

# ESTUDO DA VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DE PERNAMBUCO, BRASIL

## RAINFALL VARIABILITY STUDY IN THE PERNAMBUCO STATE, BRAZIL

---

Ewerton Cleudson de Sousa Melo<sup>1</sup>, Anailton Sales de Melo<sup>2</sup>, Enery Gislayne de Sousa Melo<sup>3</sup>, Thiago Luiz do Vale Silva<sup>4</sup>

1. *Doutor em Meteorologia . Email: ecmelo@yahoo.com*

2. *Doutorando em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande*

3. *Mestre em Física, UFRPE/DED*

4. *Mestrando em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande*

*Artigo recebido em 10/12/2010 e aceito em 03/06/2011*

---

### RESUMO

Utilizou-se da análise harmônica, como um método objetivo para identificar a sazonalidade das chuvas, aplicando as normais de precipitação mensal no período de 1960-90 para 39 estações no Estado de Pernambuco. As análises apresentaram distribuição da precipitação anual como a soma de seis diferentes curvas de senos (harmônicas). Apresentam-se mapas da contribuição à variância e o ângulo de fase dos três primeiros harmônicos, pois pretende-se explicar os principais fatores físicos responsáveis pelos padrões, que quantificam a maior parte da variância na distribuição da precipitação original desta área. O primeiro harmônico contribui cerca de 70%-90% da variância total. Os ângulos de fase deslocam-se em direção ao Leste do Estado, de acordo com o período de maior atuação dos sistemas em cada área. O segundo harmônico detecta as áreas sob influência topográfica e o terceiro harmônico apresentou grande variabilidade espacial em todo o Estado, sugerindo que a interação de circulações locais induzidas termicamente com a grande escala.

**Palavras-chave:** Precipitação, Análises Harmônicas, Variância.

### ABSTRACT

Harmonic analysis has been used as an objective method for analyzing the precipitation seasonality. It was applied to the monthly precipitation normal for nearly 40 stations in Pernambuco state throughout the period 1960-90. The distribution of the annual precipitation was expressed as the sum of six sine functions with different frequencies. The first three harmonics describe essentially the variance of the original precipitation distribution. Thus, percent variance reduction and the phase angle maps are exhibited for each one, in order to identify possible meteorological factors that are responsible for the observed patterns. Thereby the first harmonic generally represented 70-90% of the total variance and the phase angles moved toward east as longer was the period of action of the systems. The areas under influence of topography were detected through the second harmonic. Finally the third harmonic designates the interaction of large-scale with local circulations.

**Keywords:** Precipitation, Harmonic analysis, Variance.

## INTRODUÇÃO

Na região Nordeste do Brasil (NEB) está inserido o semi-árido, no qual existe o “Polígono das Secas”, que se caracteriza pelo balanço hídrico negativo, resultante de: precipitações médias anuais inferiores a 800mm, marcado pela escassez apresentando irregularidade e concentração das chuvas num curto período, apenas três meses; forte insolação, na média de 2800h/ano; temperaturas relativamente altas apresentando na médias anuais magnitudes na ordem de 23° a 29° C; evaporação de 2.000 mm/ano, umidade relativa do ar média em torno de 50%. (Lins & Burgos, 1985).

O Estado de Pernambuco (PE), localizado no NEB é conhecido como uma região que apresenta grande variabilidade do ponto de vista climático, com irregularidades no regime de chuvas tanto espacial quanto temporal, condicionando assim, incertezas nas atividades sócio-econômicas. Desta forma, os maiores valores são observados no Litoral e Zona da Mata com médias anuais oscilando entre 2.200 e 1.000 mm, no Agreste na ordem de 800mm, e no Sertão média de 600 a 400mm, excetuando-se as regiões de microclima.

A distribuição espaço-temporal do período chuvoso em PE é ocasionada por vários sistemas atmosféricos, sendo os principais

responsáveis pelas chuvas a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Serra, 1941; Hastenrath & Heller, 1977); as Frentes Frias (Serra, 1941; Aragão, 1976; Kousky, 1979); os Distúrbios de Leste ou Ondas de Leste (Yamazaki & Rao, 1977); os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) (Aragão, 1976; Virji, 1981; Kousky & GAN, 1981). Além dos sistemas de mesoescala (SM) como brisas terrestres (BT) e marítimas (BM) e os ventos valemontanha (VVM).

