

# ESQUEMA $M$ -ÁRIO DE MODULAÇÃO POR CHAVEAMENTO DE WAVELETS

M. A. C. R. de Holanda; M. J. de C. Lima; P. H. E. S. Lima

**Resumo**—Neste trabalho é introduzida uma proposta de esquema  $M$ -ário de modulação baseado no chaveamento de *wavelets* ( $M$ -WSK). O esquema proposto é apresentado como uma alternativa viável frente às modulações digitais usuais (FSK, PSK e QAM), ao se mensurar a taxa de erro de bit (BER) em canais com ruído AWGN. Por meio de simulações computacionais, verificou-se que o desempenho do WSK, em termos da BER, foi sistematicamente melhor que o desempenho das modulações FSK e PSK e foi tão competitivo quanto o QAM para as constelações de 4 a 64 símbolos.

**Palavras-Chave**—modulação digital, taxa de erro de bit, *wavelets*, comunicações sem fio.

**Abstract**—In this work, a new  $M$ -ary modulation scheme based on *wavelet shift keying* ( $M$ -WSK) is introduced. The scheme is presented as a viable alternative to the usual digital modulations (FSK, PSK and QAM), when measuring a bit error rate (BER) on a channel with AWGN. By means of computational simulations, WSK performance in terms of BER was found to be systematically better than the performance of FSK and PSK modulations and was similar to the QAM for constellations of 4 to 64 symbols.

**Keywords**—digital modulation, bit error rate, *wavelets*, wireless communications.

## I. INTRODUÇÃO

Problemas em sistemas de comunicação incluem a existência de ruídos durante a transmissão da informação. As técnicas de modulação buscam adequar os sinais em banda base aos canais de banda passante de modo a proporcionar, no receptor, a recuperação do sinal com fidelidade ou confiabilidade aceitáveis [1].

Formas de onda de diversas naturezas têm sido empregadas na transmissão de informação digital, através de canais com limitação em banda passante, a saber, modulação por chaveamento de frequência (*frequency shift keying* - FSK), modulação por chaveamento de fase (*phase shift keying* - PSK) e modulação por chaveamento de quadratura em amplitude (*quadrature amplitude modulation* - QAM). Quando os requisitos de largura de banda para transmissão de um sinal precisam ser reduzidos, esquemas  $M$ -ários são frequentemente utilizados [1]. O desempenho em termos da taxa de erro de bit (*bit error rate* - BER) depende da técnica de modulação, do número de símbolos, da potência do sinal, entre outros. Portanto, é fundamental encontrar um equilíbrio entre todos os parâmetros dos esquemas, incluindo a largura de banda, de forma a minimizar a probabilidade de erro de bit na recepção [2].

M. A. C. R. de Holanda; M. J. de C. Lima; P. H. E. S. Lima – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife-PE, Brasil, E-mails: holandamacr@yahoo.com.br, marcio.lima@poli.br, paulo.hugo@poli.br

As *wavelets* têm sido utilizadas como uma poderosa ferramenta na análise de sinal com aplicação em diversos campos [2], [3], [4], [5], [6], [7], sendo relevantes também em comunicações digitais [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14].

O conceito de usar uma base de *wavelets* para modulação digital foi introduzido por de Oliveira *et al.* [10], porém não foi proposto um esquema de modulação nem uma análise de desempenho. A modulação por chaveamento de *wavelets* (*wavelet shift keying* - WSK) surge como uma alternativa às modulações digitais tradicionais, tais como FSK, PSK e QAM [11], e modulação multitom de *wavelets* discretos (*discrete wavelet multitone* - DWMT) [14]. A técnica WSK consiste em atribuir a cada símbolo de entrada uma versão escalonada de uma *wavelet*-mãe (base de *wavelets*) [10]. Um esquema WSK binário (BWSK ou 2-WSK), denotado por modulação por chaveamento de escala (*scale shift keying* - SSK) foi apresentado por Okonkwo *et al.* [15], que utilizaram a BER como critério de avaliação do esquema proposto, e outro para 4-WSK foi apresentado por Hariprakash *et al.* [16], o qual utiliza a taxa de erro de símbolo (*symbol error rate* - SER), como critério de avaliação.

