

Compressão de Sinais de EEG com JPEG2000 e H.264

Heitor J. Savino, Eddie B. Lima Filho e Waldir S. Silva Júnior

Resumo—Recentemente, alguns autores têm pesquisado a compressão de sinais biológicos reorganizados como matrizes bidimensionais, de modo a explorar as redundâncias intra e intersegmento através de codificadores de imagens comerciais. Entretanto, a nova formatação resulta em uma baixa correlação através dos segmentos de sinal, o que tem o potencial de reduzir a eficiência de compressão. Para se aprimorar esta técnica, pré-processamento tem sido aplicado a matrizes resultantes de diferentes sinais biológicos, com o objetivo de aumentar a correlação do arranjo, o que facilita a exploração das características dos sinais pelos compressores de imagens. O presente trabalho aborda algumas dessas técnicas, utilizando os compressores de imagem JPEG2000 e H-264. Os resultados de simulações mostram que o esquema de compressão proposto é competitivo e constitui uma alternativa viável para a compressão de eletroencefalogramas.

Palavras-Chave—Eletroencefalografia, Compressão de dados, H.264, JPEG2000, Pré-processamento.

Abstract—Recently, some authors have addressed the encoding of biological signals as two-dimensional arrays, in such a way that intra and intersegment dependencies are exploited by off-the-shelf image encoders. However, the rearrangement in a 2-d array itself provides a poor correlation across signal segments, which has the potential to reduce the compression efficiency. In order to correct this behavior, preprocessing techniques have been applied to matrices generated from different biological signals, with the goal of increasing the correlation of the arrangement, which favors the exploitation of signal features. The present work addresses this issue, by using the H.264 and JPEG2000 as image compressors. The simulation results show that the proposed methodology is competitive and constitutes a viable alternative for electroencephalogram compression.

Keywords—Electroencephalography, Data Compression, H.264, JPEG2000, Preprocessing.

I. INTRODUÇÃO

O sinal de eletroencefalograma (EEG) é um registro da atividade elétrica do cérebro. Este sinal é obtido através de um campo elétrico, que é o resultado da soma de inúmeros efeitos de excitação e inibição de potenciais sinápticos dos neurônios [1], [2]. Em grande parte do tempo, o sinal de EEG não possui uma forma específica e apresenta comportamento randômico. No entanto, em dadas situações, algumas características particulares podem ser observadas, o que possibilita o diagnóstico de várias anormalidades neurológicas [3]. Estes sinais podem ser utilizados, por exemplo, no monitoramento de pacientes em coma [4], na detecção de morte cerebral [5], em

várias aplicações relacionadas ao estudo da epilepsia, como a localização de seu foco durante uma crise [6], em testes sobre efeito de drogas em pacientes [7] e em estudos sobre o sono [8], Alzheimer, depressão, esquizofrenia, comportamentos psicóticos e demência [3].

Tipicamente, um sinal de EEG é captado em múltiplos canais (derivações), de modo a representar a atividade de vários conjuntos de neurônios, em diversas partes do cérebro. A representação de um canal precisa ser bastante cuidadosa, pois é necessário manter a fidelidade do sinal e as informações que possibilitam o diagnóstico médico.

Geralmente, estes sinais são quantizados com 16 bits e a uma frequência de 256 Hz, utilizando-se dezenas de canais. Como consequência, o volume de dados a serem armazenados e processados exige grande quantidade de memória. Especificamente, quando sinais de EEG são aplicados no estudo e no monitoramento da epilepsia ou do sono, são necessários registros de várias horas de atividade cerebral [1]. Sendo assim, há necessidade de se realizar a compressão dos dados resultantes, de modo que os registros sejam armazenados em bancos de dados e/ou em aparelhos portáteis, ou ainda remotamente transmitidos e acessados, o que leva à procura de métodos de compressão eficazes.

As técnicas de compressão tradicionais podem ser classificadas em duas categorias: compressão sem perdas e compressão com perdas. Nos algoritmos de compressão sem perdas, os sinais reconstruídos são idênticos aos que foram comprimidos, o que conserva toda a informação original. Por outro lado, na compressão com perdas, o sinal reconstruído é apenas uma aproximação do sinal de EEG registrado, o que acaba proporcionando representações mais compactas.

