



SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

PREVISÃO SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO VIA MODELOS ESTOCÁSTICOS

Alessandro Renê Souza do Espírito Santo (1); Cássia Monalisa dos Santos Silva (1)

(1) Pós-Graduação em Ciências Climáticas, UFRN, Natal, RN.
alessandro_rene@yahoo.com.br e csilval@uni-koeln.de

RESUMO:

O estudo de séries temporais possibilita a verificação da existência de mudanças no comportamento de uma variável estudada ao longo do tempo. É possível, a partir daí, construir modelos de previsão que necessitam basicamente de um vetor de valores observados com o tempo. Entre os modelos estatísticos tradicionais existentes, a modelagem com metodologia Box-Jenkins (ARIMA- *Auto Regressive Integrated Moving Average*) e Holt-Winters (Alisamento Exponencial) se destacam. As análises demonstraram que as previsões a curto (mensal) e médio prazo (2 anos analisados) dos modelos propostos tiveram bons resultados, com prognósticos inseridos em intervalos de confiança de no mínimo 75% de acerto (previsão \pm erro padrão), quando comparadas aos dados observados.

Palavras-chave: Séries temporais, Box-Jenkins, Holt-Winters.

ABSTRACT:

The study of time series enables the verification of changes in the behavior of a variable studied. It is possible, thereafter, to build forecasting models which basically a vector of observed time-series values. Among traditional statistic models existing, the Box-Jenkins method (ARIMA - *Autoregressive Integrated Moving Average*) and Holt-Winters (exponential smoothing) stand out. The application demonstrated that short forecasts (monthly) and medium term (two years analyzed) had good results with predictions within confidence intervals of at least 75% of accuracy (estimate \pm error), when compared to the observed data.

Key-words: Temporal series, Box-Jenkins, Holt-Winters.

1 – INTRODUÇÃO

Uma série temporal é qualquer conjunto de observações ordenados no tempo. Onde, por exemplo, uma série de valores mensais de precipitação é considerada uma série temporal contínua. Normalmente as séries temporais são analisadas a partir de seus principais movimentos, descritos como: tendência, ciclo, sazonalidade e variações aleatórias. E a análise de séries temporais tem como um de seus objetivos a possibilidade de fazer previsões futuras da variável estudada (MORETTIN e TOLOI, 2006).

As previsões climáticas de um modo geral são naturalmente afetadas por incertezas, pois os sistemas dinâmicos que controlam a evolução do clima têm forte componente caótica. Existem, contudo, controles de baixa frequência, associados aos lentos processos oceânicos, que conferem certa previsibilidade ao clima na escala





SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

sazonal, principalmente na região tropical (LÚCIO, 2010).

A partir desse certo grau de previsibilidade, visa-se analisar as séries temporais de precipitação média mensal para a cidade de Cruzeta-RN, município inserido na região do Seridó, um subespaço do Rio Grande do Norte caracterizado pelo bioma da caatinga, que apresenta secas prolongadas. E nesse contexto, é usado os modelos clássicos de Box-Jenkins e modelos de alisamento exponencial Holt-Winters para realizar previsão sazonal.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

A cidade de Cruzeta, com área de 295,829 Km², está localizada no Oeste da Mesorregião Central Potiguar (Figura 1), essa subárea do RN compreende o polígono das secas e merece atenção devido ao intenso processo de desertificação. Apresenta clima muito quente e Semiárido, com média anual de precipitação no valor de 588,9mm e temperatura anual de 27,5°C, onde seu período chuvoso ocorre entre os meses de fevereiro a abril (IBGE, 2014).