A análise harmônica é um método que permite decompor uma série temporal em um número determinado de senóides e cossenóides (Scott & Shulman, 1879), com períodos e amplitudes diferentes, desta forma pode-se associar aos fatores físicos observados na área. Para tanto, nesse trabalho, optou-se por informa o ângulo de fase na forma de meses, assim facilitando inclusive na associação dos sistemas atmosféricos com os resultados observados.

A utilização de métodos que permitem conhecer o comportamento da precipitação mensal e sua variabilidade durante o ano representa uma ferramenta imprescindível para o planejamento: na agricultura, da defesa civil, no turismo, entre outros. O objetivo principal deste trabalho é identificar, aplicando a análise de Fourier em séries temporais

de precipitação, extraindo os harmônicos de maior contribuição e associá-los a possíveis sistemas atmosféricos de grande escala baseado no período de ocorrência.

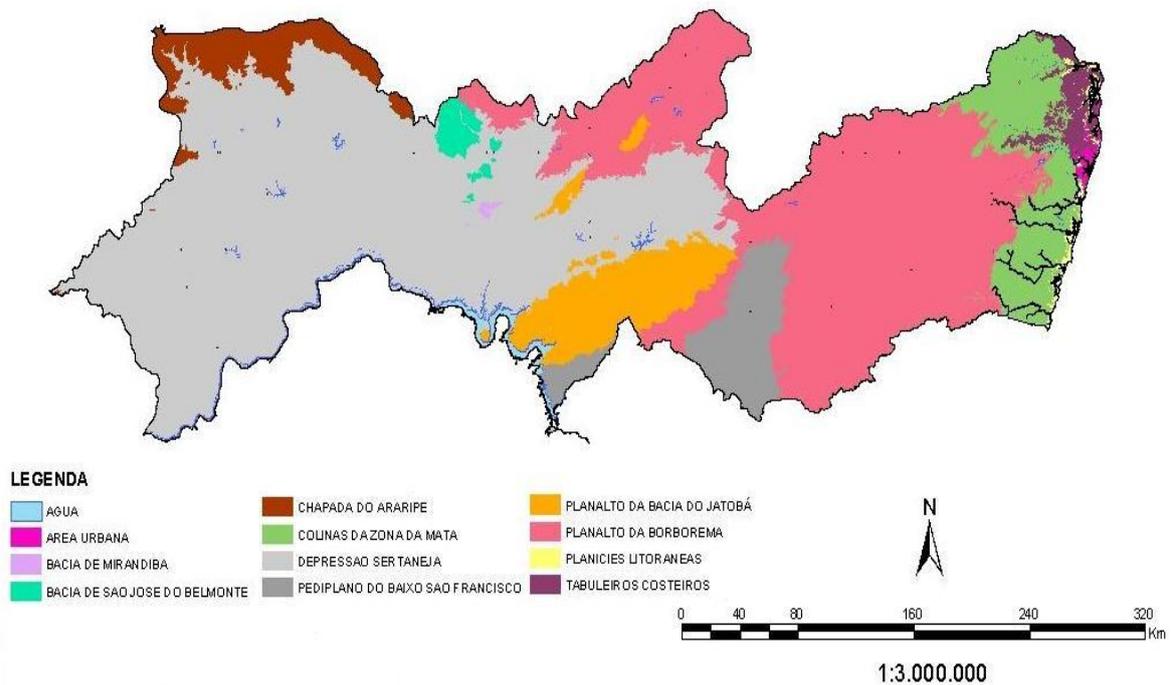
## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da área em estudo**

As áreas de relevo identificados em Pernambuco, de acordo com o Atlas de Pernambuco (2003), são (Figura 1 e Figura 2): a) Planície Costeira: é uma área plana e baixa que acompanha grosseiramente a orla marítima, penetrando para o interior do Estado através de alguns vales fluviais; b) Tabuleiros Costeiros: são feições de relevo de topo plano que se desenvolvem em terrenos sedimentares. Surgem em Pernambuco, como acontece em outros estados do Nordeste brasileiro, nas áreas ocupadas pelos sedimentos arenosos e argilo-arenosos do Grupo Barreiras; c) Colinas da Zona da Mata: surgem predominantemente em terrenos cristalinos da porção Oriental de Pernambuco; d) Planalto da Borborema: trata-se de um dos grandes compartimentos regionais do relevo Nordestino. Pernambuco apresenta altitudes compreendidas entre 500 a 800m, sendo que em algumas áreas, como exemplo Garanhuns, são encontrados restos de um antigo relevo

