

# XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE

## ESTUDO DE TENDÊNCIA DA TEMPERATURA DO AR NAS CIDADES DE ARACAJU, SALVADOR E CARAVELAS

Michele de Jesus Lima<sup>1</sup>, Fernando Genz<sup>2</sup> & Samara Fernanda da Silva<sup>3</sup>

**Resumo** - As tendências da temperatura média anual e trimestral das cidades de Aracaju, Salvador e Caravelas foram analisadas através do teste não paramétrico de Mann-Kendall. A tendência da temperatura média anual resultou positiva nas três cidades, variando de 0,016 °C/ano (Salvador) até 0,023°C/ano (Caravelas), enquanto que a temperatura média trimestral apresentou aumento entre 0,012 °C/ano até 0,03°C/ano. Todas as tendências apresentaram 99% de confiança.

**Abstract** - Trends in annual and quarterly average temperature of the cities of Aracaju, Salvador and Caravelas were analyzed using the nonparametric Mann-Kendall. The tendency of the mean annual temperature was positive in all three cities, ranging from 0.016 ° C / year (Salvador) to 0.023 ° C / year (Caravelas), while the mean quarterly temperature increased from 0.012 ° C / year to 0.03 ° C / year. All tendencies presented 99% of confidence.

**Palavras-Chave:** Temperatura do ar, Tendência, Nordeste.

### INTRODUÇÃO

O clima do planeta vem sofrendo alterações. O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007) estima uma projeção de aumento na temperatura média da superfície global entre 2°C e 4,5°C para o final do século XXI em relação ao período de 1980 a 1999. Christensen *et al.* (2007) mencionam que alterações na temperatura média global podem vir a promover mudanças na frequência, na intensidade e na duração dos eventos extremos em muitas regiões.

Nicholls e Alexander (2007) apontam que situações climáticas extremas, tais como ondas de calor, tempestades e inundações tem causado muitos danos para a sociedade. Segundo tais autores, mesmo uma mudança relativamente pequena na média de uma variável climática pode desencadear mudanças substanciais na frequência de extremos e, alterações nos extremos pode ser a primeira indicação de que o clima está mudando de uma forma que pode afetar o homem e o ambiente substancialmente. Estima-se um aumento na ocorrência de dias extremamente quentes e uma diminuição na ocorrência de dias muito frios, em sentido global (IPCC, 2007).

---

<sup>1</sup> Bolsista de Iniciação Científica, graduanda em Engenharia Civil da UFBA, michele.mjl@gmail.com.

<sup>2</sup> Pesquisador CNPq/CT Energ, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFBA, fgenz@pq.cnpq.br.

<sup>3</sup> Engenheira Sanitarista e Ambiental; Mestre. samara\_nanda@gmail.com

Marengo e Camargo (2008), analisando a temperatura do ar no sul do Brasil, indicaram uma tendência evidente de aquecimento, sendo mais forte durante o inverno do que no verão, assim como um aumento relativo na frequência de dias quentes e noites frias.

Sansigolo e Kayano (2010) observaram no Estado do Rio Grande do Sul tendência significativa de aumento das temperaturas mínimas sazonais em todas as estações do ano, principalmente nos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro). Em relação às temperaturas máximas sazonais tais autores observaram tendência significativa somente no verão, com decréscimo de 0,6°C/100anos. Quanto ao resultado da precipitação, encontraram também tendência significativa apenas no verão.

Silveira e Gan (2006) analisaram a temperatura mínima na Região Sul do Brasil, destacando:

- a) o aumento da temperatura mínima média de inverno no litoral centro-sul do Rio Grande do Sul;
- b) o aumento de eventos extremos da máxima da temperatura mínima; e c) o aumento da amplitude térmica.

O presente artigo objetiva detectar tendências em séries temporais das temperaturas do ar das cidades de Aracaju – SE, Salvador – BA e Caravelas – BA.

