

CHUVAS EM FORTALEZA, CE: RESULTADOS DE UM PRIMEIRO ESTUDO¹

RAINFALL AT FORTALEZA, CE, BRAZIL: RESULTS OF A FIRST STUDY

João Baptista da Silva², Felipe Böhm Cunha³ e Ricardo Luis Schons³

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi encontrar periodicidades de chuvas a partir dos totais de janeiro em Fortaleza, CE, testar o modelo para previsão de novos valores deste mês e procurar uma equação de regressão entre os totais anuais e os mensais, a partir das observações de 132 anos (1849-1980). Na determinação do periodograma dos dados transformados, $Z_i = 100 \log(x_i + 1)$, das chuvas x_i , utilizaram-se os métodos dos mínimos quadrados e do descenso cíclico para estimar os parâmetros correspondentes às 11 ondas senoidais, na ordem decrescente de suas amplitudes, referentes aos períodos de 75, 132, 26, 45, 10, 14, 3, 22, 5, 34 e 18 anos. O modelo composto das quatro primeiras ondas, escolhidas pela magnitude de suas amplitudes, representou adequadamente a tendência dos dados expressos por médias móveis de 3, 7 e 11 anos. Entretanto, o mesmo não se mostrou razoavelmente preciso como previsor dos novos valores das chuvas de janeiro. Por outro lado, as chuvas deste mês não permitiram estimar de forma correta os totais anuais de chuvas de Fortaleza.

Palavras-chave: chuvas, periodicidades, tendência, precipitação.

SUMMARY

The results of a research to find the periodicity of rain in January, in Fortaleza, CE, to test a model for the forecast of new values and to characterize the relation between the yearly and monthly totals, are reported. Total rainfalls of January of 132 years (1849-1980) were used. The data were preliminary submitted to the transformation $z_i = 100 \log(x_i + 1)$. The methods of least squares and cyclic descent were used to estimate the parameters corresponding to the eleven waves of the periodogram, in decreasing order of mag-

nitude. The periods of 75, 132, 26, 45, 10, 14, 3, 22, 5, 34 and 18 years were determined. The model composed of the first 4 waves represented adequately the tendency showed by the data expressed by moving averages of 3, 7 and 11 years. However, this model did not perform as a reasonably precise predictor of new values of January rainfall. On the other hand, the January rainfall did not allow a good estimation of yearly totals of Fortaleza.

Key words: rainfall, periodicities, tendency, precipitation.

INTRODUÇÃO

O comportamento das chuvas na Região Nordeste sempre constituiu-se de preocupação dos que se dedicam às atividades agropecuárias na região, bem como a toda população nordestina como fator condicionante da atividade humana. As irregularidades das precipitações pluviais afetam a economia regional, dada a alta dependência desta ao setor agrícola, cujas atividades estão marcadamente relacionadas à quantidade e distribuição das chuvas.

AMARAL & BAPTISTA DA SILVA (1981), iniciaram um estudo sobre o comportamento das secas nordestinas, buscando periodicidades de chuvas a partir dos totais de janeiro em Fortaleza, Estado do Ceará, para 132 anos de observações. O citado estudo originou o projeto de pesquisa denominado "Periodicidades ocultas e previsão de secas", presentemente em andamento.

Entende-se por *periodicidades ocultas ou escondidas* aquelas que, diversamente do período semi-diurno das marés ou da recorrência de 11 anos do máximo de manchas solares, não se revelam pela simples inspeção de um registro suficientemente longo

¹Trabalho realizado com financiamento do CNPq e da FAPERGS.

²Engenheiro Agrônomo, Livre Docente, Doutor em Ciências, Bolsista do CNPq, Professor Titular (Aposentado) do Instituto de Física e Matemática (UFPel).

³Alunos dos cursos de Bacharelado em Informática e Engenharia Agrícola da UFPel, bolsistas do PIBIC/CNPq.

