



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE CHUVAS INTENSAS E INUNDAÇÕES NO SEMI-ÁRIDO DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO: A CHEIA DE 1985

Samira de Azevedo Santos¹; Magaly de Fatima Correia²; Célia Campos Braga³;

Maria Regina da Silva Aragão⁴

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de estabelecer relações entre padrões atmosféricos específicos, variabilidade temporal e espacial da precipitação e formação de cheias no semi-árido da bacia do rio São Francisco em 1985. As análises tiveram como foco o Submedio e parte do Medio São Francisco. A aplicação da técnica de análise de componentes principais mostrou que um modelo com três componentes foi adequado para representar a estrutura das variáveis, retendo 60% da variância total. A atuação de Vórtices Ciclônicos dos Altos Níveis (VCAN) e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) foi determinante para o desenvolvimento de sistemas precipitantes intensos e ocorrência de inundações nos meses de janeiro e abril de 1985.

Palavras-chave: inundações; componentes principais; vórtices ciclônicos dos altos níveis; zona de convergência intertropical

ABSTRACT

The objective in this study is to establish relations between specific environmental conditions, spatial and temporal variability of precipitation and significant flooding episodes in the semi-arid area of the São Francisco river basin in 1985. The analyses focused on the Lower-middle and part of the Middle São Francisco. The method of principal component analysis showed that a model with three components was suitable to represent the structure of the variables, retaining 60% of the total variance. Upper Tropospheric Cyclonic Vortices (UTCV) and the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) was determinant in the development of intense precipitating systems and flooding episodes in the months of January and April 1985.

Keywords: floods; principal component; upper tropospheric cyclonic vortices; intertropical convergence zone

Trabalho recebido em 15/05/2010 e aceito para publicação em 12/09/2010.

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFCG (Universidade Federal de Campina Grande), Rua Antônio Bezerra Paz, 80, Apto 204-C, Bodocongó, Campina Grande-PB, CEP- 58100-730, samiraazevedo22@gmail.com

² Professora Dra. UFCG, magaly@dca.ufcg.edu.br

³ Professora Dra. UFCG, celia@dca.ufcg.edu.br

⁴ Professora Dra. UFCG, regina@dca.ufcg.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O Submédio do rio São Francisco, região foco deste estudo, ocupa uma extensão territorial de aproximadamente 20% da bacia hidrográfica e se destaca como um dos maiores pólos de fruticultura irrigada do país. Decorrente da grande extensão da bacia hidrográfica o clima apresenta uma alta diversidade. Tem características que vai do úmido ao tipicamente árido.

A região semi-árida da bacia sofre influência de vários sistemas causadores de chuva, dentre os mais importantes se destacam a zona de convergência intertropical (ZCIT) que é responsável pelas precipitações que ocorrem no centro norte da região no período de fevereiro a maio, os sistemas frontais que provocam chuva no centro sul da região, nos meses de novembro a janeiro, os vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAN) que ocorrem na primavera, verão e outono (variando entre setembro a abril), porém, com maior frequência no mês de janeiro e os distúrbios ondulatórios de leste (DOL) responsáveis pelas chuvas no leste do Nordeste entre maio e agosto (Mello *et al.*, 1996).

Na última década vários centros de pesquisa no país dedicam-se a programas de monitoramento do clima visando identificar padrões atmosféricos que

possam ser usados como dados complementares no gerenciamento de recursos hídricos. Este tipo de análise permite subsídios científicos para planejamento de uso da água e monitoramento ambiental. Efetivamente existe uma busca contínua por procedimentos robustos para melhorar o entendimento sobre especificidades dos processos atmosféricos em situações hidrológicas extremas.

O tratamento de dados hidrológicos e meteorológicos requer a utilização de ferramentas estatísticas específicas. A atuação simultânea de vários sistemas atmosféricos em episódios de chuvas extremas explica a natureza multivariada dos estudos de hidrologia e climatologia. A tecnologia computacional disponível nos dias de hoje permite avanços extraordinários na análise de dados o que seria impensável algumas décadas atrás. O uso conjunto de programas estatísticos e computadores potentes gera, com relativa facilidade, grande quantidade de informações sobre problemas considerados fisicamente complexos.

Na realização deste estudo foi utilizada uma das técnicas de análise multivariada de dados, a Análise Fatorial (AF), com extração de dados por Componentes Principais. O objetivo específico do trabalho foi analisar o comportamento espaço-temporal da

precipitação em parte do Médio e no Submédio do São Francisco e definir padrões atmosféricos associados com eventos extremos de chuva e ocorrência de cheias na região semi-árida da bacia registradas em 1985.

2. DADOS E METODOLOGIA

O principal conjunto de dados utilizado neste trabalho é proveniente da Agência Nacional de Águas (ANA) coletado no período entre 1972 e 1986 em 101 postos pluviométricos distribuídos no

Médio e Submédio da bacia hidrográfica. Deste total, 41 estão localizados no estado da Bahia, 54 em Pernambuco e 5 em Alagoas (Figura 1). Estes dados permitiram analisar a distribuição espacial da precipitação em condições atmosféricas sob a influência de fenômenos meteorológicos diversos.

