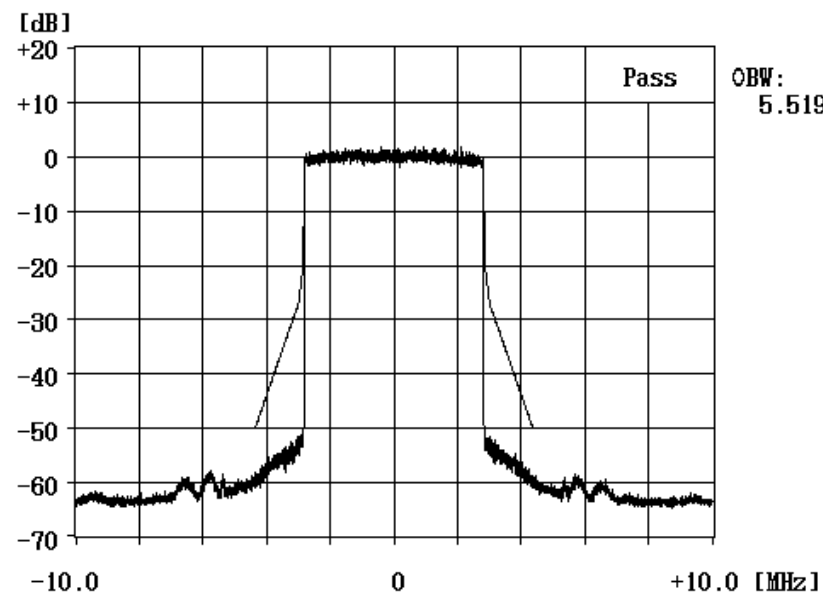


- Compressão de Vídeo: H.264
- Compressão de Áudio: AAC
- Canalização: VHF Alto + UHF (c/ Offset de 1/7 MHz)
- Frequência Intermediária: 44 MHz
- Máscaras de Transmissão
- “Middleware”: Ginga

Espectro e Máscara de Transmissão ISDB-T

MS8901A 15-Sep-2006 13:02:19
<< Spectrum Mask (ISDB-T MER) >>

Measure : Single



Frequency : 32.507 936MHz
Ref Level : -26dBm Pre Ampl : Off

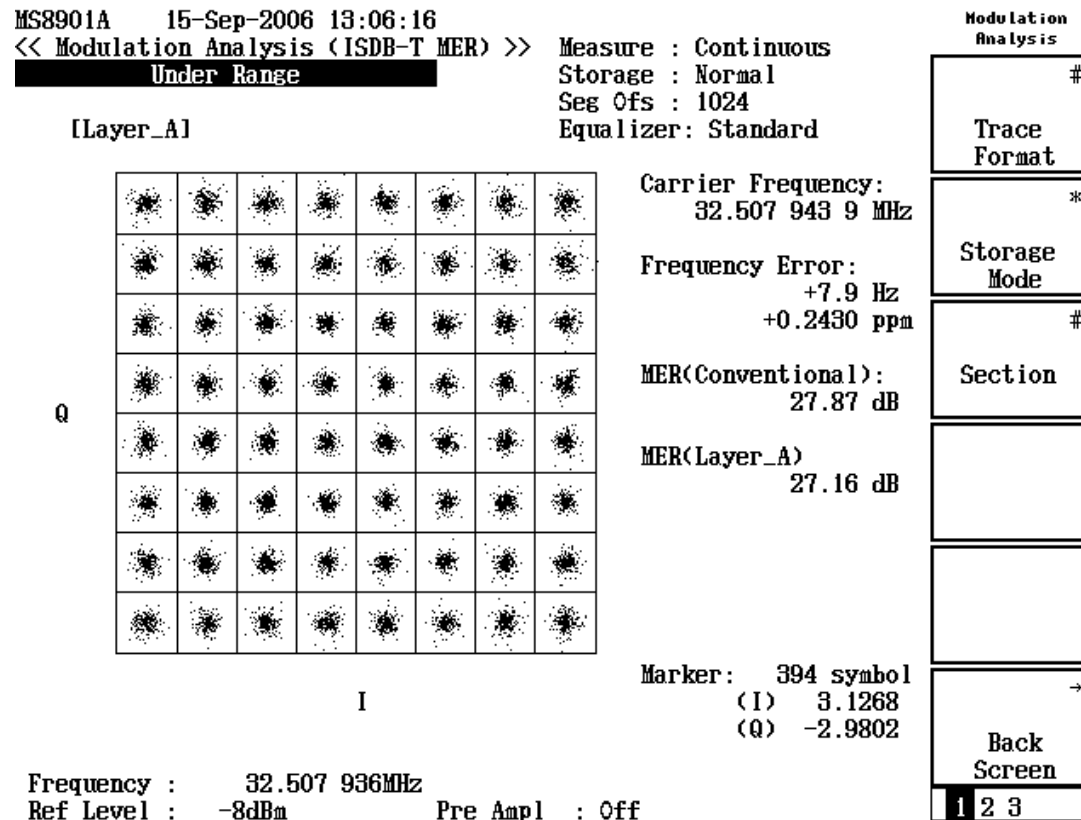
Spectrum Mask

*
Mask
Transmission

→
Back
Screen

1 2

Constelação 64-QAM (MER = 27 dB)



MER = Modulation Error Ratio

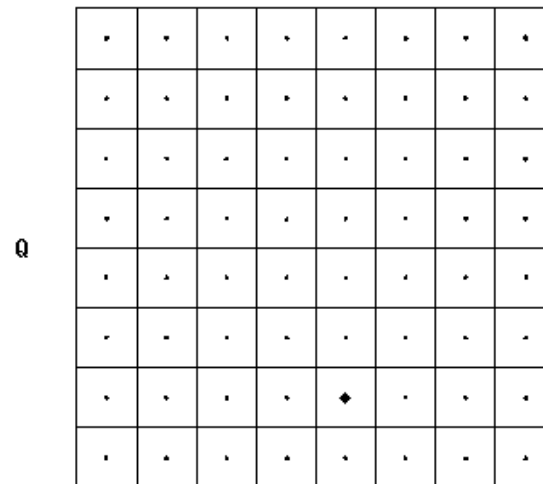
Constelação 64-QAM (MER = 47 dB)

MS8901A 2007/02/24 02:57:29

<< Modulation Analysis (ISDB-T MER) >>

Measure : Single
Storage : Normal
Seg Ofs : 512
Equalizer: Standard

[Layer_A]



Carrier Frequency:
32.507 937 00 MHz

Frequency Error:
-13.00 Hz
-0.3999 ppm

MER(Conventional):
47.96 dB

MER(Layer_A)
47.19 dB

Marker: 9984 symbol
(I) 1.0052
(Q) -5.0158

Frequency : 32.507 950MHz
Ref Level : -8dBm Pre Ampl : Off

Save

 →

Display Dir.

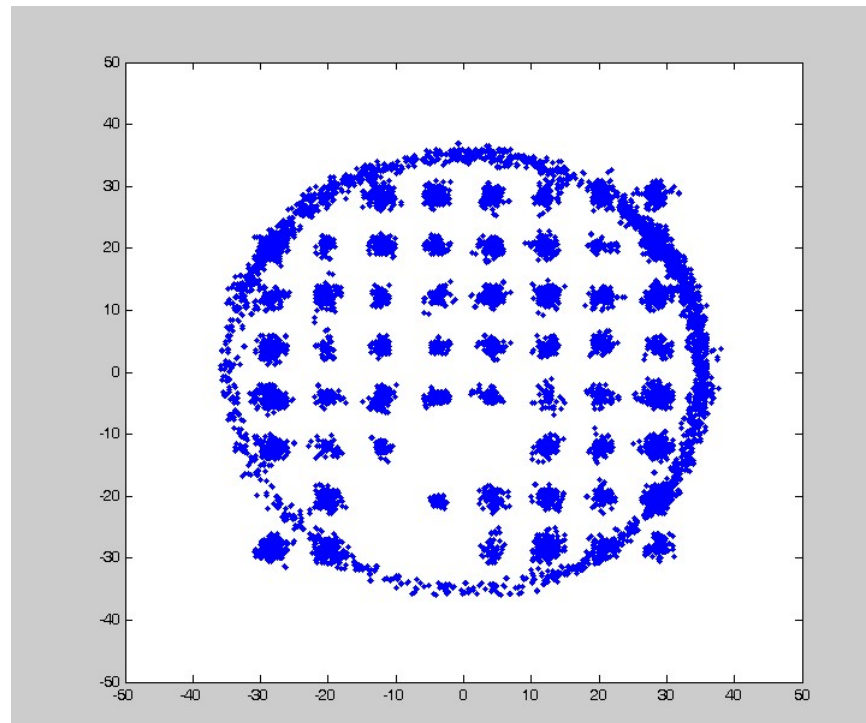
 #

File No.

