

MODELAMENTO DE UM SISTEMA DE MODULAÇÃO COFDM

Alexander Bento Melo
UFU - FEELT
Patos de Minas-MG

Felipe Augusto M. Corrêa
UFU – FEELT
Patos de Minas-MG

Willian Douglas C. Nunes
UFU - FEELT
Patos de Minas-MG

Alexandre Mateus Coutinho
UFU – FEELT
Patos de Minas-MG

Resumo – O objetivo deste trabalho é modelar, utilizando a ferramenta de simulação Matlab, um sistema de modulação COFDM utilizado em diversos sistemas de comunicações digitais, inclusive no sistema de TV Digital ISDB-TB implementado no Brasil. O trabalho visa avaliar o desempenho do sistema de modulação COFDM na transmissão de dados com e sem a utilização de códigos corretores de erros, Reed Solomon, quando o mesmo é utilizado em canais que apresentam multipercurso.

Palavras-Chave – COFDM, OFDM, Matlab

COFDM MODULATION SYSTEM MODELING

Abstract - The objective of this paper is develop and test a COFDM simulation, using Matlab as modeling tool, this type of modulation is used in digital systems including the Brazilian standard for Digital TV (ISDB-TB). The work will evaluate the COFDM performance in multipath channels with and without FEC codes, in this case the code is Reed Solomon..

Keywords - COFDM, OFDM, Matlab

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de televisão digital disponíveis comercialmente são o ATSC (Advanced Television Systems Committee) [1] desenvolvido e operando nos Estados Unidos, o padrão DVB-T (Digital Video Broadcasting) [2], desenvolvido e em operação na Europa e o ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial) [3] desenvolvido no Japão e adaptado (camadas de compressão e o middleware) para ser o padrão de TV digital no Brasil.

Todos estes sistemas, ainda que apresentem particularidades específicas, podem ser representados por um diagrama genérico mostrado na Figura 1.

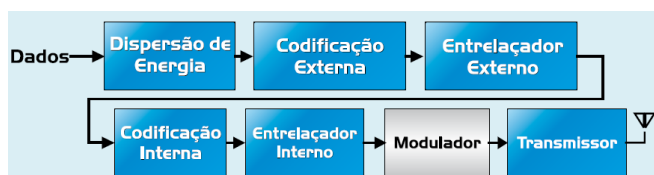


Fig 1. Diagrama em blocos generalizado da camada física de um padrão de TV Digital.

Parte fundamental do problema de Engenharia na implementação da TV Digital está relacionada à técnica de modulação utilizada pelo sistema.

É a etapa de modulação que resulta na maior diferença entre os padrões de TV Digital. O padrão ATSC emprega um sistema de portadora única com modulação vestigial de 8 níveis, denominado de 8-VSB (Vestigial Side Band) [4], já os padrões DVB-T e ISDB-TB empregam um sistema de modulação com múltiplas portadoras denominado de COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [5].

A modulação 8-VSB apresenta baixo desempenho em canais seletivos em frequência, fazendo-se necessária a utilização de equalizadores temporais nos receptores.

Já a técnica COFDM, utilizada nos outros dois sistemas, é baseada na técnica de transmissão OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) que surgiu como evolução da técnica convencional de Multiplexação por Divisão de Frequência, FDM (Frequency Division Multiplexing) onde, no lugar de utilizar-se bandas de guarda para a separação das sub-portadoras na recepção do sinal, trabalha-se com uma particular sobreposição espectral de sub-portadoras.

Este trabalho apresenta o modelamento do sistema de TV Digital brasileiro, ISDB-TB, realizado no Matlab, de forma resumida. É objetivo mostrar os benefícios da utilização da modulação COFDM neste sistema. Na seção 2 será feita uma rápida introdução à modulação OFDM. Na seção 3 será discutida a modulação COFDM. Na seção 4 será descrito o sistema que foi modelado e seus blocos de entrada e saída. Na seção 5 serão apresentados os resultados da simulação. Na seção 6 serão apresentadas as conclusões do trabalho.

II. MODULAÇÃO OFDM

Sistemas de comunicação de multi-portadoras foram concebidos e inicialmente implementados na década de 1960, porém só se popularizaram após o descobrimento da transformada rápida de Fourier (FFT), descoberta por Cooley e Tukey [6], e do aumento da capacidade de processamento dos sistemas computacionais.

Duas das vantagens fundamentais do OFDM são a sua robustez contra a dispersão de canal e a sua facilidade para estimação de fase e canal em ambientes variáveis no tempo [7].

