

## **CORRELAÇÃO ENTRE BIOMA E DENGUE NO ESTADO DA BAHIA.**

**Stela Azevedo<sup>1</sup>, Aloísio Nascimento<sup>1</sup>, Hugo Saba<sup>3</sup>, Marcelo A. Moret<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Feira de Santana E-mail: stelamariaa@gmail.com;

<sup>1</sup>Faculdade Senai Cimatec aloisio.nascimento@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade do Estado da Bahia, : hcardoso@uneb.br;

<sup>1</sup>Faculdade Senai Cimatec E-mail mamoret@gmail.com

### **RESUMO**

*A dengue é uma infecção viral transmitida por mosquito *Aedes aegypti* (*A. aegypti*) que predomina as regiões tropicais e subtropicais, com uma ocorrência que têm aumentado substancialmente nas últimas três décadas. Este artigo propõe a aplicação do método de análise de flutuações sem tendências (Detrended Fluctuations Analysis - DFA), para analisar o comportamento de escala nas séries temporais obtidas por meio do número de ocorrência de casos de dengue nos biomas do Estado da Bahia, Brasil. Os resultados mostram que quando a análise é feita nos biomas o comportamento é semelhante para flutuação, ou seja, dentro de um mês a série temporal é persistente. Para períodos maiores (de um mês a um ano), a série temporal pode ser persistente ou subdifusiva.*

**Palavras-Chaves:** *Dengue; Aedes aegypti; Bioma; Detrended Fluctuation Analysis (DFA).*

### **ABSTRACT**

Dengue is a viral infection transmitted by *Aedes aegypti* (*A. aegypti*), mosquitoes that predominates the tropical and subtropical regions. Its occurrence has increased substantially over the past three decades. This article proposes to apply the method of fluctuations analysis without trends (Detrended Fluctuation Analysis - DFA), to analyze the behavior scale in time series obtained by the occurrence numbers of dengue cases in the biomes of the Bahia State, Brazil. The results show that, when the analysis is made in the biomas, the behavior is similar to the fluctuation, so, In a month the time series is persistent. For longer periods (from one month to one year), the time series can be persistent or subdiffusive.

**Keywords:** *Dengue; Aedes aegypti; Biome; Detrended Fluctuation Analysis (DFA).*

### **1. INTRODUÇÃO**

A dengue é uma infecção viral transmitida pelo mosquito *Aedes aegypti* (*A. aegypti*), uma espécie de hematófago originária da África que se adaptou bem às condições climáticas brasileiras e se encontra distribuído em todo território. O vírus da dengue

tomou-se um relevante problema de saúde pública internacional, pois metade da população mundial está atualmente em risco de ter a infecção por dengue.

No estado da Bahia, entre os anos de 2000 a 2009 foram registrados mais de 350 mil casos de dengue e o primeiro balanço do Ministério da Saúde de 2015 registrou um aumento de 57,2% dos casos notificados no mês de janeiro, comparado ao mesmo período de 2014. Foram 40.916 notificações no primeiro mês de 2015, contra os 26.017 em janeiro de 2014 [1]. Como consequência desse expressivo aumento de casos, intensificam-se os esforços no combate à redução da fonte em ambiente doméstico que, segundo o comitê do município de saúde pública de endemias em cidades, é a forma mais efetiva de combate ao mosquito *Aedes aegypti*. Porém, uma das maiores dificuldades do controle ao mosquito transmissor é a dimensão territorial do estado da Bahia, que ocupa uma área de 564.733,081km<sup>2</sup> dividida em 417 municípios com diferentes faixas de densidade demográficas e possuindo diferentes biomas [IBGE e SEI].

O termo bioma deriva de Bio=vida + Oma=grupo ou massa. O conceito de bioma desde a sua origem veio evoluindo ao longo do tempo chegando ao mais atual, que considera como bioma uma área do espaço geográfico, com dimensões até superiores a um milhão de quilômetros quadrados, representada por um tipo uniforme de ambiente, identificado e classificado de acordo com o macroclima, a fitofisionomia (formação), o solo e a altitude, os principais elementos que caracterizam os diversos ambientes continentais [2]. No Brasil, em sua extensão continental existem os biomas: Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa [3], [4]. A classificação da Bahia em biomas é dada por Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica [SEI]. Recentemente alguns trabalhos foram publicados analisando as redes de correlações no estado da Bahia [5], [6], [7].

