Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

ESTUDO DE CASO: TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DE REGIÕES DO LITORAL E SEMIÁRIDO DO NORDESTE BRASILEIRO (NOTA DE PESQUISA)

SILVA, Francisca de Fátima Nascimento - fatima.ppgcep@gmail.com
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

GOMES, Ana Carla Dos Santos - anacarlasg02@gmail.com
Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)

LUCIO, Paulo Sérgio - pslucio@ccet.ufrn.br
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

ARAÚJO, Eduardo Henrique Silveira - ehsa@ccet.ufrn.br
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

SILVA, Cláudio Moisés Dos Santos - claudio@dfte.ufrn.br
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

RESUMO: Resultados de estudos realizados com variáveis climáticas através das técnicas de Análise de Séries Temporais e da Transformada Wavelet são apresentados neste trabalho. Os dados analisados foram dados de reanálises do Centro Nacional para Previsões Ambientais - NCEP que envolve as regiões do Litoral e do Semiárido do nordeste brasileiro (NEB) a um nível de pressão de 850 milibar (mbar). A série temporal analisada representa as posições de latitude 5º e 7º e longitude 35º e 32,5º para o Litoral e as posições de latitude 5º e 7º e longitude 35º e 37,5º para o Semiárido, o ponto representativo está a 5s e -35w, estes valores estão no nível geográfico de Natal (Litoral) e interior do Estado do RN para as análises climatológicas de temperatura (°C). As séries temporais analisadas contêm os dados do período de 1964 a 2009. O objetivo desse estudo será identificar mais detalhadamente padrões temporais, intensidades e periodicidade de oscilações da temperatura mensal e anual para as regiões do Litoral e Semiárido do nordeste brasileiro, fazendo-se uso da aplicação da Transformada Wavelet contínua de Morlet para diferentes escalas de tempo e identificando picos dominantes na variabilidade sazonal, bem como a identificação de variabilidades intra e inter anual, ao longo das séries em estudo. Outro ponto importante é o de apresentar os resultados da aplicação da técnica de Análise de Séries Temporais para identificar tendências e sazonalidades no comportamento das séries em estudo e fazer projeções analisando-as e relacionando-as com os resultados das relações tempo-escala.
Palavras-chave: Wavelet de Morlet, Modelo SARIMA, Litoral e Semiárido nordestino, Dados de Reanálises.

CASE STUDY: MONTHLY MEAN TEMPERATURE OF COASTAL AND SEMI-ARID REGIONS OF NORTHEASTERN BRAZIL

ABSTRACT: In this research is shown several results of studies in climate variables through the techniques of time series analysis and wavelet transform. The analyzed data are from reanalysis data from the Center For National Environmental Forecasts - NCEP where covers the coastal regions and semiarid Brazilian northeastern (NEB) at 850 millibar (mbar) pressure level. The data represents the latitude 5° and 7° and longitude 35 ° and 32.5 ° positions for the coastal and latitude 5° and 7° and longitude 35 ° and 37.5 ° positions for the semiarid, the representative point is within 5s and - 35w. These values are in Natal's geographically area (Coastline) and in the country side of the Rio Grande do Norte State for climatological analyzes of temperature (°C) whereupon are related to the period 1964-2009. The goal of this study is to identify in greater detail, temporal patterns,intensity and periodicity of monthly and annual temperature oscillations for coastal and semiarid Brazilian northeastern regions applying Morlet's continuous wavelet transform for different time scales and identifying dominant peaks in

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

seasonal variability , as well as identifying intra and inter annual variability along the time series data in this study. Furthermore, this study also shows the results of the time series modeling to identify bias and seasonality about the features of the analyzed data, making predictions and relating them to the outcome of the time-scale relations.
Keywords: Wavelet of Morlet, ARIMA model, coastal and semiarid Brazilian northeastern, Reanalysis.

1. INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro é uma região onde predomina o clima Semiárido, caracterizado por uma grande variabilidade temporal e espacial da precipitação pluvial e elevadas temperaturas ao longo do ano, apesar das elevadas temperaturas registradas ao longo do ano, as amplitudes térmicas são em torno de 6ºC (AZEVEDO et al, 1998). Historicamente, esta região sempre foi afetada por grandes secas ou enchentes. Estatisticamente, ocorrem de 18 a 20 anos de seca a cada 100 anos (MARENGO, 2001).

Alterações na variabilidade da temperatura do ar em regiões do Nordeste do Brasil (NEB), cada vez mais merece atenção, devido os impactos gerados em diversos setores da economia. Aumentos de temperatura associados a alterações climáticas decorrente do aquecimento global, independente do que possa vir a ocorrer com o regime de precipitação pluvial, são suficientes para causar maior evaporação aos lagos, açudes, reservatórios e aumento da evapotranspiração das plantas (KAYANO E ANDREOLI, 2009). Sem deixar de mencionar a influência negativa sobre o único bioma exclusivamente brasileiro, a Caatinga, que abriga uma fauna e uma flora únicas, com muitas espécies endêmicas, que não são encontradas em nenhum outro lugar do planeta (MARENGO et al., 2011). A caatinga pode dar lugar a uma vegetação mais típica de zonas áridas ou de deserto, com predominância de cactáceas, até finais do Século XXI (SALAZAR et al., 2007).

Neste sentido, o objetivo desse trabalho é identificar mais detalhadamente padrões temporais, intensidades e periodicidade de oscilações da temperatura mensal e anual no período de 1964 a 2009 para as regiões do litoral e Semiárido do nordeste brasileiro, fazendo-se uso da técnica de Análise Wavelet, com a aplicação da Transformada Wavelet contínua de Morlet aos dados em estudo. Outro ponto importante é o de apresentar os resultados dos estudos da aplicação da técnica de Análise de Séries Temporais para identificar tendências e sazonalidades no comportamento da série da temperatura para as regiões em estudo. Espera-se com os resultados obtidos contribuir auxiliando políticas públicas ambientais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Áreas de Estudo

O Semiárido nordestino se estende por uma área de 982.563 km² que abrange os 1.133 municípios, correspondendo a 19,9% do território nacional, formado por nove estados da federação como: Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. Nessa região, vivem 22 milhões de pessoas. A sua localização geográfica situa-se na posição norte - oriental do país entre 1° e 18°30' de latitude sul e 34°20' e 48°30' de longitude Oeste de Greenwich, formando o Semiárido nordestino que satisfaz a cerca de 60% do Nordeste brasileiro. Possuído um clima Semiárido que é predominante na região do sertão e no vale do rio São Francisco, também localizado na região Nordeste. É caracterizado por temperaturas médias

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

elevadas, de cerca de 27ºC, com variações anuais em torno de 5ºC (MORGADO, 2011).

2.2 Dados Utilizados

Neste estudo os dados georeferenciados de temperatura (ºC) analisados foram dados mensais de reanálises do National Center for Environmental Prediction (NCEP) que envolve as regiões do Litoral e do Semiárido do nordeste brasileiro. As séries temporais analisadas estão a um nível de pressão de 850 milibar (mbar) e representam as posições de latitude 5º e 7º e longitude 35º e 32,5º para o Litoral e latitude 5º e 7º e longitude 35º e 37,5º para o Semiárido, o ponto representativo está a 5s e -35w, estes valores estão no nível geográfico de Natal (Litoral) e interior do Estado do RN. O período de estudo foi de 1964 a 2009 para as análises climatológicas de temperatura (°C).

2.3 Transformada Wavelet

Nos últimos anos, tanto em áreas de investigação, como em áreas de aplicação, observa-se que a análise de dados ou sinais, através da Transformada Wavelet, tem gerado enorme interesse. Trabalhos como (YARLEQUÉ, POSADAS, QUIROZ 2007; CARRASCO et al., 2010; QUIROZ et al., 2010; ARAÚJO et al., 2012) no campo das Wavelets tem proporcionado grandes desenvolvimentos na área. Uma das grandes vantagens associadas à sua utilização reside no fato destas funções apresentarem um comportamento local, não só no domínio da frequência, como também, no domínio do espaço/ tempo.