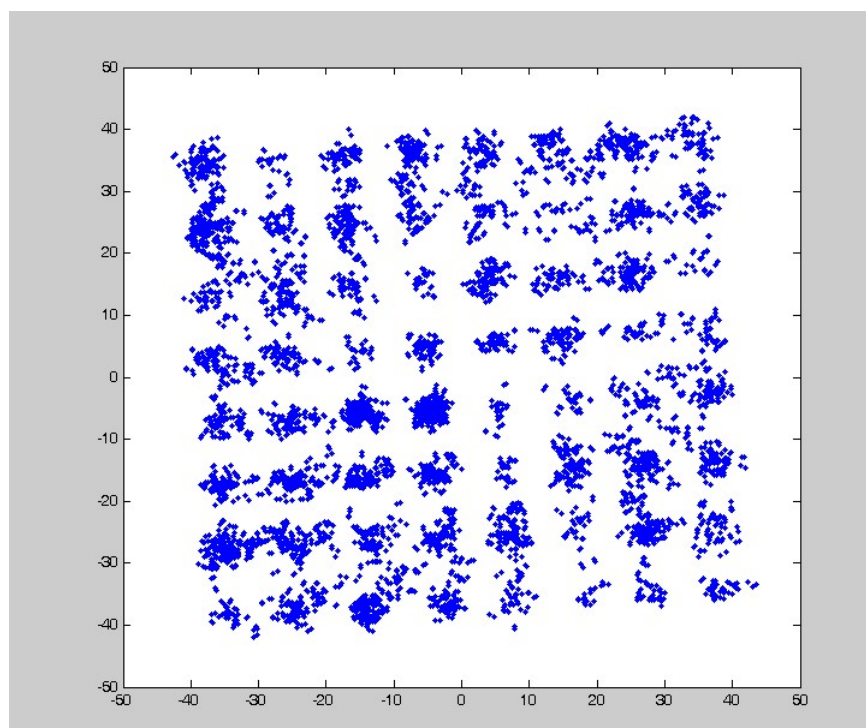
 return

☒ 1

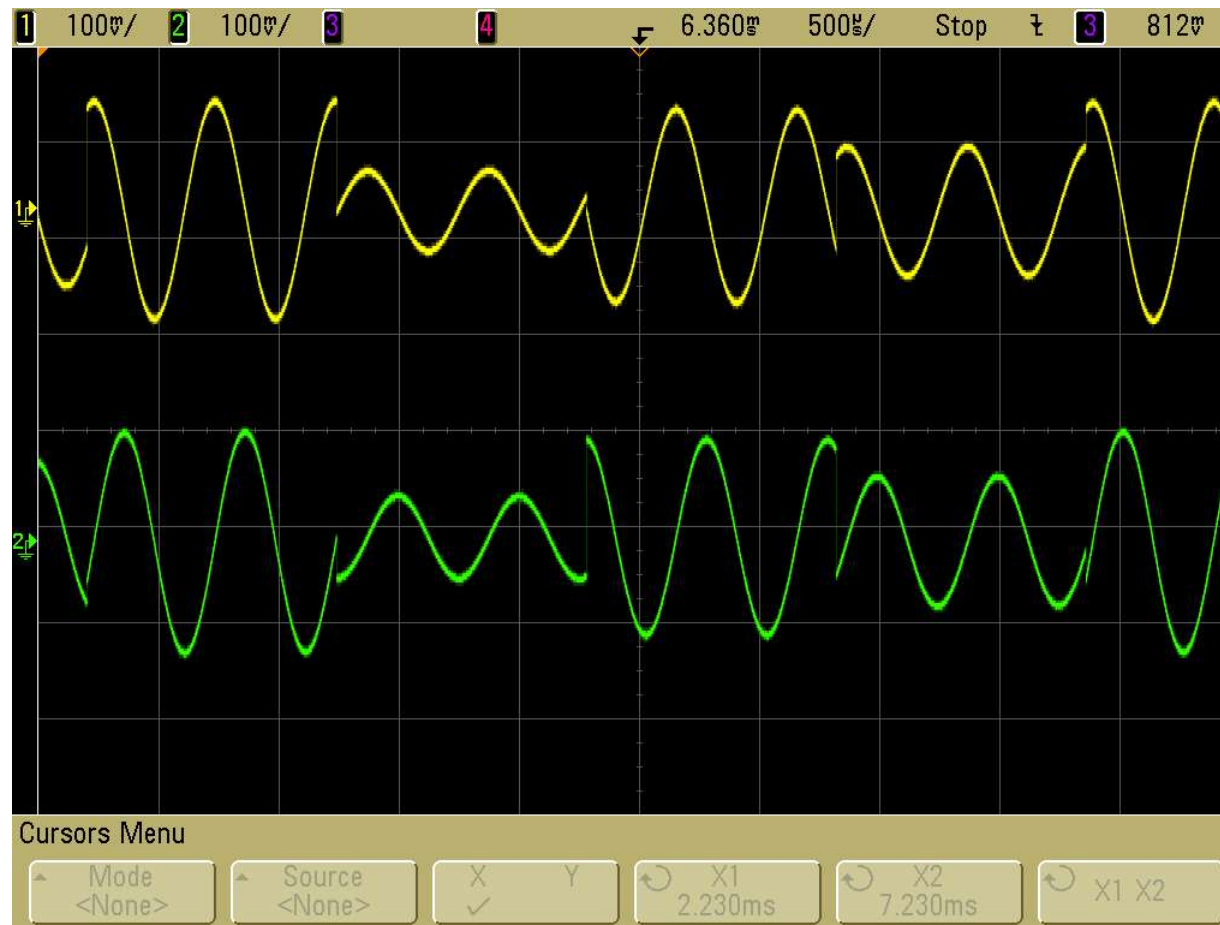
Constelação 64-QAM com Piloto Móvel



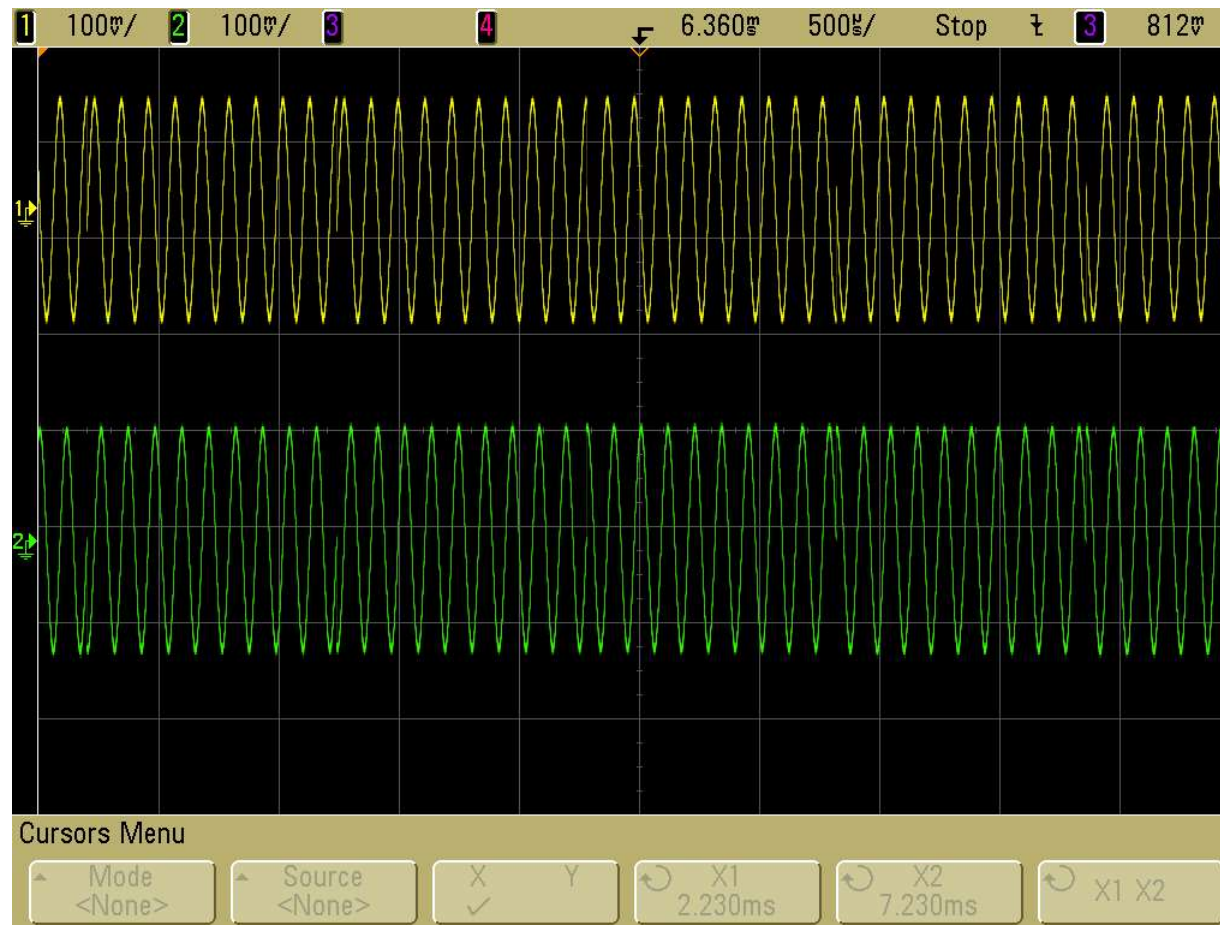
Constelação com Equalização Inadequada



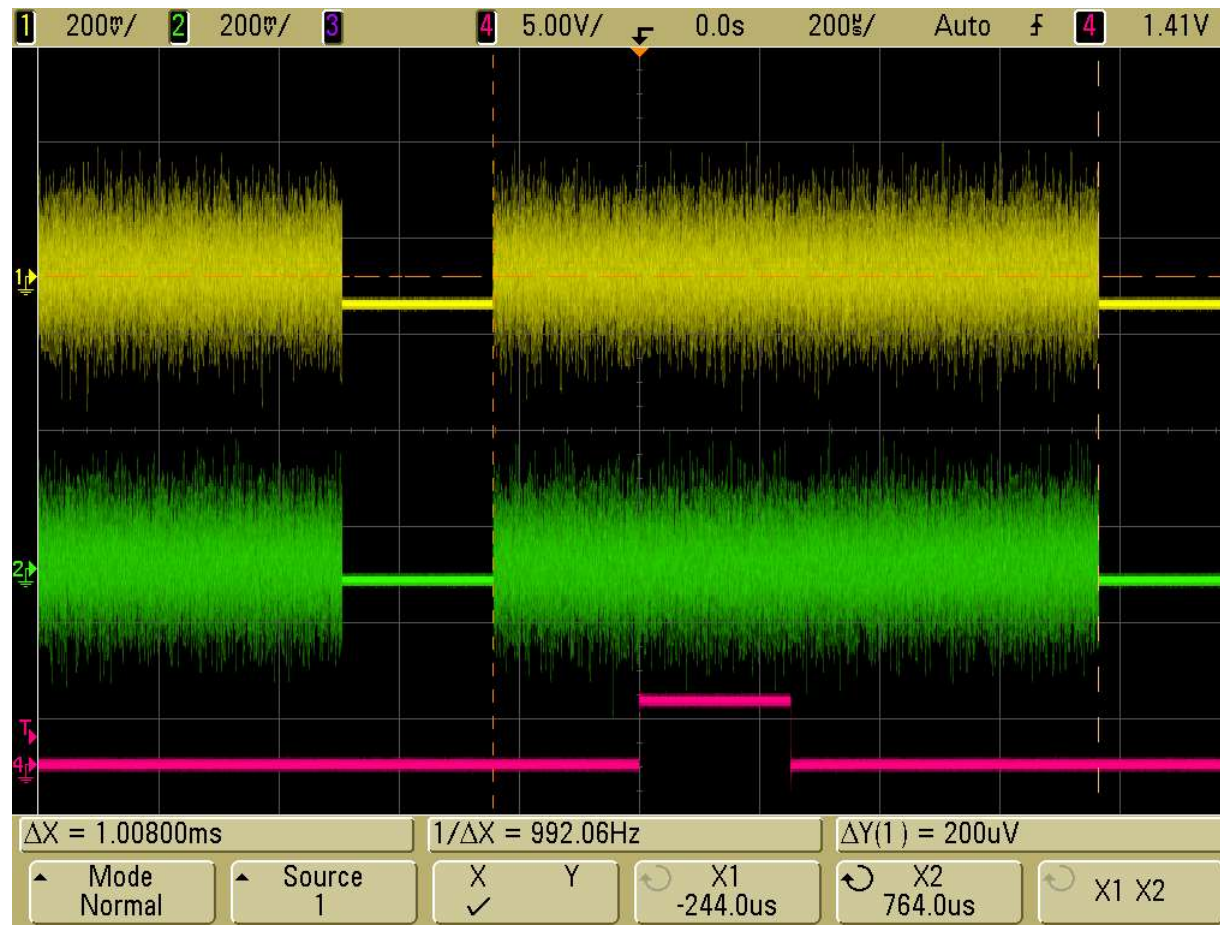
Formas de Onda (I / Q, 1 Portadora, Símbolos Consecutivos)



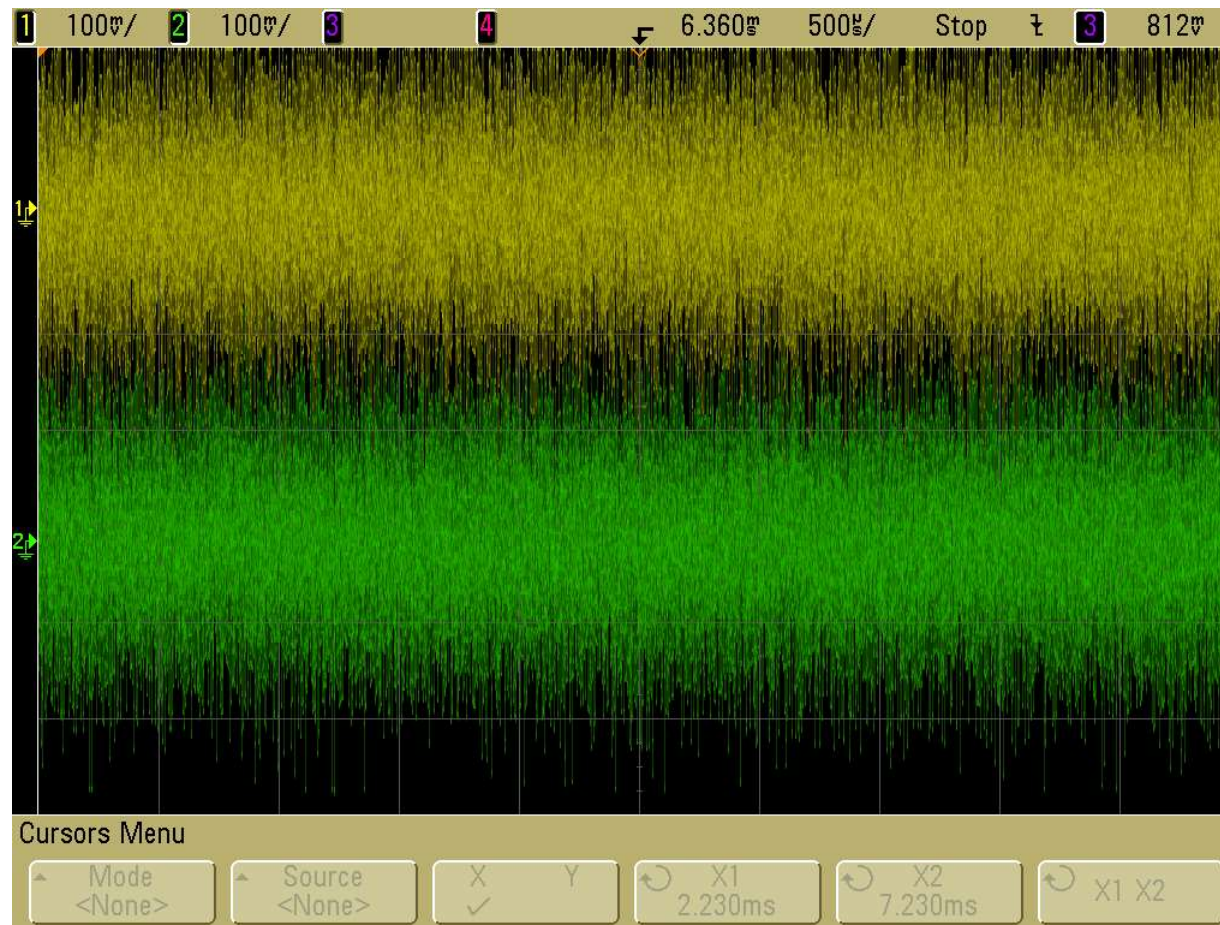
Formas de Onda (I / Q, Portadora TMCC)



