

## EVOLUÇÃO TEMPORAL DA ENTROPIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS EM ESTÂNCIA – SE

ANDRÉ LUIS SANTANA SANTOS<sup>1</sup>, LÁZARO DE SOUTO ARAÚJO<sup>2</sup>, JOSÉ RODRIGO SANTOS SILVA<sup>2</sup>, PÉRICLES DE FARIAS BORGES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Estatística e Ciências Atuariais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais - Laboratório de Matemática e Estatística-Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, Brasil.

Recebido em agosto de 2015. Aceito em novembro de 2015. Publicado em dezembro de 2015.

**RESUMO** – O estudo da dinâmica dos fenômenos naturais fez com que grupos sociais superassem a condição de meros sujeitos às intempéries naturais e atingissem não somente a compreensão de funcionamento de alguns fenômenos, mas também a condição de utilizá-los e de manipulá-los dos mesmos. Desta forma, a fim de compreender a evolução da complexidade climática ao longo do tempo no município de Estância – SE, aplicamos o método Sample Entropy para analisar a entropia em séries temporais da temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. As séries temporais são médias diárias destas variáveis climáticas, observadas entre os anos de 2008 e 2014, registradas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Os valores de entropia estimados são considerados medianos, onde, ao longo de todo o período estudado, a estatística estimada para a variável temperatura média diária do ar é predominantemente menor que as estimativas das demais variáveis. A entropia para a velocidade média diária do vento foi igual ou superior que a observada para a umidade relativa média diária do ar. Ao longo dos 7 anos observados, a entropia da variável temperatura média diária do ar apresentou uma leve tendência de decréscimo, com uma taxa média anual de 0,9% ao ano da entropia. A entropia para as demais variáveis foi caracterizada como estacionária, dentro do período estudado.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Clima, temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa e Sample Entropy.*

### EVOLUTION TIME OF THE VARIABLE ENTROPY CLIMATE IN ESTANCIA – SE

**ABSTRACT** – The study of the dynamics of natural phenomena helps social groups to surpass the condition of being a mere subject to natural weather conditions and to reach not only a understanding of the functioning of some phenomena, but also understand their utility and to become managers of the same. Thus, in order to understand the evolution of climate complexity over time in the municipality Estância - SE, we applied the Sample Entropy method for analyzing the entropy of air temperature time series, relative humidity and wind speed. The time series were the daily averages of these climate variables observed between the years 2008 and 2014, and registered by the National Institute for Space Research. The median entropy values were estimated, and throughout the study period, statistical values for the estimated average daily air temperature were predominantly smaller than the estimate of other variables. The entropy for the daily average wind speed was equal to or greater than the observed values for the daily average relative air humidity. Over the observed seven year period, the entropy of the variable daily average air temperature showed a slightly decreasing trend, with an average annual rate of 0.9% of entropy per annum. Entropy for the other variables was characterized as stationary within the study period.

**KEY WORDS:** *Climate, air temperature, wind speed, relative humidity and Sample Entropy.*

### EVOLUCIÓN DEL TIEMPO LA ENTROPIA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS EN ESTÂNCIA – SE

**RESUMEN** – El estudio de la dinámica de los fenómenos naturales ayuda a los grupos sociales para superar la condición de ser un mero sujeto a condiciones climáticas naturales y alcanzar no sólo una comprensión del funcionamiento de algunos fenómenos, sino también comprender su utilidad y se conviertan en gestores de la misma. Por lo tanto, con el fin de comprender la evolución de la complejidad del clima a través del tiempo, en el municipio Estancia - SE, se aplicó el método de entropía de la muestra para el análisis de la entropía de series de tiempo la temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento. Las series de tiempo fueron los promedios diarios de estas variables climáticas observadas entre los años 2008 y 2014, y registrado por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales. Se estimaron los valores de entropía mediana, y durante todo el período de estudio, los valores estadísticos de las temperaturas medias del aire diaria estimadas fueron predominantemente menor que la estimación de otras variables. La entropía para la velocidad del viento media diaria fue igual o mayor que los valores observados para la media humedad relativa del aire diaria. Durante el período de observación de siete años, la entropía de la variación de la temperatura media diaria del aire mostró una tendencia ligeramente decreciente, con una tasa promedio anual de 0.9% de entropía por año. La entropía de las otras variables se caracterizó como estacionario en el periodo de estudio.