Este trabalho tem como objetivo principal, analisar a dinâmica da propagação de ocorrência da dengue nos biomas do estado da Bahia, entre os anos de 2000 e 2009, utilizando o método *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA) que nos últimos anos vem se tornando uma técnica muito usada para determinação de detecção de correlações de longo-alcance em ruídos de séries temporais não-estacionárias.

O presente trabalho está estruturado em quatro seções: essa primeira, que apresenta uma introdução, na segunda se descreve o método de análise de séries temporais DFA; a terceira seção apresenta os resultados e discussão dos achados; e finalmente, na quarta seção tem-se a conclusão desse trabalho.

## 2. METODOLOGIA

Neste artigo analisaremos a ocorrência dos casos de dengue no estado da Bahia, no período de 2000 a 2009, tendo como base os dados obtidos através do Sistema de Notificação de Agravos (SINAN), da ocorrência diária nas cidades do estado. A análise será feita nos três biomas do estado, a saber, Caatinga, Mata Atlântica e Cerrado. Abordando, assim, as relações existentes entre os biomas e os

expoentes de correlação aplicados a duas janelas de tempo, que representariam trinta dias e um ano.

## 2.1. Método DFA

As séries temporais consistem numa sequência única de dados obtidos ao longo de um determinado período de tempo. É importante em uma investigação identificar a existência de correlação na série, isto é, se há um efeito de memória de longa duração no decorrer do tempo. A análise de correlação pode ser estimada de vários métodos [8].

Aqui a análise é feita através do método *Detrended Fluctuation Analysis* – DFA [9], que subtrai possíveis tendências determinísticas da série temporal original analisando seus dados destendenciados, e assim verificando a existência de correlação da série. O método tem sido aplicado com sucesso em várias áreas do conhecimento, tais como: nos movimentos em séries temporais de mercados financeiros [10], geologia [11], flutuações sistemas astrofísicos [12], [13], transição de fase [14], manchas solares [15], taxa de batimentos cardíacos [16], movimentação de íons [17], proteína e energia [18] condições climáticas [19] e flutuações do mercado financeiro [20], [21] e flutuações na demanda de veículos do sistema ferry-boat [22].

A utilização do método DFA requer algumas etapas:

Considere uma série temporal  $\{r\}$ , cujos valores são  $r_i$ , com  $i$  variando de 1 à  $N$  (comprimento total da série), que podem ser por exemplo o número de casos de dengue em um município baiano coletada diariamente.

Para obtemos uma série com menor número de oscilações e apropriada para aplicar o método, calcula-se o somatório do desvio padrão de cada registro em relação à ocorrência média na série completa e obtendo assim a série integrada  $Y(k)$  dado por:

$$Y(k) = \sum_{i=1}^k r_i - \langle r \rangle,$$

Onde  $\langle r \rangle$  é o valor médio de  $r_i$ .

Em seguida divide-se a série integrada  $Y(k)$  em intervalos (janelas) de tempos iguais de amplitude  $n$  não sobrepostos

Ajusta-se os dados por um polinômio de tendência local de grau  $\geq 1$  a  $Y(k)$ , denominado  $Y_n(k)$  para cada janela de tamanho  $n$ .

A série integrada  $Y(k)$  é subtraída da série ajustada  $Y_n(k)$  em cada janela com tamanho  $n$ . Assim, é calculada a raiz quadrática média  $F(n)$  para cada janela de tamanho  $n$ , isto é,

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [Y(k) - Y_n(k)]^2}$$

Deve-se repetir o cálculo apresentado anteriormente para diferentes janelas de tamanho  $n$ .

Finalmente, verifica-se se a função  $F(n)$  comporta-se como uma lei de potência, ou seja, se é do tipo  $F(n) \sim n^\alpha$ . Em caso afirmativo, indica que a série possui fractalidade ou auto-similaridade e  $\alpha$  será o coeficiente de correlação de longo alcance.

