

ÍNDICES CLIMÁTICOS E VERANICOS EM QUIXERAMOBIM, CEARÁ

Bruno Jacques Durand¹ & José Nilson Bezerra Campos²

RESUMO – O Nordeste brasileiro é caracterizado por uma grande variabilidade climática, traduzindo-se por importantes variações interanuais do total de precipitação da estação chuvosa (os quatro meses de Fevereiro a Maio), e uma importante irregularidade dentro desses meses. A ocorrência de veranicos prolongados, ou seja períodos de vários dias consecutivos sem precipitação ou com precipitação não significativa, pode causar grandes prejuízos nas culturas do sistema de sequeiro.

Utilizando 94 anos de dados diários de precipitação em Quixeramobim, CE, estudou-se a distribuição de probabilidade da duração do maior veranico da quadra chuvosa. As distribuições que se ajustaram melhor segundo o teste do Qui-quadrado foram a Gama e a Lognormal.

Aplicou-se uma análise de regressão mostrando que dos dois índices climáticos geralmente utilizados quando trata-se de precipitação no Nordeste (dipolo do Atlântico tropical e índice da região Niño 3), o dipolo explica uma parte maior da variância do total de chuva da quadra chuvosa (21%) enquanto o Niño 3 explica uma parte maior da variabilidade da duração do maior veranico (27%).

ABSTRACT – The Northeastern region of Brazil is affected by a large climate variability, associated to the interannual variability of the total rain in the rainy period occurring mainly during the months from February to May, and the irregularity of rain during the rainy season. Long dry spells, or periods without rain or with insignificant rain may cause important prejudices in the rain fed agriculture system.

Using 94 years of daily precipitation in Quixeramobim, CE, the distribution of the duration of the longest dry spell in the four months February to May was studies. The best fit according to the Qui-squared test was obtained with the Gama and Lognormal distributions.

Regression analysis was applied with the two climatic indexes most commonly used for this region (tropical Atlantic dipole and Niño 3 temperatures indexes), showing that the dipole explains 21% of the variability of the February to May total rain, and the Niño 3 index explains 27% of the variability of the duration of the longest dry spell.

Palavras-chave: veranico, El Niño, dipolo de TSM do Atlântico tropical.

1) Doutorando em Recursos Hídricos na Universidade Federal do Ceará, Fortaleza / CE. e-mail: brdurand@yahoo.com.

2) Professor Titular da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza / CE. e-mail: nilson@ufc.br.

1 – INTRODUÇÃO

O Nordeste do Brasil é caracterizado por uma variabilidade climática muito alta, que se traduz por regimes pluviométricos muito irregulares tanto no espaço como no tempo. A estação chuvosa principal no Nordeste setentrional ocorre nos meses de fevereiro – março – abril – maio (FMAM), devido ao deslocamento ao sul da Zona de Convergência InterTropical (ZCIT) (Hastenrath and Heller 1977).

Grande parte do semi-árido nordestino vive da agricultura de sequeiro, onde os rendimentos dependem, inevitavelmente, da quantidade, da distribuição e da intensidade das chuvas. A alta variabilidade climática traz então consequências sócio-econômicas drásticas.

Vários autores relacionaram índices climáticos de anomalias de Temperatura de Superfície do Mar (TSM) dos oceanos Pacífico (fenômeno El Niño – Oscilação Sul ENSO) e Atlântico (dipolo de TSM) com as anomalias de precipitação no Nordeste (Moura & Shukla, 1981; Uvo et al., 1998). Aragão (1986) mostrou que das regiões do Pacífico, a região Niño 3 (entre 150°W e 90°W, e entre 5°S e 5°N) é a mais influente quanto as anomalias de precipitações no Nordeste.

A fase positiva do dipolo de TSM do Atlântico tropical, ou seja anomalias de TSM positivas no Atlântico tropical norte e negativas no Atlântico tropical sul é associada a anomalias negativas de precipitação no Nordeste, enquanto a fase negativa do dipolo é favorável às precipitações nesta região (Moura & Shukla, 1981).

A fase quente do fenômeno ENSO, El Niño, associada a anomalias positivas de TSM no setor leste do Pacífico equatorial, inhibe as precipitações no Nordeste do Brasil, enquanto a fase fria ou La Niña, favorece as mesmas (Uvo et al., 1998).

A grande variabilidade das precipitações não tem somente um sinal interanual, mas muitas vezes ocorrem períodos secos durante a estação chuvosa, vários dias consecutivos sem chuva ou com chuva não significativa, chamados de veranicos, e podendo ter consequências desastrosas no sistema de agricultura de sequeiro.