Embora as taxas de compressão (*compression ratio* - CR) em sistemas com perdas sejam maiores que as apresentadas pelos sem perdas, é importante que o sinal reconstruído mantenha toda a informação clínica existente no sinal original, o que é necessário, por exemplo, quando o médico deve realizar um diagnóstico. Sendo assim, é necessário definir uma métrica que seja capaz de medir a fidelidade da representação comprimida. Geralmente, em processamento de sinais biológicos, adota-se a diferença quadrática média percentual (*percentage root-mean-squared difference* - PRD), que calcula o erro relativo para cada amostra.

É necessário também definir o limite de degradação aceitável para cada classe de sinais, de modo que os registros comprimidos sejam posteriormente utilizados. Este assunto foi abordado por Higgins et al. [9], que definiram um máximo de 30% de PRD para o sinal de EEG, o que permite que o sinal reconstruído conserve as informações necessárias para a detecção de um ataque epilético.

Heitor J. Savino*, Eddie B. L. Filho*† e Waldir S. Silva Júnior*. *Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Av. Gen. Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 3000, Manaus - AM, 69077-000, Brasil. †Centro de Ciência, Tecnologia e Inovação do Pólo Industrial de Manaus, Rua Salvador, 391, Adrianópolis, Manaus-AM, 69057-040, Brasil. E-mails: heitor_savino@ufam.edu.br, eddie@ctpim.org.br, waldirjr@ufam.edu.br

Recentemente, a utilização de técnicas de pré-processamento tem apresentado bons resultados na compressão de sinais biológicos, como o eletrocardiograma (ECG) e o eletromiograma (EMG) [10], [11], [12], [13]. Nesses trabalhos, os sinais capturados são organizados em matrizes bidimensionais, possibilitando o uso de ferramentas de compressão de imagens, como os codificadores JPEG2000 e H.264. No que diz respeito à compressão de eletroencefalogramas, técnicas de pré-processamento podem ser encontradas em Higgins et al. [14] e Srinivasan e Ramasubba [15].

Mesmo que o sinal de EEG seja considerado de aspecto aleatório, Antoniol e Tonella [16] mostraram um aumento na taxa de compressão, quando as correlações temporal e espacial são exploradas. Esta é a inspiração para o presente trabalho, cujo objetivo é utilizar as características de correlação para pré-processar o sinal de EEG, por meio de um rearranjo da matriz bidimensional inicialmente obtida.

O trabalho é organizado como segue. A seção II descreve algumas técnicas de pré-processamento existentes na literatura e também a proposta. Os resultados de simulações para essas técnicas são então descritos na seção III. Por fim, a seção IV apresenta as conclusões do trabalho.

II. O PRÉ-PROCESSAMENTO BIDIMENSIONAL DE SINAIS DE EEG

Antes da etapa de compressão, o sinal original é dividido em segmentos e organizado em uma matriz bidimensional, conforme a Figura 1. Como resultado, forma-se uma matriz na qual há uma forte correlação ao longo dos segmentos de sinal (correlação intrasegmento), sejam estes organizados em suas linhas ou colunas, porém, tal afirmação não pode ser feita em relação à correlação entre segmentos diferentes (correlação intersegmento). Neste caso, a matriz bidimensional resultante apresenta, geralmente, uma grande variação ao longo dos segmentos de sinal, com alta variância e pequena correlação, o que não é favorável aos compressores de imagens.

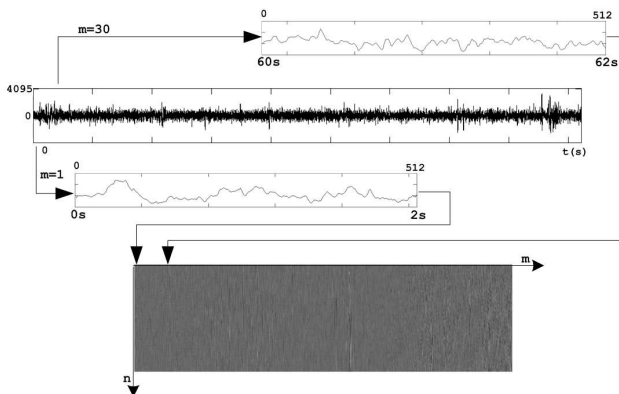


Fig. 1: Conversão do sinal original em uma matriz bidimensional por segmentação do sinal.