Nesta análise, o Espectro de Potência Global (EPG) de cada índice, que é a média em tempo da EPO para uma escala fixa, é similar ao espectro de potência de Fourier (TORRENCE e COMPO, 1998).

Existem diferentes tipos de Famílias Wavelets, onde as mais usuais são exemplos: Haar, Morlet, Daubecheis, Coiflets e Symlets (PROTÁZIO, 2002). A função Wavelet utilizada no presente estudo foi a Wavelet de Morlet. A Wavelet de Morlet pertence à família de Wavelets não ortogonais e é definida como uma exponencial complexa modulada por uma Gaussiana, $e^{i\omega_0\eta}e^{-\frac{\eta^2}{2}}$, com, $\eta = t/s$ onde t é o tempo, s é a escala da ondaleta e ω_0 é uma freqüência não dimensional, que tem valor 6 para o caso da Wavelet de Morlet (TORRENCE e COMPO, 1998). A função Wavelet de cada escala s é normalizada por $s^{-1/2}$ para se obter energia unitária. A Wavelet de Morlet possui características semelhantes às de sinais meteorológicos com variação temporal suave.

2.4 Modelos de Box-Jenkins

BOX e JENKINS (1976) propõem o modelo sazonal multiplicativo denotado por SARIMA (p, d, q) (P, D, Q)s, representado por:

$$\phi(B)\Phi(B^S)\Delta^d\Delta_S^D Z_t = \theta(B)\Theta(B^S)a_t \qquad (1)$$

Em que

$\phi(B) = 1 - \phi_1 B^1 - \cdots - \phi_P B^p$ é o polinômio auto-repressivo de ordem p;

$\Phi(B^S) = 1 - \Phi_1 B^s - \cdots - \Phi_P B^{Ps}$ é o polinômio auto-repressivo sazonal de ordem P;

$\Delta^d = (1 - B)^d$ é o operador diferença e d é o número de diferenças necessárias para retirar a tendência da série;

$\Delta_S^D = (1 - B^s)^D$ é o operador diferença generalizado, quando duas observações estão distantes entre si de s intervalos de tempos que apresentam alguma

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

semelhança, e D é o número de diferenças de lags s necessárias para retirar a sazonalidade da série;
$\theta(B) = 1 - \theta_1 B^1 - \cdots - \theta_q B^q$ é o polinômio médias móveis de ordem q;
$\Theta(B^S) = 1 - \theta_s B^s - \cdots - \theta_Q B^{Qs}$ é o polinômio médias móveis sazonal de ordem Q e a_t é um processo ruído branco.

O ajuste de modelos de Box-Jenkins sazonais deve supor que a temperatura de um mês além de depender das temperaturas dos meses anteriores depende também das temperaturas ocorridas nos mesmos meses em anos anteriores. Neste caso estamos supondo que não só o comportamento imediato, mas também o comportamento sazonal das temperaturas médias mensais são de natureza determinística e estocástica. Com estas suposições o modelo de Box-Jenkins que se ajusta à série de temperatura é denominado SARIMA (p, d, q) (P, D, Q) s como denotado em (1). Neste caso de temperaturas médias mensais o período da série é 12 meses.
Inicialmente, a série foi analisada graficamente, no intuito de investigar a presença de tendência nos dados. Após identificar os componentes da série, utilizou-se o operador diferença para torná-la estacionária.

Modelos da classe SARIMA foram ajustados e, a qualidade do ajuste verificada por meio da análise de resíduos (aplicação do teste de Ljung-Box, com base na estatística Q* da função de auto-correlação) e avaliação da ordem do modelo.

O teste de Ljung-Box é utilizado para verificar se os modelos identificados e estimados são adequados. Segundo FAVA (2000), as formas de verificação comumente utilizadas são: análise de resíduos e avaliação da ordem do modelo. Na análise por meio da avaliação dos resíduos do modelo estimados por $\hat{\varepsilon}t$ são estimativas do ruído branco, sendo assim, devem apresentar esse comportamento se o modelo estiver adequadamente especificado, isto é, suas auto-correlações devem ser não significantes. Para testar essa suposição, verificou-se o comportamento da ACF para os resíduos estimados. Foi utilizado o teste Ljung-Box Q* que é uma ferramenta diagnóstica usada para testar a falha do ajuste de um modelo de série temporal. O teste é aplicado aos resíduos de uma série temporal após o ajustamento do modelo SARIMA (1,1,1) (0,1,1)12 aos dados. O teste examina m autocorrelações dos resíduos. Se as autocorrelações forem muito pequenas, conclui-se que o modelo não exibe falha significativa de ajuste e que os resíduos apresentam comportamento aleatório.
Em geral, o teste de Ljung-Box Q* é definido pelas hipóteses:

H0: O modelo não exibe falha de ajuste.
Ha: O modelo exibe falha de ajuste.
Estatística do Teste: Dada uma série temporal Y de tamanho n, o teste estatístico é definido como:

$$Q = n(n+2)\sum_{k=1}^{m} \frac{\hat{r}_k^2}{n-k} \qquad (2)$$

onde $\hat{r}_k{}^2$ é a autocorrelação estimada da série no lag k, e m é o número de lags que está sendo testado.

O uso do teste de Ljung-Box Q* compara o valor da estatística de teste com os valores tabelados da distribuição Qui-quadrado com k-p-q graus de liberdade.
Os modelos ajustados foram selecionados, por meio do critério AIC (Akaike Information Criterion) e indicou-se aquele que melhor se ajustou à série de forma parcimoniosa.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

O critério de AIC (Akaike Information Criterion) é utilizado para comparação de modelos e que levam em conta a variância do erro, o tamanho da amostra T e os valores de p, q, P e Q, também são utilizados. MAKRIDAKIS et al. (1998) indicam que alguns programas computacionais utilizam para o cálculo aproximado de AIC a expressão (3):

$$T\,(1 + \ln(2p)) + T\,\ln s2 + 2(p + q + P + Q) \qquad (3)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra as médias anuais das temperaturas nas regiões do Litoral e Semiárido do nordeste brasileiro, no período de 1964 a 2009. Comparando as duas regiões, o Litoral apresenta maiores valores da média anual de temperatura do que o Semiárido em todo período de estudo. Isto se deve ao fato de que as temperaturas mínimas da região Litoral são sempre maiores do que as temperaturas mínimas da região Semiárido. Nota-se também, que os valores de temperatura média anual nas duas regiões apresentam uma tendência de aumento com um pico no ano de 1998.

Da análise wavelet dos dados em estudo (Figura 2a) resultam os espectros de potência (ou variância) local da wavelet (EPO). Observa-se que dentro das curvas fechadas, estão as variâncias normalizadas variando de 0 a 4 unidades com intervalo de contorno de 0,4. Os contornos fechados realçados são significativos ao nível de confiança superior a 95% e a curva tracejada em forma parecida à letra U (alongado) representa o cone de influência. Segundo SANTOS et al. (2013) no cone de influência o efeito de borda se faz importante.
Da análise wavelet dos dados em estudo (Figura 2a) resultam os espectros de potência (ou variância) local da wavelet (EPO).