O estado do Ceará foi dividido em 8 macro-regiões climaticamente homogêneas (Xavier, 2001 em trabalho conjunto com a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME): Litoral norte, Litoral do Pecém, Litoral de Fortaleza, Maciço de Baturité, Ibiapaba, Jaguaribana, Cariri, Sertão Central e Inhamuns.

Foram estabelecidas normais climatológicas a partir de séries históricas para cada uma dessas macro-regiões. Na macro-região Sertão Central e Inhamuns a qual pertence a cidade de Quixeramobim, um ano é considerado normal quando o total de precipitações de FMAM encontra-se na faixa 449,7 mm – 605,8 mm.

Este trabalho visa a estudar a ocorrência de veranicos em Quixeramobim / CE, especialmente a duração do maior veranico dos meses FMAM, utilizando série de precipitações diárias, e relacioná-los com os índices climáticos do dipolo do Atlântico e El Niño.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – Dados de precipitação em Quixeramobim, CE

Foram obtidos dados de precipitação diária de Quixeramobim de duas fontes:

- a rede hidroclimatológica da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE para o período de 1913 a 1985 (<http://www.adene.gov.br>),

- o posto pluviométrico convencional da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCeme para o período 1974 – 2006 (<http://www.funceme.br>), totalizando 94 anos de dados diários, 1913 – 2006.

Foram isolados os quatro meses da estação chuvosa principal FMAM, para as análises estatísticas.

2.2 – Definição do maior veranico do ano

Como já mencionado, a qualidade da quadra chuvosa não é somente ligada ao total precipitado nos quatro meses FMAM, mas também à ocorrência ou não de períodos de vários dias consecutivos sem chuva, ou veranicos. Neste trabalho foram adotados dois limiares de chuva diária para definição de um veranico. No primeiro caso, é considerado veranico qualquer seqüência de dias sem chuva ou com chuva menor do que 1mm; enquanto no segundo caso o limiar é de 5mm de precipitação diária. Nota-se que uma precipitação diária de 1 mm não alcança o valor da evapotranspiração diária e então seu efeito no balanço hídrico é desprezível. No caso do limiar de 5 mm, não pode ser considerado veranico uma seqüência de vários dias consecutivos com precipitações de 5 mm por exemplo, e isso deve ser levado em conta no levantamento dos veranicos.

Com essas duas definições de veranicos foi determinado para cada ano a duração do maior veranico ocorrido nos quatro meses da estação chuvosa principal FMAM. Isso constitui então uma série anual de 94 valores, para os dois limiares utilizados na definição dos veranicos.

Nas análises estatísticas foram também utilizados o total de precipitação dos quatro meses da estação chuvosa FMAM.

2.3 – Índices climáticos

2.3.1 – Dipolo de Temperatura de Superfície do Mar do Atlântico tropical

Foram utilizados dados mensais de TSM, disponíveis para o período 1854 a 2007 (Smith & Reynolds, 2004) obtidos no site do *International Research Institute for Climate and Society – IRI* (<http://ingrid.ldgo.columbia.edu/>).

O índice do dipolo de TSM do Atlântico tropical foi calculado segundo a metodologia proposta por Servain (1991). Foram calculadas médias da TSM nas duas bacias seguintes:

- Atlântico tropical norte entre 5°N e 30°N e de 60°W até a costa da África;
- Atlântico tropical sul entre 20°S e 5°N e para toda a extensão longitudinal da bacia.

A Figura 1 mostra as séries mensais no período 1913-2006 da média de TSM (a) na bacia do Atlântico tropical norte e (b) na bacia do Atlântico tropical sul