(CONRAD & POLLAK, 1950). Referindo-se à possibilidade de previsões do tempo baseadas na identificação de periodicidades, LORENZ (1963), manifestou-se incredulamente quanto à existência destas periodicidades. Efetivamente, a existência de periodicidades bem definidas é excepcional em climatologia, mas não é difícil conceber processos que realmente possam mascarar as periodicidades existentes. Neste sentido, MITCHELL JR. (1964) indicou dois processos climáticos cuja periodicidade não oferece dúvida: o primeiro refere-se à periodicidade semi-lunar das precipitações pluviiais diárias (período de cerca de 15 dias), e o segundo, não tem periodicidade estrita, pois seu período tem variado de 22 a 30 meses, e refere-se à velocidade do vento e à temperatura nas altitudes elevadas das regiões tropicais.

Diversos autores têm apresentado trabalhos utilizando em sua grande maioria os totais anuais das chuvas de Fortaleza. MARKHAM (1974), estudou estes dados e concluiu que os mesmos apresentam variações de longo prazo, que pelas análises de autocorrelação, parecem ser de natureza periódica ou quase-periódica. GIRARDI & TEIXEIRA (1978) apresentaram um trabalho sobre as secas nordestinas, baseado nas precipitações pluviiais anuais observadas em Fortaleza, no período de 1849-1977, e concluíram sobre a iminência de chuvas escassas para o período de 1979 a 1985. MORETTIN *et al.* (1983) estudaram os totais anuais de chuvas de Fortaleza (1849-1979), encontrando periodicidades relevantes com ondas de 13 e 26 anos. Alternativamente, considera-se duvidosa a caracterização da seca na região nordestina pelo total anual das precipitações pluviiais. Possivelmente, mais importantes são os totais mensais, bimestrais ou trimestrais, de dezembro a julho, período que constitui o "inverno" nordestino.

O objetivo deste trabalho foi determinar a periodicidade das chuvas a partir dos totais de precipitação de janeiro, testar o modelo da periodicidade para previsão de novos valores para este mês e determinar uma equação de regressão que permita estimar de forma adequada os totais anuais em função do total de precipitação do mês de janeiro em Fortaleza, CE.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados foram os totais de chuvas do mês de janeiro registrados em 132 anos de observação (1849-1980) em Fortaleza, Estado do Ceará - CE. Os dados oriundos do Instituto de Meteorologia da Universidade Federal do Ceará foram cedidos gentilmente pela Fundação Cearense de Meteorologia e Chuvas Artificiais (FUNCEME).

A análise periodográfica pressupõe homogeneidade de variâncias, aditividade e, ao menos aproximadamente, normalidade da distribuição (JENKINS, 1979). Calculando a média (\bar{x}) e a variância (s^2) das precipitações pluviiais de janeiro dos 11 perío-

dos de 12 anos consecutivos ($11 \times 12 = 132$) e admitindo a relação:

$$s^2 = A\bar{x}^b \quad (1)$$

que após linearizar:

$$\log s^2 = \log A + b \log \bar{x} \quad (2)$$

estimaram-se os parâmetros A e b da transformação de dados.

Dependendo do valor estimado de b a transformação sugerida é de uma das formas:

$$z = K x^{\left(1 - \frac{b}{2}\right)} \quad (3)$$

se $b \neq 1$, ou

$$z = K \log(x + n) \quad (4)$$

se $b = 1$, onde as constantes K e n são valores arbitrários, escolhidos convenientemente.

Os dados originais e os transformados foram submetidos aos testes de homogeneidade de variâncias (teste de Cochran) e de normalidade (teste de Qui-quadrado), ao nível de significância de 5%, para verificar a existência destas propriedades.

A determinação do periodograma apresentou em ordenadas os quadrados das amplitudes das ondas cujos períodos, em abscissas, são números inteiros, de 2 a 132 anos; efetivamente, entre janeiro de um ano e janeiro do ano seguinte, não existem janeiros intermediários.