Neste artigo é apresentada uma proposta de esquema de modulação  $M$ -WSK, usando versões modificadas da *wavelet*-mãe (base de *wavelets*), as quais são associadas a cada símbolo da mensagem transmitida. O foco reside na construção de uma base ortogonal de *wavelets* que leve à menor interferência intersimbólica (*intersymbol interference* - ISI) e uma estratégia de demodulação baseada na correlação. Com o intuito de se investigar o desempenho da técnica WSK  $M$ -ária ( $M$ -WSK) utilizou-se a BER como critério de análise.

O artigo está organizado da seguinte forma: na Seção II é revisitada a modulação por chaveamento de *wavelets* (WSK); a Seção III apresenta o esquema de modulação proposto e uma possível estratégia de demodulação; na Seção IV é apresentada a metodologia utilizada na simulação; na Seção V são apresentados os resultados de simulação do desempenho da abordagem proposta, comparando-os com os resultados obtidos para os esquemas usuais de modulação digital e as conclusões do trabalho se encontram na Seção VI.

## II. WAVELET SHIFT KEYING (WSK)

Dentre as propriedades desejadas para as *wavelets* em comunicações destacam-se: o suporte compacto, valor médio nulo, ortogonalidade e serem diádicas [3], [17], [18]. A Figura 1 apresenta o diagrama simplificado de um esquema de transmissão  $M$ -WSK, em que um símbolo de uma fonte de informação com  $M$  símbolos ( $M$  potência de 2) é mapeado

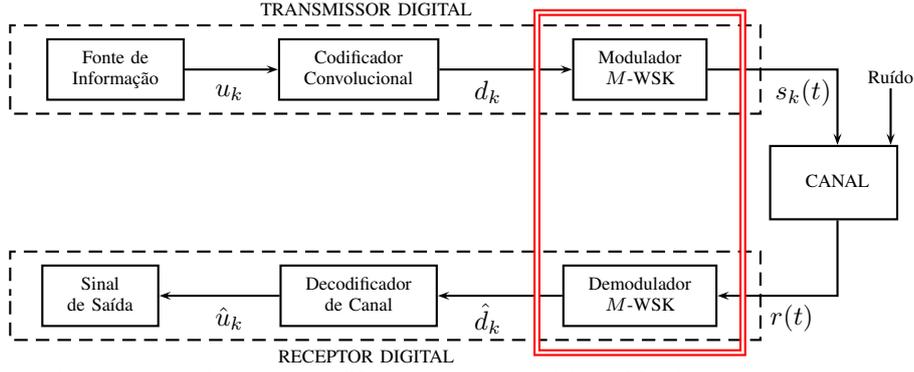


Fig. 1. Diagrama de blocos do sistema de transmissão com a codificação de canal e modulação  $M$ -WSK.

para uma versão “transformada” de uma *wavelet*-mãe única,  $\psi(t)$ . A transformação é conduzida de forma que cada uma das versões “transformadas” da *wavelet*-mãe seja ortogonal às demais.

A Figura 2 apresenta um diagrama em blocos do esquema  $M$ -WSK. Na transmissão, a sequência de saída de uma fonte de informação binária é segmentada em blocos,  $u_k$ , de comprimento  $\log_2 M$  bits. Comumente, após a saída da fonte ou de um codificador de fonte, os blocos são submetidos a um processo de codificação de canal, gerando-se os blocos de bits  $d_k$ . No processo de Transformação pode ser realizada uma série de operações com a *wavelet*-mãe gerando diferentes *wavelets* ortogonais entre si, as quais formam a base de *wavelets*. No entanto, esquemas propostos na literatura, até então, empregam apenas a operação de escalonamento formando uma base de *wavelets* empregada na modulação de uma fonte de informação binária, modulação 2-WSK [10], [12], [13]. No mapeamento, o  $k$ -ésimo bloco  $d$  é mapeado em uma das *wavelets* da base construída gerando o  $k$ -ésimo sinal,  $s_k(t)$ , a ser transmitido pelo canal. Nota-se também que a modulação WSK é flexível, pois pode ser baseada em diferentes famílias de *wavelets*-mãe [10] e diversas operações para se gerar *wavelets*-filhas.