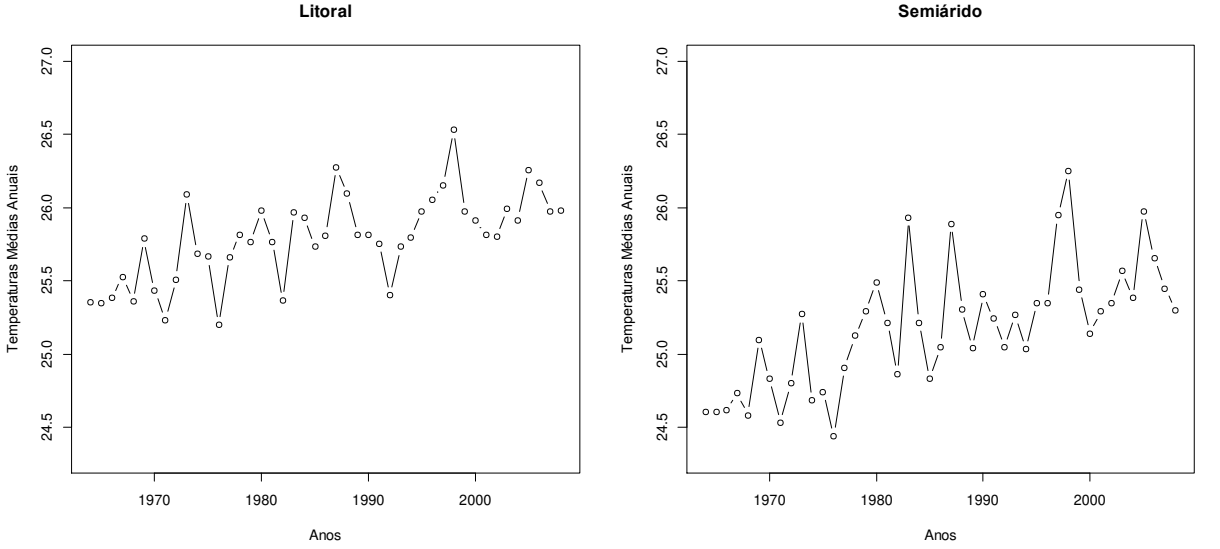


Figura 1- Temperaturas médias anuais nas regiões do Litoral e Semiárido do nordeste brasileiro, no período de 1964 a 2009.

Observa-se que dentro das curvas fechadas, estão as variâncias normalizadas variando de 0 a 4 unidades com intervalo de contorno de 0,4. Os contornos fechados realçados são significativos ao nível de confiança superior a 95% e a curva tracejada em forma parecida à letra U (alongado) representa o

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

cone de influência. Segundo SANTOS et al. (2013) no cone de influência o efeito de borda se faz importante.

Nesta análise, com relação à variabilidade sazonal, o pico dominante para a região do Semiárido, ao longo da série de 1964 a 2009, é notado na escala de 1 ano (Figura 2b) e para o Litoral também é verificado um pico, porém com variabilidade menor que a região do Semiárido. Também é possível identificar variabilidade intra e inter anual, ao longo da série com pico dominante para a região do Semiárido na escala de 2,5 anos (Figura 2b) e para o Litoral é verificado um pico, porém com variabilidade menor.

Na escala de 6,5 anos, tanto para o Litoral quanto para a região do Semiárido, é possível verificar picos dominantes de alta variabilidade e estão relacionados ao ciclo de ENSO (Figura 2b) conforme identificado por (KAYANO et al. 2013). É possível verificar um pico significativo da escala de 11 anos, que resulta de altos valores do Espectro de Potência da Ondaleta (EPO) (Figura 2b), em todo o período de estudo, possivelmente ligados à variabilidade decenal e ao ciclo das manchas solares. Os picos de 6,5 anos e de 11 anos já foram identificados em pesquisas anteriores, tanto no regime de precipitação quanto no comportamento hidrológico do Rio São Francisco (DA SILVA et al, 2013) e é consistente com o ciclo de 11 anos de manchas no sol, conforme o estudo de LUCIO (2005).

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

(a) **(b)**

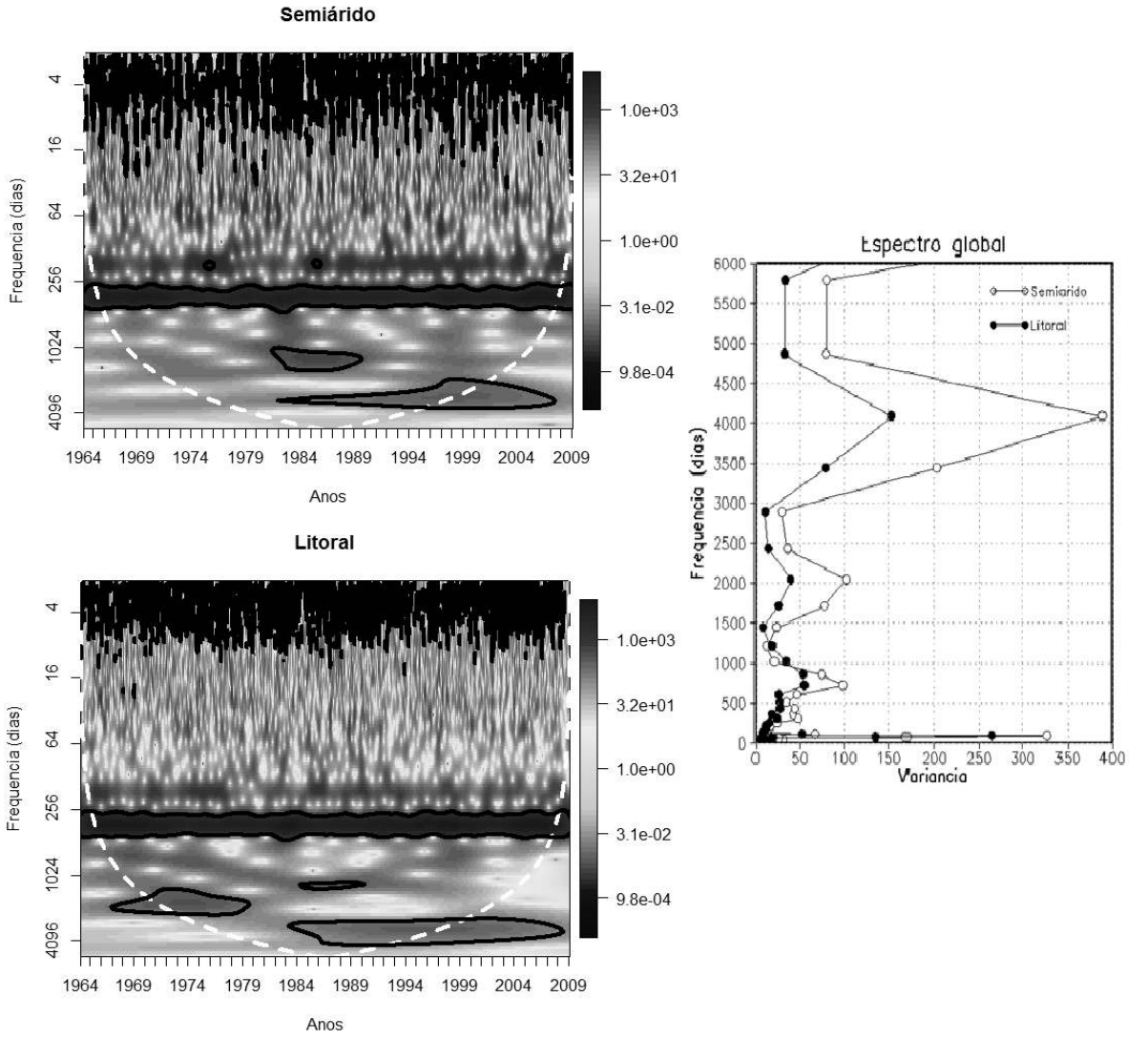


Figura 2 (a) - Análise Wavelet (à esquerda) e (b) - Espectro de Potência da Ondaleta (EPO) (à direita).

Na análise de séries temporais que exibem uma variação sazonal, os objetivos podem ser medir efeito sazonal ou eliminá-lo. Para tanto, deseja-se entender a estrutura de dependência no tempo para construção de um modelo que se adéque aos dados de temperatura média mensal, observados na região do Litoral do nordeste do Brasil, em uma área que compreende a cidade de Natal/RN, no período de 1964 a 2009.

Os Gráficos das séries de cada região foram subdivididos em três períodos de 15 anos cada, e efetuado o cálculo de estatísticas descritivas (média (μ) e variância (σ^2)) com o intuito de uma análise mais detalhada de cada série,

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

onde se observa a presença de tendência e variabilidade constante entre os períodos de cada região em estudo. É o que apresenta os dados da Tabela 1.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas das séries de temperatura média mensal nas regiões do Litoral e Semiárido nordestino.

Série	Períodos	Estatísticas descritivas	
		Média (μ)	Variância (σ^2)
Litoral	fev/1964 – fev/1979 (1)	25,548	0,5755
	fev/1979 – fev/1994 (2)	25,814	0,5047
	fev/1994 – fev/2009 (3)	26,019	0,5839
Semiárido	fev/1964 – fev/1979 (1)	24,787	0,7830
	fev/1979 – fev/1994 (2)	25,265	0,7492
	fev/1994 – fev/2009 (3)	25,517	0,8711

Verifica-se (Figuras 3 e 4) que existe sazonalidade nos dados temperaturas médias mensais, ou seja, existe uma componente periódica sazonal, que se repete a cada período observado (período > 1).

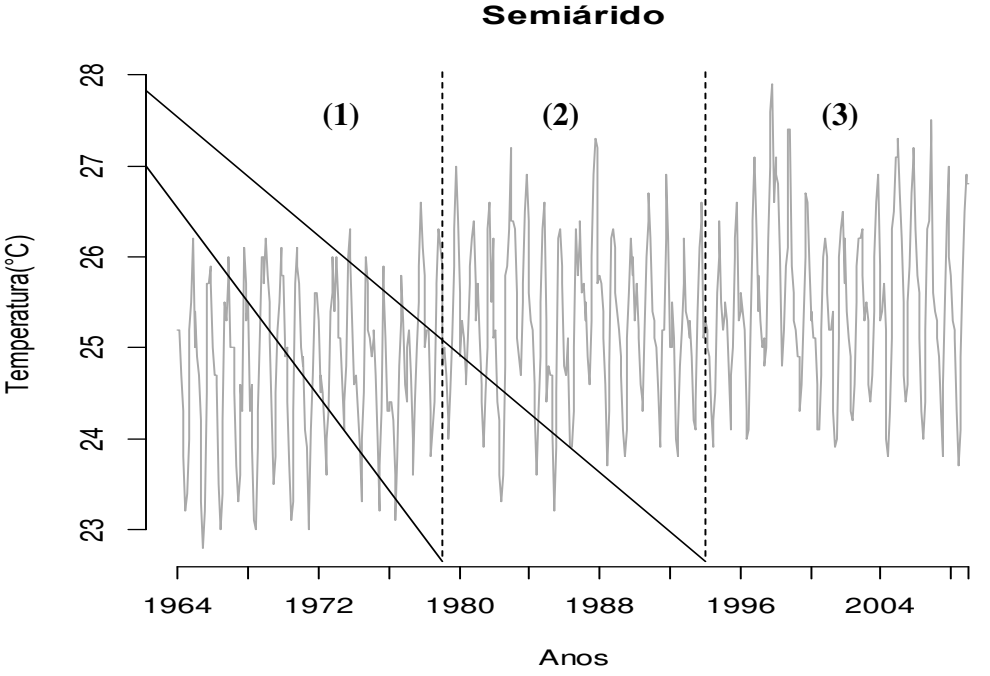


Figura 3- Temperaturas médias mensais na região do Litoral do nordeste brasileiro, no período de 1964 a 2009.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

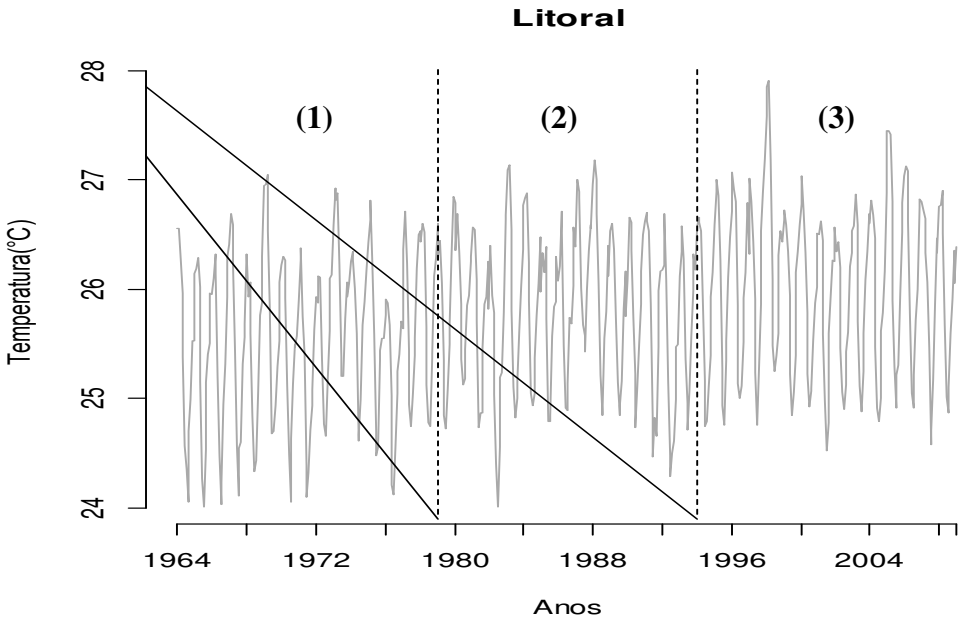


Figura 4- Temperaturas médias mensais na região do Semiárido do nordeste brasileiro, no período de 1964 a 2009.

Os períodos desta série serão identificados através da figura da função de auto correlação (AC) da série. É o que representam as Figuras 5 e 6. Também é possível observa-se que o período da série é 12, pois a cada 12 Lag's o ciclo se repete. O que é pertinente, haja vista, tratar-se de dados mensais de temperatura. Como as séries apresentam um comportamento periódico sazonal, não será suficiente aplicar apenas a 1ª diferença simples para torna-las estacionária. Será utilizada a forma apropriada de diferenciar dados com padrão sazonal que é tomar diferenças no período de sazonalidade que neste caso é 12, onde foi possível verificar que com a primeira diferença sazonal obtém-se uma série estacionária, ou seja, sua média e variância não variam ao longo do tempo, além de não apresentar tendência nem sazonalidade. Satisfeitos com a primeira diferença sazonal, é possível obter uma série estacionária. A partir de então, as Figuras das funções de auto correlação (AC) e auto correlação parcial (ACF), possibilitam confirmar a estacionariedade da série, com o fim de sugerir um possível modelo para ela.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

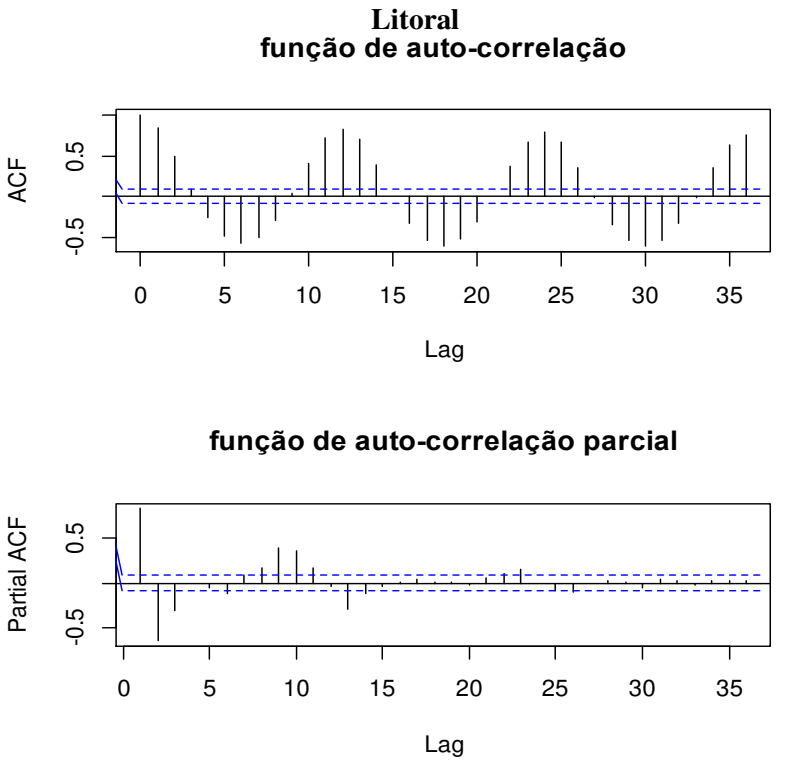


Figura 5- Função de auto-correlação (AC) e auto-correlação parcial (ACF) da série de temperaturas médias mensais na região do Litoral do nordeste brasileiro, no período de 1964 a 2009.