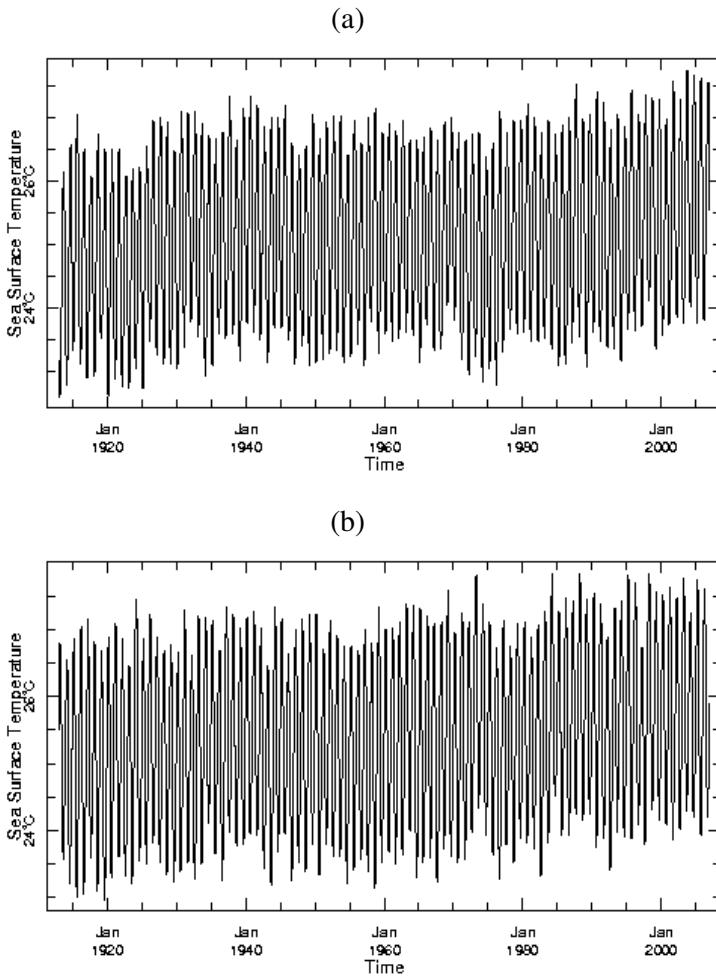


Figura 1: Série mensal da média de TSM no período 1913-2006 (a) na bacia do Atlântico tropical norte e (b) na bacia do Atântico tropical sul

Foi calculada a climatologia mensal para cada bacia e as anomalias mensais normalizadas pelo desvio padrão. O dipolo de TSM do Atlântico tropical é então definido como diferença entre as anomalias normalizadas de TSM da bacia do Atlântico tropical norte a as anomalias normalizadas da bacia sul.

A Figura 2 apresenta a média do dipolo de TSM do Atlântico tropical para os quatro meses FMAM do período 1913-2006.

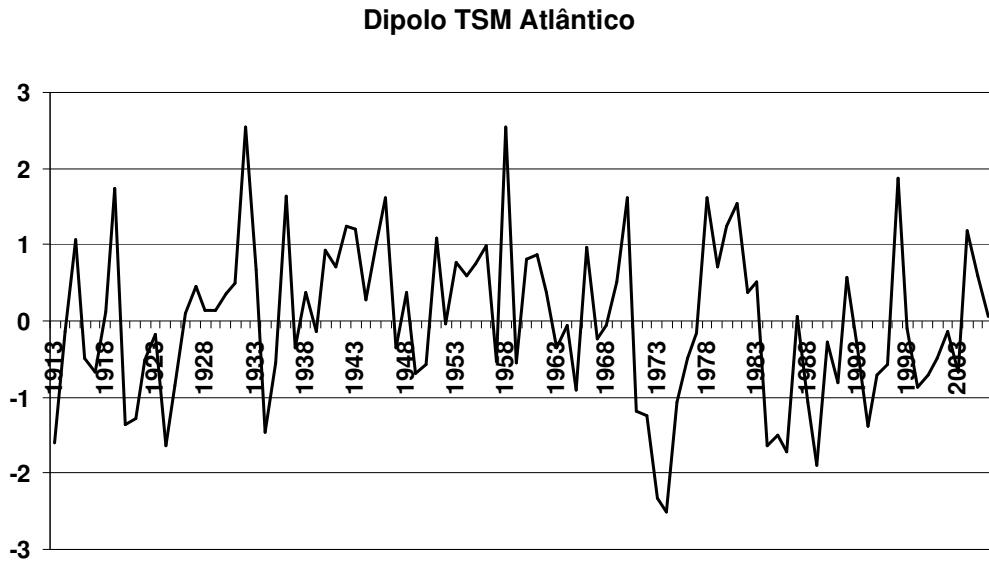


Figura 2: Média nos meses FMAM do período 1913-2006 do índice do dipolo de TSM do Atlântico tropical.

2.3.2 – Índice El Niño 3

O índice de anomalia de TSM na região Niño 3 foi obtido da mesma fonte (Kaplan et al., 1998; Reynolds, 2002); A Figura 3 apresenta deste índice para FMAM de cada ano do período 1913-2006.