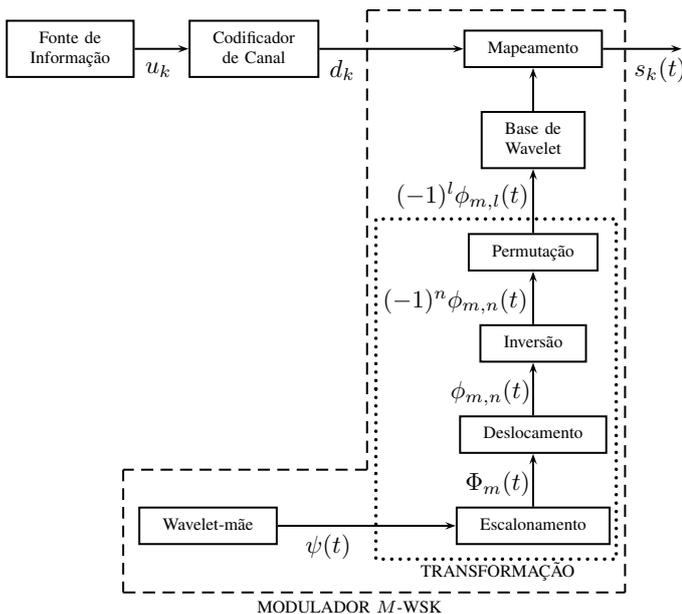


Fig. 2. Diagrama de blocos simplificado de um transmissor  $M$ -WSK.

### III. ESQUEMA PROPOSTO PARA MODULAÇÃO $M$ -WSK

Um fator chave no esquema proposto é a formação da base de *wavelets* gerada no processo de Transformação da Figura 2, para um sistema  $M$ -ário. As operações existentes na Transformação incluem: escalonamentos, deslocamentos temporais, inversões de amplitude e permutações, seguindo sequencialmente as seguintes etapas:

- 1) Etapa 1: é feito um escalonamento diádico na *wavelet*-mãe,  $\psi(t)$ , de acordo com

$$\Phi_m(t) = 2^{m/2} \psi(2^m t), \quad (1)$$

em que  $\Phi_m(t)$  representa uma versão escalonada de  $\psi(t)$  com escala  $2^m$ , para  $m \in \{1, 2, \dots, \log_2 M\}$ ;

- 2) Etapa 2: são realizados deslocamentos temporais de  $\Delta t$  unidades, gerando-se  $\phi_{m,n}(t) = \Phi_m(t - n\Delta t)$ , com  $n \in \{0, 1, \dots, 2^m - 1\}$ . As *wavelets* resultantes são ortogonais, desde que o trecho não nulo de uma *wavelets* não coincida temporalmente com o trecho não nulo das demais *wavelets* de mesma escala;
- 3) Etapa 3: realiza-se a inversão das amplitudes de *wavelets*-filhas de mesma escala que têm índice,  $n$ , ímpar, obtendo assim o conjunto de *wavelets*-filhas  $(-1)^n \phi_{m,n}(t)$ ;
- 4) Etapa 4: realiza-se uma permutação entre as *wavelets*-filhas de mesma escala,  $\phi_{m,l}(t)$ , em que  $l = \lfloor n/2 \rfloor + (1 - (-1)^n) 2^{m-2}$ , evitando-se uma adjacência temporal entre os trechos não nulos das versões deslocadas.

O bloco Base de *wavelets*, Figura 2, representa a construção da base com  $M$  *wavelets*-filhas, para o esquema proposto, em que são geradas  $\sum_{i=1}^q 2^i$  *wavelets* distintas,  $q = \log_2 M$ . A partir das *wavelets*-filhas de menor escala, toma-se as  $M$  primeiras *wavelets* da sequência construída para compor a base.

O critério de seleção das *wavelets*-filhas é um ponto crucial no projeto de esquemas WSK  $M$ -ários, haja vista as *wavelets* que geram a base podem influenciar diretamente na decisão do demodulador e, conseqüentemente, no desempenho do esquema proposto. Para este trabalho, o critério foi concebido de forma a maximizar a distância temporal,  $\max \Delta t$ , entre as *wavelets*-filhas de mesma escala.

**Exemplo 1:** Para se construir uma base com quatro *wavelets* a serem empregadas na modulação 4-WSK, na

Etapa 1 são feitos dois escalonamentos gerando-se  $\Phi_1(t)$  e  $\Phi_2(t)$ . Na Etapa 2, são obtidas  $\{\phi_{1,0}(t), \phi_{1,1}(t)\}$  e  $\{\phi_{2,0}(t), \phi_{2,1}(t), \phi_{2,2}(t), \phi_{2,3}(t)\}$ . Na Etapa 3, as amplitudes das wavelets  $\{\phi_{1,1}(t), \phi_{2,1}(t), \phi_{2,3}(t)\}$  são multiplicadas por “-1”. Na Etapa 4, as wavelets  $\phi_{2,i}(t)$  são permutadas, por exemplo, como na sequência  $\{\phi_{2,0}(t), \phi_{2,2}(t), \phi_{2,1}(t), \phi_{2,3}(t)\}$ . Como foram geradas 6 wavelets ortogonais, seleciona-se as quatro primeiras  $\{\phi_{1,0}(t), \phi_{1,1}(t), \phi_{2,0}(t), \phi_{2,2}(t)\}$  para construção da base do 4-WSK.  $\diamond$