**PALABRAS CLAVE:** *Clima, temperatura del aire, velocidad del viento, humedad relativa y Entropía de Muestra.*

## INTRODUÇÃO

O estudo do tempo e do clima ocupa uma posição central e importante no amplo campo da ciência ambiental. Os processos atmosféricos influenciam os processos nas outras partes do ambiente, principalmente na biosfera, hidrosfera e litosfera (Ayoade 1996). Desvendar a dinâmica dos fenômenos naturais foi necessário para que os grupos sociais superassem a condição de meros sujeitos às intempéries naturais e atingissem não somente a compreensão de funcionamento de alguns fenômenos, mas também a condição de utilizá-los e de manipulá-los dos mesmos em diferentes escalas (Mendonça e Danni-Oliveira 2007). Devido a sua importância para a

vida na terra, o clima é um tema vastamente estudado em diversas áreas, tais como agricultura (Dias et al. 1999), atividade marítima (Rodrigues et al. 2004), estudos sobre incêndios florestais (Benicio, De et al. 2013), entre outras.

Em física, entropia é uma medida da quantidade de desordem que há em um sistema. Já em estatística, é uma medida da quantidade de incerteza (ou regularidade) que há em certa quantidade de dados, em outras palavras, é a medida da quantidade de informação regular presente nesses dados. Em séries temporais, a entropia nos dará o grau de complexidade de uma série (Silva 2014).

Se considerarmos uma série temporal de temperatura do ar média, uma baixa entropia significa uma baixa complexidade ou variabilidade da série, indicando que esta é uma série da qual tende a ser mais fácil realizar previsões, uma vez que a variabilidade dos dados é baixa. Já quando houver uma alta entropia, entenderemos que esta é uma série difícil de ser modelada e consequentemente de se realizar previsões. Uma entropia nula equivale a uma série constante, totalmente regular, enquanto que uma entropia máxima (dentro da escala da qual está se realizando a medida) representa uma série totalmente irregular (Silva 2014).

Dentre os vários métodos que podem ser utilizados para estimar o comportamento das séries temporais climáticas, o mais frequente é o método de Sample Entropy (SampEn), proposto por Richman e Moorman (2000), com relativa consistência e pouco esforço computacional e uma larga independência do tamanho da série. Shuangcheng et al. (2006), utilizaram o SampEn para realizar estimativas da entropia de séries históricas de temperatura do ar, registradas através de 50 estações meteorológicas das montanhas do sudoeste da China, na província de Yunnan. O padrão espacial determinado através do SampEn refletiu o grau de variação de influência das massas de ar, onde os altos valores do SampEn ocorreram em regiões de interação de diversas massas de ar.

Na Europa Central, Balzter et al. (2015), observaram um decréscimo dos valores entrópicos de séries temporais de temperatura média do ar em registro realizados de 1960 a 2014. Os autores mostram que, com o passar dos anos, houve um aumento na irregularidade das séries temporais de temperatura média do ar. Este resultado indica que com o passar do tempo, tornou-se mais difícil realizar previsões acerca desta variável.

No Brasil, Silva et al. (2009), realizaram uma caracterização climática dos diferentes biomas presentes no país utilizando o SampEn. Eles utilizaram séries históricas de temperatura do ar média, e observaram que o Brasil não apresenta uma dinâmica climática de grande complexidade, sendo o Cerrado o bioma que apresentou as maiores regularidades.

Silva (2014), realizou estimativas da entropia em séries temporais diárias de temperatura do ar média (máxima, média, mínima e amplitude térmica), umidade relativa do ar média e velocidade média do vento, em 264 estações meteorológicas do Brasil, com observações compreendidas no período de 1990 a 2012. Seus resultados indicaram que as regularidades das séries climáticas no Brasil foram medianas, onde os valores médios do SampEn estimados foram de 1,39, 1,78, 1,46, 1,41, 1,56 e 1,66, respectivamente para a temperatura média do ar, a amplitude térmica, as temperaturas máxima e mínima do ar, a umidade relativa média do ar e a velocidade média do vento.

Ferreira et al. (2014), estudaram a evolução temporal da entropia da temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa, no período de 2005 a 2012, no município de Poço Redondo – SE. Eles observaram que os valores da entropia observados para a velocidade do vento foram predominantemente maiores que os observados para as demais variáveis. Por sua vez a umidade relativa foi a série menos irregular dentre aquelas estudadas. Todas as séries entrópicas estimadas mostraram ser estacionárias.