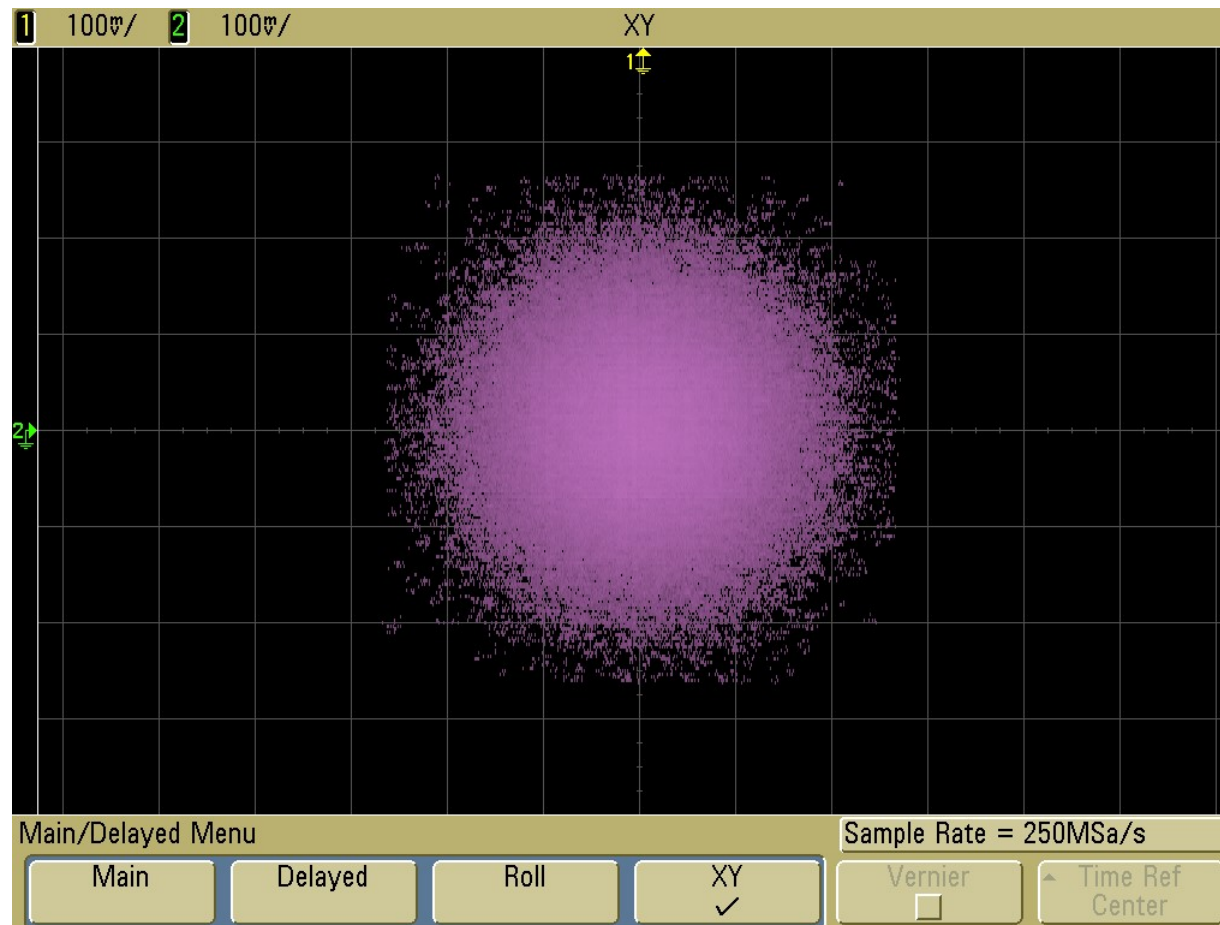
Formas de Onda (I / Q, Intervalo de Guarda 1/4 Suprimido)



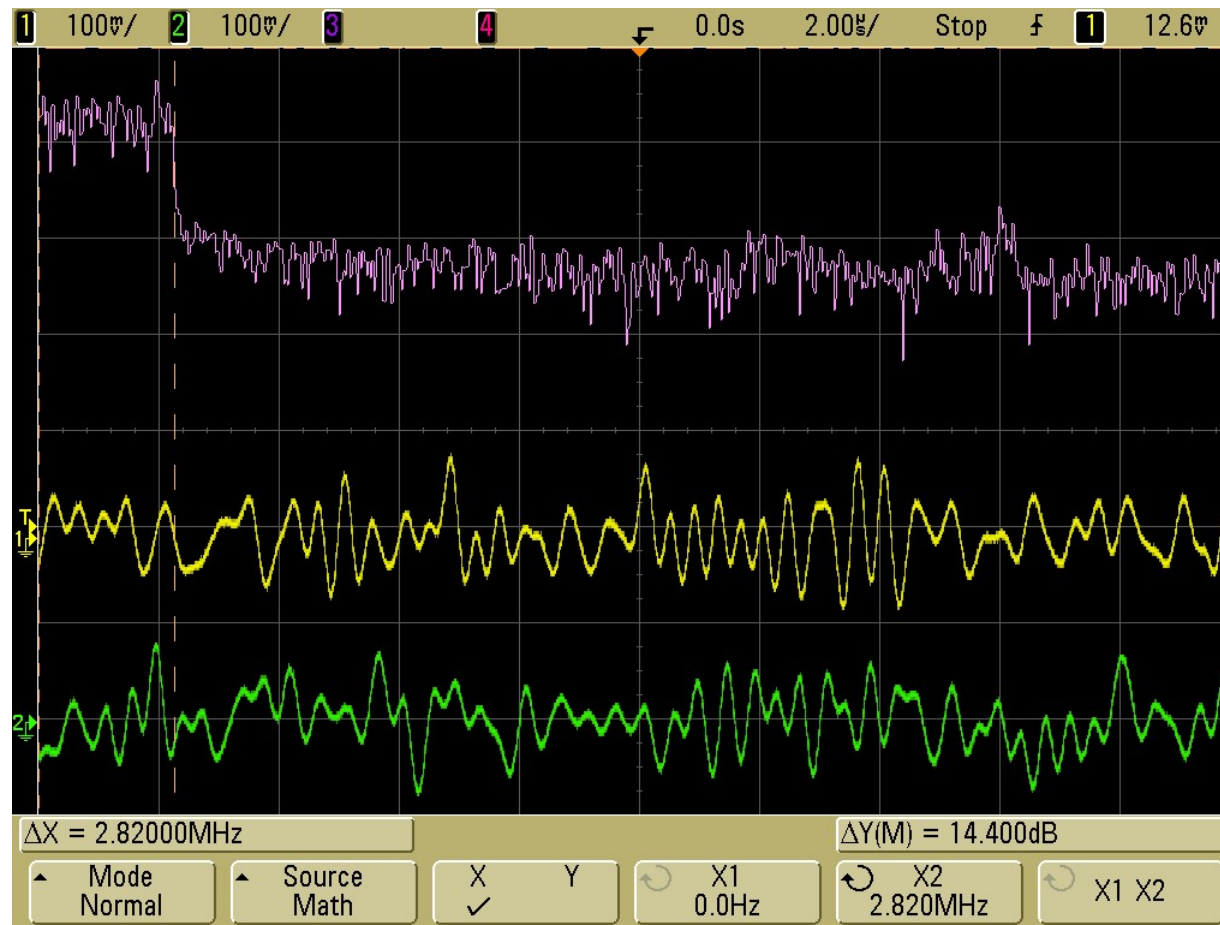
Formas de Onda (I / Q, Intervalo de Guarda 1/4)



Representação Vetorial (I / Q)

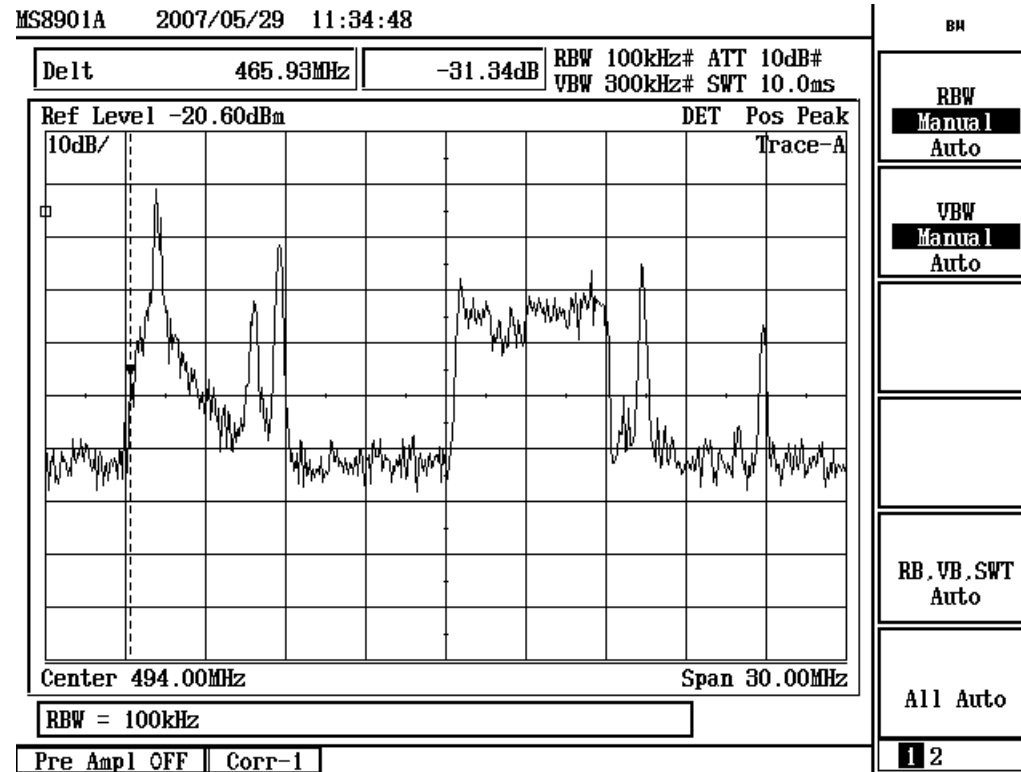


Espectro e Formas de Onda (Escala Expandida)

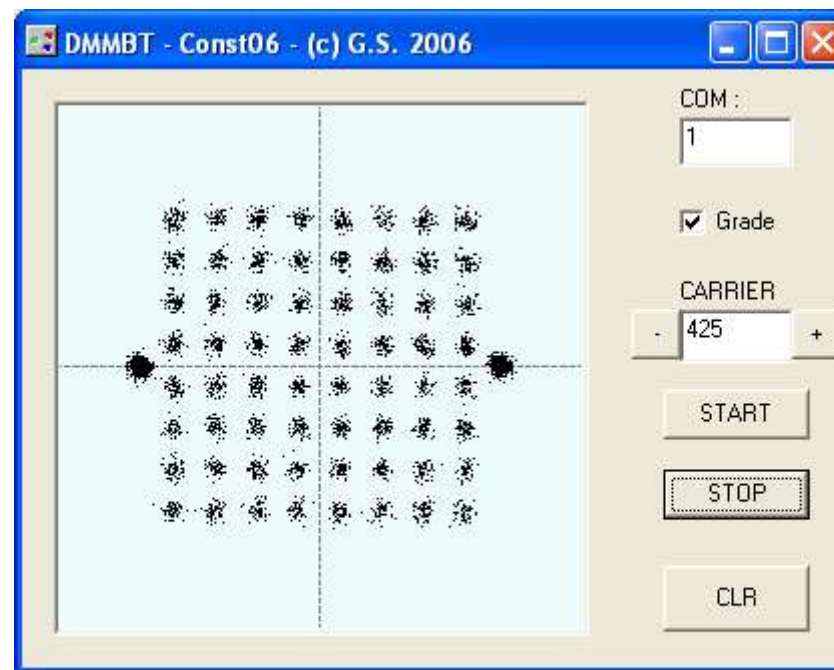


Transmissão Digital (TVGlobo, Canal 18, 29/05/07)

