

# Modulação COFDM – Uma proposta atrativa para os padrões de TV Digital

ANA LUIZA RODRIGUES  
REGINA MISSIAS GOMES

Instituto de Ensino Superior de Brasília - IESB

[analurr@hotmail.com.br](mailto:analurr@hotmail.com.br)

[regina\\_missias@pop.com.br](mailto:regina_missias@pop.com.br)

**Resumo:** Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex (COFDM) é uma técnica de modulação baseada no Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) o qual utiliza sub-portadoras ortogonais para modular os sinais, diferindo no acréscimo da codificação, de onde acrescenta-se o “C” ao OFDM. O COFDM é a modulação mais utilizada, hoje, nos padrões existentes de Televisão (TV) Digital, o Digital Video Broadcasting (DVB) e o Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB). Os objetivos deste artigo são apresentar a filosofia de funcionamento desta modulação, uma comparação da modulação COFDM com a 8-Vestigial Side Band (VSB), que é a modulação utilizada para o padrão Advanced Television System Comitee (ATSC), possíveis vantagens e desvantagens do sistema COFDM, bem como, pretende mostrar que o COFDM é a modulação ideal para a TV Digital, visto que possui a robustez necessária para que vários aplicativos na TV Digital funcionem adequadamente.

**Abstract:** Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex (COFDM) is a modulation technique based on Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) which uses orthogonal sub-carriers to modulate the signal, differing on the addition of codification, which adds the “C” to OFDM. The COFDM is the most used modulation, actually, to the existing TV Digital standards, the Digital Video Broadcasting (DVB) and the Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB). The purpose of this paper is to show the functioning philosophy of such modulation, compare COFDM to the 8-Vestigial Side Band (VSB), which is the modulation used on the standard Advanced Television System Comitee (ATSC), possible advantages and disadvantages of COFDM system, as well, intends to show that COFDM is the ideal for Digital TV, since it has the robustness necessary for many applications on Digital TV correctly works.

**Keywords:** COFDM, OFDM, TV Digital, 8-VSB, SDTV, HDTV

## 1- Introdução

Desde a sua criação, a TV desempenha um papel importante, no que diz respeito à formação de opinião das pessoas. Além disso, por razões culturais e até mesmo financeiras, a TV representa uma fonte de entretenimento para a maioria da população.

Com a criação da TV Digital, surgiram debates acerca de vários detalhes técnicos, principalmente com relação à modulação a ser empregada. Uma modulação adequada é muito importante para a TV Digital, pois o desempenho do sistema depende diretamente da modulação.

O enfoque principal deste artigo será a modulação COFDM, que está presente tanto no padrão europeu quanto no japonês, e isto pode significar o futuro da TV Digital.

A seção 2 deste artigo mostra o cenário mundial hoje com relação a TV Digital. A seção 3 trata dos aspectos técnicos da TV Digital. A seção 4 aborda a modulação OFDM. A seção 5 mostra um comparativo

entre as modulações 8-VSB e COFDM, que são as modulações dos padrões ATSC e ISDB respectivamente. A seção 6 aborda a modulação COFDM. E finalmente a seção 7 mostra as vantagens e a seção 8, a desvantagens da modulação COFDM.

## 2- Cenário Mundial

O início do desenvolvimento da TV Digital se deu no Japão, em função do desenvolvimento da TV de Alta definição (HDTV). O Japão foi pioneiro em programas de alta definição, porém via analógica.

Em meados de 1987, nos Estados Unidos, iniciou-se um movimento para o desenvolvimento da TV Digital, onde governo e emissoras viram a importância tecnológica da mesma.

O padrão adotado foi o ATSC. Este padrão visa a transmissão a uma taxa de 19,4 Mbps por segundo, utilizando MPEG-2. A modulação utilizada é a 8-VSB, considerada de

fraca performance quando avaliada sob o ponto de vista de transmissão e cobertura. Esta modulação dificulta a captação dos sinais na recepção em movimento ou em locais de difícil acesso.

Na Europa, o padrão adotado foi o DVB, onde a taxa de bits enviada é alterada de acordo com as necessidades do ambiente de aplicação. Isso aumenta muito a capacidade, a qualidade e a cobertura do sistema, tornando-o mais eficaz que o sistema ATSC. Utiliza-se a codificação COFDM para que garanta a diminuição de interferências por multipercurso, permitindo, assim, que a rede opere numa só frequência, mesmo em estações emissoras vizinhas.

