

1

Introdução

Nos últimos anos o crescimento dos serviços e aplicações multimídia na transmissão digital de dados tem aumentado muito as exigências sobre o aproveitamento da capacidade da comunicação sem fio. A coexistência de vários serviços e usuários simultâneos em redes integradas tornou-se viável através da utilização de técnicas mais elaboradas como OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) [1, 2, 11].

Por exemplo, a utilização do sistema OFDM em comunicações via satélite surgiu associada aos sistemas para a radiodifusão de sinais de som digitais de alta qualidade [5] - serviço que inclui entre seus usuários os passageiros de veículos em movimento. Atualmente, este tipo de sinal é empregado não só na radiodifusão de sinais sonoros (DAB - *Digital Audio Broadcasting*) como também na radiodifusão de sinais de vídeo (DVB - *Digital Video Broadcasting*), e sistemas ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), Wireless LAN (*wireless local area network*), UWB (*Ultra wideband*) e PLC (Power line Communication) [9].

A idéia básica do OFDM é a transmissão de blocos de símbolos através de múltiplas portadoras contíguas, cada uma delas possui uma determinada frequência central. Estas frequências são determinadas de tal modo a garantir a ortogonalidade entre elas. Quanto maior o número de portadoras, menor as taxas de transmissão por portadora.

A técnica de transmissão OFDM apresenta vantagens e desvantagens. Dentre as vantagens do OFDM podem ser mencionadas as seguintes: a habilidade de adaptação das sub-portadoras para ajustar a transmissão em função do nível de ruído e a utilização de métodos pouco complexos na equalização [6, 10]. É importante mencionar que, matematicamente, a envoltória complexa do sinal resultante equivale à Transformada Inversa Discreta de Fourier (IDFT) do sinal original. Ela também permite utilizar prefixos, os quais são utilizados na remoção de interferência de símbolos. Dentre as desvantagens, a

mais importante é a pouca robustez do sinal à passagem por dispositivos não-lineares, uma vez que trata-se de um sinal multiportadora cuja amplitude sofre tipicamente grandes variações no tempo, ou seja, possui altos valores de PAPR (*Peak-to-Average Power Ratio*), que torna estes sistemas extremamente sensíveis e vulneráveis à distorção não-linear normalmente introduzida por amplificadores de alta potência (*High Power Amplifiers* - HPAs). Os HPAs de RF não-lineares, utilizados nos transmissores e nos repetidores de redes de radiodifusão, introduzem dois tipos de distorção: AM/AM e AM/PM, sobre o módulo e fase do sinal transmitido, respectivamente. Modelos baseados em medidas experimentais, mostram que esse tipo de distorção pode ser considerada exclusivamente dependente do módulo da sinal da entrada em banda base.

Em geral, a distorção não linear aparece no receptor como uma constelação de símbolos aglomerados e arqueados (distorção em banda), degradando assim a taxa de erro de bit (BER). Além disso por ser um sinal multiportadora, surgem produtos de intermodulação que são distribuídos ao longo da faixa de frequência do sinal (*Intermodulation Distortion*) [12].

Na literatura, existem diversas técnicas para diminuir os efeitos produzidos pelos amplificadores de potência (sistema não-linear). Estas técnicas, denominadas técnicas de linearização, foram classificadas em quatro tipos gerais, a saber: realimentação negativa, *feedforward*, amplificação não linear com componentes não lineares (LINC), e pré-distorção [12]. Este trabalho enquadra-se no conjunto de técnicas de pré-distorção. Estas técnicas são bastante utilizadas e podem ser vistas como um pré-processamento no qual procura-se compensar os efeitos do sistema não linear. O sistema de pré-distorção é aplicado antes do sinal ser alimentado ao sistema não-linear. Do ponto de vista funcional, o sistema de pré-distorção é, provavelmente, a estratégia de linearização mais intuitiva. Na literatura, é possível encontrar muitas configurações de sistemas de pré-distorção, uma delas é chamada sistema de pré-distorção de mapeamento, que é baseada no uso de uma tabela de consultas bidimensional (*Look-Up Table* - LUT) e técnicas adicionais de DSP (*Digital Signal Processing*) de montagem e estimação. Outras abordagens da técnica de pré-distorção evitam o uso de qualquer tipo de LUTs, sendo este o caso do sistema polinomial de pré-distorção onde os coeficientes de maior ordem da série polinomial são ajustado por meio de um algoritmo de otimização.

É importante enfatizar que os efeitos da não-linearidade sobre o sinal OFDM podem ser avaliados em dois níveis. Em um primeiro nível, são avaliados os

sinais produzidos na saída da não-linearidade. Neste nível são determinados os efeitos da não-linearidade sobre o sinal desejado como, por exemplo, a distorção experimentada por sua densidade espectral de potência ou degradação da característica de ortogonalidade das portadoras do sinal OFDM. Além disso, são também caracterizados os sinais adicionais indesejados (interferências) produzidos pelos efeitos da conversão AM/AM, da conversão AM/PM e das densidades espectrais de potências desses sinais indesejados. Em um segundo nível, são avaliados os efeitos sobre o desempenho da transmissão digital, utilizando-se sinais OFDM, considerando-se, por exemplo, a degradação provocada pela não-linearidade na taxa de erro de bit da transmissão.

Um trabalho recentemente desenvolvido [13, 14] abordou o problema dos efeitos da não-linearidade em sinais OFDM no primeiro nível de avaliação, determinando expressões analíticas para a autocorrelação e a densidade espectral de potência do sinal na saída da não-linearidade. O trabalho especificou separadamente as partes da densidade espectral de potência correspondentes ao sinal desejado e aos sinais produzidos pela não-linearidade (sinais não desejados). O trabalho considerou ainda a possibilidade da transmissão de múltiplos sinais OFDM através do canal não-linear.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação, que foi motivado por [13, 14], encontra-se no primeiro nível de avaliação, ou seja, envolve a distorção provocada pela não-linearidade na densidade espectral de potência dos sinais, e não considera seus efeitos no desempenho da transmissão. O trabalho está organizado em seis capítulos. No Capítulo 2, faz-se uma descrição do problema a resolver. No terceiro capítulo, é apresentada a proposta do sistema de pré-distorção. No quarto capítulo apresentam-se as estratégias para o dimensionamento do sistema de pré-distorção proposto. No Capítulo 5, são apresentados os resultados numéricos, e no Capítulo 6, as conclusões deste trabalho.