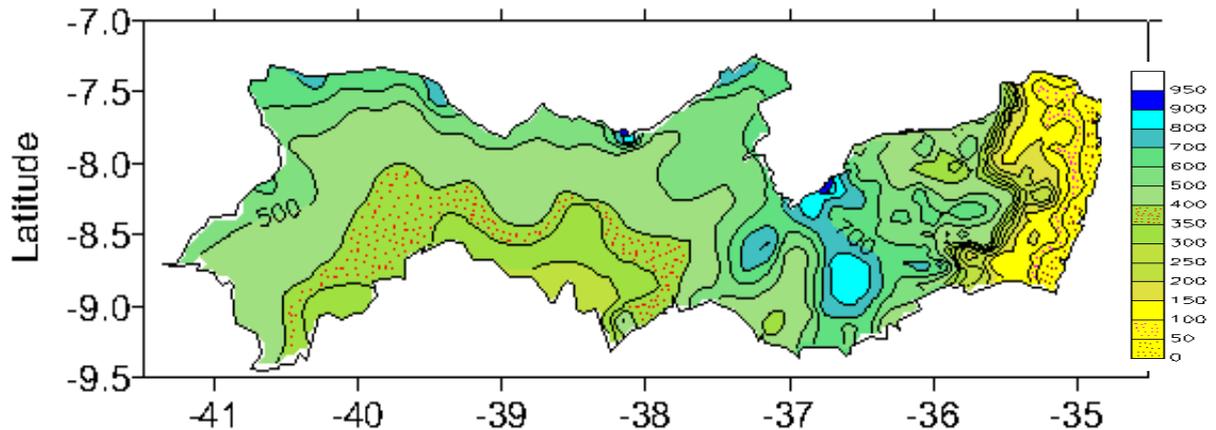
com altitudes que superam 1000 metros; e) Depressão Semi-árida: também denominado “Depressão Sertaneja”, é um dos mais extensos de Pernambuco. Caracteriza-se por apresentar uma topografia plana, correspondendo a um amplo pediplano, elaborado por processos erosivos desencadeados durante épocas mais secas. Apresentam altitudes que variam entre 400 e 500 metros, com uma série de problemas ambientais; f) Planalto da Bacia do Jatobá: é um típico planalto sedimentar, com topo plano e encostas íngremes e recortadas. Estende-se no sentido sudoeste-nordeste, desde o rio São Francisco até as proximidades de Arcoverde. Suas altitudes variam de 500 a 800 m, aproximadamente; g) Maciços Residuais: são compartimentos de relevo mais elevados, em geral desenvolvidos em rochas mais resistentes à erosão, encontrados dispersos sobre a Depressão Semi-árida. Um dos mais significativos exemplos de tais maciços é Triunfo, com altitude máxima excedendo os 1000 metros; h) Chapada do Araripe: é um relevo tabular (chapada) encontrado na bacia sedimentar do Araripe, que apresenta uma extensão leste-oeste da ordem de 180 km. As altitudes da Chapada ficam compreendidas entre 600 e 900 metros.

Figura 1 - Representação espacial do relevo do estado de Pernambuco.



(Fonte: Zoneamento Agroecológico de Pernambuco-ZAPE, Embrapa, 2002).

Figura 2 - Representação espacial da topografia (m) no estado de Pernambuco.



### Dados

Neste trabalho, utilizou-se da análise harmônica (Série de Fourier) em uma série de dados pluviométricos mensais referentes ao período de 1960 a 1990 de 39 postos pluviométricos pertencentes à rede da Superintendência de

Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE).