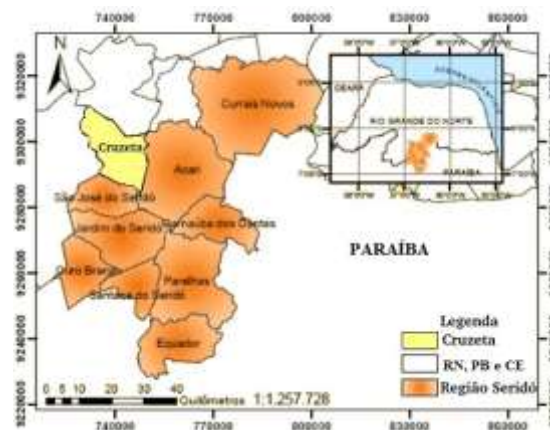


Figura 1- Localização da cidade de Cruzeta na região do Seridó Oriental-RN. Fonte: Mapa adaptado de BEZERRA JÚNIOR e SILVA (2007).

A série mensal de precipitação média é proveniente do BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa) do INMET. Os dados foram adquiridos no site oficial do INMET. As variáveis correspondem ao período de janeiro de 1985 a julho de 2015 (367 médias mensais). As médias mensais possuem boa representatividade para o clima da região. Nos meses que apresentavam ausências de dados, foi utilizado médias mensais de Reanálise do projeto ERA-40 (KALNAY at al, 1996). Para realização das análises estatísticas e geração dos modelos do tipo ARIMA e Holt-Winters, foi empregado o software Estatístico R.

2.1 - Modelos Box e Jenkins (ARIMA)





SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

De acordo com BOX e JENKINS (1976), a base deste tipo de modelagem consiste no fato ao qual uma série temporal $Y(t)$ apresenta correlações seriais, e cada modelo pode ser considerado como gerado por uma sequência de choques aleatórios independentes entre si, com determinada distribuição com média zero, variância constante, ou seja, um processo com ruído branco. A metodologia supõe que o procedimento de filtragem do ruído branco pode ser decomposto em três etapas: (1) média móvel, (2) auto regressivo estacionário e (3) diferenciação, caso não seja estacionário (LÚCIO et al, 2010).

2.2 – Modelagem Holt-Winters

O método de Holt-Winters é um dos mais utilizados para a previsão de curto prazo, devido a sua simplicidade, baixo custo de operação, boa precisão e capacidade de ajustamento automático e rápido as mudanças da série. Pode-se considerar o ajustamento exponencial como mais uma técnica para predizer valores de séries temporais. Este modelo isola na série até três fatores ou coeficientes de alisamento: nível, tendência linear, fator sazonal e um elemento residual não previsível, chamado erro aleatório. Na estimação desses fatores é usado o método de ajustamento exponencial, também chamado de “suavização exponencial” (HOLT, 1957; WINTERS, 1960; LÚCIO, 2010).

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a série temporal (PRP) de Cruzeta (Figura 2), as características estatísticas básicas (Tabela 1) indicam uma precipitação média de $51,90 \pm 72,69$ mm mensais. Com precipitação máxima de 409,20 mm mensais. Observa-se que as maiores frequências de PRP ocorrem em torno de 0 a 100mm (Figura 3 - Histograma), representando valores entre o 1º Quartil ao 3º Quartil. As maiores variabilidades da PRP se dão nos primeiros meses do ano, seguido de baixíssima precipitação ou seca (0 mm) no segundo semestre (Figura 3 - Boxplot). Essas características climáticas são bem marcantes da região do semiárido, mas que denotam situação bem preocupante à vida da população local.

Tabela 1 – Estatística descritiva da Precipitação média mensal de Cruzeta-RN (1985-2015).

PRP (mm)	Min.	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Max.	Desvio Padrão
Cruzeta-RN	0	1,45	22,40	51,90	68,20	409,20	72,69





SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

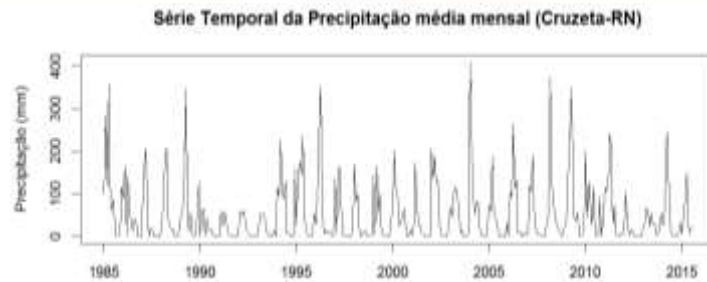


Figura 2 – Gráfico da série temporal de precipitação média mensal de Cruzeta-RN (1985-2015).