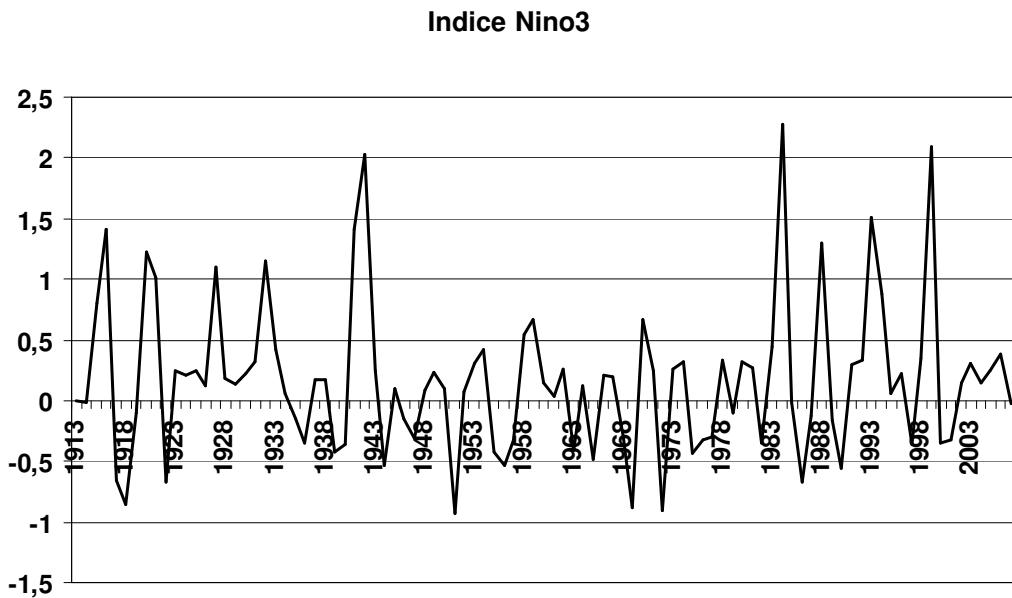


Figura 3: Média nos meses FMAM do período 1913-2006 do índice Niño 3.

2.4 – Análises estatísticas

2.4.1 – Ajuste de distribuições – Teste do Qui-quadrado

Após construção da série de duração do maior veranico da estação chuvosa, foi procurado qual distribuição tinha o melhor ajuste, aplicando-se o teste do Qui-quadrado. O teste de aderência do Qui-quadrado é um teste de hipótese onde a hipótese nula é que a distribuição estudada seja aquela testada com seus parâmetros estimados com base nos dados amostrais (Campos, 83). A hipótese é testada fazendo-se a comparação entre as freqüências observadas na série amostral e as freqüências esperadas da distribuição testada, em cada classe definida. O procedimento é o seguinte:

- calcula-se os parâmetros da distribuição cujo ajuste está sendo testado, a partir dos dados amostrais;
- são escolhidos intervalos equiprováveis, no caso da série de 94 valores foram escolhidos 10 intervalos cujos limites superiores são 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 e 1;
- é aplicada a esses limites superiores a distribuição inversa da distribuição cujo ajuste está sendo testado;
- após ordenação da série de observações em ordem crescente, são contados quantos valores tem-se até cada limite superior de intervalo obtidos na fase anterior e deduz-se por diferença quantos valores observados há em cada intervalo;
- como os limites dos intervalos foram escolhidos para cada intervalo ser equiprovável, o número de valores esperado em cada um deles é 9,4, sendo 94 valores igualmente repartidos em 10 intervalos.

A estatística do teste é:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(F_{obs_i} - F_{esp_i})^2}{F_{esp_i}}, \quad (1)$$

Onde: F_{obs_i} é a freqüência observada na iésima classe,

F_{esp_i} é a freqüência esperada na iésima classe.

n é o número de classes.

Valores críticos do χ^2 são tabelados, em função do número de graus de liberdade, e do nível de significância desejado. O número de graus de liberdade depende do número de parâmetros das distribuições ajustadas e do número de classes. No caso de 10 intervalos e de distribuição a 2 parâmetros (as distribuições testadas foram a Gama, a Lognormal e a Normal, todas elas com 2 parâmetros), tem-se 7 graus de liberdade, o que corresponde a um valor crítico do Qui-quadrado de 16,012 no nível de significância de 0,95.

2.4.1 – Regressão linear

Foi aplicada uma análise de regressão linear entre:

- a série do total de chuva nos meses FMAM e as duas séries dos índices climáticos (dipolo e Niño 3).

- a série da duração do maior verânico durante os meses FMAM e as duas séries dos índices climáticos.

Foi testada a significância das correlações ao nível $p=0,05$ pelo teste de t-Student.