A análise harmônica tem sido uma ferramenta útil no estudo dos padrões de elementos meteorológicos, representando as variações de uma série temporal como base de funções periódicas de senos e

cossenos (Aslan e Topçu, 1994). Estas funções apresentam frequências como múltiplos de uma frequência fundamental. Segundo Wilks (1995) e Krikyla e Hameed (1989), uma dada série temporal de dados de amostras equidistantes de uma variável, pode ser representada por uma função harmônica:

$$y_t = \bar{y} + \sum_{j=1}^{N/2} C_j \cos(\omega_j t - \phi_j)$$

em que:  $\bar{y}$  = média dos valores da série,  $C_j$  = amplitude;  $\omega_j$  = frequência; e  $\phi_j$  = ângulo de fase.

É possível escrever a equação anterior utilizando a função seno. No entanto, a função cosseno é geralmente utilizada, pois o ângulo de fase ( $\phi$ ) pode ser facilmente determinado como correspondendo ao tempo em que a função harmônica é maximizada:

$$t = \frac{\phi_j N}{2\pi}$$

As equações para os cálculos da amplitude dos harmônicos segundo (Emery e Thomson, 1997) são:

- Amplitude ( $C_j$ ):

$$C_j = \sqrt{A_j^2 + B_j^2}$$

tem-se:  $A_j$  = coeficiente do cosseno;  $B_j$  = coeficiente do seno;

$C_j$  = vetor amplitude.

Os termos  $A_j$  e  $B_j$  são obtidos pelas seguintes fórmulas:

$$A_j = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N y_t \cos\left(\frac{2\pi t}{N}\right) \quad e$$

$$B_j = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N y_t \sin\left(\frac{2\pi t}{N}\right)$$

sendo:  $k = 2\pi t$ ,  $t$  = mês ( $t = 1, 2, \dots, 12$ )

- Fase ( $\phi$ )

O ângulo de fase ( $\phi$ ) é calculado a partir de uma das equações seguintes, dependendo do valor obtido para ( $A_j$ ):

$$\phi_j = \begin{cases} \tan^{-1} \frac{B_j}{A_j} & A_j > 0 \\ \tan^{-1} \frac{B_j}{A_j} \pm \pi \text{ ou } \pm 180^\circ & A_j < 0 \\ \frac{\pi}{2} \text{ ou } 90^\circ & A_j = 0 \end{cases}$$

A análise harmônica tem sido utilizada em vários estudos, com os mais diferentes propósitos. Conforme discutido por Azzali e Menetti (2001), este tipo de análise é útil para caracterizar diferentes regimes climáticos em regiões de transição bem como classificar as zonas climáticas. A vantagem de utilizar esta abordagem matemática está associada à possibilidade de identificar qual o padrão do clima dominante no domínio espacial e temporal. Desta forma, pode-se demonstrar as principais características relacionados com

a sazonalidade e, em particular, investigar como a pluviometria se correlaciona com os sistemas atmosféricos atuantes na área do domínio.

Os resultados baseados em análise harmônica expressam o comportamento de uma variável em função de sua periodicidade, amplitude e fase (período que ocorre o pico na amplitude). Neste processo, objetiva-se examinar como a pluviosidade contribui e interage para produzir o ciclo mais representativo dos dados observados. Serão exibidas na forma de mapas de contorno as componentes dos harmônicos dos registros de chuvas em postos pluviométricos distribuídos no estado de Pernambuco. Esta análise propõe identificar as periodicidades e em que meses ocorrem os máximos da chuva. Neste contexto, são necessários os três primeiros harmônicos, já que explicam cerca de 90% do total da variância nos harmônicos, associados aos principais fatores físicos responsáveis pelos padrões pluviométricos observados (Scott & Shulman, 1979; Yevjevich, 1972).

### Teste Fisher

O parâmetro usado para testar a significância dos harmônicos (Panofsky & Brier, 1968) é a variância do j-ésimo harmônico,  $C_j^2/2$ , determinado pelos coeficientes de Fourier  $A_j$  e  $B_j$ . O teste

mostra que se um dado valor de  $C_j^2/2$  não é estatisticamente diferente de um valor crítico  $C^2/2$  de um processo estocástico, o j-ésimo harmônico é considerado não significativo. É necessária uma distribuição amostral do parâmetro testado  $C_j^2/2$ . Uma vez encontrado um dado  $C_j^2/2$  significativo, sua fase é estimada de  $A_j$  e  $B_j$  calculados pela equação abaixo. Assim, o teste de Fisher usa a razão:

$$g_i = \frac{C_{\max}^2}{2s_x^2}$$

Para testar a significância dos Harmônicos, com  $C_{\max}^2$ , o maior valor da seqüência de valores de  $C_j^2$  e  $s_x^2$  estimado da variância de  $x_{D,\tau}$ . Para  $m = N/2$  se (N) é um número par ou  $m = (N - 1)/2$  se (N) é um número ímpar, sendo (N) o tamanho da amostra. A probabilidade,  $P_f$ , que o valor  $g_i > g$  da equação excederá um valor crítico ( $g$ ) que é dado por:

$$P_f = m(1-g)^{m-1} - \frac{m(m-1)}{2}(1-2g)^{m-1} + \dots + (-1)^{k-1} \frac{m!}{k!(m-k)!} (1-kg)^{m-1}$$

em que: (k) é o maior inteiro menor que  $1/g$ , normalmente, o primeiro termo do lado direito da equação possui uma aproximação adequada para ( $g$ ) crítico.

Assim é significativo quando  $g_i > g$  crítico.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se a distribuição espacial das contribuições das variâncias (Figura 3a) e das fases (3b) dos três primeiros harmônicos, pois tem uma maior representatividade, assim pretende-se explicar os fatores físicos associados aos padrões observados. Os harmônicos se mostraram significativos, segundo o teste de Fisher, ao nível de significância de 5%.

A Figura 3 representa a distribuição espacial da contribuição do primeiro harmônico com relação à variância (Figura 3a) e o período de ocorrência do máximo do harmônico (Figura 3b), respectivamente. Na Figura 3a, verifica-se que as contribuições foram superiores a 70% da variância em todo o Estado. No Sertão, destacaram-se alguns núcleos isolados que explicam até 88% da variância total da série, com um deslocamento temporal de oeste para leste iniciado em fevereiro (2), nas microrregiões de Araripina, Salgueiro, Petrolina e Itaparica passando para março (3) nas Microrregiões do Pajeú e Moxotó. Chegando ao Agreste Meridional em abril (4) passando para maio (5) na região do Agreste Central e Setentrional e na Zona da Mata e Litoral, como um todo. Nota-se uma configuração que corrobora com a

climatologia da chuva na área de estudo, como também sugere áreas homogêneas do ponto de vista dos principais sistemas meteorológicos atuantes nas respectivas quadras chuvosas concordando com Rodrigues e Lacerda (1998), de forma que pode associar essa distribuição dos máximos com os sistemas meteorológicos, tais como: frentes frias e os cavados em altos níveis que atuam ainda no mês de Fevereiro (2) ocasionando chuvas, principalmente, no Sertão; ZCIT, principal responsável pela distribuição no período chuvoso na região NEB, que começa a atuar em Fevereiro posicionando mais ao sul do Equador Térmico ( $4^0S$ ), atingindo o máximo nos meses de Março e principalmente em Abril, definindo, assim, uma estação chuvosa no Sertão e no Agreste Pernambucano. Esta configuração também concorda com a climatologia das chuvas no Agreste (que faz divisa com a Mata), na Zona da Mata e Litoral, podendo ser associada à distribuição dos máximos com os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) que atuam a partir do mês de Maio até Agosto, sendo o principal mecanismo responsável pelas chuvas intensas registradas no Litoral e na Zona da Mata, chegando a atingir parte da região do Agreste. Considerando o segundo harmônico (Figura 4), nota-se que as maiores contribuições (Figura 4a) foram observadas nas áreas de topografias mais

elevadas, associadas aos efeitos térmicos, destacando-se a Chapada do Araripe, a localidade de Triunfo e o Planalto da Bacia do Jatobá (Figura 1, 2). Todavia, as menores contribuições foram identificadas no Litoral e Zona da Mata (compreendido pelas regiões de Tabuleiros Costeiros, Área Urbana, Colinas da Zona da Mata e

Planícies Litorâneas) cujas altitudes são inferiores a 100m, grande parte do Planalto da Borborema e depressões semi-árida no Vale do São Francisco. Na Figura 4b apresentam-se os meses (2, 3, 4) em que este harmônico tem os maiores valores, de modo que ressalta a influência da topografia no total da precipitação.