Para análises das condições atmosféricas em escala sinótica foram usadas imagens do satélite METEOSAT nos canais do visível e do infravermelho térmico.

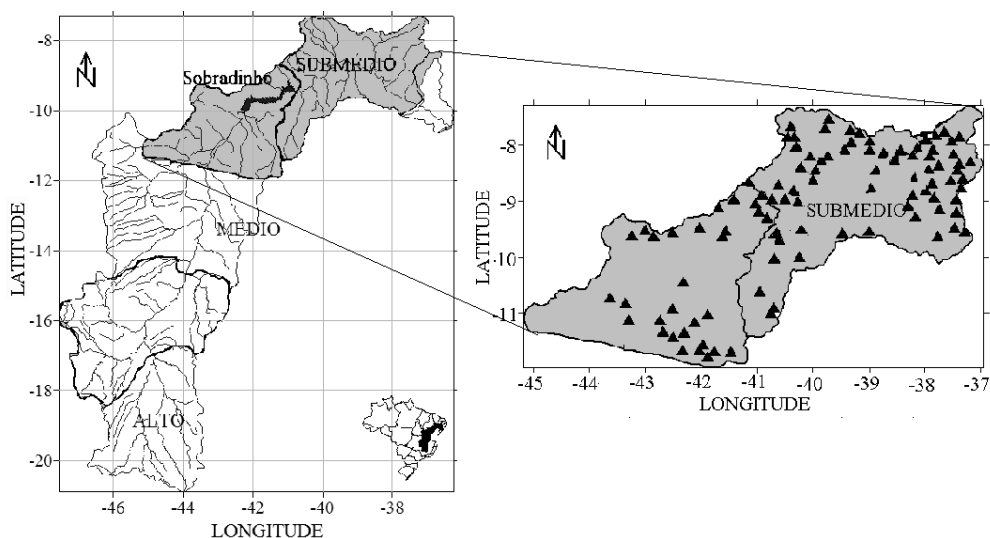


Figura 1. Bacia hidrográfica do rio São Francisco e localização dos postos pluviométricos da ANA (Agência nacional das Águas) na região de estudo.

As análises foram concentradas no período de janeiro a dezembro de 1985. Este ano foi escolhido por ter sido extremamente chuvoso com ocorrência de cheias no semi-árido da bacia hidrográfica. A intensidade das chuvas foi avaliada em

função do campo de anomalias de precipitação. Os valores foram obtidos fazendo a subtração do valor da precipitação de cada mês pelo valor médio do período entre 1972 e 1986.

2.1. Análise Estatística

2.1.1. O Método de Componentes Principais (ACP)

Em estudos que usam variáveis ambientais é bastante comum a existência de dados redundantes por estarem medindo a mesma coisa. Neste sentido a técnica estatística multivariada com base na matriz de correlação pelo método da ACP permite a redução no número de variáveis e as coordenadas são reescritas em um sistema de eixos mais apropriado permitindo análises mais concisas. As novas coordenadas provem de combinações lineares entre os autovetores normalizados e as variáveis originais.

O principal objetivo da Análise Fatorial é identificar fatores não diretamente observáveis, a partir da correlação entre conjuntos de variáveis mensuráveis (CORRAR *et al.*, 2007). A ACP permite detectar padrões e descrever um conjunto de variáveis através da criação de um número menor de dimensão e explorar a associação entre as variáveis meteorológicas a partir da identificação fatores comuns.

Neste trabalho a técnica da ACP foi introduzida com o objetivo de explicar a estrutura de dependência entre a evolução sazonal da chuva e a ocorrência de eventos hidrológicos extremos. Em geral, a primeira solução obtida com a aplicação da ACP não fornece fatores que tenham a

interpretação física mais adequada. Para aumentar o poder explicativo dos fatores na análise efetuou-se o procedimento de rotação de fatores através do método VARIMAX (WILKS, 2006). Na escolha do número de fatores adequados ao estudo foi utilizado o critério desenvolvido por Kaiser, (GARAYALDE *et al.*, 1986). Na aplicação deste critério são excluídos os fatores com autovalores menores que um.

Para auxiliar a determinação do número de componentes principais que representasse adequadamente os dados originais foi utilizado o critério Scree-Plot que se trata de um procedimento gráfico em que nas abscissas é apresentada a ordem numérica dos componentes e no eixo das ordenadas os autovalores. De acordo com Barroso & Artes, (2003), o número de componentes deve ser igual ao número correspondente a ordem onde a variação do segmento de reta no gráfico passa a ser pequena.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Variabilidade espacial da precipitação em 1985

O ano de 1985 foi marcado por fortes chuvas na região semi-árida do Brasil. Os totais pluviométricos mensais em 1985 foram em sua maioria superiores à média climatológica. Em janeiro chuvas intensas e contínuas ocorreram em vários estados das regiões norte e nordeste do Brasil,

causando inundações em muitas cidades. As chuvas continuaram bastante intensas nos meses de fevereiro e abril sendo mais concentradas na região Nordeste.