As técnicas de pré-processamento visam então reorganizar a matriz resultante, de modo a melhorar a correlação entre segmentos de sinal adjacentes, por meio da sua reordenação. As técnicas utilizadas neste trabalho são: o pré-processamento

baseado em correlação [13], a ordenação por variância e a ordenação por complexidade modificada.

Ao final da compressão, é necessário enviar informações indicando a organização original da matriz, de modo que o sinal de EEG reconstruído seja obtido. Tal informação faz parte do total de bits do sinal comprimido.

A. Reordenação por Correlação

Esta técnica tem o objetivo de aumentar a correlação na direção dos segmentos de sinal, fazendo com que segmentos adjacentes sejam muito similares, o que melhora a eficiência do codificador de imagens. Em Costa et al. [13], os autores utilizam esta reordenação, através dos coeficientes de correlação cruzada entre as várias colunas da matriz (os segmentos de sinal são organizados em colunas). Esses coeficientes são calculados através da matriz de covariância, da seguinte forma:

$$R(u, w) = \frac{C(u, w)}{\sqrt{C(u, u) \cdot C(w, w)}}, \quad (1)$$

onde $C(u, w)$ é a covariância associada às colunas u e w . As duas primeiras colunas do novo arranjo são as que possuem o maior coeficiente de correlação cruzada, fazendo-se u e w variarem entre todas as colunas da matriz.

A terceira será a que possuir o maior coeficiente de correlação com a segunda, isto é, fazendo w referir-se à última coluna ordenada e u variar entre as colunas ainda não reposicionadas. Este procedimento é repetido para todas as posições da nova matriz, até que todas as colunas estejam reordenadas.

B. Reordenação baseada em Variância

Este tipo de pré-processamento procura posicionar segmentos adjacentes com variâncias similares, de modo a proporcionar uma matriz na qual a variação dos valores pixel aumenta suavemente, linha após linha. Para isto, calcula-se a variância de cada segmento de sinal, de modo que a reorganização é realizada escolhendo-se como primeira linha ou coluna de imagem aquela que tiver a menor variância; em seguida, a sequência é dada de acordo com a ordem crescente de variâncias.

C. Reordenação por complexidade modificada

O primeiro passo desta abordagem, proposta neste trabalho, é identificar o segmento com a menor variância e reposicioná-lo como a primeira linha/coluna da matriz reordenada. Em seguida, os próximos segmentos são escolhidos através o erro médio quadrático (*mean squared error* - MSE) entre o último posicionado (w) e o u -ésimo segmento da matriz original, numa forma modificada do pré-processamento proposto em Filho et al. [11], o qual utiliza, constantemente, o vetor de menor variância no lugar do último posicionado. O método, então, é dado por

$$MSE_u = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (x_u(i) - x_w(i))^2, \quad (2)$$

onde L é o número de amostras de cada segmento, $x_w(i)$ são as amostras do último segmento posicionado e $x_u(i)$ são as amostras de um dos segmentos ainda não posicionados. Deste modo, a matriz reordenada apresentará linhas/colunas adjacentes semelhantes, o que diminui as diferenças residuais entre amostras em linhas/colunas adjacentes.

III. RESULTADOS DE SIMULAÇÕES

Com base nas técnicas de pré-processamento descritas na seção II, adotou-se uma metodologia de compressão de sinais de EEG como imagens, cujo diagrama em blocos está ilustrado na Figura 2. Primeiramente, o sinal é particionado em segmentos, que são inseridos nas colunas de uma matriz. Esta, por sua vez, é reorganizada, aplicando-se uma técnica de pré-processamento, e comprimida com um codificador de imagens comercial. As informações resultantes da reorganização do arranjo bidimensional, ou seja, os índices originais das colunas de imagem, são incorporadas ao cabeçalho do arquivo comprimido, para que o sinal reconstruído seja corretamente recuperado.

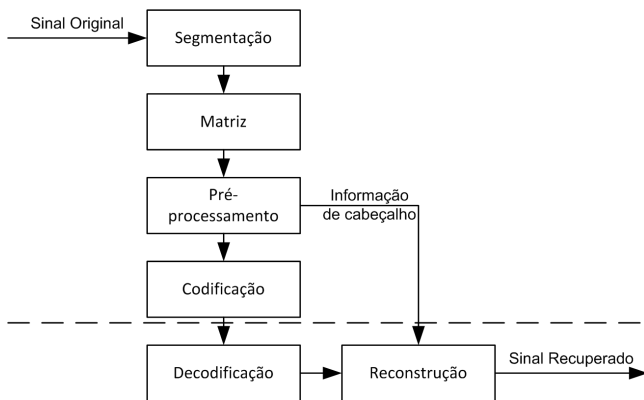


Fig. 2: Metodologia de codificação adotada para os sinais de EEG.