#### A. Demodulação $M$ -WSK

Para realizar a demodulação de sinais  $M$ -WSK, podem ser empregados os receptores de correlação. Realiza-se uma operação de correlação entre o sinal recebido e a base de wavelets, em que cada wavelets da base é um elemento do banco de wavelets [1]. O receptor de correlação composto por  $M$  correlatores está ilustrado na Figura 3. O sinal recebido,  $r(t)$ , é a soma do sinal transmitido,  $s_k(t)$ , com um ruído existente no canal.

O receptor realiza a correlação entre o sinal recebido,  $r(t)$ , e as wavelets da base conhecidas a priori, gerando uma sequência de números reais denotada por  $z_k(T)$ , em que  $T$  é a janela de observação [1]. O Valor  $z_k(t)$  representa o quanto o sinal recebido está correlacionado com uma wavelet-filha da base. A regra de decisão consiste em determinar o índice  $m, n$  que corresponde ao máximo valor  $z(T)$ , isto é, a regra consiste em escolher a wavelet-filha,  $\phi_{m,n}(t)$ , que tenha o maior valor de correlação com  $r(t)$  na janela de observação  $T$ , assim associando a uma estimativa da sequência  $d_k$ , a saber  $\hat{d}_k$ , ver Figura 3.

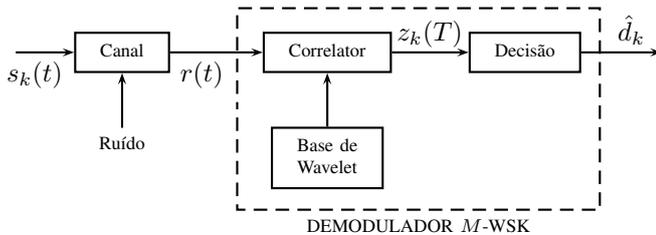


Fig. 3. Diagrama de blocos simplificado de um receptor de correlação para a modulação  $M$ -WSK.

#### IV. METODOLOGIA

O desempenho do esquema de modulação  $M$ -WSK proposto (ver Figura 1) foi comparado com as técnicas  $M$ -PSK,  $M$ -FSK e  $M$ -QAM, para constelações com 4, 8, 16, 32 e 64 símbolos, em termos da BER versus a razão sinal-ruído. Para a simulação de todos os esquemas de modulação foi modelado um sistema de comunicação que inclui um codificador de canal, codificador convolucional, e um modulador digital.

Conforme a Figura 1, o  $k$ -ésimo bloco de bits gerado pela fonte de informação,  $u_k$ , é codificado usando um codificador convolucional, cuja matriz geradora é  $G(D) = [D^1 + D^2 + D^3 + D^4 + D^6 + D^7; 1 + D^4 + D^7]$ , em que a taxa é 1/2 e a profundidade do código é 7, formando o bloco  $d_k$ . Em seguida,  $d_k$  é modulado gerando o sinal  $s_k(t)$  que é transmitido através do canal com AWGN (*additive white gaussian noise*). Na

recepção, o sinal recebido  $r(t)$  é demodulado gerando um bloco estimado  $\hat{d}_k$ , que, por sua vez, é decodificado. Para decodificação de canal foi utilizado o algoritmo de Viterbi (*hard decision decoding*) [19]. Na saída do decodificador, tem-se o bloco estimado de bits  $\hat{s}_k$ , associado ao  $k$ -ésimo bloco emitido pela fonte de informação,  $u_k$ .

Na construção da base de wavelets no modulador  $M$ -WSK, empregou-se a wavelet de Morlet como wavelet-mãe. Dentre as wavelets contínuas mais conhecidas, a wavelet de Morlet se destaca por ser simétrica e apresentar um melhor preenchimento do plano tempo-frequência [3], [13].