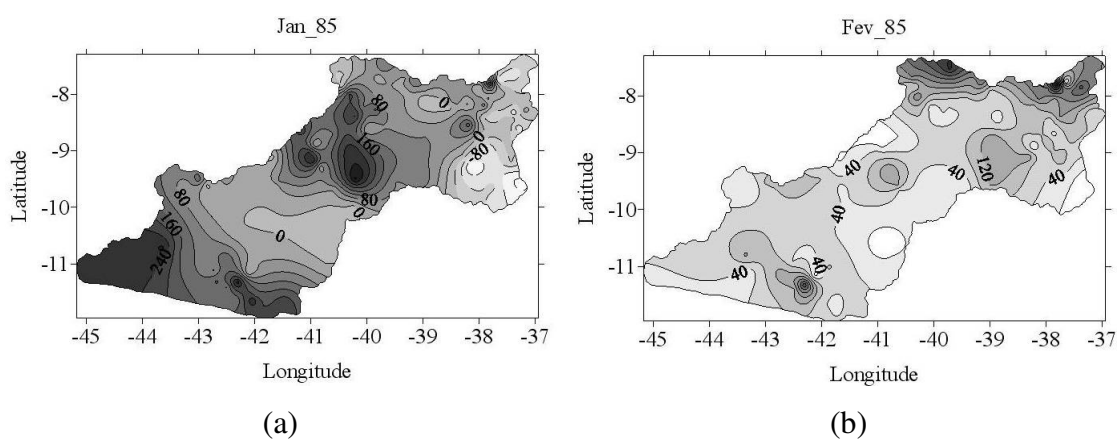
Atividade convectiva acima do normal e chuvas intensas na primeira quinzena de abril de 1985 culminou com a formação de uma enchente de grandes proporções no trecho entre as usinas de Sobradinho e Paulo Afonso, situadas na bacia do São Francisco. Extensas áreas de cultivo foram inundadas causando grandes prejuízos materiais (CHESF, 1986).

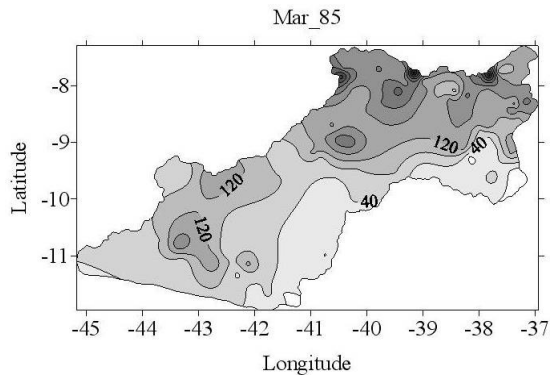
A distribuição espacial de anomalias de precipitação em 1985 é mostrada na Figura 2. Valores elevados de anomalias positivas são observados em várias localidades da região em praticamente todos os meses do ano. Valores maiores

que 200mm são observados nos meses de janeiro, abril e dezembro.

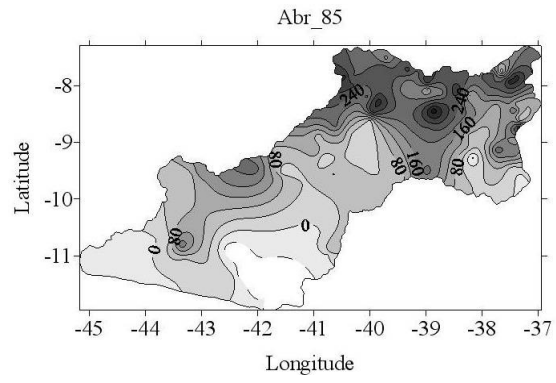
No mês de abril os núcleos máximos, maiores que 240mm, se concentraram preferencialmente no Submédio da bacia, a jusante de Sobradinho. Trabalhos anteriores mostram que atividade convectiva intensa com sistemas precipitantes (profundidades superiores a 15 km) foi responsável pela ocorrência de cheia e inundações na primeira quinzena do mês (Barbosa & Correia, 2005; Silva Aragão et al., 2000).

Os meses de maio, junho, setembro e outubro (período considerado seco na maioria das localidades analisadas) também mostram anomalias positivas com valores extremamente altos indicando chuva bem acima da média.