## **METODOLOGIA**

Foram utilizados dados referentes à temperatura média anual e média trimestral do ar das cidades de Aracaju – SE, Salvador – BA e Caravelas – BA, referente aos períodos de 1950-2009; 1912-2009 e 1949-2009, respectivamente. Estas cidades estão localizadas no litoral Leste do Brasil. Os trimestres definidos foram: dezembro, janeiro fevereiro (DJF); março, abril, maio (MAM); junho, julho, agosto (JJA) e setembro, outubro, novembro (SON).

Os arquivos com os dados foram disponibilizados pelo *Goddard Institute for Space Studies* (GISS, 2010), entretanto havia várias séries compreendendo diferentes períodos de anos para uma mesma cidade. Algumas dessas séries apresentaram sobreposição temporal e divergências entre os dados do mesmo ano. Para definir uma única série por cidade, as temperaturas foram transformadas em anomalias e realizou-se uma análise comparada dos dados das três cidades. A anomalia representa a diferença entre o valor da temperatura média do ano em relação à temperatura média de todo o período estudado.

A análise de tendência de séries temporais dos dados foi realizada utilizando o teste de Mann-Kendall. O teste de Mann-Kendall é um teste estatístico não paramétrico, no qual, na hipótese da estabilidade de uma série temporal, os valores devem ser independentes e a distribuição de probabilidades deve permanecer sempre a mesma (hipótese de mudança nula).

O teste de Mann-Kendall que consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem seqüencial, sendo feita a contagem do número de vezes em que os termos restantes são maiores ou menores que o valor analisado. Conforme descrito por Kumar *et al.* (2009), a estatística S do teste de Mann-Kendall é obtida por:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sgn}(x_i - x_j) \quad \text{Eq. (1)}$$

em que o  $\text{sgn}(x_i - x_j)$  é obtido da seguinte forma:

$$\text{sgn} = \begin{cases} 1 & \text{se } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad \text{Eq. (2)}$$

Se a hipótese de tendência nula é verdadeira, então S segue uma distribuição normal com:

$$E(S) = 0$$

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+S)}{18} \quad \text{Eq. (3) e Eq. (4)}$$

onde  $E(S)$  é a media e  $V(S)$  é a variância de S. Então teste Z de Mann-Kendall é dado por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad \text{Eq. (5)}$$

O trabalho adotou a versão modificação Mann-Kendall, proposta por Hamed e Rao (1998), que considera toda a estrutura de autocorrelação significativa em uma série de tempo. Neste método, a variância modificada  $V(S)^*$  é utilizada para calcular o Z:

$$V(S)^* = V(S) \frac{n}{n^*} \quad \text{Eq. (6) e Eq. (7)}$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i$$

$V(S)$  é calculado de acordo com a Eq. (4);  $r_i$  é o coeficiente de autocorrelação de 'lag'  $i$  (Eq. (8)) da série temporal. Para calcular o Z de Mann-Kendall (Eq. (5),  $V(S)$  é substituído pelo  $V(S)^*$ . Hamed e Rao (1998) mostraram que este método é capaz de detectar a significância da tendência mais correta do que o clássico Mann-Kendall teste, sem afetar a robustez do teste.

O coeficiente de autocorrelação  $r_l$  de 'lag' 1 ( $k=1$ ) é obtido por:

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Eq. (8)}$$

Um valor positivo de  $S$  indica uma tendência de aumento e vice-versa. O teste estatístico  $Z$  fornece um nível de significância (NS) de rejeição da hipótese nula, que é a não existência de tendência na série. O nível de confiança (NC) de rejeição da hipótese nula é dado por:

$$NC = 1 - NS \quad \text{Eq. (9)}$$

A magnitude da tendência tem sido determinada pelo método de Sen (1968), onde a inclinação  $\beta$  é dada por:

$$\beta = \text{mediana} \left[ \frac{x_j - x_i}{j - i} \right] \text{ para todo } i < j \quad \text{Eq. (10)}$$

A análise dos dados foi realizada no ambiente do Matlab®, utilizando rotina Mann\_Kendall\_Modified.m (Fatchi, 2011). Considerou-se o período comum de dados das três séries: 1950 a 2009.