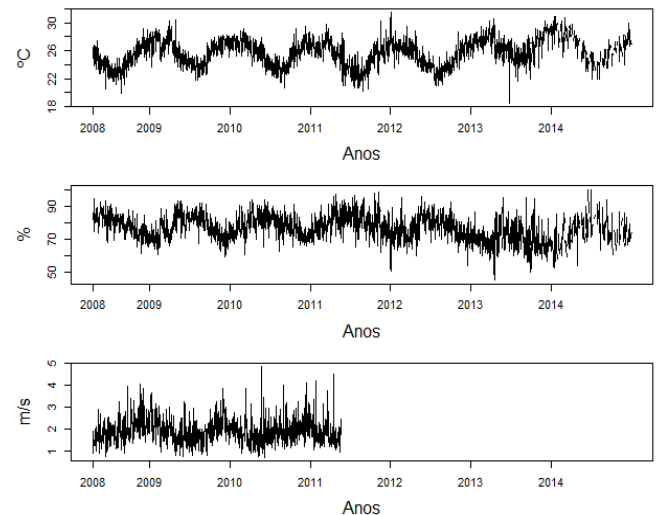
Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo observar a evolução temporal da entropia de séries temporais climáticas de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, no município de Estância, no estado de Sergipe, Brasil. A estatística Sample Entropy foi escolhida para a realização das medidas de entropia, devida a sua regular aplicação em dados climáticos (Shuangcheng et al. 2006; Silva et al. 2009; Silva 2014; Mihailovic et al. 2014; Balzter et al. 2015).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Dados

As séries históricas foram obtidas através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e estão disponíveis para download no site do INPE, através do endereço eletrônico <<http://sinda.crn2.inpe.br/PCD>>. Os registros foram realizados no período de 17 de abril de 2008 a 31 de dezembro de 2014. São 8 registros realizados ao longo do dia, feitos a cada 3 horas (00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 e 21:00). Foram computadas as médias diárias de cada registro, desta forma nossas observações representam médias diárias de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m/s).

Estância está situada na porção Sul de Sergipe, a 70 km da capital (Aracaju) com 67.953 habitantes segundo dados mais recentes (IBGE 2014). O município possui um clima tropical, com os meses de maior calor sendo janeiro, março e dezembro e os meses mais chuvosos sendo maio, junho, julho, agosto e setembro. Nota-se claramente nas Figuras 1-A e B uma sazonalidade na série de temperatura do ar. A estação meteorológica utilizada realizou registros de velocidade do vento até o período de 23 de maio de 2011. Por esse motivo as análises realizadas para essa variável foram feitas apenas para os anos de 2008, 2009 e 2010.



**Figura 1.** Gráfico das séries de médias diárias da temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento, no município de Estância, Sergipe, Brasil. No período de 17 de abril de 2008 a 31 de dezembro de 2014.

As análises de Sample Entropy foram feitas com a utilização do software Microsoft Visual Studio 6.0, a partir de modificações no algoritmo em linguagem C, escrito por Lake et al. (2012), e disponível no endereço eletrônico <<http://www.physionet.org/physiotools/sampen/c/>>. As demais análises foram feitas com o uso do software R, versão 3.1.2.

### Sample Entropy (SampEn)

O método SampEn introduzido por Richman e Moorman (2000), é definido como sendo o logaritmo natural da probabilidade condicional de que duas seqüências similares (dentro de um nível de tolerância  $r$ ) para  $m$  pontos, permanecem similares para  $m+1$  pontos.

Seja  $x(1), \dots, x(N)$  uma série temporal de tamanho  $N$ , o algoritmo de *Sample Entropy* ( $m, r, N$ ) é descrito como:

- i) Construir  $N-m$  vetores de tamanho  $m$ , em que
 
$$x(i) = [x(i), x(i+1), \dots, x(i+m-1)], i = 1, \dots, N-m+1; \quad (1)$$

ii) Definir a distância  $d_m$  entre os vetores  $x(i)$  e  $x(j)$ , onde

$$d_m[x(i), x(j)] = \max_{k=0, m-1} [|x(i+k) - x(j+k)|]; \quad (2)$$

iii) Para cada  $i=1, \dots, N-m$ ; calcula-se

$$B_i^m(r) = \frac{B_i}{(N-m-1)}, \quad A_i^m(r) = \frac{A_i}{(N-m)}; \quad (3)$$

onde  $B_i$  é o número dos vetores  $x(j)$  de tamanho  $m$  que são similares aos vetores  $x(i)$  dentro da distância  $r$ :  $d_m[x(i), x(j)] \leq r$  e  $A_i$  é o número dos vetores  $x(j)$  de tamanho  $(m+1)$  que são similares aos vetores  $x(i)$  dentro da distância  $r$ .