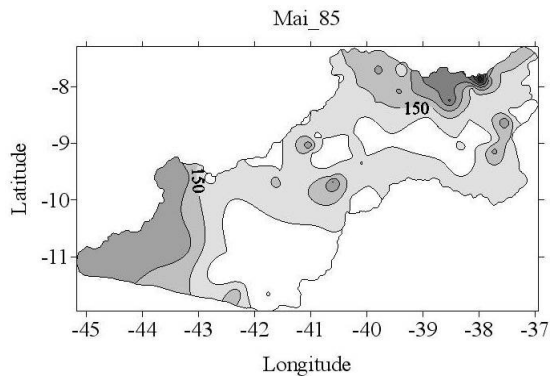




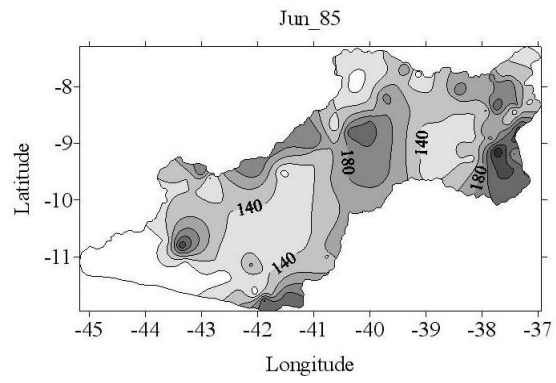
(c)



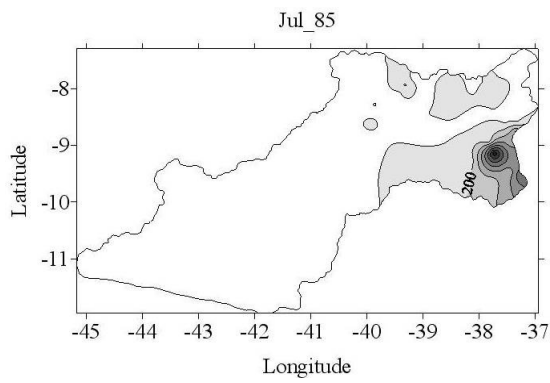
(d)



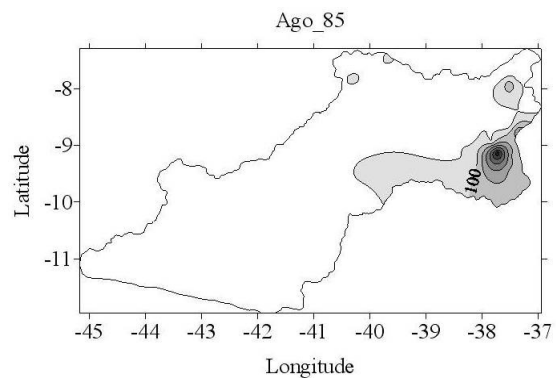
(e)



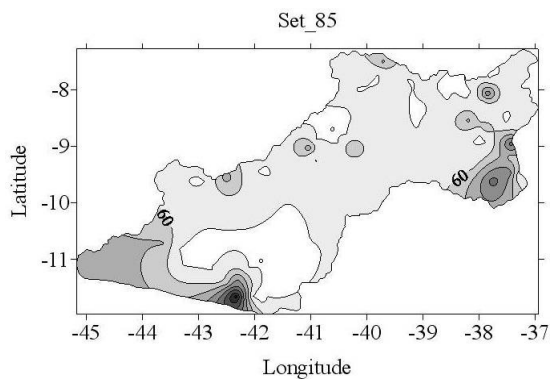
(f)



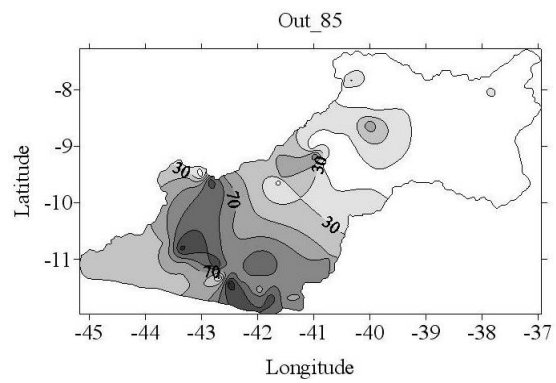
(g)



(h)



(i)



(j)

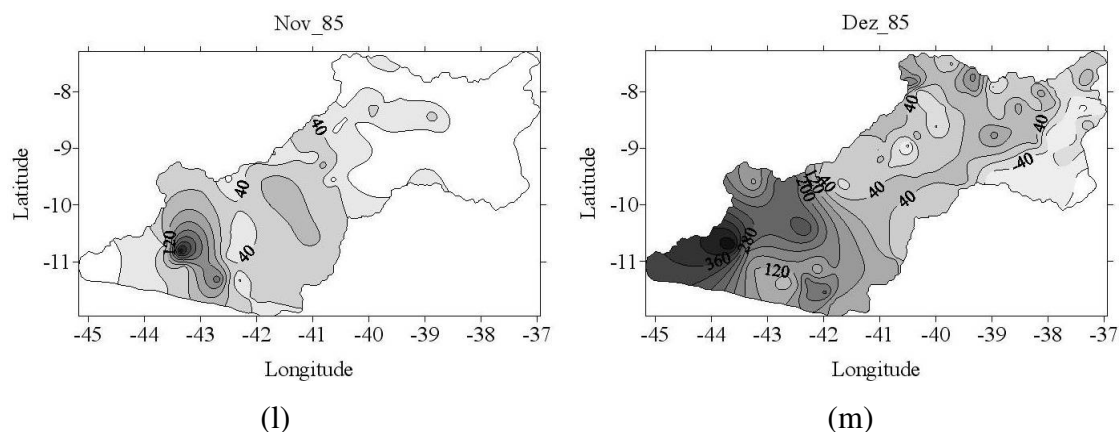


Figura 2. Distribuição espacial da anomalia de precipitação em 1985.