## RESULTADOS

O comportamento da temperatura média anual das cidades de Aracaju, de Salvador e de Caravelas é apresentado na Figura 1. Pode-se perceber que a temperatura no período de 1950-2009 sofreu tendência de aumento nas três cidades. Isto é confirmado na Figura 2, que contém os gráficos de anomalia da temperatura média anual destas cidades. Entretanto, ao analisar a série de 1912-1950 observa-se uma pequena tendência de redução de temperatura.

As temperaturas médias anuais mais elevadas nas cidades de Aracaju, Salvador e Caravelas foram 27,41°C(1987), 26,47°C (1998) e 25,92°C (1987), respectivamente. As inferiores foram 25,17°C em Aracaju em 1968; 24,25°C em Salvador em 1943 e 22,91°C em Caravelas em 1949.

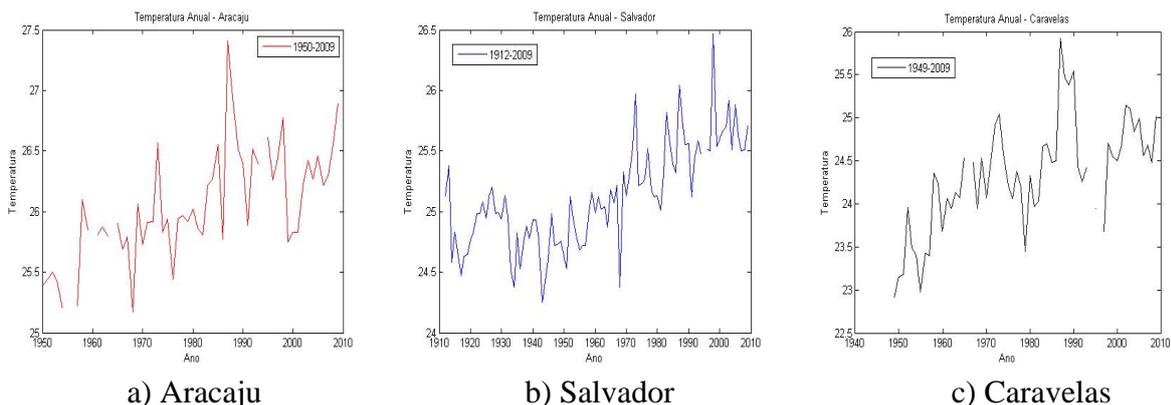
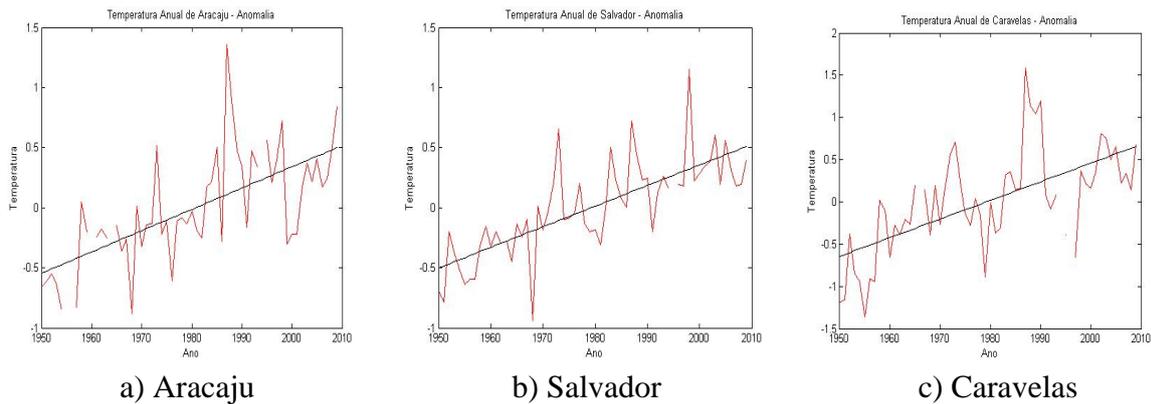


Figura 1. Temperatura anual das três cidades.



a) Aracaju

b) Salvador

c) Caravelas

Figura 2. Anomalia da temperatura anual das três cidades – 1950 a 2009.