iv) Calcula-se

$$B^m(r) = \frac{1}{N-m} \left( \sum_{i=1}^{N-m} B_i^m(r) \right), \quad (4)$$

$$A^m(r) = \frac{1}{N-m} \left( \sum_{i=1}^{N-m} A_i^m(r) \right),$$

onde  $B^m(r)$  é a probabilidade de dois vetores serem similares para  $m$  pontos,  $A^m(r)$  é a probabilidade de dois vetores serem similares para  $(m+1)$  pontos.

i) Por fim, calcula-se o índice Sample Entropy

$$SampEn(m, r, N) = -\ln \left( \frac{A^m(r)}{B^m(r)} \right), \quad (5)$$

que representa a probabilidade condicional que de duas seqüências que são similares para  $m$  pontos permanecem similares para  $m+1$  pontos (quando um dado consecutivo é adicionado).

A escolha do parâmetro  $m$  define o tamanho dos vetores inicialmente formados no algoritmo. Quando se escolhe o valor  $m=2$ , por exemplo, a mensuração das flutuações existentes é feita em cada par de observações. O parâmetro  $r$  define se essa diferença em cada par será considerada significativa ou não. Neste trabalho foi adotado os parâmetros  $m=2$  e  $r=0,15$ . De acordo com Shuangcheng et al. (2006), a interpretação dos valores da estatística de *SampEn* considera uma série totalmente regular quando *SampEn* = 0 e para uma série totalmente irregular, *SampEn* = 3.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram obtidas as estatísticas descritivas anuais das variáveis climáticas envolvidas no estudo, os resultados podem ser observados na Tabela 1. A maior média da temperatura média diária do ar foi observada no ano de 2013 (26,82 °C). Já a menor média é observada em 2008 (24,71 °C), porém, como o ano de 2008 possui observações apenas a partir do mês de abril, este menor valor da média pode ter ocorrido pelo fato de que as ausências de informação ocorrem justamente nos meses mais quentes do ano. Dentre os anos com informações completas, o ano de 2012 foi o que apresentou a menor média (25,19 °C). Este ano antecede justamente o ano que apresentou a maior média desta variável. Além de apresentar a maior média de temperatura, 2013 também apresentou a menor variabilidade, dentre os meses com observações completas, com desvio padrão de 1,70 °C.

A variabilidade da distribuição da média diária da umidade relativa do ar vem aumentando ao longo dos anos (Tabela 1), onde o menor valor do desvio padrão foi observado em 2008 (6,06 %), e o maior em 2014 (8,22 %). Essa maior variabilidade pode ser observada na Figura 1-B, com a maior dispersão da nuvem de pontos observada ao longo dos anos de 2012 a 2014.

As maiores médias foram observadas em 2008 e 2011 (respectivamente 79,15 e 80,64 %). Estes anos foram seguidos por

dois anos com declínio dos valores médio diários desta variável. Os valores médios diários da velocidade do vento apresentaram um declínio ao longo dos anos observados (2008 a 2010). Em contrapartida as variabilidades aumentaram ao longo deste mesmo período.

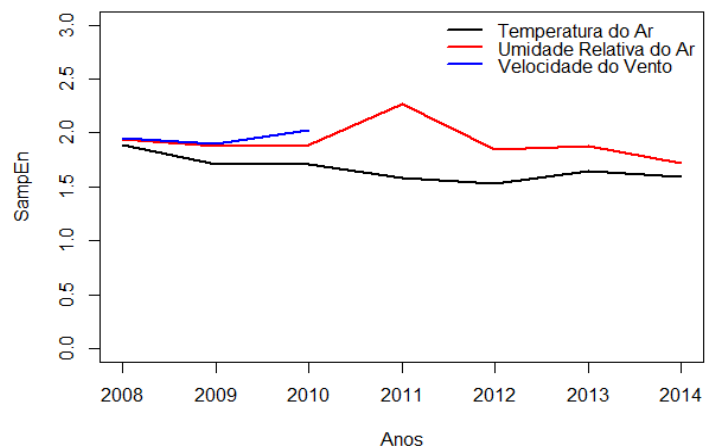
**Tabela 1.** Medidas descritivas das séries históricas de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento, no município de Estância, Sergipe, Brasil. No período de 17 de abril de 2008 a 31 de dezembro de 2014.