3.2. Análise Estatística

A aplicação dos testes de Kaiser e Bartlett permitiu avaliar a adequação dos dados para a realização da análise fatorial. O valor da estatística KMO de 0,727 indica que as amostras selecionadas são apropriadas para análise fatorial (HAIR *et al.* 1995; Corrar *et al.* 2007).

No Scree Plot apresentado na Figura 3 nota-se um decaimento mais forte da curva entre o terceiro e quarto autovalor. O último componente a ser extraído em um scree plot é determinado em função do ponto de inflexão da curva. Com base neste critério foram retidos os três primeiros componentes.

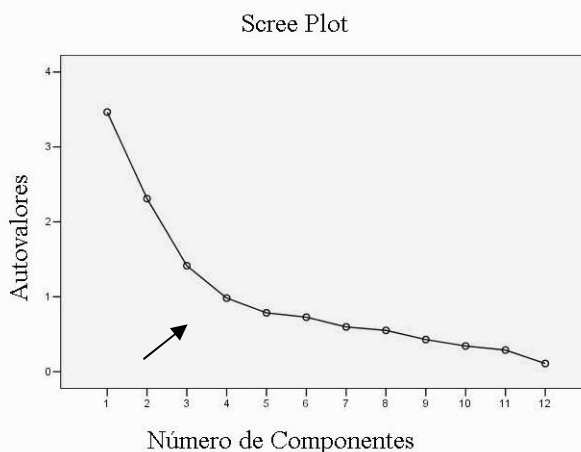


Figura 3. Scree- Plot da Matriz de Correlação

Os autovalores obtidos na análise de componentes principais foram submetidos à rotação VARIMAX com o objetivo de detectar quais variáveis representam

melhor os fatores e com isso facilitar a interpretação dos resultados. A tabela 1 mostra a contribuição das variáveis para

cada componente antes e depois da rotação VARIMAX.

As três primeiras CPs explicam cerca de 60% da variância total dos dados mensais da chuva, ou seja, 21,5%, 19,7% e 18,7%, respectivamente. Esse resultado

indica que as chuvas intensas observadas na região do Submédio São Francisco, no ano de 1985 apresentam dependência aproximadamente igual com os três fatores selecionados pelo modelo da ACP/AF.

Tabela 1. Autovalores associados à matriz de correlação com as respectivas porcentagens de explicação da variação total.

Componente Principal	Autovalor	Variância	Variância acumulada	Retenção de componentes sem rotação			Retenção de componentes com rotação VARIMAX		
				Autovalor	Variância	Variância acumulada	Autovalor	Variância	Variância acumulada
1	3,465	28,876	28,876	3,465	28,876	28,876	2,581	21,509	21,509
2	2,310	19,247	48,123	2,310	19,247	48,123	2,359	19,661	41,171
3	1,414	11,785	59,908	1,414	11,785	59,908	2,248	18,737	59,908
4	0,982	8,183	68,791						
5	0,785	6,545	74,636						
6	0,727	6,080	80,696						
7	0,597	4,975	85,671						
8	0,551	4,595	90,266						
9	0,428	3,569	93,836						
10	0,342	2,851	96,687						
11	0,228	2,404	99,090						
12	0,109	0,910	100,00						

Os fatores de maior relevância para o estudo foram então identificados através das variáveis com maior carga fatorial. As cargas fatoriais associadas aos três primeiros fatores comuns são mostradas na Figura 4.

A primeira componente principal (CP1) apresenta correlação positiva maiores que 0,60, com os meses de outubro, novembro, dezembro e Janeiro. Correlações superiores a 0,8 são encontradas entre os meses de junho e

agosto e a CP2. A terceira CP está mais correlacionada com os meses de fevereiro, março e abril.

A projeção das CPs no plano fatorial apresentado na Figura 5, mostra com bastante clareza, a formação de grupos distintos de variáveis. Esses grupos indicam maior grau de associação entre os meses delimitados revelando que as chuvas registradas no período sofreram influência de condições atmosféricas semelhantes.