O cálculo das amplitudes das ondas para cada período inteiro ($t = 2, 3, \dots, 132$) seguiu o modelo:

$$z_t = \mu + A \cos \omega t + B \sin \omega t + e_t \quad (5)$$

cujos parâmetros μ , A e B foram estimados pelo método dos quadrados mínimos como solução do sistema de equações normais (BLOOMFIELD, 1976):

$$n m + A \sum \cos w t + B \sum \sin w t = \sum z_t \quad (6)$$

$$m \sum \cos w t + A \sum \cos^2 w t + B \sum \sin w t \cos w t = \sum z_t \cos w t \quad (7)$$

$$m \sum \sin w t + A \sum \sin w t \cos w t + B \sum \sin^2 w t = \sum z_t \sin w t \quad (8)$$

o que levou a obter as estimativas:

$$\hat{m} = \frac{\sum z_t}{n} = \bar{z}; \quad (9)$$

$$\hat{A} = \frac{2}{n} \sum (z_t - \bar{z}) \cos \mathbf{w} t; \quad (10)$$

$$\hat{B} = \frac{2}{n} \sum (z_t - \bar{z}) \sin \mathbf{w} t \quad (11)$$

As estimativas das ondas senoidais foram obtidas pelo método dos mínimos quadrados e não pelo processo usual, baseado na transformada de Fourier discreta, tendo em vista a natureza dos dados utilizados. Por se tratar de um conjunto discreto, foi utilizada uma metodologia particular na análise destas observações.

Na seleção das ondas a serem introduzidas no modelo optou-se pelo critério da magnitude das ondas estimadas e o número de ondas selecionadas baseou-se na boa representatividade dos dados pelo modelo, sem aumento da complexidade do mesmo.

As estimativas finais dos parâmetros foram obtidas pelo método do descenso cíclico, descrito por BLOOMFIELD (1976), que é indicado no caso de periodicidades múltiplas, obtendo as estimativas finais da média, da frequência e dos coeficientes do cosseno e do seno de cada onda selecionada para o modelo.

Utilizaram-se as médias móveis de 3, 7 e 11 anos para verificar o ajustamento do modelo aos dados observados, por meio dos coeficientes de correlação linear e por postos.

O modelo estabelecido foi testado com um novo conjunto de observações de janeiro, referentes ao período de 1981-1995 em Fortaleza, por meio dos coeficientes de correlação citados anteriormente.

Por meio da análise de regressão linear, verificou-se a possível relação existente entre os totais de chuvas anuais e os totais de janeiro em Fortaleza, de modo a determinar a representatividade deste mês no total das chuvas do ano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os totais de chuvas de janeiro nos 132 anos de observação (Figura 1), quando submetidos ao teste de Cochran, resultaram no valor de $C=0,2410$, indicando a heterogeneidade de variâncias, para $\alpha=0,05$. Quanto à normalidade, o teste de Qui-quadrado, para um total de seis classes, indicou o valor de $\chi^2=22,16$, altamente significativo. Por outro lado,

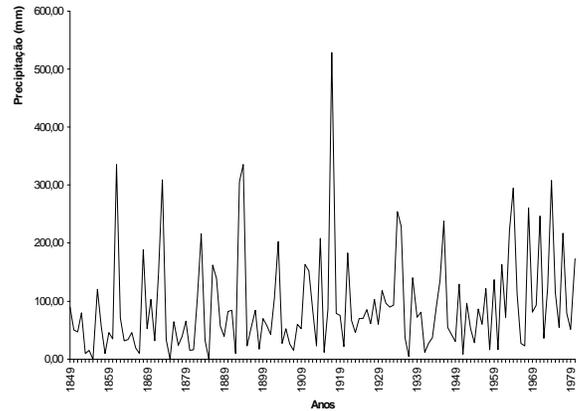


Figura 1. Precipitações pluviométricas de janeiro em Fortaleza, CE, no período de 1849 a 1980.

os dados transformados $Z = 100 \log(x+1)$ (Figura 2), sujeitos aos mesmos testes, apresentaram $C=0,1979$ e $\chi^2=1,63$, não significativos a 5% (DIXON & MASSEY, 1969).