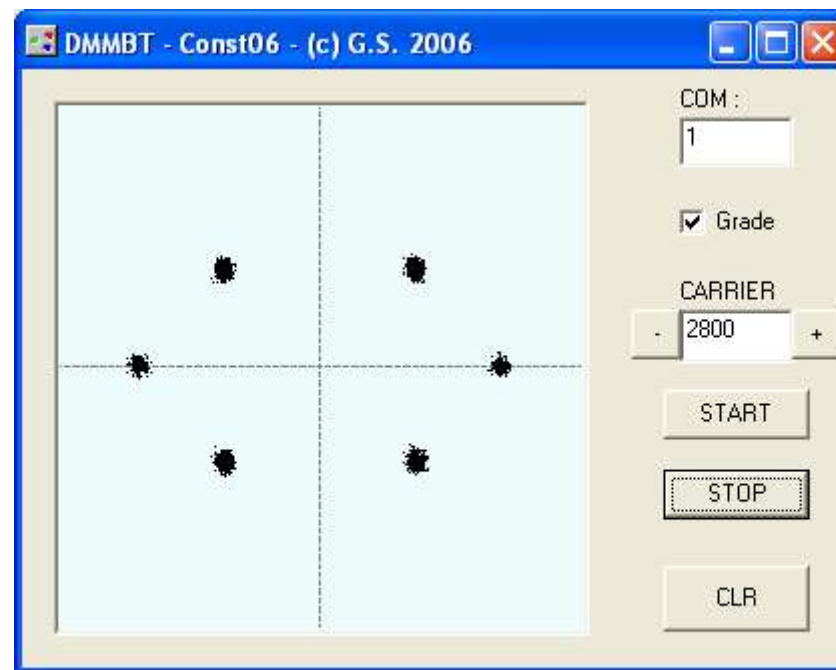
LCS
EPUSP



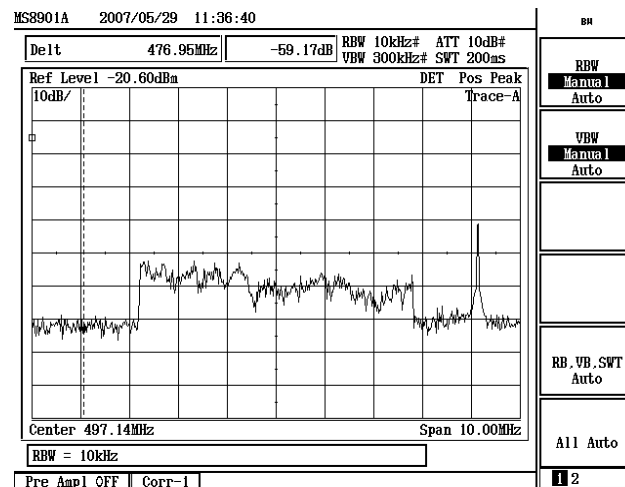
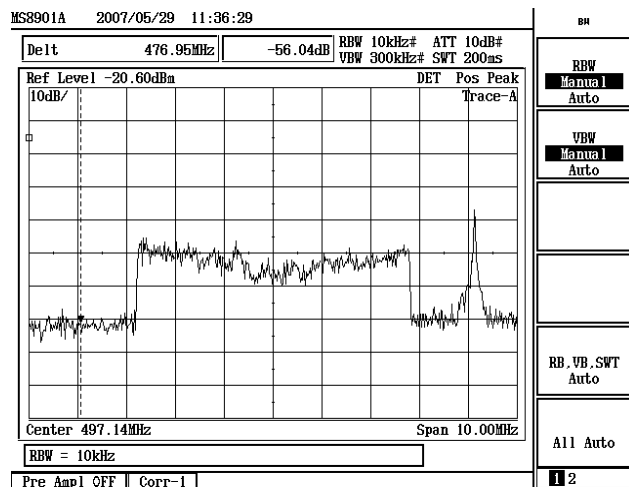
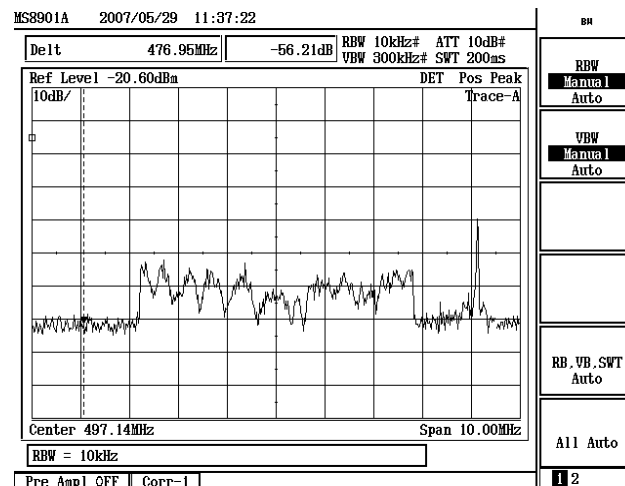
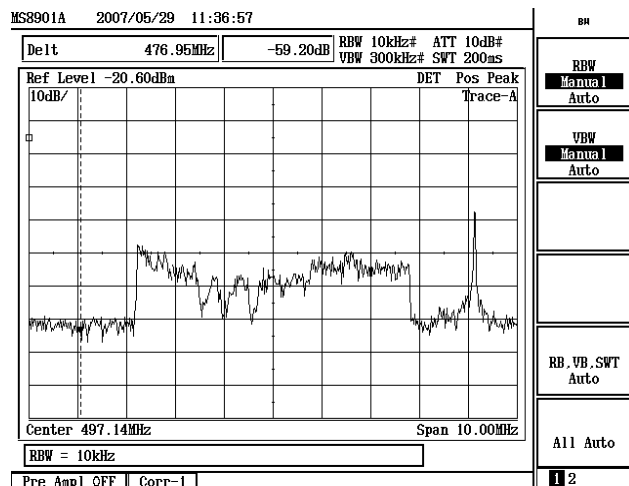
Constelação 64-QAM + Piloto (12 Seg., Layer B)



Constelação QPSK + Piloto (1Seg., Layer A)



Recepção “Indoor” de TV Digital



Equalização do Canal "Indoor"

LCS
EPUSP

MS8901A 2007/05/29 13:56:44

<< Modulation Analysis (ISDB-T MER) >> Measure : Continuous

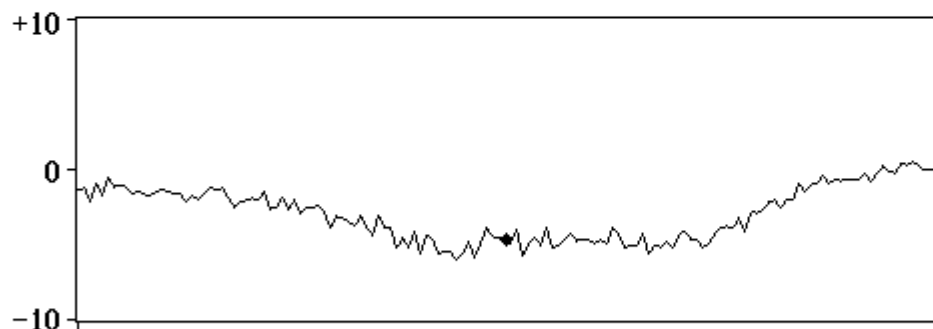
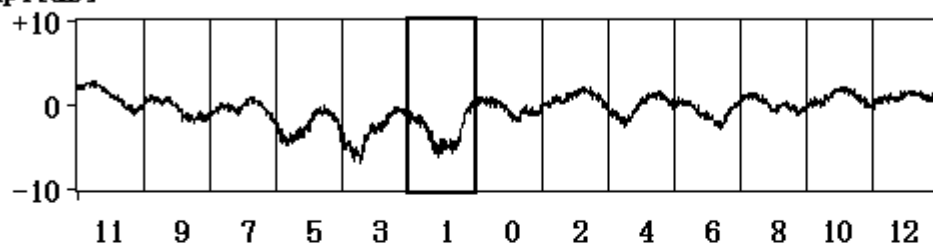
Under Range

Storage : Normal

Seg Ofs : 512

Equalizer: Standard

Ampl[dB]



Marker: 496.712 MHz -4.54 dB

Frequency : 497.150 000MHz Channel : 17CH
Ref Level : -26dBm Pre Ampl : Off

Modulation
Analysis

#

Trace
Format

*

Storage
Mode

*

Correction

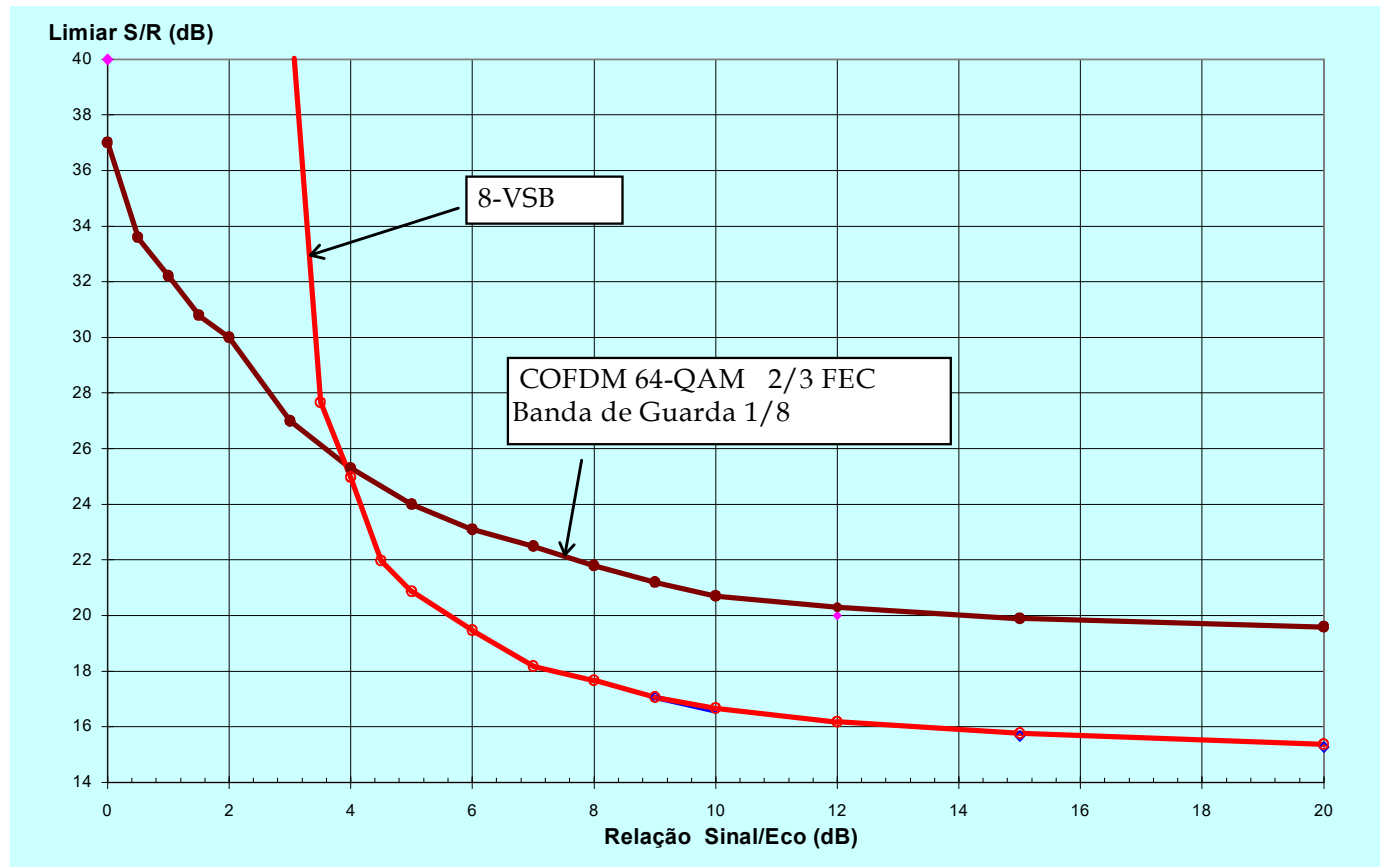
Recv. Seg
13Seg Mode
1 Seg Mode

→

Back
Screen

1 2 3

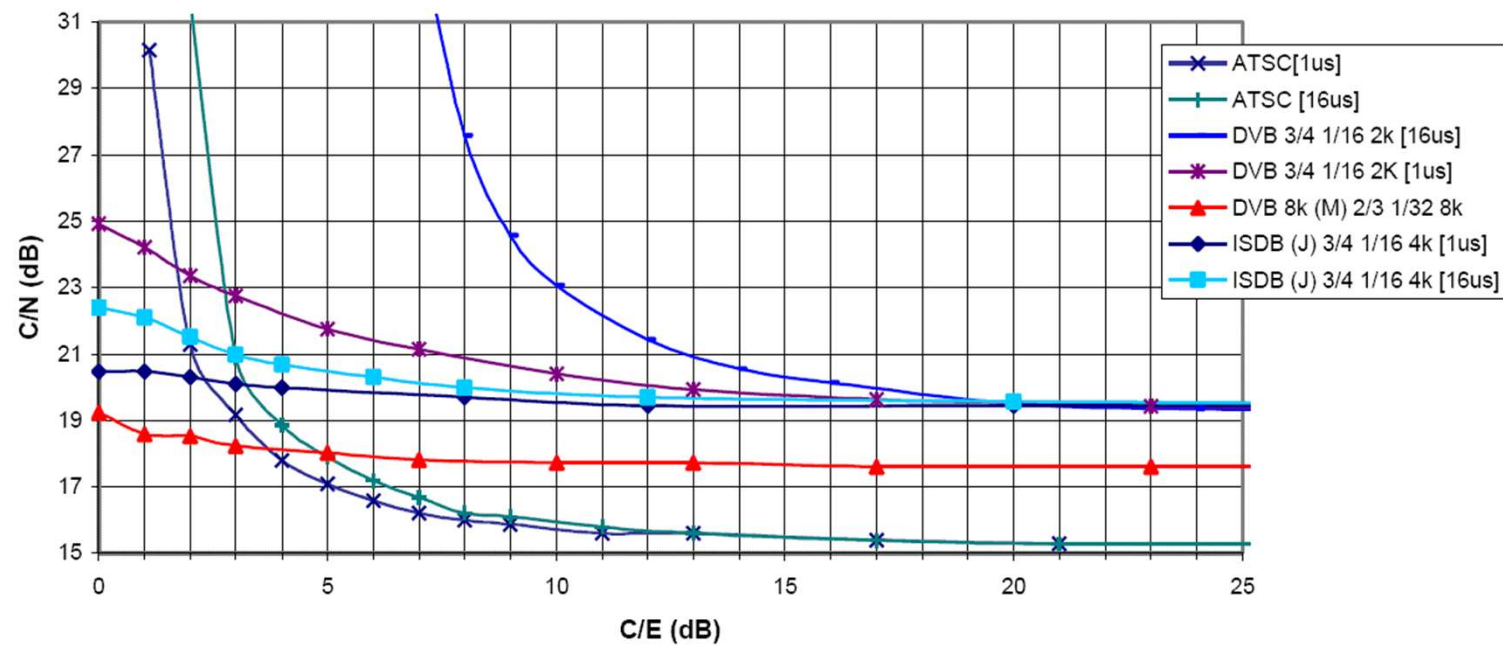
Comparação entre 8-VSB e COFDM



Communications Lab

Comparação entre DVB, ATSC e ISDB-T

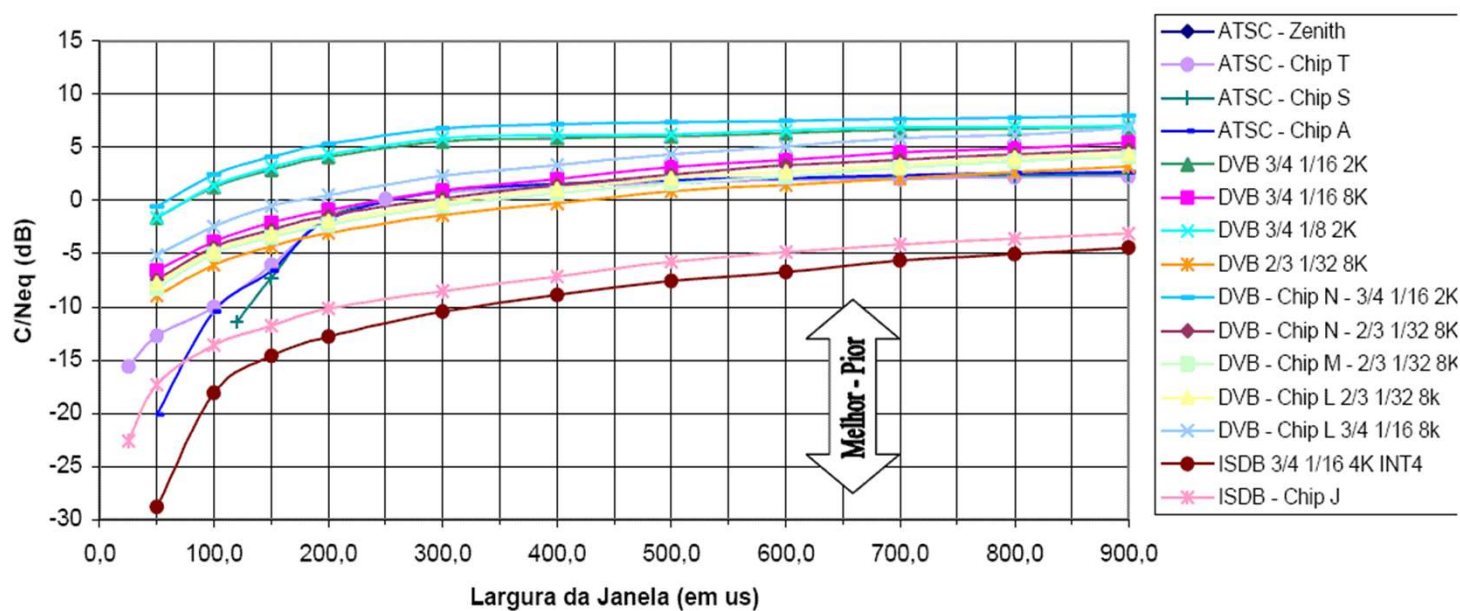
Gráfico 3.2.3.16: Relação Sinal Ruído em função da relação sinal eco
Comparação ATSC DVB ISDB - Pós eco