O expoente de correlação  $\alpha$  é classificado de acordo com uma faixa dinâmica de valores [23], [24], [25], [26]:

Se  $0 < \alpha < 0,50$ , a série tem um comportamento anti-correlacionado, sinal anti-persistente, que significa que grandes (pequenos) valores tendem ser seguidos por pequenos (grandes) valores;

$\alpha \cong 0,50$ , a série será aleatória, não correlacionada, como um ruído branco e sem memória;

$0,50 < \alpha < 1$  a série tem um comportamento correlacionado, i.e. sinal persistente, que significa que grandes (pequenos) valores tendem ser seguidos por grandes (pequenos) valores;

$\alpha \cong 1$  a série apresenta-se como um sinal do tipo  $1/f$ ;

$1 < \alpha < 1,5$ , O sinal é não estacionário, como um processo difusivo [26];

$\alpha \cong 1,5$  indica um ruído marrom, que é a integração do ruído branco, ruído tipo browniano [26];

$\alpha > 1,5$  corresponde a um processo superdifusivo [26].

O expoente de correlação  $\alpha$  também pode ser interpretado como indicador da suavidade da série original, quanto maior seu valor, maior a suavidade da série.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base em dados do Sistema de Notificação de Agravos (SINAN), obtivemos a ocorrência diária das cidades do estado da Bahia. Classificamos as cidades em bioma, aplicamos o método DFA para cada cidade e obtendo os coeficientes de correlação, referente a cada bioma como a média de todas as cidades que os representa.

No trabalho anterior (PTI-2013), observou-se que existem dois comportamentos distintos nas vinte e cinco cidades analisadas, a saber, até o trigésimo dia a série tem um comportamento persistente com coeficiente de correlação de longo alcance variando entre  $0,50 < \alpha < 1,00$  com valor médio igual a  $\alpha = 0,69 \pm 0,14$ , e para o período compreendido entre um mês e um ano a série tem um comportamento subdifusivos onde  $\alpha$  varia entre  $1,00$  e  $1,50$  com valor médio  $\alpha = 1,21 \pm 0,12$ .

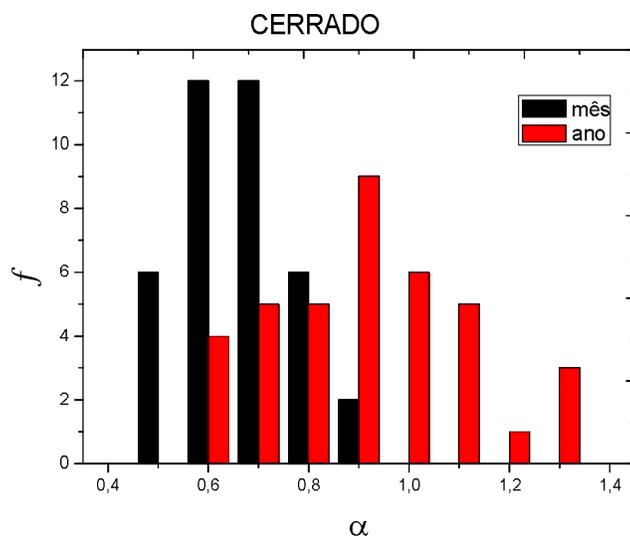
Após aplicarmos o método DFA nas cidades que compreende cada um dos três Biomas, obtivemos os seguintes coeficientes de correlação de longo alcance, a saber, na Caatinga  $\alpha$  varia até o trigésimo dia entre  $0,38 < \alpha < 0,99$  e para o período compreendido entre um mês e um ano  $0,43 < \alpha < 1,33$ , na Mata Atlântica  $0,38 < \alpha < 1,03$  e  $0,38 < \alpha < 1,49$ , e no Cerrado  $0,45 < \alpha < 0,83$  e  $0,51 < \alpha < 1,22$ , respectivamente.