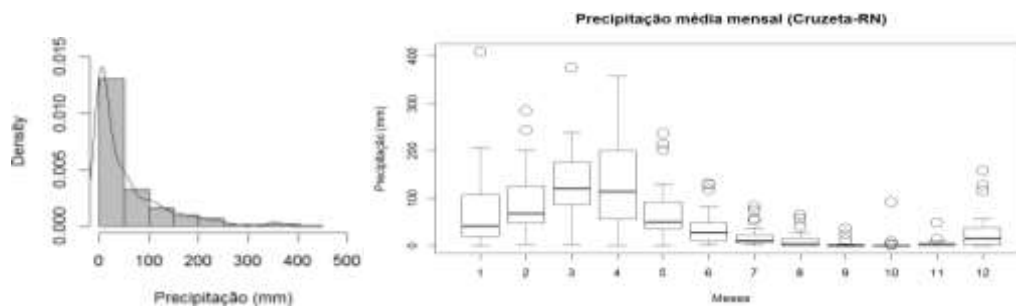


Figura 3 - Histograma da série temporal de precipitação média mensal (gráfico esquerdo), as linhas são linhas de densidade da distribuição normal. Boxplot mensal da precipitação (gráfico direito).

3.1 Previsões usando modelo Estocástico Box e Jenkins (ARIMA)

Na construção do modelo tipo ARIMA, foram aplicados filtros (simples e sazonais) capazes de induzir estacionariedade à série (media constante, variância constante e distribuição normal), a fim de obter a ordem do modelo ARIMA (Tabela 2).

Tabela 2 – Identificação da ordem dos parâmetros dos possíveis modelos multiplicativos SARIMA $(p,d,q)(P,D,Q)_{12}$. Critério de Informação de Akaike dos modelos propostos - AIC. Erro médio (ME). Raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE).

Modelos	Simples			Sazonal			ARIMA		
	p	d	q	P	D	Q	AIC	ME	RMSE
1º modelo	2	1	3	2	1	1	3902,49	4,562	53,960
2º modelo	2	1	3	3	1	1	3904,1	4,642	53,857
3º modelo	2	1	3	1	1	2	3903,3	4,600	53,960

*Parâmetros: p, P = ordem auto regressivo (PACF); q, Q = ordem médias móveis (ACF).

Considera-se que os incrementos (diferenças) são estacionários, sendo assim, definimos os parâmetros $d=1$ e $D=1$. O próximo passo foi identificar as ordens dos possíveis modelos ARMA (p, q, P, D). Após diversas combinações, a melhor ordem encontrada (fonte vermelha) é o que apresenta o menor valor de AIC (Critério de





SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Informação de Akaike (AKAIKE, 1973)), assim como os melhores e mais alto valores-p de Ljung-Box dos resíduos (LJUNG & BOX, 1978) e também indicando que o ACF dos resíduos não são correlacionados.

Através dos modelos estocásticos do tipo SARIMA, foram executadas previsões mensais para o ano de 2014 e 2015 (Figura 4 - gráfico esquerdo). Foi verificada que as previsões e suas possíveis margens de erros se enquadraram em torno dos valores reais. Evidenciando que os resíduos se adequam ao comportamento dos prognósticos, indicando estarem inseridos em intervalos de confiança de no mínimo 75% de acerto (previsão \pm erro padrão).