SET- ABERT 2000

Robustez a Ruído Impulsivo

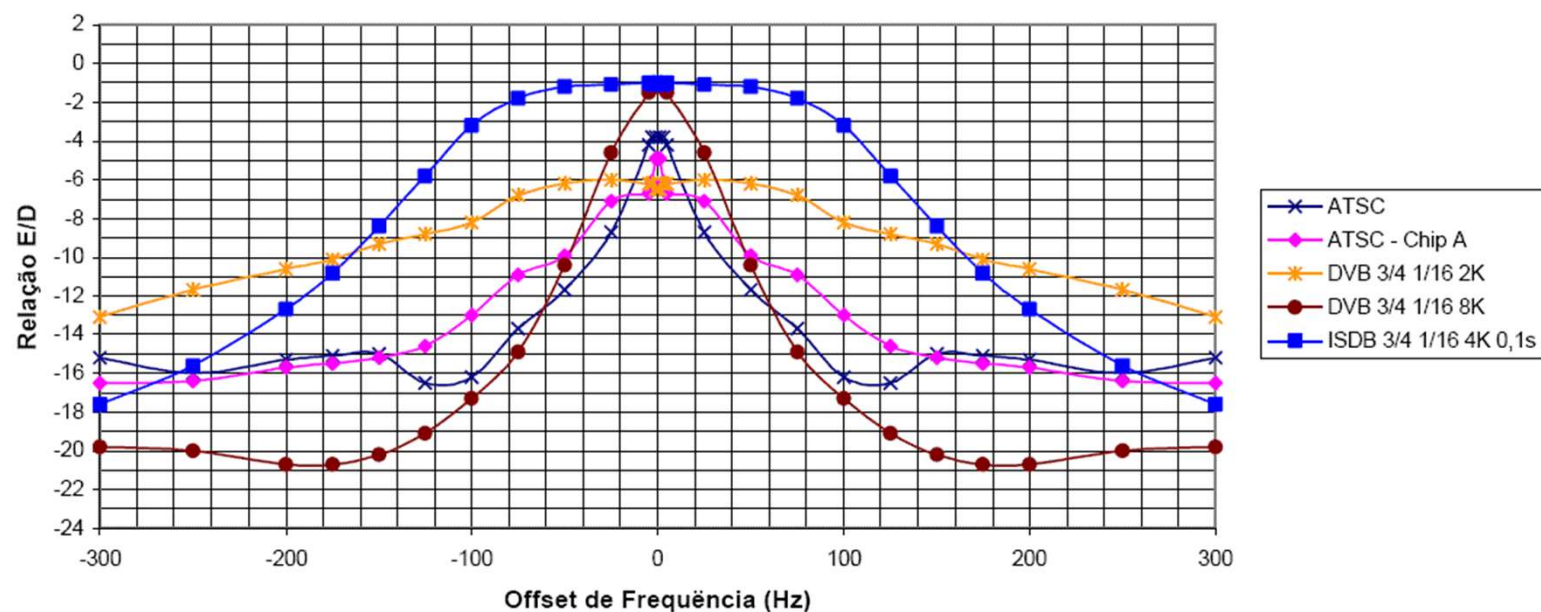
Gráfico 2.5.3.1: Relação entre largura da janela de ruído e relação sinal interferente para ruído impulsivo



SET- ABERT 2000

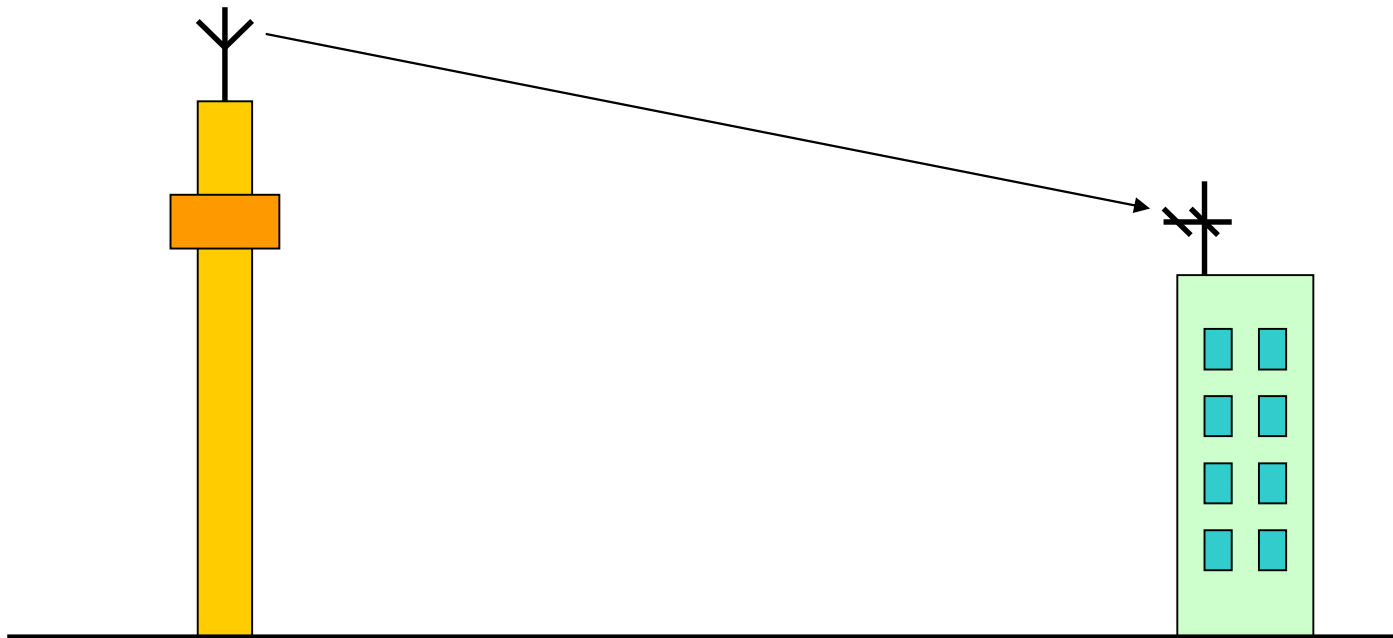
Comparação na Presença de Efeito Doppler

Gráfico 6.3.15 - Relação sinal e eco em função do offset de frequência
Comparação - Pós-eco=16 us

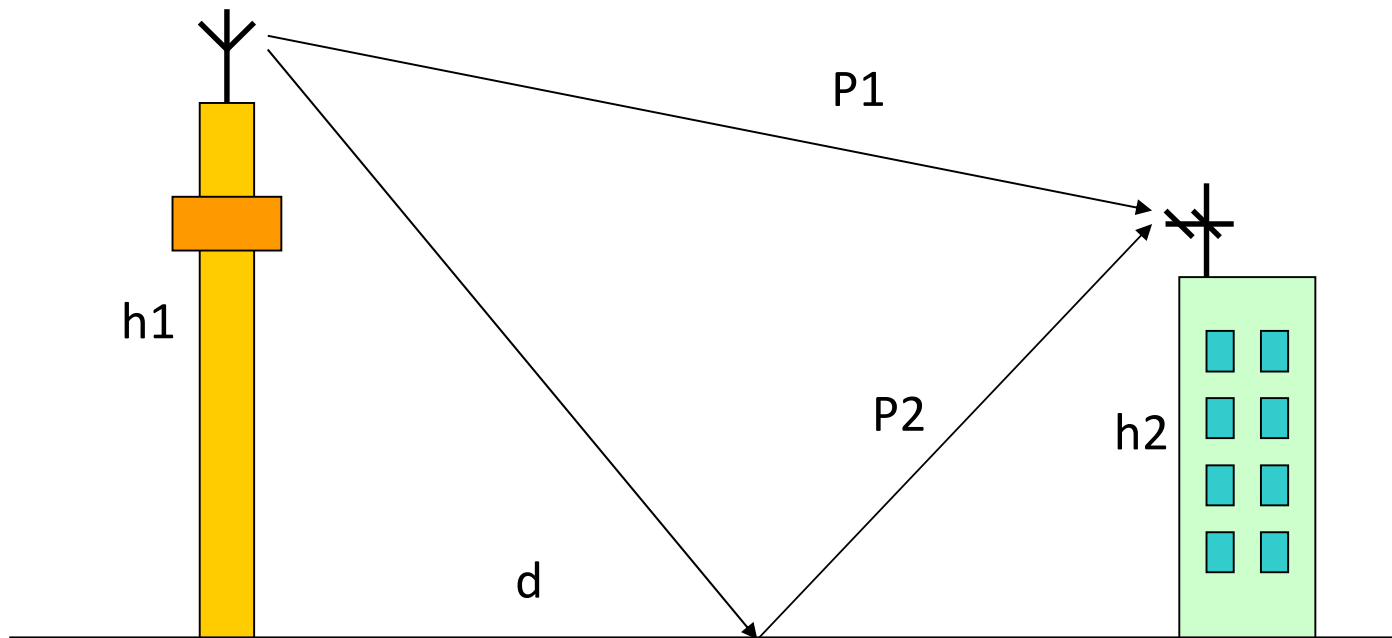


SET- ABERT 2000

De Onde Vem o Eco de 0 dB



De Onde Vem o Eco de 0 dB

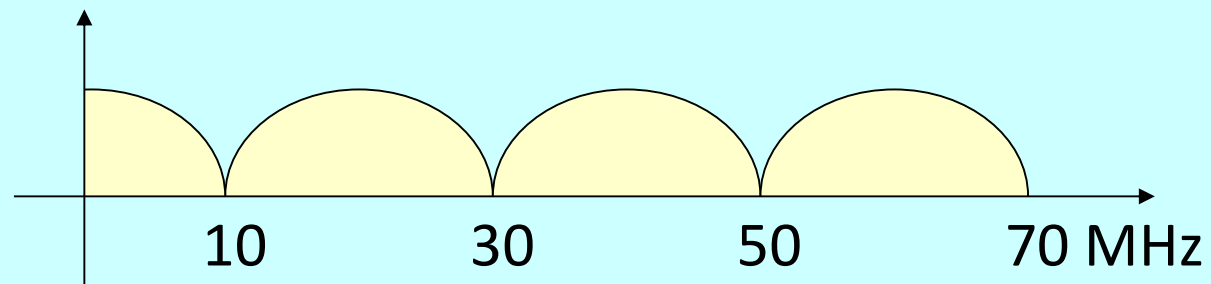


Exemplo de Reflexo no Solo

$h_1 = 150 \text{ m}$ $h_2 = 50 \text{ m}$ $d = 1000 \text{ m}$

$\Rightarrow P_1 = 1005 \text{ m}$ $P_2 = 1020 \text{ m}$

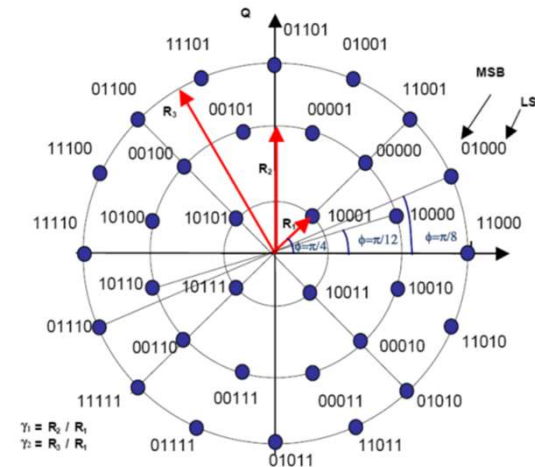
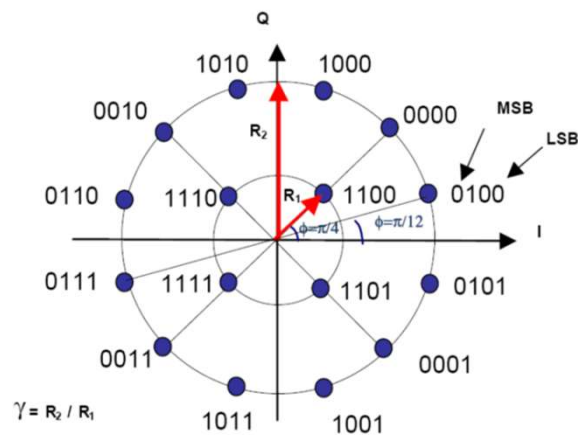
$P_2 - P_1 = 15 \text{ m} \Rightarrow T_2 - T_1 = 50 \text{ ns}$