A partir da Tabela 1 podemos observar que na Caatinga o valor médio do expoente é  $\alpha = 0,59 \pm 0,09$ , para períodos inferiores há um mês e  $\alpha = 0,97 \pm 0,18$ , para períodos compreendidos entre um mês e um ano na Mata Atlântica  $\alpha = 0,60 \pm 0,11$  e  $\alpha = 0,98 \pm 0,21$ , respectivamente, e no Cerrado o valor médio do expoente é  $\alpha = 0,62 \pm 0,09$ ,  $\alpha = 0,86 \pm 0,19$  respectivamente.

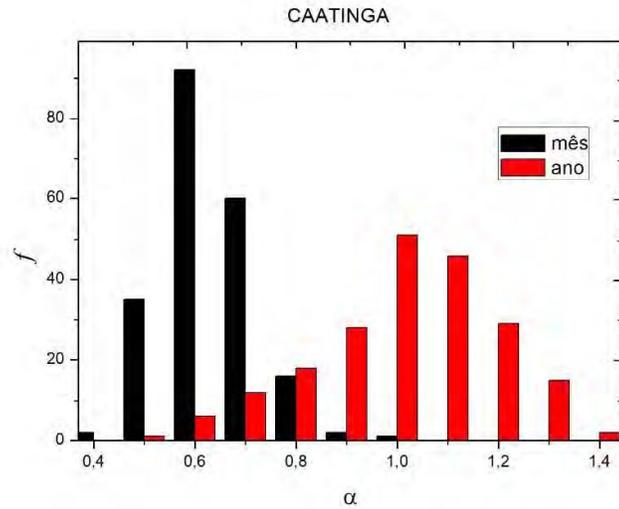
**COEFICIENTE MÉDIO DE CORRELAÇÃO DOS BIOMAS DO ESTADO DA BAHIA**

	CERRADO		CAATINGA		MATA ATLÂNTICA	
	MÊS	ANO	MÊS	ANO	MÊS	ANO
COEFICIENTE ( $\alpha$ )	0,63	0,88	0,59	0,97	0,60	0,98
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,09	0,18	0,09	0,18	0,11	0,21

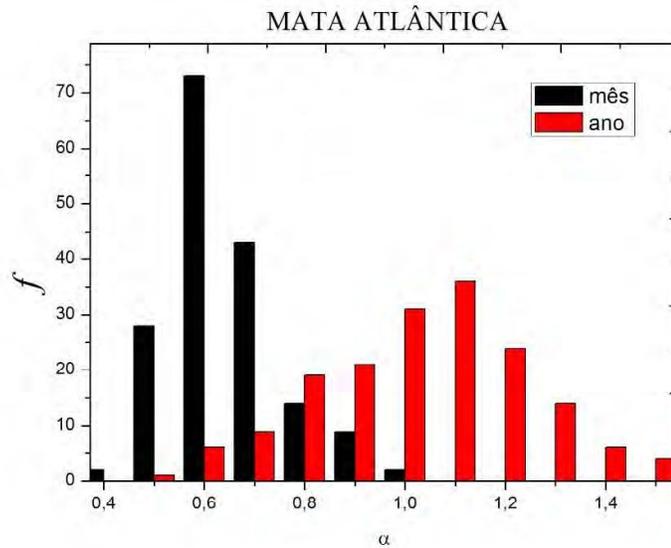
**Tabela 1** - Média dos expoentes de correlação de longo alcance,  $\alpha$  e o desvio padrão,  $\sigma$ , dos Biomas, a saber, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica, o erro e o coeficiente de variação referente ao mês e ao ano. Dados de 2000 a 2010.



**Figura 1** – Histograma representa a média do coeficiente  $\alpha$  a partir do DFA da ocorrência da dengue no bioma Cerrado, de 2000 a 2010,  $\alpha = 0,62 \pm 0,09$  para períodos inferiores há um mês e  $\alpha = 0,86 \pm 0,19$  para períodos compreendidos entre um mês e um ano.



**Figura 2** – Histograma representa a média do coeficiente  $\alpha$  a partir do DFA da ocorrência da dengue no bioma Caatinga, de 2000 a 2010,  $\alpha = 0,59 \pm 0,09$  para períodos inferiores há um mês  $\alpha = 0,97 \pm 0,18$  para períodos compreendidos entre um mês e um ano.