Os registros de EEG utilizados foram obtidos de uma base de dados de acesso público, a *CHB – MITScalpEEGdatabase* [17], de modo que os resultados possam ser reproduzidos e futuramente comparados a outros esquemas. Tais registros foram obtidos de pacientes epiléticos de pediatria, monitorados durante vários dias, a fim de se detectar a causa e a origem das convulsões, como uma orientação para possíveis intervenções cirúrgicas. Os sinais foram obtidos de 23 derivações, sendo então amostrados a 256Hz e quantizados com 12 bits. Esta mesma base foi utilizada em Prieto et al. [18], que será aqui referido para fins de comparação de resultados. Apenas uma derivação foi comprimida, a $F4 - C4$, pois foi a mesma utilizada em Prieto et al. [18], o que proporciona uma comparação direta.

Os sinais comprimidos são avaliados segundo a taxa de compressão (*Compression Ratio - CR*), que indica o quanto o sinal foi comprimido:

$$CR = \frac{N_{bits_orig}}{N_{bits_comp}}, \quad (3)$$

onde N_{bits_orig} é o número de bits do sinal original e N_{bits_comp} é o número de bits da versão comprimida,

que compreende o total de bits das amostras de sinal e a informação correspondente à reordenação das colunas. A degradação do sinal é quantificada segundo o PRD, definido como:

$$PRD = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} (x^2[n] - \hat{x}^2[n])}{\sum_{n=0}^{N-1} x^2[n]}}, \quad (4)$$

onde $x[n]$ e $\hat{x}[n]$ são os sinais original e reconstruído, respectivamente, e N é o número total de amostras. É importante ressaltar que a comparação é realizada após a remoção da reordenação e a obtenção da forma unidimensional original dos sinais.

A comparação entre os codificadores escolhidos para as simulações, ou seja, o JPEG2000 e o H.264, foi realizada com base em dois cenários. Os sinais são pré-processados segundo o exposto na seção II, com colunas de 512 amostras, completando-se a última com a média do sinal, caso necessário. Todo o sinal é subtraído pelo valor mínimo do mesmo, de modo a se converter as amostras sinalizadas em números inteiros positivos. O sinal é então comprimido com um codificador H.264 e em seguida com um JPEG2000, utilizando-se o mesmo valor de CR obtido no primeiro.

O compressor H.264 utilizado é a versão 18.3 do software de referência do padrão, disponível em <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/>. O codificador foi configurado no modo FRExt High 100 Intra Profile, com uma entrada YUV 4:0:0 do sinal de EEG, quantizado com 12 bits. A otimização taxa-distorção foi utilizada (*Rate-distortion (RD) Optimization*), juntamente com o filtro de desbloqueamento (*Deblocking Filter*), a Codificação Aritmética Binária Adaptativa baseada em Contexto (CABAC) e blocos de tamanho 8×8 , tanto para a transformada como para a predição. A Codificação Hierárquica não foi habilitada.

O codificador JPEG2000 utilizado foi disponibilizado pela *Kakadu software*, disponível em <http://www.kakadusoftware.com>. Todos os valores padrões do codificador foram utilizados, porém, como sinal de EEG é comprimido como um dado sem formatação (*raw data*), dois parâmetros são informados: as dimensões da imagem e a resolução de bits. Como o passo de quantização também é dependente da resolução de bits, este valor foi modificado e fixado em 0,000025.

Em um primeiro cenário de simulação, a comparação entre os valores de PRD é mostrada nas tabelas Ia, Ib, Ic e Id, onde estão os resultados para a compressão sem nenhum pré-processamento e também para as técnicas de reordenação por correlação (ver seção II-A), variância (ver seção II-B) e complexidade modificada (ver seção II-C). É possível verificar que, independentemente do tipo de pré-processamento utilizado, o compressor JPEG2000 apresenta resultados superiores aos obtidos pelo H.264. Na verdade, para o codificador H.264, as técnicas de pré-processamento nem sempre resultam em uma melhoria na eficiência de compressão, o que já havia sido observado em Filho et al. [11].