Figura 3 - Primeiro harmônico da precipitação de 1960 a 1990. (a) Variância; (b) Fase (mês).

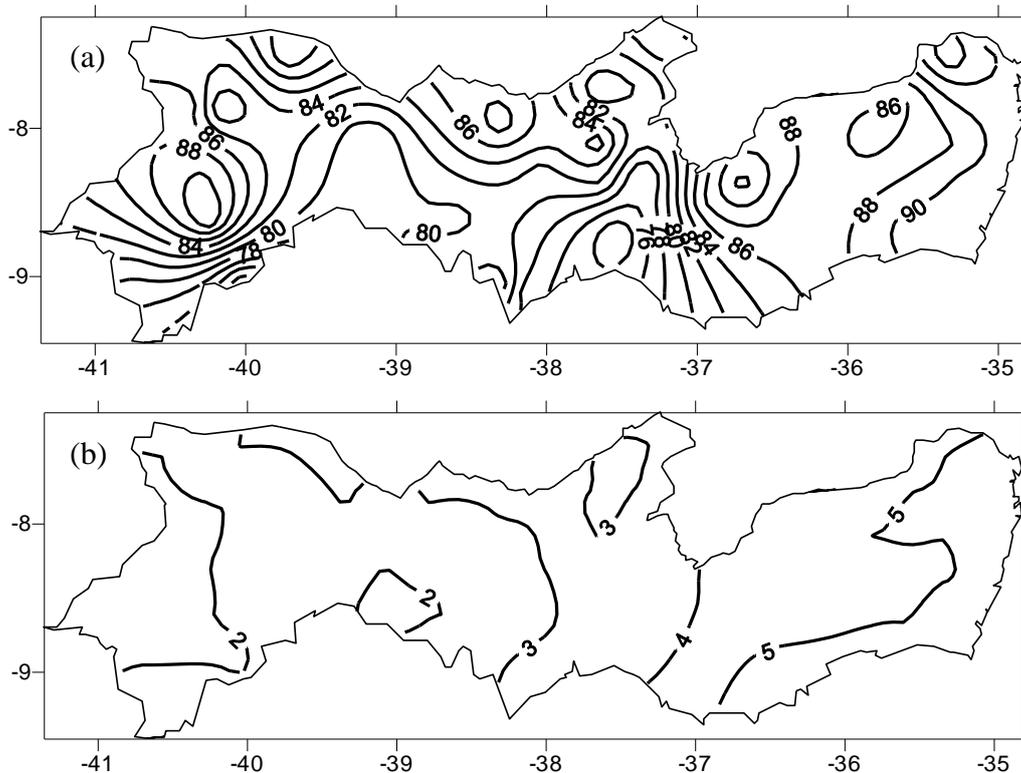
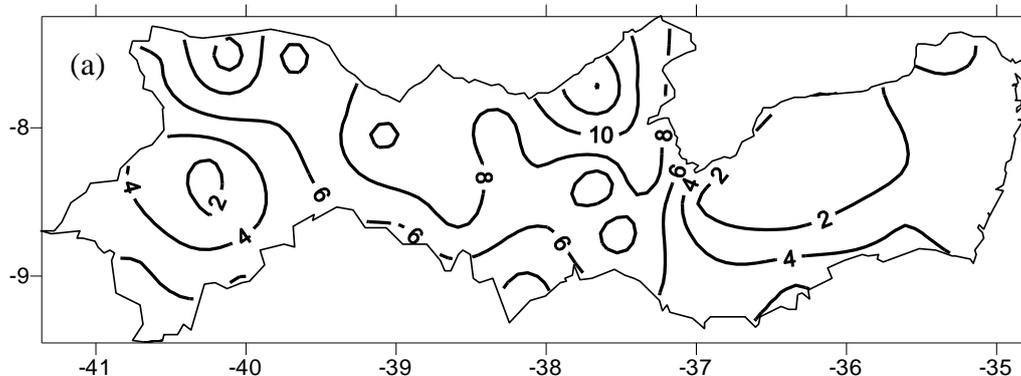
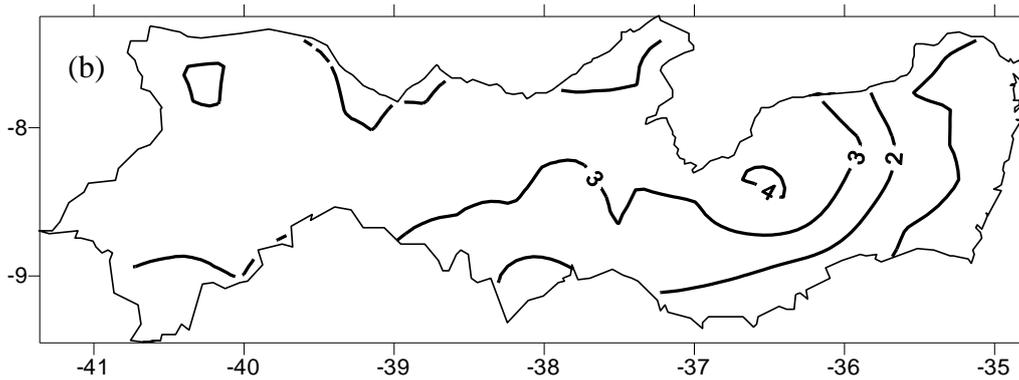