**Figura 3** – Histograma representa a média do coeficiente  $\alpha$  a partir do DFA da ocorrência da dengue no bioma mata Atlântica, de 2000 a 2010,  $\alpha = 0,60 \pm 0,11$  para períodos inferiores há um mês  $\alpha = 0,98 \pm 0,21$  para períodos compreendidos entre um mês e um ano.

Quando aplicarmos o método DFA, nas séries temporais dos três Biomas, obtivemos as curvas da Figura 4 e os dados da Tabela 2. Analisando os resultados podemos observar que existem dois comportamentos distintos para os Biomas, a saber, até o

trigésimo dia o coeficiente de correlação de longo alcance varia entre  $0,50 < \alpha < 1,00$  e para o período compreendidos entre um mês e um ano o  $\alpha$  varia entre 1,00 e 1,50.

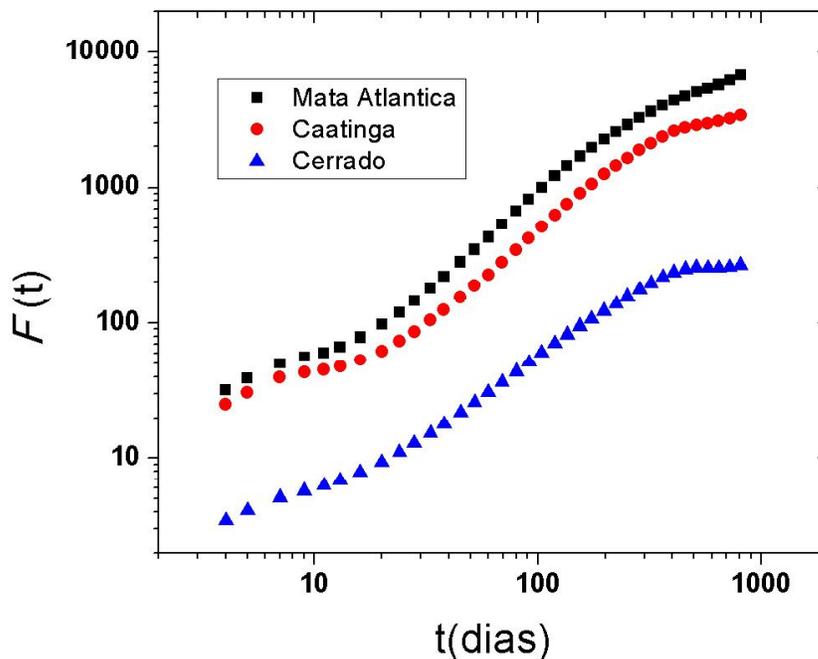


Figura 4 - Série da incidência diária de casos da dengue em cada Bioma no estado da Bahia, de 2000 a 2010.

**COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DOS BIOMAS DO ESTADO DA BAHIA**

	CERRADO		CAATINGA		MATA ATLÂNTICA	
	MÊS	ANO	MÊS	ANO	MÊS	ANO
COEFICIENTE ( $\alpha$ )	0,67	1,14	0,60	1,37	0,77	1,36
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,03	0,01	0,04	0,01	0,04	0,03

Tabela 2 – Expoentes de correlação de longo alcance,  $\alpha$  e o desvio padrão,  $\sigma$ , dos Biomas, a saber, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica, o erro e o coeficiente de variação referente ao mês e ao ano. Dados de 2000 a 2010.

**4.CONCLUSÃO**

A aplicação do método *Detrended Fluctuation Analysis* – DFA nos dados obtidos a partir das cidades de cada Bioma, listadas na Tabela 1, nos permite obter o coeficiente médio, o qual nos informa o comportamento da função de correlação de longo alcance para cada um dos biomas existentes no Estado da Bahia.