Período	Temperatura do ar (°C)	Umidade Relativa do Ar (%)	Velocidade Média do Vento (m/s)
2008	24,71 (1,65)	79,15 (6,06)	1,95 (0,56)
2009	25,91 (1,77)	77,44 (6,97)	1,91 (0,57)
2010	25,69 (1,73)	78,32 (6,31)	1,88 (0,58)
2011	25,20 (1,93)	80,64 (6,81)	-
2012	25,19 (1,79)	76,78 (7,08)	-
2013	26,82 (1,70)	70,20 (7,59)	-
2014	26,78 (1,93)	73,83 (8,22)	-

Ao longo de todo o período estudado, a entropia estimada para a variável temperatura média diária do ar é predominantemente menor que as estimativas para as variáveis umidade relativa média diária do ar e velocidade média diária do vento, conforme observa-se na Tabela 2 e Figura 2.

**Tabela 2.** Sampen das séries temporais das anomalias semestrais e anuais das variáveis climáticas do município de Estância - SE de 2009 a 2013.

Período	Temperatura do Ar	Umidade Relativa do Ar	Velocidade do Vento
2008	1,89 (0,0161)	1,94 (0,0272)	1,94 (0,0281)
2009	1,71 (0,0183)	1,88 (0,0189)	1,90 (0,0212)
2010	1,71 (0,0154)	1,89 (0,0189)	2,03 (0,0203)
2011	1,59 (0,0217)	2,26 (0,0112)	-
2012	1,53 (0,0352)	1,84 (0,0150)	-
2013	1,64 (0,0281)	1,88 (0,0222)	-
2014	1,60 (0,0360)	1,72 (0,0203)	-



**Figura 2.** Sampen das séries temporais das anomalias semestrais e anuais das variáveis climáticas do município de Estância - SE de 2009 a 2013.

Estes resultados são similares ao observado por Silva (2014), para a região de Estância, Sergipe. Os valores de Sample Entropy estimados são considerados medianos, dentro da escala

apresentada por Shuangcheng et al. (2006). Nos anos de 2008 a 2010, onde houveram observações das três variáveis sob estudo, as estatísticas de entropia estimadas foram maiores para a variável velocidade média diária do vento.

Ao longo dos 7 anos observados, a entropia da variável temperatura média diária do ar apresentou uma leve tendência de decrescimento, com uma taxa média anual de 0,9% ao ano da entropia. Não houve observação de qualquer tendência para a umidade relativa média diária do ar, e para a velocidade média diária do vento não há observações suficientes para a análise da tendência da série entrópica estimada.

Essa tendência de decrescimento observada para temperatura média diária do ar indica uma maior regularidade desta série ao longo dos anos. Quanto maior for a regularidade de uma série temporal, mais precisas serão as previsões realizadas a passos futuros desta série. O aumento da regularidade desta variável é acompanhado do aumento da média da mesma, ou seja, ao longo do período estudado, a temperatura do ar média diária tornou-se maior e mais regular.

Ao compararmos os resultados observados por Ferreira et al. (2014) com os estimados neste trabalho, notamos uma nítida diferença na entropia estimada em regiões com caracterização climática distinta. Ambos os municípios estudados nestes trabalhos pertencem ao estado de Sergipe, e estão situados em uma zona de clima Tropical Nordeste Oriental, porém estão dentro de biomas distintos, como observado em IBGE (2002). Enquanto Estância é uma cidade litorânea localizada dentro da Mata Atlântica, Poço Redondo está na porção noroeste do estado, dentro do bioma Caatinga.

A média da entropia estimada para Estância e Poço Redondo (Ferreira et al. 2014) foi, respectivamente, 1,67 e 1,69. Enquanto em Estância foi observada uma tendência de decrescimento da série entrópica, em Poço Redondo observou-se, para esta mesma estatística, uma série estacionária. Como ambos os municípios se encontram dentro da mesma região climática, é natural que a entropia da temperatura média do ar fosse semelhante entre os municípios. Em relação a umidade relativa do ar, a maior entropia foi observada em Estância do que em Poço Redondo (média de 1,92 e 1,29, respectivamente).