Resposta em Frequência do Canal

Outros Sistemas de Transmissão Digital

- “Time Domain Synchronous Orthogonal Frequency Division Multiplexing”
- Desenvolvimento na China (Tsinghua University)
- Modulação OFDM com possível sincronização de símbolos via GPS
- Até 32 Mb/s em um canal de 8 MHz



Modulações 16-APSK e 32-APSK

Até 58 Mb/s (7,8 dB SNR)

DVB-S2: Eficiência Espectral para vários Modos

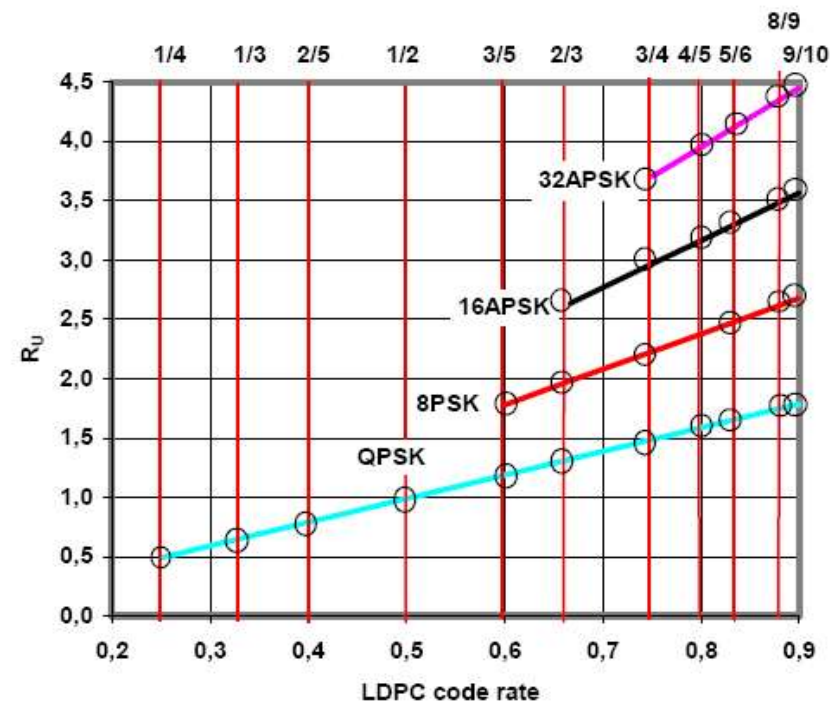


Figure H.1: Examples of useful bit rates R_u versus LDPC code rate per unit symbol rate R_s

LDPC= Low Density Parity Check

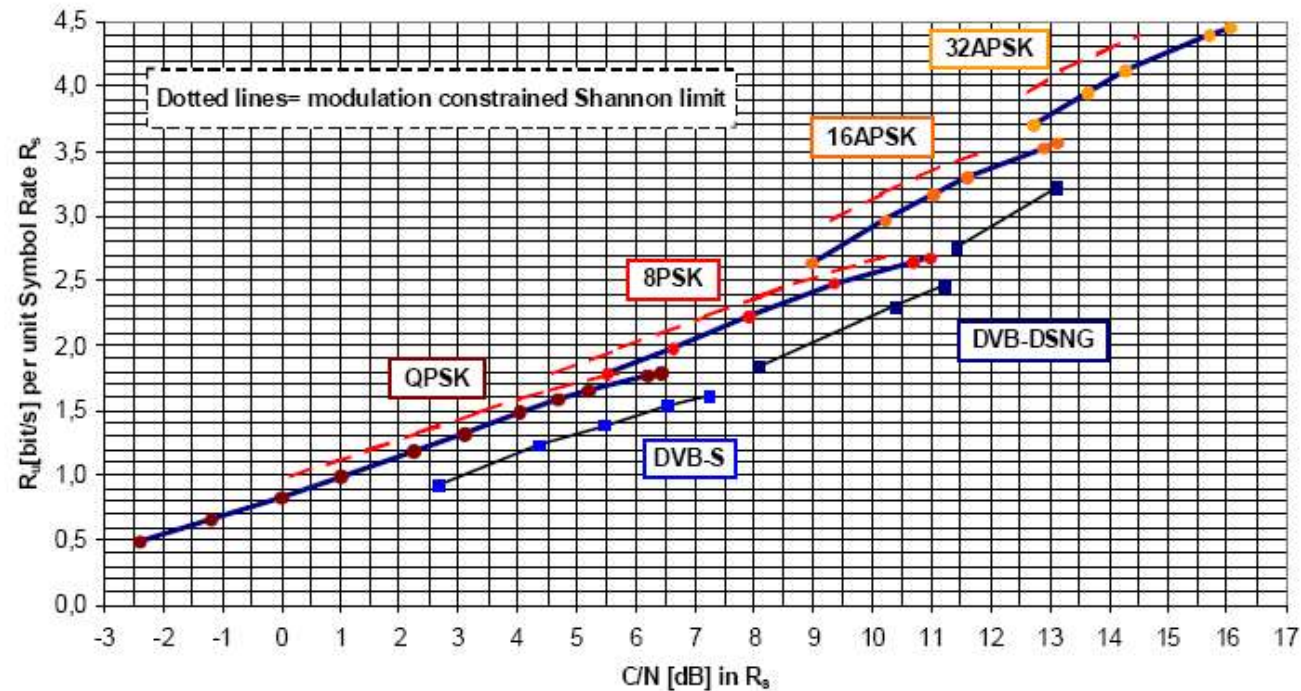
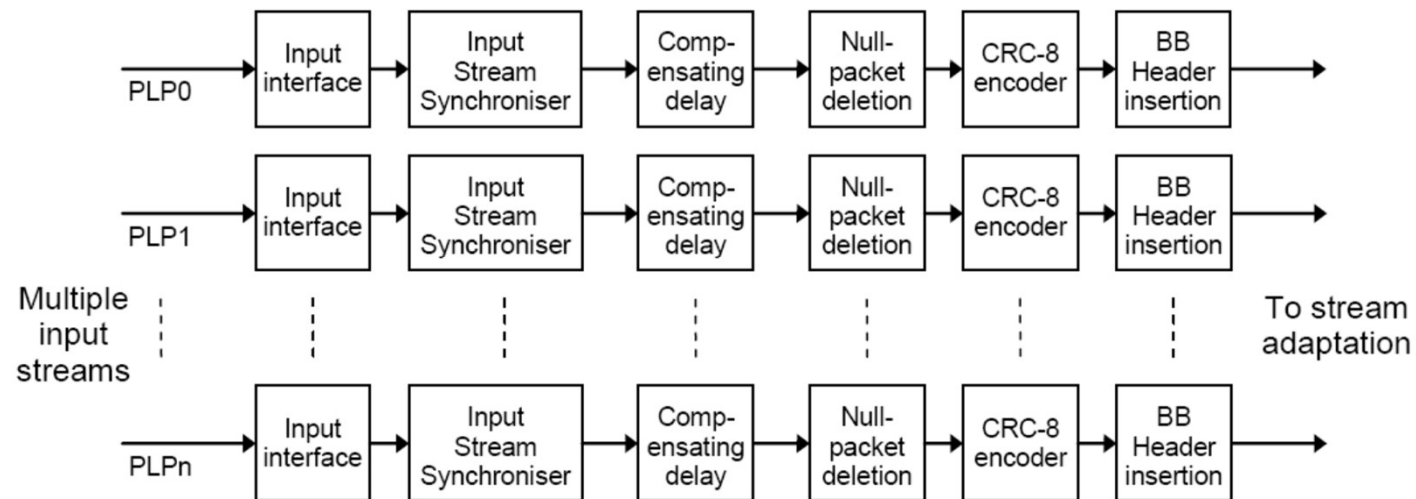


Figure H.2: Required C/N versus spectrum efficiency, obtained by computer simulations on the AWGN channel (ideal demodulator) (C/N refers to average power)

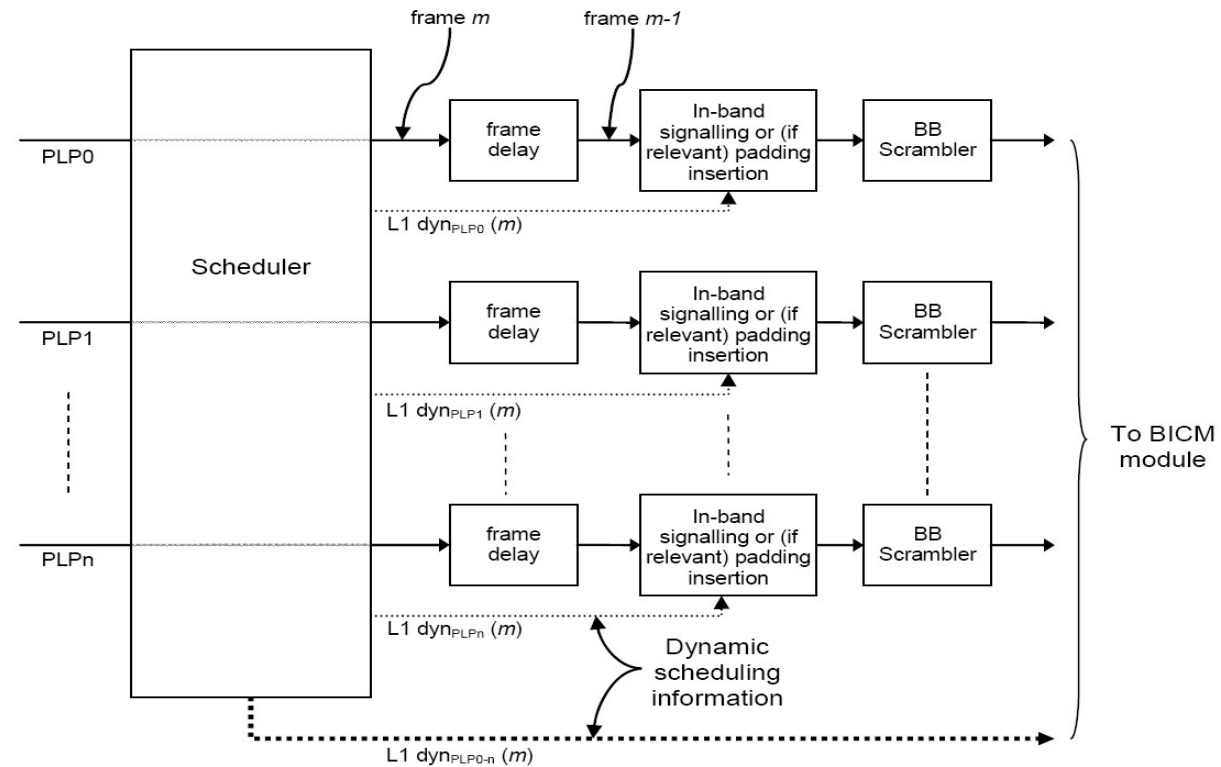
	DVB-T	DVB-T2
Entrada de Dados	TS único (MPEG-2)	TS's múltiplos ou Encapsulamento Genérico de Fluxos (GSE)
Modos	Modulação e Codificação fixas	Modulações e Codificações variáveis
Correção de Erros	Reed-Solomon e Convolutacional 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 e 7/8	BCH + LDPC 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5 e 5/6
Modulação	OFDM	
Portadoras Totais	1705 ou 6817	853 a 27841
Constelações	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	QPSK, 16-, 64- e 256-QAM
Intervalo de Guarda	1/4, 1/8, 1/16 e 1/32	1/4, 19/128, 1/8, 19/256, 1/16, 1/32 e 1/128
Ordem da IFFT	2k e 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k e 32k
Portadoras Pilotos	Padrão único, 2,6% fixas e 8% móveis	Padrões variáveis, 0,35% fixas e 1, 2, 4 ou 8% móveis
Redução de Fator de Crista	Não especificado	Expansão de Constelações ou Portadoras Reservadas: 10, 18, 36, 72, 144 ou 288
Taxa de Bits (canal de 8 MHz)	4,98 a 31,67 Mb/s	7,44 a 50,32 Mb/s

