

O Estudo das Entropias: Shannon e Tsallis, no Imagiamento Funcional por Ressonância Magnética

Nayane Caroline J. Cardoso*

Valcir João da Cunha Farias***

Marcus Pinto da Costa da Rocha***

Universidade Federal do Pará – Programa de Pós - Graduação em Matemática e Estatística
66.075-900, Campus Guamá, Belém, PA
E-mail: nayanecardoso@gmail.com
{mrocha, valcir}@ufpa.br

Josiane Helena Ramos de Lira**

Universidade Federal do Pará – Faculdade de Estatística
66.075-900, Campus Guamá, Belém, PA
E-mail: josiane.tj@hotmail.com

RESUMO

A aquisição de imagens por ressonância magnética funcional, *functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI), é uma técnica muito utilizada em processos cognitivos elevados, em aplicações clínicas (destacando-se no mapeamento pré-cirúrgico), entre outros. A fMRI permite identificar regiões com a atividade neuronal aumentada como resposta a um estímulo sensorial ou devido à realização de uma tarefa predefinida no paradigma do experimento funcional. Entretanto, devido à presença de outras atividades, que neste caso chamamos de ruído, a amplitude destas regiões demarcadas é muito baixa, necessitando, por tanto, de métodos de tratamento de sinal que possam melhorar a relação sinal e ruído.

Alguns modelos gerados nesses mapeamentos utilizam uma função resposta hemodinâmica - *hemodynamic response function* (HRF), para análises das séries temporais, como, por exemplo, o GLM (Modelo Linear Geral). Porém, devido à considerável variabilidade da HRF e a baixa relação sinal ruído das imagens a caracterização e localização das áreas ativas do cérebro, por inspeção visual, não é uma tarefa de fácil execução.

Nesse contexto, as Entropias de Shannon e de Tsallis desempenham um papel fundamental, no que diz respeito à distinção do sinal e do ruído. Ou seja, quantificam a entropia (“desordem”) do sinal inferindo a presença ou não de ativação neural sem fazer suposição sobre a forma da função resposta hemodinâmica, *hemodynamic response function* (HRF).

A análise entrópica fundamenta-se no cálculo da entropia de Shannon, na qual possibilita uma comparação das propriedades de um sistema em termos numéricos, medindo a informação contida em um evento probabilístico [2]. A entropia de Tsallis é uma nova formulação para a entropia mecânica estatística (generalização da entropia de Shannon), proposta por Constatino Tsallis. Essa formulação introduz um novo parâmetro q , que tem por intuito otimizar o sistema, ou seja, a inserção desse parâmetro possibilita um maior poder de detecção da HRF [4] [6]. Este parâmetro é considerado como uma estatística particular, obtido a partir das curvas de ROC (*receiver operating characteristic*). O valor de q é dado empiricamente, após a análise do sistema. Esta técnica leva em conta as correlações a longo alcance, entre sistemas constituídos por corpos com a propriedade de multifractalidade aparecendo em macro-estados. Estes conceitos podem ser aplicados em imagens digitais, considerando a correlação entre os diferentes pixels e o padrão fractal, encontrada em várias imagens.

Os métodos entrópicos podem, de fato, ser uma alternativa para análise em (fMRI), como mostrados em [3] e [4]. No estudo realizado em [4], foi proposto um método baseado na computação da entropia de Shannon, a qual tinha por intuito gerar um mapa estatístico que informasse as áreas do cérebro com maior chance de estarem ativas, buscou-se, em um primeiro

*Aluna do Programa de Pós - Graduação em Matemática e Estatística.

** Aluna do Curso de Graduação em Estatística

***Professores do Programa de Pós - Graduação em Matemática e Estatística.

momento, avaliar alguns parâmetros do método proposto para aumentar sua sensibilidade. Além disso, generalizou-se o método com a entropia de Tsallis, a qual, como citado anteriormente, introduziu um novo parâmetro, q . Após a análise das imagens através dos métodos, os resultados encontrados foram satisfatórios, pois mostraram que as entropias de Shannon e Tsallis contribuíram para a melhoria da resolução do sinal, diminuindo a relação do sinal-ruído.

A idéia central de [1], baseia-se no conceito de inferência estatística para a aplicação e comparação de diferentes métodos na análise de sinais de ressonância magnética funcional. Para essa finalidade, foram aplicados os seguintes métodos: Os clássicos de análise (teste t de Student, correlação) e, em especial, as medidas de informação (distância de Kullback – Leibler e sua forma generalizada (entropia de Tsallis)). Tal procedimento permitiu avaliar a sensibilidade e a especificidade dos métodos empregados através da construção das curvas ROC para diferentes valores da relação sinal- ruído (SNR). Os resultados apontaram que os métodos entrópicos são medidas úteis para análise de sinais dentro do cenário de teoria da informação.

Em [5], desenvolveu-se um algoritmo computacional baseado em Imagem de Ressonância Magnética para medir atrofia cerebral em controles saudáveis e em pacientes com Esclerose Múltipla (EM). Constatou-se que o uso da entropia de Tsallis produziu melhores resultados na segmentação dos tecidos, creditando, a isso, uma melhor identificação do limiar e a inclusão do volume parcial entre as classes. Além de resultar no organograma capaz de detectar a perda volumétrica nos pacientes com a fase progressiva da doença, distinguindo estes dos pacientes da fase inicial e dos controles.

O objetivo deste trabalho é mostrar as diversas aplicações das entropias de Shannon e Tsallis, considerando-se, para isso, os resultados obtidos em [1] e [5], bem como, o desenvolvimento de um procedimento para a estimação do parâmetro q , no Imagiamento Funcional por Ressonância Magnética. Os resultados mostram que os métodos entrópicos são, de fato, técnicas bastante eficientes e promissoras em fMRI, principalmente a entropia de Tsallis quando se tem um bom ajuste do parâmetro q .

Palavras-chave: *fMRI, Entropia de Shannon e Entropia de Tsallis*

Referências

- [1] B. C. T. Cabella, “Inferência estatística em métodos de análise de ressonância magnética funcional”. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto-Usp, 2008.
- [2] C.E, Shannon. A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal, 27, 379-423 (1948).
- [3] D. B. de Araujo, W. Tedeschi, A.C. Santos, J. E. Jr, U.P. Neves, O. Baffa. (2003). “Shannon entropy applied to the analysis of event-related fMRI time series”. *Neuroimage*. Vol.20, pp.311-317. 2003.
- [4] M. J. Sturzbecher, “Detecção e caracterização da resposta hemodinâmica pelo desenvolvimento de novos métodos de processamento de imagens funcionais por ressonância magnética”. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto-Usp, 2006.
- [5] P. R. B. Diniz, “Segmentação de tecidos cerebrais usando entropia Q em imagens de ressonância magnética de pacientes com esclerose múltipla”. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto-Usp, 2008.
- [6] W. Tedeschi, H.P. Muller, D. B. de Araujo, A.C. Santos, U.P. Neves, S.Erné,O.Baffa, “Generalized mutual information fMRI analysis: a study of the Tsallis q parameter”, *Physica A – Statistical and Theoretical Physics*, vol.352, pp 629-644,2005.