Como já pontuado para construção de uma base com  $M$  wavelets-filhas, com as cinco primeiras etapas do procedimento descrito na Seção III, geram-se  $\sum_{i=1}^q 2^i$  wavelets, em que  $q = \log_2 M$ . O critério de seleção das  $M$  wavelets foi a ordem, isto é, foram escolhidas as  $M$  primeiras wavelets da sequência gerada, como descrito no Exemplo 1.

#### V. RESULTADOS

O desempenho das técnicas de modulação foi avaliado em termos da BER por razão sinal-ruído,  $E_b/N_0$ . Para tal, levou-se em consideração a mesma quantidade de bits presentes na informação a ser transmitida através do canal, independentemente da modulação utilizada.

A Figura 4(a) apresenta as curvas de desempenho, em termos da BER por  $E_b/N_0$ , das modulações usuais e do esquema proposto para  $M = 4$  sem codificação de canal. Verifica-se na Figura 4(b) que o esquema 4-WSK mostra uma melhoria de desempenho com uso da codificação, em que pode ser observado um ganho de cerca de 8 dB para uma probabilidade de erro de bit de aproximadamente  $10^{-5}$ , quando comparado com o 4-WSK sem codificação de canal. Nota-se ainda que, em comparação com as modulações usuais, 4-FSK, 4-PSK, 4-QAM, para uma probabilidade de erro de bit de aproximadamente  $10^{-5}$ , o esquema proposto apresentou um ganho de pelo menos 1,5 dB, em um sistema com codificação de canal.

A Figura 5(a) apresenta as curvas de desempenho, em termos da BER por  $E_b/N_0$ , das modulações usuais e do esquema proposto para  $M = 8$  sem codificação de canal, enquanto que na Figura 5(b) é apresentado o desempenho destes esquemas com a codificação de canal. Verifica-se na Figura 5(b) que o esquema 8-WSK atinge um melhor desempenho com uso da codificação, na qual se observa um ganho de aproximadamente 3 dB para uma probabilidade de erro de bit em torno de  $10^{-5}$ .

Para o sistema com a codificação convolucional, Figura 5(b), o 8-WSK apresentou valores menores da BER para valores de razão sinal-ruído inferiores a 4,5 dB, quando comparada com as demais técnicas de modulação. Para valores acima de 4,5 dB, o esquema 8-WSK apresentou um desempenho inferior quando comparado com a modulação 8-QAM.

A Figura 6 apresenta as curvas de desempenho, em termos da BER por  $E_b/N_0$ , para  $M = 16$  com codificação de canal. Observa-se que o comportamento da curva associada ao 16-WSK foi similar ao verificado no 8-WSK, isto é, para pequenos valores de  $E_b/N_0$  o esquema proposto obteve menores valores da BER. À medida em que se aumentou o

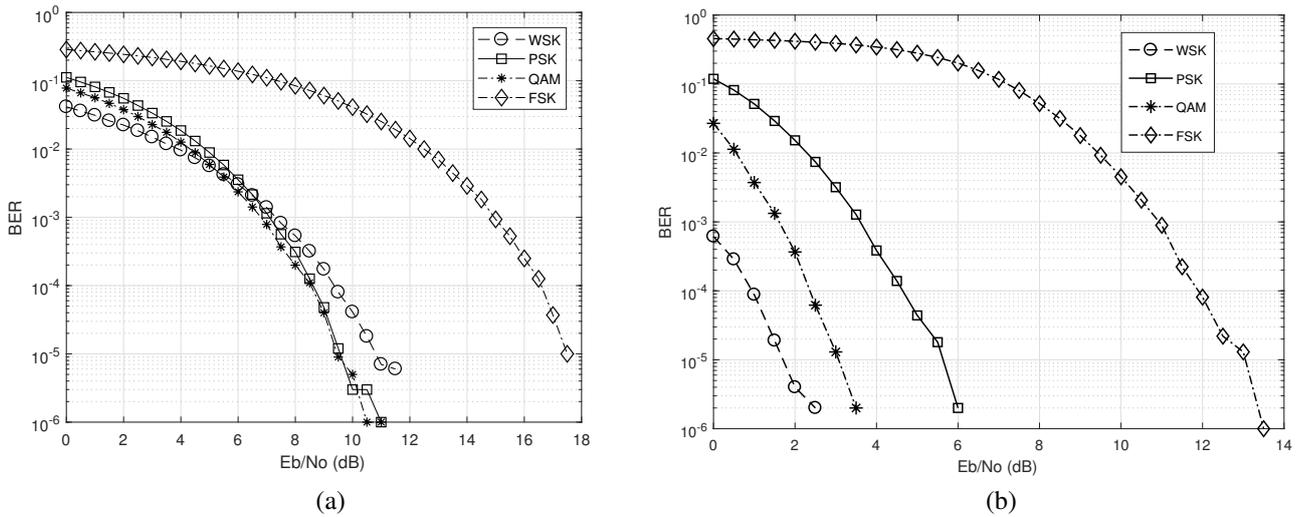


Fig. 4. BER versus razão sinal-ruído para 4-WSK, 4-FSK, 4-PSK, e 4-QAM, para esquema sem codificação (a) e com codificação (b).