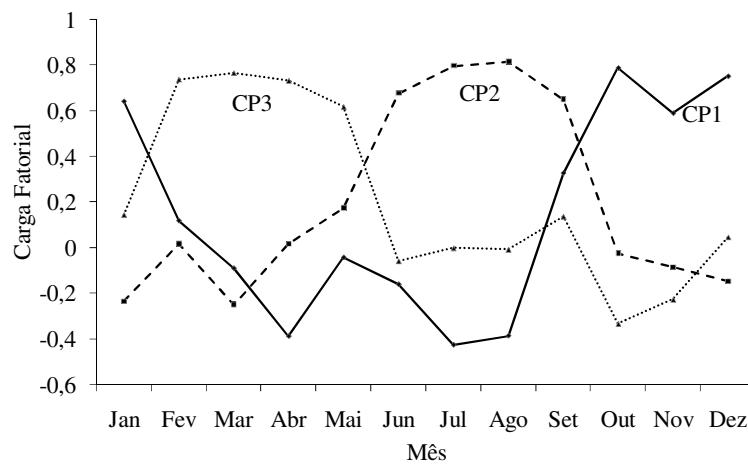
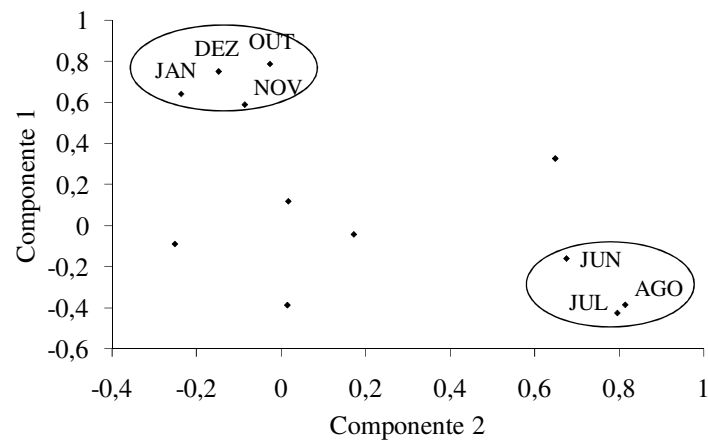
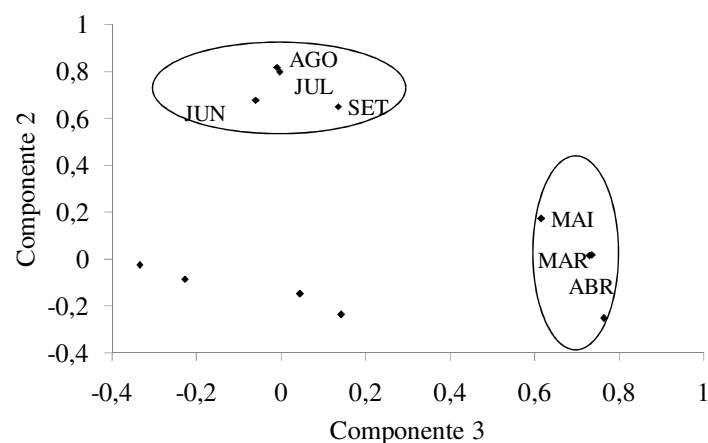


Figura 4. Cargas fatoriais (correlações) mensais dos três primeiros fatores comuns temporais.



(a)



(b)

Figura 5. Projeções das componentes principais (CPs) no plano fatorial: (a) plano delimitado pelo primeiro e segundo fator e (b) plano delimitado pelo segundo e terceiro fator.

3.2.1. Configuração Espacial de Fatores

A configuração espacial do primeiro fator é apresentada na Figura 6. Este fator é bem correlacionado com os meses de novembro, dezembro, outubro e janeiro de 1985. As áreas com escores positivos (valores maiores que 2,5) delimitam localidades da Bahia situadas no Médio São Francisco e do oeste pernambucano

predominantemente situado no Submédio da bacia. Pesquisas realizadas anteriormente sobre o desenvolvimento de sistemas convectivos nesta região mostram que vórtices ciclônicos de altos níveis e sistemas frontais foram determinantes para ocorrência das fortes chuvas registradas neste período (Barbosa e Correia, 2005; Cavalcanti, 1986).

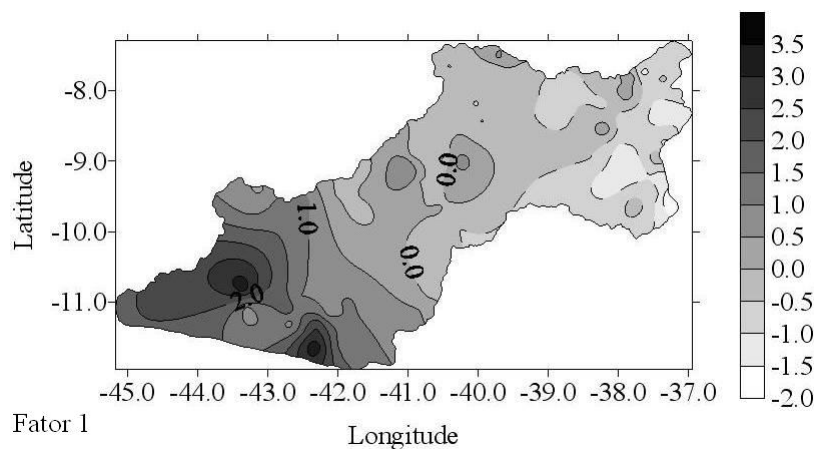


Figura 6. Padrão espacial do primeiro fator (escores) para parte do Médio e Submédio do Rio São Francisco.