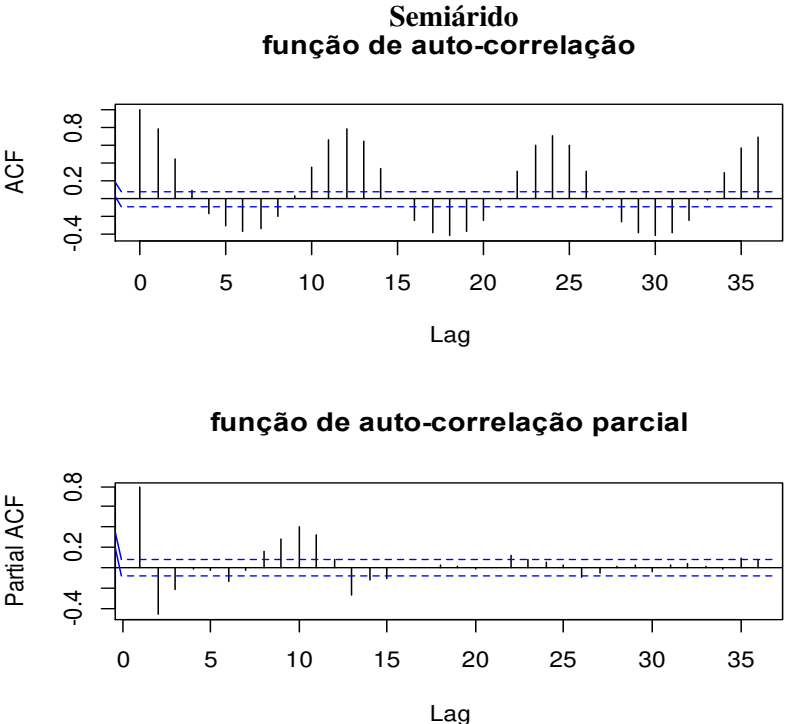


Figura 6- Função de auto-correlação (AC) e auto-correlação parcial (ACF) da série de temperaturas médias mensais na região do Semiárido do nordeste brasileiro, no período de 1964 a 2009.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

Analisando as Figuras 7 e 8, ao tomar a primeira diferença sazonal verifica-se que as funções de auto correlação apresentam um decaimento exponencial para zero, reforçando a análise prévia da série ser estacionária, e sugerindo o ajuste de um modelo ARMA (1,1) para a componente não-sazonal da série. Para a componente sazonal da série, verifica-se, nas Figuras da função de auto correlação, que apenas o primeiro Lag sazonal é diferente de zero e nas Figuras da função de auto correlação parcial há um decaimento para zero nos Lag's sazonais, o que sugere um ajuste de um modelo MA (1) para a componente sazonal da série.

De acordo com as análises gráficas das funções de auto correlação e auto correlação parcial da primeira diferença sazonal o modelo sugerido é um SARIMA (1,0,1) (0,1,1)12 para a série de temperaturas médias mensais na região do Litoral do nordeste brasileiro, ou seja, um modelo na parte não-sazonal com um componente auto regressivo e um média móvel e na parte sazonal, uma diferença, um componente auto regressivo e um média móvel. Para a série de temperatura do Semiárido do NEB foi identificado um modelo SARIMA (1,1,1) (0,1,1)12, ou seja, um modelo na parte não-sazonal com uma diferença, um componente auto regressivo e um média móvel, e na parte sazonal, uma diferença e um componente média móvel.

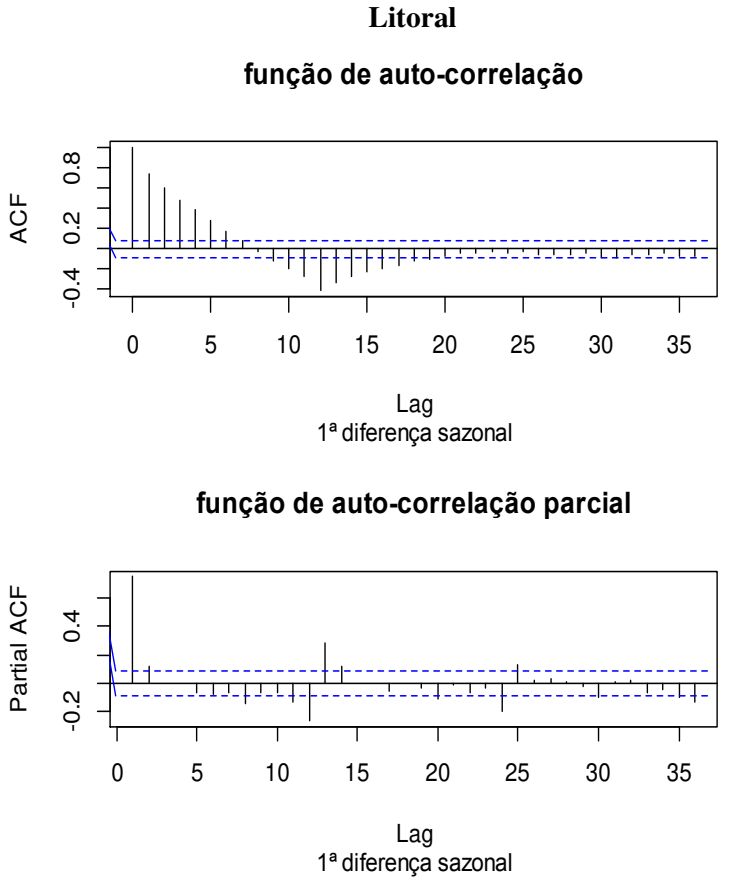


Figura 7- Função de auto-correlação (AC) e auto-correlação parcial (ACF) da série de temperaturas médias mensais na região do Litoral do nordeste brasileiro com a primeira diferença sazonal.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

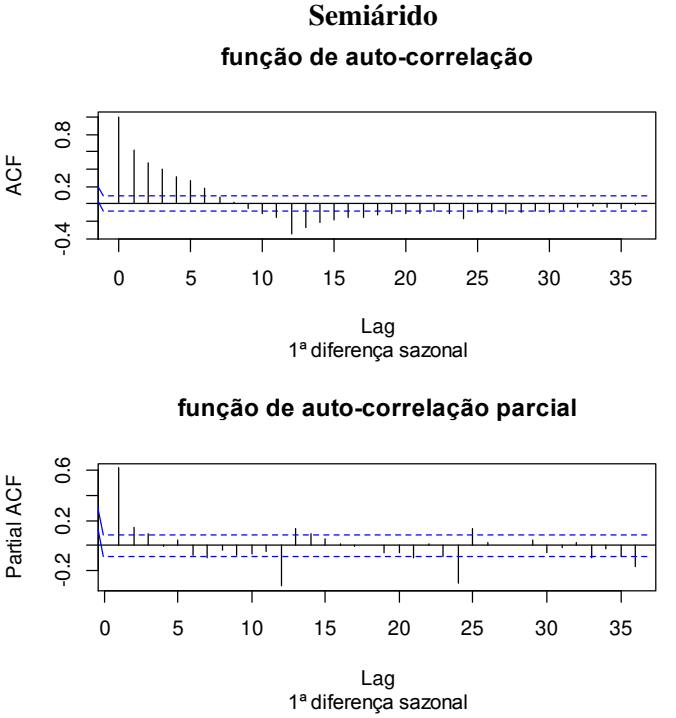


Figura 8- Gráficos das funções de auto-correlação e auto-correlação parcial da série de temperaturas médias mensais na região do Semiárido do nordeste brasileiro com a primeira diferença sazonal

Aplicando o teste Ljung-Box Q* obtém-se uma estatística de teste Q* = 29.97 (p-value = 0.7497) para a série de temperaturas médias mensais na região do Litoral do nordeste brasileiro e Q* = 35.65 (p-value = 0.4875) para a série de temperaturas médias mensais na região do Semiárido do nordeste brasileiro. De acordo com os resultados das estatísticas Q* para as duas séries é possível verificar que não obteve-se um resultado significativo, logo os modelos identificados estão aprovados no aspecto da correlação dos erros. Assim, pela análise do teste de Ljung-Box, os resíduos podem ser considerados ruído branco.