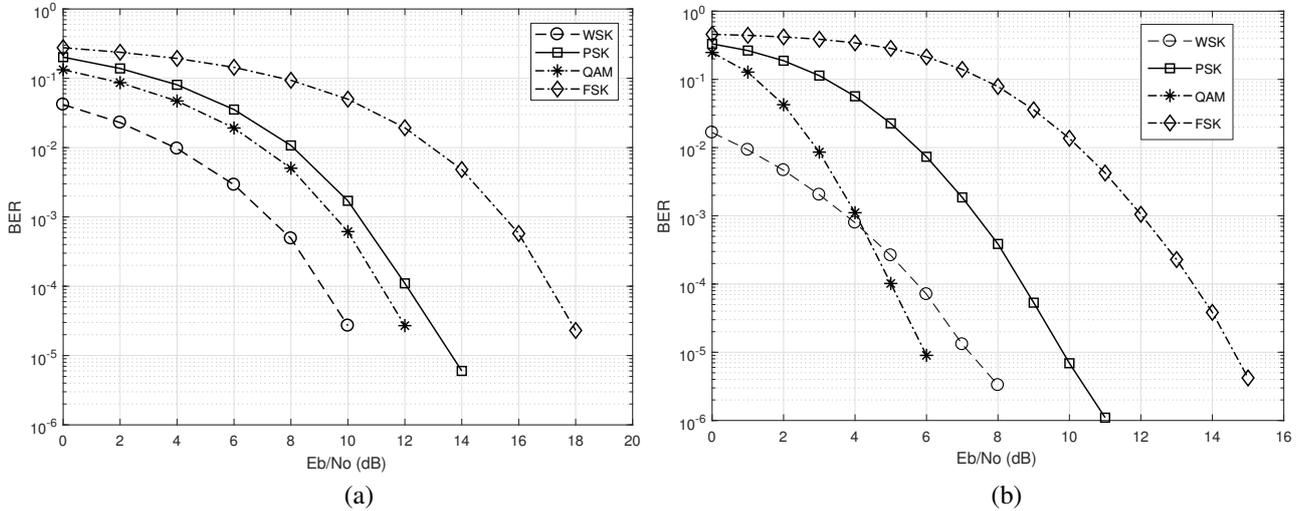


Fig. 5. BER versus razão sinal-ruído para 8-WSK, 8-FSK, 8-PSK, e 8-QAM, para esquema sem codificação (a) e com codificação (b).

valor de  $E_b/N_0$ , a técnica 16-QAM apresentou os menores valores da BER dentre todas as modulações analisadas.

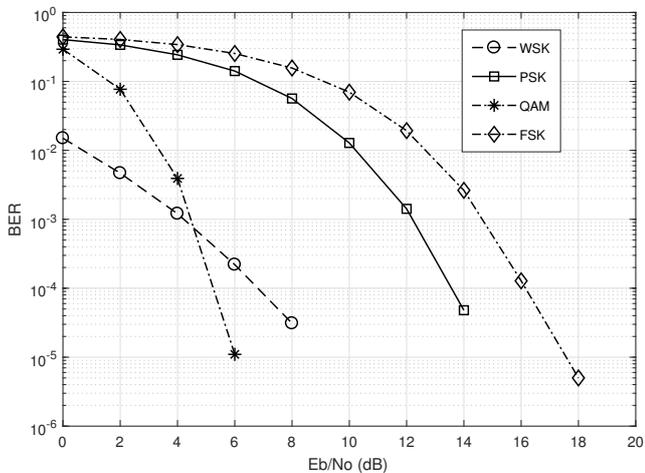


Fig. 6. BER versus razão sinal-ruído para 16-WSK, 16-FSK, 16-PSK, e 16-QAM, com codificação de canal.