Em um segundo cenário, é analisada a curva de PRD x Fator de Compressão obtida na codificação de registros de EEG com o JPEG2000, utilizando-se os vários tipos de pré-processamentos mostrados na seção II, onde o PRD mostrado

TABELA I: Comparação entre os compressores H-264 e JPEG2000.

(a) Sem nenhum pré-processamento

Sinal	CR	PRD (%)	
		H-264	JPEG2000
chb01_02	8,69	11,26	8,63
chb01_15	8,23	5,12	3,48
chb04_02	12,02	17,50	17,05
chb04_08	8,21	10,02	9,87
chb07_02	5,71	9,09	8,34
chb07_12	5,73	7,88	7,25
chb10_02	8,09	5,75	4,23
chb10_12	8,97	5,91	4,34
chb23_06	8,01	11,87	10,17
chb23_10	7,23	8,53	7,19

(b) Pré-processamento por correlação

Sinal	CR	PRD (%)	
		H-264	JPEG2000
chb01_02	8,53	11,52	8,96
chb01_15	8,00	5,21	3,55
chb04_02	12,09	17,77	17,07
chb04_08	7,96	10,39	10,28
chb07_02	5,51	9,26	8,51
chb07_12	5,46	8,05	7,45
chb10_02	8,17	5,80	4,19
chb10_12	9,18	5,94	4,31
chb23_06	7,82	12,19	10,48
chb23_10	7,06	8,69	7,29

(c) Pré-processamento por variância

Sinal	CR	PRD (%)	
		H-264	JPEG2000
chb01_02	8,66	11,54	8,96
chb01_15	8,23	5,22	3,60
chb04_02	12,13	18,27	17,12
chb04_08	8,12	10,29	9,67
chb07_02	5,56	9,36	8,61
chb07_12	5,63	8,06	7,32
chb10_02	7,95	5,84	4,30
chb10_12	8,90	5,93	4,39
chb23_06	7,74	12,36	10,62
chb23_10	7,02	8,79	7,40

(d) Pré-processamento por complexidade

Sinal	CR	PRD (%)	
		H-264	JPEG2000
chb01_02	8,95	11,48	9,00
chb01_15	8,53	5,16	3,48
chb04_02	13,18	17,67	16,50
chb04_08	8,72	10,03	9,44
chb07_02	5,78	9,25	8,55
chb07_12	5,88	7,94	7,21
chb10_02	8,57	5,78	4,14
chb10_12	9,65	5,91	4,21
chb23_06	8,10	12,21	10,63
chb23_10	7,36	8,66	7,40

é a média dos valores obtidos, em determinadas taxas, para um único canal (F4-C4) do cenário anterior. O Fator de compressão (*Compression Factor - CF*) é dado por:

$$CF = 100 \cdot \frac{N_{bits_orig} - N_{bits_comp}}{N_{bits_orig}} \% \quad (5)$$

Os resultados do segundo cenário são mostrados na Figura 3. Nota-se que a diferença entre o PRD é muito pequena para CFs até 70%, e que os pré-processamentos baseados em variância e correlação não apresentam nenhum ganho de compressão. No entanto, a reordenação por complexidade modificada, que é baseada no erro médio quadrático, apresenta resultados favoráveis, com ganhos de aproximadamente 1 ponto percentual de PRD, em relação às outras técnicas de pré-processamentos, para um CF de 90%.