No Japão, o padrão adotado foi o ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting). Este padrão é considerado um aperfeiçoamento do modelo europeu. Adota os formatos MPEG-2 e COFDM. Contrariamente ao sistema americano, o sistema de transmissão funciona muito bem em qualquer tipo de ambiente, sendo eficiente também para a televisão móvel. Pode-se afirmar que esta é a principal vantagem do sistema, pois possibilita a convergência total das transmissões televisivas com a Internet e com os telefones celulares da Terceira Geração (3G).

### 3- Definição de TV Digital

#### 3.1- Aspectos Técnicos

A TV Digital é um sistema de radiodifusão que transmite sinais digitais em substituição aos sinais analógicos. A recepção do sinal na TV digital tem cerca de 50% de pontos de resolução de imagem a mais, quando comparada à TV analógica, pois a primeira permite que a íntegra do sinal transmitido pelas emissoras seja recebido pelos televisores domésticos, o que não ocorre com a analógica, pois grande parte de seu sinal é perdido pelo percurso da onda.

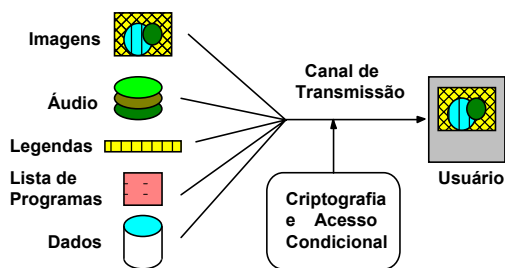


Figura 1 – serviços [6]

Na TV digital, os sinais de som e imagem são constituídos por uma seqüência de bits, que podem ser comprimidos com outros sinais antes de serem transmitidos, conforme figura abaixo:

No receptor, o conjunto de sinais é descomprimido e convertido. Desta forma, numa banda de 6MHz que era utilizada por apenas um canal de TV analógica, podendo ser veiculadas diversas transmissões simultâneas na TV digital com a mesma banda ocupada.

#### 3.2- Modalidades mais difundidas de TV digital [1]:

**3.2.1- Standard Definition Television (SDTV):** áudio e vídeo digitais no formato ou relação de aspecto 4:3 (largura:altura da imagem) e resolução de 525 ou 625 linhas existentes no serviço de TV analógica convencional. Possibilita a coexistência, em uma faixa de 6 MHz, de até quatro programas sendo transmitidos simultaneamente pela mesma emissora. Para assistir a uma programação SDTV, o usuário deverá ou ter sua televisão convencional conectada a um *set-top box* ou possuir um aparelho de televisão digital.

**3.2.2- High Definition Television (HDTV) -** é um serviço com áudio e vídeo digitais no formato 16:9 (largura: altura da imagem) e com resolução superior a 700 linhas. Utiliza a faixa de 6 MHz para transmissão de uma única programação, porém com imensa riqueza de detalhes visuais. Para assistir a uma programação HDTV, é necessário um aparelho de televisão digital que suporte o formato 16:9 e que tenha recepção de sinais em alta definição.

Hoje, o principal desafio é desenvolver aparelhos de conversão especiais (set top boxes), os quais permitam que transmissões digitais sejam captadas por aparelhos analógicos.[2]

### 4- OFDM

Antes de aprofundar-se na modulação COFDM, faz-se necessário definir a modulação OFDM. Este é um sistema multiportadora com o seguinte princípio de funcionamento:

- Quebra um fluxo de dados seriais em muitos paralelos. Com isto gera-se fluxo com taxas menores;

- Utiliza sub-portadoras para transmitir as baixas taxas de fluxo de dados simultaneamente;
- Para garantir que as sub-portadoras não interfiram umas nas outras, o espaçamento de frequência entre elas é cuidadosamente escolhido de forma que cada uma seja ortogonal a outra. Isto pode ser visto na figura 2 [4]. A ortogonalidade representa uma precisa relação matemática entre as frequências das sub-portadoras.
- Individualmente estas sub-portadoras são moduladas em amplitude de quadratura (QAM) ou modulação por quadratura com deslocamento de fase (QPSK).