Em canais multipercurso o atraso de propagação entre o sinal original e sua cópia, provoca um desvio na frequência de portadora (CFO - Carrier Frequency Offset), que por sua vez interfere na ortogonalidade das sub-portadoras OFDM, causando uma interferência entre portadoras (ICI – Inter-Carrier Interference) [8]. Em um canal ideal, sem o efeito do multipercurso, o CFO é nulo e conseqüentemente não existe ICI, de forma que, a ortogonalidade do sinal permanece intacta.

Um das alternativas para melhorar a qualidade do sinal na recepção é aumentar a relação sinal-ruído (SNR). Porém, a SNR em canais com multipercurso está associada a vários

fatores [9], dentre eles, a CFO. Para altos valores de SNR os efeitos da interferência entre portadoras (ICI) tornam-se mais dominantes, particularmente em baixos desvios de frequência devido ao efeito Doppler (Doppler Frequency Shift) [8].

A vantagem do OFDM sobre esquemas de portadora simples é a capacidade de suportar condições extremas no meio de transmissão, seja a atenuação de altas frequências em longos cabos de cobre ou mesmo a atenuação seletiva de frequências devido a problemas de multipercurso.

A equalização do canal é mais simples pelo fato de podermos ver o sinal OFDM como múltiplas portadoras, lentas e de banda estreita ao invés de uma portadora larga e com rápida variação no tempo.

O sinal OFDM é equivalente a transformada inversa rápida de Fourier (IFFT) o que torna fácil implementar transmissores e receptores (que usam a FFT) para recuperar o sinal.

As Figuras abaixo ilustram a modulação OFDM.

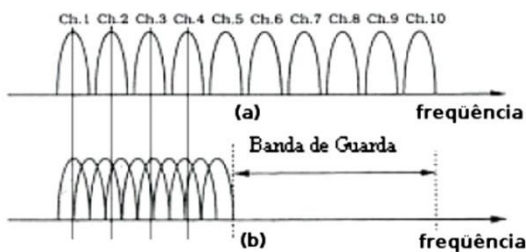


Fig. 2 – Largura de banda ocupada pela multiplexação por divisão de frequência (FDM) (a) e pela multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM) (b). A ortogonalização entre frequências permite que várias sub-portadoras sejam sobrepostas [10].

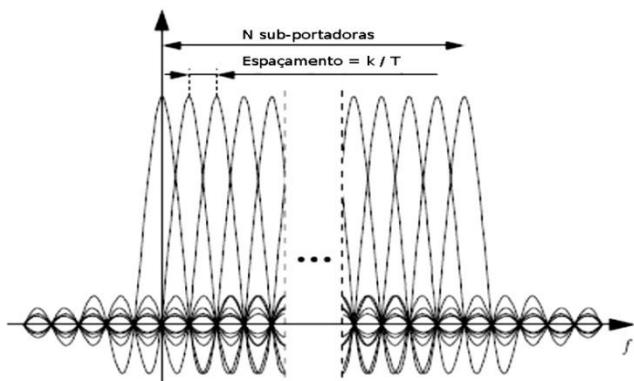


Fig. 3 – Espectro de frequência das N sub-portadoras em OFDM. A largura espectral do sinal é definida pelo produto de N por k/T , onde T é a duração do símbolo e k um inteiro positivo, tipicamente igual a 1 [11].

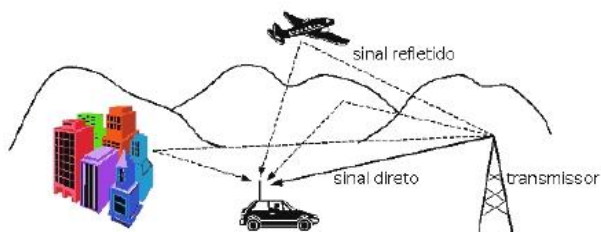


Fig. 4 – Representação da propagação multipercurso do sinal transmitido. Os sinais refletidos (propagação multipercurso) possuem um atraso de fase em relação ao sinal direto, dificultando o processo de demodulação [12].

III. MODULAÇÃO COFDM

Assim como na modulação OFDM, o sistema COFDM caracteriza-se pela utilização de portadoras estreitas, neste sistema um outro problema se configura: o flat fading, ou seja, o sinal como um todo, em cada portadora, sofre os efeitos degradantes de propagação simultaneamente.