Foram comparadas as proporções de variância de cada uma das duas variáveis citadas explicada por cada índice climático.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram calculadas a partir dos 94 anos de dados as duas séries de duração do maior veranico dos meses FMAM, utilizando os dois limiares de 1 mm e 5 mm de precipitação diária.

As estatísticas das duas distribuições estão detalhadas na Tabela 1 a seguir.

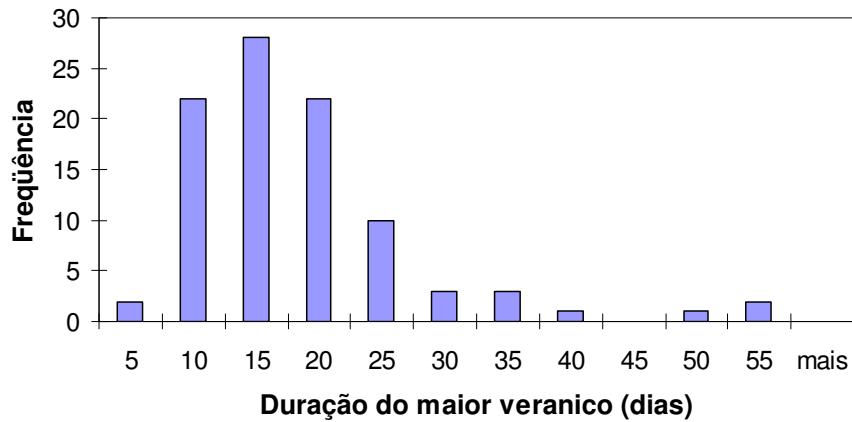
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão
Limiar 1 mm	5	55	16,6	9,1
Limiar 5 mm	5	57	20,9	10,1

Tabela 1: Estatísticas (em dias) das distribuições da duração do maior veranico, dependendo do limiar utilizado para definição do veranico.

No caso da utilização do limiar de 5 mm na definição dos veranicos, a distribuição obtida tem média maior (20,9 dias) e devio padrão (10,1 dias) maior do que no caso da definição com o limiar de 1 mm (média de 16,6 dias e desvio-padrão de 9,1 dias).

A Figura 4 apresenta os histogramas de freqüência para a duração do maior veranico de FMAM de 1913-2006 (a) com o limiar de 1mm e (b) com o limiar de 5mm. As duas distribuições obidas são parecidas, apresentando características de assimetria, sendo que no caso do limiar de 5 mm, a distribuição é puxada para valores maiores, como espera-se. Nota-se a presença de alguns valores acima de 45 dias nos dois casos, associados a anos extremos.

(a) Histograma de freqüência - limiar de 1mm



(b) Histograma de freqüencia - limiar de 5mm

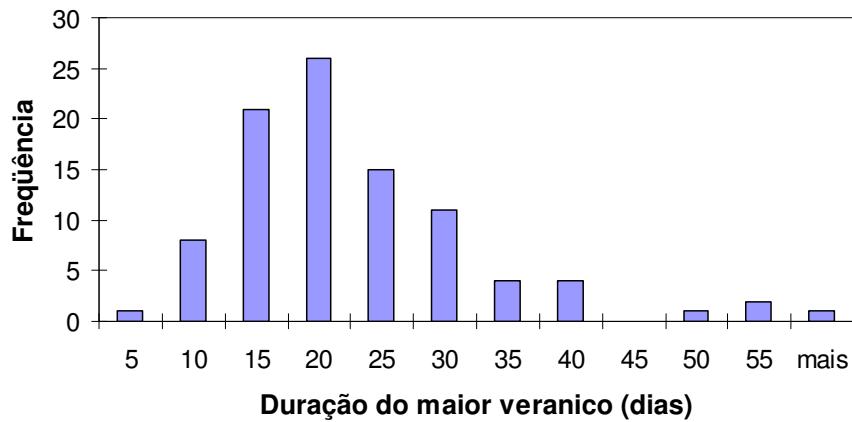


Figura 4: Histograma de freqüência da duração do maior verânico dos meses FMAM (a) com o limiar de 1 mm e (b) com o limiar de 5 mm.

Foi feito então um ajuste de distribuição utilizando o teste do Qui-quadrado. Foram testados as três distribuições seguintes: Gama, Lognormal e Normal. Os parâmetros dessas distribuições foram estimados a partir das estatísticas amostrais pelas seguintes equações:

$$\beta = \frac{\sigma^2}{\mu} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{\mu}{\beta} \quad ..(3)$$

$$\sigma_y^2 = \ln\left(\frac{\sigma^2}{\mu^2} + 1\right) \quad ..(4)$$

$$\mu_y = \ln \mu - \frac{\sigma_y^2}{2} \quad ..(5)$$

onde μ e σ são a média e o devio-padrão amostrais (e também parâmetros da Normal); α e β são os parâmetros da distribuição Gama; e μ_Y e σ_Y são os parâmetros da distribuição Lognormal.