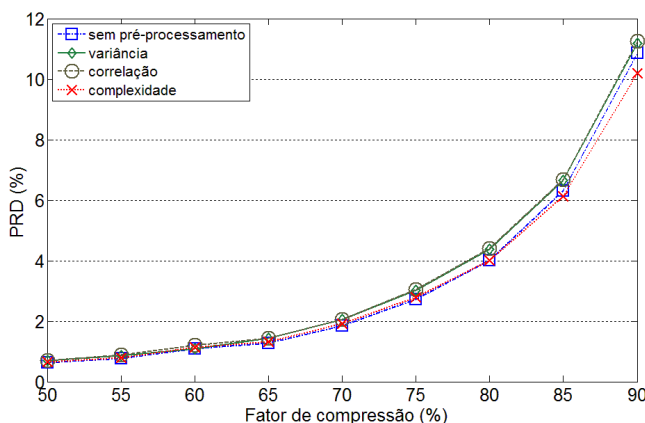


Fig. 3: Curva de compressão para JPEG2000

A Tabela II compara os resultados do método de ordenação por complexidade modificada, sugerido neste trabalho, com os resultados mostrados por Prieto et al. [18], que constitui o estado da arte na compressão de sinais de EEG e utiliza a mesma base de dados. É obtido o mesmo CR através do ajuste da taxa de bits do compressor JPEG2000. Apesar da metodologia proposta não superar o esquema introduzido em Prieto et al. [18], o método apresentado é competitivo e pode ser considerado uma alternativa interessante para baixas taxas de compressão.

É possível também comparar a metodologia proposta com o esquema apresentado por Higgins et al. [14], que utilizou uma base de dados composta por sinais de pacientes com epilepsia, fornecida pela Universidade de Friburgo, na Alemanha, e também é baseado no JPEG2000. Os resultados para a ordenação por complexidade modificada e os fornecidos em Higgins et al. [14] estão disponibilizados na Figura 4. Dada a similaridade entre os sinais de teste e a utilização do mesmo codificador base, é possível afirmar que a metodologia proposta tende a ser superior, principalmente com o aumento do fator de compressão.

IV. CONCLUSÕES

A codificação de sinais de EEG como imagens foi abordada, em uma metodologia que incorpora a sua formatação em matrizes bidimensionais e o pré-processamento do arranjo resultante, em uma etapa imediatamente anterior à de compressão de dados. Três técnicas de pré-processamento foram avaliadas, sendo duas disponíveis na literatura, que também já haviam sido aplicadas a outros tipos de sinais biológicos, e uma introduzida neste trabalho. Os compressores comerciais

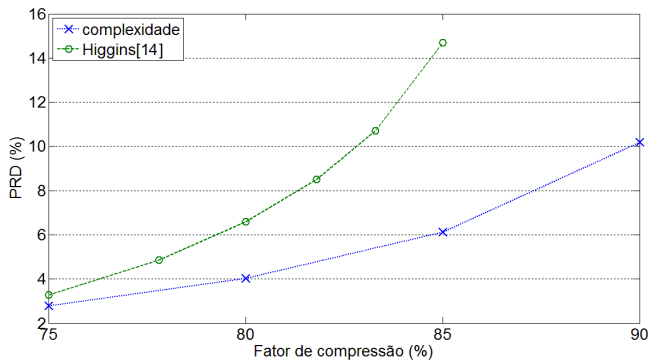


Fig. 4: Curva de compressão comparando o melhor resultado com Higgins et al. [14]

TABELA II: Comparação do método com Prieto et al. [18]

Sinal	CR	PRD (%)	
		Prieto et al. [18]	JPEG2000 (Ord. Complexidade)
chb01_02	8,78	6,01	8,74
chb01_15	17,11	5,41	10,71
chb04_02	6,43	6,72	6,96
chb04_08	6,59	6,61	6,52
chb07_02	4,67	6,89	6,08
chb07_12	7,80	6,47	10,23
chb10_02	15,30	5,50	9,38
chb10_12	18,19	5,45	10,90
chb23_06	6,65	6,20	8,25
chb23_10	5,99	6,17	5,63

JPEG2000 e H.264 foram utilizados nas simulações realizadas. Os resultados mostram que a codificação de sinais de EEG como imagens é viável e é capaz de superar o estado da arte, para baixas taxas de compressão. Além disso, estas técnicas podem ser incorporadas por outros esquemas e a metodologia proposta pode agregar outros compressores de imagens, o que proporcionaria um aumento imediato na eficiência de compressão de sinais de EEG.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CT-PIM e à UNISOL, pelo suporte fornecido para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] S. Sanei, J. A. Chambers. *EEG Signal Processing*. Cardiff University, UK: Wiley, 2007.
 [2] A. H. Ropper, R. H. Brown. *Adams and Victor's Principles of Neurology*, 8th ed., New York: McGraw-Hill, 2005.
 [3] A. C. Guyton, J. E. Hall. *Textbook of medical physiology*, 11th ed. Philadelphia, PA, USA: Elsevier Inc., 2006.