As distribuições de frequência dos dados são apresentadas nas Figuras 3 e 4. Pode-se observar nestes gráficos que a assimetria fortemente positiva dos dados originais cedeu lugar a uma assimetria negativa, muito menos acentuada, dos valores transformados.

A determinação do periodograma (Figura 5) apresenta em ordenadas os quadrados das ondas cujos períodos em abscissas, são números inteiros, de 2 a 132 anos. Os picos do periodograma, na ordem decrescente de suas magnitudes, corresponderam aos períodos de $L = 75, 132, 26, 45, 10, 14, 3, 22, 5, 34$ e 18 anos. Escolheram-se as ondas relativas aos quatro primeiros picos do periodograma, de modo que o modelo não ficasse

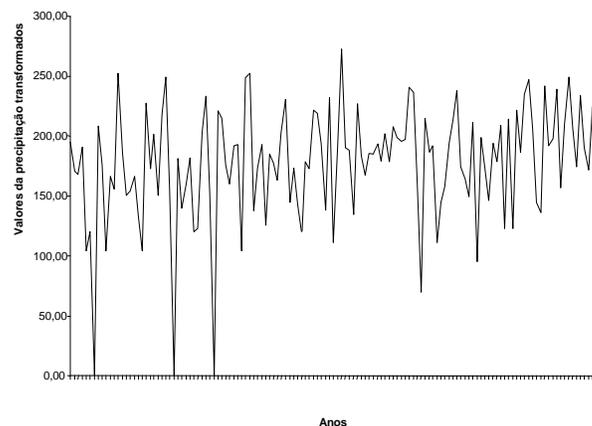


Figura 2. Valores transformados, $z=100 \log(x+1)$, das precipitações pluviométricas de janeiro em Fortaleza, CE (1849-1980).

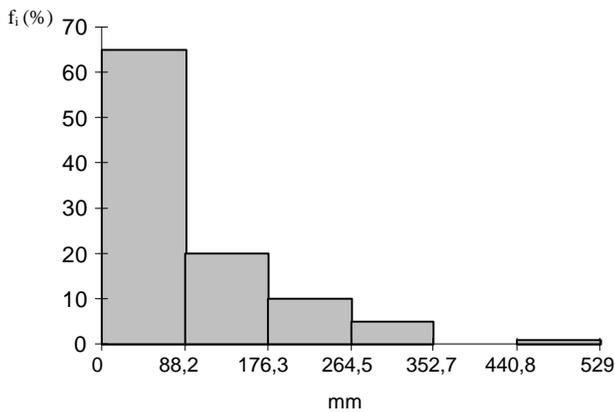


Figura 3. Distribuição de frequência das precipitações pluviométricas de janeiro em Fortaleza, CE, de 1849 a 1980.

muito complexo. O coeficiente de determinação, r^2 , geralmente é muito baixo quando há a ocorrência de muitas ondas, visto que as mesmas, embora não muito expressivas individualmente, no somatório de suas contribuições representam uma grande parte da variação.

O modelo proposto, constituído das quatro ondas mais significativas foi:

$$\begin{aligned} \hat{z}_t = & \bar{z} + \hat{A}_{75} \cos \frac{2p}{75} t + \hat{A}_{132} \cos \frac{2p}{132} t \\ & + \hat{A}_{26} \cos \frac{2p}{26} t + \hat{A}_{45} \cos \frac{2p}{45} t \\ & + \hat{B}_{75} \sin \frac{2p}{75} t + \hat{B}_{132} \sin \frac{2p}{132} t \\ & + \hat{B}_{26} \sin \frac{2p}{26} t + \hat{B}_{45} \sin \frac{2p}{45} t \end{aligned}$$

As estimativas iniciais da média e dos quatro pares de coeficientes A e B foram:

$$\bar{z} = 177,44$$

$$\hat{A}_{75} = 0,082; \hat{A}_{132} = -3,922;$$

$$\hat{A}_{26} = -2,216; \hat{A}_{45} = -2,529$$

$$\hat{B}_{75} = -11,473; \hat{B}_{132} = -10,664;$$

$$\hat{B}_{26} = -9,526; \hat{B}_{45} = -9,344$$

que após a aplicação do método do descenso cíclico (BLOOMFIELD, 1976), redundaram nas estimativas finais apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Estimativas dos componentes obtidas pelo método do descenso cíclico.