Utilizando 10 intervalos, e uma distribuição de 2 parâmetros, tem-se $10-2-1 = 7$ graus de liberdade. Ao nível de 5% o valor crítico do Qui-quadrado é então 16,012.

Na Tabela 2 apresenta-se os valores do Qui-Quadrado para os testes realizados:

	Ajuste da Normal	Ajuste da Gama	Ajuste da Lognormal
Limiar de 1 mm	26,42	12,17	11,74
Limiar de 5 mm	18,34	11,96	7,06

Tabela 2: Valores do Qui-quadrado para os testes de ajuste das distribuições Normal, Gama e Lognormal nos casos dos limiares de 1 mm e 5 mm.

Nota-se que nos dois casos a distribuição Normal não passou o teste, o que era esperado devido à assimetria da distribuição. No caso do limiar de 1 mm, as duas distribuição Gama e Lognormal ajustaram-se de maneira similar. No caso do limiar de 5 mm, o melhor ajuste foi obtido para a distribuição Lognormal, com o valor de Qui-quadrado de 7,06.

Para analisar-se a influência dos índices climáticos já mencionados na qualidade da estação chuvosa, aplicou-se uma análise de regressão linear. A Figura 5 mostra a regressão entre o total de precipitação de FMAM e os dois índices climáticos mencionados.

Verificou-se correlações negativas entre os dois índices climáticos e o total de precipitação de FMAM, de -0,46 e de -0,33. Nota-se que para séries de 94 valores, correlações maiores do que 0,203 são significativas ao nível $p=0,05$ pelo teste de t-Student. Como já mencionado, valores positivos dos dois indicadores climáticos são associados a situações desfavoráveis à precipitação no Nordeste, enquanto valores negativos indicam situações favoráveis à precipitação. Isso explica o fato de ter-se correlações negativas.