Figura 4 - Segundo harmônico da precipitação de 1960 a 1990. (a) Variância; (b) Fase (mês).

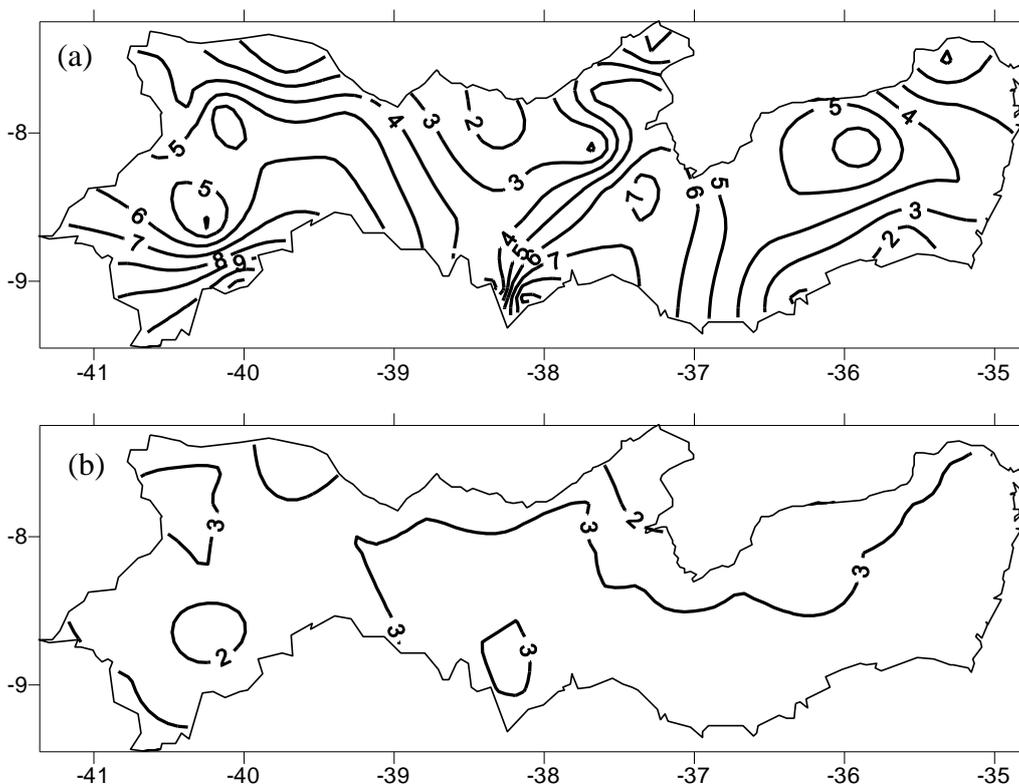




O terceiro harmônico apresenta-se com grande variabilidade espacial em todo o Estado, com os maiores valores de 7%-9% no Sertão do São Francisco (Figura 5a) que ocorrem nos meses de fevereiro e março (Figura 5b). Vale ressaltar, que esta configuração, basicamente, é oposta a observada na Figura 4a. Os ângulos de fase

se distribuem espacialmente com meses de fevereiro e março no Sertão, predominantemente março na parte leste do Estado. Este padrão observado sugere que as interações de circulações locais induzidas termicamente com a grande escala são bastante relevante para os totais pluviométricos nesta área.