Após análise dos coeficientes médios de cada Bioma referente ao período de um mês, percebe-se que o resultado obtido independe da classificação por Bioma, e tende a ser persistente, isto é, valores grandes (pequenos) têm probabilidade de serem seguidos por valores grandes (pequenos), indicando auto-correlação. Por outro lado, o comportamento do expoente  $\alpha$  em períodos maiores (de um mês a um ano) apresenta suaves diferenças em relação aos biomas, mas ainda não alcançando um comportamento característico de série não estacionária.

No caso da Mata Atlântica e da Caatinga, percebe-se a partir dos histogramas das Figuras 2 e 3 perfis semelhantes, apesar de seus valores serem indistinguíveis estatisticamente. Entretanto, o histograma do Cerrado, Figura 1, apresenta um perfil distinto dos outros, a saber, da Mata Atlântica e Caatinga, apesar da média dos coeficientes de correlação estar na mesma faixa, entre 0,50 e 1,00.

Em aproximadamente 83,5% das cidades do Cerrado o valor do expoente de correlação médio de longo alcance ( $\alpha$ ) obtido pelo método DFA varia entre 0,50 e 1,00, o que indica um comportamento persistente, de auto-correlação, enquanto na Caatinga e Mata Atlântica, aproximadamente 50% dos casos apresentam um comportamento persistente, enquanto os outros 50% um comportamento subdifusivo.

Quando analisamos a série dos três Biomas, listada na Tabela 2, percebe-se que até o trigésimo dia o valor do expoente  $\alpha$  obtido pelo método DFA varia entre 0,50 e 1,00, o que indica um parâmetro de auto-similaridade e que a série original apresenta auto-correlações de longo alcance persistentes. Para o período anual  $\alpha$  varia entre 1,00 e 1,50, que caracteriza uma série não estacionária, similar ao comportamento de caminhos aleatórios não estacionários em um processo subdifusivo.

Assim, o método *Detrended Fluctuation Analysis* – DFA, quando utilizado num estudo por Biomas, também pode ser utilizado com ferramenta na previsão da incidência da dengue em períodos futuros, confirmando os resultados de uma análise estatística, através do expoente de correlação de longo alcance ( $\alpha$ ), podendo levar a um prognóstico que possibilite o governo a tomar medidas necessárias à prevenção da doença visto que, a Dengue apresenta maior previsibilidade em períodos curtos e como isso reduzindo os casos de dengue e a alta demanda hospitalar acarretada.

## 5. REFERÊNCIAS

<sup>1</sup><http://portalsaude.saude.gov.br/index.php/oministerio/principal/secretarias/svs/noticias-svs/16500-dengue-saude-registra-aumento-de-casos>. Acesso em julho de 2015.

- <sup>2</sup>Coutinho, Leopoldo Magno. "O conceito de bioma." *Acta Botanica Brasilica* 20.1 (2006): 13-23.
- <sup>3</sup>Ricklefs, R.E. *A economia da Natureza*. Guanabara Koogan, Pennsylvania, 2003, 503.
- <sup>4</sup>Odum, E.P. *Fundamentos de ecologia*. Lisboa: Fundação Calouste Gulberkian. 5ª ed. 1997. 927.
- <sup>5</sup>Saba, Hugo; Miranda, José Garcia Vivas; Moret, M.A. . Self-organized critical phenomenon as a q-exponential decay Avalanche epidemiology of dengue. *Physica A*, v. 413, p. 205-211, 2014.
- <sup>6</sup>Saba, Hugo; Vale, Vera C., Moret, Marcelo A.; Miranda, José Garcia . Spatio-temporal correlation networks of dengue in the state of Bahia. *BMC Public Health (Online)*, v. 14, p. 1085, 2014.
- <sup>7</sup>Saba, H. 2014 Saba, H. ; Miranda, José Garcia Vivas ; Jorge, E. M. F. ; Moret, M.A. . Correlation between Transport and Occurrence of Dengue Cases in Bahia. *Journal of Communication and Computer*, v. 11, p. 217-221, 2014.
- <sup>8</sup>M.S. Taqqu, V. Teverovsky and W. Willinger, Estimators for long-range dependence: An empirical study, *Ftactab* 3 (4), 785-798, (1995).
- <sup>9</sup>Peng, C.-K., Buldyrev, S. V., Havlin, S., Simons, M., Stanley, H. E., Goldberger, A. L. Mosaic organization of DNA sequences. *Phys. Rev. E.* **49**(2), 1685-1689 (1994).
- <sup>10</sup>Mantegna, R.N.; STANLEY, H.E. *An Introduction to Econophysics: correlations and complexity in finance*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- <sup>11</sup>Malamud, B. D. & Turcotte, D. L., Self-affine time series: measures of weak and strong persistence, *J. Stat. Plan. Infer.* 80 (1-2), 173, 1999.
- <sup>12</sup>Moret, M. A., Zebende, G. F., Nogueira, E. Jr., and Pereira, M. G. Fluctuations Analysis of Stellar X-Ray Binary Systems. *Physical Review E*, n. 68, p. 41104, 2003.
- <sup>13</sup>Zebende, G. F., Pereira, M. G., Nogueira, E., Moret M. A. Universal persistence in astrophysical sources. *PHYSICA A Stat Mech Appl*, 2005: 349(3-4) 452-458.
- <sup>14</sup>Zebende, GF, da Silva, MVS, Rosa, ACP, Alves, AS, de Jesus, JCO, Moret M. A. Studying long-range correlations in a liquid-vapor-phase transition. *Physica A Stat Mech Appl*, 2004: 342(1-2) 322-328