Analisando os desempenhos para os esquemas de modulação com  $M = 32$  com codificação de canal, Figura 7,

observa-se um comportamento particular na curva de desempenho relativa ao esquema proposto, 32-WSK. Os valores da BER foram sistematicamente menores para o esquema de modulação proposto quando comparados com os valores associados às demais técnicas, independentemente dos valores de  $E_b/N_0$ . Um dos fatores que levam a este desempenho é a base de *wavelets* utilizada. Dessa forma, para as constelações anteriormente analisadas, utilizando-se outros critérios de **Permutação** (Etapa 4) e **Construção da base**, é possível que o esquema proposto apresente sistematicamente menores valores da BER quando comparado com as demais técnicas, independentemente dos valores de  $E_b/N_0$ .

A importância do critério de seleção das *wavelets*-filhas para construção da base é constatada a partir da análise da Figura 8, em que são apresentadas as curvas de desempenho, em termos da BER por  $E_b/N_0$ , para os esquemas de modulação com  $M = 64$ , com codificação de canal. Observa-se que o esquema proposto apresenta melhor desempenho que os esquemas de modulação usuais. Por exemplo, para uma probabilidade de erro de *bit* de  $10^{-5}$ , o 64-WSK possui um ganho de aproximadamente 6 dB em comparação à modulação 64-QAM.

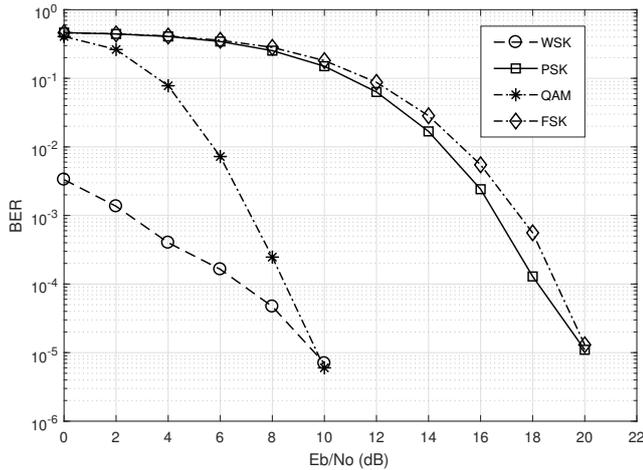


Fig. 7. BER versus razão sinal-ruído para 32-WSK, 32-FSK, 32-PSK, e 32-QAM, com codificação de canal.

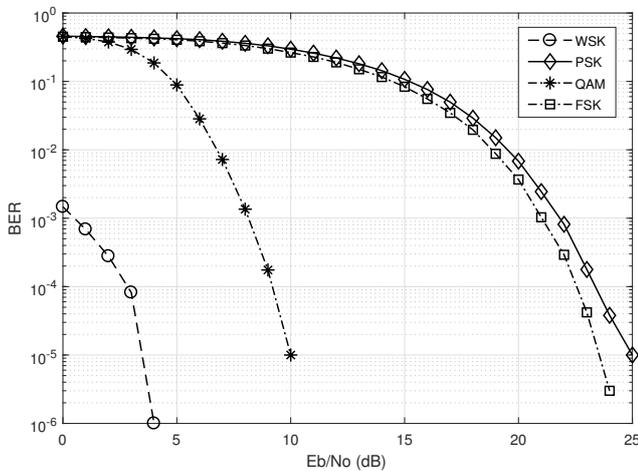


Fig. 8. BER versus razão sinal-ruído para 64-WSK, 64-FSK, 64-PSK, e 64-QAM com codificação de canal.

## VI. CONCLUSÕES

Neste artigo é introduzido um esquema  $M$ -ário para a modulação *wavelet shift keying* para a transmissão de informação digital. Foram realizadas simulações computacionais para constelações com 4, 8, 16, 32 e 64 símbolos, considerando-se um canal AWGN, com e sem a utilização de códigos convolucionais. Os desempenhos do esquema  $M$ -WSK e das técnicas de modulação usuais ( $M$ -PSK,  $M$ -FSK e  $M$ -QAM) foram comparados em termos da BER por  $E_b/N_0$ . Constatou-se uma redução da BER mediante o uso da codificação convolucional no esquema  $M$ -MSK proposto.

O esquema de modulação baseado em *wavelets* (de Morlet) apresentou sistematicamente um melhor desempenho quando comparado aos esquemas FSK e PSK para as constelações avaliadas de 4-64 símbolos. Quando comparado com o QAM, o esquema proposto apresentou um melhor desempenho para as constelações com 4, 32 e 64 símbolos.