Figura 5 - Terceiro harmônico da precipitação de 1960 a 1990. (a) Variância; (b) fase (mês).



## CONCLUSÕES

Os resultados se mostraram coerentes tanto com a distribuição espacial e quanto a distribuição temporal da precipitação no estado de Pernambuco, principalmente o primeiro harmônico que contribuí com cerca de 70% da variância total da formação da série, assim representou claramente o período de atuação dos principais sistemas meteorológicos responsáveis pelas chuvas no Estado.

Considerando o segundo harmônico, verifica-se que as maiores contribuições foram observadas nas áreas com topografias mais elevadas, desta forma ressalta-se que a influência topográfica em diminuir/aumentar a precipitação.

O terceiro harmônico apresentou grande variabilidade espacial em todo o Estado, no Sertão nos meses de fevereiro e março. Apresentando uma configuração oposta ao caso do segundo harmônico. Este padrão observado sugere que a interação de circulações locais induzidas termicamente com a grande escala, são bastante relevantes para os totais pluviométricos nesta área.

## REFERÊNCIAS

ARAGÃO, J.O.R., Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas no Nordeste do Brasil. 1986. 55p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais (INPE), São José dos Campos/SP, 1976.

ASLAN, Z., TOPÇU, S. Seasonal variation of surface fluxes and atmospheric interaction in Istanbul, Lisbon, Portugal. September, pp. 22-27, 1994.

ATLAS ESCOLAR DE PERNAMBUCO. Coordenador Manuel Correia de Oliveira Andrade. Ed. GRAFSET, João Pessoa/PB, 2003.

AZZALI, S.; MENENTI, M. Mapping vegetation-soil-climate complexes in Southern Africa using temporal fourier analysis of NOAA-AVHRR NDVI Data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n 5, pp. 973-996, 2001.

EMERY, W.J.; THOMSON, R.E. Lagrangian current measurement, cap. 1 em Data analysis methods in **physical oceanography**, pp. 102-119, Ed. Pergamon, 1998.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of Climatic Hazards in Northeast Brazil. **Quartely Journal Royal Meteorological Society**, **103 (435)**, 77-92, January. 1977.

KOUSKY, V.E. Frontal Influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, **107**, 1140-1153. 1979.

KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. Upper Tropospheric Cyclonic Vortices in the Tropical South Atlantic. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 33, p. 538-551, Dez. 1981.

KRIKYLA, K., HAMEED, S. Harmonic analysis of the seasonal cycle in precipitation over the United States: a comparison between observations and a general circulation model, **Journal of Climate**, v. 2, pp.1463-1475, 1989.

LINS, C.J.C.; BURGOS, I.S. **Espaços rurais do Nordeste: subsídios para**

**uma política espacial.** Recife, SUDENE, 1985. 52f.

Mapa do Relevo do Estado de Pernambuco. Mapa confeccionado no Arcgis 8.2 a partir do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE), Embrapa, 2002.

PANOFSKY, H.A.; BRIER, G.W. Some Applications of Statistics to Meteorology. Pennsylvania, Univ. Park, 224p. 1968

RODRIGUES R.S. & LACERDA, F.F. Agrupamento das Estações pluviométricas do Estado de Pernambuco Utilizando Análise Multivariada. Revista Atmosfera & Água. Ano II, número 3 p.p. 22-26. 1998.

SCOTT, C.M.; SHULMAN, M.D. Na Areal and Temporal Analysis of

Precipitation in the United States. **J. Appl. Meteor.** **18.** 627-633. 1979.

SERRA, A.B. The general circulation over South America. Bull. of the Am. Meteorol. Soc., **22**, 173-179. 1941

VIRJI, H., A Preliminary Study of Summertime Tropospheric Circulation Patterns over South America Estimated from Cloud Winds. **Monthly Weather Review**, **109**, 599-610. 1981.

WILKS, D.S. Statistical methods in the atmospheric sciences: an introduction. San Diego, California, **Academic Press**, p. 467, 1995.

YAMAZAKI, Y. e RAO, V.B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. **Journal Meteorological Society of Japan**, **55**, 203-207. 1977.