Componentes	Freqüências	Coseno	Seno
1	0,0782	-4,9763	-8,2090
2	0,0420	-5,6189	-12,9987
3	0,2361	-3,9709	-6,7262
4	0,1340	-5,2596	-4,9400

A estimativa da média foi $\hat{\bar{x}} = 178,51$ e a soma dos quadrados do resíduo cerca de 270 114. A soma de quadrados do resíduo dos valores transformados, que foi usada pelo método dos quadrados mínimos para as estimativas iniciais foi de 298 656.

O modelo selecionado tomando-se as estimativas finais, foi:

$$\begin{aligned} \hat{z}_t = & 178,51 - 4,9763 \cos(0,0782t) - 8,2090 \sin(0,0782t) \\ & - 5,6189 \cos(0,0420t) - 12,9987 \sin(0,0420t) \\ & - 3,9709 \cos(0,2361t) - 6,7262 \sin(0,2361t) \\ & - 5,2596 \cos(0,1340t) - 4,9400 \sin(0,1340t) \end{aligned}$$

$$t = 1, 2, 3, \dots, 132$$

e sua representação gráfica pode ser observada na Figura 6.

Os valores calculados coeficientes de correlação linear (r_t) e por postos (r_p) foram $r_t = 0,542$ e $r_p = 0,494$, $r_t = 0,783$ e $r_p = 0,759$, $r_t = 0,860$ e $r_p = 0,825$, para as médias móveis de 3, 7 e 11 anos, respectivamente. Todos os coeficientes foram alta-

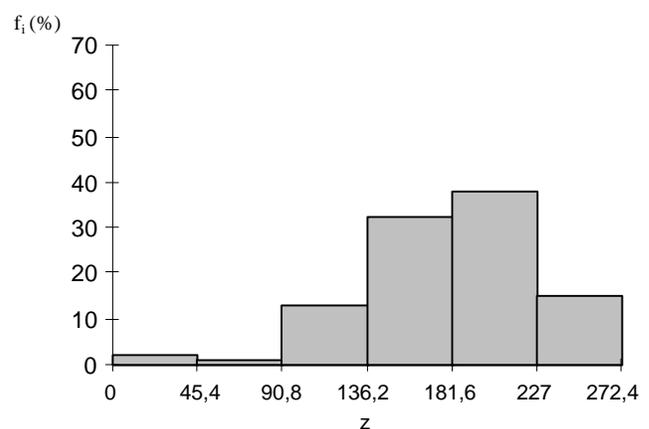


Figura 4. Distribuição de frequência dos valores transformados, $z = 100 \log(x+1)$, das precipitações pluviométricas de janeiro em Fortaleza, CE, de 1849 a 1980.

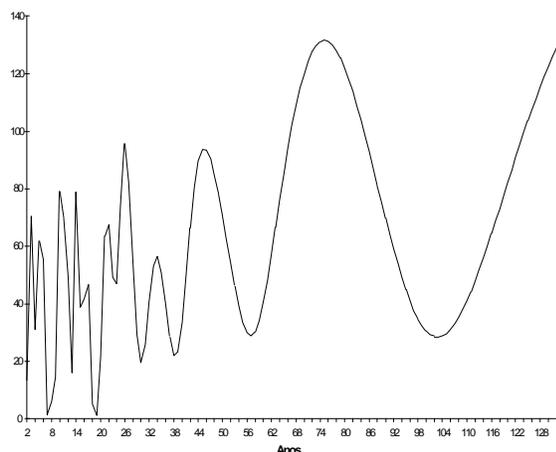


Figura 5 Periodograma dos valores transformados das precipitações pluviiais de janeiro em Fortaleza, CE. Períodos inteiros de 2 a 132 anos.