Para baixos valores da razão sinal-ruído, o  $M$ -WSK apresentou uma BER inferior às demais,  $M$ -FSK,  $M$ -PSK e  $M$ -QAM. De modo a melhorar o desempenho, deve-se estabelecer outros critérios para a seleção das *wavelets* que geram a base.

Os problemas de sincronização e o emprego de outros sinais como *wavelet*-mãe não são abordados neste trabalho. Contudo,

estes fatores não devem ser negligenciados em investigações para trabalhos futuros.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade de Pernambuco por possibilitar o desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- [1] C. J. L. Pimentel, *Comunicação Digital*. Rio de Janeiro, Brasil: Editora Brasport, 2007.
- [2] M. Walencykowska and A. Kawalec, "Type of modulation identification using wavelet transform and neural network," in *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, vol. 64, no. 1, 2016, pp. 257–261.
- [3] H. M. de Oliveira, *Análise de Sinais para Engenheiros: Uma Abordagem via Wavelets*. São Paulo, Brasil: Editora Manole, 2007.
- [4] L. Hong and K. C. Ho, "Identification of digital modulation types using the wavelet transform," in *Proceedings of IEEE Military Communications (MILCOM)*, vol. 1, 1999, pp. 427–431.
- [5] M. Kalra and D. Ghosh, "Image compression using wavelet based compressed sensing and vector quantization," in *11th IEEE International Conference on Signal Processing*, vol. 1, Oct 2012, pp. 640–645.
- [6] C. Chen and J. Huang, "Exploiting the wavelet structure in compressed sensing MRI," *Magnetic Resonance Imaging*, vol. 32, no. 10, pp. 1377–1389, 2014.
- [7] C. Cattani, "Shannon wavelets theory," *Mathematical Problems in Engineering*, p. 24, 2008.
- [8] J. Oliver, R. S. S. Kumari, and V. Sadasivam, "Wavelets for improving spectral efficiency in a digital communication system," in *6th International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA)*, Aug 2005, pp. 198–203.
- [9] J. N. Livingston and C.-C. Tung, "Bandwidth efficient PAM signaling using wavelets," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 44, no. 12, pp. 1629–1631, 1996.
- [10] H. M. de Oliveira and E. A. Bouton., "Wavelet shift-keying: a new digital modulation," in *Anais do Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, Rio de Janeiro, Brasil, 2003.
- [11] M. Lakshmanan and H. Nikookar, "A review of wavelets for digital wireless communication," *Wireless Personal Communications*, vol. 37, no. 3, pp. 387–420, 2006.
- [12] M. H. Hussain, R. Ngah, U. A. K. Okonkwo, S. R. A. Rahim, M. Ibrahim, N. A. M. Affendi, and N. H. Hashim, "Digital modulation technique using wavelet," in *Proceedings of 4th Conference on Engineering and Technology Education*, Sarawak, Malaysia, 2010.
- [13] M. H. Hussain, M. Ibrahim, R. Ngah, U. A. K. Okonkwo, S. R. A. Rahim, and N. Hashim, "Wavelet shift keying based digital transmission," in *Proceedings of 4th Engineering Conference*, Sarawak, Malaysia, 2011.
- [14] A. N. Akansu and X. Lin, "A comparative performance evaluation of DMT (OFDM) and DWMT (DSBMT) based DSL communications systems for single and multitone interference," in *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 6, May 1998, pp. 3269–3272.
- [15] U. A. K. Okonkwo, R. Ngah, and T. Rahman, "Wavelet-based digital modulation technique," in *9th IEEE Malaysia International Conference on Communications (MICC)*, Dec 2009, pp. 457–461.
- [16] S. A. R. Hariprakash, R. Balaji and K. Padmanabhan, "Wavelet based alternative modulation scheme provides better reception with fewer errors and good security in wireless communication," in *The Eighth International Conference on Systems and Networks Communications*, Venice, Italy, 2013.
- [17] S. Mallat, *A Wavelet Tour of Signal Processing: The Sparse Way*, 3rd ed. Burlington, USA: Academic Press, 2009.
- [18] P. S. Addison, *The Illustrated Wavelet Transform Handbook*. New York, USA: Taylor & Francis, 2002.
- [19] A. Viterbi, "Error bounds for convolutional codes and an asymptotically optimum decoding algorithm," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 13, no. 2, pp. 260–269, April 1967.