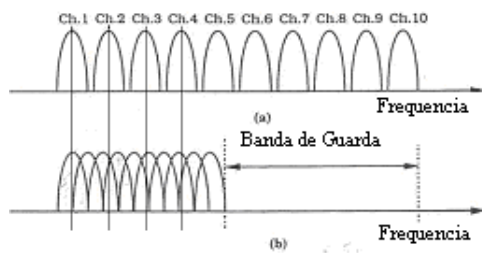


Figura 2: Conceito do sinal OFDM[4]

A figura 2(a) apresenta a técnica multiportadora convencional que utiliza um maior espectro de frequência. Já a figura 2(b) apresenta a técnica de modulação multiportadora ortogonal e deixa claro a economia do espectro de frequência.

## 5 – Comparativo da modulação 8-VSB X COFDM

Visando esclarecer pontos importantes no desempenho de cada modulação se faz importante citar:

O padrão ATSC 8-VSB é um sistema de arquitetura digital que consiste de:

- 1) Camada de vídeo que suporta um número diferente de formato de vídeos;
- 2) Nível de compressão que transforma a taxa de áudio e vídeo em amostras codificadas de bit;
- 3) Camada de transporte que transporta os dados e
- 4) Nível de transmissão de rádio frequência (RF). O sistema de transmissão do ATSB 8-VSB é uma portadora simples, que emprega uma modulação semelhante a TV convencional – vestigial sideband (VSB).

O sistema ATSC 8-VSB transmite dados utilizando a codificação em treliça, com

8 níveis discretos da amplitude do sinal. Complexas técnicas de codificação e equalização adaptativa são utilizadas para fazer o sistema mais robusto frente a deteriorização da propagação, como multipercurso, ruído e interferência. A taxa de transmissão de dados deste sistema é de 19,4Mbps.

Quanto ao COFDM cabe destacar:

- 1) As multiportadoras utilizadas pelo sistema faz com rápida do canal, como por exemplo propagação multipercurso, interferência co-canal, desvanecimento de frequência seletiva etc;
- 2) Evita interferência pelo acréscimo de amostras ao sinal e pela aplicação do intervalo de guarda entre os símbolos de dados;
- 3) O intervalo de guarda pode ser adicionado então, para que a maioria dos ecos de multipercurso cheguem dentro deste período e com isto não ocorra interferência na recepção dos símbolos de dados.
- 4) Além disso, como a informação é espalhada através de muitas portadoras, se ocorrer interferência co-canal ou desvanecimento apenas uma pequena amostra da informação será perdida [3] e [4] pois possivelmente afetará alguma portadora que contém apenas uma parte do fluxo de dados e as outras sub-portadoras que conte parte deste fluxo permitem que se detecte o erro e o sinal seja corrigido.

## 6- COFDM

Técnicas de codificação são utilizadas para aperfeiçoar a performance do OFDM, como por exemplo, correção reversa de erro, entrelaçamento etc. Com isto, temos o COFDM.

O diagrama geral do COFDM é mostrado na figura abaixo:

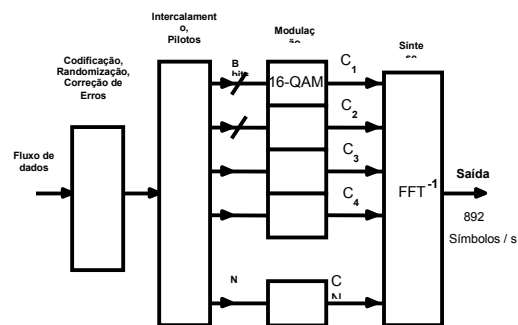


Figura 3 – Modulação COFDM [6]

Analisando os blocos da figura 3 tem-se todas as etapas do sistema de forma mais explícita conforme os seguintes passos:

1) O fluxo de dados recebido para ser transmitido é codificado por códigos de correção reversa de erro ou entrelaçamento;  
2) Os dados seriais de entrada são convertidos para N fluxos paralelos de dados e agrupados para n bits no domínio do tempo;  
3) Cada grupo é então modulado em QAM ou PSK, gerando assim  $C_n$  sub-portadoras no domínio da frequência.