Na avaliação da ordem do modelo, o objetivo é verificar se o modelo é parcimonioso, isto é, se não tem parâmetros em excesso. Essa verificação é realizada com base no erro padrão dos coeficientes. Se o valor do coeficiente estimado for pequeno em relação a seu erro padrão, conclui-se que ele não é significativo, ou seja, não há evidências estatísticas para suportar a inclusão do coeficiente no modelo. Além disso, a análise do desvio-padrão residual é outro indicador para verificar se a ordem do modelo está adequada. Quanto menor o erro padrão, melhores serão as previsões.

A Tabela 2 apresenta alguns dos modelos analisados e os critérios (AIC) que levaram à escolha dos modelos (SARIMA (1,0,1) (0,1,1)12 e SARIMA (1,1,1) (0,1,1)12) para as séries de temperatura média na regiões do Litoral e Semiárido do NEB, respectivamente. Dentre os modelos sazonais abordados, todos apresentaram coeficientes não significativos.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 2 – Critérios de verificação dos modelos

Série	Modelos	Coeficiente estimado	Erro padrão	Critério AIC	p-valor (TCE)[1]
Litoral	SARIMA $(1,0,1)(0,1,1)_{12}$	AR(1) = 0,8545 MA(1) = -0,2329 $MA_s(1)$ = -0,8260	0,0292 0,0530 0,0249	425,11	0,897
Semiárido	SARIMA $(1,1,1)(0,1,1)_{12}$	AR(1) = 0,2493 MA(1) = -0,7070 $MA_s(1)$ = -0,8196	0,0779 0,0632 0,0270	439,69	0,485

[1]***TCE:** Teste de correlação dos erros (*Ljung-Box*)

As Figuras 9 e 10 foram desenvolvidas com o objetivo de verificar visualmente o ajuste do modelo às séries estudadas. Ajustado os modelos adequados aos dados em estudo, serão feitas previsões referentes ao período de três anos que vai de março de 2009 a março de 2012 tanto para região do Litoral quanto para o Semiárido. Como ilustra as Figuras 11 e 12. No referido período de previsão, é possível verificar que para a região do Litoral as temperaturas médias anuais variam entre 24,67ºC (mínima) e 26,78 ºC (máxima). Já para a região do Semiárido as temperaturas médias anuais variam entre 24,37 ºC (mínima) e 27,06 ºC (máxima).

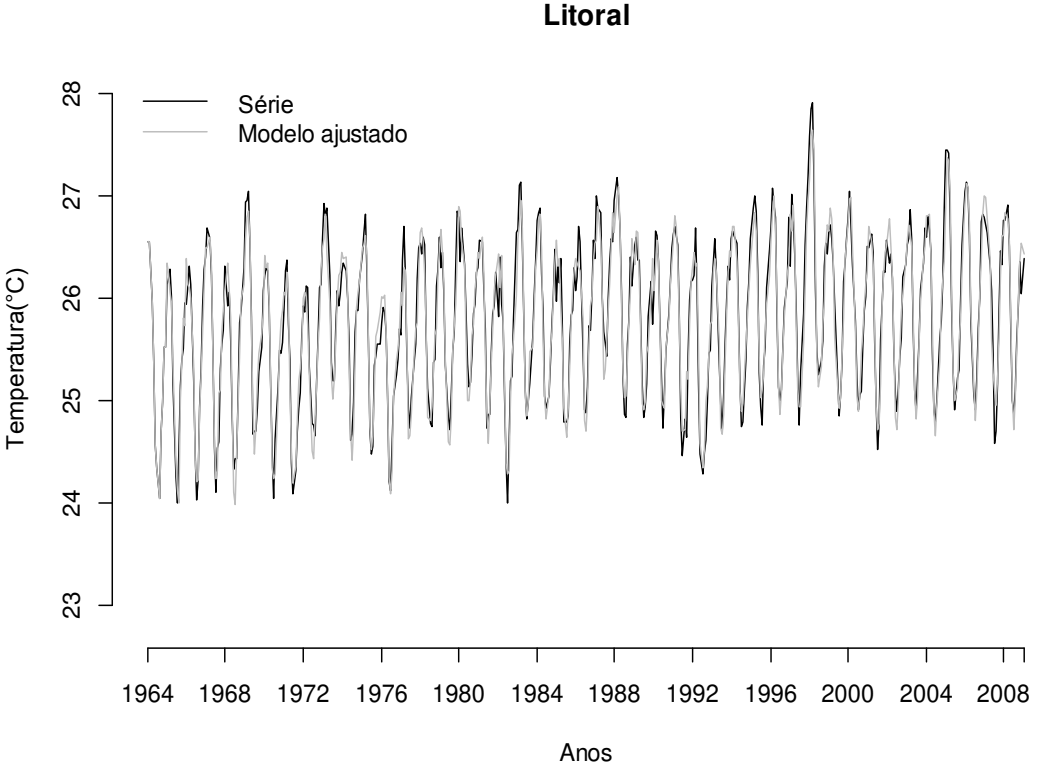


Figura 9- Série original de temperaturas médias mensais na região do Litoral do nordeste brasileiro e do modelo ajustado (SARIMA $(1,0,1)(0,1,1)_{12}$).

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

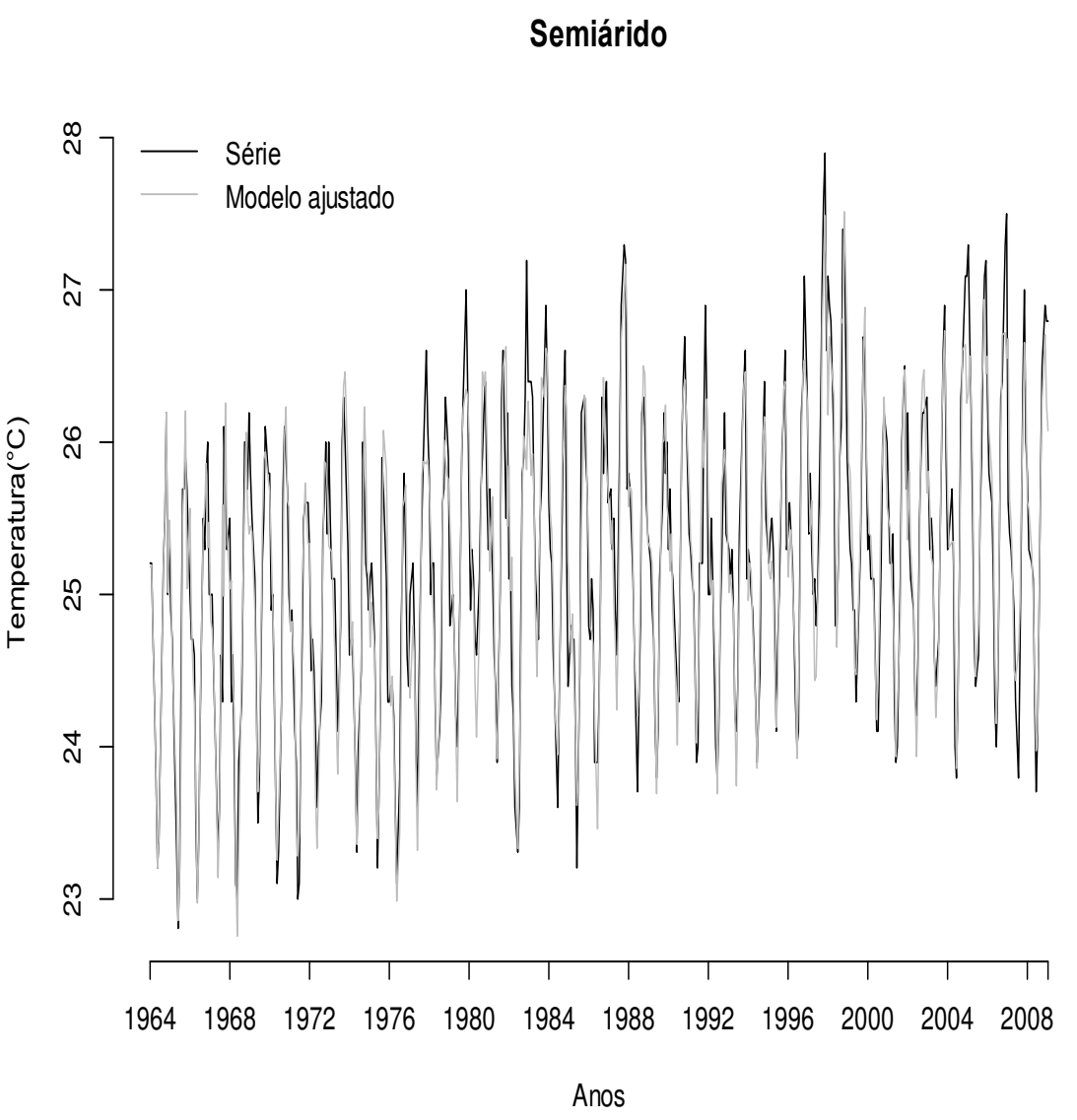


Figura 10- Série original de temperaturas médias mensais na região do Semiárido do nordeste brasileiro e do modelo ajustado (SARIMA (1,1,1) $(0,1,1)_{12}$).