O flat fading se deve ao fato da banda coerente de cada portadora ser menor que a banda total do canal. Como as sub-portadoras estão sujeitas a flat fading os sistemas de TV Digital optaram pelo COFDM, Coded OFDM, que significa que os dados transmitidos nas sub-portadoras são protegidos por codificação FEC (Forward Error Correction).

No caso do sistema ISDB-TB o transmissor utiliza-se de codificadores baseados no algoritmo de Reed Solomon para adicionar dados redundantes aos dados que serão transmitidos e que permitirão ao receptor a correção de erros, limitados a capacidade do algoritmo, que venham a ocorrer. A ideia é que o custo de retransmitir é mais alto do que enviar bits redundantes para correção.

IV. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O diagrama de blocos apresentado na Figura 5, ilustra o modelo proposto. Basicamente, os bits que formam o vídeos são comprimidos em MPEG-2, passam pelo codificador Reed Solomon RS(15,11) e são modulados juntamente com bits para sincronia e sinalização (bloco “Training”), formando o sinal COFDM. O sinal neste momento está pronto para ser transmitido pelo canal. O processo de recepção é, simplificado, o inverso do processo de transmissão. Após o sinal demodulado, é possível se ter uma estimativa da taxa de erro de bit (BER) comparando os bits transmitidos e recebidos.

Todo o modelamento foi realizado através da plataforma de simulação MATLAB R2013a.

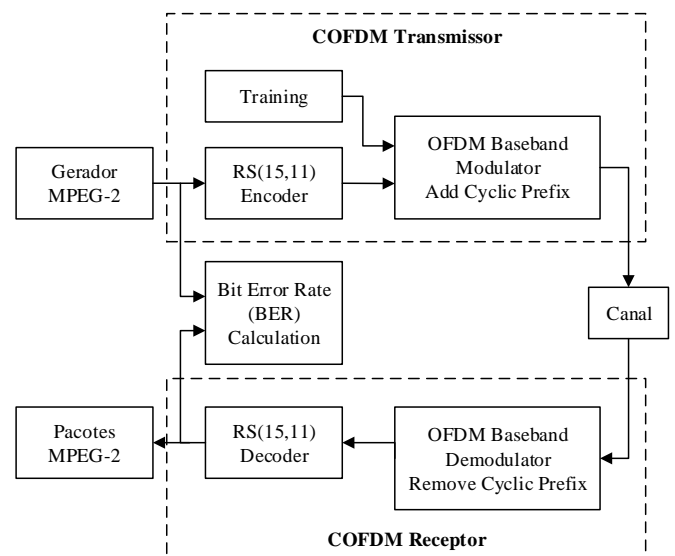


Fig. 5 – Representação em diagrama de blocos do modelo proposto.

A. Bloco de Entrada

Como entrada de dados foi utilizado um gerador de pacotes MPEG-2, composto por um gerador aleatório de

inteiros, de um amostrador e de um sincronizador de dados de saída.

A Figura 6 ilustra o gerador de pacotes MPEG-2.

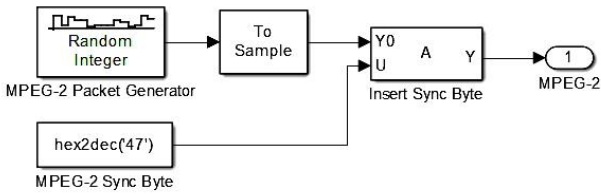


Fig. 6 – Representação em diagrama de blocos do modelo do gerador de pacotes MPEG-2 utilizado na simulação.

B. Bloco de Codificação (Reed Solomon Encoder)

A Figura 7 ilustra o RS Encoder, este bloco é responsável por receber os dados da entrada e codificá-los. A saída deste bloco tem formato binário.

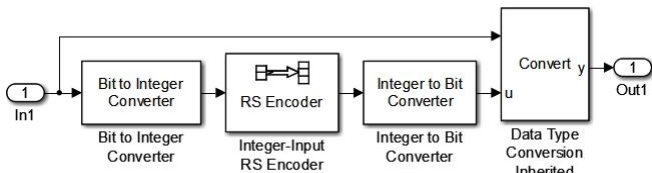


Fig. 7 – Representação em diagrama de blocos do codificador Reed Solomon (15,11), responsável pela codificação dos bits.

Os dados binários recebidos passam por um conversor de bit para inteiro e então são enviados para o codificador que utiliza um código de Reed Solomon, após a codificação os dados são então convertidos para binário e enviados para o modulador QPSK.