A distribuição espacial do segundo fator mostrada na Figura 7 apresenta contribuições elevadas (valores maiores que 4,0) nos setores sudeste e sudoeste da região analisada e está altamente correlacionado com os meses de junho, julho e agosto de 1985.

Este padrão espacial está associado com precipitações provenientes dos Distúrbios Ondulatórios de Leste e

Sistemas Frontais atuantes nesses meses. Vale ressaltar que o mês de junho está inserido no período seco da região semi-árida (normal climatológica igual a 10 mm). Contudo, entre os dias 04 e 10 de junho de 1985, sistemas frontais provocaram aumento da nebulosidade e precipitação na região.

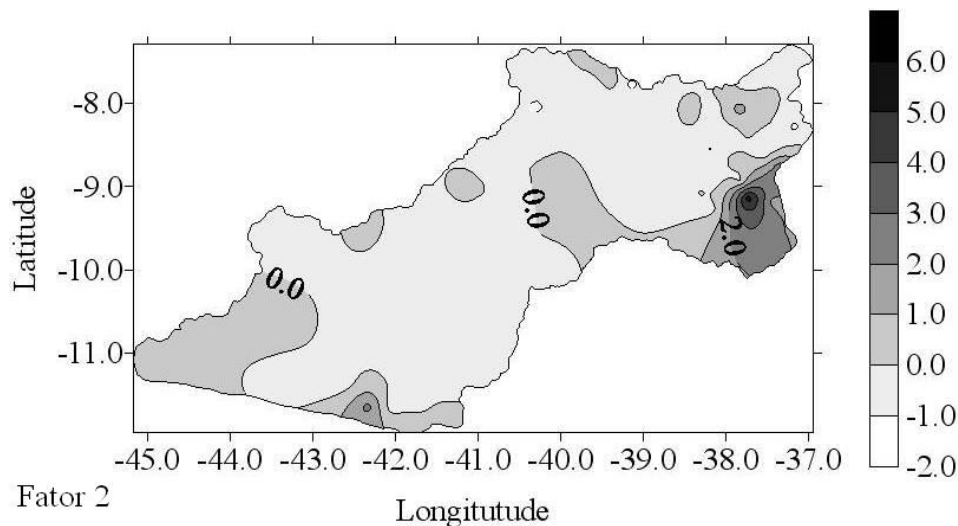


Figura 7. Padrão espacial do segundo fator (escores) para parte do Médio e Submédio do Rio São Francisco

As imagens de satélite mostradas na Figura 8 evidenciam aumento da nebulosidade a partir do dia 05. No dia 06

de junho (Fig. 8c) a região encontra-se quase que totalmente coberta por nebulosidade.

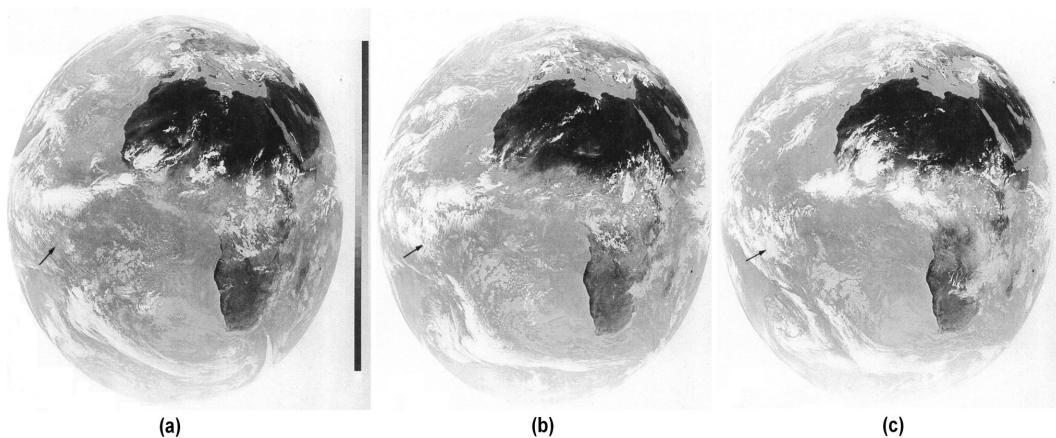


Figura 8. Imagens do satélite METEOSAT na banda do infravermelho obtidas nos dias 04, 05 e 06 de junho de 1985, ilustrando a nebulosidade provocada pelo sistema de origem frontal. A ponta da flecha situada no lado esquerdo da imagem assinala a localização aproximada de Petrolina-PE ($9^{\circ}24'S$, $40^{\circ}29'W$)

Fonte: Barbosa & Correia (2005).