[4] J. Scozzafava, M. S. Hussain, P. G. Brindley, M. J. Jacka, D. W. Gross. The role of the standard 20 minute EEG recording in the comatose patient, *Journal of Clinical Neuroscience*, Vol. 17, No. 1, January 2010.
 [5] Y. Okii, A. Akane, K. Kawamoto, M. Iwase, M. Yoshida, T. Mitani, S. Yoshimura, T. Tokiyasu, T. Kobayashi. The proof of flat-line scalp EEGs of brain dead patients by an automatic EEG analysis system, *Legal Medicine*, Vol. 11, No. 1, April 2009.
 [6] L. Koessler, C. Benar, L. Maillard, J.-M. Badier, J. P. Vignal, F. Bartolomei, P. Chauvel, M. Gavaret. Source localization of ictal epileptic activity investigated by high resolution EEG and validated by SEEG, *NeuroImage*, Vol. 51, No. 2, June 2010.
 [7] J. R. Cho, D. L. Koo, E. Y. Joo, S. M. Yoon, E. Ju, J. Lee, D. Y. Kim, S. B. Hong. Effect of levetiracetam monotherapy on background EEG activity and cognition in drug-naïve epilepsy patients, *Clinical Neurophysiology*, Available online 13 October 2011, ISSN 1388-2457, 10.1016/j.clinph.2011.09.012.
 [8] I. Chouvarda, V. Rosso, M. O. Mendez, A. M. Bianchi, L. Parrino, A. Grassi, M. Terzano, S. Cerutti. Assessment of the EEG complexity during activations from sleep, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol. 104, No. 3, December 2011.
 [9] G. Higgins, S. Faul, R. P. McEvoy, B. McGinley, M. Glavin, W. P. Marnane, E. Jones. "EEG compression using JPEG2000: How much loss is too much?," *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE*, pp. 614-617, September 2010.
 [10] I. B. Ciocoiu. "ECG Signal Compression Using 2D Wavelet Foveation," *International Journal of Advanced Science and Technology*, vol. 13, December 2009.
 [11] E. B. L. Filho, N. M. M. Rodrigues, E. A. B. da Silva, S. M. M. de Faria, V. M. M. da Silva, M. B. de Carvalho. "ECG Signal Compression Based on Dc Equalization and Complexity Sorting," *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 55, no. 7, pp. 1923-1926, July 2008.
 [12] A. Ghaffari, H. Palangi, M. Babaie-Zadeh, C. Jutten. "ECG denoising and compression by sparse 2D separable transform with overcomplete mixed dictionaries," *Machine Learning for Signal Processing, 2009. MLSP 2009. IEEE International Workshop on*, pp. 1-6, September 2009.
 [13] M. V. C. Costa, J. L. A. Carvalho, P. A. Berger, A. Zagheto, A. F. da Rocha, F. A. O. Nascimento. "Two-dimensional compression of surface electromyographic signals using column-correlation sorting and image encoders," *Engineering in Medicine and Biology Society, 2009. EMBC 2009. Annual International Conference of the IEEE*, pp. 428-431, September 2009.
 [14] G. Higgins, B. McGinley, E. Jones, M. Glavin. "Efficient EEG compression using JPEG2000 with coefficient thresholding," *Signals and Systems Conference (ISSC 2010), IET Irish*, pp. 59-64, June 2010.
 [15] K. Srinivasan, M. Ramasubba Reddy. "Efficient preprocessing technique for real-time lossless EEG compression," *Electronics Letters*, vol. 46, no. 1, pp. 26-27, January 2010.
 [16] G. Antonioli, P. Tonella. "EEG data compression techniques," *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 44, no. 2, pp. 105-114, February 1997.
 [17] A. L. Goldberger, L. A. N. Amaral, L. Glass, J. M. Hausdorff, P. Ch. Ivanov, R. G. Mark, J. E. Mietus, G. B. Moody, C. K. Peng, H. E. Stanley. "PhysioBank PhysioToolkit, and PhysioNet: components of a new research resource for complex physiologic signals", *Circulation*, pp. 215-220, Vol. 101, No. 23, June 2000.
 [18] C. B. Prieto, M. B. Velasco, J. C. Barrera, F. C. Roldán. "Retained energy-based coding for EEG signals," *Medical Engineering & Physics*, Available online 6 November 2011, ISSN 1350-4533, 10.1016/j.medengphy.2011.10.002.