C. Bloco de Modulação e Demodulação

A Figura 8 mostra os blocos que compõe o modulador OFDM. O tipo de inter-modulação escolhido para esta simulação foi o QPSK. Os dados de entrada são convertidos de série para paralelo, onde o número de linhas representa a quantidade de portadoras que serão utilizadas. É realizado também o preenchimento de zeros de forma a garantir que o comprimento da linha seja compatível com o tamanho da IFFT.

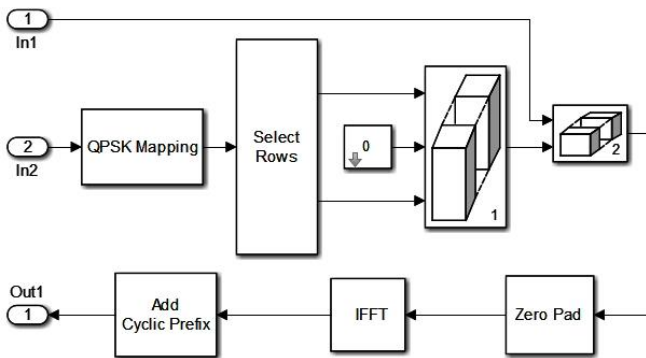


Fig.8 – Representação em diagrama de blocos do modulador OFDM utilizado na simulação. Em “In1” são inseridos os bits de training para a sincronia, com o intuito de evitar a interferência entre portadoras. Em “In2” são inseridos os bits de informação codificados e em “Out1” tem-se o sinal de transmissão.

No bloco de demodulação (Figura 9) é realizado o processo inverso ao bloco de modulação.

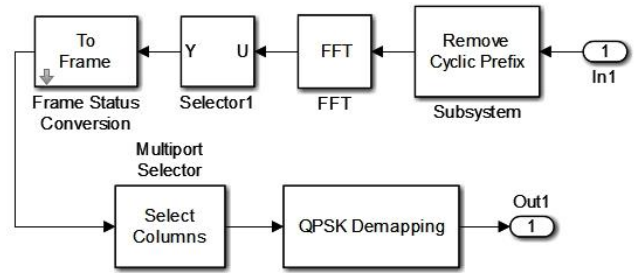


Fig.9 – Representação em diagrama de blocos do demodulador OFDM utilizado na simulação. Em “In1” tem-se o sinal de recepção, que será demodulado. Em “Out1” tem-se os bits codificados.

D. Bloco do Canal de Comunicação

A Figura 10 mostra a composição do bloco que representa o canal nesta simulação.

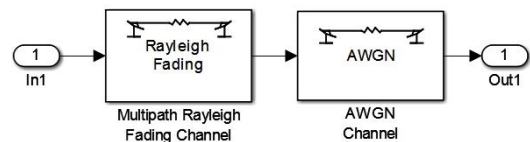


Fig. 10 – Representação em diagrama de blocos dos ruídos em um canal multipercurso considerados no modelo.

O canal é composto por um Multipath Rayling Fading Channel mais um Additive White Gaussian Noise (AWGN). Um dos objetivos desta simulação é comparar a taxa de erro de bit (BER) do sistema com e sem o codificador, e mostrar os ganhos na utilização de um esquema de modulação COFDM. Neste modelo é possível definir o valor do desvio de frequência devido ao efeito Doppler, que no caso será de 100 Hz, caracterizando um canal de baixo desvio de frequência.

A relação sinal ruído do canal é controlada e varia de 0 até 35 dB.

E. Blocos adicionais

Foram inseridos no modelo blocos adicionais para apresentação dos resultados, um deles é o bloco que calcula a taxa de erros. A Figura 11 mostra este bloco.

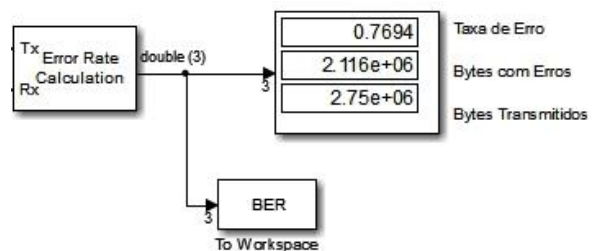


Fig. 11 – Representação em diagrama de blocos para o cálculo da taxa de erros de bit. O erro de bit ocorre quando o bit transmitido é diferente do bit recebido e a taxa de erro pode ser dada em porcentagem, como 76,94% na figura ou em escala logarítmica.

V. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

A Figura 12 mostra os resultados obtidos na simulação quando os dados foram coletados na saída do modulador e do demodulador sem levar-se em consideração o corretor de erros, que encontra-se no bloco de codificação. Neste caso, foi analisada a influência do canal com e sem flat fading. A SNR do canal AWGN variou de 0-50 dB, porém os resultados significantes estão dentro da faixa apresentada que se encontra entre 0-35 dB. Para o canal multipercurso o doppler utilizado foi de 100 Hz.

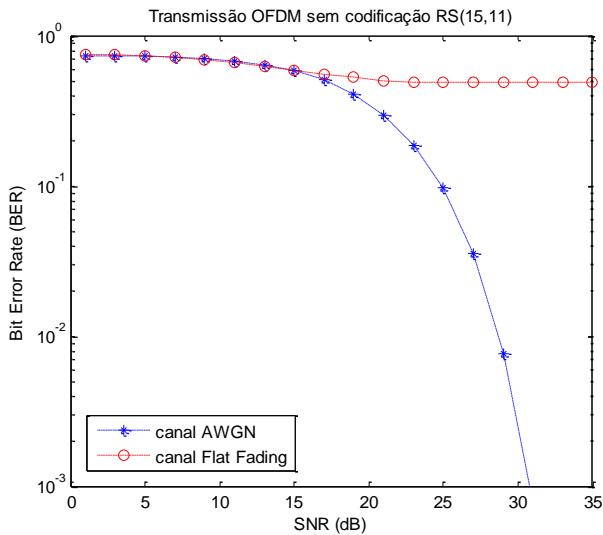


Fig. 12 – Relação entre BER e SNR para a transmissão OFDM em canais AWGN e com Flat Fading, sem codificação RS(15,11).

A Figura 13 mostra os resultados obtidos na simulação quando os dados foram coletados na saída do codificador RS e do decodificador RS. Neste caso foi analisada a influência do canal com e sem flat fading. A SNR do canal AWGN variou de 0-50 dB, porém os resultados significantes estão dentro da faixa apresentada que se encontra entre 0-35 dB. Para o canal multipercurso, o doppler utilizado foi de 100 Hz.

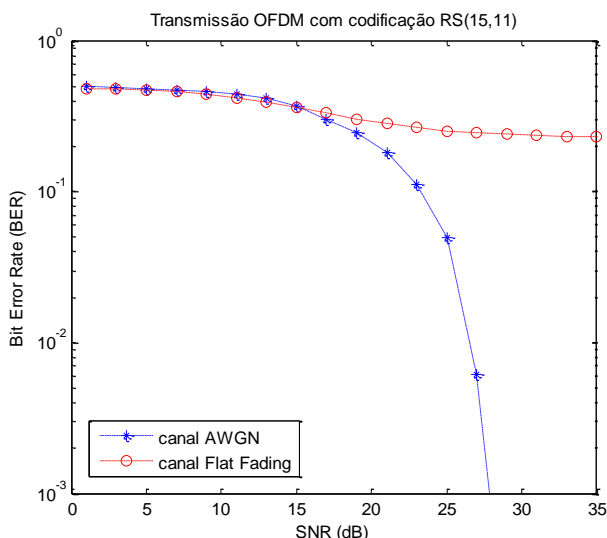


Fig. 13 – Relação entre BER e SNR para a transmissão OFDM em canais AWGN e com Flat Fading, com codificação RS(15,11).

A Figura 14 apresenta as curvas obtidas na simulação para canais com multipercurso com e sem codificação. Nota-se, que a partir de determinado valor de relação sinal-ruído a taxa de erro de bits tende a se estabilizar (curva com círculos). Com o aumento da relação sinal-ruído os efeitos da interferência entre portadoras tornam-se mais dominantes, sendo que, os valores de desvio de frequência e o número de sub-portadoras são baixos, 100 Hz e 30 respectivamente. Dessa forma, a ortogonalidade das sub-portadoras é prejudicada e a taxa de erro de bits diminui de forma suave.