BCH= Bose-Chaudhuri-Hocquenghem

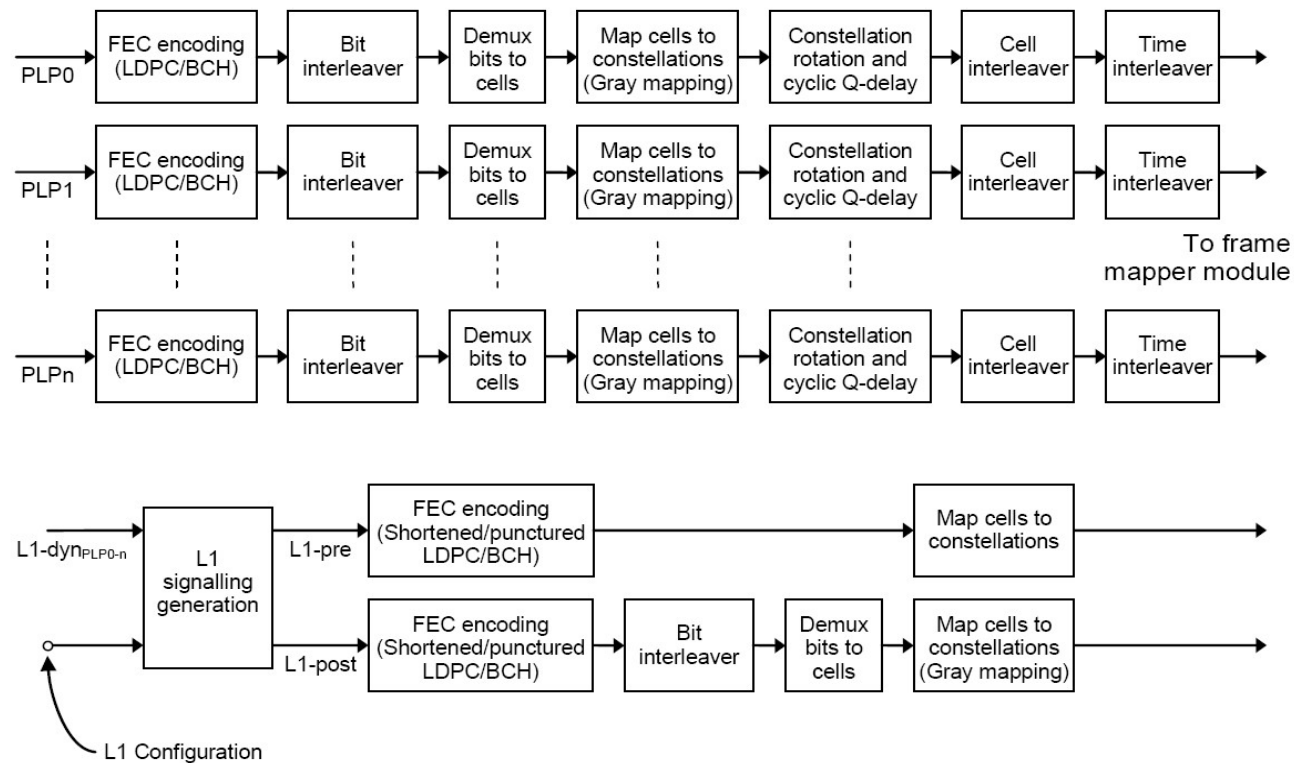
DVB-T2: Entrada e Adaptação de Modos



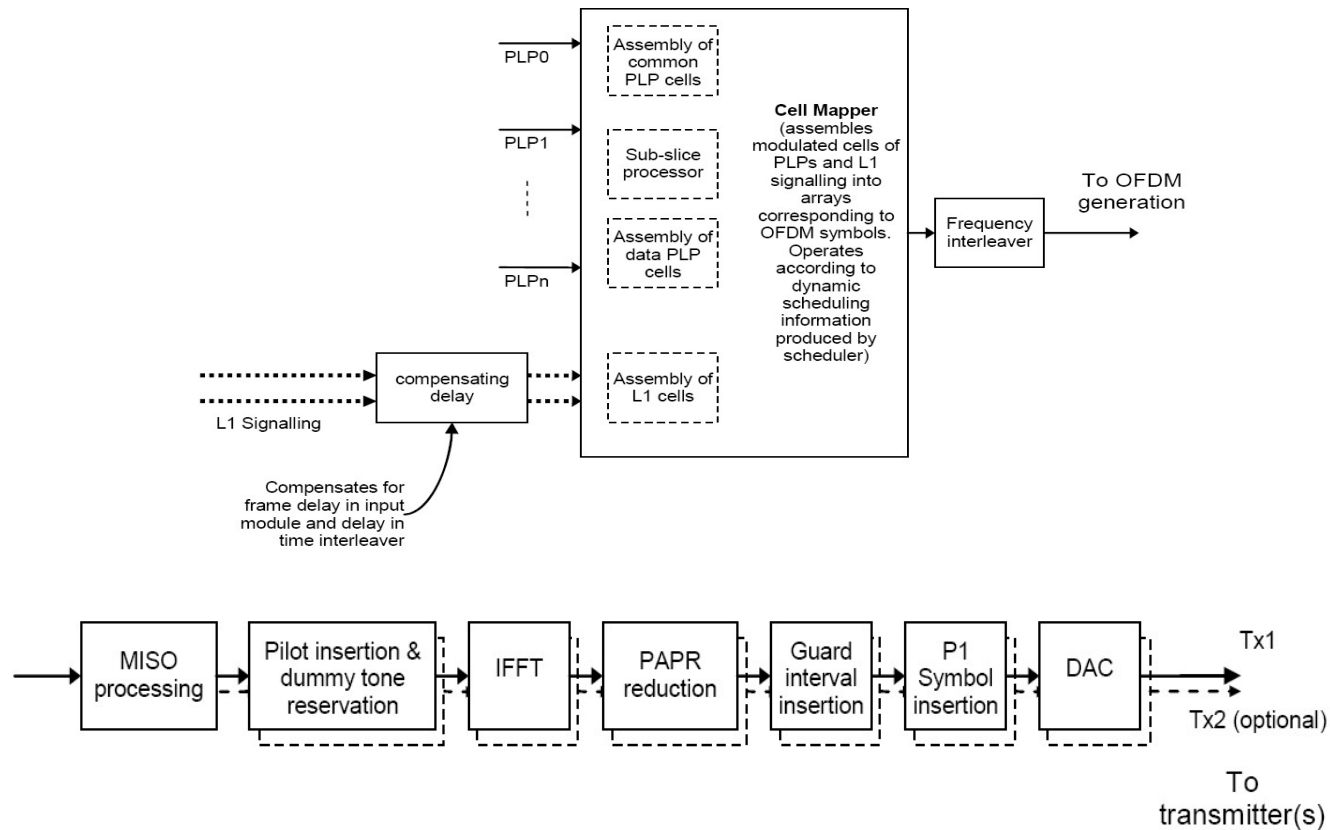
DVB-T2: Adaptação de Fluxos



DVB-T2: BICM (Baseband Interleaved Coding and Modulation)



DVB-T2: Montagem de Quadro e Geração OFDM



DVB-T2: Códigos de Correção de Erros

Table 6(a): Coding parameters (for normal FECFRAME $N_{ldpc} = 64\,800$)

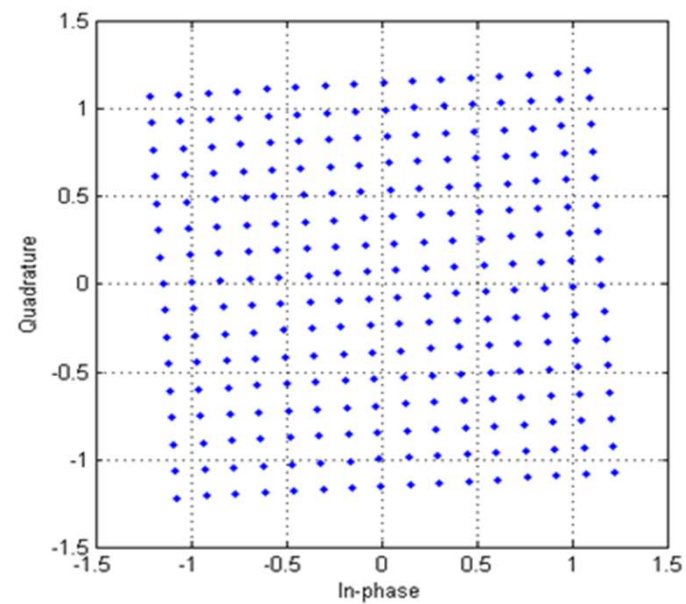
LDPC Code	BCH Uncoded Block K_{bch}	BCH coded block N_{bch} LDPC Uncoded Block K_{ldpc}	BCH t-error correction	$N_{bch} - K_{bch}$	LDPC Coded Block N_{ldpc}
1/2	32 208	32 400	12	192	64 800
3/5	38 688	38 880	12	192	64 800
2/3	43 040	43 200	10	160	64 800
3/4	48 408	48 600	12	192	64 800
4/5	51 648	51 840	12	192	64 800
5/6	53 840	54 000	10	160	64 800

Table 6(b): Coding parameters (for short FECFRAME $N_{ldpc} = 16\,200$)

LDPC Code identifier	BCH Uncoded Block K_{bch}	BCH coded block N_{bch} LDPC Uncoded Block K_{ldpc}	BCH t-error correction	$N_{bch} - K_{bch}$	Effective LDPC Rate $K_{ldpc}/16\,200$	LDPC Coded Block N_{ldpc}
1/4 (see note)	3 072	3 240	12	168	1/5	16 200
1/2	7 032	7 200	12	168	4/9	16 200
3/5	9 552	9 720	12	168	3/5	16 200
2/3	10 632	10 800	12	168	2/3	16 200
3/4	11 712	11 880	12	168	11/15	16 200
4/5	12 432	12 600	12	168	7/9	16 200
5/6	13 152	13 320	12	168	37/45	16 200

NOTE: This code rate is only used for protection of L1-pre signalling and not for data.

DVB-T2: Constelações Rotacionadas



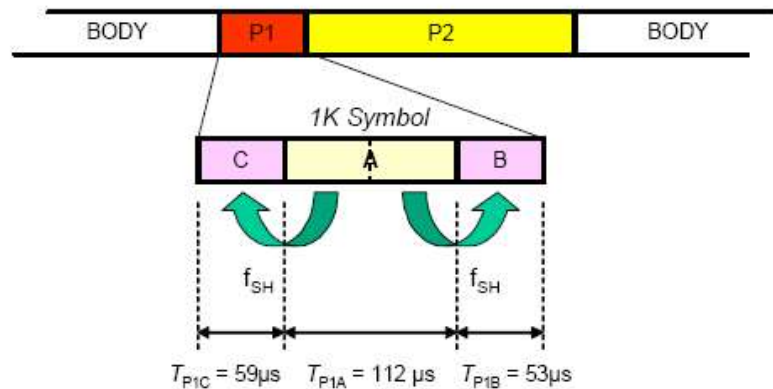


Figure 51: P1 symbol structure

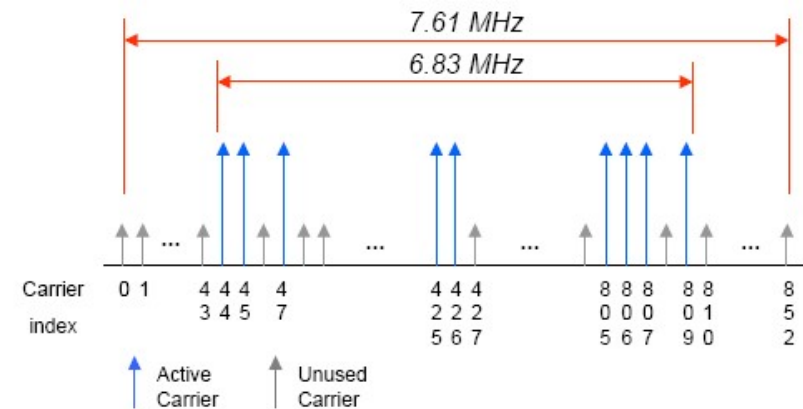


Figure 52: Active carriers of the P1 symbol

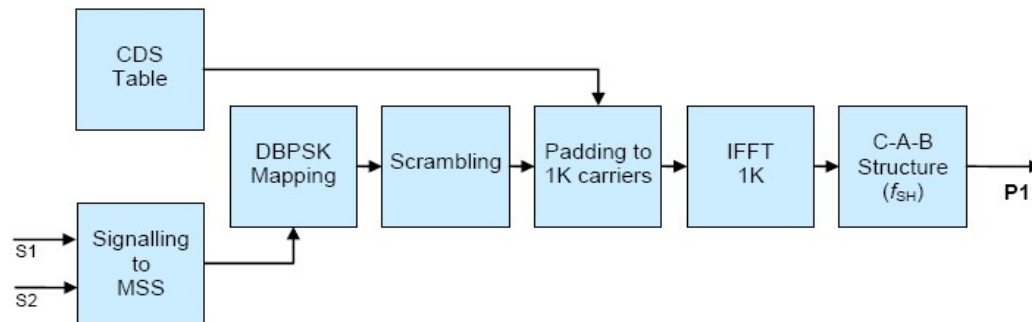


Figure 53: Block diagram of the P1 symbol generation

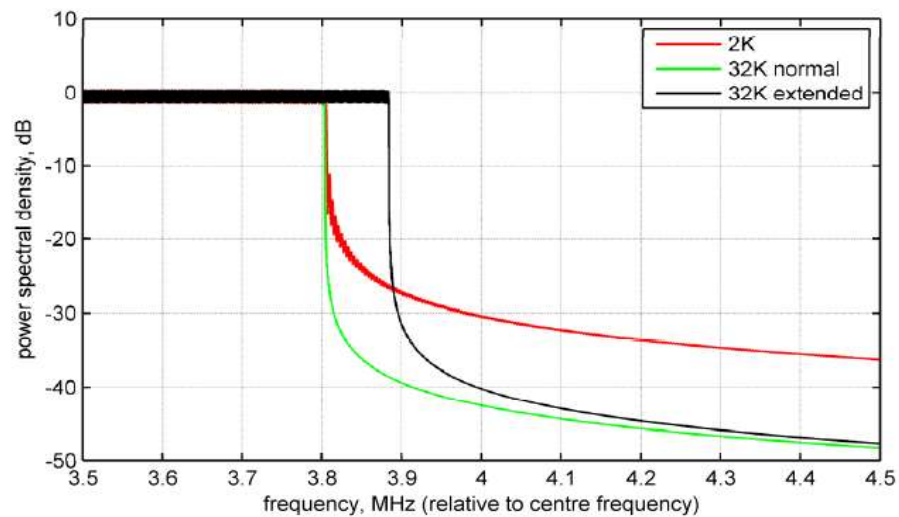


Figure 54(b): Detail of theoretical DVB-T2 spectrum for guard interval fraction 1/8 (for 8 MHz channels)