4) Os dados paralelos são novamente convertidos para um único canal serial. Um intervalo de guarda é inserido, entre cada sub-portadora, para impedir uma possível interferência co-canal, causada pela distorção multipercurso.

5) Os símbolos discretos são convertidos para analógicos por um filtro passa baixa que alimenta então o conversor de subida de RF.

O receptor executa exatamente o inverso deste procedimento.

## 7- Vantagens do COFDM

1) Apresenta melhor desempenho em situações de multipercurso intenso verificadas em áreas densamente povoadas;

2) Permite a implementação do modelo de transmissão em alta definição com adequada robustez;

3) Testes de laboratório [5] sugerem que somente a modulação COFDM possibilita a recepção em áreas não atendidas por nenhum sistema, mediante o emprego de redes de frequência única;

4) Apresenta melhor desempenho em situações em que o ambiente de propagação é variável no tempo, possibilitando, inclusive, recepção móvel;

5) Sistema versátil, pois um grande número de parâmetros pode ser levado em consideração, como por exemplo, o número de sub-portadoras, intervalo de guarda, duração do símbolo, tipos de código de correção de erros, espaçamento e tipos de modulação por sub-portadora, dependendo do sistema a ser projetado. A escolha destes parâmetros é influenciada diretamente pelos requisitos do sistema, como por exemplo, largura de banda, taxa de bit desejada, etc. Mais robusto contra interferência co-canal pois tal interferência afeta apenas uma pequena porcentagem da sub-portadora e não causando perda total na sequência de bits o que facilita a detecção e correção de erros;

7) Economia espectral; [4] e [5]

## 8- Desvantagens:

1) Baixa tolerância a ruído impulsivo

2) O aumento da banda de guarda entre sub-portadoras implica no aumento direto da banda a ser transmitida. Por outro lado, a redução da banda de guarda implica em interferência co-canal;

3) Deve haver uma relação entre a potência de pico e a potência média relativamente grande, o que afeta diretamente a eficiência do módulo amplificador de RF; [4]

## 9- Conclusão:

Conforme mostrado ao longo deste artigo, a modulação COFDM é tecnicamente superior à modulação 8-VSB, isto porque as desvantagens que o COFDM apresenta podem ser contornadas o que não acontece no 8-VSB.

A modulação COFDM é altamente robusta, isto porque quando ocorre alguma interferência ou desvanecimento seletivo, apenas uma pequena parte do sinal é perdido e pode ser recuperado por meio dos códigos de correção de erros.

Uma outra vantagem importante do COFDM é a convergência para Internet e para telefonia móvel (3G).

Vale a pena ressaltar que como a TV Digital pode ser considerada como “um sistema binária”, ou seja, tem-se apenas dois estados: excelente recepção ou nenhuma recepção (não há estados intermediários). Isto mostra a importância da escolha mais correta da técnica de modulação no padrão de TV Digital.

## Referências

[1] Televisão Digital no Brasil. Fundação CPQD. [<http://www.anatel.gov.br>]

[2] Paulo Evaristo de Sousa Melo, Evaristo Carlos Silva Duarte Rios, Regina Maria Vinhais Gutierrez, “TV Digital: Desafio ou Oportunidade?”

[3] Bruce Franca, Alan Stillwell, Robert Bromery, Robert Eckert, Michael Davis, “DTV Report on COFDM and 8-VSB Performance”.

[4] Richard Van Nee, Ramjee Prasad, “OFDM for Wireless Multimedia Communications”

[5] Relatório ABERT/ SET [<http://www.anatel.gov.br/>]

[6] Guido Stolfi – EPUSP – 2003 “Sistemas de Transmissão para a TV Digital”

## Biografias



Ana Luiza Rodrigues, Tecnóloga em Processamento de Dados pela UCB, atualmente cursando o nono semestre de Engenharia de Telecomunicações no IESB e trabalhando como gerente de rede de Telecomunicações pela Alcatel Telecomunicações.



Regina Missias Gomes, cursando o nono semestre em Engenharia de Telecomunicações no IESB, atualmente trabalhando na Tim Celular, no departamento de Operação e Manutenção.