<sup>15</sup>Moret, M. A. Self-affinity and nonextensivity of sunspots. *Phys. Lett. A*, 2014: 378 (5-6) 494-496.

<sup>16</sup>Ivanov, P. Ch., Rosenblum, M. G., Peng, C.-K., Mietus, J., Havlin, S., Stanley, H. E. & Goldberger, A. L. Scaling behaviors of Heartbeat Intervals obtained by Wavelet-Based Time-Series Analysis. *Nature*. 383(6598), 323-327, 1996.

<sup>17</sup>Siwy, Z., Ausloos, M. & Ivanova, K. Correlation studies of open and closed state fluctuations in an ion channel: Analysis of ion current through a large conductance locust potassium channel. *Phys. Rev. E*, 65(1), 031907, 2002.

<sup>18</sup>Figueiredo, P. H., Moret, M. A., Pascutti, P. G., Nogueira, E., Jr., Coutinho, S. Self-affine analysis of protein energy. *Physica A Stat Mech Appl*, 2010: 389(13) 2682-2686

<sup>19</sup>Ivanova K.; Ausloos, M. Application of the detrended fluctuation analysis (DFA) method for describing cloud breaking. *Physica A*. 274(1), 349-354, 1999.

<sup>20</sup>Liu, Y., Cizeau, P., Meyer, M., Peng, C.-K. & Stanley, H. E. Correlations in economic time series. *Physica A*. 245(3-4), 437-440, 1997.

<sup>21</sup>Costa, R. L. & Vasconcelos, G. L. Long-range correlations and nonstationarity in Brazilian stock market. *Physica A*. 329(1-2), 231-248, 2003.

<sup>22</sup>Filho, A. N. S., Zebende G. F., Moret M. A. Self-affinity of vehicle demand on the ferry-boat system. *International Journal of Modern Physics C*. Vol. 19, No. 4 665-669, 2008.

<sup>23</sup>Bashan, A., Bartsch, R., Kantelhardt, J. W. & Havlin, S. Comparison of detrending methods for fluctuation analysis, *Physica A*. 387(21), 5080-5090, 2008.

<sup>24</sup>Kantelhardt, J. W., Koscielny-Bunde, E., Rego, H. H. A., Havlin, S. & Bunde, A. Detecting long-range correlations with detrended fluctuation analysis. *Physica A*. 295(3-4), 441-454, 2001.

<sup>25</sup>Zheng, H., Song, W. & Wang, J. Detrended fluctuation analysis of forest fires and related weather parameters, *Physica A*. 387(9), 2091-2099, 2008.

<sup>26</sup>Galhardo, C. E. C., Penna, T. J. P. ; Argollo de Menezes, M. & Soares, P. P. S. Detrended fluctuation analysis of a systolic blood pressure control loop. *New Journal of Physics*, 11, 103005, 2009.