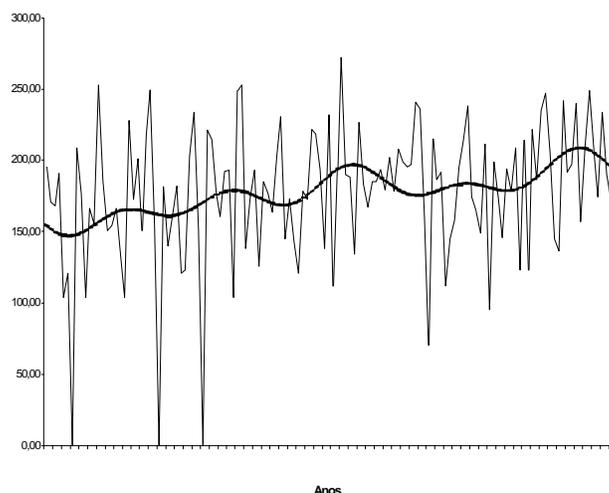


Figura 6. Valores transformados das precipitações pluviiais de janeiro em Fortaleza, CE, de 1849 a 1980, e o modelo estimado desde as 4 ondas senoidais de maior amplitude.

mente significativos, indicando que o modelo representa adequadamente a tendência dos dados (Figura 7).

Na comparação dos valores estimados pelo modelo com um novo conjunto de observações de chuvas de janeiro em Fortaleza, para o período de 1981 a 1995 (Tabela 1), os coeficientes de correlação linear e por postos tiveram os valores, respectivamente, de $r = 0,30$ e $r_p = 0,28$, ambos não significativos a 5%. Isto vem comprovar o que é citado na literatura, que "nem sempre o modelo que ajusta melhor é o que melhor prevê" (MORETTIN & TOLOI, 1981). Também pode ser atribuída esta falta de significância dos r ao pequeno número de observações usadas (15 anos) no teste da previsão. Sabendo-se que ciclos climáticos estendem-se por um mínimo de 50 anos, pode-se avaliar a exigüidade dos dados.

Verificando a possibilidade de relacionar os totais anuais (y) com os dados de janeiro (x) em Fortaleza, determinaram-se correlações linear e de postos, $r = 0,42$ e $r_p = 0,36$, altamente significativas. A equação de regressão que relaciona estas duas variáveis foi:

$$\hat{y}_i = 1211,95 + 2,3228 x_i$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, 132$$

Entretanto, embora a significância de r , o seu baixo valor não credenciou o modelo como previsor dos totais anuais a partir do mês de janeiro. Realmente, um único mês do período chuvoso teria sérias dificuldades de representar corretamente toda a chuva anual. Mais razoável seria escolher uma base informacional mais ampla, como por exemplo, o trimestre março-abril-maio, responsável por cerca de 60% das chuvas anuais (MARKHAM, 1974)

CONCLUSÕES

Das onze ondas estimadas, as quatro primeiras, na ordem decrescente de suas amplitudes, foram

$$\begin{aligned} \hat{z}_i = & 178,51 - 4,9763\cos(0,0782t) - 8,2090\sen(0,0782t) \\ & - 5,6189\cos(0,0420t) - 12,9987\sen(0,0420t) \\ & - 3,9709\cos(0,2361t) - 6,7262\sen(0,2361t) \\ & - 5,2596\cos(0,1340t) - 4,9400\sen(0,1340t) \end{aligned}$$

$$t = 1, 2, 3, \dots, 132$$

escolhidas para participar do modelo. O modelo representou adequadamente a tendência dos dados, mas não foi suficientemente preciso na previsão de novos valores das chuvas de janeiro em Fortaleza. Além disso, as chuvas de janeiro não permitiram estimar de forma adequada os totais anuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, E., BAPTISTA DA SILVA, J. Periodicidades Ocultas e Previsão de Secas (comunicação preliminar). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1981. Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia / UFPel, 1981, 289 p. p. 263-269.