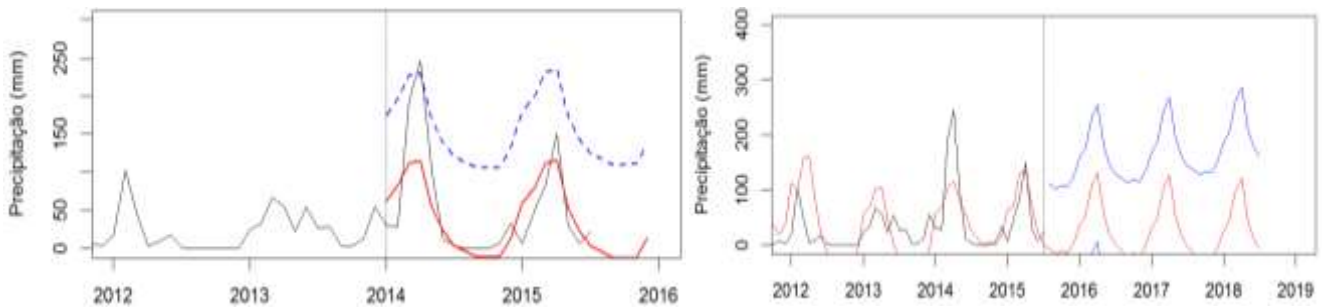


Figura 4 – Séries originais (linhas pretas) acrescida das previsões (linhas vermelhas) e dos desvios padrões (linhas azuis) geradas pelos modelos SARIMA (gráfico esquerdo) e Holt-Winters (gráfico direito).

3.2 Previsões usando modelo Estocástico Holt-Winters

Com o uso da metodologia de Holt-Winters, foram definidas constantes de alisamento exponencial (Tabela 3) do tipo multiplicativo para a série de precipitação. Essas constantes minimizam o erro quadrático médio entre os valores reais medidos (médias mensais) e os valores estimados. A comparação entre os valores previstos e as médias mensais são apresentados na Figura 4 (gráfico direito) e evidenciam uma boa aproximação e indicam um bom ajuste do modelo. No entanto, quando verificado o ajuste dos resíduos, o modelo não evidencia um bom ajuste, mostrando um crescimento com o tempo. Diminuindo a qualidade dos intervalos de confiança dos erros da previsão, ou seja, quanto maior for o tempo estimado, menor pode ser a confiabilidade dos valores estimados.

Tabela 3 – Constantes de suavização

Cruzeta	alpha	beta	gamma
	0,1036627	0,0293518	0,1877158

4 – CONCLUSÃO





SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

A incerteza inerente a evolução climática tem uma forte componente caótica que, conseqüentemente, implica na inserção de erros aos modelos. O uso da metodologia Box e Jenkins (ARIMA) e Holt-Winters para o desenvolvimento das previsões se mostraram adequados para modelagem climatológica da precipitação média mensal. Evidenciando que as duas metodologias de modelagem estocástica foram capazes de descrever os padrões comportamentais da série estudada, assim como bons resultados de prognósticos sazonais. Sendo resultados aceitáveis dentro do âmbito meteorológico, apresentando previsões próximas às dos valores reais observados.

5 – REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. Proc. 2nd **International Symposium on Information Theory** (eds. B. N. Petrov and F. Csaki), 267–281, Akademiai Kiado, Budapest, 1973.
- BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Time Series Analysis: forecasting and control**. San Francisco, Holden-Day, 1976.
- BEZERRA JÚNIOR, J. G. O.; SILVA, N. M. Caracterização Geoambiental da microrregião do Seridó oriental do Rio Grande do Norte, **Holos**, Ano 23, Vol. 2, 2007.
- HOLT, C. C. Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages. **ONR Research Memorandum**, Carnigie Institute 52, 1957.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Cidades, dados infográficos do município de Cruzeta, 2014. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>> Acesso em: 20 jun 2015.
- KALNAY, E. et al. The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471. 1996.
- LJUNG, G. M.; BOX, G. E. P. On a measure of lack of fit in time series models. **Biometrika**, v.65, p.297-303, 1978.
- LÚCIO, P.S. et al. Um modelo estocástico combinado de previsão sazonal para a precipitação no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.1, 70 - 87, 2010.
- MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M. **Análises de séries temporais**. 2^o Edição, São Paulo: Blucher, 2006. 538p.
- WINTERS, P. R. Forecasting sales by exponentially weighted moving averages. **Management Science**. 6: 324–342, 1960.