O coeficiente angular definido pela aplicação do teste de Mann-Kendall, obtido com 99% de confiança em todas as três cidades, é apresentado na Tabela 1. Considerando que o coeficiente representa a taxa média de variação anual, pode-se definir um aumento médio para o período de 1950-2009. Assim, Caravelas apresentou a maior variação 1,38°C, seguida de Aracaju de 1,14°C. Salvador foi a cidade que mostrou a menor alteração, 0,96°C.

Tabela 1. Coeficiente angular do teste de Mann-Kendall (°C/ano) – 99% de confiança.

Cidades	Taxa de variação anual
Aracaju	0,019
Salvador	0,016
Caravelas	0,023

Os valores médios de temperatura do ar nos trimestres analisados são apresentados na Tabela 2. O comportamento da anomalia da temperatura média trimestral de cada uma das três cidades analisadas para os trimestres podem ser visualizados nas Figuras 3 (DJF), 4 (MAM), 5 (JJA) e 6 (SON).

Tabela 2. Médias trimestrais de temperaturas das três cidades (°C)

Cidades	DJF	MAM	JJA	SON
Aracaju	27,0	26,7	24,7	25,8
Salvador	26,4	26,0	23,8	25,0
Caravelas	25,9	25,2	22,2	24,1



Nas três cidades o trimestre DJF foi aquele com temperaturas médias mais elevadas. Neste trimestre o valor médio máximo encontrado na cidade de Aracaju foi de 29,2°C no ano de 1988 e o mínimo em 1968 – 25,5°C. Nesta cidade, no trimestre MAM o resultado desta variável mais elevado ocorreu em 1987 (28,9°C) e o inferior nos anos de 1957 e 1976, com uma temperatura média do trimestre de 25,6°C. No trimestre JJA o ano de 1987 registrou o valor médio máximo de temperatura (26,5°C) e o mínimo ocorrem em 1950 (23,5°C). No trimestre SON a temperatura mais elevada ocorreu em 1987, que apontou 27,1°C e mínima de 24,9°C nos anos de 1951, 1956 e 1999.

Em Salvador o trimestre DJF apresentou no ano de 1998 o valor máximo de 28,0°C, enquanto que o mínimo (25,5°C) ocorreu nos anos de 1955 e 1979. No trimestre de MAM, no ano de 1998, foi registrada a temperatura média máxima (27,4°C), sendo a mínima de 25,0°C em 1968. O trimestre seguinte – JJA – a máxima temperatura média foi encontrada no ano de 1987 (24,8°C) e a mínima em 1968 de 22,6°C. No ano de 1998 também foi observada a máxima temperatura média (26,0°C) do trimestre SON, sendo a mínima ocorrida em 1951 (24,0°C).

No ano de 1988 observou temperatura média máxima (27,3°C) do trimestre DJF em Caravelas e a mínima em 1979 (24,1°C). O mesmo ano da máxima média do trimestre anterior foi observado no trimestre MAM, com valor de 27,0°C. A média mínima – 23,5°C – deste trimestre foi verificada no ano de 1950. Os anos de 1987 e 2002 foram registrados temperatura média máxima de 23,9°C referente ao trimestre JJA e a mínima ocorreu em 1951 – 20,5°C. No trimestre seguinte – SON – esta máxima ocorreu em 1987 – 26,0°C – e a mínima ocorreu no ano de 1955 que apontou 22,9°C.

O coeficiente angular definido pela aplicação do teste de Mann-Kendall para a anomalia da temperatura nos trimestres, obtido com 99% de confiança em todas as três cidades, é apresentado na Tabela 3. A estimativa do aumento médio da temperatura nos trimestres, considerando as seis décadas do período de 1950 a 2009 é apresentada na Tabela 4.

Tabela 3. Coeficiente angular – média trimestral de temperatura das três cidades (°C/ano).