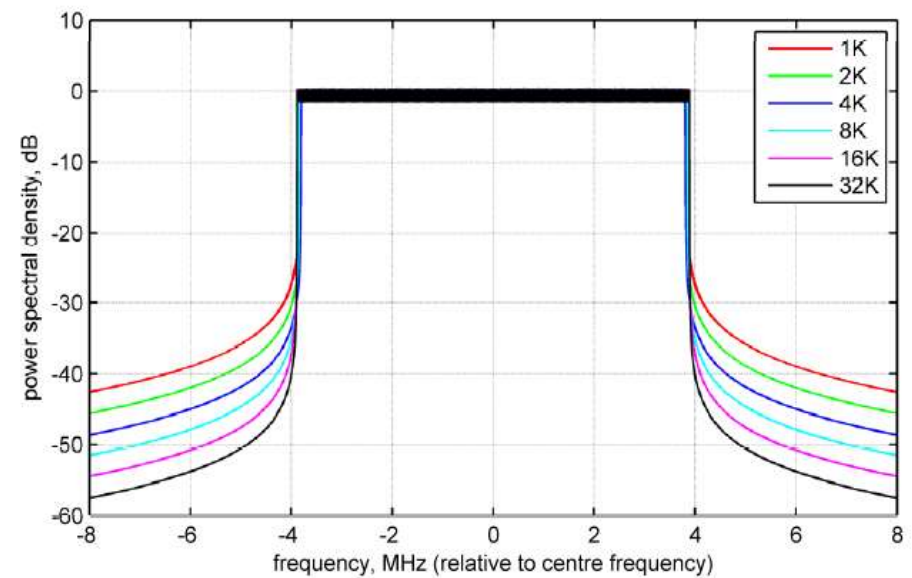


Figure 54(a): Theoretical DVB-T2 signal spectrum for guard interval fraction 1/8 (for 8 MHz channels and with extended carrier mode for 8K, 16K and 32K)

Considerações Finais

- Etapa de Radiofrequência:
 - Programação do PLL do Oscilador Local para o canal escolhido
 - C.A.G. não-coerente ajusta nível aproximado do sinal
 - Circuito de Autocorrelação detecta o Intervalo de Guarda
 - PLL ajusta frequência de amostragem

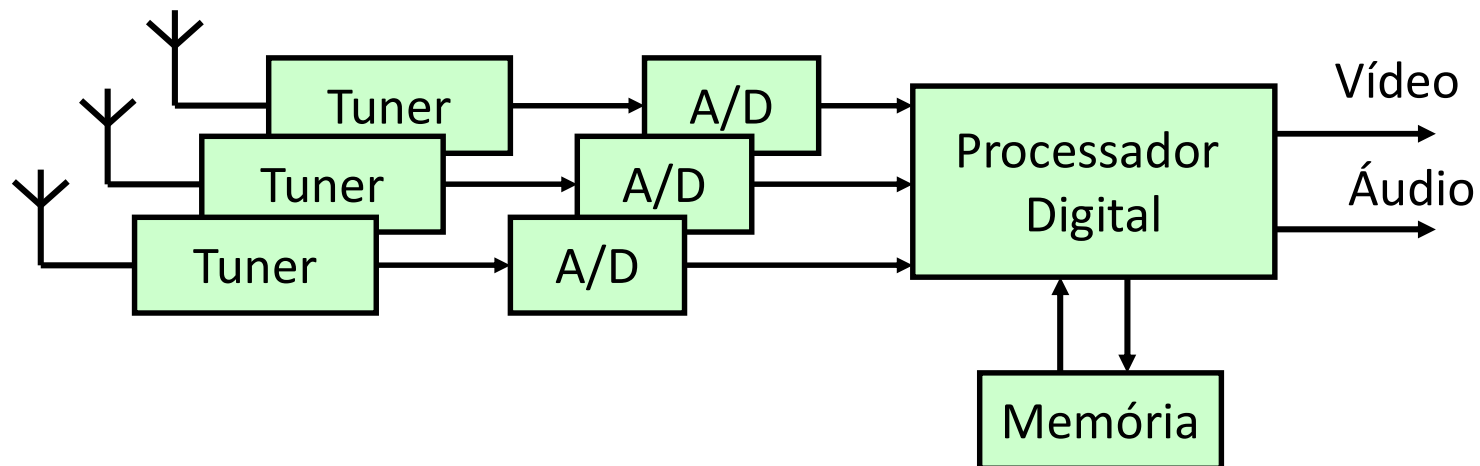
- Sincronização:
 - Detecta o Modo de transmissão
 - Posiciona janela da FFT
 - Ajuste grosso do CAF da portadora
 - Ajuste grosso do CAF da taxa de amostragem
 - Ajustes finos dos CAF's
 - Demodulador BPSK extrai informação da TMCC
 - Inicia a decodificação do Código Convolucioal
 - Inicia a decodificação do Código Reed-Solomon
 - Pacotes de Transporte são extraídos

- Transporte MPEG:
 - Aguarda Pacote com PID = 0, e obtém PID do pacote que contém o Mapa de Programa (MAP_PID)
 - Aguarda Pacote com PID = MAP_PID e obtém os PID's dos fluxos elementares do programa (Vídeo, Áudio, etc.)
 - Identifica Pacotes com PID's especificados e encaminha-os aos Decodificadores correspondentes (Áudio, Vídeo, Dados)

- Decodificação de Vídeo MPEG:
 - Aguarda Cabeça de Sequência e configura parâmetros de exibição
 - Aguarda Cabeça de Grupo (GOP)
 - Aguarda imagens tipo I e P de referência
 - Inicia decodificação e apresentação da imagem.

Tendência Futura: Receptor Multi-padrão

- Processamento Digital de Sinais pode implementar qualquer sistema de modulação, transporte e codificação
- Diversidade Espacial melhora recepção com multi-percurso e permite recepção em banda larga

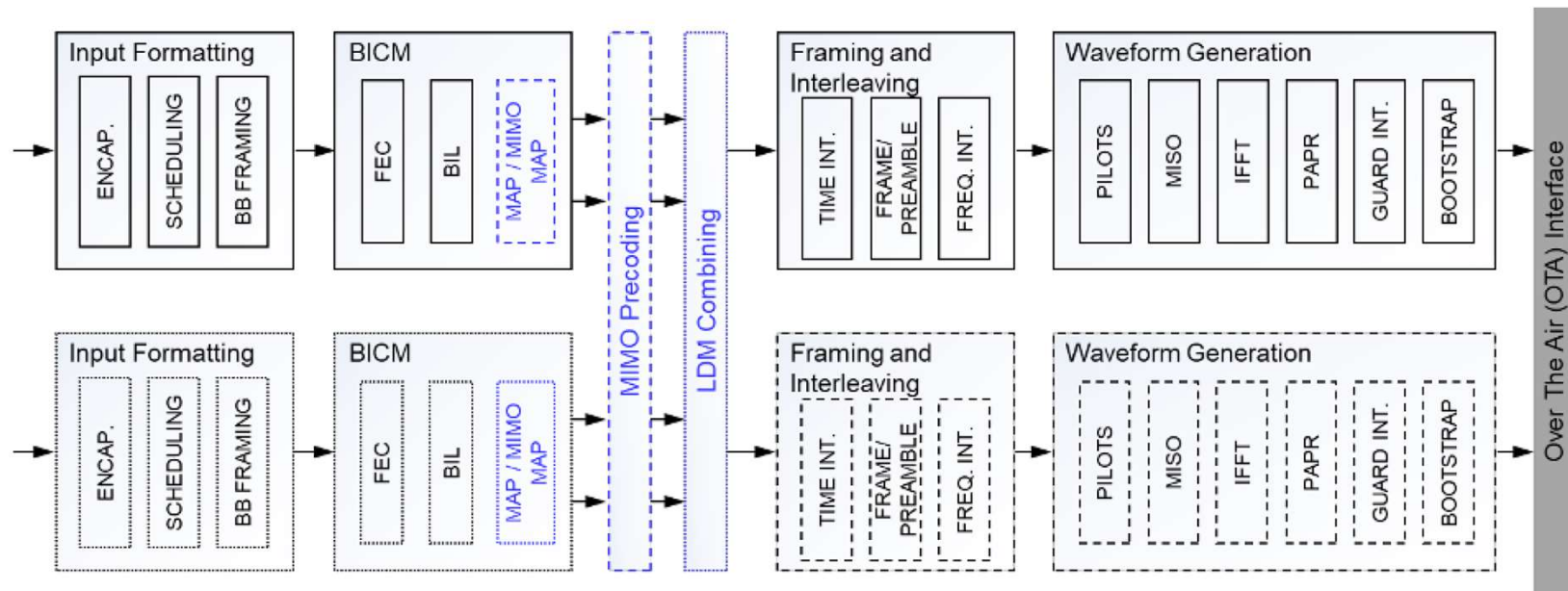


Transmissão Experimental “8k” (UHDV)

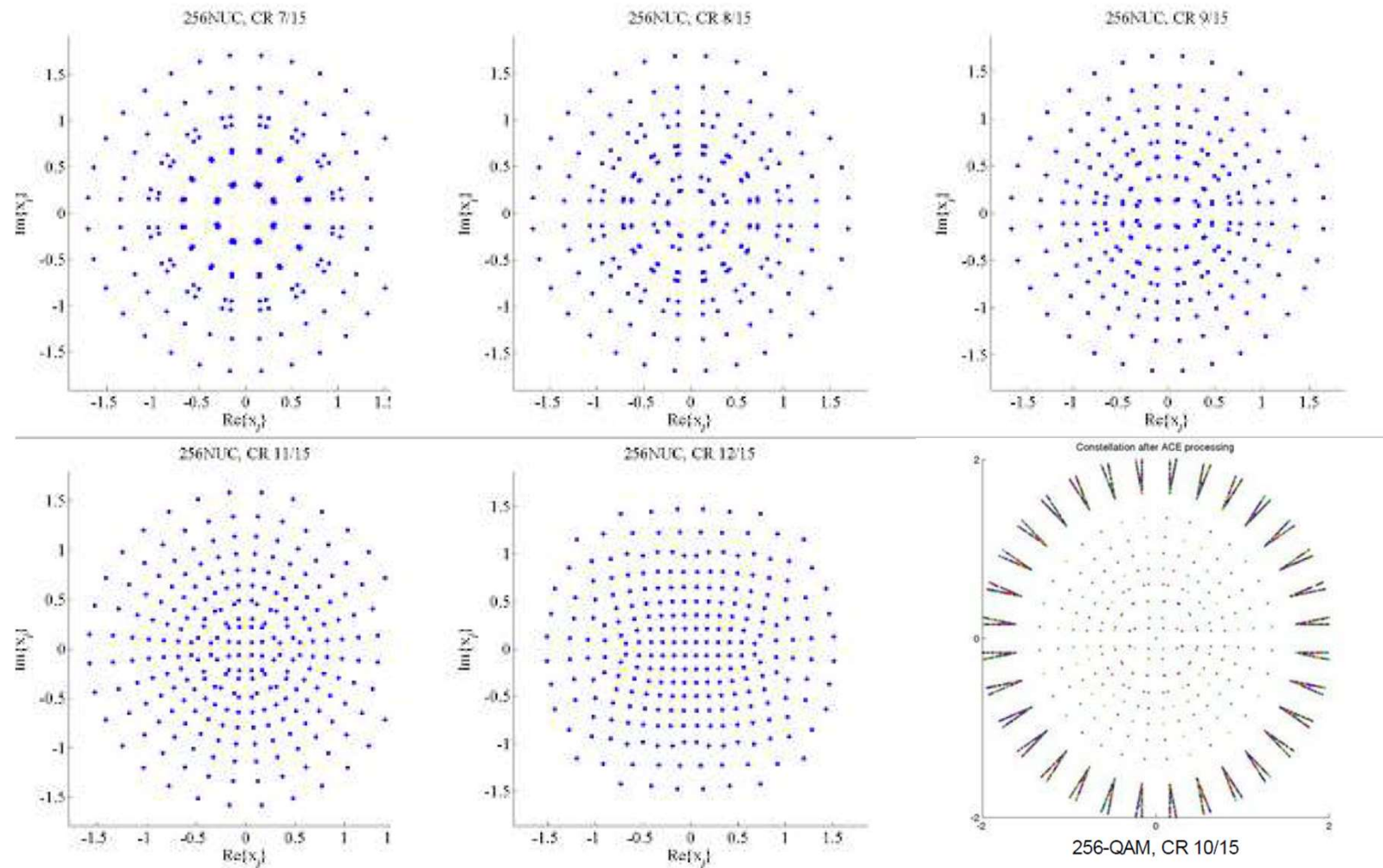
- Modulação OFDM com constelação 4096-QAM (12 bits/símbolo)
- Diversidade de Polarização (H / V) em canal de 6 MHz
- Compressão H.265



Televisão 3.0 (baseada no sistema ATSC 3.0)



TV 3.0: Constelações não-uniformes e PAPR



TV 3.0: Camada de Enlace MPEG+IP