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

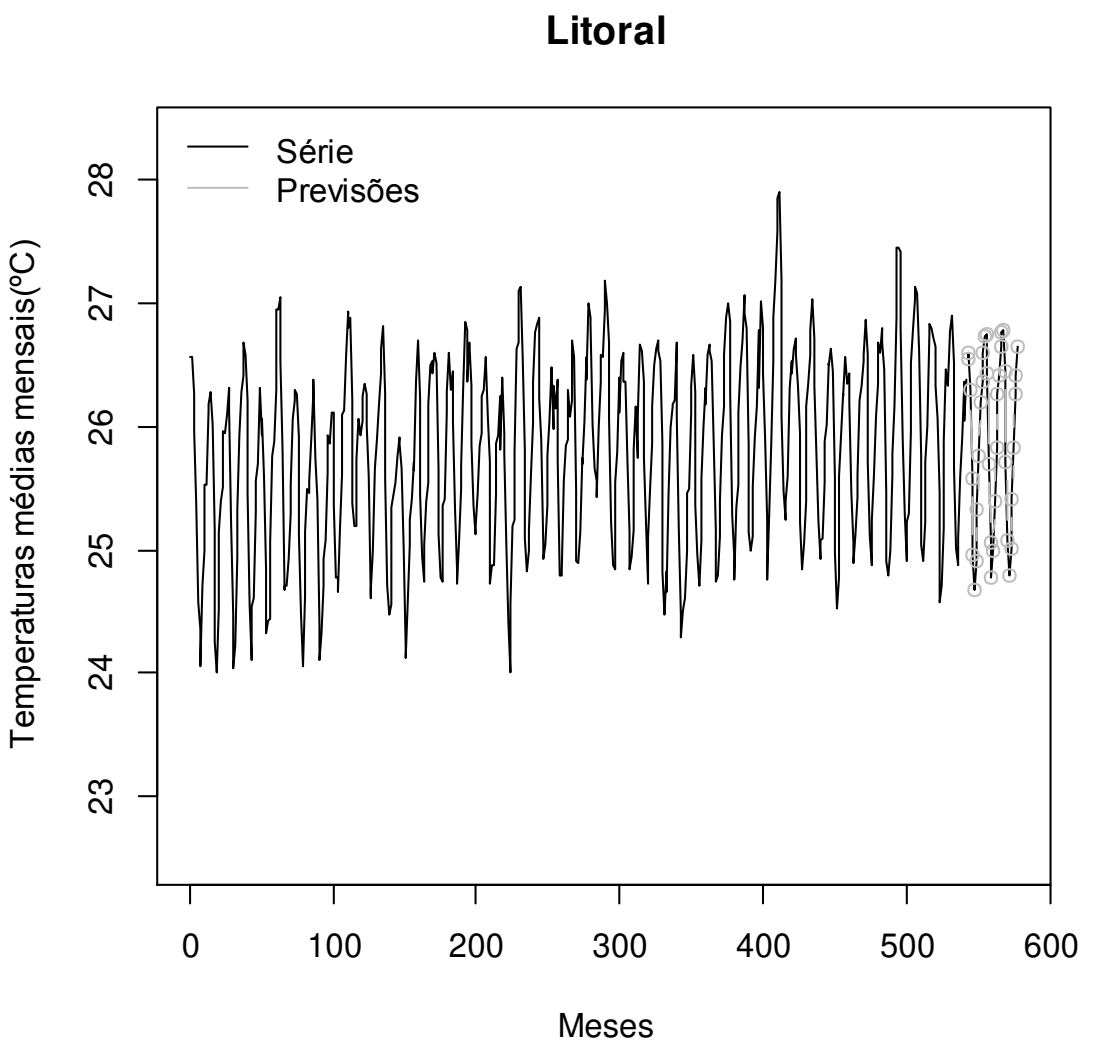


Figura 11 **-** Previsões para o período de março de 2009 a março de 2012 para a região do Litoral do nordeste brasileiro.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

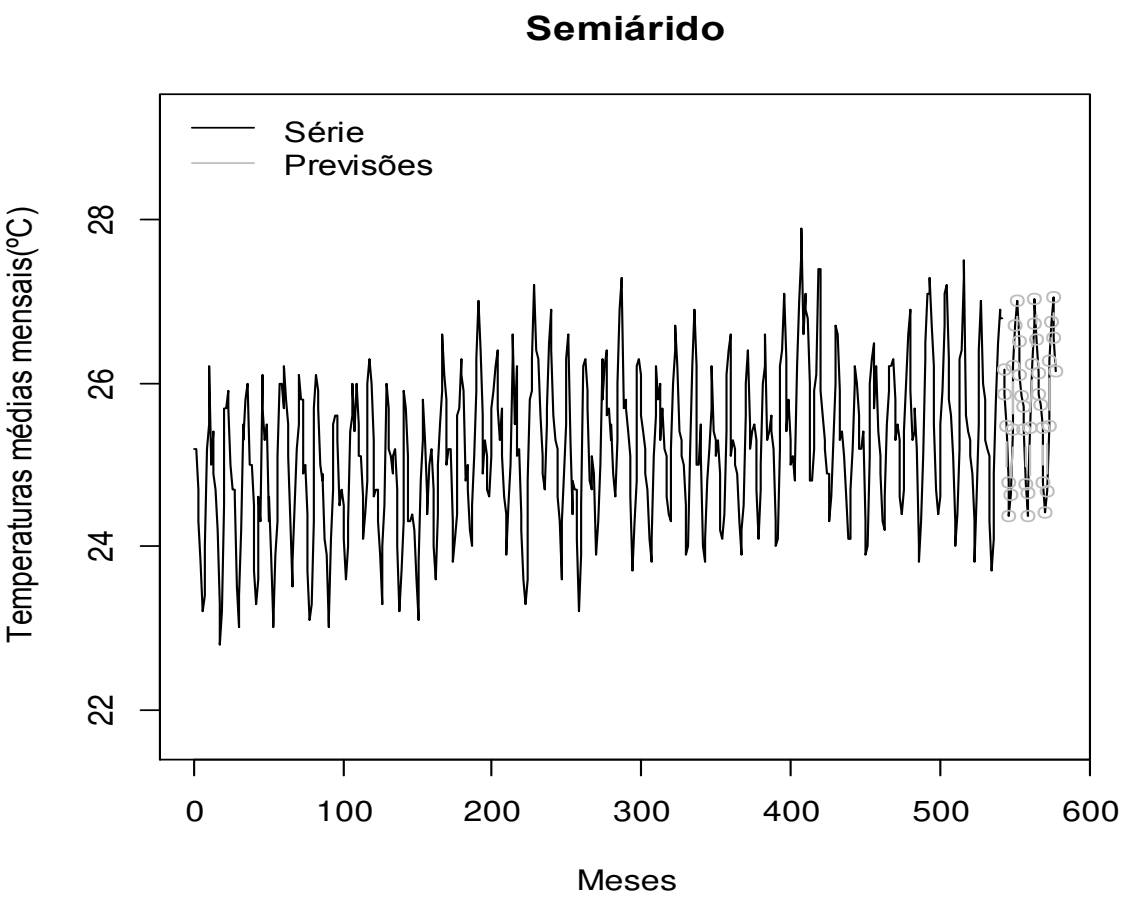


Figura 12**-** Previsões para o período de março de 2009 a março de 2012 para a região do Semiárido do nordeste brasileiro.