Acreditamos que esta diferença seja consequência dos diferentes biomas envolvidos, uma vez que Estância é um município localizado no litoral do estado de Sergipe, e Poço Redondo, no sertão do estado. O fator climático da maritimidade influencia diretamente na caracterização da umidade relativa do ar nos diferentes biomas, Mata Atlântica e Caatinga, respectivamente. Já a entropia da velocidade média diária do vento, conforme mostrado por Silva (2014), não apresenta correlação com fatores climáticos. Esta entropia foi predominantemente maior que a mesma estatística para as demais variáveis em Poço Redondo, com média de 2,17. Em Estância, nos três anos observados, a entropia para esta variável foi igual ou superior às demais, com média de 1,92.

## CONCLUSÃO

O estudo realizado propôs estudar a evolução temporal da entropia em variáveis climáticas no município de Estância – SE, com o uso da técnica Sample Entropy. Os valores de entropia estimados são considerados medianos, onde a estatística estimada para a variável temperatura média diária do ar foram predominantemente menores que as estimativas das demais variáveis, ao longo do período estudado.

A entropia para a velocidade média diária do vento foi igual ou superior que a observada para a umidade relativa média diária do ar. Ao longo dos 7 anos observados, a entropia da variável

temperatura média diária do ar apresentou uma leve tendência de decrescimento, com uma taxa média anual de 0,9% ao ano da entropia.

As demais séries entrópicas foram caracterizada como estacionária. Aos confrontarmos os resultados obtidos com os resultados descritos na literatura, notamos uma influência da maritimidade na intensidade da entropia nas séries temporais de umidade relativa média diária do ar, onde a mesma tornou-se mais regular com um maior distanciamento de grandes massas de água.

## REFERÊNCIAS

Ayoade, J. O. 1996. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 4th ed. Rio de Janeiro - RJ: Bertrand Brasil.

Balster, H.; Tate, N.; Kaduk, J.; et al. 2015. Multi-Scale Entropy Analysis as a Method for Time-Series Analysis of Climate Data. **Climate**, v. 3, n. 1, p. 227–240.

Benicio, R. B. De; Stošić, T.; Figueirêdo, P. H. De; Stošić, B. D. Multifractal behavior of wild-land and forest fire time series in Brazil. 2013. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 392, n. 24, p. 6367–6374.

Dias, F. L. F.; Mazza, J. A.; Matsuoka, S.; Percin, D.; Maule, R. F. 1999. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região Nordeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 627–634.

Ferreira, D. V. De S.; Silva, J. R. S.; Araújo, L. De S.; Silva, A. S. A. Da; Menezes, R. S. C. 2014. Análise da complexidade temporal da umidade relativa, velocidade do vento e temperatura do ar na cidade de Poço Redondo-SE. Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística. **Anais...**, 2014. Natal - RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

IBGE. 2002. **Atlas Geográfico Escolar**. Rio de Janeiro - RJ: IBGE.

IBGE. 2014. **Estimativas populacionais para os municípios brasileiros em 01.07.2014**. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas\_de\_Populacao/Estimativas\_2014/estimativa\_dou\_2014.pdf>. Acesso em: 6/7/2014.

Lake, D. K.; Moorman, J. R.; Hanqing, C. 2013. **Sample Entropy estimation using sampen**. Disponível em: <http://physionet.org/physiotools/sampen/>. Acesso em: 25/12/2013.

Mendonça, F.; Danni-Oliveira, I. M. 2007. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo - SP: Oficina de Textos.

Mihailovic, D. T.; Nikolic-Djoric, E.; Dreskovic, N.; Mimic, G. 2014. Complexity analysis of the turbulent environmental fluid flow time series. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 26, p. 96–104.

Richman, J. S.; Moorman, J. R. 2000. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. **American**

**journal of physiology. Heart and circulatory physiology**, v. 278, n. 6, p. H2039–49.

Rodrigues, M. L. G.; Franco, D.; Sugahara, S. 2004 Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 22, n. 2, p. 135–151. SBGF.

Shuangcheng, L.; Qiaofu, Z.; Shaohong, W.; Erfu, D. 2006. Measurement of climate complexity using sample entropy. **International Journal of Climatology**, v. 26, n. 15, p. 2131–2139.

Silva, D. A.; Silva, J. R. S.; Duarte-Neto, P.; Duarte, C. C.; Stošić, T. 2009. Caracterização climática de diferentes Biomas brasileiros através do DFA e SampEn. 55ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria. **Anais...** São Carlos - SP.

Silva, J. R. S. 2014 **Avaliação de autocorrelações e complexidade de séries temporais climáticas no Brasil**. Recife - PE: Universidade Federal Rural de Pernambuco.