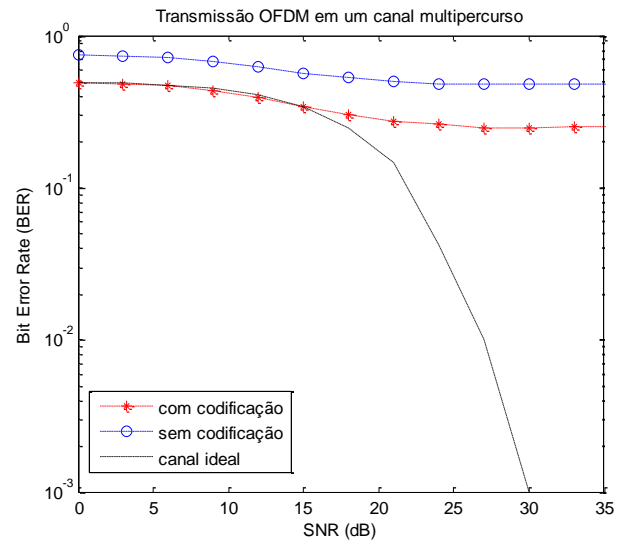


Fig. 14 – Relação entre BER e SNR em um canal multipercurso codificado (codificador RS(15,11)), multipercurso não-codificado e ideal.

Em um canal ideal (curva tracejada) a taxa de erro de bits possui o formato característico de sistemas de comunicação onde não é considerado um canal com multipercurso e seletividade em frequência. Como o desvio de frequência é nulo, a ortogonalidade das portadoras permanece intacta e não existe interferência entre portadoras.

A inclusão de codificação na técnica OFDM provoca uma diminuição da taxa de erro de bits (curva com asteriscos), devido à capacidade de correção de erros do codificador baseado no algoritmo de Reed Solomon.

VI. CONCLUSÕES

Como exposto a técnica de modulação OFDM é sensível aos efeitos do desvio na frequência de portadora, o qual influi na ortogonalidade das sub-portadoras OFDM, provocando uma interferência entre as portadoras. Dessa forma, a taxa de erro de bits tende a se estabilizar, mesmo que a relação sinal-ruído seja elevada.

Uma baixa taxa de erro de bits pode ser conseguida diminuindo o desvio na frequência de portadora (ou desvio de frequência devido ao efeito Doppler), porém esse fator é difícil de ser controlado, dado que cada local possui um efeito de multipercurso característico.

Outra forma de se obter uma menor taxa de erros de símbolos é a utilização de códigos corretores de erros, como os codificadores baseados no algoritmo de Reed Solomon,

por exemplo. O sistema ISDB-TB utiliza este codificador com a ideia de que o custo de retransmitir é mais alto do que enviar bits redundantes para correção, fato que pode ser comprovado nos resultados onde observa-se uma menor taxa de erro quando são utilizados os códigos corretos.

REFERÊNCIAS

- [1] ATSC Standard A/53, “ATSC Digital Television Standard”, Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C., 1995.
- [2] European Telecommunication Standard ETS 300 744, “Digital Video Broadcasting (DVB): Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television (DVB-T)”, ETSI, 1997.
- [3] ITU-R 205/11, “Channel coding, frame structure and modulation scheme for Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T)”, International Telecommunication Union, 1999.
- [4] ATSC Standard A/54, “Guide to use of the ATSC digital television standard”, Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C., 1995.
- [5] Luciano Leonel Mendes. “Modelos matemáticos para estimação do desempenho de sistemas de multiplexação por divisão em frequências ortogonais”. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - UNICAMP, Campinas, SP, 2007.
- [6] William Shieh, Ivan Djordjevic. “Orthogonal frequency division multiplexing for optical communications”, ELSEVIER Inc., 2010.
- [7] Steven W. Smith. “The scientist and engineer’s guide to digital signal processing”. California Technical Publishing, 1999.
- [8] X. Liu, L. Hanzo. “Exact BER analysis of COFDM systems communicating over frequency-selective fading channels subject to carrier frequency offset”, IEEE 65th Vehicular Technology Conference, 2007, p. 1951-1955.
- [9] W. Hwang, H. Kang, K. Kim. “Approximation of SNR degradation due to carrier frequency offset for OFDM in shadowed multipath channels”, IEEE Communications Letters, vol. 7, nº 12, p. 581-583, Dezembro 2003.
- [10] Ana Rodrigues, Regina Gomes. “Modulação COFDM – Uma proposta atrativa para os padrões de TV digital”. Instituto de Ensino Superior de Brasília, Revista Digital Online, Vol. 3, Agosto 2004.
- [11] J. J. van de Beek, P. Ödling, S. K. Wilson, P. O. Borjesson, “Orthogonal frequency division multiplexing”, International Union of Radio Science, 2002.
- [12] Digital Radio Tech. “COFDM”. Disponível em: <<http://www.digitalradiotech.co.uk/cofdm>>. Acesso em: Outubro de 2008.