Cidades	DJF	MAM	JJA	SON
Aracaju	0,012	0,023	0,025	0,018
Salvador	0,021	0,016	0,014	0,019
Caravelas	0,021	0,030	0,023	0,018

Tabela 4. Aumento médio da temperatura nas três cidades (°C).

Cidades	DJF	MAM	JJA	SON
Aracaju	0,72	1,38	1,50	1,08
Salvador	1,26	0,96	0,84	1,14
Caravelas	1,26	1,80	1,38	1,08

O coeficiente angular obtido para a temperatura trimestral em Aracaju variou entre 0,012 °C/ano (DJF) e 0,025 °C/ano (JJA). Para cidade de Salvador, o coeficiente ficou entre 0,014 °C/ano

(JJA) e 0,021 °C/ano (DJF). No caso de Caravelas, o coeficiente variou entre 0,018 °C/ano (SON) e 0,030 °C/ano (MAM).

Ao analisar o aumento da temperatura trimestral para cada cidade durante o período estudado (1950- 2009), observou-se que o maior aumento ocorreu no trimestre de MAM em Caravelas, este correspondeu a 1,8°C, enquanto o menor ocorreu na cidade de Aracaju no trimestre DJF e correspondeu a 0,72°C.

## CONCLUSÃO

As análises da temperatura do ar média anual e trimestral nas cidades litorâneas de Aracaju, Salvador e Caravelas foram realizadas por meio do método de Mann-Kendall para o período de 1950 a 2009. A tendência da temperatura média anual resultou positiva, apresentando variação de 0,016 °C/ano em Salvador; 0,019 °C/ano em Aracaju e de 0,023°C/ano em Caravelas. O trimestre DJF apresentou, para as três cidades, as máximas médias trimestrais. O aumento da temperatura média trimestral apresentou valores máximos no trimestre JJA, DJF e MAM respectivamente, nas cidades de Aracaju, Salvador e Caravelas. O resultado obtido para a tendência da temperatura anual em Caravelas é compatível com o apresentado por Obregón e Marengo (2007).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal da Bahia pela oportunidade de participar do programa de bolsas de iniciação científica. Fernando Genz agradece o apoio do CNPq/CT Energ.

## BIBLIOGRAFIA

CHRISTENSEN, J.H. et al. (2007) *Regional Climate Projections*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Chapter 11, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

FATICHI, S. (2011). “*Mann\_Kendall\_Modified.m*”. Matlab file exchange n. 25533.

GISS (2010). “*GISS Surface Temperature Analysis*” ([http://data.giss.nasa.gov/gistemp/station\\_data/](http://data.giss.nasa.gov/gistemp/station_data/) - 01/28/2010).

HAMED K.H., RAO, A.R. (1998) “*A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data*”. *J. Hydrology*, **204**, 182-196.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2007) *Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Summary for Policymakers. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report Climate Change 23 pp.

- KUMAR S., MERWADE V., KAM J., THURNER K. (2009). “*Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains*”. J. Hydrology, **374**, 171-183. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.06.012.
- MARENGO, J.A., CAMARGO, C.G. (2008). “*Surface air temperature trends in southern Brazil for 1960 2002*”. Inter. J. Climatol, 28, 893-904.
- NICHOLLS N., ALEXANDER L. (2007). “*Has the climate become more variable or extreme?*” Progress in Physical Geography, 31(1), 1992–2006.
- OBREGÓN, G., MARENGO, J.A. (2007). “*Caracterização do clima do Século XX no Brasil: Tendências de chuvas e temperaturas médias e extremas*”. Relatório 2. Ministério do Meio Ambiente. Brasília/DF.
- SANSIGOLO C.A., KAYANO M.T. (2010). “*Tendências nas temperaturas máximas e mínimas e nas precipitações sazonais do Rio Grande do Sul (1913-2006)*”. In: Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia.
- SEN P.K. (1968). “*Estimates of the regression coefficients based on Kendall’s tau*”. Journal of the American Statistical Association, **63**, 1379–1389.
- SILVEIRA V.P., GAN M.A. (2006). “*Estudo de tendência das temperaturas mínimas na Região Sul do Brasil*”. In: Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia.