

---

**CARACTERIZAÇÃO NÃO-LINEAR DE MODELOS ANIMAIS DE  
EPILEPSIA DO LOBO TEMPORAL POR UMA ABORDAGEM  
WAVELET CAÓTICA**

Caio Henrique Konyosi Miyashiro<sup>1</sup>, Norberto Garcia-Cairasco<sup>2</sup> e José Augusto Baranauskas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Computação e Matemática (DCM) / Universidade de São Paulo (USP),  
Ribeirão Preto, Brasil

<sup>2</sup> Laboratório Neurofisiologia e Neuroetologia Experimental (LNNE) / Universidade de São  
Paulo (USP), Ribeirão Preto, Brasil

**Resumo:** O diagnóstico de alterações no sinal eletroencefalográfico de pacientes com epilepsia do lobo temporal é realizado principalmente por meio de análises visuais de um especialista capacitado. Esta avaliação, além de ser um processo exaustivo e laborioso, está propenso a erros. Estudos recentes indicam que os sinais elétricos cerebrais são caóticos, com variações maiores ou menores para estados patogênicos, como epilepsia. Assim, o principal objetivo deste estudo é de identificar e quantificar medidas de complexidade/caos que possam ser calculadas computacionalmente com o intuito de gerar um mecanismo automático de classificação de sinais eletroencefalográficos. Nós extraímos algumas medidas já estabelecidas no domínio de complexidade como maior expoente de *Lyapunov* e dimensão de correlação. Os sinais foram decompostos em suas faixas de frequências cerebrais por meio da transformada de *wavelets* e os resultados foram validados contra sinais aleatórios com o uso de testes substitutos.

**Palavras-chave:** Epilepsia, Dinâmica não Linear, Análise de Ondaletas e Eletroencefalografia.

**Abstract:** The diagnosis of alterations in the electroencephalographic signal of temporal lobe epilepsy patients is done mainly by means of visual analysis of a capacitated specialist. This evaluation, besides being an exhaustive and laborious process, is error prone. Recent studies indicated that cerebral electrical signals are chaotic, with bigger or lesser variations for pathogenic states, as epilepsy. Therefore, the main objective of this study is to identify and quantify complexity/chaotic measures that can be computationally calculated, in order to generate an automatic classification mechanism for electroencephalographic signals. We extracted a few measures already established in the complexity domain as the largest *Lyapunov* exponent and correlation dimension. The signals were decomposed in its cerebral frequency bands using wavelet transform and the results were validated against random signals using surrogated tests.

**Keywords:** Epilepsy, Non-Linear Dynamics, Wavelet Analysis and Electroencephalographic.

## Introdução

A epilepsia pode ser definida como uma disfunção neurológica caracterizada por crises recorrentes, convulsivas ou não, decorrentes de uma atividade anormalmente excessiva ou hipsíncrona dos neurônios cerebrais e usualmente auto-limitada [1].

Recentemente, estudos indicaram que os sinais de eletroencefalografia (EEG) poderiam possuir um comportamento caótico em sua evolução. Um sistema caótico é definido por possuir algumas propriedades, como sensibilidade a condições iniciais, em que pequenas variações em um momento aumentam ou diminuem exponencialmente, de forma não-linear, com o tempo. Além disso, ao contrário do uso comum, a definição matemática para caos não implica em desordem e aleatoriedade, e sim uma alta complexidade fornecida por um movimento determinístico. Aplicados aos sinais de EEG, é teorizado que os sinais gerados possuem um fonte determinística, mas não-lineares e complexos, *i.e.* sensível a condições

iniciais e pequenas variações e uma aparente aleatoriedade, com períodos infinitos. Sistemas caóticos oferecem diversas vantagens funcionais. As dinâmicas operam sob uma vasta variação de condições e são, portanto, adaptáveis e flexíveis. Esta plasticidade permite aos sistemas cooperar com as exigências de um ambiente imprevisível e propenso a mudanças e a não-linearidade permite uma resposta rápida do sistema [2].

Além da teoria do caos em sinais de EEG, o surgimento da transformada *wavelet* também tem colaborado com novas ideias e teorias a respeito da informação contida nos sinais eletroencefalográficos. Isto devido ao fato da transformada manter o sinal no domínio da frequência, juntamente com o tempo. Adicionalmente, a transformada discreta de *wavelet* divide sucessivamente um sinal em suas aproximações (componentes de baixa frequência) e detalhes (alta frequência). Assim, aplicado ao EEG, as avaliações não-lineares poderiam ser realizadas em cada uma das faixas de frequência cerebrais mais conhecidas (*delta, teta, alfa, beta e gama*)

Neste contexto, o objetivo principal deste projeto é de medir o nível de caos dos sinais de EEG e extrair medidas de complexidade que possam melhor caracterizar os momentos de crise.

## Métodos

Para realizar as operações, foram utilizados segmentos de EEG previamente coletados de ratos *Wistar* após um procedimento de ablação e estabelecimento de *status epilepticus* [3].

O processamento e extração de medidas do sinal foi realizado com a ferramenta Matlab<sup>1</sup>. Foi gerado um algoritmo que extraísse algumas medidas de complexidade do sinal como o maior expoente de *Lyapunov* e a dimensão de correlação [2]. Além do mais, foram gerados espaços de fase para se obter uma ideia da dinâmica do sinal em momentos de crise e não crise. O espaço de fases foi gerado a partir do conceito do sinal embutido, utilizando alguns critérios como auto-correlação e falsos vizinhos mais próximos para se calcular o lag de tempo e o número de dimensões do novo sinal. A seguir, para melhor visualização do espaço de fases e auxílio em busca de possíveis atratores, foi realizada uma transformação dos dados a partir dos componentes principais de forma que a disposição dos dados no novo espaço fossem distribuídos pelos eixos de maior variância no espaço original. Para se tentar refutar a hipótese de que os sinais possuem uma grande parte aleatória em sua composição, foram gerados testes substitutos com os sinais, comparando-se os valores previamente calculados com os mesmos dados do novo sinal aleatório [4]. Estes sinais possuem as mesmas características do sinal original, como média, variância, auto correlação e, portanto, espectro de frequência, diferindo somente nas fases de cada componente de frequência. Pretende-se extrair as medidas propostas para cada uma das faixas de frequência cerebrais e utilizar as que melhores conseguirem discriminar sinais de crise e de não crise para gerar um classificador automático de sinais de EEG.

<sup>1</sup> <http://www.mathworks.com/products/matlab/>, último acesso em 17/09/13

## Resultados

A figura 1 apresenta um dos resultados obtidos pelo algoritmo de análise de complexidade dos sinais de EEG. Comparando-se o sinal original com o seu sinal substituto, pode-se observar que houve uma redução significativa dos valor da dimensão de correlação, mostrando que, ao remover suas interações não-lineares, o sinal também perde muito de sua informação. Dentre as sub bandas de frequências, as ondas deltas obtiveram um maior destaque na medida de complexidade em comparação com as outras faixas de frequência.

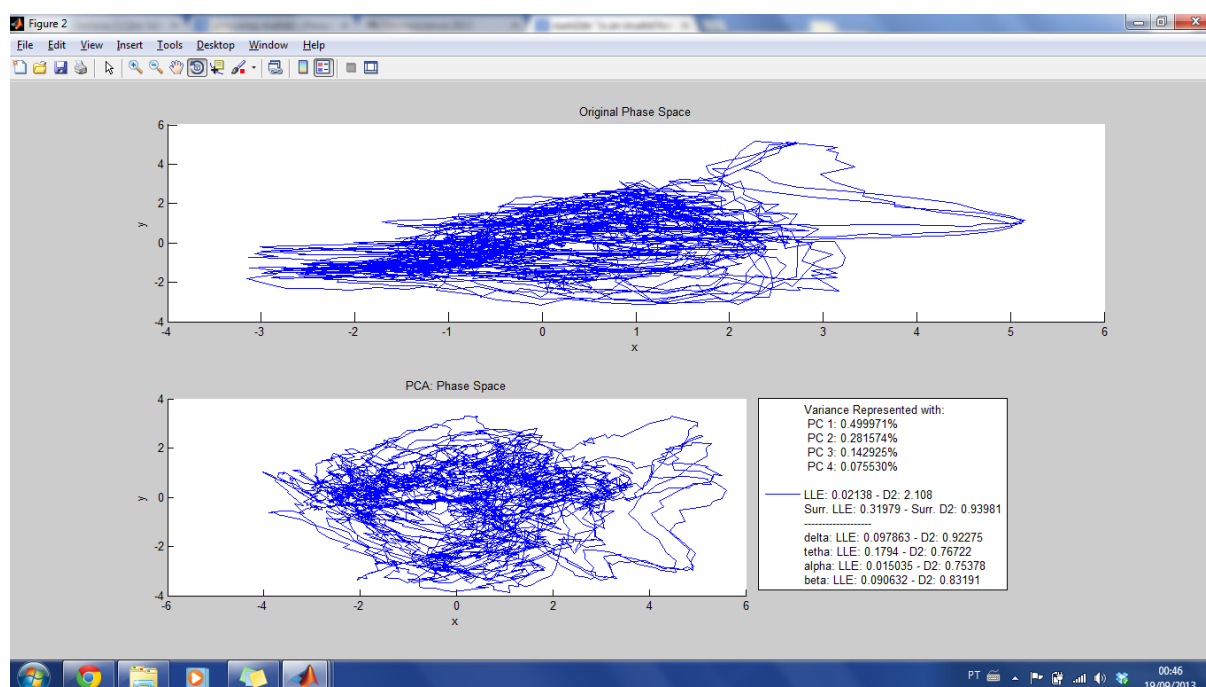


Fig. 1: Análise do espaço de fases e medidas de complexidade extraídas do sinal original e de seu correspondente teste substituto.

## Discussão

As medidas encontradas neste estudo prévio favorece à teoria dos sinais caóticos. O caos presente nos sinais de EEG pode indicar uma maneira complexa para transmissão e processamento de informação, facilitando em processos cognitivos e até mesmo aprendizado [5]. Na sequência deste trabalho, serão realizadas avaliações estatísticas para quantificar a diferença dos valores obtidos, além de realizar a extração e comparação de medidas de sinais sem crises epiléticas. Por último pretende-se estabelecer uma ferramenta para extração automática de medidas e classificação de sinais de EEG.

**Conclusão**

Dos experimentos previamente realizados, o método proposto mostrou-se capaz de quantificar medidas de complexidade dos sinais, uma vez que possibilitou extrair medidas distintas para os sinais de crise em comparação com os sinais obtidos dos testes substitutos.

**Referências**

- [1] J. Engel, "Introduction to temporal lobe epilepsy," *Epilepsy research*, vol. 26, pp. 41–50, 1995.
- [2] S. N. Sarbadhikari and K. Chakrabarty, "Chaos in the brain: a short review alluding to epilepsy, depression, exercise and lateralization.," *Medical engineering & physics*, vol. 23, no. 7, pp. 445–55, Sep. 2001.
- [3] A. Fernandes, "Expressão aumentada de NPY após Status Epilepticus induzido por estimulação elétrica do complexo amigdalóide em ratos: Provável participação em um sistema anticonvulsivo endógeno," 2008.
- [4] R. Kunhimangalam, P. K. Joseph, and O. K. Sujith, "Nonlinear analysis of EEG signals : Surrogate data analysis," vol. 29, pp. 239–244, 2008.
- [5] J. C. Sprott, "Is chaos good for learning?," *Nonlinear dynamics, psychology, and life sciences*, vol. 17, no. 2, pp. 223–32, Apr. 2013.

**Contato**

Caio Henrique Konyosi Miyashiro.  
Mestrando em Bioinformática pela Universidade de São Paulo.  
Universidade de São Paulo - Departamento de Computação e Matemática  
Av. dos Bandeirantes 3900 - Monte Alegre – Ribeirão Preto – São Paulo – Brasil  
CEP: 14040-901