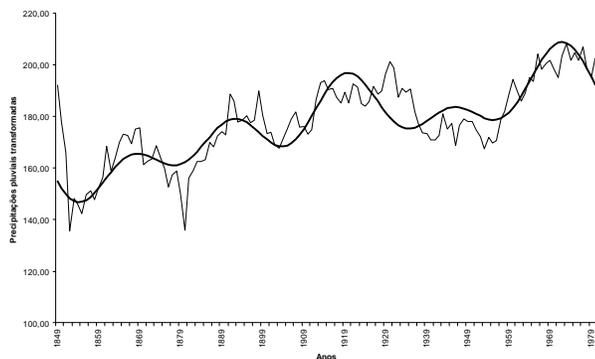


Figura 7. Médias móveis de 11 anos dos valores transformados das precipitações pluviométricas de janeiro em Fortaleza, CE, de 1849 a 1980, e o modelo estimado desde as 4 primeiras ondas senoidais de maior amplitude.

Tabela 1. Total de precipitação de janeiro em Fortaleza, CE, referentes ao período de 1981 a 1995, precipitações transformadas e valores estimados pelo modelo baseado nas 4 primeiras ondas senoidais de maior amplitude.

Anos	Precipitações	Precipitações transformadas	Precipitações estimadas pelo modelo
1981	99, 21	200, 09	197, 68
1982	95, 29	198, 36	198, 69
1983	22, 00	136, 17	199, 45
1984	105, 29	202, 65	199, 90
1985	232, 18	236, 77	199, 99
1986	115, 01	206, 45	199, 70
1987	91, 19	196, 47	199, 02
1988	182, 10	226, 27	197, 98
1989	256, 39	241, 06	196, 91
1990	100, 88	200, 81	194, 98
1991	73, 10	186, 98	175, 26
1992	43, 30	164, 64	175, 61
1993	50, 80	171, 43	176, 07
1994	138, 60	214, 49	176, 53
1995	133, 71	212, 94	176, 90

BLOOMFIELD, P. **Fourier Analysis of Time Series**. New York : John Wiley & Sons Inc., 1976. 257 p.

CONRAD, V., POLLACK, L.W. **Methods in Climatology**. Cambridge : Harvard University Press, MA, 1950. 459 p.

DIXON, W.J., MASSEY Jr., F.J. **Introduction to Statistical Analysis**. 3. ed., Tokyo : International Student Edition, McGraw-Hill Kogakusha Ltd, 1969. 638 p.

GIRARDI, C., TEIXEIRA, L. **Prognóstico de Período de Seca para o Nordeste Brasileiro**. São José dos Campos, SP, : Centro Técnico da Aeronáutica - CTA/IAE, 1978. 18 p. (Relatório Técnico ECA-06/78).

JENKINS, G.M. **Practical Experiences with Modelling and Forecasting Time Series**. Jersey : Gwilym & Partners (overseas) Ltd., 1979. 146 p.

LORENZ, E.N. The Mechanics of Vaccillation. **Journal of Atmospheric Science**, v. 3, p. 448-464, 1963.

MARKHAM, C. G. Apparent Periodicities in Rainfall at

Fortaleza, Ceará, Brazil. **Journal of Applied Meteorology**, v. 13, n. 1, p. 176-179. 1974.

MITCHELL Jr, J.M. A Critical Appraisal of Periodicities in Climate. In: WEATHER AND OUR FOOD SUPPLY. Ames, Iowa : Iowa State University, 1964, 306 p. p. 189-228.

MORETTIN, P.A., TOLOI, C.M.C. **Modelos para Previsão de Séries Temporais**. Rio de Janeiro : Instituto de Matemática Pura e Aplicada, v. 1 e 2, 1981. 623 p.

MORETTIN, P.A., MESQUITA, A.R., ROCHA, J.G.C. **Rainfall at Fortaleza, Ceará, Brazil, revisited**. São Paulo : Departamento de Estatística, IME, Universidade de São Paulo, 1983. 33 p. (Relatório Técnico RT-MAE-8303).