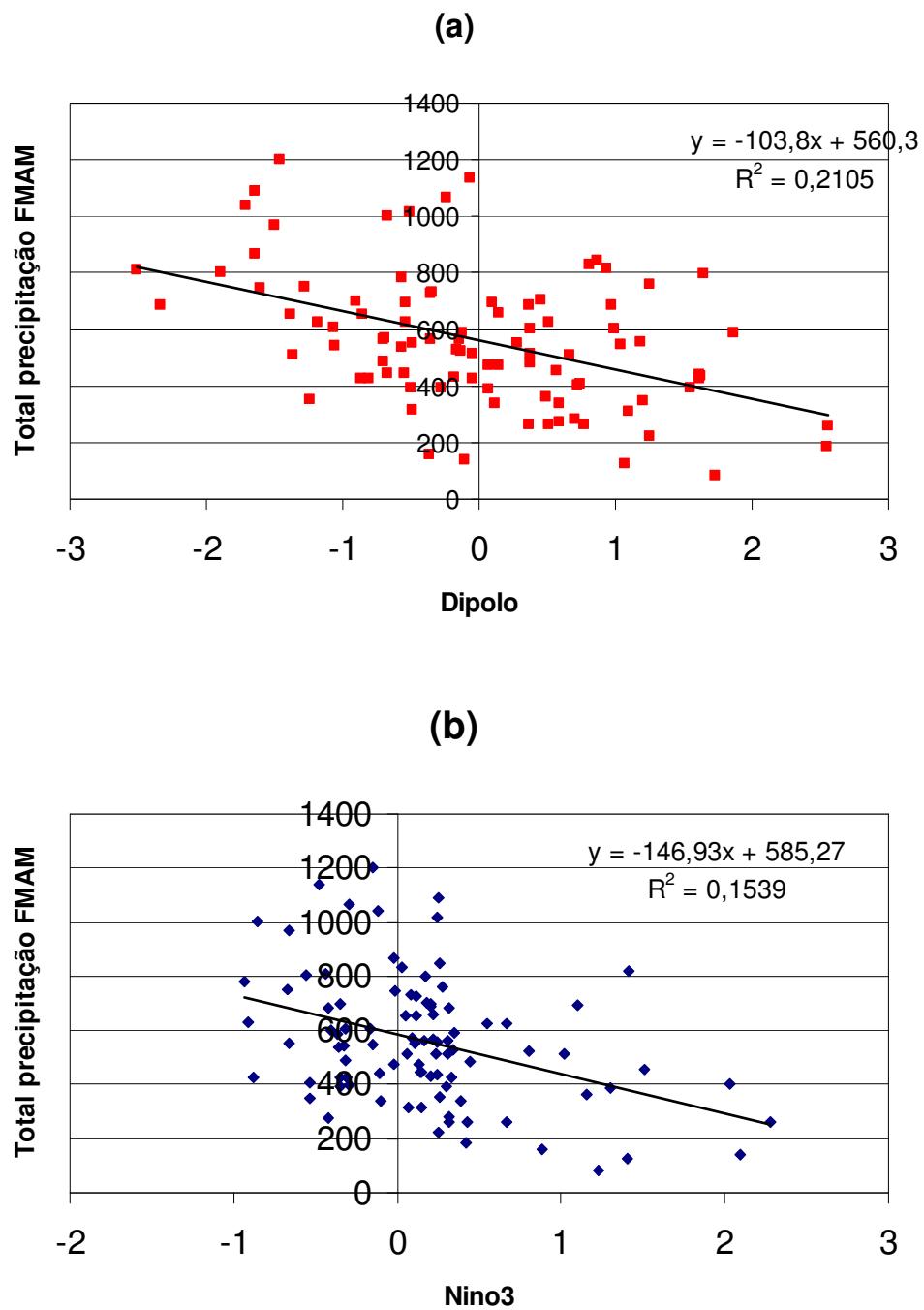


Figura 5: Regressão linear entre o total de precipitação de FMAM de 1913-2006 e (a) o dipolo de TSM do Atlântico tropical (b) o índice da região Niño 3

A Figura 6 apresenta regressões entre a duração do maior veranico de FMAM e (a) o dipolo de TSM do Atlântico tropical e (b) o índice de TSM da região Niño 3.