A distribuição espacial do terceiro fator mostrada na Figura 9 apresenta contribuições elevadas superiores a 2,0, nas localidades situadas no Submédio da bacia, a jusante de Sobradinho, e está bem

correlacionado com os meses de fevereiro, março e abril de 1985. Este padrão espacial é modulado pela Zona de Convergência Intertropical e VCAN que atuaram neste período.

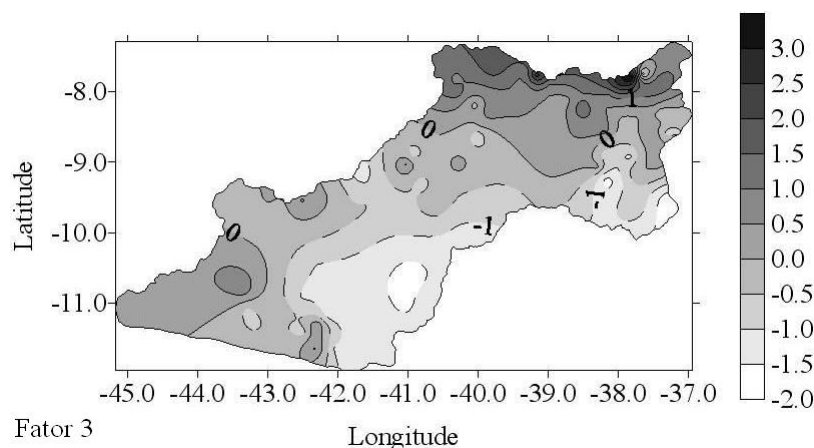


Figura 9. Padrão espacial do terceiro fator (escores) para parte do Médio e Submédio do Rio São Francisco

4. CONCLUSÕES

A aplicação da Análise de Componentes Principais a totais mensais de precipitação registrados em 101 localidades do Submédio e Médio São Francisco permite concluir que:

As três primeiras componentes retidas explicaram cerca de 60% da variância total dos dados mensais de precipitação e mostraram particularidades sazonais da chuva, evidenciando padrões associados com os principais regimes pluviométricos e sistemas meteorológicos que influenciam o regime hidrológico da bacia hidrográfica do São Francisco.

A configuração espacial dos fatores mostra forte correlação entre o primeiro componente e os meses de outubro a janeiro sendo mais significativa na parte oeste da região com valores superiores a 2,5, devido principalmente aos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis, evidenciando o período chuvoso dessa região.

O segundo componente evidencia fortes correlações com valores superiores a 4,0 entre os meses de junho a agosto, principalmente na parte sudeste e leste da região com influência direta dos Distúrbios Ondulatórios de Leste e Sistemas Frontais. O terceiro componente mostrou fortes correlações, valores superiores a 2,0, com

os meses de fevereiro a maio, na parte norte da região refletindo a atuação da ZCIT com episódios de VCAN.

5. REFERÊNCIAS

- BARBOSA, T. F.; CORREIA, M. F., **Sistemas convectivos Intensos no Semi-Árido Brasileiro: O controle da Grande Escala.** In: Revista Brasileira de Meteorologia, v.20, n.3, 395-410, 2005.
- BARROSO, L. P.; ARTES, R. **Análise multivariada:** Minicurso do 10º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica – RBRAS, 48ª reunião Anual da região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria - SEAGRO. Lavras: UFLA, 2003.
- CAVALCANTI, I. F. A. **Second International Conference on Southern Hemisphere Meteorology**, Wellington, New Zealand, 1-5 December 1986, 446-448.
- CHESF – Companhia Hidrelétrica do São Francisco. **Relatório da comissão interministerial de estudos para o controle das enchentes do rio São Francisco**, 1986.
- CORRAR, L. J. P.; FILHO; J.M.D. **Análise Multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia.** Ed. Atlas. São Paulo, 2007.
- GARAYALDE, E. J. G.; SILVA, M.G.A. da; TAVARES, SÁ A. de **Classificação meso-climática da região sul do Brasil pela análise de componentes principais.** In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Brasília, 1996.
- HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Multivariate Data Analysis: With Readings.** Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- MELLO, N. G. S., SAKAMOTO, M. S., TORSANI, J. A., **Estudo de Caso de um sistema Convectivo de Mesoescala (SCM) observado no nordeste do Brasil.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão-SP, v.2, novembro, 1996, p. 887-890.
- SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F.; ARAÚJO, H. A.: **Characteristic of C-Band meteorological radar echoes at Petrolina, Northeast Brazil.** *International Journal of Climatology*, v.20, p. 279-298, 2000.
- WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences.** 2ª Edition. California: Elsevier Science & Technology Books. Academic Press, 2006.