4. CONCLUSÕES

É inegável que o clima no mundo vem sendo exaustivamente estudado por vários estudiosos e pesquisadores de muitos países. O tema é altamente preocupante para toda a população mundial, haja vista as grandes transformações climáticas ocorridas em decorrência da interferência humana. Com isso, buscou-se nesse estudo analisar a aplicação das novas técnicas estatísticas e matemáticas, relacionadas aos dados climáticos de temperatura médias mensais, através de dados de reanálises NCEP para regiões do Litoral e do Semiárido do NEB.

A técnica matemática da transformada *Wavelet* contínua Morlet foi de grande importância e utilidade para descobrir comportamentos das oscilações de frequências nos dados das séries estudadas.

Ao aplicar a técnica sobre os dados de temperatura no período de 1964 a 2009, foram identificadas escalas de tempo, onde as oscilações foram bem visualizadas (picos dominantes) nos resultados apresentados nas imagens da *Wavelet*. Foram analisados os aspectos sazonais, intra e inter anuais e da variabilidade de mais longo prazo desta variável nas duas regiões em estudo. Através dos valores médios anuais de temperatura foram notados os maiores valores no Litoral em relação ao Semiárido.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

O principal aspecto relacionado à variabilidade sazonal das regiões em estudo é o de que há um pico dominante tanto na região do Semiárido quanto na região do Litoral na escala de 1 ano. Porém, é verificado um pico com variabilidade menor que a região do Semiárido. Quanto à variabilidade intersazonal, o pico dominante para a região do Semiárido é identificado na escala de 2,5 anos e para o Litoral é verificado um pico, porém com variabilidade menor.

Tanto para o Litoral quanto para a região do Semiárido, é possível verificar picos dominantes de alta variabilidade na escala de 6,5 anos, e estão relacionados ao ciclo de ENSO.

Picos significativos, possivelmente ligados à variabilidade decenal ou ciclos de atividade de manchas solares são identificados na escala de 11 anos e resultam de altos valores do Espectro de Potência da Ondaleta (EPO), em todo o período de estudo.

Ao ajustar o modelo de série temporal, essas oscilações, em diferentes períodos de tempo, não são percebidas. Portanto, corrobora o fato desta técnica ser uma ferramenta adequada e bem adaptada para a investigação e análise de processos não estacionários, permitindo detectar variações nos dados em função da intensidade de frequência e localização temporal.

5. REFERÊNCIAS

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. *A Importância Relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na Variabilidade de Precipitação do Nordeste do Brasil.* Revista Brasileira de Meteorologia, Vol..22, Nº.1, p. 63-74, 2007.

ARAÚJO W. S.; SOUZA F. A.S.; BRITO J.I.B.; LIMA L.M.; *Aplicação de Wavelets A Grupos Homogêneos Pluviais no Nordeste do Brasil.* Revista Brasileira de Geografia Física, Vol. 5, Nº 4, 2012.

BOX, G.E.P. & JENKINS, G.M., 1976. *Time Series Analysis:* Forecasting and Control, Holden-Day, Inc. Oakland, Califórnia.

Da SILVA, D. F. *Influência inter decenal (ODP e OMA) nas cotas do rio São Francisco.* Revista Brasileira de Geografia Física, V. 6, p. 1529-1538, 2013.

Da SILVA, D. F.; COSTA, I.M.; MATEUS, A. E.; Sousa, A.B. *Previsão Climática e de Ciclos Climáticos para o Estado do Ceará.* Revista Brasileira de Geografia Física, V. 6, p. 959-977, 2013.

FAVA, V. L. *Manual de Econometria.* In: VASCONCELOS, M. A. S.; ALVES, D. São Paulo: Editora Atlas, 2000.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. *Variabilidade decenal e multidecenal,* In: Cavancanti, I.; Ferreira, N.; Silva, M. G. J. da; Dias, M. A. F. S. (ed.). Tempo e Clima no Brasil, Oficina de Textos, Sao Paulo, 2009. p. 375-383.

KAYANO, M.T.; ANDREOLI, R.V.; SOUZA, R.A.F. *Relations between ENSO and the South Atlantic SST modes and their effects on the South American rainfall.* International Journal of Climatology, V. 33, p. 2008-2023, 2013.

LUCIO, P.S. Learning with solar activity influence on Portugal's rainfall: a stochastic overview. *Geophysical Reserch Letters,* v.32, n.l23819, p. 238190, 2005.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S.; HYNDMAN, R. J. *Forecasting methods and applications*. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.

MARENGO, J. A*. Mudanças Climáticas Globais e Regionais: Avaliação do Clima Atual do Brasil e Projeções de Cenários Climáticos do Futuro.* Revista Brasileira de Meteorologia, Nº. 16, p. 1-18, 2001.

MARENGO, J.A. *Mudanças Climáticas Globais e Seus Efeitos Sobre a Biodiversidade:* Caracterização para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília: MMA, 2006.

MARENGO, J.A.; CAMARGO, C.C. *Surface Air Temperature Trends in Southern Brazil for 1960-2002.* International Journal of Climatology, v.28, p.893 - 904, 2008. DOI: 10.1002/JOC.1584.

MARENGO, J.A. *Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no Semiárido do Brasil.* Parcerias Estratégicas - Brasília, DF, Nº.27. 2008.

MORGADO, M. C. N. *O Litoral Semiárido Brasileiro*. Geografia. UEPB/Brasil. 2011. Disponível em: http://www.webartigos.com/autores/BIOGEO/. Acesso em: em: 23 de outubro de 2012.

NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Mudança de Clima, Vol. I: *Negociações internacionais sobre a mudança de clima; vulnerabilidade, impactos e adaptação á mudança de clima.* Cadernos NAE, NAE-SECOM 2005. Brasília, 250 pp

QUIROZ, R.; YARLEQUÉ, C.; POSADAS, A.; MARES, V.; IMMERZEEL, W.W. *Improving daily rainfall estimation from NDVI using a wavelet transform.* Submitted to Environmental Modelling & Software. 2010.

RAO. V.B., LIMA, M., FRANCHITO, S.H. *Seazonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil.* Journal Of Climate, V. 6, p. 1754-1763, 1993.

SANTOS, I.M.F.; GUIMARÃES, B.S. COSTA, R.V; MOLION, L.C.B.; LUZ, J.R.; *Análise das vazões do rio São Francisco com filtro Hodrick-Prescott,* 1º Workshop internacional sobre água no Semiárido brasileiro. Campina Grande – PB, 2013.

SALAZAR, L.F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D.; *Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America,* Geophysics Research Letter, v.34, L09708, 2007.

SILVA, V.P.R.; CAVALCANTI, E.P.; NASCIMENTO, M.G.; CAMPOS, J.H.B.C. *Análises da precipitação pluvial no Estado da Paraíba com base na teoria da entropia.* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, V.7, Nº.2, p.269-274, 2003.

SILVA, V.P.R. *On climate variability in Northeast of Brazil*. Journal of Arid Environments, V.58, Nº.1, p.574-596, 2004.

SILVA, V.P.R.; BELO FILHO, A.F.; SILVA, B.B.; CAMPOS, J.H.B.C**.** *Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência.* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, V.9, Nº.4, p.547-553, 2005.

SILVA, D. F.; SOUSA, F. A. S.; KAYANO, M. T. *Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mundaú.* Revista Brasileira de Meteorologia, V. 25, Nº. 3, p. 324-332, 2010.

YARLEQUÉ, C., POSADAS A., QUIROZ, R. *Reconstrucción de datos de precipitación pluvial em series de tiempo mediante transformadas de wavelet con dos niveles de descomposición.* Centro Internacional de la Papa, Working Paper, Nº. 2007-2, Lima, Perú, 17 p. (2007).

Texto submetido à RBClima na data de 30/07/2015