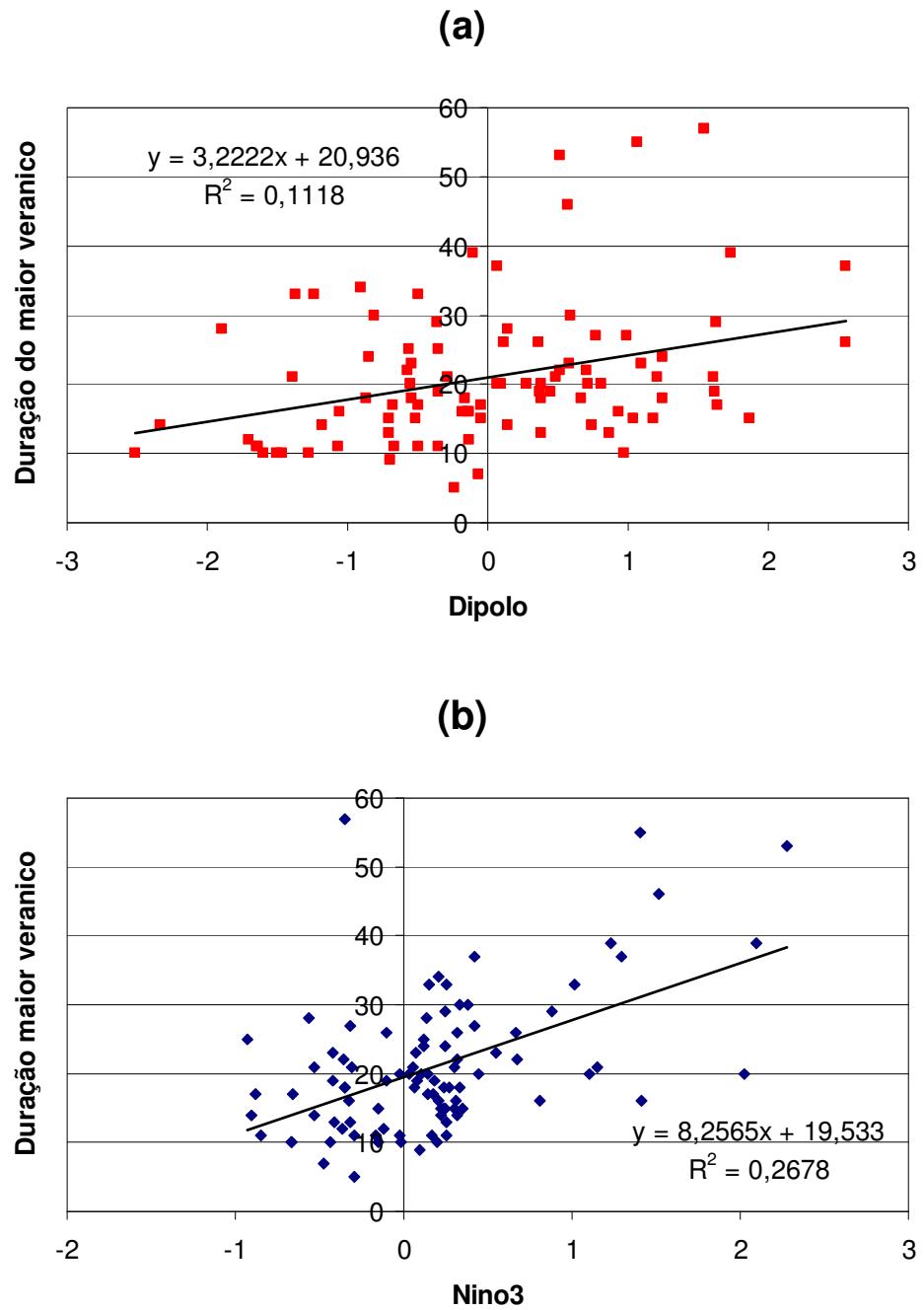


Figura 6: Regressão linear entre a duração do maior veranico de FMAM de 1913-2006 e (a) o dipolo de TSM do Atlântico tropical (b) o índice da região Niño 3

Neste caso as correlações obtidas são positivas, pois os maiores valores de duração do maior veranico correspondem a situações desfavoráveis às precipitações, caracterizadas pelos menores valores dos índices climáticos. O índice de TSM da região Niño 3 explica 26,8% da variabilidade da duração do maior veranico, enquanto o índice do dipolo de TSM de Atlântico tropical explica 11,2% da mesma.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Utilizando uma série diária de precipitações de 94 anos em Quixeramobim / CE, foi determinada a duração do maior veranico dos meses FMAM com dois critérios de definição dos veranicos (precipitação diária inferior a 1 mm e 5 mm respectivamente. O melhor ajuste de distribuição segundo o teste do Qui-quadrado foi pelas distribuições Gama e Lognoemal.

Uma análise de regressão linear mostrou que a variabilidade do índice do dipolo de TSM do Atlântico tropical explica 21% da variabilidade do total de precipitações da quadra chuvosa, e 11,2% da variabilidade da duração do maior veranico, enquanto o índice de anomalia de TSM na região Niño 3 explica 15,4% da variabilidade do total de chuva dos meses FMAM e 36,8% da duração do maior veranico.

Uma análise de “*outliers*” faz-se necessária para determinar o status dos pontos extremos (duração do maior veranico de mais de 45 dias), e então refinar a análise estatística.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP pela Bolsa de Doutorado concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- Aragão, J. O. R., 1986: A general circulation model investigation of the atmospheric response to El Niño. Coral Gables: University of Miami, 144 pp. PhD Thesis.
- Campos, H. Estatística não paramétrica, 4. ed., Piracicaba: ESALQ/ USP, 1983. 349 p
- Kaplan, A., M. Cane, Y. Kushnir, A. Clement, M. Blumenthal, and B. Rajagopalan, Analyses of global sea surface temperature 1856-1991, Journal of Geophysical Research, 103, 18,567-18,589, 1998
- Moura, A.D., and J. Shukla, 1981: On the Dynamics of Droughts in Northeast Brazil: Observations, Theory and Numerical Experiments with a General Circulation Model. Jour. Atm. Sci., 38, 2653–2675.
- Reynolds, R.W., N.A. Rayner, T.M. Smith, D.C. Stokes, and W. Wang, 2002: An Improved In Situ and Satellite SST Analysis for Climate. J. Climate, 15, 1609-1625.

Servain, J., 1991: Simple Climatic Indices for the Tropical Atlantic Ocean and Some Applications. Journal of Geophysical Research, Vol. 96, N°C8, pp 15137-15146.

Smith, T. M., and R. W. Reynolds, 2004: Improved extended reconstruction of SST (1854-1997), J. Clim., 17, 2466-2477

Uvo, C.R.B., Repelli, C.A., Zebiak, S.E. et al. The relationships between tropical Pacific and Atlantic SST and the Northeast Brazil monthly precipitation. Journal of Climate, Boston-MA, v. 11, p. 551-562, 1998.

Xavier, TMBS, 2001: Tempo de chuva: estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste setentrional - Fortaleza: ABC Editora.